

Vysoká škola strojní a textilní Liberec  
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor 23 - 07 - 8 - strojírenská technologie  
zaměření o b r á b ě n í a m o n t á ž

Sledování kontaktních ploch /nástroj - obrobek/  
při soustružení ILK

KOM - OM - 331

Martina ŠNAJDROVÁ

Vedoucí práce : Ing. Jan Frinta, VSŠT Liberec  
Konzultant : Emanuel Doležal, VÚEK Hradec Králové

Počet stran : 57  
Počet tabulek : 11  
Počet obrázků : 68  
Počet výkresů : -  
Počet příloh : 1  
Počet stran příloh : 60  
Počet grafů : 21

V Liberci 23. května 1986

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní

Katedra: obrábění a montáže Školní rok: 1985-86

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Martinu Šnajdřovou

obor 23 - 07 - 8. strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Sledování kontaktních ploch /nástroj-obrobek/ při soustružení ILK

## Zásady pro vypracování:

1. Politickohospodářský význam zadání
2. Vymezení problematiky pro experimentální výzkum
3. Metoda experimentálních zkoušek a jejich příprava
4. Experimentální zkoušky - vyhodnocení
5. Zhodnocení a závěr

V 286/86 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Ústřední knihovna  
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 6  
PSČ 461 17

Koh/om

Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah průvodní zprávy: asi 45 stran

Seznam odborné literatury:

Buda, J. a kol.: Teorie obrábění, SNTL Praha 1983  
Příkryl, Z. a kol.: Teorie obrábění, SNTL Praha 1982  
Frinta, J.: Výzkum a aplikace v oboru obrábění ILK,  
VŠST Liberec 1984, zpráva N 220

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Frinta

Konzultant: Emanuel Doležal, VÚEK Hradec Králové

Datum zadání diplomové práce: 30. 9. 1985

Termín odevzdání diplomové práce: 23. 5. 1986



*Gazda*  
Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.

Vedoucí katedry

*Alaxin*  
Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc.

Děkan

v Liberci ..... dne 20. 9. .... 19 85

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci  
vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V. Liberci dne 23. května 1986

*.....Martina Šnajdrová.....*

## Obsah

1.	Úvod	4
1.1	Politicko - hospodářský význam zadání	4
2.	Úvod do problematiky obrábění ILK	5
2.1	Technologie výroby ILK	5
2.2	Obrábění keramických hmot	5
2.3	Vlastnosti použitých řezných materiálů	8
2.4	Vlastnosti použitého obráběného materiálu	10
2.5	Obecné zákonitosti opotřebení řezného nástroje	11
2.6	Formy opotřebení břitu	14
2.7	Opotřebení při obrábění ILK	15
2.8	Vlivy na opotřebení	17
3.	Metodika experimentálních zkoušek a jejich příprava	23
3.1	Zkoumání charakteru povrchu obrobků a význam povrchů ke zjištění mechanismu řezání	23
3.2	Experimentální metody studia otupování břitu	24
3.2.1	Způsob měření opotřebení nástroje	25
3.3	Měření teploty	27
3.3.1	Vestavěný termočlánek	28
3.4	Podmínky při experimentálních zkouškách	29
3.5	Měřicí přístroje a zařízení	32
4.	Experimentální zkoušky	34
4.1	Popis experimentu vytváření povrchů obrobku	34
4.2	Popis experimentu zkoumání závislosti opotřebení na čase	35
4.2.1	Kontrola drsnosti povrchu řezného materiálu	35

4.2.2	Tabulky naměřených hodnot opotřebení a výsledky spektrální analýzy	37
4.3	Popis experimentu při měření teploty	40
4.3.1	Cejchování termočlánků	41
4.3.2	Tabulka naměřených hodnot při měření teploty	43
5.	Vyhodnocení a závěr	44
5.1	Vyhodnocení snímků řezných destiček a snímků povrchu obrobku z hlediska kontakt- ních ploch	44
5.2	Vyhodnocení opotřebení v oblasti I	52
5.3	Vyhodnocení měřené teploty	54
6.	Závěr	56
	Seznam použité literatury	57

## Seznam použitých zkratk a symbolů

VN	vysokonapěťový
VVN	velmivysokonapěťový
ILK	izostaticky lisovaná keramika
MK VŮEK	mikrozný korund
MaS VŮEK	makrozný korund - starý
MaN VŮEK	makrozný korund - nový
SK	slinutý karbid
VB /mm/	šířka opotřebení na hřbetě nástroje
t /min/	čas
T /°C/	střední teplota
VŮEK	Výzkumný ústav elektrotechnické keramiky
s /mm.ot <sup>-1</sup> /	posuv
v /m.min <sup>-1</sup> /	řezná rychlost
h /mm/	hloubka řezu
Ra /um/	střední hodnota drsnosti
$\alpha_0$	nástrojový úhel hřbetu v ortogonální rovině
$\gamma_0$	nástrojový úhel čela v ortogonální rovině
$\alpha_r$	nástrojový úhel nastavení hlavního ostří
$\epsilon_r$	nástrojový úhel špičky nástroje

## 1. Ú v o d

### 1.1 Politicko-hospodářský význam zadání

Uspokojování rostoucích potřeb národního hospodářství i obyvatelstva a zvyšování efektivity v 8. pětiletce bude rozhodujícím způsobem určováno rozvojem průmyslové výroby, která se má do roku 1990 zvýšit o 15 - 18 procent. Strojírenská a elektrotechnická výroba se má v souhrnu zvýšit o 30 procent.

Rozvoj strojírenské výroby jako nositele vědeckotechnického rozvoje ve všech odvětvích národního hospodářství a hlavního exportního odvětví je nutné zaměřit na vytvoření nezbytných podmínek pro podstatné zvýšení technické úrovně výroby na základě realizace nejnovějších výsledků vědeckotechnického rozvoje, urychlení zavádění výrobních technologií a výrobků a na snížení nákladů výroby.

V 8. pětiletce musíme zvýšit úlohu vědeckotechnického rozvoje jako rozhodujícího činitele intenzifikace ekonomiky. Musíme koncentrovat síly a prostředky vědy, výzkumu a vývoje také na zavádění progresivních technologií, umožňujících výrazné zvýšení produktivity práce, pokles materiálové a energetické náročnosti výroby a zlepšení pracovních podmínek. Tato vývojová tendence je určující i v průmyslu strojírenském a elektrotechnickém.

Jednou z technologií, která výrazně snižuje energetickou i materiálovou náročnost výroby VVN izolátorů je izostatické lisování keramických hmot.



## 2. Úvod do problematiky obrábění ILK

### 2.1 Technologie výroby ILK

Z hlediska efektivnosti výroby technické keramiky klasickou technologií je nutno konstatovat, že tato výroba je energeticky velmi náročná, s čímž souvisí i vzrůst nákladů vynaložených na energii.

Proto se, v současné době, přechází ve výrobní technologii keramiky na izostaticky lisovanou keramiku, jejíž technologie výroby se využívá zejména při výrobě elektroporcelánu VN a VVN izolátorů. V porovnání s klasickou technologií je zřejmé, že nová technologie přináší řadu výhod, ale i nedostatků, na které je třeba se zaměřit.

Mezi přednosti této technologie lze zahrnout:

- 1/ snížení energetické náročnosti výroby
- 2/ rozšíření možnosti použití neplastických surovin
- 3/ možnosti automatizace výrobního procesu
- 4/ snížení pracnosti
- 5/ zkrácení technologického cyklu
- 6/ zvýšení rozměrové přesnosti výrobků
- 7/ snížení zmetkovitosti

Nedostatkem technologie ILK je skutečnost, že soudržnost a pevnost je omezena, což značně zasahuje do procesu obrábění /např. omezení otáček, tvarování obrobku ve svislé poloze atd./

### 2.2 Obrábění keramických hmot

Obrábění jako jedna z výrobních technologií nachází široké uplatnění nejen ve strojírenství, ale i v jiných výrobních odvětvích. Jeho důležitost je v širokých možnostech využití, v univerzálnosti a možnosti dosažení nejvyšší výrobní přesnosti.

Cílem všech metod obrábění je dát obrobku požadovaný tvar, rozměr a také dosáhnout toho, aby povrchová vrstva měla odpovídající kvalitu. Toho všeho by mělo být dosaženo co nejekonomičtěji.

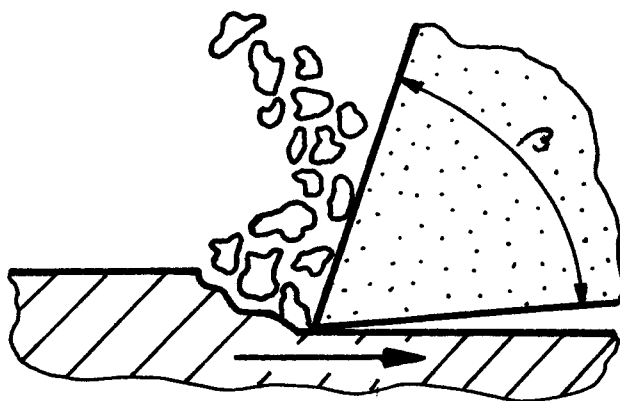
Obrábění keramických hmot je značně odlišné od obrábění kovů. Mnohé výrobky /VN a VVN izolátory/ mají složitý tvar, kterého můžeme dosáhnout jen obráběním. Obrábění izostaticky lisované keramiky nemá dlouhou tradici a technologie obrábění nebyla dosud souhrnně zpracována v žádné literatuře. Při teoretickém zpracování, technologie obrábění, vycházíme z poznatků při obrábění kovů. Stávající technologií, kterou se vyrábí vysokonapěťové i velmivysokonapěťové izolátory, je soustružení.

V současné době se jako progresivní jeví technologie výroby frézováním, kterou se zabývají v Elektroporcelánu Louny. Touto technologií lze dosáhnout podstatně větších řezných rychlostí i u obrábění ILK. Zatím se uplatňuje pouze u obrábění polotovarů v "kožovitém" stavu. Tato technologie ještě není dostatečně prověřena a odzkoušena, proto se budeme v této práci zabývat pouze soustružením.

Obrábění izostaticky lisované keramiky soustružením lze následovně charakterizovat:

- odpor při vnikání nástroje do obrobku je obecně menší a poměr velikosti složek řezné síly jiný než u kovů
- tříska je netvářená, drobivá. U odřezávané vrstvy nedochází téměř k žádné plastické deformaci. Při vnikání břitu do materiálu vznikají v odřezávané vrstvě malé pružné deformace. Odtržení odřezávané vrstvy nastane tehdy, když tyto deformace překročí deformace na mezi pevnosti. Tříska má tvar nepravidelných drobných, lehkých částíček /obr. 2.1./, které při obrábění silně znečišťují pracovní prostředí a snižují životnost obráběcího stroje. Proto je nutné odsávání.

- charakter opotřebení v procesu obrábění ILK si vyžádal použití převážně keramických řezných materiálů. Používají se mechanicky upínané řezné destičky.



Obr. 2.1

Při zkoumání obrábění ILK je nutné potvrdit tyto předpoklady:

- jednotlivé částice keramického materiálu jsou nástrojem vytrhávány nebo se smýkají mezi hřbetem nástroje a obrobkem
- při zatlačování neoddělených elementů základního materiálu dochází k jejich nekontrolovatelnému posunutí nebo pootočení

Při soustružení keramických hmot jsme vázáni určitými omezujícími podmínkami:

- a/ obrobitelností materiálu
- b/ rozměry řezné destičky a její geometrií
- c/ průřezem třísky
- d/ řeznou rychlostí /40 - 266 m · min<sup>-1</sup> /
- c/ správnou funkcí odsávacího zařízení

### 2.3 Vlastnosti použitých řezných materiálů

Pro obrábění ILK byly nejdříve zkoumány slinuté karbidy skupiny K /pro obrábění materiálu dávajících krátkou třísku/. Hlavní složkou je karbid wolframu /WC/. Proto byla doporučena aplikace - obrábění, kde převažuje abrazivní otěr. Materiál H 10 se poměrně osvědčil a je dál zkoumán, protože se používá při frézování ILK.

V 70-tých letech se začíná převážně využívat řezných keramických materiálů. Jedním z impulsů byl nastupující nedostatek wolframu, kobaltu a dalších složek slinutých karbidů. Druhým impulsem byla snaha zvýšit produktivitu práce prodloužením trvanlivosti ostří řezných nástrojů. Proto se v této práci převážně zabýváme keramickými řeznými nástroji na bázi  $Al_2O_3$ .

#### Slinuté karbidy

H 10                      SNUN    12 04 08    /Pramet n.p. Šumperk/

komponentní složení	WC - 91,5 %; TaC - 1,5 % /+NbC/; Co-7 %
hustota	14,7 g cm <sup>-3</sup>
tvrdost	80 HRC

DISAL 100                SNGN    12 08 12    /DIAS k.p. Turnov/

složení	99 % $Al_2O_3$
objemová hmotnost	3,9 - 3,92 . 10 <sup>3</sup> kg m <sup>-3</sup>
mechanická pevnost v ohybu	500 - 600 MPa
tvrdost - Vickers	21 000 MPa
objem pórů	max 2 %
E - modul	0,17 - 0,22 . 10 <sup>6</sup> MPa
velikost zrna	1 - 2 $\mu$ m

Mikrozrnný korund

/VÚEK Hradec Králové/

složení	99,8 % $\text{Al}_2\text{O}_3$
objemová hmotnost	$3,83 - 3,97 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
mech. pevnost v ohybu	350 - 400 MPa
tvrdost - Vickers	21 000 MPa
vypalovací teplota	1 480 °C

Makrozrnný korund S

/VÚEK Hradec Králové/

složení	99,85 - 99,7 % $\text{Al}_2\text{O}_3$ /CTB6/ 0,15 - 0,3 % MgC
objemová hmotnost	$3,92 - 3,94 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
mech. pevnost v ohybu	300 MPa
vypalovací teplota	1 680 °C - 1 720 °C

Makrozrnný korund N

/VÚEK Hradec Králové/

složení	větší obsah alkálií 0,4 % $\text{Al}_2\text{O}_3$ 99,85 - 99,8 % /slovenský kalciovaný/
objemová hmotnost	$3,86 - 3,88 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
mech. pevnost v ohybu	280 MPa
vypalovací teplota	1 680 °C - 1 720 °C

Luxal 204

/EP Louny/

složení	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , CTN 97 % MnO <sub>2</sub> 1,73 % TiO <sub>2</sub> 1,5 %
objemová hmotnost	$3,98 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

DISAL 210

polosměsná keramika	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , ZrO <sub>2</sub>
velká houževnatost v ohybu	

Tyto materiály byly použity i v předcházejících výzkumech, byl zkoumán také kubický nitrid bóru. Vzhledem k malým rozměrům destiček zatím nevyhovuje. Byly zkoumány také povlakované materiály, které se však ukázaly jako nevhodné při obrábění ILK, protože tvrdá povrchová vrstva je působením zrn oxidu hlinitého narušována velmi intenzivně.

#### 2.4 Vlastnosti použitého obráběného materiálu

Při experimentu byla aplikována hmota M 50 S 2, která po ukončeném vývoji v minulých letech splňuje kompromis požadavků na celkovou užitnou hodnotu výrobku.

##### Surovinové složení

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /slovenský minerál/	25 %
Živec ŽP II	19 %
Znělec Železnice	13 %
Kaolin Podbořany	11 %
Kaolin Sedlec	7 %
Jíl JHD II	10 %
Kalciovaný šamot SLJ	15 %

##### Vlastnosti v nevypáleném stavu

zbytková hmotnost granulátu	1,4 %
sypká hmotnost	930 - 970 kg m <sup>-3</sup>
setřesená hmotnost	1 090 - 1 130 kg m <sup>-3</sup>
mech. pevnost v ohybu	1,3 - 2,0 MPa
objemová hmotnost	2,02 · 10 <sup>3</sup> kg m <sup>-3</sup>

### Vlastnosti ve vypáleném stavu

nasákavost	pod 0,1 %
objemová hmotnost	/2,35 - 2,5/ . 10 <sup>3</sup> kg m <sup>-3</sup>
porezita	10 - 15 %
mechanická pevnost v ohybu / Ø 90 mm/	64,5 MPa
elektrická průrazná pevnost	28 - 32 KV . mm <sup>-1</sup>
měrný povrchový odpor	2,3 . 10 <sup>14</sup> m <sup>-1</sup>
měrný vnitřní odpor /25°C/	2,3 . 10 <sup>15</sup> m <sup>-1</sup>
střední měrné teplo	868 J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
modul pružnosti v tahu	75,4 . 10 <sup>3</sup> MPa

### 2.5 Obecné zákonitosti opotřebení řezného nástroje

V procesu řezání je břit řezného nástroje vystaven různým vlivům /fyzikálním i chemickým/, které způsobují změnu kvality pracovních ploch a změnu tvaru. S postupující drahou nástroje se obecně zhoršuje drsnost funkčních ploch, mění se poloměr ostří a geometrie nástroje. Tento proces nazýváme otupování břitu nástroje. K otupování nástroje dojde v důsledku těchto jevů:

- 1/ otěr stykových míst nástroje
- 2/ plastická deformace materiálu břitu
- 3/ křehké porušení materiálu břitu

#### Otěr břitu

Je to proces, na kterém se podílí fyzikální i chemické jevy. Mezi otěrem břitu a otěrem vzájemně se pohybujících strojních součástí je podstatný rozdíl, způsobený odlišným mechanickým a tepelným zatížením třoucích se ploch. U strojních součástí v mezních vrstvách stýkajících se částí nedochází k žádným změnám mikrostruktury, chemického složení i mechanických vlastností. Při tření materiálu břitu a obrobku jsou tyto změny průvodním jevem.

Z experimentálních prací bylo určeno, že otěr břitu se uskutečňuje pomocí:

- a/ fyzikálních jevů
  - abraze /brusný účinek/
  - adheze
- b/ chemických jevů
  - difuze
  - vznik chemických sloučenin

### Brusný otěr

Některé mikročástice materiálu obrobku jsou tvrdší než některé částice materiálu břitu, a proto způsobí vznik mikrorýh v nástroji. Toto opotřebení převládá při obrábění materiálů se zvýšenou brusnou schopností např. hornin, uhlí, keramických materiálů, materiálů s velkými karbidickými zrny, křemičitými zrny apod. Toto opotřebení se projeví také v oblasti nízkých a středních rychlostí.

### Adhezní otěr

K tomuto otěru dochází u kovů. Příčinou tohoto otěru je intenzivní plastická místní deformace. Je to v podstatě styk kovově čistých materiálů, což vede k tzv. mikrosvarům. Příčinou mikrosvarů je vysoký specifický tlak a vysoká teplota v místě styku. Vysoké tlaky vznikají v důsledku toho, že pracovní plochy břitu i třísky a plocha řezu mají určitou drsnost a dotýkají se vrcholky svých nerovností. Při porušení spojů uvnitř materiálu nástroje /smykové napětí dosáhlo meze pevnosti/ dochází k adheznímu otěru.

Na intenzitu adhezního otěru mají vliv činitelé:

- chemická afinita stýkajících se materiálů
- pracovní prostředí a jeho chemická aktivita
- řezné podmínky
- teplota stykových míst
- poměr tvrdosti mezních vrstev břitu a obrobku
- vznik váznuocí vrstvy materiálu na břitu



### Difuzní otěr

K tomuto otěru dochází při takových řezných podmínkách, při nichž styková místa dosáhnou takové teploty, jež umožňuje průběh difuzních pochodů. Nejaktivnějšími prvky v difuzním procesu při obrábění jsou železo a kobalt. Difuze těchto prvků začíná při teplotě 680 °C. Teplota difuze se snižuje při zvětšujícím se tlaku stykových míst.

Intenzita difuze závisí na těchto faktorech:

- teplota v místě styku
- měrný tlak
- relativní rychlost
- čistota stykových míst

Mechanické vlastnosti nemají na difuzi vliv.

Kromě úbytku materiálu nástroje způsobuje difuze rozrušení mezní vrstvy materiálu břitu. Tím vzniká defektní vrstva, která má náchylnost k abrazivnímu otěru.

### Otěr způsobený vznikem chemických sloučenin

Při uplatnění tohoto mechanismu vzniká defektní vrstva na stykových místech břitu. Je tvořena oxidy, popřípadě jinými sloučeninami, které vznikají působením vzdušného kyslíku a prostředí na nástroj. S rostoucí teplotou roste i intenzita oxidace. Tyto vrstvy nemají jednoznačný vliv na otěr břitu. Buď intenzitu otěru snižují nebo zvyšují.

### Plastická deformace materiálu břitu

Podstatou je přesun plasticky deformovaných částic materiálu břitu ve směru pohybu třísky a řezné plochy. Tento stav je vyvolán zvýšeným zahřátím a značným mechanickým zatížením materiálu. S tím se setkáváme hlavně při obrábění materiálů s malou tepelnou vodivostí vyššími řeznými rychlostmi. Vzhle-

dem k malé tepelné vodivosti může dojít k plastické deformaci i u křehkých materiálů /slnuté karbidy, keramické materiály/. V těchto případech napomáhá způsob mechanického zatížení břitu nástroje. Dochází k postupnému zvětšování poloměru zaoblení. Krajním případem je tzv. lavinovitý otěr.

### Porušení břitu křehkými lomy

Překročí-li zatížení břitu v některém místě jeho pevnost v ohybu, dochází k porušení břitu křehkými lomy.

Příčinou tohoto zatížení může být:

- velký průřez odřezávané vrstvy materiálu
- proměnlivý průřez /případně přerušovaný řez/
- lokální nehomogenita materiálu a nekovové vměstky
- tepelné rázy

Toto opotřebení se projeví hlavně u málo houževnatých řezných materiálů s nízkou pevností v ohybu jako jsou keramické řezné materiály a dále u materiálů s nízkou tepelnou vodivostí t.j. slnutých karbidů a řezné keramiky. Řezná keramika má asi 40x menší tepelnou vodivost než SK.

