

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: obrábění a ekonomiky

Fakulta: strojní

Školní rok: 1974/75

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Nguien Van Quoi

obor strojírenská technologie

Protože jste splnil... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: Měření teplot při ostření nástrojů s břitovými destičkami ze slinutého karbidu.

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod k diplomovému zadání a jeho politický a ekonomický význam.
2. Seznámení s problémem, studium podkladů a teoretický přehled a možnosti měření teplot při ostření nástrojů.
3. Stanovení metodiky a rozvržení zkoušek, příprava nástrojů a zařízení pro zkoušky.
4. Provedení vlastních zkoušek měření teplot při ostření slinutého karbidu SiC kotoučem. Vyhodnocení zkoušek.
5. Závěr a zhodnocení diplomového zadání.

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK, podléhá
závěrečné zkoušce z. j. 31. 7. 1975, 2. téma
13. července 1982 - Věstař MŠK VII, sešit 24 ze dne
31. 8. 1982 § 19 autorského zákona č. 115/53 Z.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC I. STUDENTSKÁ 5

Rozsah grafických laboratorních prací: grafy, tabulky, náčrtky, fotografie,
výkresy

Rozsah průvodní zprávy: 50 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

Podklady VŠST Liberec

Danieljan: Teplota i iznos instrumentov v procese
rezanija metalov

Gabriel: Měření teplot při soustružení.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaromír Gazda, CSc

Konsultanti: Ing. Stanislav Smékal

Datum zahájení diplomové práce: 15. 10. 1974

Datum odevzdání diplomové práce: 30. 5. 1975



Draský
Prof. Ing. Jaroslav Draský, CSc
vedoucí katedry

Krejčíř
Doc. Ing. Oldřich Krejčíř, CSc
Děkan

V _____ Liberci dne 8. 10. 1974

VŠST Liberec	Měření teplot při ostření nástrojů	DP-ST 1124/75	
Fakulta strojní		KOE	List 1

D I P L O M O V Á P R Á C E

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaromír Gazda, CSc
Konsultant: Ing. Stanislav Smékal

1975

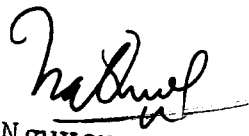


Nguyen van Quoi

Prohlášení

Prohlášuji, že tuto diplomovou práci jsem zpracoval sámostatně pod vedením konsultantem Ing. Stanislava Smékala a že všechná použitá literatura je uvedena v seznamu.

Liberec, dne 28. června 1975


Nguyen van Quoi

O b s a h

1. Úvod	6
2. Přehled metod měření teploty při obrábění	8
2.1 Vymezení základních pojmů	8
2.2 Přehled a popis používaných měřicích metod	9
2.2.1 Měření teploty pomocí termoelektrického efektu	
2.2.1.1 Měření pomocí přirozeného termočlánku	
2.2.1.2 Měření dvounožovou metodou	
2.2.1.3 Měření umělým termočlánkem se dvěma cizími kovy	
2.2.1.4 Měření termočlánku s jedním cizím kovem	
2.2.1.5 Měření termistorem	
2.2.2 Určení teploty na základě změn struktury	
2.2.3 Některé další metody stanovení teploty při obrábění	
2.3 Výběr a zdůvodnění použitých měřicích metod	24
3. Stanovení metodiky, příprava nástrojů a zařízení ...	28
pro zkoušky, rozvržení zkoušek	
3.1 Odůvodnění metody pro daný úkol a metodika	28
3.2 Příprava nástroje ze slinutého karbidu	29
3.2.1 Hloubení otvoru do břitové destičky	
3.2.2 Příprava termočlánku	
3.2.3 Vestavění termočlánku	
3.3 Příprava upraveného nože s pájenou destičkou ...	34
ze slinutého karbidu	
3.4 Metodický postup při měření	35
3.5 Cejchování	35
3.6 Měřicí přístroje a zařízení	36
3.7 Rozvržení zkoušek měření teplot při ostření slinutého karbidu	38

VŠST Liberec	Měření teplot při ostření nástrojů	DPST - 1124/75	
		OE	List: 5
Fakulta strojní			

3.7.1	Měření teplot ve vzorku s připájenou řeznou destičkou	
3.7.2	Měření teplot ostření v různých místech řezné destičky	
3.7.3	Měření teplot ostření při různé přitlačné síle	
3.7.4	Současné měření teplot ostření v různých hloubkách řezné destičky	
4.	Vlastní zkoušky, jejich průběh a hodnocení výsledků zkoušek.....	42
4.1	Zkoušky vzorku s připájenou řeznou destičkou..	43
4.2	Zkoušky vzorku mechanicky přidržovaných.....	44
4.2.1	Zkoušky s konstantní přitlačnou silou	
4.2.2	Zkoušky s proměnnou přitlačnou silou	
4.2.3	Zkoušky současného měření teplot ostření v různých hloubkách řezné destičky	
5.	Závěr	56
5.1	Závěrečné vyhodnocení výsledků výzkumu.....	56
5.2	Zhodnocení diplomového zadání.....	58
6.	Literatury.....	59
7.	Přílohy.....	61

VŠST Liberec	Měření teplot při ostření nástrojů	DPST - 1124/75	
Fakulta strojní		OE	List: 6

1. Ú v o d

Technická měření na strojích a strojních zařízeních nabyla při dnešní vysoké úrovni výzkumu a zkušenictví velkého významu ve všech odvětvích průmyslu. Při řešení technických problémů je zpravidla nutno spojit teorii s experimentálním ověřením. Tím se teorie prohlubuje a umožňuje potom navrhovat i složitá technická zařízení tak, aby měla s největší pravděpodobností ty vlastnosti, které od nich očekáváme. Zjišťování funkčních vlastností strojů a strojních zařízení a kontrola technologických procesů jsou podmíněny technickým měřením. Zdokonalování měřicích metod a měřicích přístrojů jsou také základním předpokladem pro automatickou regulaci a automatizaci nejrůznějších výrobních pochodů.

Nové řezné materiály a jejich soustavné zlepšování umožňují ve výrobě používat vyšší řezné rychlosti, což nutí výrobce i uživatele přesně stanovit teplotu, v obrobku, nástroji nebo v místě vzniku třísky, případně také stanovit její závislost na čase. Mimo jiné může časová změna teplotního pole a velikost teploty při přerušném řezu ukázat cestu k jejímu ovlivňování a potlačení.

Prudký rozvoj strojírenské výroby a její rostoucí význam pro rozvoj většiny dalších národněhospodářsky důležitých odvětví klade stále rostoucí nároky na technickou úroveň strojírenských výrobků, jejich jakost, životnost i hospodárnost jejich výroby. Tyto požadavky vedou ke specializaci výroby, zvětšování nároků na přesnost výrobků i všech jejich součástí.

Proto stoupá význam a potřeba měření při kontrole ve všech stadiích strojírenské výroby. Dokonalost měřicí techniky, soustavné respektování měření i závěrů z nich plynoucích patří k základním požadavkům technologické kázně a je podmínkou pro ekonomické zvládnutí výrobního procesu.

Uvolňování mezinárodního politického napětí rozšiřuje hospodářskou spolupráci mezi státy obou společenských systémů. Ve stále rostoucí míře bude tedy docházet ke konfrontaci socialistických výrobků a licencemi kapitalistických producentů.

Význam měření teplot je důležitý i při ostření nástrojů s břitovými destičkami ze slinutého karbidu. Tímto problémem se zabývá tato diplomová práce, která řeší rozložení a velikost teplot v řezné destičce, která je ostřena brusným kotoučem SIC. Je známo, že velikost a nerovnoměrné rozložení teploty v řezné destičce při jejím ostření, bývá velmi často příčinou jejího popraskání a někdy zničení vůbec. Jen dobrou znalostí všech těchto poměrů při ostření slinutého karbidu, se můžeme pokusit zlepšit v tomto směru dnešní stav v odvětví nástrojů.

2. Přehled metod měření teploty při obrábění

Obsahem této práce je měření teplot při ostření slinutého karbidu. Metod, kterými lze měřit teplotu v řezném nástroji při obrábění je několik. Bude patrně vhodné podat v této kapitole jejich stručný přehled.

2.1 Vymezení základních pojmů

Náročnými experimentálními metodami bylo v současnosti prokázáno, že se téměř celá energie, potřebná na řezání přemění v teplo. Množství tepla, které vznikne za jednu minutu řezání pak nazýváme teplem řezání (tepelný výkon).

Toto teplo způsobuje ohřátí obrobku, nástroje a třísky, tj. vyvolává změnu jejich teploty. Každý hmotný bod této soustavy je podle vzdálenosti od zdroje tepla zasažen různým jeho množstvím. Mají proto různé body různou teplotu, nazývanou okamžitá teplota. Mezi nimi je však možno najít body o stejné teplotě. Tyto body vytvářejí isothermickou plochu. Soustava těchto ploch představuje teplotní pole a to buď v nástroji, obrobku, nebo tříске. Určovat teplotu těchto hmotných bodů je velmi obtížná záležitost a proto se zpravidla spokojujeme se zjištěním tzv. střední teploty. Za ni považujeme průměrnou teplotu hmotných bodů jednotlivých členů soustavy obrobek - nástroj - tříska.

Podle toho pak užíváme pojmu střední teplota obrobku, střední teplota nástroje, střední teplota třísky.

ř. odborné

Výpočetními metodami

Počítací metody

Grafické metody

ř. odborné

Diferenciální
rovnice

Rozdílovou
metodu

Pomocí elektrických
síťových papírů

ř. odborné

Fotoelektrický
záměr

Fotochemický
záměr

Tepelný
záměr

ř. odborné

Infrak-
venní
televizní
přenos
tepelné
obrazu

Infrak-
venní mě-
řič
tepelné
obrazu

Infrak-
venní foto-
grafie

Pomocí
termisto-
rů

Namáháním
látky
nebo pomo-
cí příst-
rových
prvků

ř. odborné

Stavové

Analogický

Elektrická

Elektrický
žeb

Změna v
přístrojích

Změna
struktury
v třídě

Změna
struktury
nástroje

Termočlá-
nek se
dvěma
cizími
kovy

Termočlá-
nek
a jedním
cizím
kovem

Dvojnó-
žová
metoda

Jednó-
žová
metoda

Měření teploty

Měření bezkontaktními
metodami

Měření kontaktními
metodami

S tepelného záření

Na základě změny
struktury

Pomocí
termočlánků

Přirozená změna
struktury

Umělý
termočlánek

Přirozený
termočlánek

VŠST Liberec	Měření teplot při ostření nástrojů	DPST - 1124/75	
Fakulta strojní		OE	List: 10

Protože při řezání vzniká nejvyšší teplota vždy v místech styku nástroje s obrobkem a třískou, bývá střední teplota těchto stykových ploch předmětem studia a nazýváme ji teplotou řezání /1/.

Přikryl /2/ zužuje tento pojem ještě dále a za teplotu řezání považuje pouze střední teplotu místa styku třísky a čela nástroje. Toto vymezení vyplývá z faktu, že teplota ve stykovém místě obrobek - hřbet bývá o 50 až 100 % nižší než ve styku tříska - čelo. Z hlediska praktického použití nástroje má tato teplota větší význam, neboť ovlivňuje jeho opotřebení.

Vezmeme-li však v úvahu techniku měření této teploty různými metodami, jeví se pro potřeby této zprávy a praktickou použitelnost vhodnější tato definice:

Teplota řezání je střední teplota, vznikající v místech styku obrobek - hřbet a tříska - čelo.

2.2 Přehled a popis používaných měřicích metod

Pro studium teplotních otázek při obrábění byla vyvinuta celá řada metod, používajících různých základních principů. Pro názornost je možno uspořádat do přehledného grafického znázornění, které zpracoval ve své disertační práci Mayer a uveřejnil Klicpera v časopise "Maschinenmarkt" /3/ (obr. 1)

Z uvedeného přehledu je možno oddělit tu část, která se zabývá pouze měřením teploty řezání. Z nich pak se z hlediska měřicí techniky dají použít zejména ty, které využívají termoelektrického efektu, změny struktury a tepelného záření. Prvé dvě metody

umožňují pomocí vazby měření uvnitř materiálu, zbývající pak slouží ke stanovení teploty povrchu tělesa přirozeného nebo umělého měřením ze vzdálenosti.

2.2.1 Měření teploty pomocí termoelektrického efektu

Fyzikální podstata termoelektrického efektu spočívá v tom, že ve styku dvou různých kovů, putují jednotlivé elektrony z kovu s menší výstupní prací do kovu s větší výstupní prací. Takto vznikající napětí závisí na teplotě spoje a na dnuhu obou kovů, ale také na velikosti mechanického zatížení. Takovému spojení říkáme termočlánek.

V měřicí praxi se vyskytují dva základní typy termočlánekových metod měření teploty řezání. Je to metoda přirozeného termočlátku a metoda vestavěného termočlátku. Obě mají několik modifikací, které v dalším stručně popíšeme.

2.2.1.1 Měření pomocí přirozeného termočlátku

V tomto případě tvoří termočlánek obráběný a řezný materiál, které jsou vlivem působících řezných tlaků ve stykových oblastech přivedeny do těsného, vodivého spojení. Termoelektrická síla je vyvolána ohřátím stykových míst a je úměrná střední teplotě dotykových bodů mezi obráběným a řezným materiálem.

Jednonožová modifikace byla použita nezávisle na sobě několika výzkumníky téměř současně. Byli to Shore (USA) 1924, Gottwein (NSR) 1925, Herbert (Anglie) 1925. Na rozvinutí této metody se podíleli nejdříve němečtí a později i sovětsí pracovníci.

Jsou to zejména Schwirt (1933), Mayer (1966) a Lowack (1967), Reznikov (1963), Limonov (1963), Buljajev (1952).

Již v úvodních pracích se uvádí, že teplota není konstantní po celé stykové ploše. Lowack stanovuje střední teplotu z nekonečného množství elementárních termočlánků.

Podrobnější rozbor tohoto termočlánku provedli Fokin /7/ a Cocchadze /8/. Fokin věnoval pozornost zejména vzniku prazitního termočlánku mezi obrobkem a třískou (E_{O-T}), který podle jeho měření snižuje celkovou TEMS mezi nástrojem a obrobkem (E_{N-O}) na hodnotu střední:

$$E_{stř} = E_{N-O} - E_{O-T} \quad (1)$$

Maximální teplotu v místě styku určuje ze vztahu

$$\tau_{max} = 2\tau_{stř} - \tau_{min} \quad (2)$$

Přitom se předpokládá, že nejmenší teplota je v místě odchodu třísky od nože. Měří se termočlánkem tvořeným dvojicí nástroj - tříska (E_{N-T}). Kontrolními měřeními se potvrdila správnost tohoto postupu.

Cocchadze věnoval pozornost cejchování přirozeného termočlánku. Vycházel zejména z faktu, že obvykle se při cejchování oba materiály nacházejí v klidu, kdežto při obrábění se jeden ze členů dvojice pohybuje. To způsobuje určité nepřesnosti, které byly podrobeny rozboru. Vychází z faktu, že střední TES je dána

$$E_{\text{stř}} = \frac{E_1 \cdot f_1 + E_2 \cdot f_2 + \dots + E \cdot f_{n(3)}}{f_1 + f_2 + \dots + f_n}$$

kde E_i TES na elementárním termočlátku
 f_i plocha styku elementárních úseků

Na základě teoretického rozboru a experimentálních ověření dochází ke zjištění, že změna TES v závislosti na změně teploty souvisí s intenzitou proudu termoelektronové emise, koeficientem difuze a dalšími jevy, na nichž je založen pohyb elektronů a atomů pevných látek. Lze předpokládat, že vzájemné působení mezi elektrony v oblasti styku tepelného spoje přirozeného termočlátku se řídí zákonitostmi kvantové statistiky.

Po tomto rozboru stanovil Cocchadze, že pro takový termočlánek lze přijmout rovnici, určující TES takto

$$E = B \cdot e^{-\frac{b}{T}} \quad [mV] \quad (4)$$

V rovnici značí:

$$B = A \cdot R = \frac{4 \pi \cdot e \cdot m k^2}{h^3} \cdot R$$

kde e ... náboj elektronu
 m ... hmota elektronu
 k ... Boltzmanova konstanta
 h ... Planckova konstanta
 R ... odpor okruhu

$$\text{kde } b = \frac{\varphi}{k}$$

φ ... nejmenší výstupní práce elektronů jednoho z kovů dvojice

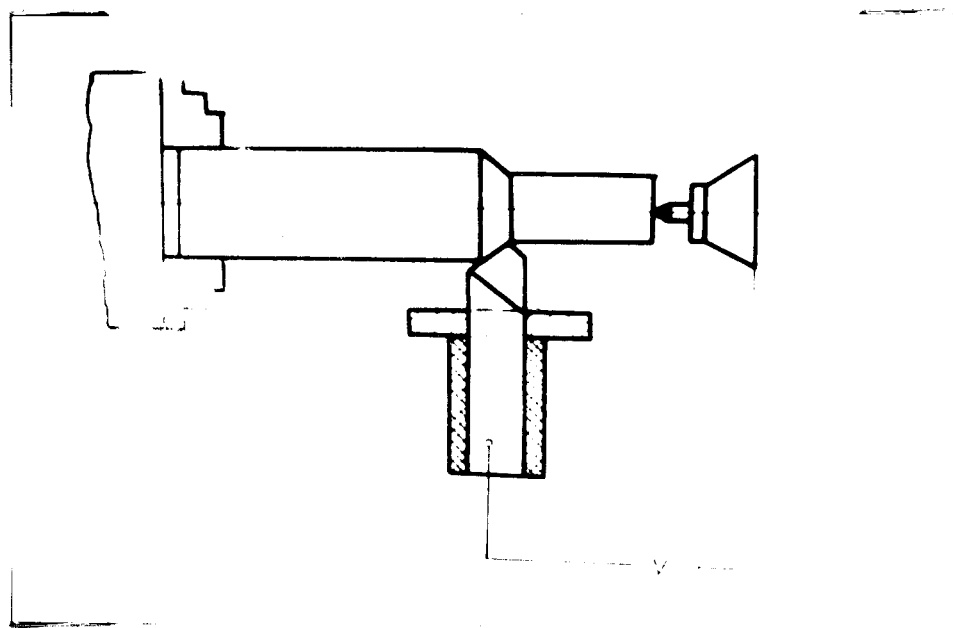
T ... teplota tepelného spoje

Závislost mezi TES a teplotou vyjádřeneu uvedenou rovnicí (4) umožňuje určovat cejchovní křivky párů řezných a obráběných materiálů experimentálně výpočetní metodou. Je založena na určení koeficientů B , b podle dvou hodnot TES, změřených na tzv. vztažných bodech. Těmito body jsou teplota tavení čistého cínu (693°K) a mědi (1356°K).

Metoda značně zjednodušuje složitý proces cejchování přirozeného termočlásku. Ze změřených dvou bodů cejchovní křivky určíme její průběh výpočtem podle rovnice (4).

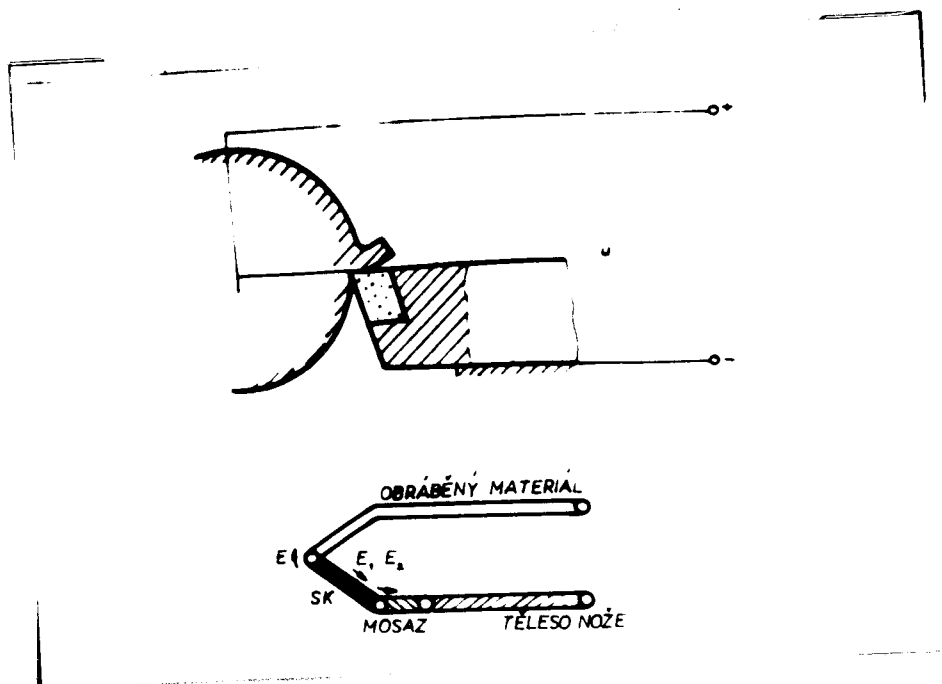
Výhodou metody přirozeného termočlásku je její pohotovost, jednoduchost, nenáročnost, a přitom spolehlivost. Nevýhodou je nutnost odisolovat nástroj a obrobek navzájem. Pro zvýšení přesnosti a spolehlivosti měření odisolovat nástroj a obrobek také od stroje. Dále pak lze za nevýhodu označit nutnost cejchovat vždy každou dvojici obráběného a řezného materiálu. K nevýhodám lze také zařadit i tu okolnost, že se neměří střední teplota na čele, ale celková střední teplota stykových míst na čele a hřbetě. Za další nevýhodu lze považovat to, že vždy jeden ze členů této dvojice se pohybuje a je velmi obtížné z něj pak snímat elektromotorickou sílu. Pro tento účel se používá různých převodních systémů, např. kotouček brodící se ve rtuti. Příklad takového uspořádání pro měření teploty při soustružení ukazuje obr. 2

VŠST Liberec Fakulta strojní	Měření teplot při ostření nástrojů	DPST - 1124/75	
		OE	List: 15



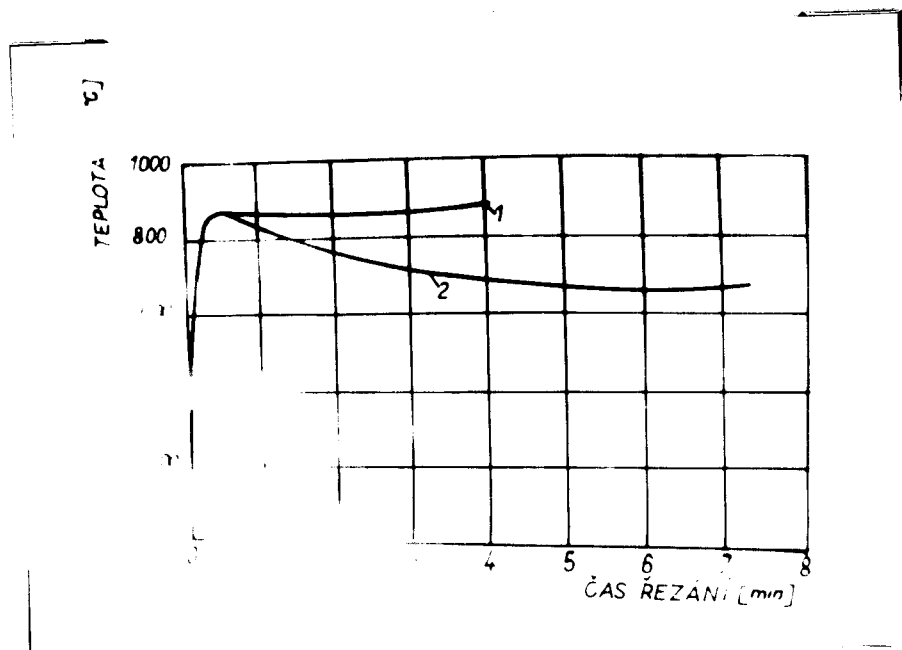
Obr. 2 Měření teploty metodou přirozeného termo-
čláčku

Tato metoda dává spolehlivé výsledky pro celistvé nástroje. U nástrojů opatřených mosazí pájenou břitovou destičkou objevuje se při prohřátí celého průřezu nože tzv. parazitní termočlánky mezi SK a mosazí a mezi mosazí a materiálem tělesa nože. Schematické znázornění na obr. 3 tuto okolnost vysvětluje.



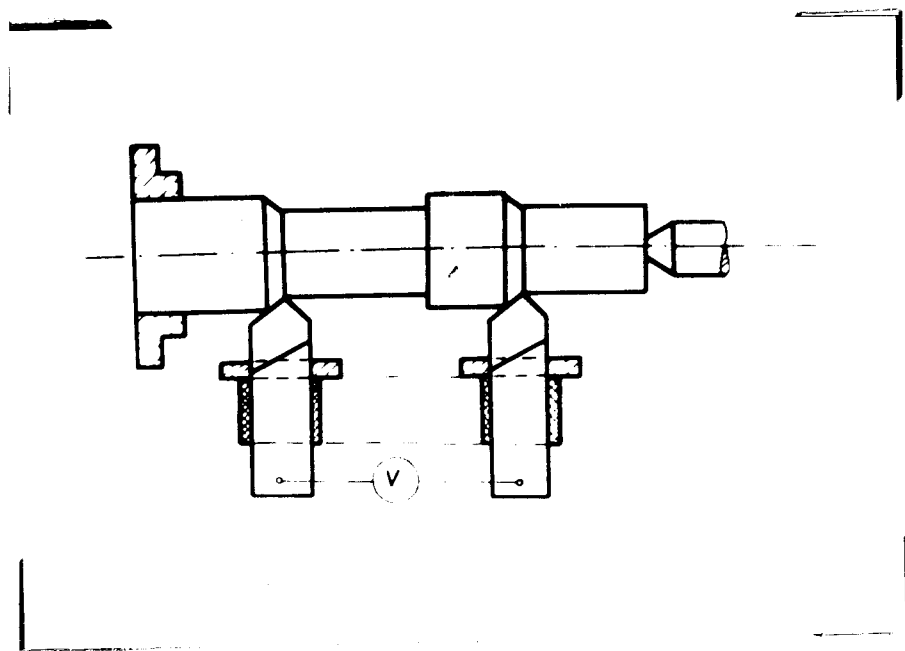
Obr. 3 Schema vzniku parazitních termočlánků

Vliv parazitních termočlánků se projeví asi po 5 až 10 vteřinách obrábění poklesem teploty řezání. Na základě opakovaných měření lze tento průběh znázornit diagramem, jak jej představuje obr. 4

Obr. 4 Závislost registrované teploty řezání na čase
pro celistvý nůž 1 a pro nůž s řeznou destičkou 2

2.2.1.2 Měření dvounožovou metodou

Některé nevýhody dříve uvedeného způsobu měření, zejména nutnost seřizování každého páru činných kovů a obtíže s vývodem signálu z rotujícího obrobku vedly německého výzkumníka Reichla /3/ v roce 1932 k návrhu dvounožové metody. Ta v podstatě odstranila některé nevýhody jednonožové metody. Základní schéma této metody ukazuje obr. 5.



Obr. 5 Měření teploty dvounožovou metodou

Princip metody spočívá v tom, že termočlánek zde tvoří dva nástroje, které mají různá termoelektrická napětí při stejných řezných podmínkách, obrábějí-li současně stejný materiál. Výsledné termoelektrické napětí je měřeno mezi těmito dvěma vzájemně izolovanými nástroji. Tato metoda vznikla z jednonožové tím, že oba nože vstupují do řezu postupně za shodných podmínek a na každém z nich vzniká jiné termoelektrické napětí. Rozdíl těchto napětí je měřítkem, resp. ur-

čuje teplotu řezání. Předpokladem pro použitelnost této metody jsou nejen stejné teploty obou nástrojů, ale také stejné rozdělení teploty, stejné normální napětí a stejná šířka kontaktní části.

Výhoda této metody spočívá v tom, že pro různé druhy obrobku je stejný vztah mezi termoelektrickým napětím a teplotou, tj. stejnému napětí odpovídá stejná teplota řezání i když obrábíme různý materiál.

Z toho vyplývá další výhoda, že proto není třeba cejchovat termočlánek materiál obrobku - nástroj. Stačí stanovit cejchovní křivku napětí mV - teplota °C pro pár vzájemně spolupracujících nástrojů a s nimi vystačíme až do konce jejich životnosti.

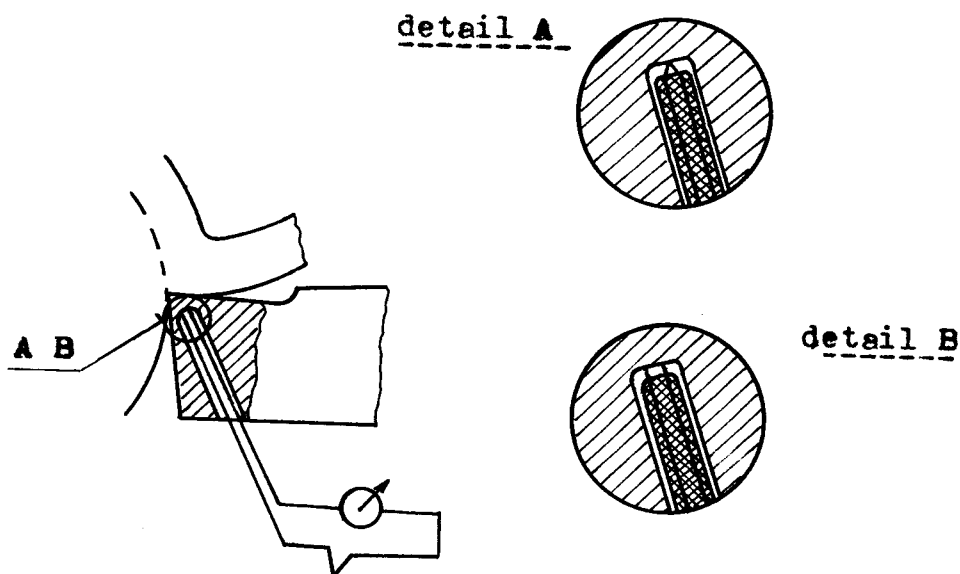
Nevýhoda, kterou sebou tato metoda nese a jež spočívá v rozdílné tepelné vodivosti a různém součiniteli tření, nelze v tomto případě eliminovat.

2.2.1:3 Měření umělým termočlánkem se dvěma cizími kovy

Prvé použití umělého termočlánku pro měření teploty v nástroji při obrábění pochází od Verbecka, který jej v roce 1920 chránil patentem. Po něm jej pak používá řada výzkumníků dodnes, takže lze říci, že se tento způsob měření stal běžně používanou měřicí technikou.