### 2.6 Formy opotřebení břitu

Výsledkem opotřebení nástroje je změna nerovností a tvaru funkčních ploch nástroje. Formy otupení závisí na materiálu obrobku a břitu, řezných podmínkách /zejména řezné rychlosti/, průřezu a tvaru třísky a úhlu řezu. Změny tvaru břitu jsou nepravidelné.

Rozeznáváme tyto charakteristické tvary opotřebení:

- a/ čela - vznik žlábků na čele
- b/ opotřebení hřbetu
- c/ současné opotřebení čela a hřbetu
- d/ plastická deformace řezného klínu
- e/ křehké porušení řezného klínu
- f/ zaoblení řezné hrany

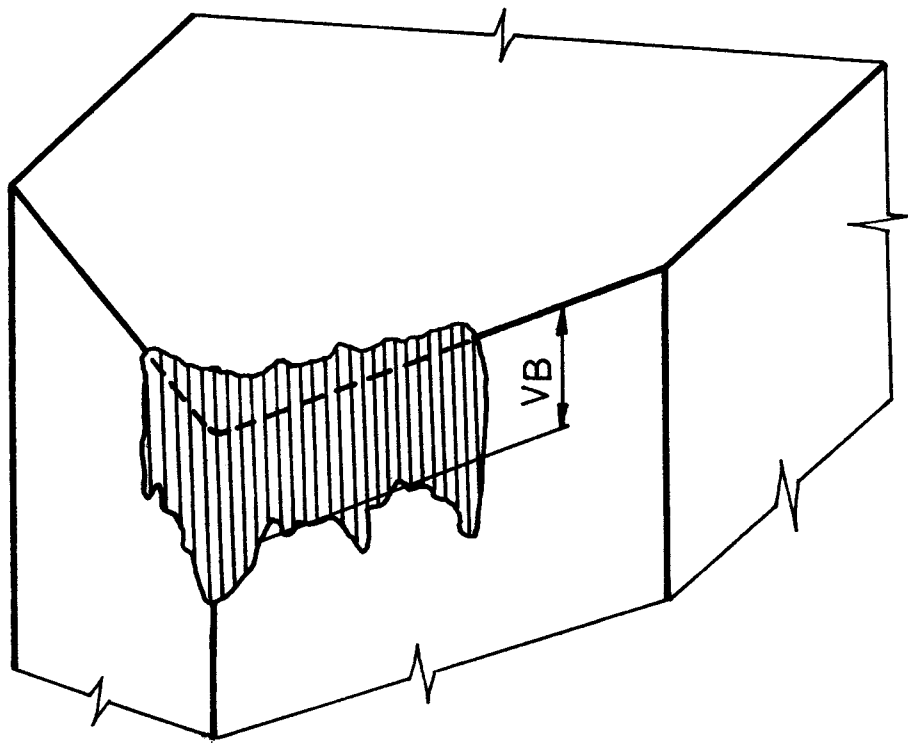
- Parametry opotřebení řezného klínu nástroje jsou
- střední šířka otřené plochy na hřbetě nástroje - VB
  - hloubka žlábků na čele nástroje - KT
  - opotřebení na špičce - VL
  - vzdálenost opotřebení od pomyslného břitu -  $KV_f$
  - vzdálenost počátku opotřebení od původního čela -  $KV_s$
  - hmotnostní úbytek řezného nástroje

## 2.7 Opotřebení při obrábění ILK

Základní rozdělení opotřebení /viz kap. 2.5/ se při obrábění ILK plně neuplatňuje.

### Brusný otěr

Je to převažující opotřebení při obrábění ILK. Zpočátku dochází k rychlému narušování mikronerovností povrchu ploch nástroje. Tvrdé složky obráběného materiálu ( $Al_2O_3$ ) odlamují jednotlivé složky z povrchu nástroje. Míru brusného opotřebení ovlivňuje mikrotvrdost složek. Při obrábění ILK destičkou ze SK se zrna  $Al_2O_3$  v keramickém materiálu otírá kobalt. Jako u obrábění všech křehkých materiálů převládá u obrábění ILK opotřebení na hřbetě. Opotřebení na čele je velice nepatrné, protože nevzniká souvislá tříška, nýbrž je odsávána ve formě jemných zrn. Částice  $RM$  jsou obrušovány nebo vytrhávány z materiálu. Nedochozí zde zřejmě ke zpevnění obráběného materiálu. Na obr. 2.2 je znázorněno opotřebení nástroje.



Obr. 2.2

#### Adhezní otěr

Jeho princip je založen na bodovém styku kovových povrchů, kde dochází k mikrosvarům. Lze předpokládat, že při obrábění ILK se toto opotřebení neprojeví.

#### Difuzní otěr

K difuznímu opotřebení dojde při dosažení disociační teploty některé komponenty obou materiálů, nástroje nebo obrobku. Difuzní opotřebení při obrábění ILK není dosud popsáno v literatuře.

## 2.8 Vlivy na opotřebení

Na průběh opotřebení má vliv celá řada faktorů, hlavně obráběný materiál, řezný materiál, řezné podmínky atd. Musíme se těmito faktory zabývat, abychom prokázali jejich vliv a jejich působení zminimalizovali.

### Vliv obráběného materiálu na opotřebení břitu řezného nástroje

Tento faktor má zásadní vliv na opotřebení. Po výpalu jsou korundové keramické hmoty materiály s vynikajícími mechanickými, elektrickými a chemickými vlastnostmi. Tyto hmoty se vyznačují velkou otěruvzdorností, odolností k zadírání, odolností k chemickým agresivním prostředím a vůči vysokým teplotám.

My se zabýváme obráběním ILK před výpalem. Dosud nebyl nalezen jednoznačný vztah, který by vyjádřil vliv vlastností obráběného materiálu na opotřebení. Před výpalem působí ILK převážně abrazivně.

### Vliv řezného materiálu na opotřebení

Je to další důležitý faktor. Podle druhu použitého řezného materiálu mohou převládat jednotlivé formy otěru břitu. Pro jednotlivé druhy řezných materiálů existují určité oblasti řezných podmínek, ve kterých má nástroj dostatečnou stabilitu v trvanlivosti břitu. Vlastnosti jednotlivých destiček i hran se mohou lišit. Toto lze těžko odhalit. Proto musíme každý řezný materiál při vyhodnocování experimentu brát jako celek.

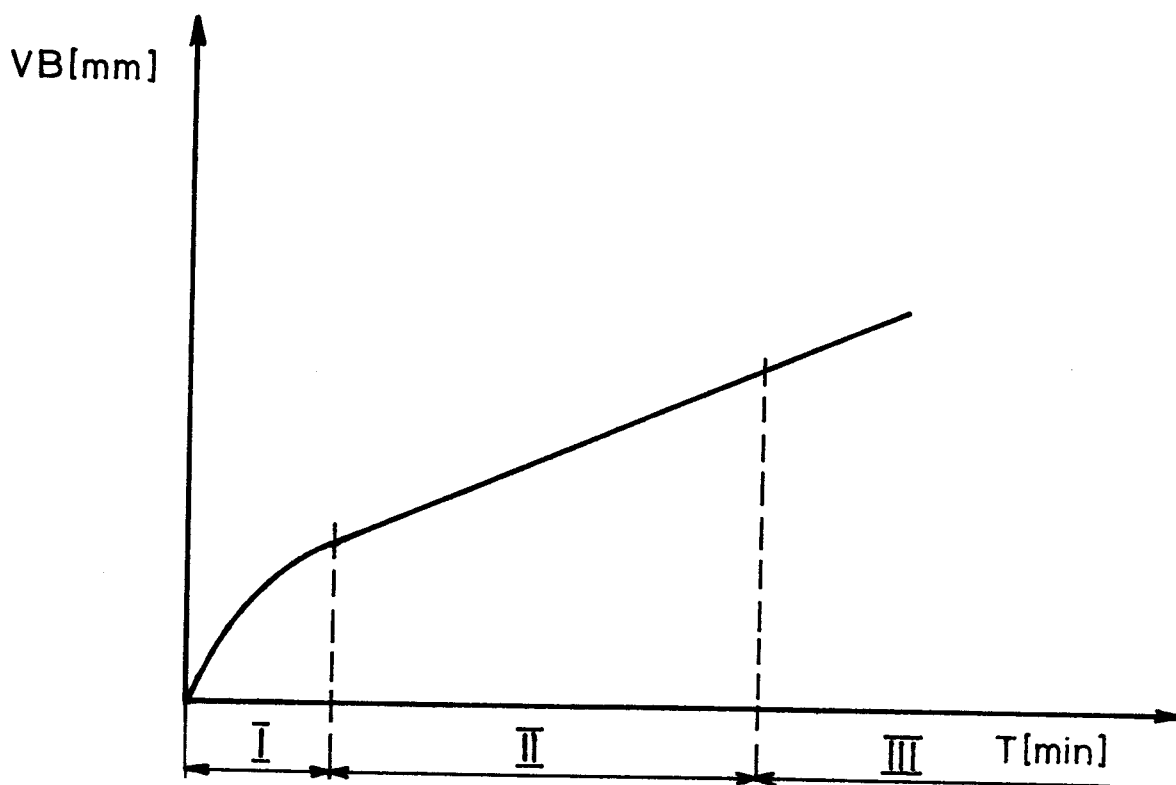
Vliv drsnosti řezného materiálu se projevuje těmito fázemi. V počáteční fázi se obrábí naostřenou destičkou s danou drsností řezných hran. Při obrábění jsou nejexponovanější výstupky nerovností řezného materiálu a dochází

k zarovnání výstupků na jeho povrchu. Povrchová vrstva je nejvíce narušována tvrdými zrny oxidu hlinitého z obráběné keramické hmoty. Dojde ke zvýšené a nerovnoměrné intenzitě opotřebení břitů nástroje. Se "zarovnáváním" nerovností na povrchu řezné destičky se vytváří charakteristická ploška opotřebení, radius po řezné hraně, dochází ke změně mikrogeometrie řezné destičky. Tato ploška se zvětšuje. Nastává druhá fáze - nekolísající opotřebení a ustálení opotřebení, kdy míra opotřebení roste úměrně s časem za daných řezných podmínek.

Z předchozích experimentů se dá usuzovat, že i mikrostruktura řezného materiálu má vliv na opotřebení. U mikrozrného korundu dochází k opotřebení rychleji vzhledem k tomu, že zrna jsou celá vylamována. U makrozrného korundu dochází nejdříve k postupnému obroušování a zmenšování zrna a pak teprve k vylomení. Tento předpoklad je ověřen jen pro konkrétní řezné podmínky, pro zkoušené řezné materiály a zkušební hmoty obrobku /M 50/.

#### Vliv řezných podmínek na opotřebení

Míra opotřebení je obecně závislá na řezné rychlosti  $v$ , posuvu  $s$  a hloubky řezu  $h$ . Opotřebení na hloubce řezu u DLK tak silně nezávisí, pokud nedojde ke zvýšení teploty nebo k vibracím nástroje resp. celé soustavy SPID. V oblasti řezných podmínek, při nichž dojde k opotřebení převážně otěrem na hřbetě má závislost opotřebení VB na čase tvar znázorněný na obr. 2.3



Obr. 2.3

V první fázi /I/ dochází ke zrychlenému otěru. V místech s většími nerovnostmi dochází k většímu úběru. Z původní geometrie nože /většinou  $\kappa_r = 15^\circ$ ,  $\alpha_0 = 15^\circ$ /, během této fáze, vzniká nová vlastní geometrie. Po vzniku vlastní geometrie se otěr zpomaluje - je přibližně lineární - nastává fáze druhá /II/. Ve třetí fázi /III/ u kovů roste řezný odpor a teplota, mohlo by dojít k porušení břitu. U ILK roste sice řezný odpor, ale teplota stoupá nepatrně, třetí fáze zde zpravidla chybí. Tato fáze může teoreticky existovat např. za vibrací.

## Vliv geometrie nástroje na opotřebení

Velikost opotřebení na hřbetě podstatně závisí na nástrojovém úhlu hřbetu. Hodnota úhlu hřbetu ovlivňuje tření mezi obrobenou plochou a plochou hřbetu nástroje. Rozhodujícím faktorem opotřebení nástroje při obrábění korundových keramických hmot je abrazivní otěr. Proto je velikost tření obzvlášť významná. Na velikosti tohoto tření závisí přímo trvanlivost nástroje a tím i ekonomická stránka obrábění, přesnost a jakost výroby. Nástrojový úhel hřbetu  $\alpha_0$  má vliv i na přesnost měření opotřebení nástroje na hřbetě /čím je tento úhel menší, tím větší jsou kladeny nároky na přesnost při měření opotřebení/. Při malých hodnotách nástrojového úhlu hřbetu je rozhraní mezi opotřebenou a neopotřebenou plochou neostré. A to v důsledku zmenšování úhlu hřbetu, protože se zvětšují vlivy, které narušují plochu hřbetu /pěchování hmoty mezi plochou hřbetu nástroje a obrobenou plochou, tvorba nárůstku, narušování nerovnosti povrchu hřbetní plochy/.

Řezný odpor, který klade obráběný materiál a pevnost břitu závisí na úhlu čela  $\gamma_0$ . Také má vliv na tvorbu třísky a na míru pěchování obráběné keramické hmoty.

Nástrojový úhel sklonu ostří  $\lambda_s$  ovlivňuje hlavně odchod třísky po čele nástroje.

Nástrojový úhel nastavení ostří  $\lambda_r$  ovlivňuje tvar a velikost průřezu třísky a tím i velikost řezného odporu. Ovlivňuje také délku opotřebované plošky na hřbetě ve vztahu k hloubce řezu.

Nástrojový úhel špičky nože  $\epsilon_r$  a poloměr špičky nože  $r$  mají vliv na jakost obrobené plochy.



## Vznik tepla a vliv teploty v místě řezu na opotřebení

Nejdůležitějšími teplotami z hlediska opotřebení jsou maximální teploty na hřbetě, případně i na čele a jejich rozložení. Stanovení teplotního pole nástroje je kvůli špatné tepelné vodivosti velmi náročné. Proto používáme střední teplotu, kterou zjistíme snadněji.

Hlavním zdrojem tepla při obrábění ILK bude tření ve styku hřbet - plocha řezu. Lze tak usuzovat i z charakteru opotřebení, které je největší na hřbetě. Předpokládáme, že střední teplota při obrábění ILK keramickým řezným materiálem bude menší než při obrábění ILK slinutým karbidem K, vzhledem k tomu, že keramický materiál má 40x menší tepelnou vodivost.

Velikost teploty při obrábění ILK daným řezným materiálem se mění v závislosti na řezných podmínkách. Maximální teploty, zjištěné při předchozích experimentech, jsou při posuvu  $0,11 \text{ mm ot}^{-1}$ , při řezné rychlosti  $144,2 \text{ m min}^{-1}$ .

Když také uvážíme, že řezná síla je při obrábění nástroje s keramickou destičkou menší než při obrábění kovovými materiály za stejných podmínek, bude i množství tepla menší u nástrojů s keramickými destičkami.

Třísky odchází dělená ve formě prachu z místa řezu tzn., že do třísky neprochází takové množství tepla jako u obrábění kovů.

## Vliv prostředí na opotřebení

Pod pojem prostředí zde zahrnujeme chvění soustavy SPID a odsávání.

Vliv odsávání se projevuje na opotřebení nepatrně. Při zapnutém odsávání je místo styku vystaveno proudu vzduchu o teplotě okolí. Nepoužíváme chladicí emulze vzhledem k tomu, že obráběný materiál je tvořen slisovanou sypkou hmotou. Proud tekutiny by narušil její povrch.

Vliv chvění SPID byl již zkoumán a popsán v jiných  
pracích, v této práci je považován za konstantní faktor.

### 3. Metodika experimentálních zkoušek a jejich příprava

Experiment je zaměřen na sledování charakteru opotřebení a na sledování střední teploty řezání v závislosti na řezných podmínkách při obrábění ILK vybranými řeznými materiály.

Příprava byla rozdělena na tyto celky:

- zkoumání charakteru povrchu obrobku z makroskopického hlediska a význam povrchů ke zjištění mechanismu řezání
- zkoumání závislosti opotřebení nástroje na čase z makroskopického i mikroskopického hlediska při různých řezných materiálech
- zkoumání střední teploty řezání v závislosti na řezných podmínkách

#### 3.1 Zkoumání charakteru povrchu obrobků a význam povrchů ke zjištění mechanismu řezání

Pro hodnocení povrchu obrobku, jeho charakteru a vlivu na mechanismus řezání je z hlediska zajištění objektivnosti důležité provést řadu zkoušek při různých řezných podmínkách, přičemž změnou řezných podmínek rozumíme změnu řezné rychlosti  $v$ , hloubky řezu  $h$  a geometrie nástroje. Zkoumání vlivu nástroje na charakter povrchu je nutné z hlediska použitého řezného materiálu. Řezný materiál má obecně významný vliv z hlediska tvrdosti a tím i opotřebení.

Po ukončení procesu řezání je třeba zhodnotit fotodokumentaci. Pro makroskopické zkoumání postačí zvětšení povrchu vzorku 20 x. Pro naše účely byl použit Neophot firmy Carl Zeiss Jena.

### 3.2 Experimentální metody studia otupování břitu

Na stanovení opotřebení existuje několik způsobů určování:

- měření rozměrů otupených ploch na čele a na hřbetě nástroje
- měření radiálního ústupu špičky nástroje
- stanovení úbytku hmoty nástroje vážením
- stanovení úbytku objemu nástroje pomocí radioizotopů
- určení stupně otupení a stavu nástroje z jevů, které jsou výsledkem otupení

Nepřímý způsob stanovení stupně otupení břitu je založen na pozorování průvodních jevů, které proces otupování doprovázejí. Jsou to:

- vznik lesklé plochy na povrchu obrobeného materiálu
- růst řezných odporů
- růst řezné teploty
- změna barvy třísek, způsobená růstem teploty a vznikem oxidů
- zhoršená drsnost obrobené plochy
- vzrůst amplitudy kmitání soustavy

Metoda radioizotopová představuje nejpřesnější a nejcitlivější metodu určování úbytku materiálu nástroje. Umožňuje určit řádově  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$  mg. Aktivitu řezného materiálu dosáhneme ozářením tokem neutronů. Při měření využíváme radioizotopy wolframu a kobaltu.

Přesně lze určit stupeň opotřebení z úbytku hmoty nástroje. Úbytek hmoty stanovíme vážením na analytických, případně torsních vahách. Z tohoto důvodu lze této metody použít jen u nástrojů opatřených mechanicky upnutými břítovými destičkami.

Radiální opotřebení lze měřit několika způsoby:

- měření vzdálenosti špičky nástroje od pomocné rysky pomocí nástrojařského mikroskopu
- sledování změny tvaru špičky na profilprojektoru
- měření na speciálním přípravku pomocí vertikálního optimetru

### 3.2.1 Způsob měření opotřebení nástroje

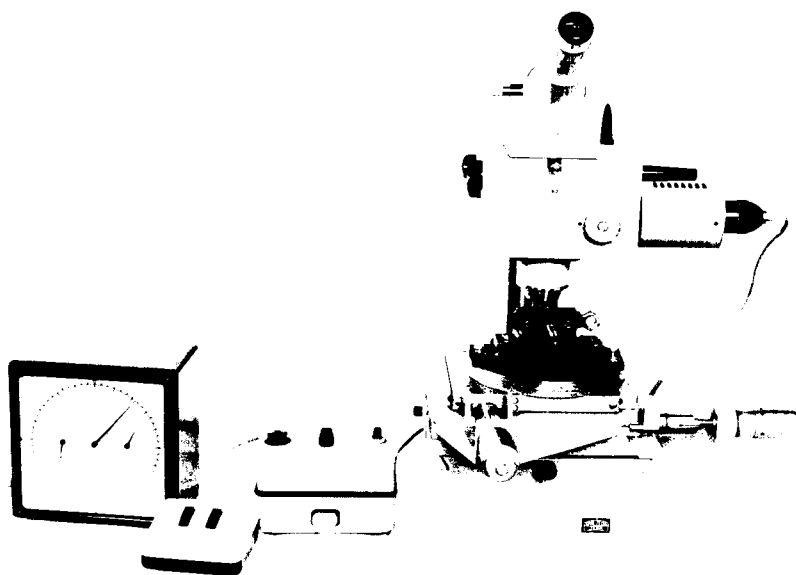
Úkolem měření opotřebení řezného nástroje bylo určit:

- charakter opotřebení v závislosti na čase
- ze spektrální analýzy přítomnost difuze

Jako doprovodné srovnávací charakteristiky použijeme:

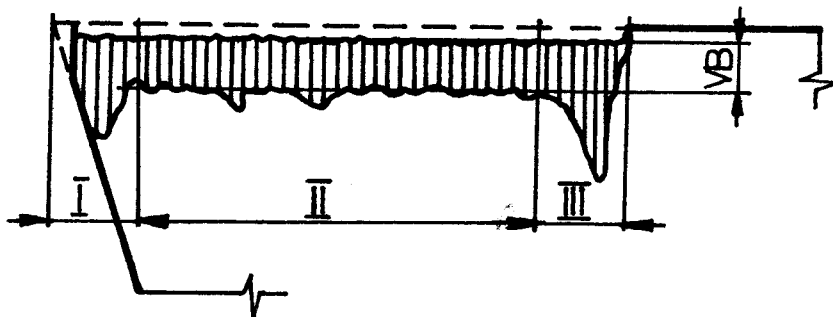
- průběhy opotřebení VB na čase  $t$  v počátcích opotřebení do 10 min
- porovnání křivek VB -  $t$  pro různé řezné materiály

Materiál se opotřebuje převážně na hřbetě / viz kap. 2.8/, proto měříme míru otupení na hřbetě. Měření se provádí na dílenském mikroskopu /obr. 3.1/. Řezná destička byla vkládána do přípravku, který byl upnut na stole mikroskopu.



obr. 3.1

Opotřebení hřbetní plochy je charakterizováno na obr. 3.2



obr. 3.2

- I - délka opotřebení zakřivené části hřbetu, kterou ovlivňuje špička nástroje
- II - délka opotřebené přímé části břitu, zde se vyhodnocuje VB
- III - délka opotřebení, která se nezahrnuje do měření VB, tato vzdálenost je asi 1/4 celkové délky opotřebené plochy na hřbetě

Pro určení charakteru opotřebení byly použity snímky z elektronového skanovacího mikroskopu. V předcházejících experimentech byl zjištěn hlavní charakter opotřebení - abrazivní.