Princip této metody spočívá v tom, že se předem vyrobí úplný umělý termočlánek z drátů dvou kovů, které dávají dostatečně velkou TES např. chromnikl - nikl. Takto upravený a patřičně

isolovaný termočlánek se vloží, případně přivaří na dno vývrtu zhotoveného v nástroji. Na obr. 6 je schematicky znázorněno celkové uspořádání a na detailu A je patrný způsob uložení předem svařeného termočlánu. V některých případech je možno použít i zjednodušeného způsobu uložení, kdy na dno otvoru jsou přivařeny termočlánekové dráty jednotlivě. Toto uspořádání je zřejmé z detailu B.



Obr. 6 Měření teploty ^{umělým} termočlánekem s dvěma cizími kovy

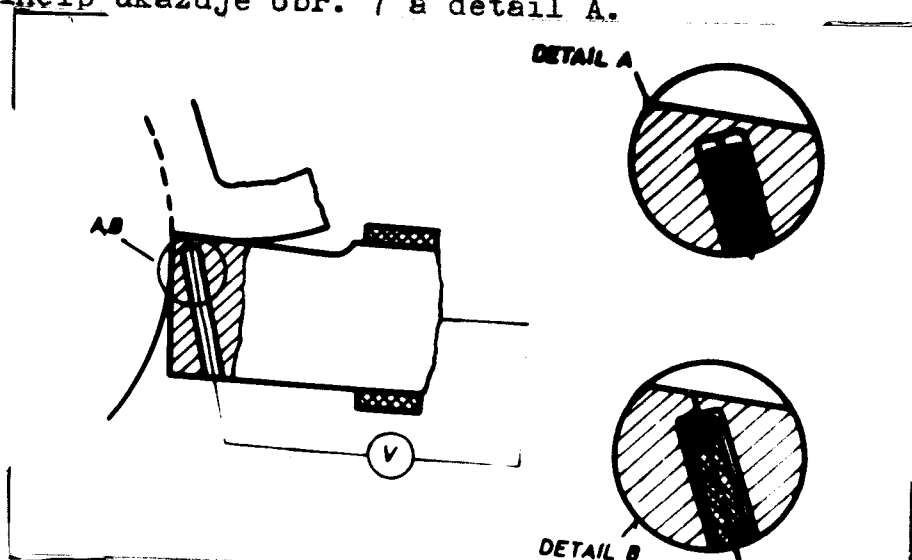
Za hlavní přednosti měření teploty pomocí umělého termočlánu lze považovat především to, že cejchovní křivky pro dané dva kovy jsou známy a že vznikající TES je přímo úměrné teplotě. Významnou výhodou je také to, že TES je relativně velká proti jiným kombinacím u jiných způsobů měření a že použitelnost této metody sahá až k 1.200°C .

Nevýhodou této metody je značná pracnost a obtížnost při přípravě otvoru v nástroji a při vkládání resp. přivařování termočlánku na dno otvoru. Některé z těchto obtíží je možno odstranit, avšak nikdy se předem nepodáří zkontrolovat stav a přednost uložení termočlánku ve vývrtu.

2.2.1.4. Měření termočlánkem s jedním cizím kovem

Pro stanovení teplotního pole nástroje se s ohledem na některé nevýhody předchozí metody dá použít jako jeden z termočlánekových kovů materiál vlastního nástroje. Tím se předejde některým obtížím, zejména je možno přesněji uložit tento jediný drát na dno vývrtu.

U této metody je termočlánek tvořen nástrojovým materiálem, v němž je zhotoven otvor a např. chrom-niklovým drátem, přivařeným na dno tohoto otvoru. Tento princip ukazuje obr. 7 a detail A.

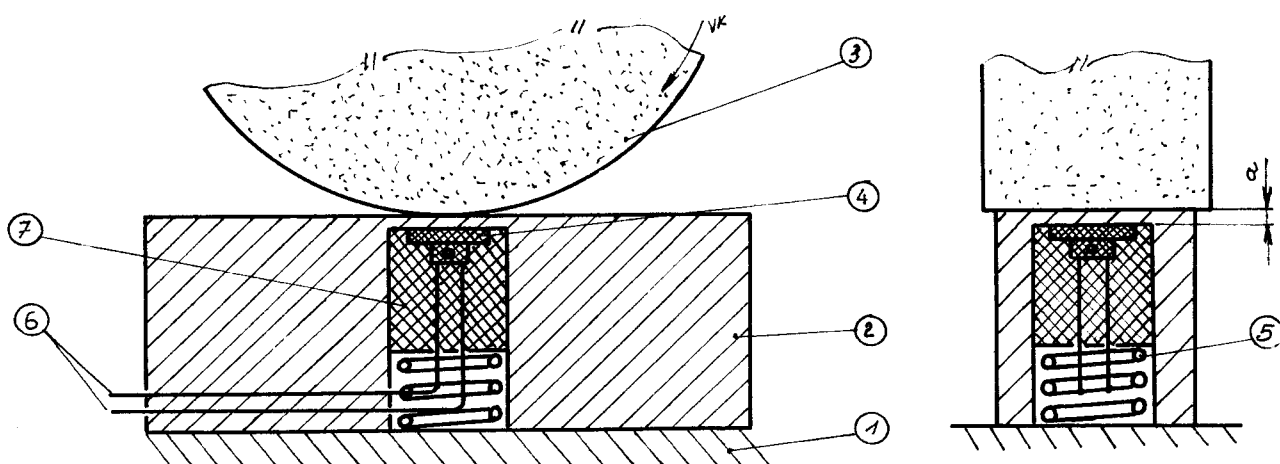


Obr. 7 Měření teploty umělým termočlánkem s jedním cizím kovem.

Druhou možnost představuje detail B. Zde je drát termočlánku vyveden otvorem až na povrch čela nože izolovaně a elektr. vodivé spojení vytvoří tříska. Tato metoda nemá ty hlavní výhody, které byly uvedeny u termočlánku se dvěma cizími kovy. Výše uvedené výhody nemohou tuto ztrátu nahradit. Přesto se však ve výzkumné praxi měření termočlánkem s jedním cizím kovem používá, protože v některých případech je výhodné.

2.2.1:5 Měření termistorem

Metodou měření teploty povrchové vrstvy termistorem, zabudovaným do otvoru zkušební vzorku (obr. 8) použil Danilenko /9/ pro měření v hloubce $a = 0,2$ až 1 mm pod povrchem.



Obr. 8 Měření termistorem

- | | | |
|----------------|------------------------|------------------|
| 1- stůl brusky | 2- zkušební vzorek | 3- brusný kotouč |
| 4- termistor | 5- přítlačná pružina | 6- vývody termi- |
| storu | 7- dentakrylová zátka. | |

Autor uvádí při použití termistoru jisté výhody při porovnání s jinými způsoby.

1. Malé rozměry dovolují zabudovat čidlo pokud možno nejblíže k povrchu.

2. Malá tepelná setrvačnost umožňuje určit okamžitou teplotu vrstvy při průchodu brusného kotouče nad zabudovaným čidlem.

3. Velký vlastní odpor.

4. Vysoká citlivost.

5. Jednoduché a spolehlivé indikační zařízení.

2.2.2 Určení teploty na základě změn struktury

Teplotu odpovídající určité struktuře látky a tím i určitým fyzikálním vlastnostem, lze určit z jejich konečného stavu. Každé teplotě tedy odpovídá určitá změna struktury a fyzikálních vlastností. Pro tuto změnu založenou na změně energie vzájemné vazby atomů a molekul je třeba dodat nebo odebrat energii z okolí, aby tento transport energie mohl proběhnout, musí po dostatečně dlouhou dobu trvat působení tepla na látku. Z toho je zřejmé, že okamžitá změna teploty nemůže být touto cestou určena. Taková měření jsou omezena pouze na stanovení stacionárního teplotního pole.

Přesto však lze tohoto způsobu měření použít jako doplňkového resp. kontrolního. Práce, využívající této metody lze rozdělit do dvou skupin. Do první můžeme zařadit využívající přirozené změny struktury. Ve druhé pak metody měření pomocí změn struktury přísad.

První skupina zahrnuje práce určující dosaženou teplotu (a trvající po dosti ~~čas~~ dlouhou dobu) ze změn tvrdosti nástroje z RO. Spojením bodů o stejné tvrdosti dostaneme křivky, které přibližně odpovídají isothermám. Tento postup použili např. Trent a Guljajev při stanovování teplotního pole nože.

Schaller studoval postup difuze materiálu třísky do nástroje a stanovil, že z rozsahu difuze lze usuzovat na teplotu čela nástroje.

Sem lze zahrnout i ~~zahrnout~~ známou přeměnu α železa na železo γ , která se při určitých podmínkách objevuje na dolní straně třísky. Je známo, že tato přeměna proběhne při teplotě 723°C za normálního tlaku a nepatrných rychlostech ohřevu.

Ve druhé skupině se vytváří dva možné postupy a to jednak nanášení přísadových látek na nástroj nebo obrobek a jednak přidávání přísad do materiálu nástroje nebo obrobku.

Nanášení přísadových látek se provádí buď posypáváním prášky kovů o známé tavné teplotě nebo použitím nátěrů na bázi kovových solí. Tyto nátěry (resp. křídý) známé pod názvem "Thermecolorfarben" reagují na dosaženou teplotu tím, že mění svou barvu, např. světle šedou na hnědou při teplotě 230°C .

Metody používající vložených přísad jsou z literatury známy jen dvě. Jednu z nich použil sovětský výzkumník Cocchadze a spočívala v tom, že do ocelového obrobku umístil měděné destičky. Při obrábění došlo k jejich částečnému odříznutí a na spodní straně třísky se měď objevila v kulovité formě. Z toho vyplývá, že při řezání bylo dosaženo tavicí teploty mědi 1084°C . Jako druhotný výsledek Küstersových pokusů s termočlánkem chromnikl - nikl zabudovaným do obrobku bylo zjištění, že na spodní straně třísky se objevila sotva $0,05\text{ }\mu\text{m}$ tlustá vrstva legování Ni z termočlánekového drátu. Lze předpokládat, že při řezání došlo k tavení niklu, jehož tavicí teplota je 1500°C .

Z uvedených údajů a z celkového zhodnocení vyplývá, že jde o metody poměrně pracné, v provedení zdlouhavé a často s dosti málo přesnými výsledky. Mnohé z nich nelze v současné době obrábění vůbec použít.

2.2.3. Některé další metody stanovení teploty při obrábění

Z přehledu zpracovaného do tabulky na obr. 1 je zřejmé, že až dosud byla podrobněji popsána ta část metod které se zbývají měřením teploty při obrábění. S ohledem na použití, této zprávy shrneme ostatní metody do stručného pohledu.

K měřicím metodám zahrnujeme ještě tzv. bezdotýkové způsoby měření, které zpracovávají tepelné záření, vycházející z ohřátých míst nástroje, obrobku nebo třísky. V obecných případech je možno použít pro tyto pří-

- p a d y f y z i k á l n í c h z á k o n ů, zejména Stefan-Bolzmanova, Planckova a Wienova. Pro případ obrábění lze však použít pouze měření celkového záření z oteplených míst podle Stefan-Bolzmanova zákona. Toto záření je usměrněno soustavou čoček na snímač, spojený s registračním přístrojem. Naměřená hodnota je úměrná snímané energii záření.

Podle použitých snímačů rozlišujeme tři základní měřicí metody:

- a) s použitím termočlánku
- b) s použitím fotochemického snímače
- c) s použitím fotoelektrického snímače

Ve výzkumné praxi se v poslední době pracuje s oblibou metodami analogickými, spočívajícími na teorii podřadnosti a stavbě modelů. Tento postup se s výhodou používá tam, kde daný problém je matematicky obtížně řešitelný, případně tam, kde nelze stanovit všechny působící vlivy a vyjádřit je okrajovými podmínkami.

Stanovení teploty výpočetními metodami je závislé na správně zvolené celkové výpočtové cestě, protože jinak zůstávají komplikované rovnice nesrozumitelné. V každém případě se musí vycházet z počátečních hodnot, které jsou stanoveny na základě experimentálních měření. Sem spadají především hodnoty rezných sil, pýchování třísky, úhlu střižné roviny apod.

2.3 Výběr a zdůvodnění použitých měřicích metod

Shrneme-li dosavadní informace o metodách

měření teploty řezání při soustružení, pak docházíme k poznatku, že pro účely provozních měření s odpovídající přesností, jednoduchostí provedení a nenáročnosti cejchování je možno doporučit tyto metody:

přirozený termočlánek

umělý termočlánek se dvěma cizími kovy

Důvody, které k této volbě vedou vyplývají z hlavních výhod a nevýhod jednotlivých metod a z požadavků na přesnost a použití výsledků měření.

Přirozený termočlánek vyniká jednoduchostí a tím současně i pohotovostí a vysokou spolehlivostí. Nevýhodou vyvolanou nutností vzájemné elektrické odizolovanosti soustavy stroj - nástroj - obrobek, lze snadno technicky řešit a rozhodně ji převažují ostatní kladné vlastnosti této metody. Další nevýhodou, kterou lze spatřovat v náročném cejchování dvojic nástroj - obrobek částečně řeší práce Cocchadzeho /8/. Jinak zůstává otázka cejchování úzkým místem této metody. Těžkosti vznikající se snímáním TES z rotující součásti, lze dnes považovat za vyřešené, neboť existují jednak dobře propracované systémy převaděčů, ale také vysílačů - přijimačů. Odpověď na zbývající námitku, která spočívá v obtížích s určováním střední a maximální teploty dává práce Fokinova /7/.

Lze tedy závěrem říci, že metoda přirozeného termočlánu je vhodnou provozní metodou a lze ji pro účely měření teploty řezání doporučit.

VŠST Liberec	Měření teplot při ostření nástrojů	DPST - 1124/75	
Fakulta strojní		OE	List: 27

Umělý termočlánek se dvěma cizími kovy se díky dvěma hlavním přednostem - známá cejchovní křivka a relativně velká TES - stal důležitou laboratorní metodou. Využívá se jí často ke kontrole výsledků, získaných ostatními metodami.

Nevýhody, spočívající zejména v obtížích při vyvrtávání otvoru a ve značné pracnosti při zhotovování vlastního termočlátku a jeho přivaření na dno vývrtu jsou snadněji překonatelné a jsou vyváženy přesností a spolehlivostí výsledků.

S ohledem na aplikaci tohoto závěru na řešený problém měření teplot ve slinutém karbidu při ostření obráběcího nástroje se jeví jako nejvýhodnější metoda umělého termočlátku se dvěma různými kovy, nejlépe níklchrom - nikl. Je to metoda dobře propracovaná na katedře obrábění a ekonomiky na VŠST v Liberci na několika předchozích diplomových pracech a výzkumných úkolech a bylo při ní získáno mnoho cenných zkušeností. Kromě toho má katedra pro použití této metody i dobrou přístrojovou výbavu.

3. Stanovení metodiky, příprava nástrojů a zařízení pro zkoušky, rozvržení zkoušek

3.1 Odůvodnění metody pro daný úkol a metodiku

Hlavním požadavkem pokusu bylo měření teplot při ostření nástrojů s břitovými destičkami ze slitutého karbidu. Za tím účelem bylo nutné uspořádat měření tak, aby byla měřena teplota ve směru kolmém k broušenému povrchu.

Již dříve byly uvedeny metody, které umožňují měřit teplotu. Pro náš případ se jeví jako nejvhodnější metoda, založená na použití umělého termoelektrodlánku s dvěma cizími kovy.