Pomocí spektrální analýzy bychom chtěli zjistit, zda dojde k difuzi.

Porovnání křivek VB - t je zaměřeno na rozdílnost průběhů opotřebení pro různé rezné materiály. Jednotlivé průběhy opotřebení můžeme vyhodnocovat pouze pro dané konkrétní rezné materiály a rezné podmínky.

### 3.3 Měření teploty

Významným doprovodným jevem při obrábění kovů je teplota, která významnou mírou ovlivňuje proces otupení nástroje, přesnost výroby apod.

Při obrábění ILK se dá předpokládat, že je vliv teploty menší a k ovlivnění přesnosti výroby nedochází. Vzhledem k vlivu teploty na intenzitu otupení břitu chceme zjistit, v rozsahu daných řezných podmínek, velikost střední teploty řezání.

Pro experimentální zkoušky byly použity řezné destičky ze slinutého karbidu K 10 a keramického řezného materiálu mikrozrného korundu VŮEK.

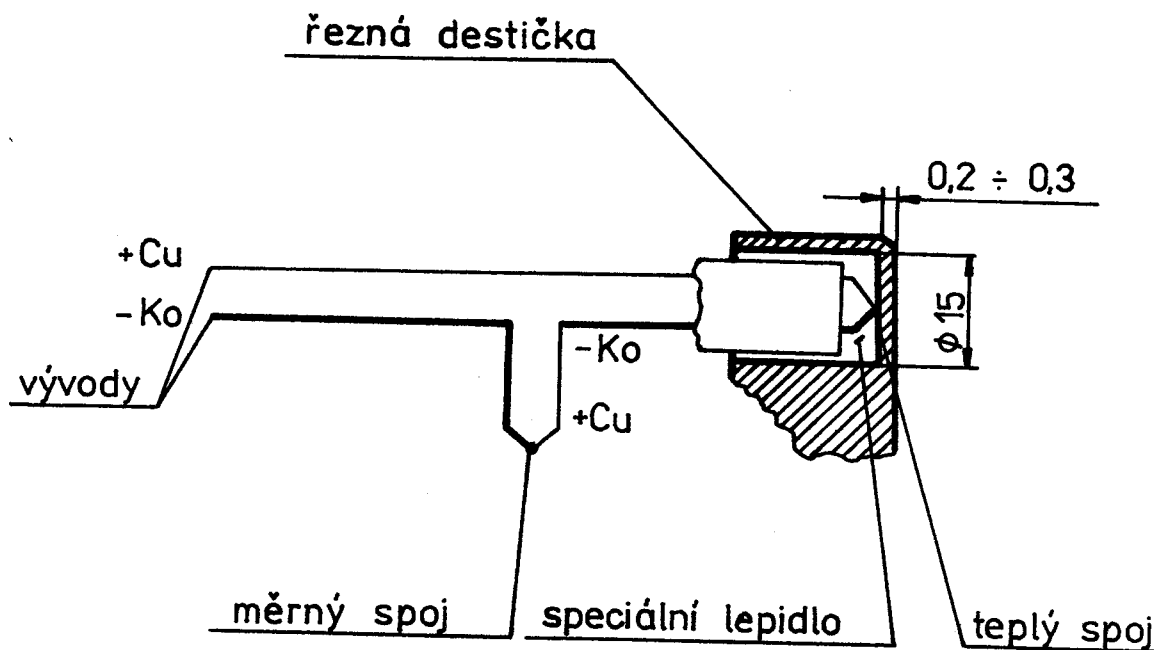
Naměřené hodnoty se odečítaly na digitálním milivoltmetru NR 30.

Do břitové destičky byl zhotoven  $\varnothing$  1,5 mm v místě co nejbližší k břitu. Tloušťka dna zůstala 0,2 - 0,3 mm. Umístění otvoru bylo voleno tak, aby nedošlo k destrukci řezné destičky.

U řezné destičky ze slinutého karbidu K 10 se zhotoví otvor elektrojiskrově nebo ultrazvukem. Spojení drátků Cu - Ko se provede kondenzátorovou svářečkou a teplý spoj se přivaří ke dnu otvoru v břitové destičce. Takto zabudovaný spoj se zalije speciálním lepidlem a vypálí se při teplotě 300°C po dobu 2 hodin.

U keramické destičky se musel otvor vyrobit už v nevy-páleném stavu předlisováním a předvrtáním. Teplý spoj termočlátku byl vsunut na doraz dna a zalit speciálním lepidlem. Tento spoj se vypálí také při teplotě 300°C po dobu dvou hodin. Přestup tepla z keramické destičky na termočlánek je zajištěn dotykem a vodivostí lepidla.

Obvod vestavěného termočlátku je na obr. 3.3.



obr. 3.3

### 3.3.1 Vestavěný termočlánek

Pro měření jsme použili umělý termočlánek, tvořený dvěma kovy: měď a konstantan. Výhodou oproti termočlátku přirozenému je poměrně větší termoelektrická síla. Tento termočlánek se také lépe cejchuje.

Spojením termočlánekových materiálů vzniká teplý spoj termočlátku, který je umístěn v otvoru řezné destičky tak, aby ležel co nejbližší k místu předpokládané maximální teploty. Teplý spoj musí být dokonale připojen a oba vodiče musí být zajištěny a izolovány.



Teplota na volných koncích musí být konstantní /  
/20°C nebo 0°C/. Konstantní teplotu zabezpečíme vložením  
volného konce do prostředí s konstantní teplotou /např.  
směs vody s ledem/.

Vestavěný termočlánek neměří maximální teplotu břitu  
nástroje, ale okamžitou teplotu místa teplého spoje. Na  
obr. 3.4 je nožový držák s termočlánekem.



obr. 3.4

### 3.4 Podmínky při experimentálních zkouškách

#### Řezné podmínky

Při experimentu musí řezné podmínky odpovídat rozsahu  
parametrů stroje a musí vyhovovat požadavkům praxe.

a/ při sledování teploty

řezná rychlost	$v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$ ; $v_2 = 73,5 \text{ m.min}^{-1}$ ; $v_3 = 204,2 \text{ m.min}^{-1}$
posuv	$s_1 = 0,16 \text{ mm.ot}^{-1}$ ; $s_2 = 0,24 \text{ mm.ot}^{-1}$ ; $s_3 = 0,4 \text{ mm.ot}^{-1}$
hloubka	$h_1 = 1 \text{ mm}$ ; $h_2 = 3 \text{ mm}$

b/ při sledování opotřebení řezných materiálů

řezná rychlost  $v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$ ;  $v_2 = 204,2 \text{ m.min}^{-1}$ ;  
posuv  $s = 0,4 \text{ mm.ot}^{-1}$   
hloubka  $h = 3 \text{ mm}$   
čas  $t = 10 \text{ min}$

c/ při vytváření povrchů obrobku

řezná rychlost  $v_1 = 27,8 \text{ m.min}^{-1}$ ;  $v_2 = 186,2 \text{ m.min}^{-1}$   
posuv  $s = 0,4 \text{ mm.ot}^{-1}$   
hloubka  $l = 20 \text{ mm}$

Použité řezné materiály /kap. 2.3/ a použitý obráběný materiál /kap. 2.4/

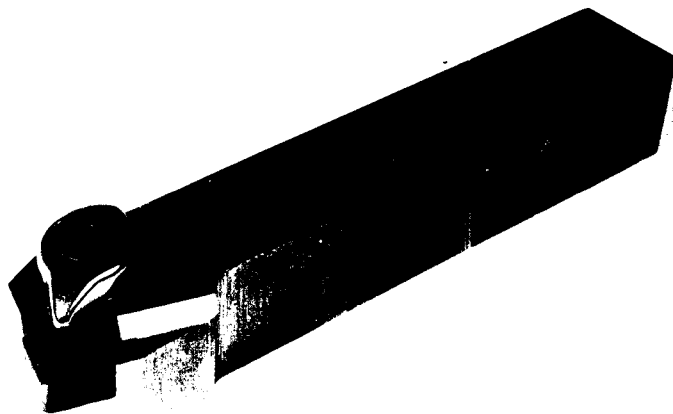
Rozměry hublu

průměr  $D = 260 \text{ mm}$   
délka  $l = 1\ 650 \text{ mm}$

Geometrie nástroje

Geometrie břitu je dána nožovým držákem /obr. 3.5/

nástrojový úhel čela  $\gamma_o = -4^\circ 05' 56''$   
nástrojový úhel hřbetu  $\alpha_o = 4^\circ 05' 56''$   
nástrojový úhel sklonu ostří  $\lambda_s = 1^\circ 50' 13''$   
nástrojový úhel nastavení  $\kappa_r = 70^\circ$   
nástrojový úhel špičky nože  $\epsilon_r = 90^\circ$   
poloměr špičky nože  $R = 1,2 \text{ mm}$

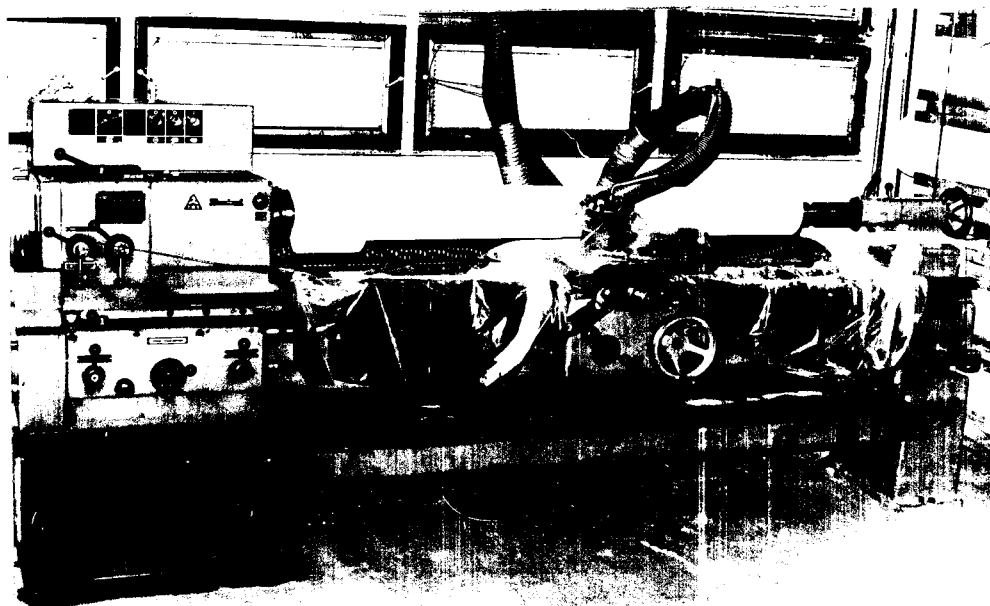


## Obráběcí stroj

Byl použit univerzální soustruh SN 50 B /obr. 3.6/

Parametry soustruhu:

výrobce	n.p. TOS Trenčín
výkon motoru	6,6 kW
oběžný průměr nad ložem	500 mm
oběžný průměr nad suportem	270 mm
vzdálenost hrotů	2060 mm
vrtání vřetena	50,8 mm
kužel ve vřetení	MORSE 6
kužel v objímce koníku	MORSE 5
otáčky vřetena	12 stupňů normální řady 45 - 2000 min <sup>-1</sup> 12 stupňů snížené řady 22 - 1000 min <sup>-1</sup>
rozsah posuvů	38 stupňů
největší průřez nože	30 x 30 mm



obr. 3.6

### 3.5 Měřicí přístroje a zařízení

#### Přístroj na měření drsnosti povrchu řezného materiálu

Drsnost povrchu řezných destiček měříme pomocí zařízení Hommel - Tester - T 3.

#### Zařízení na měření opotřebení

Měření opotřebení řezných destiček na hřbetě bylo provedeno na dílenském mikroskopu BK Carl Zeiss - Jena s přesností odečítání 0,001 mm. Shodné upnutí destiček zajišťujeme pomocí speciálního přípravku.

Na měření času při tomto experimentu byly použity elektronické stopky.

#### Zařízení na zhotovení snímků charakteru opotřebení nástroje

Pro zhotovení snímků, ze kterých zjišťujeme charakter opotřebení byl použit elektronový rastrovací mikroskop, typ BS 300 - Tesla Brno.

Technické údaje rastrovacího mikroskopu:

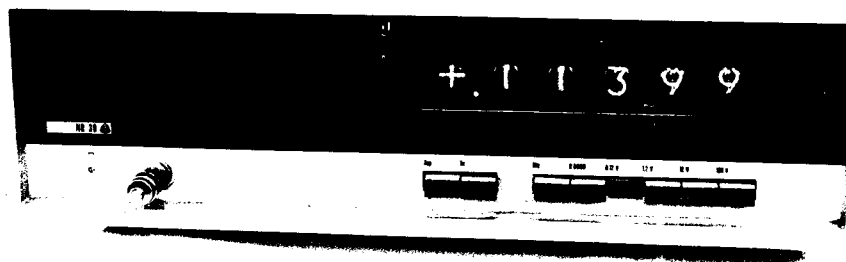
zaručená rozlišovací schopnost	15 $\mu\text{m}$
dosažitelná rozlišovací schopnost	10 $\mu\text{m}$
zvětšení	5 - 200 000
urychlovací napětí	1 - 49 kV po 1 kV
displej zvětšení	digitální
pracovní vzdálenost	6 - 51 mm
velikost vzorku	$\varnothing$ 10 - 34 mm
rychlost rastrování	1 - 500 m.s/řádek
počet řádků	100, 200, 400, 800, 16 000

#### Zařízení pro spektrální analýzu

Spektrální analýza byla provedena na spektrografu Q 24.

### Zařízení na měření teploty

Při tomto experimentu byl použit digitální milivoltmetr NR 30, výrobce n.p. Metra /obr. 3.7/.



obr. 3.7

### Zařízení pro zkoumání povrchů obrobku

Charakter povrchu obrobku a jeho vliv na mechanismus řezání byl zkoumán na snímcích, které byly zhotoveny na Neophotu firmy Zeiss.

#### 4. Experimentální zkoušky

##### 4.1 Popis experimentu vytváření povrchů obrobku

Účelem této experimentální zkoušky bylo vytvoření povrchů obrobku s cílem získat informace pro další zpracování. Současně byl sledován vliv povrchu obrobku na otupování nástroje.

Zkouška byla provedena na universálním soustruhu SN 50 B hladícím a hrubovacím nástrojem. U hrubovacího nástroje s destičkou z makrozrného keramického řezného materiálu byl měněn také nástrojový úhel nastavení hlavního ostří  $\alpha_r$ .

Po skončení obrábění byly z hublu nařezány vzorky o rozměrech 3 x 8 cm. Při stejných řezných podmínkách byl zhotoven vždy jeden nevypálený a jeden vypálený vzorek.

Konkrétní řezné podmínky pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny v tabulce č. 1. Hloubka byla plynule měněna po délce vzorku od 1 - 20 mm.

Tab. č. 1

Vzorek číslo	v /m.min <sup>-1</sup> /	s /mm.ot <sup>-1</sup> /	Nástroj
1	27,8	0,4	hladící bez úpravy
2	186,2	0,4	hladící bez úpravy
3	27,8	0,4	hladící s úpravou
4	186,2	0,4	hladící s úpravou
5	186,2	0,4	hrubovací $\alpha_r = 80^\circ$
6	186,2	0,4	hrubovací $\alpha_r = 80^\circ$
7	186,2	0,4	hrubovací $\alpha_r = 80^\circ$
8	186,2	0,4	hrubovací $\alpha_r = 80^\circ$
9	186,2	0,4	hrubovací $\alpha_r = 55^\circ$
10	186,2	0,4	hrubovací $\alpha_r = 55^\circ$
11	186,2	0,4	hrubovací $\alpha_r = 55^\circ$
12	186,2	0,4	hrubovací $\alpha_r = 55^\circ$

#### 4.2 Popis experimentu zkoumání závislosti opotřebení na čase

Zkoušky byly realizovány při podélném soustružení na soustruhu SN 50 B. Obrobek byl upnut mezi kulovité unašeče. Jako nástroj byl použit držák vyměnitelných řezných destiček. Tento nástroj byl ustaven do osy obrobku.

Před experimentem byla na Hommel - Testeru - T 3 změřena drsnost řezných destiček. Drsnost byla zkontrolována i po skončení experimentu na opotřeбенé části břitu.

Obrábění bylo po určitých časových intervalech přerušováno a hodnoty opotřebení VB změřeny. Protože zkoumáme hlavně počáteční opotřebení, nebyla stanovena velikost kritériálního opotřebení. Maximální doba styku řezného nástroje a obrobku byla 10 minut. Hodnoty byly zpracovány do tabulek /tab. č. 2 - 7/. Pro vyhodnocení byly zpracovány do grafu. Závislost  $VB - t$  při  $v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$  je značena č. 1; při  $v_2 = 204,2 \text{ m.min}^{-1}$  č. 2.

Pro spektrální analýzu byly použity destičky z materiálu DISAL 100 a Luxalu 204. Pro porovnání byla vždy připravena jedna destička stejného řezného materiálu, která nebyla použita a jedna po 10 minutách obrábění. Spektrální analýze byl podroben také vzorek obráběné hmoty. U použitých destiček byla vložena do elektrického oblouku hrana opotřeбенá řezáním.

##### 4.2.1 Kontrola drsnosti povrchu řezného materiálu

Proces opotřebení řezného nástroje v místě styku nástroj - obrobek, má za následek kromě jiného, i změnu drsnosti kontaktní plochy nástroje.

Z tohoto důvodu byla kontrolována střední hodnota drsnosti  $R_a$  řezné destičky naostřené a po opotřebení. Měření bylo provedeno na hřbetní ploše v oblasti II /obr. 3.2/ ve vzdálenosti 0,1 mm od řezné hrany. Od většího opotřebení byla snaha měřit na rozhraní opotřeбенé a neopotřeбенé plochy.

V případě  $t = 0,5\text{min}$  bylo nutné tuto hodnotu redukovat, aby bylo možné změřit drsnost žádané plochy.

Konkrétní hodnoty získané pomocí měřícího zařízení Hommel - Tester T 3 jsou zaznamenány v tab. č. 8.

Tab. č. 8

Mat. číslo hrany	H 10		MaS		MaN		DISAL 100		DISAL 210		LUXAL 204	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	0,44	0,38	0,7	0,5	0,49	0,56	0,15	0,21	0,17	0,16	0,72	0,95
2		0,32		0,56		0,62		0,22		0,21		0,85
3		0,37		0,78		0,50		0,24		0,17		
4		0,55						0,20		0,22		0,8
5		0,21		0,76		0,64		0,25		0,32		
6		0,46		0,64		0,98		0,21		0,20		0,95
7		0,32		0,72		0,58		0,22		0,22		0,93
8		0,32						0,26		0,30		0,92

I neopotřebená plocha  
 II opotřebená plocha



4.2.2 Tabulky naměřených hodnot opotřebení a výsledky spektrální analýzy

tab. č. 2 materiál H 10;  $h = 3 \text{ mm}$ ;  $s = 0,4 \text{ mm.ot}^{-1}$

$v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$		$v_2 = 204,2 \text{ m.min}^{-1}$	
t	VB	t	VB
0,5	0,047	0,5	0,138
2	0,120	2	0,154
6	0,161	6	0,346
10	0,213	10	0,448

tab. č. 3 mat. Makrozný korund S ;  $h = 3 \text{ mm}$ ;  $s = 0,4 \text{ mm.ot}^{-1}$

$v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$		$v_2 = 204,2 \text{ m.min}^{-1}$	
t	VB	t	VB
0,5	0,114	0,5	0,217
2	0,205	2	0,273
10	0,806	10	0,460

tab. č. 4 mat. Makrozrný korund N;  $h = 3 \text{ mm}$ ;  $s = 0,4 \text{ min.ot}^{-1}$

$v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$		$v_2 = 204,2 \text{ m.min}^{-1}$	
t	VB	t	VB
0,5	0,241	0,5	0,248
2	0,268	2	0,457
10	0,426	10	0,862

tab. č. 5 materiál DISAL 100;  $h = 3 \text{ mm}$ ;  $s = 0,4 \text{ mm.ot}^{-1}$

$v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$		$v_2 = 204,2 \text{ m.min}^{-1}$	
t	VB	t	VB
0,5	0,064	0,5	0,085
2	0,181	2	0,230
6	0,352	6	0,349
10	0,384	10	0,449

tab. č. 6 materiál DISAL 210;  $h = 3 \text{ mm}$ ;  $s = 0,4 \text{ mm.ot}^{-1}$

$v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$		$v_2 = 204,2 \text{ m.min}^{-1}$	
t	VB	t	VB
0,5	0,043	0,5	0,079
2	0,215	2	0,308
6	0,330	6	0,316
10	0,455	10	0,445

tab. č. 7 materiál LUXAL 204;  $h = 3 \text{ mm}$ ;  $s = 0,4 \text{ min.ot}^{-1}$

$v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$		$v_2 = 204,2 \text{ m.min}^{-1}$	
t	VB	t	VB
0,5	0,300	0,5	0,246
2	0,398	2	0,345
6	poškozena	6	0,520
10	0,505	10	0,723

## Výsledky spektrální analýzy

Spektrum dvojic vzorků /použitý - nepoužitý/ je stejné. Neprojevil se žádný rozdíl ve spektrech jednotlivých destiček. Vzorek obráběné keramické hmoty odpovídá svým chemickým složením, žádné cizí a neobvyklé chemické příměsy nebyly zjištěny. Rovněž nebylo zjištěno žádné znečištění použitých keramických destiček touto obráběnou hmotou. Dá se tedy předpokládat, že k difuzi mezi keramickými řeznými materiály a obráběným materiálem nedochází.

### 4.3 Popis experimentu při měření teploty

Zkouška byla provedena na univerzálním soustruhu SN 50 B. Obráběný materiál byl upnut mezi kulovité unašeče. Byly použity řezné destičky z mikrozrného korundu a slinutého karbidu K 10. Do nožového držáku byla upnuta destička s vestavěným termočlánkem. Pod destičku byla vložena speciální podložka, aby nedošlo k poškození vývodu termočlánku. Kvůli tepelným ztrátám byla destička od nožového držáku odizolována třemi vrstvami teflonové folie. Měrný spoj byl vložen do nádoby se směsí vody a ledu, aby se udržela konstantní teplota.

Měření bylo provedeno při zvolených kombinacích řezné rychlosti, posuvu a hloubky. U každého materiálu bylo měření provedeno 2x a hodnoty byly zaznamenány do tabulky. V tabulce jsou uvedeny zaokrouhlené hodnoty aritmetického průměru z obou měření /tab. č. 9/. Hodnoty byly zpracovány do grafů. Průběhy teplot u MK jsou označeny č. 1; u SK jsou označeny č. 2.

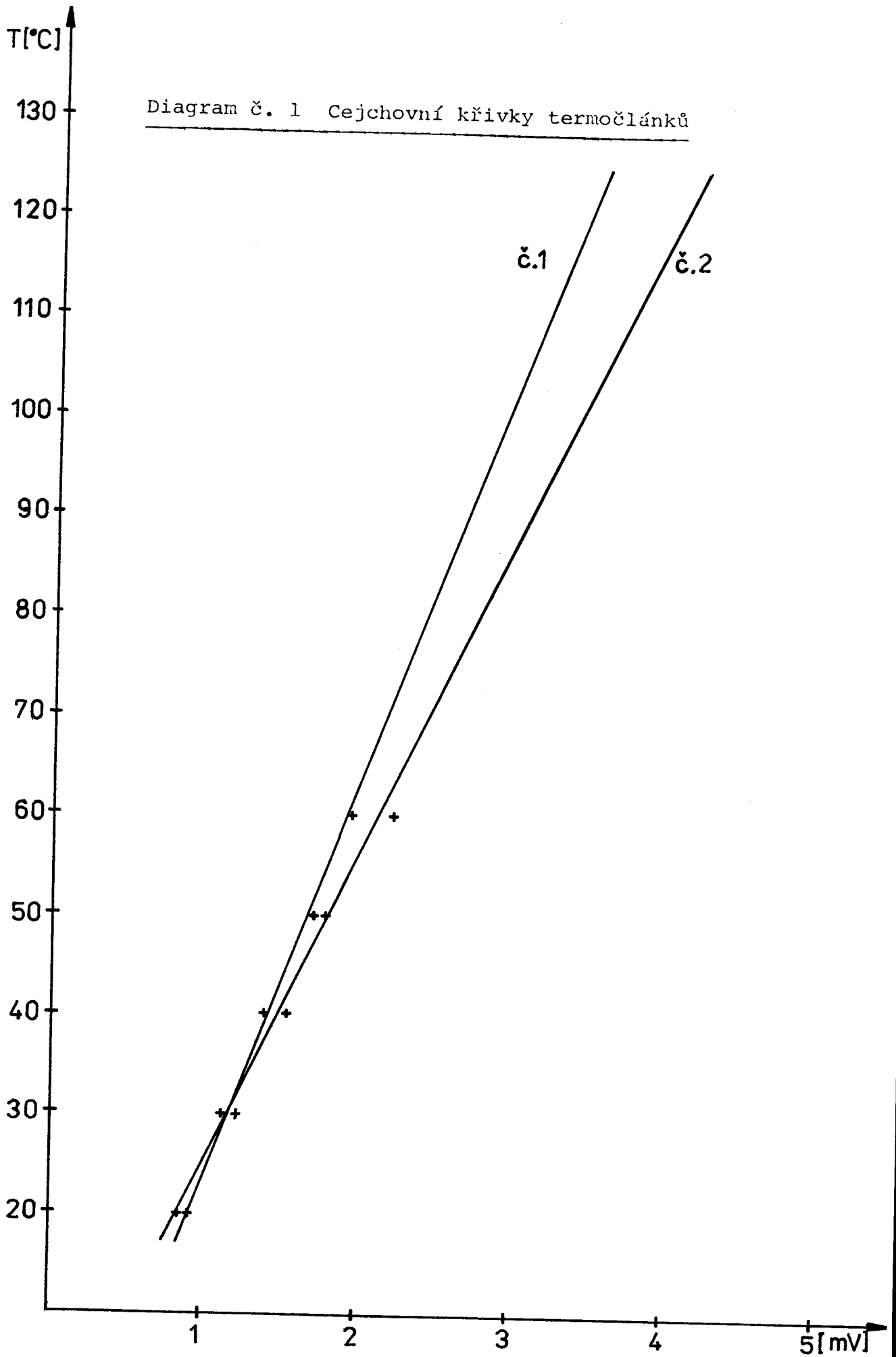
V průběhu soustružení dochází k nárůstu teploty a po určité době /řádově 1 min/ k jejímu ustálení. Tato ustálená teplota byla odečtena. Mezi jednotlivým odečítáním teplot musí dojít k vychladnutí řezné destičky. Doba chladnutí destičky byla poměrně krátká. Měření bylo prováděno při teplotě prostředí 24°C. Protože bylo nutné zachovat stejné podmínky měření, musely být řezné destičky průběžně přeostřovány.

#### 4.3.1 Cejchování termočlánků

Před vlastním měřením je nutné provést cejchování. Cejchování termočlánků jsme provedli v peci s regulovatelnou teplotou. Teplota byla kontrolována rtuťovým teploměrem. Hodnoty byly zaznamenány do tabulky /tab. č. 10/ a byla z nich sestrojena cejchovní křivka./diagram č. 1/.

Tab. č. 10

Číslo termočl.	1	2
T/°C/	/mV/	/mV/
20	0,87	0,91
30	1,23	1,13
40	1,40	1,55
50	1,73	1,78
60	1,98	2,23



4.3.2 Tabulka naměřených hodnot při měření teploty tab.č.9

$v_1$	$s_1$	$h_1$	$v_2$	$s_2$	$h_2$	$v_3$	$s_3$	č.1 /mV/	T /°C/	č.2 /mV/	T /°C/
36,8	0,16				3			2,04	64	1,82	51
36,8				0,24	3			2,06	64,5	2,20	62,5
36,8					3		0,4	2,14	68,5	2,06	58
	0,16		73,5		3			2,52	82,5	3,16	92,5
			73,5	0,24	3			2,56	85	2,92	84,5
			73,5		3		0,4	2,64	88	3,22	93,5
	0,16				3	204,2		3,06	102,5	4,38	130
				0,24	3	204,2		3,08	105	4,18	123,5
					3	204,2	0,4	3,32	116	4,21	125
36,8	0,16	1						1,42	40	1,72	47
36,8		1		0,24				1,44	40,5	1,84	51
36,8		1					0,4	1,46	41	1,93	59,5
	0,16	1	73,5					1,74	52,5	2,58	74
		1	73,5	0,24				1,78	54	2,68	77
		1	73,5				0,4	1,82	55	2,74	79
	0,16	1				204,2		2,10	66,5	3,56	104,5
		1		0,24		204,2		2,16	68,5	3,70	109,5
		1				204,2	0,4	2,18	69,5	3,66	108,5

## 5. Vyhodnocení a závěr

### 5.1 Vyhodnocení snímků řezných destiček a snímků povrchu obrobku z hlediska kontaktních ploch

#### Snímky opotřebených řezných destiček

##### Makrozný korund S

Charakter opotřebení řezné destičky je zřejmý ze zhotovené fotografie /obr. 1/ opotřebení hřbetní plochy řezného materiálu.

Po relativně krátké době kontaktu obou materiálů dochází k největšímu opotřebení na nejexponovanější části nástroje t.j. na špičce nástroje. Zde také dochází k radiálnímu úbytku řezného materiálu. Dalším charakteristickým rysem je úbytek t.j. opotřebení hřbetní části v délce hloubky třísky. Největší opotřebení je znatelné v profilující části, kde dochází ke vzniku postupně se zvětšující prohlubně.

Na obr. 2 sledujeme, že při déletrvajícím obrábění dochází k výraznému zvýšení opotřebení vzhledem k obr. 1. V opotřebené oblasti dochází ke geometrickým změnám povrchu. Na reliéfu jsou patrné vystouplé částice tvrdšího charakteru, u nichž nebyla překročena mez pevnosti a tedy nebyly odděleny od základního materiálu břitové destičky.

Obr. 3, 4, 5 - při pozorování snímků v daném časovém sledu lze konstatovat, že dochází k postupnému zvětšování oblasti opotřebení, přičemž narušení povrchu otěrem je více zřetelné, než v případě obr. 1, 2. Další údaje není možné zjistit, neboť došlo k porušení napařené vodivé vrstvy, což se na snímku projeví světlými skvrnami.

Při porovnání řezného materiálu při řezné rychlosti  $v_1$  a  $v_2$ , je ze snímků patrné, že dochází k menšímu opotřebení při vyšší řezné rychlosti  $v_2$ .



Z hlediska drsnosti opotřebeného povrchu je zajímavé, že povrch u obr. 1, 2 vykazuje menší hodnotu Ra po opotřebení, než u základního materiálu. Tento jev si vysvětlujeme tím, že jednotlivá zrna řezného materiálu se nevylamují ihned, ale že jsou po určité době podrobena styku s materiálem obrobku, jehož abrazivní účinek se projeví jako zbroušení ostrých nepravidelných, vyčnívajících zrn a tím přispěje ke snížení hodnoty Ra /potvrzeno naměřenými hodnotami Ra/.

S rostoucím časem obrábění a s tím souvisejícím nárůstem opotřebení dochází opět ke zvýšení hodnoty Ra, zřejmě vlivem zrychleného vylamování zrn.

#### Makrozrný korund N

Na obr. 6, 7, 8 je zřetelný plynulý nárůst opotřebení v závislosti na době řezání. U obr. 6 se vytvořily podmínky pro vznik prolákliny na špičce nástroje, která je dobře patrná na obr. 8, kde je celá opotřebená oblast ohraňována prohlubující se hranicí.

Na obr. 9, 10 se projevuje vliv řezné rychlosti  $v_2$ . Největší opotřebení je patrné u obr. 10 na hlavním ostří, kde dochází ke vzniku mikrodutin způsobených vylomením tvrdších komponentů řezného materiálu.

U obr. 9 jsou patrné zachycené nečistoty na čele a bílé skvrny, způsobené opadáním nanesené vodivé vrstvy.

Při  $v_2$  se projevuje značné opotřebení /obr. 11/, ale vzniklá opotřebená plocha má větší drsnost. Uplatňuje se zde zřejmě dynamický vliv odcházejících částic na materiál řezné destičky, což má za následek rychlejší vytrhávání částic základního řezného materiálu a s tím souvisící prudký nárůst opotřebení oproti obr. 6, 7, 8, kde se tento vliv neuplatňuje v takové míře.

Na obr. 11 je také patrná výrazná rýha způsobená nárazem tvrdého útvaru materiálu obrobku na profilující část nástroje, což mělo za následek vytržení části ostří. V rýze jsou patrná pevně ukotvená obnažená tvrdá zrna, která nebyla vylomena.

#### DISAL 210

Z grafického zpracování vyplývá, že průběhy opotřebení jsou prakticky shodné ve svých maximálních hodnotách. Vlastní křivky se však v závislosti na  $v_1$  a  $v_2$  poněkud liší.

Při  $t = 0,5$  min vykazuje opotřebení téměř stejné hodnoty. Na obr. 12 jsou patrné dvě mikrorýhy. Předpoklad, že jsou způsobené neodsátými vydrolenými částicemi materiálu obrobku nebo nástroje prosmyknutými kontaktními plochami se vzhledem k jejich směru a výskytu u ostatních řezných destiček nepotvrdil. Mikrorýhy způsobené prosmyknutými částicemi byly pozorovány pouze u obrobku.

Při stejné době styku nástroje a obrobku dochází u  $v_1$  /obr. 13, 14/ k rychlejšímu nárůstu opotřebení než u  $v_2$  /obr. 16,17/.

#### DISAL 100

Na obr. 18 došlo k vydrolení materiálu řezné destičky ve sledované oblasti. Tím vznikají obnažená zrna, u nichž nedošlo k vylomení.

Na obr. 19, 20 je sledována stejná oblast jako u obr. 18, ve zvětšení 1000x a 1500x. Tímto zvětšením došlo ke zvýraznění mikrodotin řezného materiálu v blízkosti sledovaného útvaru. Je pravděpodobné, že k vytvoření došlo vylomením jednoho nebo několika zrn základního materiálu.

Na obr. 21, 22 je zobrazeno zvyšující se opotřebení, které je velice podobné jako u DISALU 210. Na povrchu jsou ulpělé nečistoty.

Plynulý rovnoměrný nárůst opotřebení je znatelný na obr. 23, 24, 25. V maximální míře se opotřebení projevilo na obr. 25. Výrazné útvary na povrchu vznikly vakuovým napařením ulpělých nečistot.

Z obr. 23, 25 se dá předpokládat, že je řezný materiál vylamován ve formě objemových elementů popř. destičkovitých útvarů.

#### H 10

Na obr. 26 je pozorovatelné nepatrné opotřebení a nečistoty na špičce nástroje. Na obr. 27, 28 můžeme pozorovat také množství ulpělých nečistot. Při déletrvajícím obrábění se opotřebení zvětšuje a jsou patrné mikrodutiny /obr. 29/, které jsou na obr. 30 zvětšeny 1000x.

Obr. 31, 32, 33 ukazují plynulý nárůst opotřebení při řezné rychlosti  $v_2$ . Opět jsou zde znatelné ulpělé nečistoty a obnažená tvrdá zrna /obr. 33/.

#### LUXAL 204

Při zkoumání opotřebení povrchu řezného materiálu je nutné najít takové zvětšení, které by zabezpečovalo, na snímcích, objektivní pohled na tento proces. To znamená zvolit přibližně optimum mezi příliš velkým, nebo naopak malým zvětšením. Na sérii fotografií obr. 34, 35, 36, 37 je proveden záběr opotřebení na hřbetě břitové destičky.

Při malém zvětšení /t.j. 100x/ se opotřebení projeví pouze jako temnější skvrnka na povrchu světlejšího zákl. materiálu. K výraznému zlepšení dojde při větším zvětšení /300x/.

U příliš velkého zvětšení /500x, 700x, 1000x, 1500/ se zaměřujeme na příliš malou oblast, která svádí k analýze mikrostruktury, ale jen velmi málo říká o skutečném průběhu opotřebení a jeho charakteru.

Suboptimálním řešením daného problému je čtyřistanásobné zvětšení opotřebeného povrchu. Důvodů, které vedly k použití tohoto zvětšení je hned několik

- 1/ výrazná kresba opotřebení
- 2/ rozlišitelnost dutin, proláklín apod.
- 3/ zobrazen poměrný velký úsek opotřebení

Z těchto fotografií lze potom usuzovat na charakter opotřebení, jeho tvorbu a vliv na proces obrábění.

#### Snímky povrchů obrobků

Povrch obrobku sledujeme z důvodu zjištění vlivu nástroje na obráběný materiál. Jsou zhotoveny snímky vypálené i nevypálené keramiky.

Ve vypáleném stavu jsou snímky méně čitelné, jsou patrné pouze vypálené nečistoty /obr. 44, 45/, po kterých zůstaly mikrodutiny.

Na obr. 46 je také viditelné obnažené zrno. Hladící nůž bez úpravy vytváří při nižší i vyšší řezné rychlosti povrch hladký /nejsou na něm téměř patrné stopy po nástroji - obr. 47, 48/.

Na obr. 49 je patrna proláklina, která zřejmě vznikla vytržením shluku mikročástic, jejich soudržnost byla větší než základního materiálu.

Na obr. 50, 51, 52 jsou výrazné stopy po nástroji hrubovacím. Projevuje se zde také kinetické působení vířících zrn na povrchu obrobku. Tato zrna vytvářejí na povrchu mikrorýhy a mají v malé míře abrazivní účinek na obráběný materiál, ale nevytváří mikrorýhy na povrchu řezného materiálu.

Při obrábění ILK dochází také velmi často k vytržení celých systémů zrn a vzniku mikro dutin a proláklín /obr. 53, 54, 55, 56, 57/.

### Kořen třísky

Možnosti studia procesu vzniku "třísky" a vytváření obrobene plochy v průběhu řezání jsou velmi omezené. Jednou z možností odhalení zákonitostí a podstaty řezného procesu při obrábění ILK je studium "kořene třísky" až po ukončení řezání.

Z tohoto důvodu byly posléze zhotoveny vzorky s oblastmi "kořenů třísek", za podmínek uvedených v tabulce /tab č. 10/, při podélném soustružení z čela obrobku. Z fotografií zhotovených na elektronovém rastrovacím mikroskopu je možné popsat mechanismus řezání.

Podmínkou celého experimentu je správné zhotovení vlastního kořene třísky určeného pro další studium. Tento požadavek lze zabezpečit:

a/ dostatečně rychlým vyvedením nástroje z řezu

b/ okamžitým zastavením pohybu obrobku

přičemž je důležité získat takový "kořen třísky", který se vyskytuje v procesu obrábění, nezkreslený vedlejšími vlivy jako je např. zpomalování pohybu obrobku, vyjíždění nástroje z místa řezu apod.

K tomuto účelu bylo zhotoveno 6 vzorků a z nich následující fotografie.

tab. č. 10

Snímek číslo	s /mm.ot <sup>-1</sup> /	h /mm/	v /m.min <sup>-1</sup> /
38	0,2	1	16
39	0,4	1	16
40	0,8	1	16
41	0,2	3	16
42	0,4	3	16
43	0,8	3	16

l/ h = 1 mm

a/ obrázek č. 38

- je zde patrné oddělení částice, mimo oblast řezu, zřejmě způsobené nestejnou soudržností jednotlivých komponentů nebo jejich celků. Na neobrobene ploše tedy vzniká vytrženina, která svými rozměry může ovlivnit jakost plochy v tom smyslu, že pro svou hloubku nemusí být odstraněna. Tato skutečnost se nepříznivě projeví zejména při obrábění "načisto".

b/ obrázek č. 39, 40

- na těchto obrázcích je patrný typický "kořen třísky", vyskytující se při obrábění ILK. Řez je "čistý", bez vytrženin v přilehlých oblastech, nedochází k vyhrnutí materiálu podél stopy nástroje. Oddělené částice materiálu jsou z větší části ihned odstraněny odsávacím zařízením, ale před úplným oddělením jsou pýchovány řezným nástrojem. V řezu jsou znatelné rovnoběžné stopy ve směru pohybu nástroje, způsobené nerovnostmi vzniklými jeho nástřením pomocí měkkého brusného kotouče.

2/  $h = .3 \text{ mm}$

a/ obrázek č. 41, 42

- na obrázcích je vidět reliéf plochy vzniklé pod hřbetní plochou nástroje. V obou případech se zde uplatňuje mechanismus vytrhávání částic nebo jejich celků.

b/ obrázek č. 43

- je zde patrný postupný záběr nože do řezu, charakterizovaný plochou obrobenou a dosud neobrobenou v důsledku malé hloubky řezu nestačící k odříznutí původních nerovností. Na obrázku je patrná plocha vzniklá pod hřbetem nástroje. Dochází převážně k zatlačování částic do obrobku a nebo k jejich oddělení.

#### Mechanismus řezání

Na základě zkoumaných snímků nástroje i obrobku můžeme potvrdit, že dochází v procesu řezání k těmto jevům:

- přeříznutí měkkých částic /pojiva/
- vylomení tvrdých zrn
- vmáčknutí tvrdých zrn do obrobku

Při vylomení může dojít k odchodu převážné většiny odděleného materiálu po čele nástroje. Vylomení se na snímcích projeví jako mikro dutiny a prolákliny. Někdy dochází ke smýkání zrna mezi nástrojem a obrobkem, ale vytváří mikrorýhy pouze na obrobku /potvrzeno obr./

Pokud dochází k přeříznutí měkkého pojiva, mohou zůstat na povrchu obnažená zrna /také potvrzeno obr./, výstupky mohou vzniknout i vmáčknutím tvrdého zrna do obrobené plochy.

## 5.2 Vyhodnocení opotřebení v oblasti I /viz obr. 2.3/

Velikost opotřebení hřbetu řezného nástroje je jedním z mnoha faktorů, který má význam pro výzkum procesu řezání. Z tohoto důvodu se snažíme najít takový řezný materiál, který by vyhovoval z hlediska technického i ekonomického.