Tato má ve srovnání s ostatními způsoby měření teplot řadu výhod. Jako nejdůležitější lze uvést:

1. Malé rozměry, které dovolují zabudovat teplý spoj termoelektrodlánku co nejblíže k měřenému místu. Nedochází při tom k narušení teplotního pole v místě měření.

2. Malá tepelná setrvačnost, znemožňující měřit i rychlé změny teplot při průchodu brusného kotouče nad měřeným místem.

3. Velká citlivost.

4. Dobrá mechanická odolnost.

5. Široká oblast teplot, v níž lze měřit.

6. Možnost snadného měření teplotních rozdílů.

n

VŠST Liberec	Měření teplot při ostření nástrojů	DPST - 1124/75	
Fakulta strojní		OE	List: 29

7. Snadné cejchování měřicího systému.

8. Spolehlivé a jednoduché indikační zařízení.

V případě použití termočlánku budeme měřit termoelektrickou sílu, odpovídající nějaké střední hodnotě teploty, pro kterou můžeme psát vztah:

$$\Theta_{sr} = \frac{\int_S \Theta ds}{S}$$

kde: Θ - teplota v elementární ploše ds [$^{\circ}\text{C}$]

S - celková plocha styku m^2

Nevýhodou této metody je značná pracnost a obtížnost při přípravě otvoru v nástroji při vkládání (resp.) přivařování termočlánku na dno otvoru. Některé z těchto obtíží je možné odstranit, avšak nikdy se předem nepodaří zkontrolovat stav a přesnost uložení termočlánku ve vývrtu.

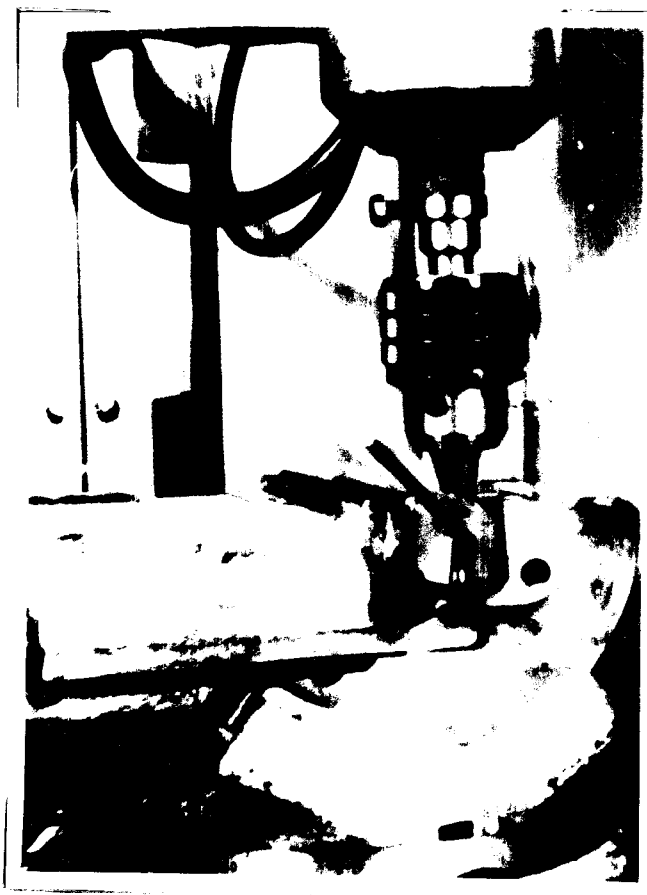
3.2 Příprava nástroje ze slinutého karbidu

Po úvaze, ve kterém bodě teplotního pole břitové destičky má být teplota měřena, vyvrtá se elektroerodivním způsobem otvor vhodného průměru a hloubky, na jehož dno se přivaří teplý spoj termočlánku se známou cejchovní křivkou.

3.2.1 Hloubení otvorů do břitové destičky

Hloubení otvorů do břitové destičky je možné provést elektroerodivním způsobem na hloubícím stroji VJK - 3. Nůž se upne do naklápěcího svěráku a naklopí se tak, aby pro vyhloubení otvoru bylo

jeho dne v místě, kde má být teplota destičky měřena, obr. 8.

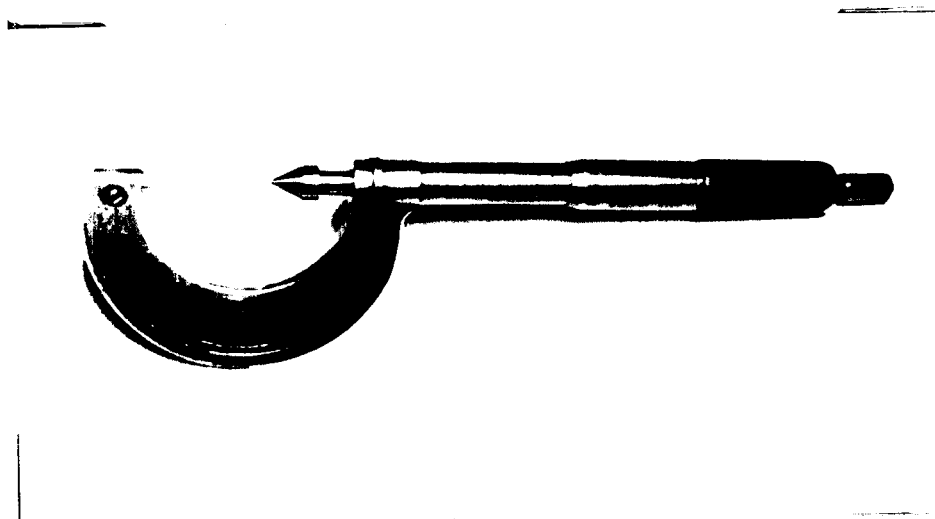


Obr. 8 Elektroerosivní hloubení otvorů v břitové destičce.

Průměr otvoru je volen podle keramické izolující trubičky termočlánku. Pro keramickou dvoukapiláru $\varnothing 1,2$ mm je vhodný otvor $\varnothing 1,4 \div 1,5$ mm. Hlubící elektroda pro tento otvor má mít $\varnothing 1,4$ mm. Lze použít elektrodu z mosazi Ms 60, Wolframu nebo jiného materiálu, doporučeného v návodu ke stroji. Jako nejlepší (s nejmenším radiálním úbytkem se

VŠST Liberec	Měření teplot při ostření nástrojů	DPST - 1124/75	
Fakulta strojní		OE	List: 31

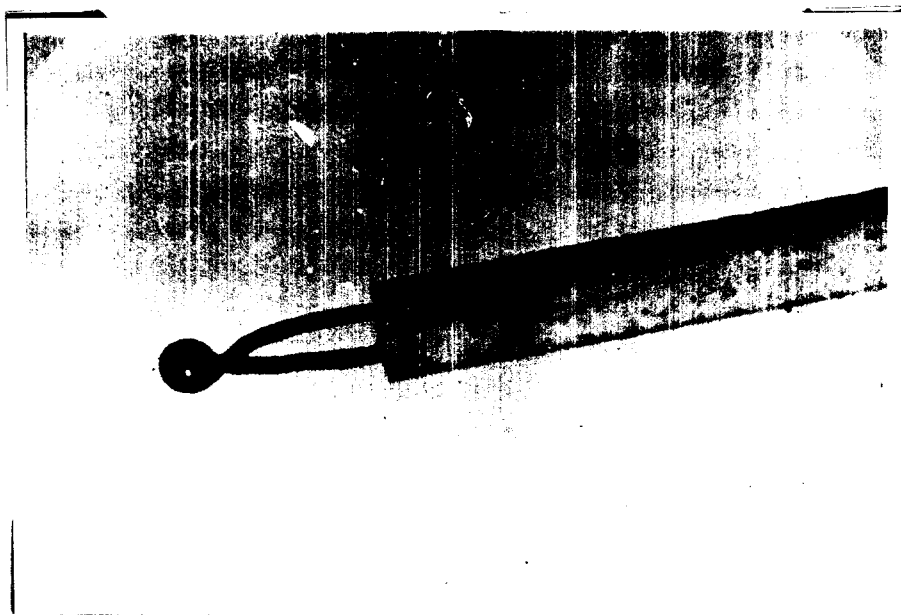
osvědčila elektroda z broušeného Wolframového drátu $\varnothing 1,4$ mm. Pro měření vzdálenosti dna otvoru od čela nástroje byl vhodně upraven mikrometr. Způsob úpravy je patrný z obr. 9.



Obr. 9 Mikrometr upravený k měření tloušťky dna hloubeného otvoru.

3.2.2 Příprava termočlánu

Pro měření byl zvolen termočlánek Nicr-Ni použitelný do teplot přes 1.000°C . Cejchovní křivky tohoto termočlánu udává výrobce. Vhodný průměr drátu je 0,2 mm. Svaření termočlánu se provede buď tak, že konce obou vodičů smotáme v délce asi 2 mm nebo přivaříme dva dráty na dno otvorů jak je uvedeno na obr. 6 detail A, B. V prvním případě (detail A) potřeme smotané vodiče pastou pro tvrdé pájení a v kyslíkoacetylenovém plameni svaříme tak, až smotaný konec odtavíme a na spoji dvou drátů vznikne kulička průměru asi 0,5 mm (obr. 10)



Obr. 10 Svařený termočlánek.

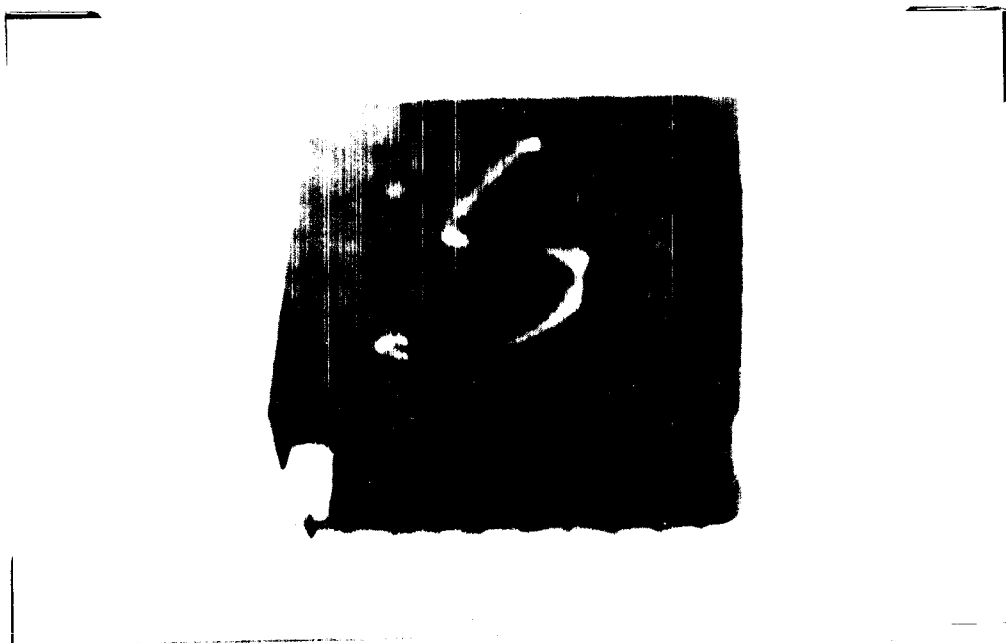
Stopy tavidla odstraníme kyselinou dusičnou nebo sírovou a řádně opláchneme. Oba dráty termočláunku navlékneme do keramické isolační trubičky vhodné délky s vnějším průměrem 1,2 mm a dvěma kanálky $\varnothing$ asi 0,3 mm.

Druhý případ výroby termočláunku podle detailu B je jednodušší než detail A a proto byl v našem případě použit u všech zkušných vzorků.

3.2.3 Vestavění termočláunku

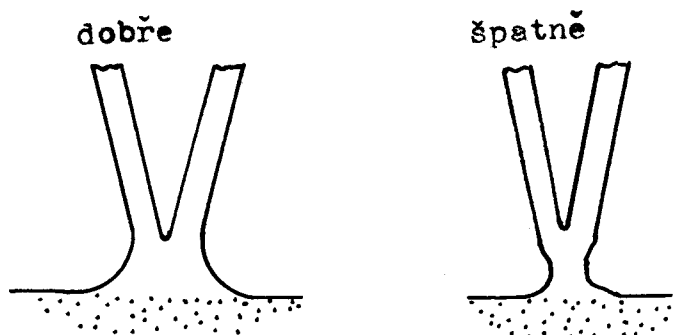
Termočlánek upravený podle 3.2.2 je připraven k vestavění do nástroje obr. 11. Nástroj s otvorem vyhloubeným do požadovaného místa v břitové destičce důkladně vypláchneme organickým rozpouštědlem (metakrylát tolulu apod.). Pomocí injekční stříkačky vypláchneme i vyhloubený otvor. Je vhodné před vypláchnutím

nutím nástroj mírně nahřát, aby se po odpaření rozpouštědla na jeho povrchu nesrážela voda.



Obr. 11 Vestavěný termočlánek v břitových destičkách

Termočlánek přivaříme na dno připraveného otvoru elektrickým výbojem kondenzátorovou svářičkou na termočlánky. Předtím pečlivě vyhledáme nejvhodnější napětí a kapacitu kondenzátoru tak, že zkusme přivařujeme zkušební termočlánek k rovné ploše destičky z téhož slinutého karbidu a měříme napětí i kapacitu až svar vykazuje dostatečnou pevnost a jeho tvar odpovídá obr. 12



Obr. 12 Tvar sváru

VŠST Liberec	Měření teplot při ostření nástrojů	DPST- 1124/75	
		OE	List: 34

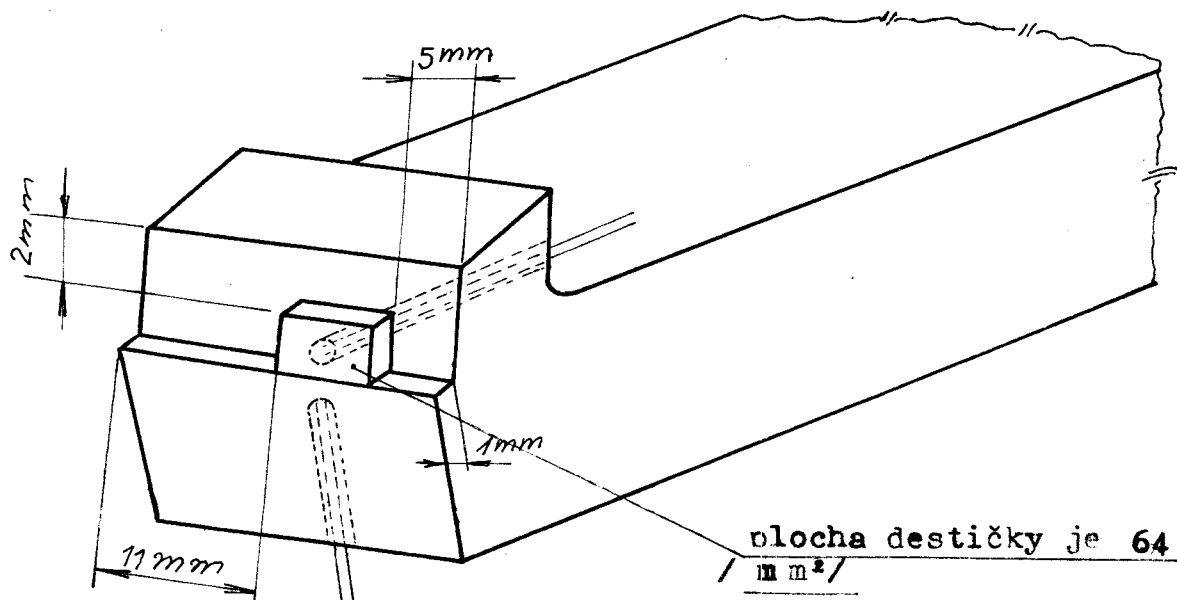
Fakulta strojní

Po dokonalem přivaření termočlánku povytáhneme isolační keramickou dvoukapiláru z otvoru a injekční stříkačkou vstříkneme kapku řídké suspenze ve vedě (křemičitan sodný a voda v poměru asi 1:1). Isolační trubičku zasuneme zpět. Nástroj vložíme do sušicí pece a při teplotě asi 80°C necháme vedu odpařit. Isolační trubičku zajistíme v otvoru kapkou epoxydové pryskyřice. Vytvrzení lepidla provedeme opět v sušicí peci při 80°C.