Měření velikosti opotřebení bylo prováděno na daných řezných materiálech podrobených procesu obrábění ILK při daných řezných podmínkách. Veličiny byly zpracovány do grafů.

$$1/ v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}; s = 0,4 \text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}; h = 3 \text{ mm}$$

Při této řezné rychlosti se nejlépe osvědčil řezný materiál H 10, ve srovnání s ostatními, DISAL 100, MaN, DISAL 210, u kterých nabývají hodnoty opotřebení přibližně stejných velikostí. Jako nevhodný pro danou řeznou rychlost je možné považovat Luxal 204 a MaS, který je charakterizován výrazným nárůstem velikosti opotřebení. Závislost  $VB - t$  při  $v = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  udává graf č. 1.

$$2/ v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}; s = 0,4 \text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}; h = 3 \text{ mm}$$

Průběhy jednotlivých křivek zkoušených materiálů jsou zaznamenány v grafu č. 2. Z tohoto grafu je zřejmé, že pro danou řeznou rychlost je výhodnější použití řezných materiálů H 10, DISAL 100, DISAL 210, MaS oproti materiálům Luxal 204, MaN, které nevyhovují požadavkům kladeným na ně z hlediska opotřebení.

Následující tabulka /tab. č. 14/ udává stručnou charakteristiku zkoušených materiálů a čísla grafů /viz příloha/, z kterých je možné vyčíst velikost opotřebení /VB/ v závislosti na čase /t/. Z nich můžeme usuzovat na vhodnost či nevhodnost řezného materiálu pro obrábění ILK při daných řezných podmínkách.



tab. č. 11

řezný materiál	charakteristika	čísla grafu
H 10	výrazně lepší vlastnosti při $v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$	3
MaS	pro $v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$ nevhodný, pro $v_2 = 204,2 \text{ m.min}^{-1}$ výrazně lepší vlastnosti	4
MaN	lepší pro $v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$ ; nevhodný pro $v_2 = 204,2 \text{ m.min}^{-1}$	5
DISAL 100	při $v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$ ; i $v_2 = 204,2 \text{ m.min}^{-1}$ se průběhy liší minimálně, lepší pro $v_1$	6
DISAL 210	průběhy stejné jako DISAL 100, ale lepší pro $v_2$	7
LUXAL 204	lepší pro $v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$ , celkově nelze pro obrábění ILK doporučit	8

Při konkrétních řezných podmínkách se jevil jako nejlepší slinutý korund H 10, ale přesto ho nemůžeme pro obrábění ILK doporučit, protože s prodlužujícím se časem obrábění roste značně opotřebení.

### 5.3 Vyhodnocení měřené teploty

Výše teploty řezání při obrábění ILK danými řeznými materiály závisí na velikosti řezných podmínek, z nichž největší vliv má řezná rychlost  $/v/$  a posuv  $/s/$ , jehož vliv není tak výrazný.

Jednotlivé hodnoty středních teplot pro všechny případy byly získány pro  $h = \text{konst} / h = 1 \text{ mm}, h = 3 \text{ mm}/$ .

#### 1/ Závislosti teploty $/T/$ na řezné rychlosti $/v/$

Hodnoty posuvu  $/s/$  jsou pro graf č. 1 - 7 shodné  
 $/s = 0,16; 0,24; 0,4 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}/$

a/  $h_1 = 3 \text{ mm}$  , graf 1 - 3

závislost  $T - v$ , pro dané  $h_1$  má přibližně stejný průběh charakterizovaný nárůstem střední teploty  $T$  v závislosti na zvyšující se  $v$ . U řezného materiálu K 10 ve srovnání s MK jsou dosahované střední teploty vyšší a celý průběh závislosti strmější. Nejvýrazněji se difference v nárůstu teplot projevují pro  $s = 0,16 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ , ale s rostoucím posuvem se difference zmenšuje.

b/  $h_2 = 1 \text{ mm}$ , graf 5 - 7

průběh křivky závislosti  $T - v$  lze charakterizovat obdobným způsobem jako v předchozím případě, tzn. projevuje se výrazný nárůst střední hodnoty  $T$  v závislosti na zvyšující se řezné rychlosti. K tomuto jevu dochází prakticky ve všech případech  $/\text{pro } h_1 \text{ a } h_2/$ , přičemž celkově vyšších teplot je dosahováno pro hodnotu  $h_2$  a ve vztahu k použitým řezným materiálům pro SK.

#### 2/ Závislosti teploty $/T/$ na posuvu $/s/$

Hodnoty řezné rychlosti  $/v/$  jsou v grafu 8 - 13 shodné  
 $/v = 36,8; 73,5; 204,2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}/$

a/  $h_1 = 3 \text{ mm}$  , graf č. 8 - 10

závislost  $T - s$  je charakterizována průběhem křivky pro dva řezné materiály /SK, MK/.

Pro MK platí: střední teplota zůstává ve většině případů téměř stejná. Pozorovatelné je pouze její nepatrné zvýšení v souvislosti s rostoucím posuvem.

Pro SK platí při porovnání s MK, při stejných řezných podmínkách dostáváme v převážné míře vyšší hodnoty teplot.

b/  $h_2 = 1 \text{ mm}$  , graf č. 11 - 13

hodnoty teplot získané pro hloubku  $h_2$  jsou celkově nižší než u předchozího měření pro hloubku  $h_1$ . Dosažené teploty jsou opět vyšší pro SK. Při zvyšování posuvu  $s$  dochází k nepatrnému nárůstu střední teploty. Je možné /v souvislosti s graf. zpracováním/ potvrdit předpoklad, že řezná rychlost  $v$  má primární vliv na nárůst  $T$  a vliv posuvu  $s$  se jeví až jako sekundární. Vzhledem k tomu, že v literatuře se prakticky zpracování závislosti střední teploty na řezných podmínkách při obrábění ILK neobjevuje a protože se dá předpokládat, že jejich vliv může být u různých řezných materiálů překvapivě odlišný, bylo by vhodné se studiem této problematiky zabývat hlouběji.

## 6. Z á v ě r

Cílem diplomové práce bylo najít a popsat pomocí teoretických úvah, rozborů a experimentů závislosti, při sledování kontaktních ploch nástroj - obrobek.

Úvodní kapitoly shrnují dosavadní poznatky z oboru obrábění ILK. Nemalá pozornost byla věnována experimentálním zkouškám, jejich materiálnímu zabezpečení a zpracování metodiky experimentů.

Z hlediska sledovaných závislostí lze práci rozdělit:

- 1/ Sledování povrchů obráběného a řezného materiálu
  - rozbor mechanismu řezání a jeho vliv na povrch materiálu nástroje i obrobku
- 2/ Sledování závislosti opotřebení na čase u vybraných řezných materiálů, při konkrétních řezných podmínkách
  - mechanismus opotřebení a jeho závislost na čase
- 3/ Sledování střední teploty řezání v závislosti na řezných podmínkách
  - uvedené závislosti zatím nebyly v takovém rozsahu zkoumány, hodnoceny a publikovány

Některé problémy, vyskytující se v této práci, by bylo třeba prozkoumat v širším rozsahu, ale vzhledem k materiálové a časové náročnosti to nebylo možné.

V diplomové práci se často vyskytují termíny běžně používané v teorii obrábění kovů, ale v případě ILK zcela nevystihují skutečnost. Proto by bylo třeba vypracovat takovou terminologii, která by odpovídala specifickým podmínkám obrábění ILK.

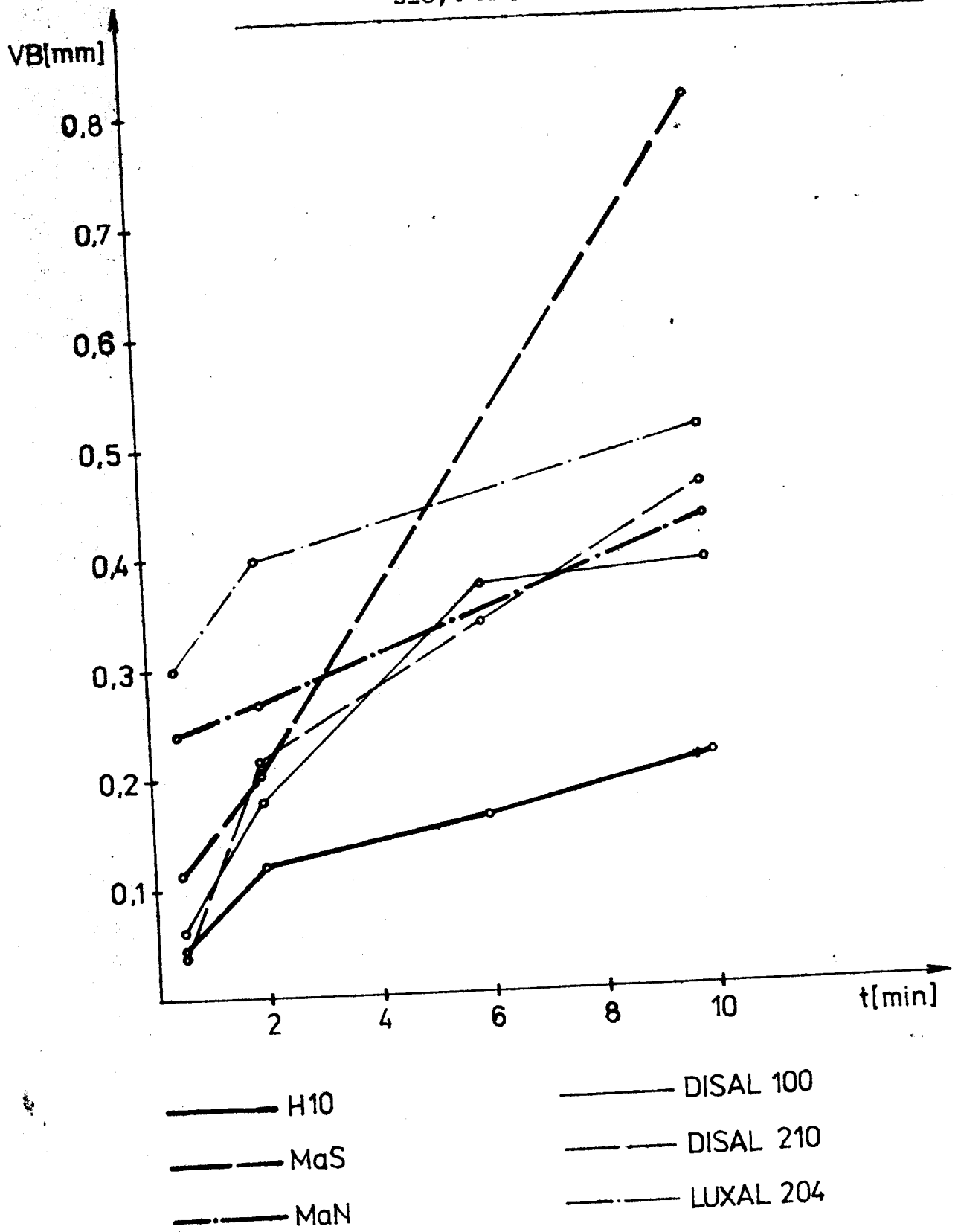
Závěrem bych chtěla poděkovat s. ing. J. Frintovi za cenné rady a připomínky a všem pracovníkům VÚEKu Hradec Králové, kteří se podíleli na přípravě a zakončení této práce.

## Seznam použité literatury

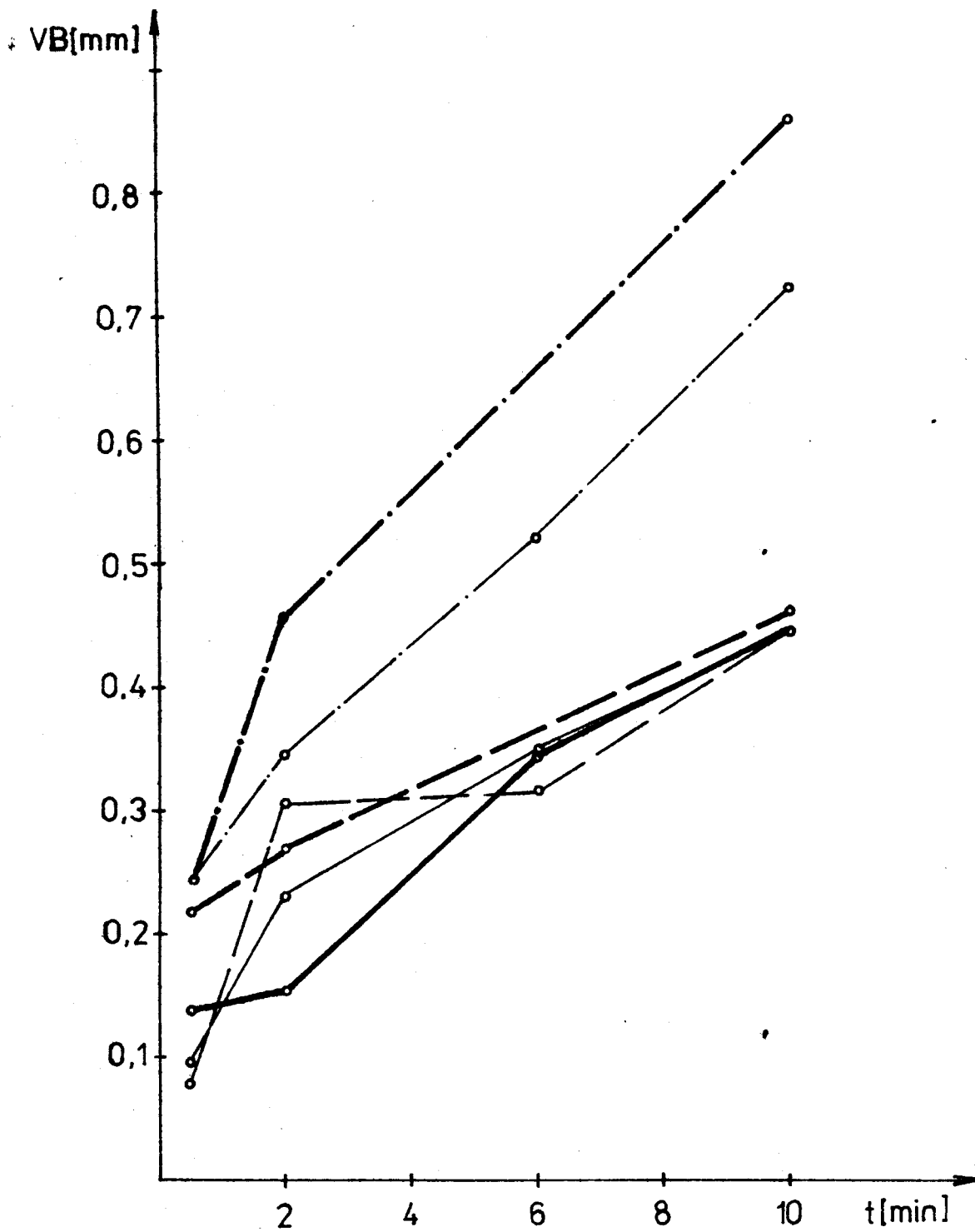
- / 1 / Mouka, E. : Teorie obrábění, VUT Brno 1985
- / 2 / Smrčková, J. : Porovnání trvanlivosti nástrojových materiálů pro obrábění ILK, diplomová práce VŠST Liberec 1984
- / 3 / Kamenický, L. : Výzkum charakteru opotřebení řezných nástrojů při soustružení ILK, diplomová práce VŠST Liberec 1984
- / 4 / Vejvoda, F. : Vzájemná souvislost dynamických vlivů čin procesu řezání a opotřebení nástroje při obrábění ILK, diplomová práce VŠST Liberec 1985
- / 5 / Rakovnický, P. : Technicko - ekonomické přednosti izostatického lisování, Izostatické lisovanie v keramike, Dom Techniky ČSVTS Bratislava 1981
- / 6 / Vigner, M. - Příkryl a kol.: Obrábění, SNTL Praha 1984
- / 7 / Buda, J. : Obrábanie keramickými doštičkami, Bratislava 1958
- / 8 / Frinta, J. : Výzkum a aplikace v oboru obrábění ILK, VŠST Liberec 1984, zpráva N 220
- / 9 / Hlavní směry hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1986 - 1990 a výhled na období do roku 2000

PŘÍLOHA

Graf č. 1 Závislost VB - t při  $v_1=36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  
 $s=0,4 \text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$ ,  $h=3 \text{ mm}$



Graf č. 2 Závislost VB - t při  $v_2=204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  
 $s=0,4 \text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$ ,  $h=3 \text{ mm}$

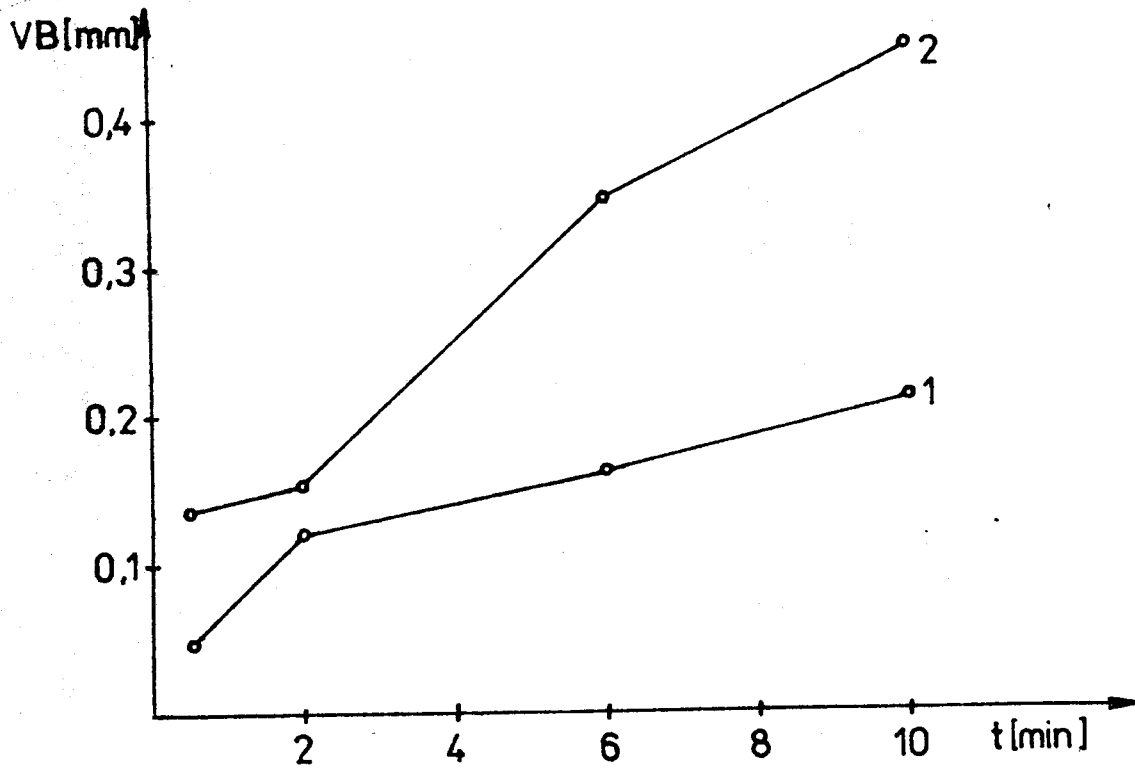


Označení materiálů stejné jako graf č. 1

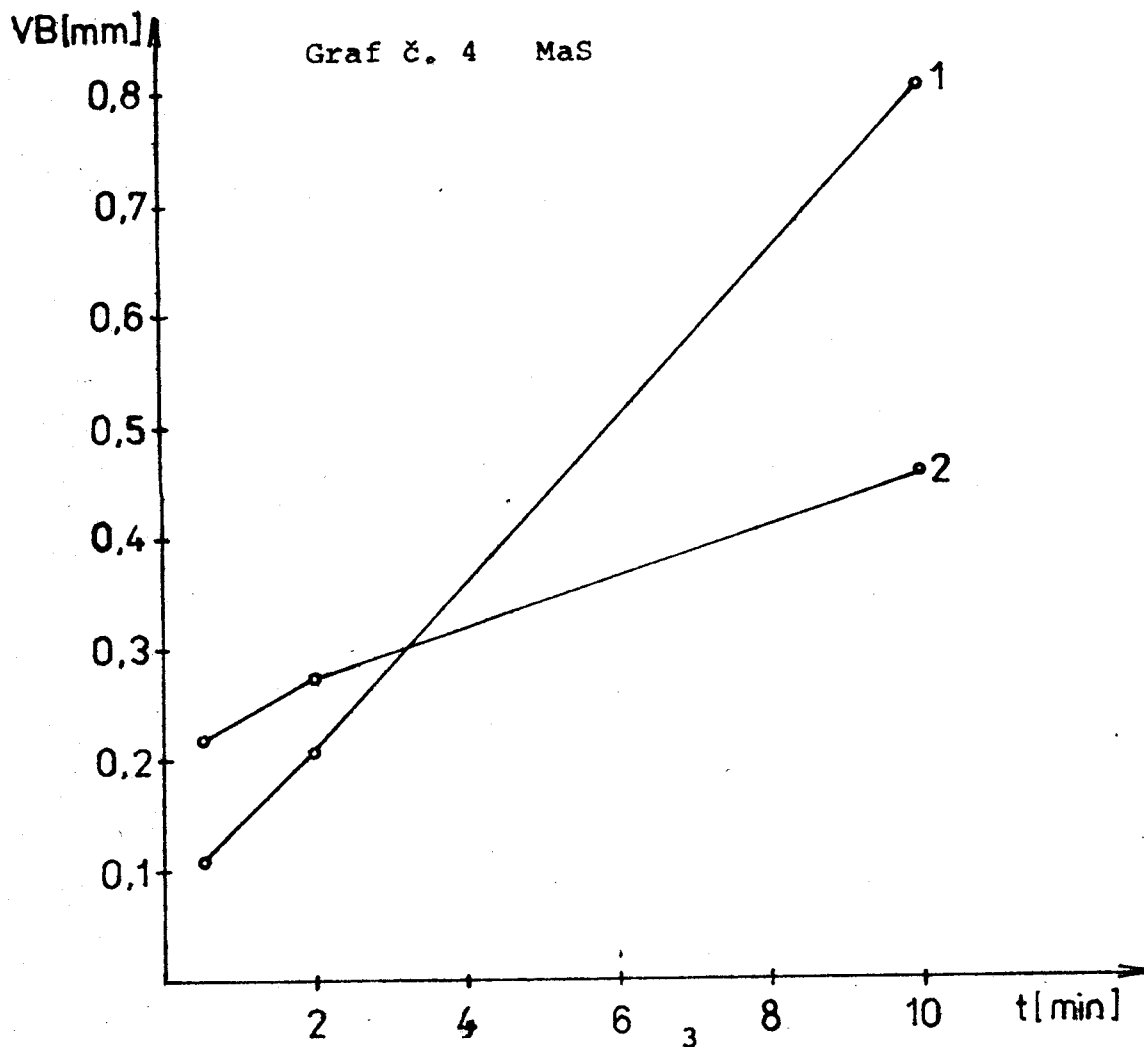


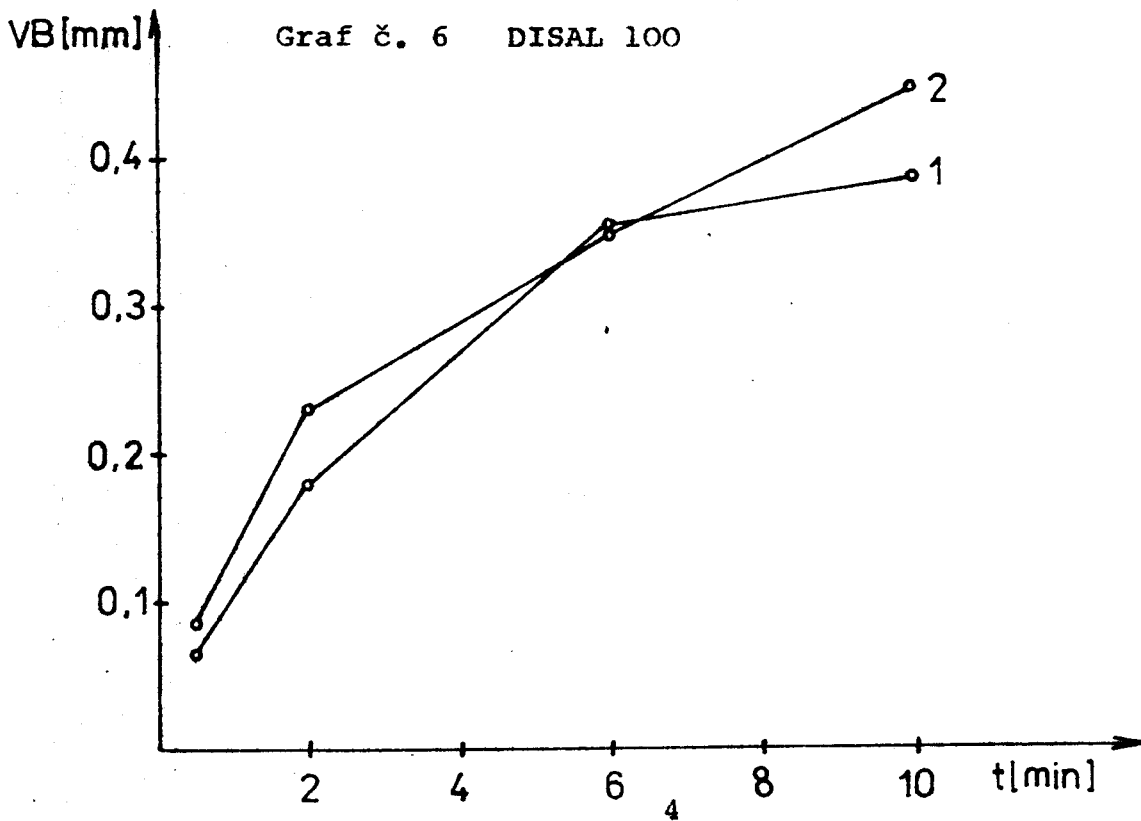
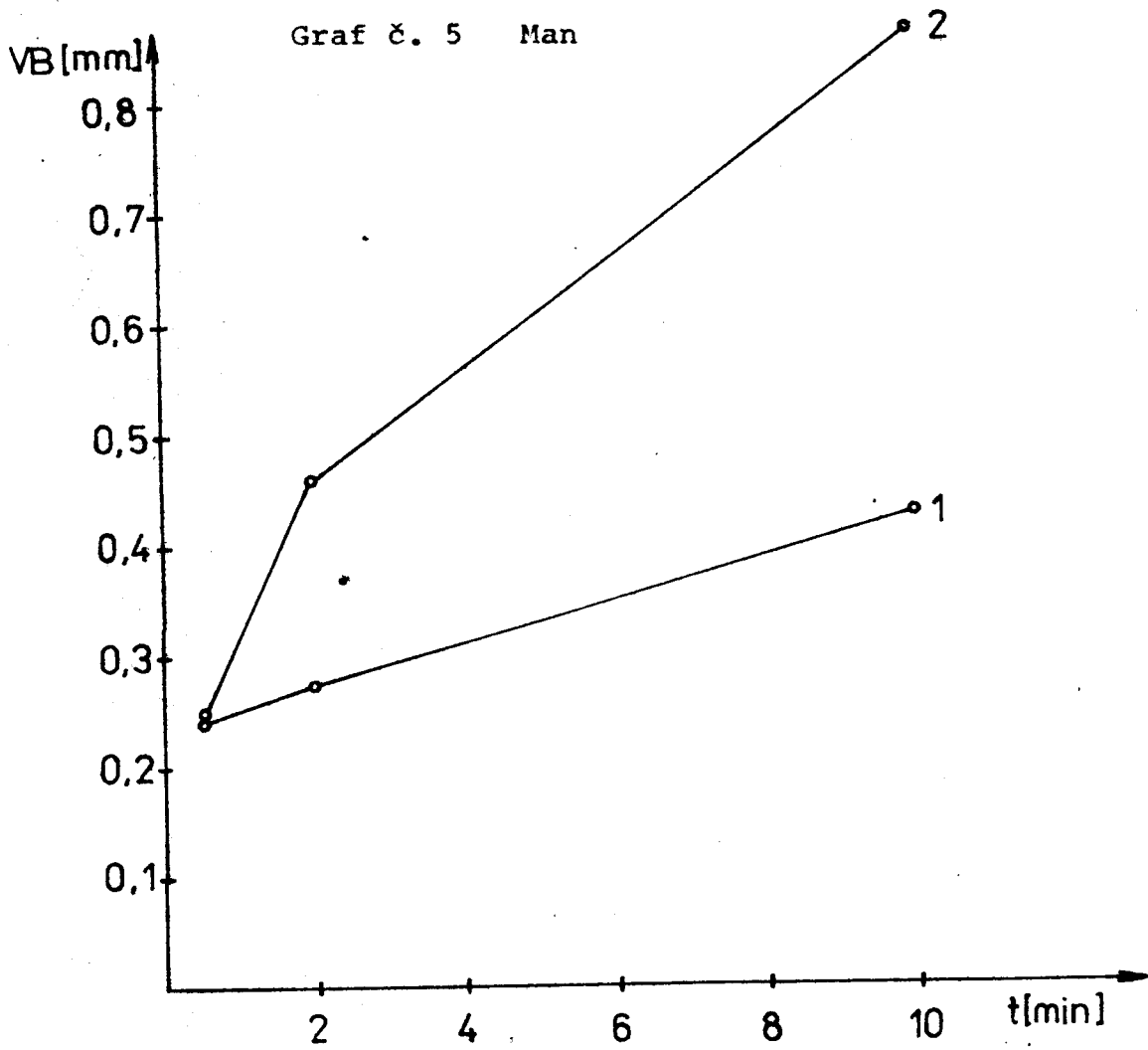
Závislosti VB - t při  $s=0,4 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ,  $h=3\text{mm}$