V místě, kde předpokládáme, že se nebude měnit teplota provedeme studený spoj termočlánku. K oběma srátům termočlánku připájíme měděné vodiče (nejlépe plochý dvojvodič), ke kterému připojíme měřicí přístroj. Není-li délka dvojvodiče větší než asi 2 mm a je-li jeho průřez alespoň 0,5 mm², není nutno provádět korekci čtení na milivoltmetru vzhledem k úbytku napětí na vedení.

3.3 Příprava upraveného nože s pájenou destičkou ze slinutého karbidu

Pouze břitová destička je ze slinutého karbidu a držák je z konstrukční oceli. Postup vestavění termočlánku je zcela shodný s postupem uvedeným v 3.2. Postup se liší v provedení otvorů pro zabudování dvou termočlánků. Viz obr. 14.



Obr. 14 Vestavění termočlánku v upraveném noži
s pájenou destičkou

3.4 Metodický postup při měření

Měření pomocí umělého termočlánku s dvěma cizími kovy provedeme následovně: Břítové destičky s vestavěným termočlánkem jsou sepnuty v nožovém držáku obvyklým způsobem. Termoelektrickou sílu je možné měřit přímo na ukazujícím milivoltmetru cejchováním pro daný termočlánek přímo ve stupních celsia, nebo v milivoltech, které podle cejchovní křivky na $^{\circ}\text{C}$ převedeme. Měřenou teplotu je možné registrovat v závislosti na čase libovolným zapisovačem nebo oscilografem, jehož vstup je dostatečně citlivý, s výhodou lze použít souřadnicového zapisovače s časovou základnou.

3.5 Cejchování

Použijeme-li normalizovaný drát pro termočlánky, není nutné cejchování, protože cejchovní křivky těchto termočlánků jsou známy, viz tabulka v příloze.

Použijeme-li termočlánek, jehož ocejchovní křivka není k dispozici, je nutné ho ocejchovat postupem uvedeným např. ve /4/.

3.6 Měřicí přístroje a zařízení

Stroj BBT 350

Brusný kotouč: ČSN 22 45 30

typ: 44141 3545

rozměry: 350 x 150 x 270

C₄₉ 60 K 9V

otáčky: n = 1420 ot. min.⁻¹

střední rychlost:

= 23,7 m . s⁻¹

Přípravek: Broucí přípravek teplot ostření

Zkušební vzorky:

- vzorek s pájenou destičkou s S₂
- řezné destičky SNUV 12 04 12 S₂

Milivoltmetry a tepleměrné milivoltmetry

ML - 10 rozsah: 15; 30 mV

ML - 10 t rozsah: 800; 1200; 1600°C

ML - 21 rozsah: 1,5; 3 mV

vyrábí: METRA, n. p. Blansko

dodává: Technomat, prodejna METRA Praha,
Křižovnická 7

Souřadnicový zapisovač

ENDIM 2002/I

vyrábí: VEB Messapparatewerk, Schleifheim

dodává: Kancelářské stroje, Praha

Obr.15. Pohled na měřicí pracoviště.



Časová základna:

ČZB Elektromechanická časová základna
OP - 280 - 30

vyrábí: ARITMA, n. p.

dodává: ARITMA, n. p. Praha

Drát pro termočlánky:

Niklchrom - Nikl $\varnothing$ 0,2 mm

vyrábí: Degussa, Hanan, NSR

dodává: Metalimex, Praha

Wolframový drát broušený $\varnothing$ 1,4 mm

vyrábí a dodává: Tesla, n. p.

Rožnov pod Radhoštěm

Keramické isolační kapiláry:

vyrábí: Keramische Werke Hermsdorf, NDR nebo
Degusa Hanan, NSR

Svářečka na termočlánky:

vyrábí a dodává: Výrobní dílny VŠST, Liberec

Pohled na měřicí pracoviště ukazuje na obr.15

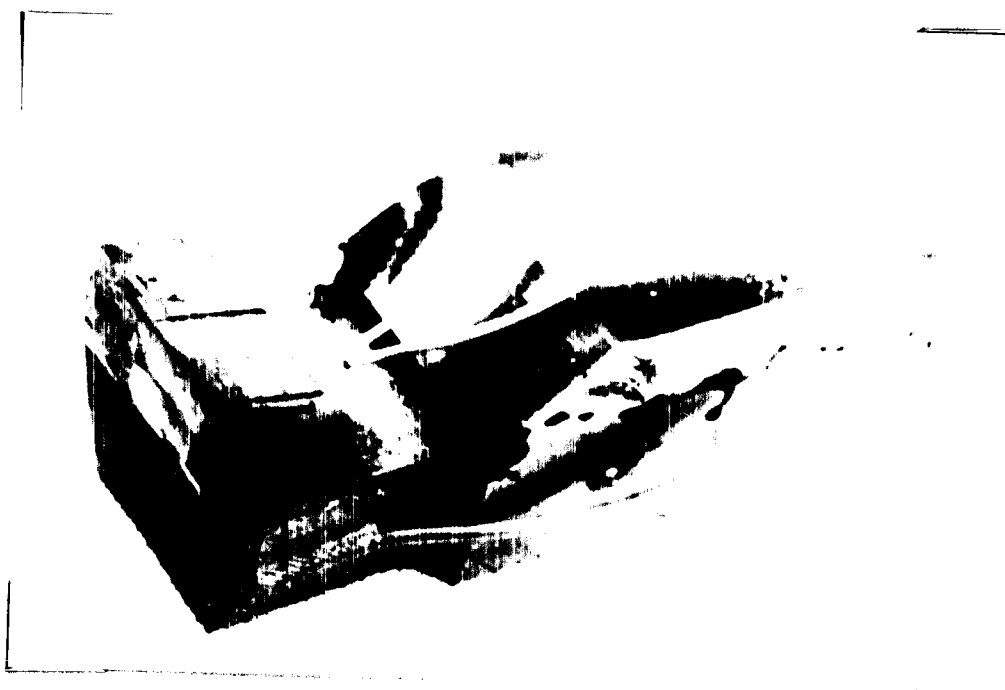
3.7 Rezvržení zkoušek měření teplot při ostření
slinutého karbidu

Rezsah zkoušek a jejich sled byl stanoven
následovně:

3.7.1 Měření teplot ve vzorku s připájenou řeznou
destičkou

Umístění dvou termočlánků za sebou a jejich
umístěním co nejblíže k sobě jsme sledovali do jaké

míry nám postup tepla do držáku nástroje ovlivní snížení teplot v ostřeném slinutém karbidu - obr. 16. Teplota ve slinutém karbidu byla registrována přístrojem ENDIM a teplota v nožovém držáku milivoltmetrem s teploměrnou stupnicí.



Obr. 16 Vzorek s pájenou destičkou

3.7.2 Měření teplot ostření v různých místech řezné destičky

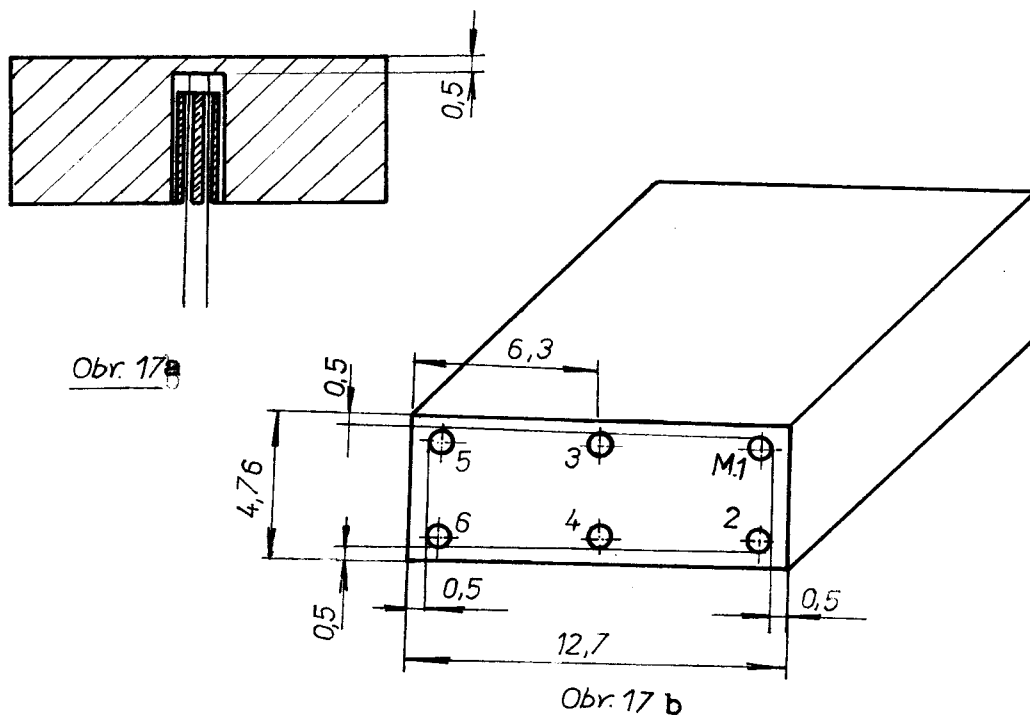
Účelem těchto zkoušek bylo zjistit:

- a) Zda nedochází k různým teplotám na různém průměru brusného kotouče, neboť z tohoto rozdílu v průměrech vyplývá i rozdíl v řezných rychlostech

na levé a pravé straně jednoho hřbetu řezné destičky.

b) Zda nedochází k různým teplotám v místech, kde brusný kotouč nabíhá a kde opouští hřbet řezné destičky.

Z tohoto důvodu byly teplé spoje termočlánků umístěny do rohů řezné destičky a do jejího středu 0,5 mm pod hřbetní plochou, viz. obr.17a. Okraj otvoru byl vyjiskřen ve vzdálenosti 0,5 mm od stěn řezné destičky tak, jak je uvedeno na obr. 17.b.



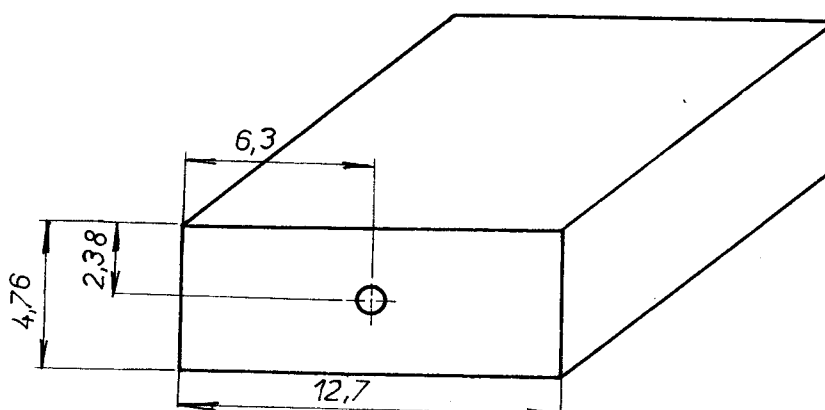
Obr.17a.Umístěný termočlánek do rohu řezné destičky

Obr.17b.Měření teplot v různých místech řezné destičky

Přítlačná síla při těchto zkouškách byla konstantní a brusný kotouč před každou zkouškou řádně srovnán.

3.7.3 Měření teplot ostření při různé přitlačné síly

Těmito zkouškami bylo sledováno, do jaké míry ovlivňuje přitlačná síla teplotu při ostření slinutého karbidu; opět za předpokladu, správně srovnaného brusného ketouče. Termočlánky pro tento druh zkoušek byly vestavěny do řezné destičky tak, aby teplý spoj ležel uprostřed měřené hřbetní plochy 0,5 mm pod jejím povrchem, viz obr. 18



Obr. 18 Měření teplot při různé přitlačné síle

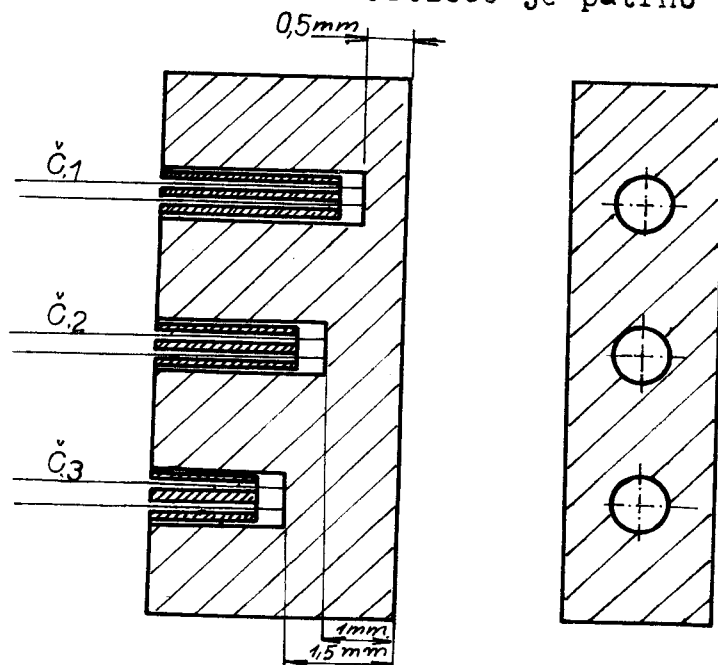
3.7.4 Současné měření teplot ostření v různých hloubkách řezné destičky

a) Jak se bude měnit strmost narůstání teploty od ostření, měřené v různých vzdálenostech od ostřené hřbetní plochy řezné destičky.

b) Jak dalece se časově posune nárůst jednotlivých teplot, měřených v těchto přesně odstupňovaných hloubkách.

c) Do jaké míry se projeví pokles měřené teploty vlivem vedení tepla do okolního slinutého karbidu a do nožového držáku.

K tomuto účelu byly zhotoveny dva vzorky. Každý z nich byl opatřen třemi termočlánky s různou tloušťkou dna (0,5 mm, 1,0 mm a 1,5 mm). Rozmístění termočlánků v řezné destičce je patrné z obr. 19.