Graf č. 3 H 10

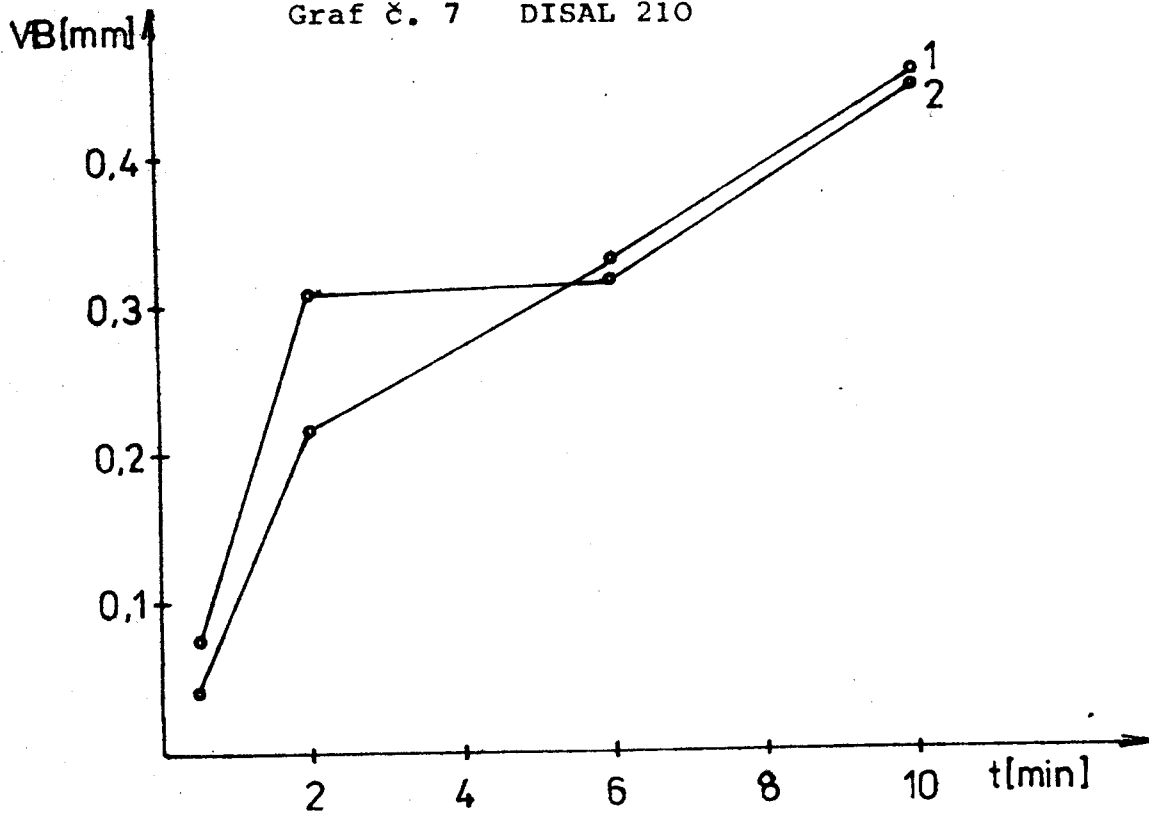


Graf č. 4 MaS

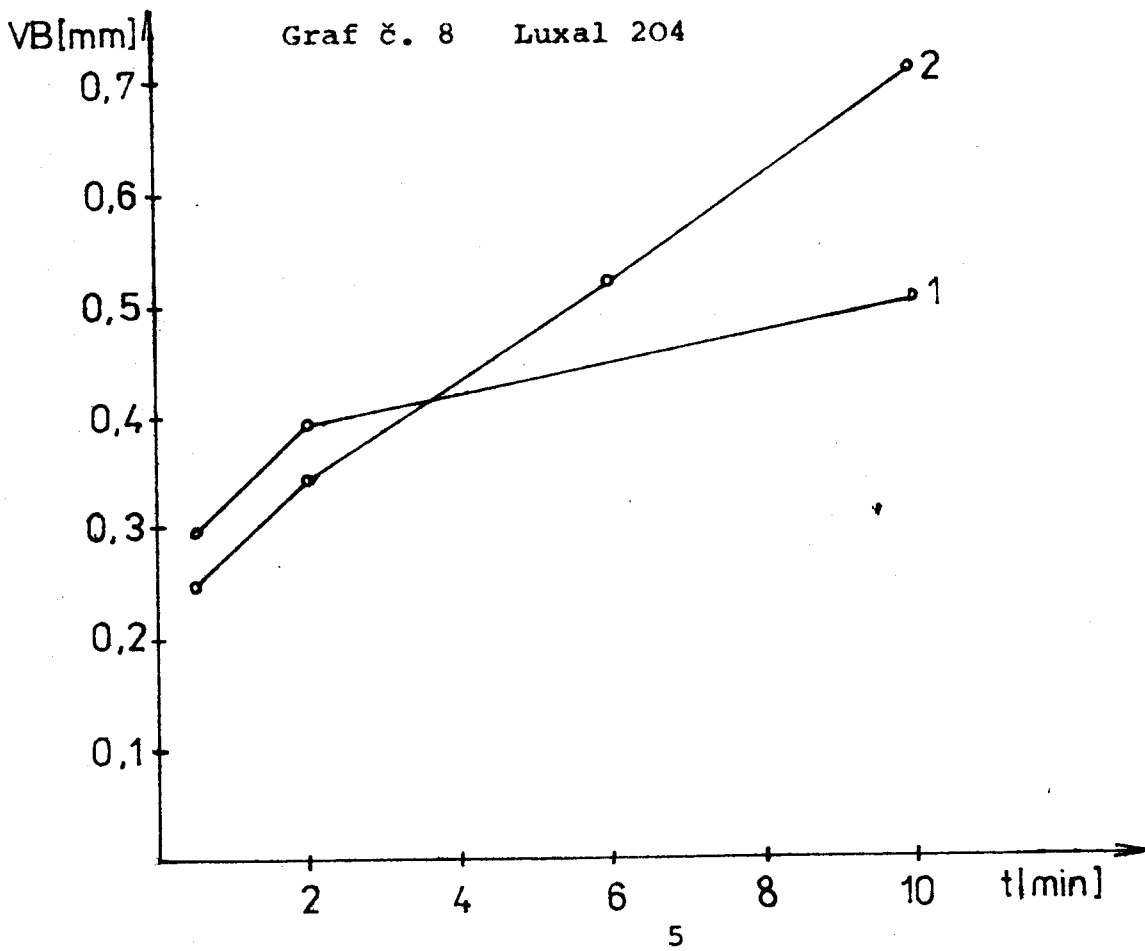




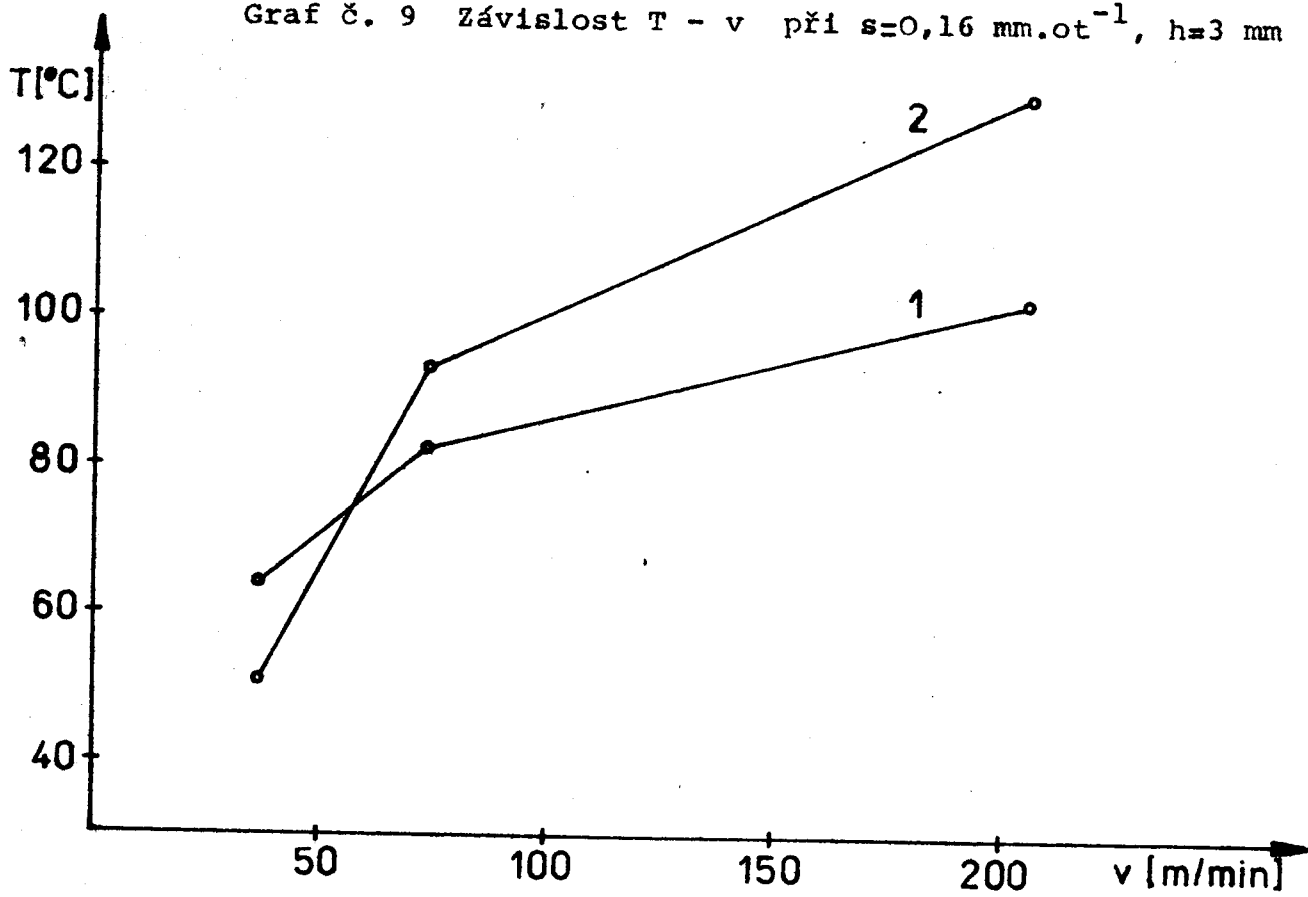
Graf č. 7 DISAL 210



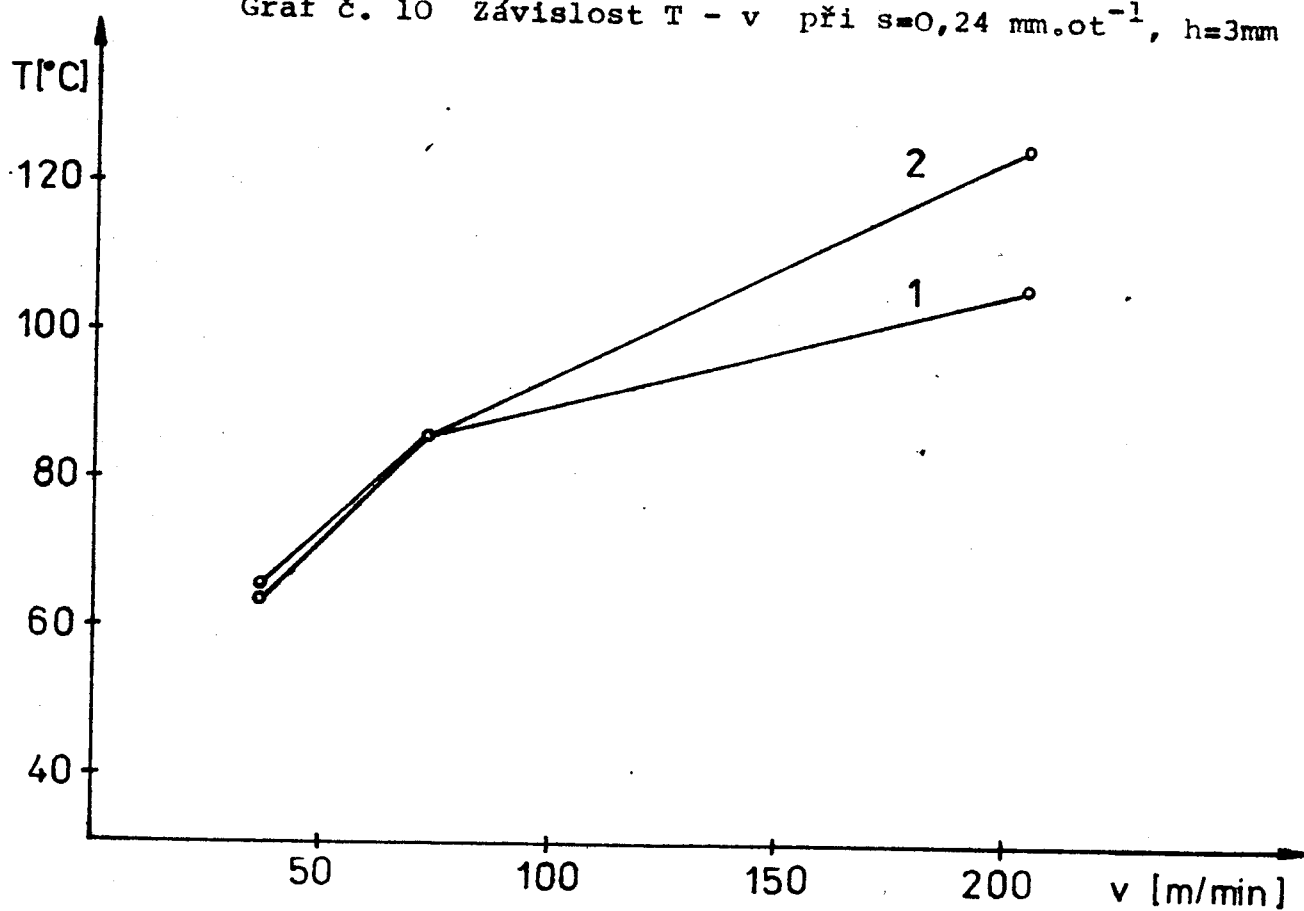
Graf č. 8 Luxal 204



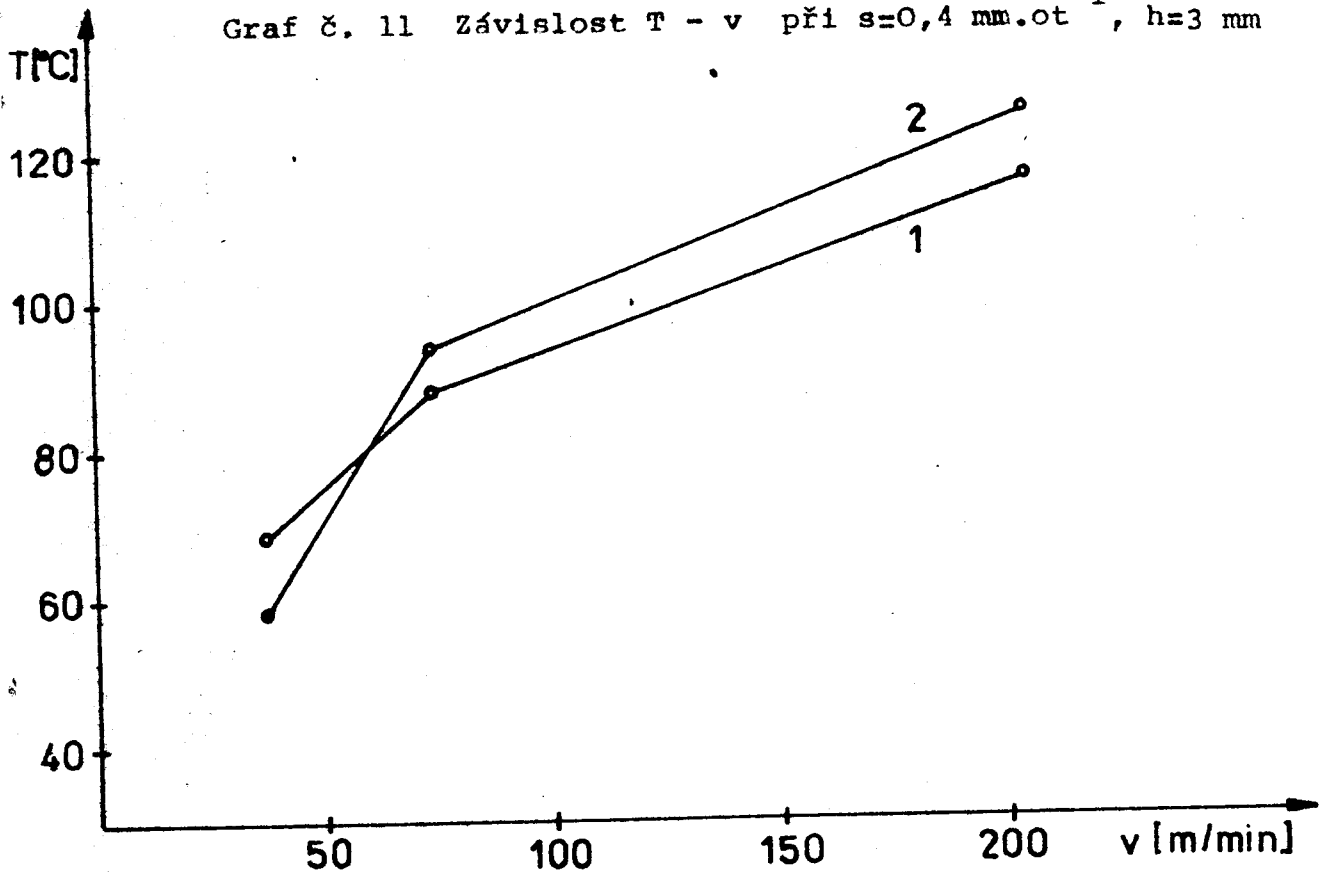
Graf č. 9 Závislost T - v při  $s=0,16 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ,  $h=3 \text{ mm}$



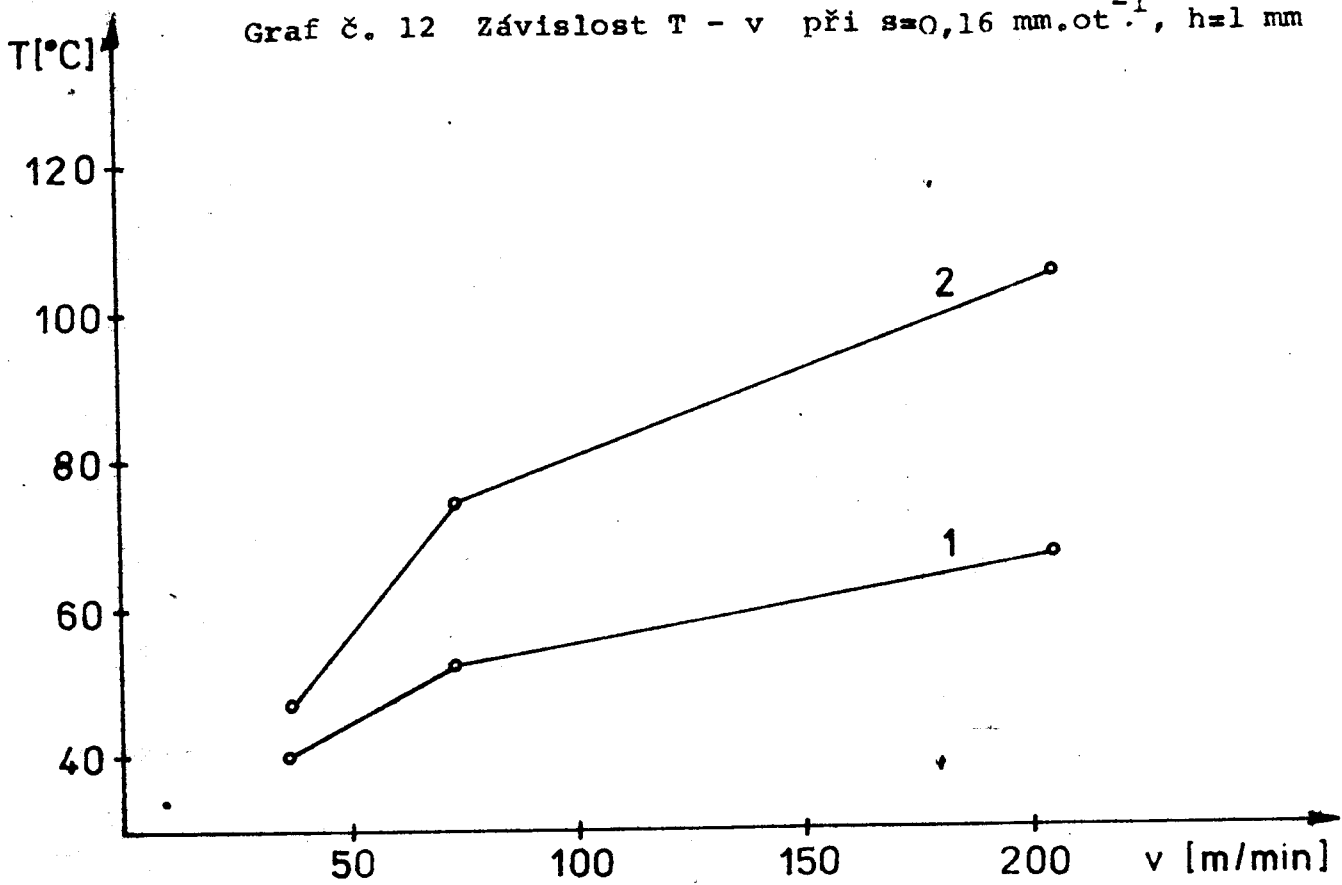
Graf č. 10 Závislost T - v při  $s=0,24 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ ,  $h=3 \text{ mm}$



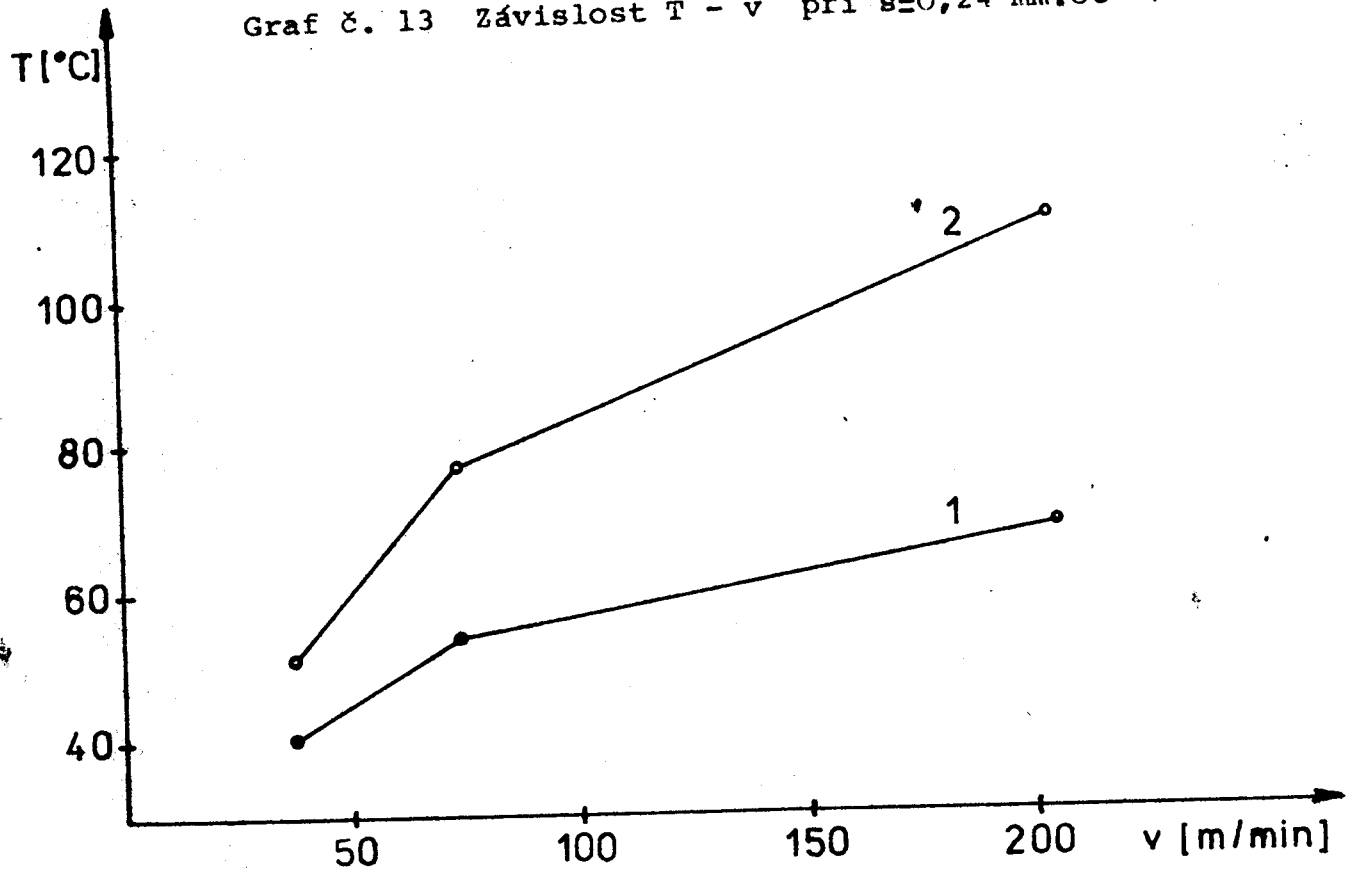
Graf č. 11 Závislost  $T - v$  při  $s=0,4 \text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$ ,  $h=3 \text{ mm}$



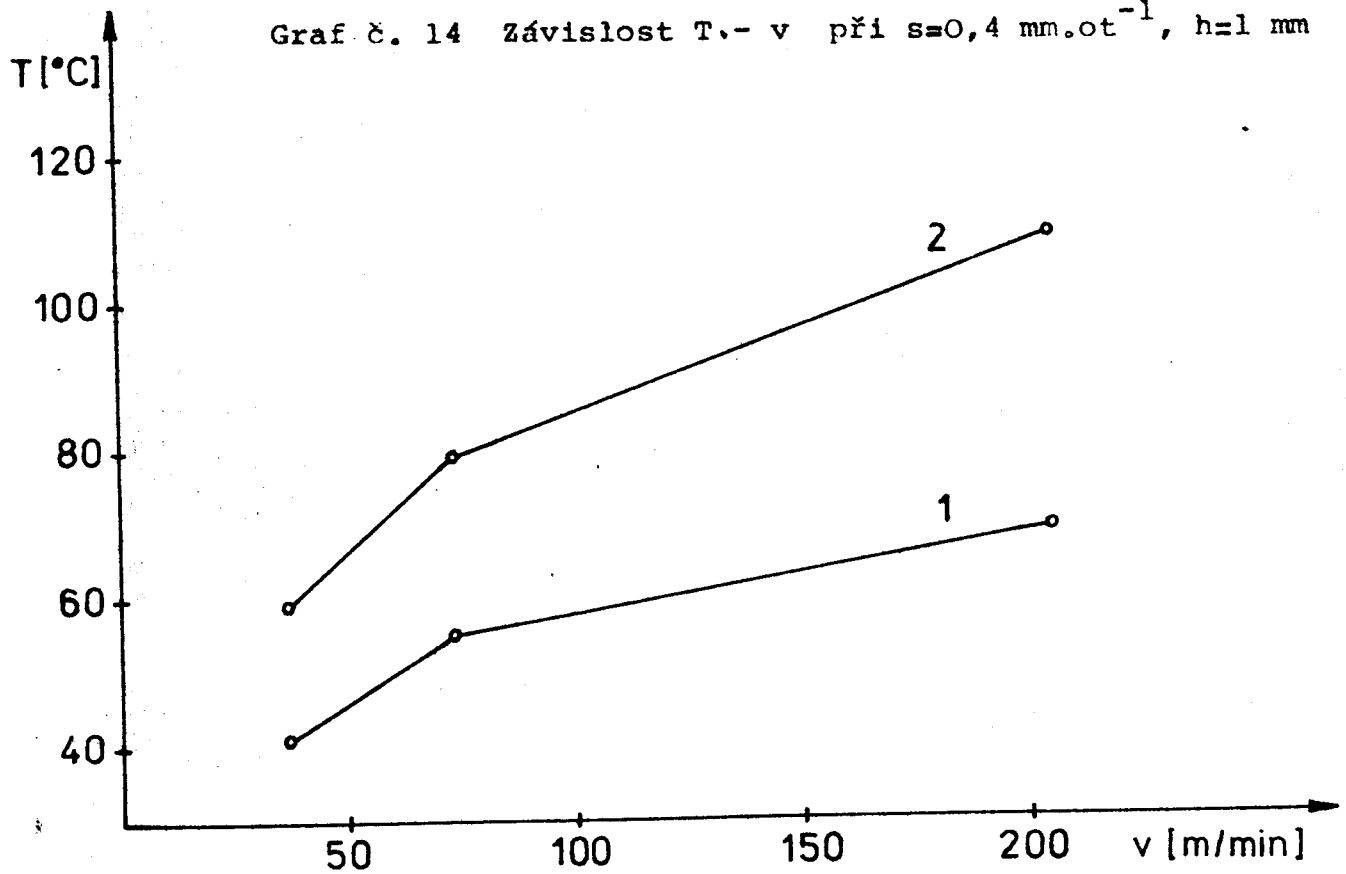
Graf č. 12 Závislost  $T - v$  při  $s=0,16 \text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$ ,  $h=1 \text{ mm}$

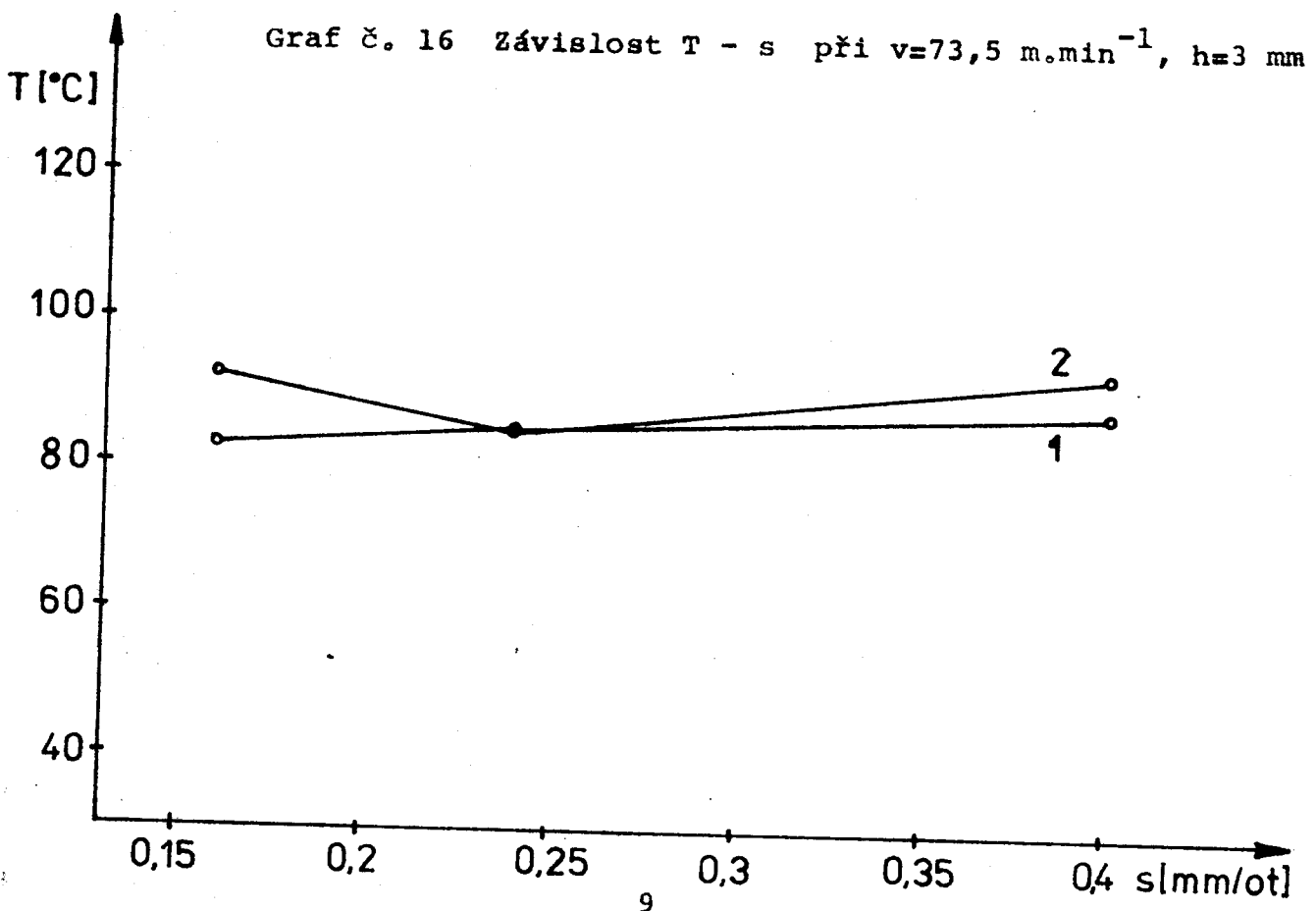
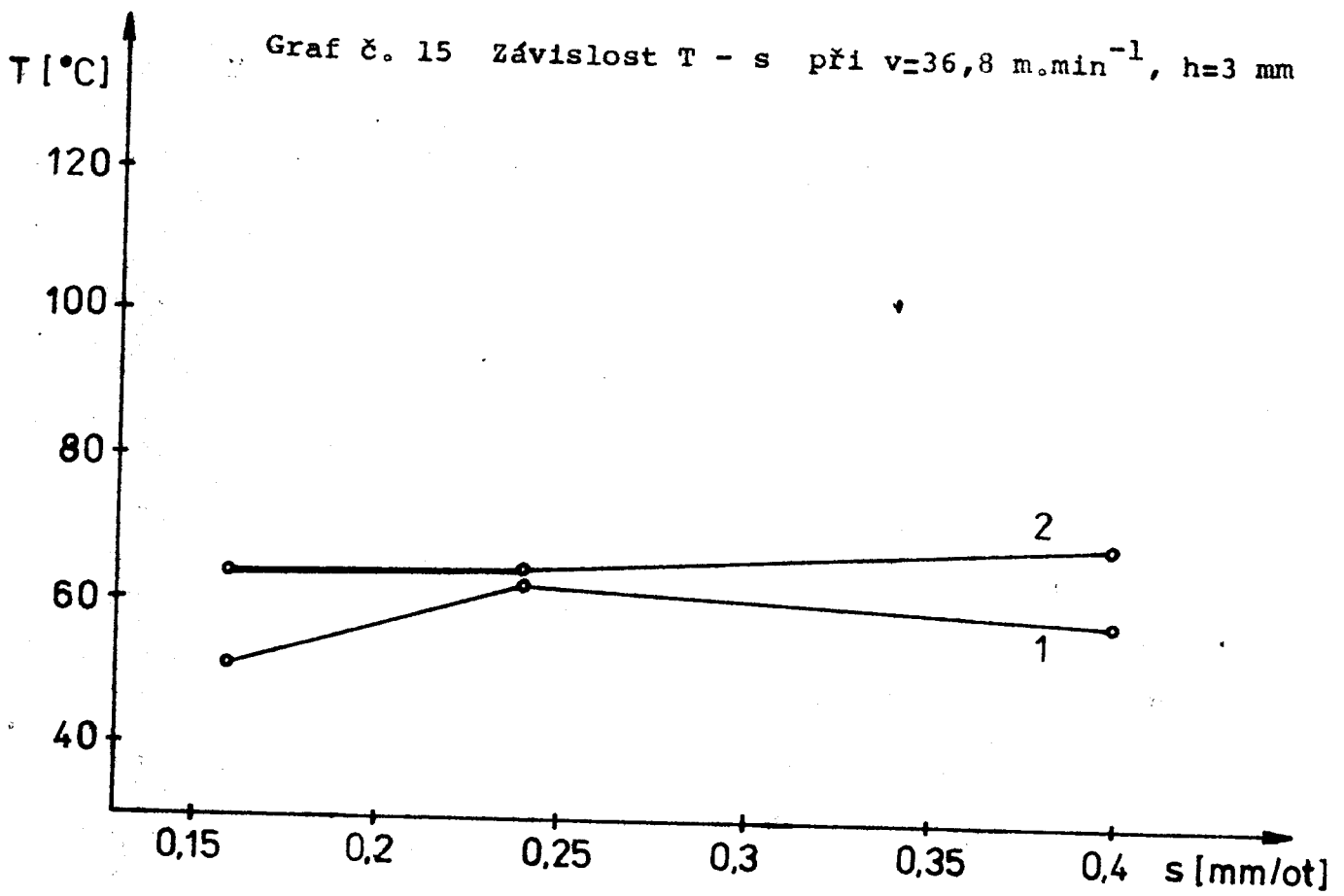