Obr. 19 Současné měření teplot ostření v různých hloubkách řezné destičky

4. Vlastní zkoušky, jejich průběh a hodnocení výsledků zkoušek

V předchozím odstavci bylo řečeno, že zkoušky ostření byly prováděny na ostřížce BBT 350. Tento stroj je opatřen dvěma brusnými kotouči jakosti C₄₉. Jeden z nich je určen pro hrubovací ostření (C₄₉ 46 J gV) a druhý je pro práci na čisto (C₄₉ 60 K gV). Bylo rozhodnuto, že zkoušky budou prováděny na jemnějším brusném kotouči, který mívá při otupení větší sklon k pálení. Současně bylo rozhodnuto, že všechny zkoušky budou prováděny za sucha, neboť tento případ je pro výšky dosahovaných teplot případem nejpříznivějším. Odpadně tím zároveň jeden z faktorů, kte-

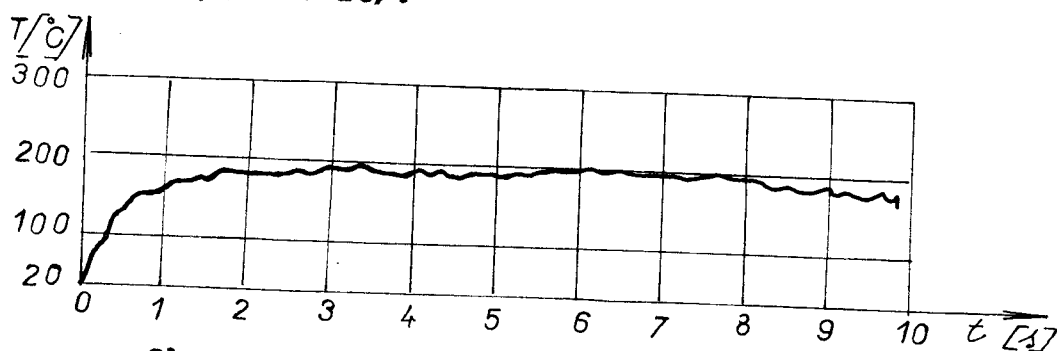
rý rovněž ovlivňuje teplotu ostření a to je odvod tepla do chladicí kapaliny.

Toto naznačené uspořádání dovoluje měřit teplotu vzorků v přesně definované vzdálenosti od broušeného povrchu. Teplota se objevuje na zapisovači nebo na oscilografu jako funkce času.

Postupným ubrušováním vzorku se broušený povrch přibližuje k místu měření, až po odbroušení poslední části přídatku se dosáhne styku brusného kotouče s termočlánkem. Měření končí tím, že nastane přerušeni termočlánku.

4.1 Zkoušky vzorku s připájenou řeznou destičkou

Diagram teploty získaný touto zkouškou potvrdil předpoklad, že ve slinutém karbidu v blízkosti pájky a tedy nožového držáku, dochází k okamžitému odvádění tepla. Použitým měřicím zařízením nebylo prakticky možno zjistit opožděný nárůst teploty v držáku. Vyplyvá to přirozeně z toho, že pájka je velmi dobrým vodičem tepla. Teplota ve slinutém karbidu i v držáku byla stejně vysoká a dosahovala nejvyšší teploty asi 200°C /Obr. 20/.



Obr. 20 . Průběh zkoušky vzorku.

VŠST Liberec	Měření teplot při ostření nástrojů	DPST - 1124/75	
Fakulta strojní		OE	List: 44

Teploty v ostatních částech slinutého karbidu vzdálenějších od vrstvy pájky byly ještě vyšší, ale nebylo účelem této zkoušky je zjišťovat.

Tato zkouška pouze potvrdila, že lze bezpečně nahradit zkoušky s připájenými vzorky zkouškami se vzorky mechanicky přidržovanými bez nebezpečí, že by provedený výzkum byl neobjektivní a zkreslený výhodnějšími podmínkami.

4.2 Zkoušky vzorků mechanicky přidržovaných

Zkoušky byly prováděny tak, že ostříč přitlačoval nástroj na brusný kotouč určitou silou. Na základě tohoto jsem konstruoval přípravek, viz příloha.

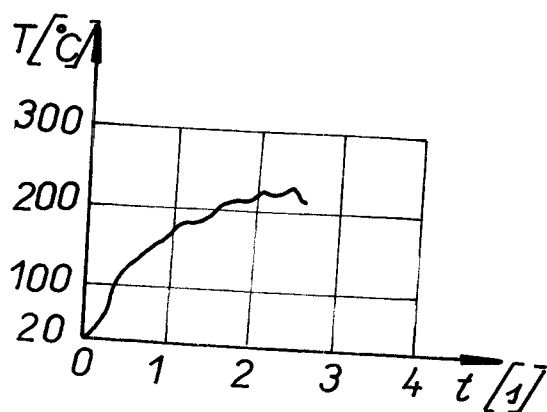
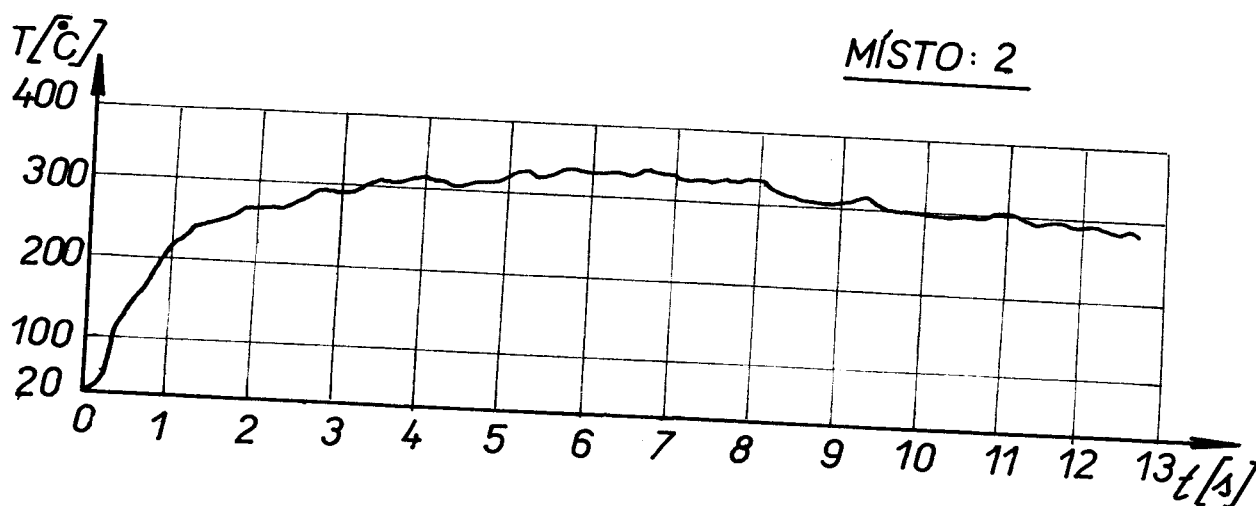
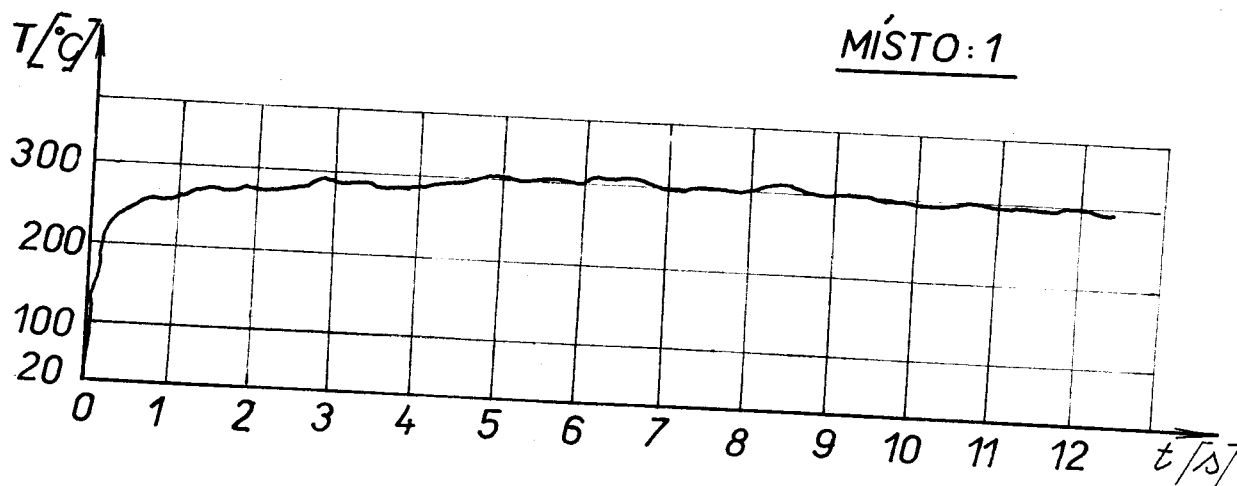
4.2.1 Zkoušky s konstantní přitlačnou silou

Přitlačná síla v přípravku je volena 2,5 kp, čili ≈ 25 N.

Pro tyto zkoušky bylo celkem připraveno sedm vzorků s termočlánky zabudovanými takto: (posuzováno ze strany ostříče)

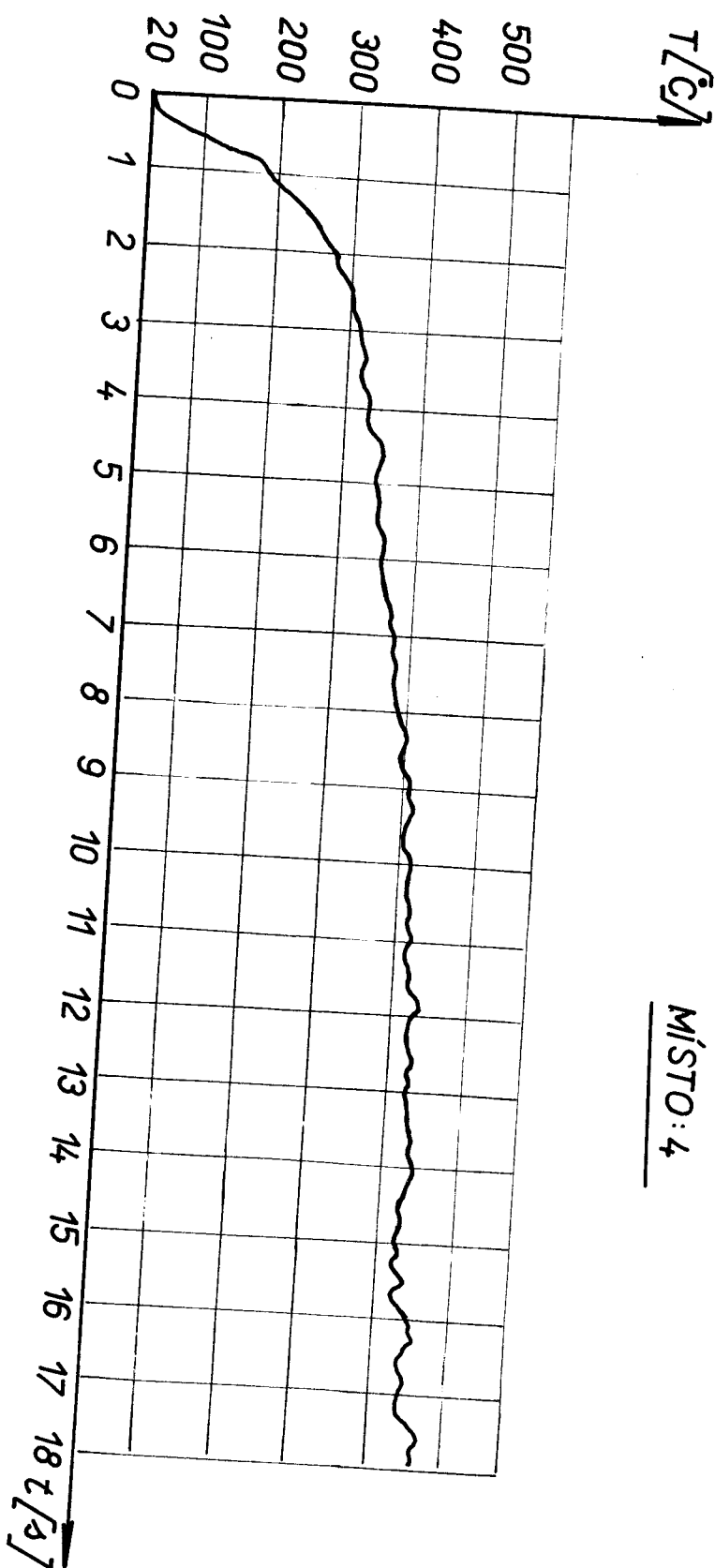
- místo 1: v pravém rohu vzorku nahoře
- místo 2: v pravém rohu vzorku dole
- místo 3: uprostřed vzorku nahoře
- místo 4: uprostřed vzorku dole
- místo 5: v levém rohu vzorku nahoře
- místo 6: v levém rohu vzorku dole.

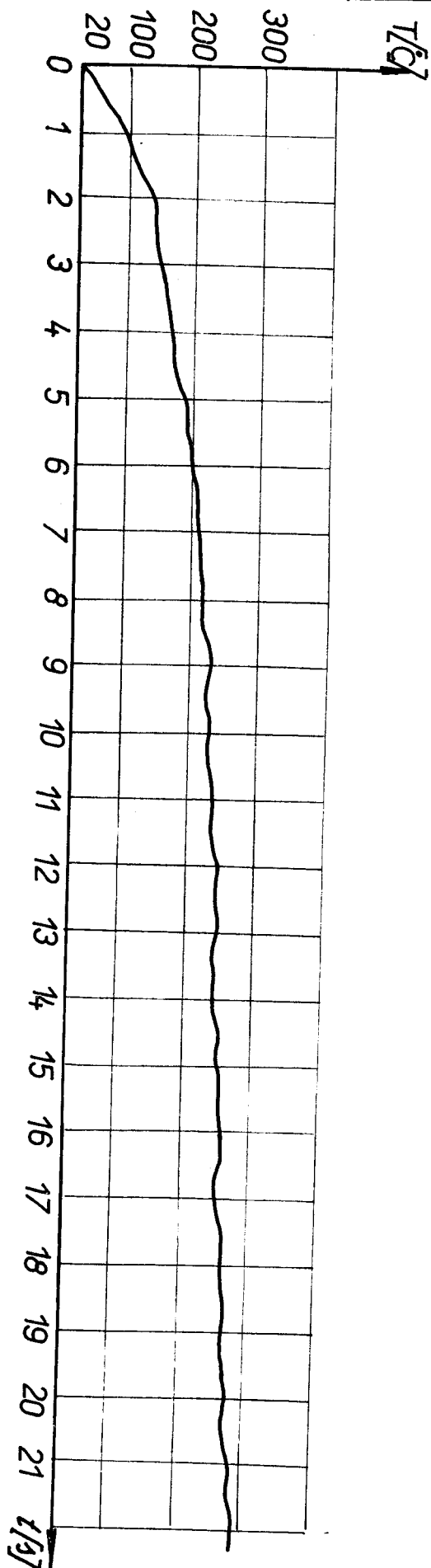
Termočláanky na pravé straně vzorků byly ostřeny menším průměrem brusného kotouče a tedy menší řeznou rychlostí a termočláanky na levé straně větší řeznou rychlostí. Jeden ze vzorků byl použit pro ověření zvoleného teplotního a časového rozsahu záznamu. Dalších 6 vzorků bylo použito pro vlastní zkoušky, při kterých byl v některých případech zjišťován také vliv nerovnaného brusného kotouče. Záznamy teplot jsou uvedeny na obr. 21. Bylo zjištěno, že při nerovnaní brusného kotouče dochází k podstatnému prodloužení času potřebného pro přebroušení termočláanky, který se v záznamu zřetelně projeví náhlými extrémními výchylkami. U některé zkoušky však nedošlo k probroušení termočláanky protože byl brusný kotouč před zkouškou orovnan kolečkovým orovnávačem. Dá se předpokládat, že nedostatek v tomto případě může být buď v nedokonalém orovnaní brusného kotouče, nebo v chybném zabudování termočláanky. Vyhlazený záznam u zkoušek č. 5 a č. 6 může být také způsoben chybou v termočláanky. Teploty při těchto zkouškách se pohybovaly v rozmezí od 250°C do 450°C . Nejnižší byla naměřena u zkoušky č. 5 a naopak nejvyšší teplota je u zkoušek č. 4. U zkoušek v ostatních místech řezné destičky se pohybovaly teploty kolem 350°C . Lze z těchto výsledků usoudit, že v případě menších rozměrů ostřené nástroje prakticky nevzniká podstatný rozdíl v teplotách ostření naměřených v různých místech řezné destičky. To zjednodušilo postup při zjišťování teplot ostření při různé přítlačné síle.

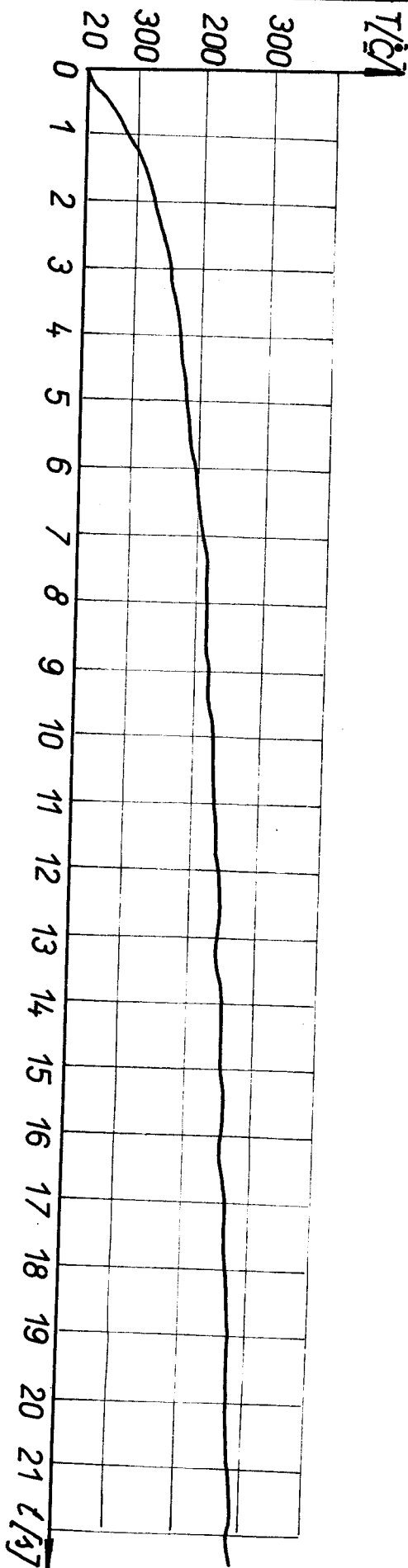


Obr. 21. Závislost teplot na čase

Závislost teplot na čase

MÍSTO: 4Obr. 21.

MÍSTO : 5Obr. 21

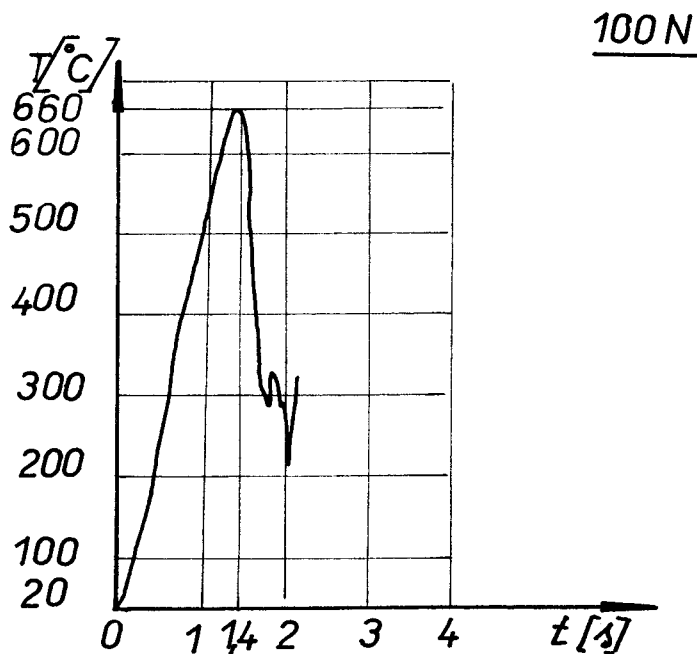
MÍSTO : 6OBR. 21.

4.2.2 Zkoušky s proměnnou přítlačnou silou

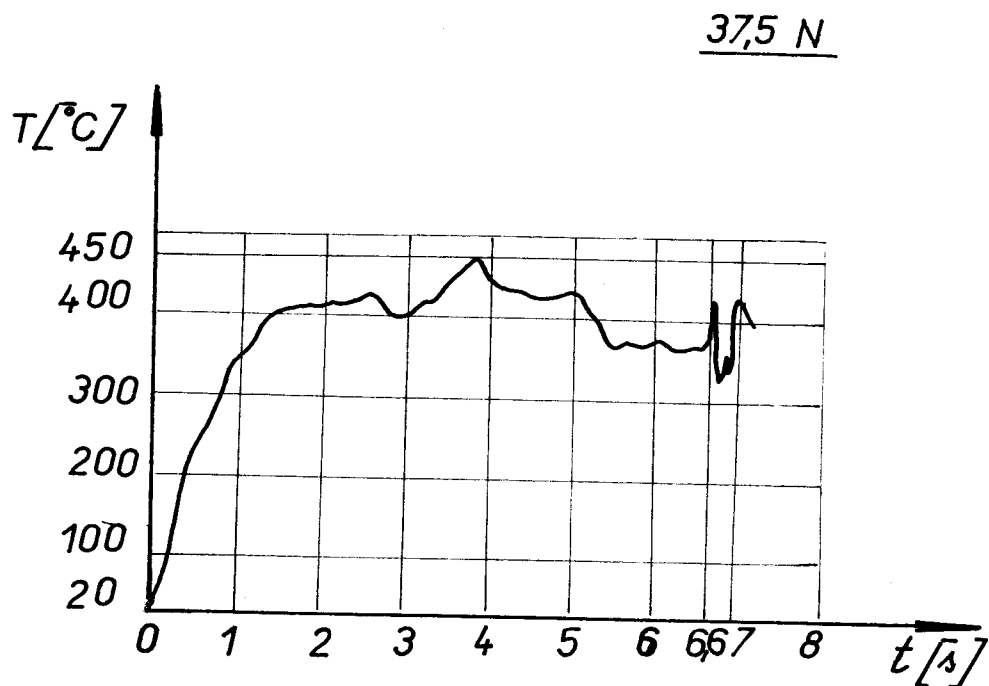
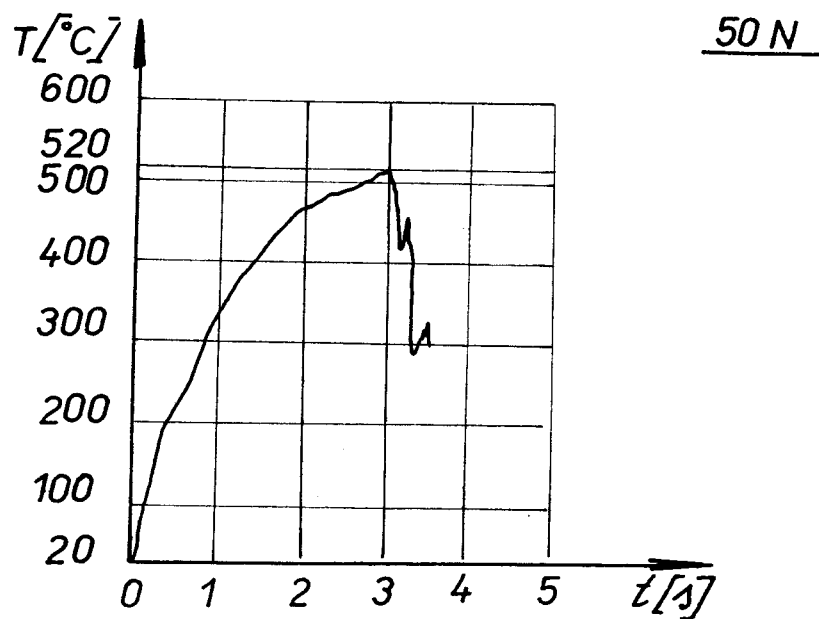
Toto měření teplot v závislosti na přítlačné síle, bylo možno na základě výsledků předchozích, zredukovat na měření pouze v jednom místě řezné destičky. Bylo připraveno celkem 13 vzorků s termočládky umístěnými uprostřed hrbetní plochy opět 0,5 mm pod povrchem. Postupně byly vyzkoušeny tyto přítlačné síly: (10 kp $\pm$ 100 N; 5 kp $\pm$ 50 N; 3,75 kp $\pm$ 37,5 N; 2,5 kp $\pm$ 25 N; 1,25 kp $\pm$ 12,5 N).

Přítlačná síla 25 N, které se nejvíce blíží přítlačná síla zjištěná u ostříčů, byla vyzkoušena 5 krát. Některé další přípravky musely být naopak zopakovány proto, že první měření bylo nesrozumitelné. Záznamy teplot jsou uvedeny na obr. 22 a obr. 23.

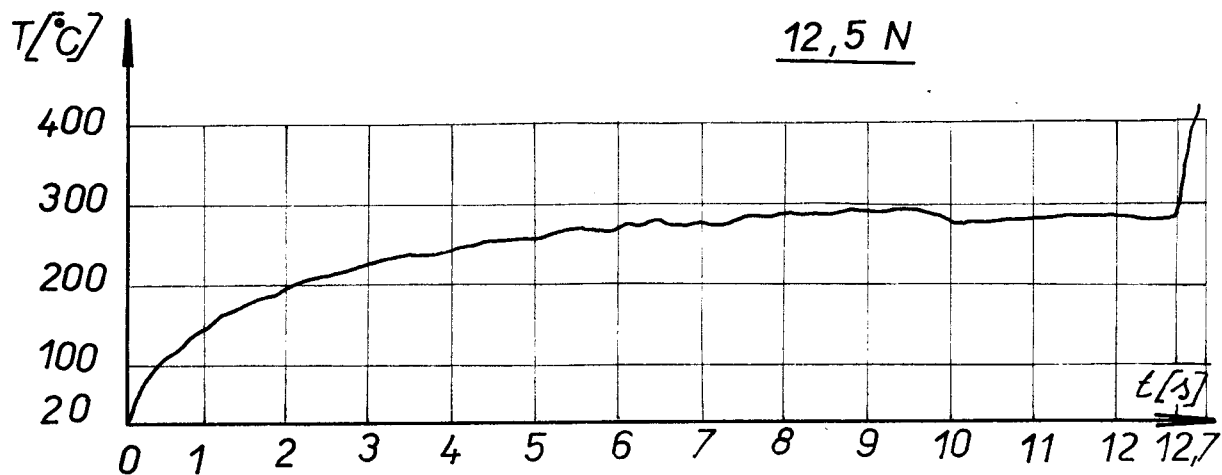
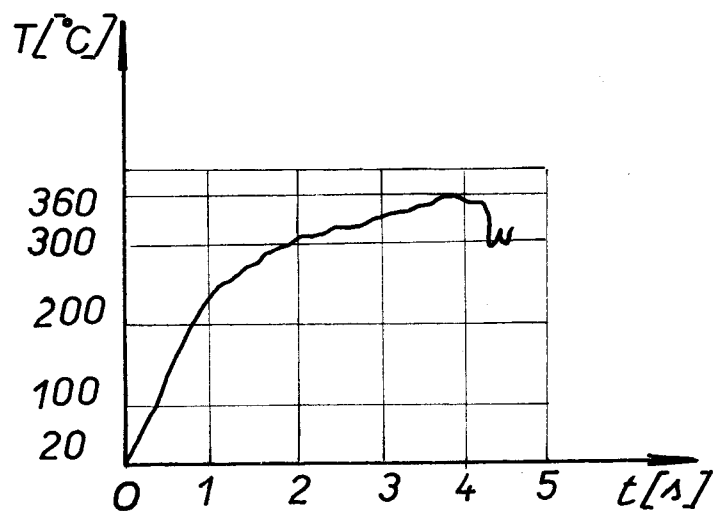
Závislost teplot na čase

Obr. 22

Závislost teplot na čase

Obr. 22

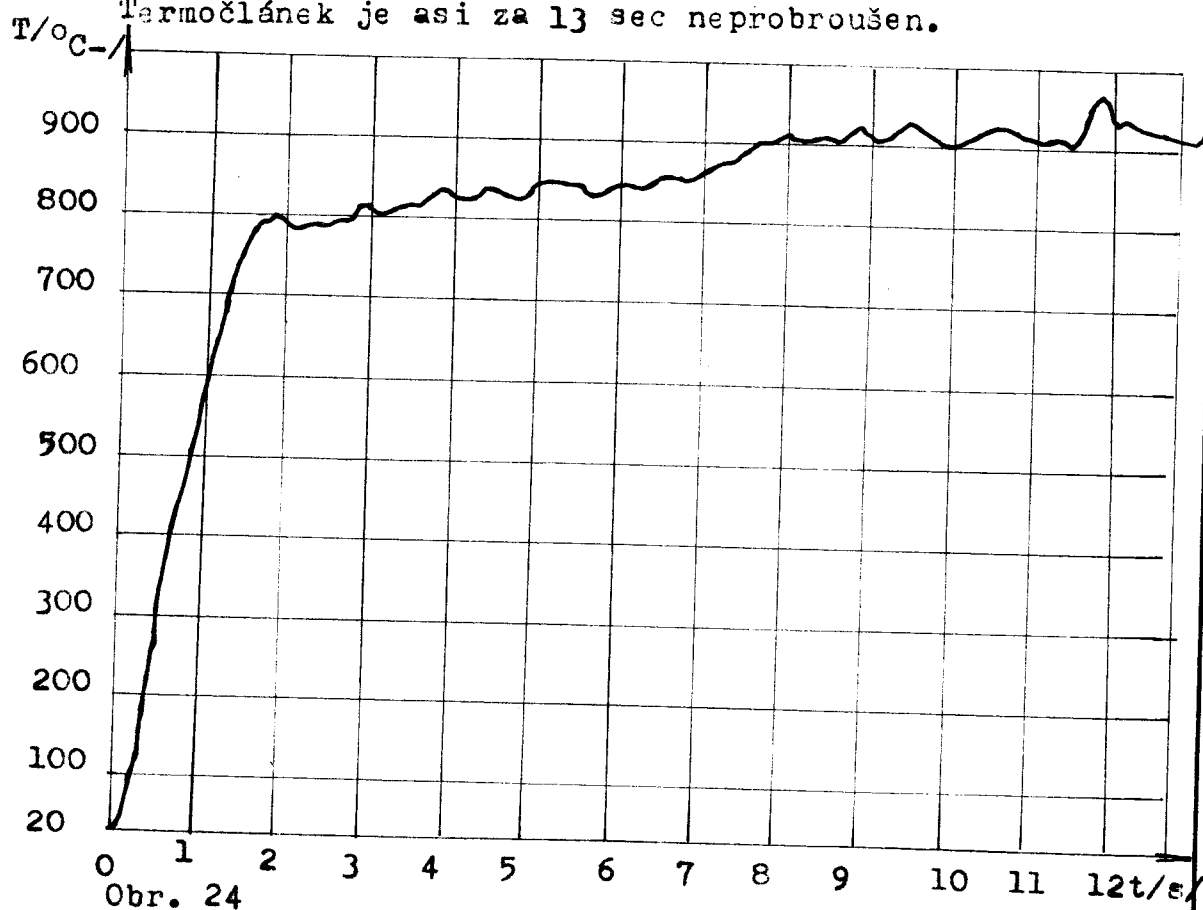
Závislost teplot na čase

25 N

Obr. 23

Z této serie naměřených hodnot lze usoudit, že přítlačná síla již do určité míry teplotu ostření ovlivňuje, ne však podstatně. Teploty se opět pohybovaly (od 250 do 660°C) a největší přítlaky vykazovaly nejvyšší teploty. Daleko více ovlivňuje výšku teploty a nárůst množství tepla ve vzorku nesporně orovnaný brusný kotouč.

Při zkouškách se zjistilo, že i jemné orovnáání brusného kotouče např. orovnávacím kamenem má okamžitě za následek prodloužení času potřebného k probroušení termočlánku a také výška teploty podstatně vzroste. Nevhodně orovnaný brusný kotouč může mít za následek vzrůst teploty až na 1000°C, bez naděje na odbroušení slinutého karbidu. Příklad je uveden na obr. 24. Přítlačná síla je 10 kp $\pm$ 100 N. Termočlánek je asi za 13 sec neprobroušen.



Obr. 24

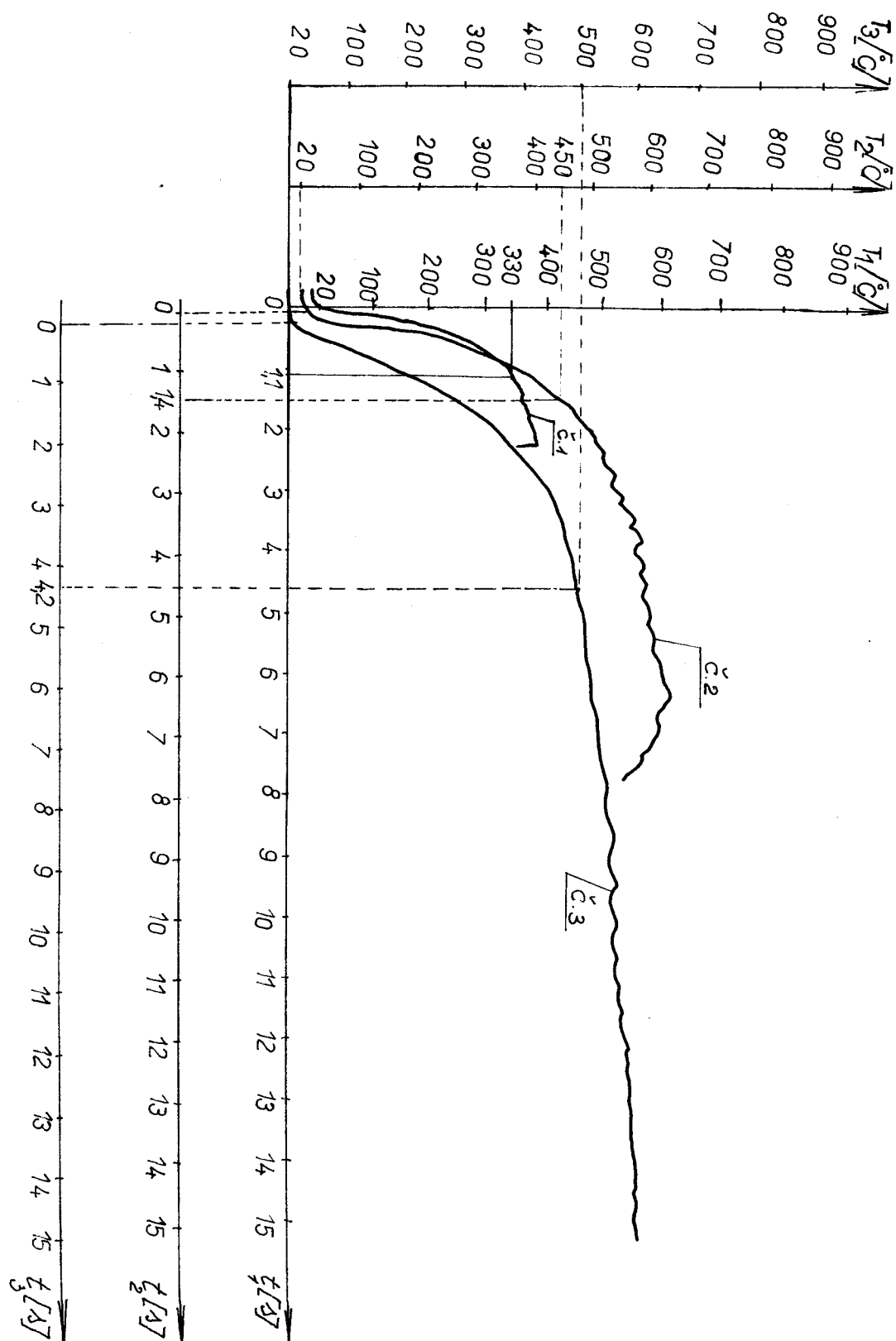
Tento příklad lze srovnat s příkladem na obr. 22. Správně naostřený brusný kotouč dokáže při přítlačné síle 100 N odbrousit 0,5 mm silnou vrstvu slinutého karbidu a probrousil termočlánek dříve než může podstatněji narůst teplota od ostření. Naopak jak dokazuje příklad na obr. 23, malé přítlačné síly, při celkem nízkých teplotách, prodlužují proces odostření slinutého karbidu. Množství tepla, které se takto vyvíjí a do slinutého karbidu dostane může být velmi značné. Přítlačná síla 25 N, která se nejvíce blíží poměrům v praxi, není příliš vhodná a ve většině případů byla příčinou zdlouhavého odbroušování vrstvy slinutého karbidu. Je však třeba vzít v úvahu, že zde má ještě velký vliv otupování brusného kotouče během jedné zkoušky vlivem zápischového způsobu ostření. Tomuto vlivu se však, jak bylo již zdůvodněno, nebylo možno vyhnout.

4.2.3 Zkoušky současného měření teplot ostření v různých hloubkách řezné destičky

Pro tyto zkoušky byly z důvodů náročnosti připraveny pouze dva vzorky. Aby bylo zaručeno probroušení až do hloubky 1,5 mm pod povrchem, kde byl zabudován teplý spoj tři termočlánky, byla přítlačná síla pro obě měření zvolena 37,5 N. První dva termočlánky byly probroušeny při obou zkouškách rovnoměrně za sebou. Druhý asi 1 sec. po prvním termočlátku. Ke zničení termočlánků třetích došlo až po několika vteřinách (z diagramů nelze přesně určit místo). Z měření byly získány tyto poznatky:

Obr. 25

Zavislost teplot na čase



a) Nedošlo ke zřetelnému časovému posunutí nárůstu teplot v jednotlivých místech měření.

b) Strmosti narůstání teplot se liší zvláště u třetího, od ostření plochy nejvzdálenějšího termočlánku.

c) Výška naměřené teploty u různě hluboko umístěných termočlánků je různá.

Pomalejší narůstání teplot ve třetím termočlánku je způsobeno pravděpodobně tím, že mnoho tepla vzniklého při ostření stačí uniknout do ostatních částí vzorku a do nožového držáku. Výšky naměřených teplot rostou od prvního ke třetímu termočlánku, což pravděpodobně souvisí s délkou času potřebného na probroušení. Přesto, že při těchto dvou zkouškách došlo během 11 a 16 vteřin k odbroušení slinutého karbidu až do hloubky 1,5 mm, nedošlo u vzorků k nežádoucímu ohřátí. viz obr. 25.

5. Závěr

Úkol zjišťování poměrů, které vládnou při ostření slinutého karbidu a zvláště úkol měření teplot při této operaci je velmi nesnadný a dosud nepropracovaný. Skládá se z velkého množství problémů, které bylo nutno prodiskutovat a postupně redukovat. Jen tak bylo možno získat v době, která mohla být tomuto výzkumu věnována alespoň ty nejzákladnější znalosti.

5.1 Závěrečné vyhodnocení výsledků výzkumu

Ze všech zkoušek, přesto že jejich množství tepla je malé a byly všechny více či méně orientační, lze již teď učinit některé obecnější závěry.

VŠST Liberec Fakulta strojní	Měření teplot při ostření nástrojů	DPST - 1124/75	
		OE	List: 57

Podstata ničení slinutého karbidu při ostření nespočívá výhradně v jedné okolnosti, která se doposud často ostříčům vyskytovala, tedy v příliš velké přítlačné síle. Faktorů, které se podílejí na ztrátách je několik a nepůsobí nikdy osamoceně. Největší příčinou ničení slinutého karbidu může být špatná volba, stav a hlavně naostření brusného kotouče. Při špatném stavu brusného kotouče stačí pak už jen neopatrnost nebo neúnosně velká přítlačná síla, aby byl slinutý karbid zničen. Ze zkoušek vyplynulo, že velká přítlačná síla na ostrém brusném kotouči má naopak žádoucí vliv na rychlejší úběr slinutého karbidu, bez nebezpečí ohřátí na zbytečně vysoké teploty (kolem 1000°C). Na základě této skutečnosti je třeba vzít v úvahu, zda přece jen není výhodnější větší přítlačná síla a rychlé odostření slinutého karbidu, než ostření pomalé a zdlouhavé, při kterém je celkové množství vzniklého tepla daleko větší. Toto teplo se přirozeně v nástroji kumuluje, nebo se musí některým ze způsobů chlazení opatrně odstraňovat.

Problém správného ostření slinutého karbidu se tak v tomto světle redukuje na problém správného naostření brusného kotouče, které je dosud velmi nedostatečně definováno. Existuje přirozená nechuť ostříčů k orovnávaní brusných nástrojů a to z těchto nejhlavnějších důvodů:

a) Vzniká nepříjemný prach, který špiní ostříče i jeho oděv, a který se přes všechna opatření přece jen dýchá a dostává do strojních součástí.

b) Neustálým orovnáváním rychle ubývá brusný kotouč. Z toho plyne jeho častá výměna, která ostříče zdržuje.

c) Orovnávání brusného kotouče velmi zdržuje ostříče při ostření (mzda); je samozřejmé, že na rychlém ubývání brusného nářadí vlivem častějšího orovnávání by neměl zájem ani podnik. Je však třeba přihlédnout k oběma okolnostem a stanovit optimum mezi spotřebou brusného nářadí.

5.2 Zhodnocení zadání diplomové práce

Výzkumy byly pro nedostatek času prováděny jenom orientačně. Kdyby bylo pro přesné vyhodnocení zkoušek dostatek času, bylo by vhodné provádět zkoušku 10 krát nebo i vícekrát. Je to tedy otázka času, ekonomiky apod. Řešení tohoto problému by bylo vhodným tématem pro další diplomové práce:

1. Měření teplot při ostření nástrojů s konstantní přitlačnou silou v různých místech.
2. Měření teplot při ostření nástrojů s různou přitlačnou silou v různých místech.

VŠST Liberec	Měření teplot při ostření nástrojů	DPST - 1124/75	
Fakulta strojní		KOE	List: 59

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.

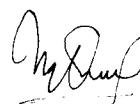
- /1/ J.Buda, J.békés: Teoretické základy obrábění kovov,
Bratislava, SNTL 1967.
- /2/ Z.Přikryl, R.Musílková: Teorie obrábění, Praha
SNTL 1966.
- /3/ U.Klicpera: Temperaturbestimmung bei der Zerspanung
Maschinenmarkt 76/1970/, 73, s.1659-1663.
- /4/ V.Šindelář: Měření teploty, Praha, Práce 1951.
- /5/ Příručka měřicí techniky, SNTL, Praha 1965.
- /6/ J.Stanislaw: Temperature control in Machining
Instrument and Control systems 1967,
August, s 101 - 103.
- /7/ B.B.Cocchadze Izmerenie temperatur pri rezanii meta-
llov Věstnik mašinostrojenija 1963, 11,
s.66-69.
- /8/ O.B.Fokin: Opredělenie temperatury na poverchnostjach
kontakta rezca so stružkoj i izdělajem,
Věstnik mašinostrojenija 1963, 11, s.56-59.
- /9-/ B.D.Danilenko: Výzkum teploty povrchové vrstvy oceli
při rovinném broušení.
- /10/ V.Gabriel: Měření teplot při soustružení.
Výzkumová práce, VŠST Liberec, 1970 č h610.
- /11/ E.N.Maslov: Základy theorie broušení kovů. Praha, SNTL,
1953. s.52-54.

P O D Ě K O V Á N Í

Především bych chtěl poděkovat s. Ing. S. Smékalovi, za to, že mi umožnil pracovat na této diplomové práci a ochotně mi pomohl radou při řešení tohoto úkolu.

Dále bych chtěl poděkovat s. R. Gahutovi za pomoc při obsluze měřicího zařízení cenné připomínky. Neméně jsem vděčný i s. J. Jančovi, který mi vyšel vstříc při přípravě vzorků na experimentální část této práce.

Ještě jednou všem, i těm které jsem nejmenoval, ze srdce.


děkuji

V Liberci dne 6. června 1975.

VŠST Liberec	Měření teplot při ostření nástrojů	DPST - 1124/75	
Fakulta strojní		CE	List:

P Ř I L O H A

VŠST Liberec	Měření teplot při ostření nástrojů.	DP ST - 1124/75	
Fakulta strojní		KOE	List:61

**Tabulka.1. Hodnoty napětí termočládku NiCr-Ni
při různých teplotách /milivolt/.**

$t^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
-100	-3,49	-3,78	-4,06	-4,32	-4,58	-4,81	-5,03	-5,24	-5,43	-5,60
-0	-0,00	-0,39	-0,77	-1,14	-1,50	-1,86	-2,20	-2,54	-2,87	-3,19
+0	0,00	0,40	0,80	1,20	1,61	2,02	2,43	2,85	3,26	3,68
100	4,10	4,51	4,92	5,33	5,73	6,13	6,53	6,93	7,33	7,73
200	8,13	8,54	8,94	9,34	9,75	10,16	10,57	10,98	11,39	11,80
300	12,21	12,63	13,04	13,46	13,88	14,29	14,71	15,13	15,55	15,98
400	16,40	16,82	17,24	17,67	18,09	18,51	18,94	19,36	19,79	20,22
500	20,65	21,07	21,50	21,92	22,35	22,78	23,20	23,63	24,06	24,49
600	24,91	25,34	25,76	26,19	26,61	27,03	27,45	27,87	28,29	28,72
700	29,19	29,56	29,97	30,39	30,81	31,23	31,65	32,06	32,48	32,89
800	33,30	33,71	34,12	34,53	34,93	35,34	35,75	36,15	36,55	36,96
900	37,36	37,76	38,16	38,56	38,95	39,35	39,75	40,14	40,53	40,92
1000	41,31	41,70	42,09	42,48	42,87	43,25	43,63	44,02	44,40	44,78
1100	45,16	45,54	45,92	46,29	46,67	47,07	47,41	47,78	48,15	48,52
1200	48,89	49,25	49,62	49,89	50,34	50,69	51,05	51,41	51,76	52,11