Graf č. 13 Závislost  $T - v$  při  $s=0,24 \text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$ ,  $h=1 \text{ mm}$

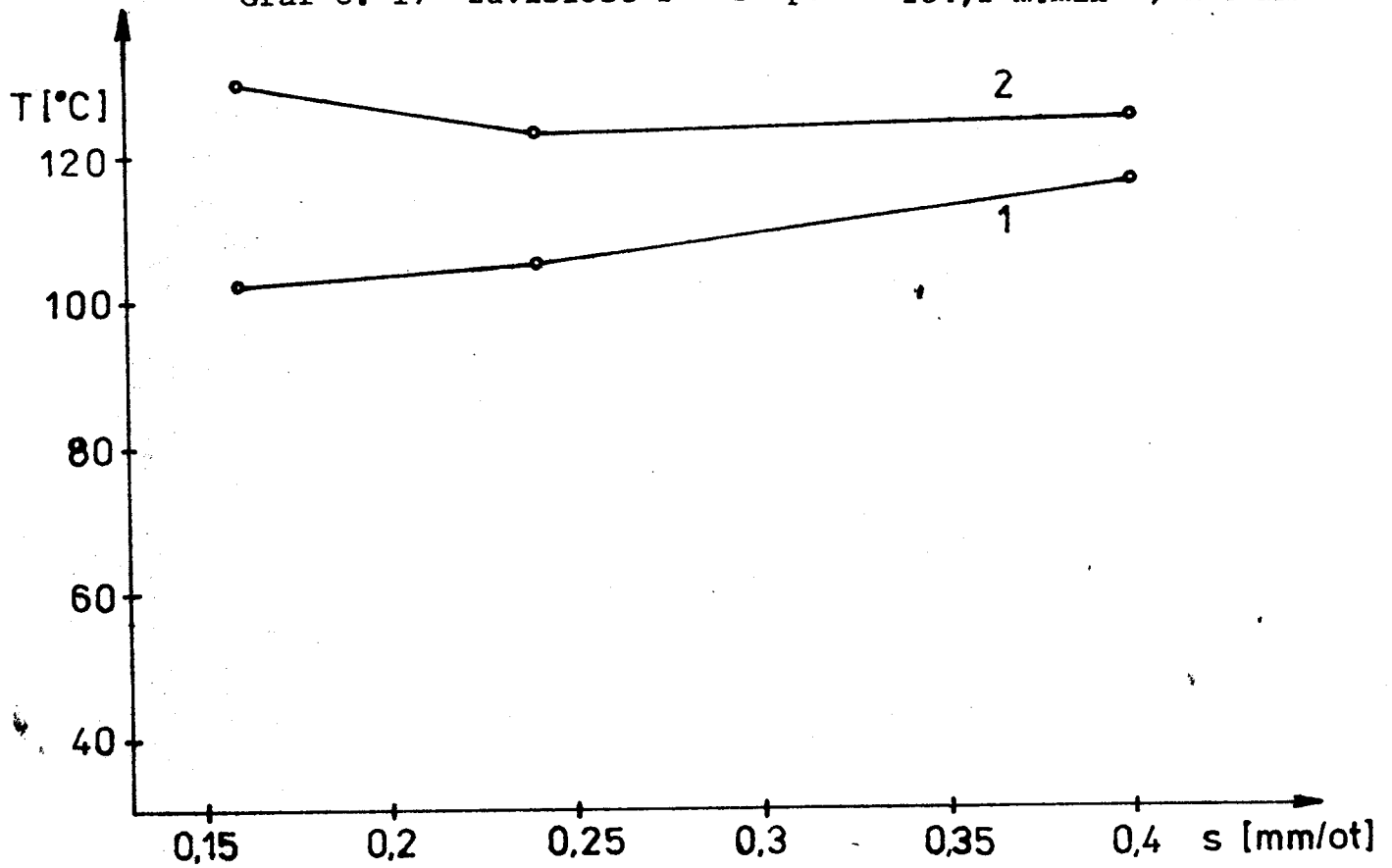


Graf č. 14 Závislost  $T - v$  při  $s=0,4 \text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$ ,  $h=1 \text{ mm}$

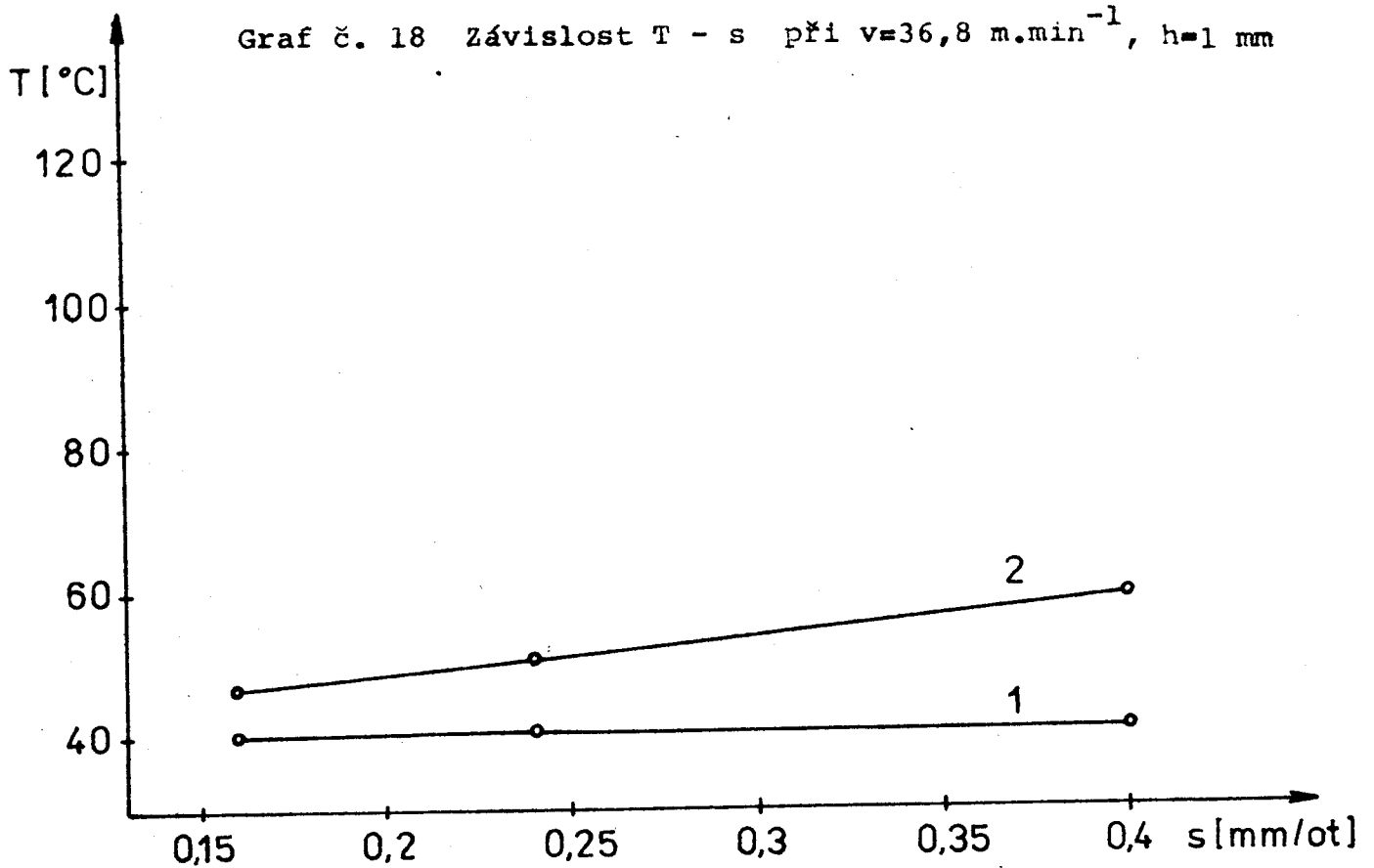




Graf č. 17 Závislost  $T - s$  při  $v=204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $h=3 \text{ mm}$

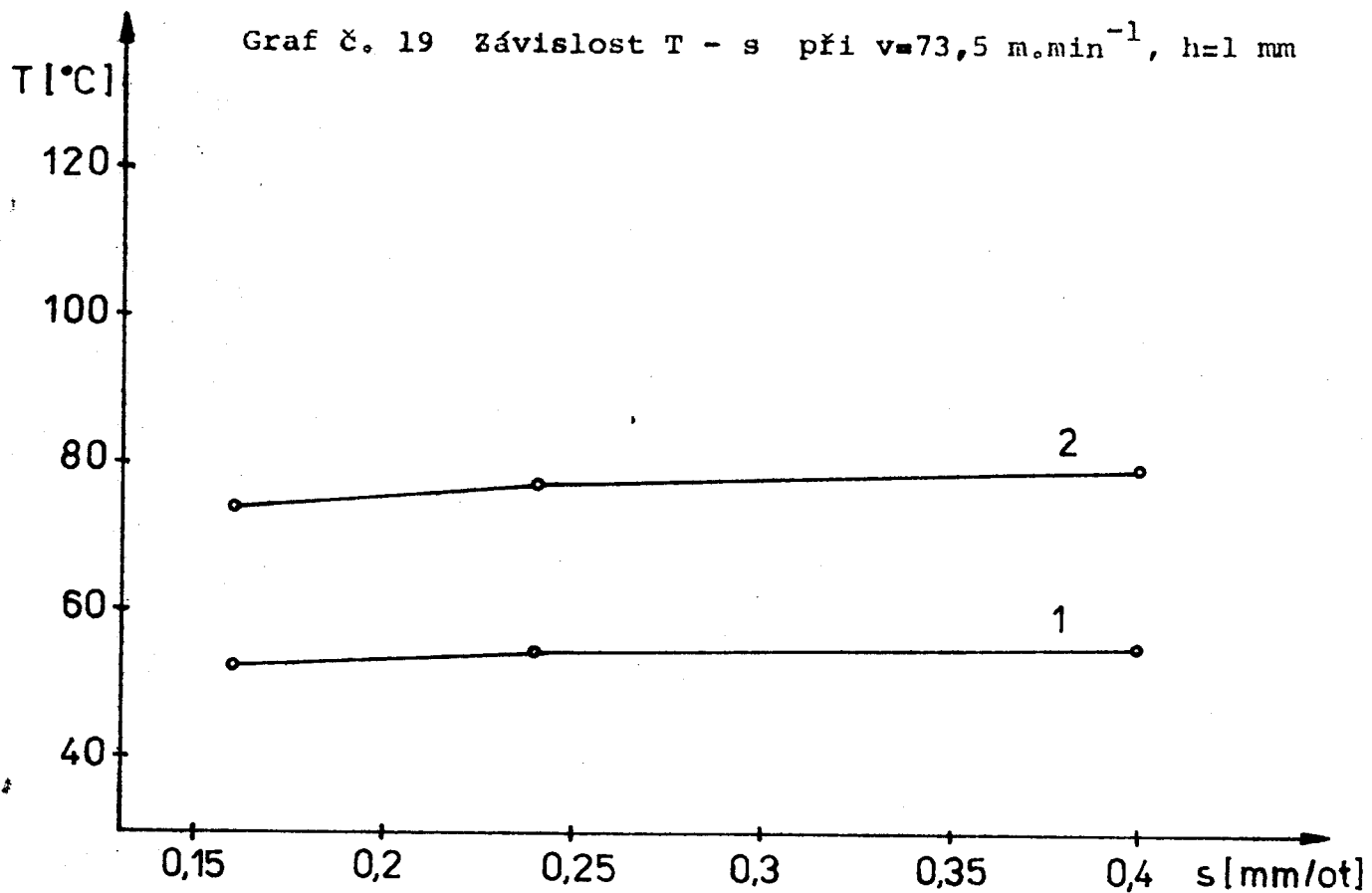


Graf č. 18 Závislost  $T - s$  při  $v=36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $h=1 \text{ mm}$

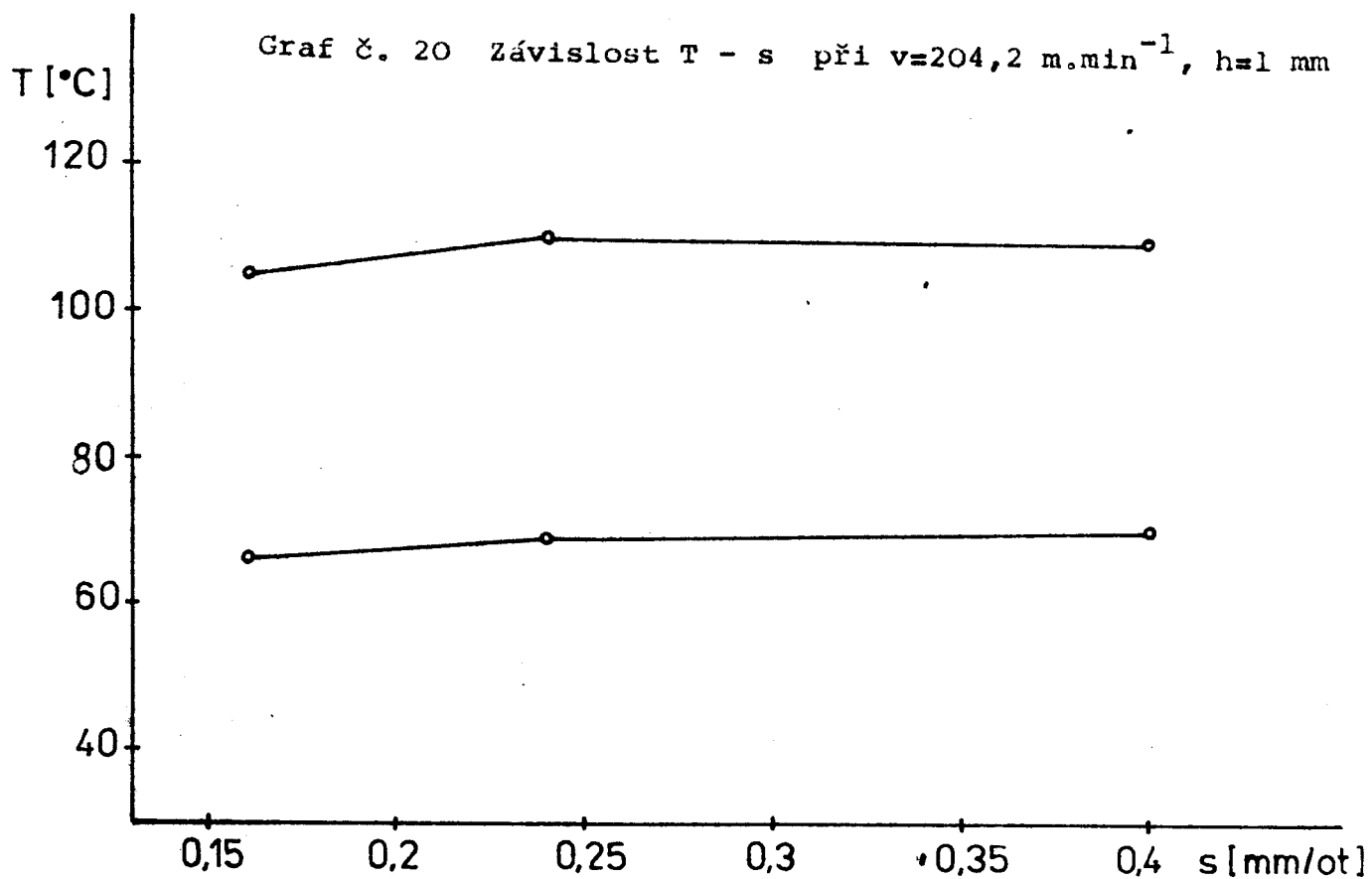




Graf č. 19 Závislost T - s při  $v=73,5 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $h=1 \text{ mm}$



Graf č. 20 Závislost T - s při  $v=204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $h=1 \text{ mm}$



obr.1 MaS - doba obrábění 0,5 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

600x



obr. 2 MaS - doba obrábění 10 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$

600x



obr. 3 MaS - doba obrábění 0,5 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x



obr. 4 MaS - doba obrábění 2 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

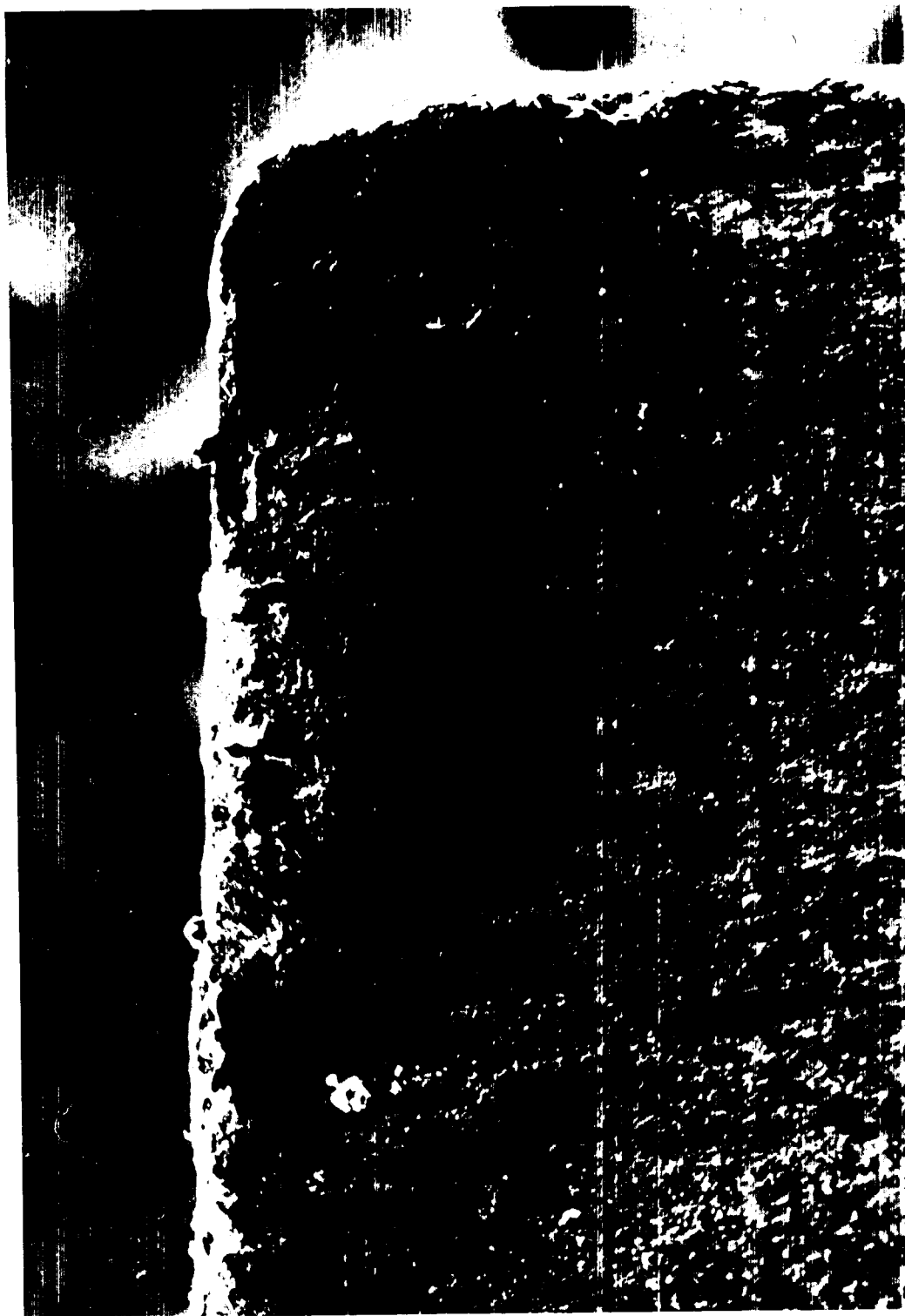
400x



obr. 5 MaS - doba obrábění 10 min při  $v_2 \approx 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x

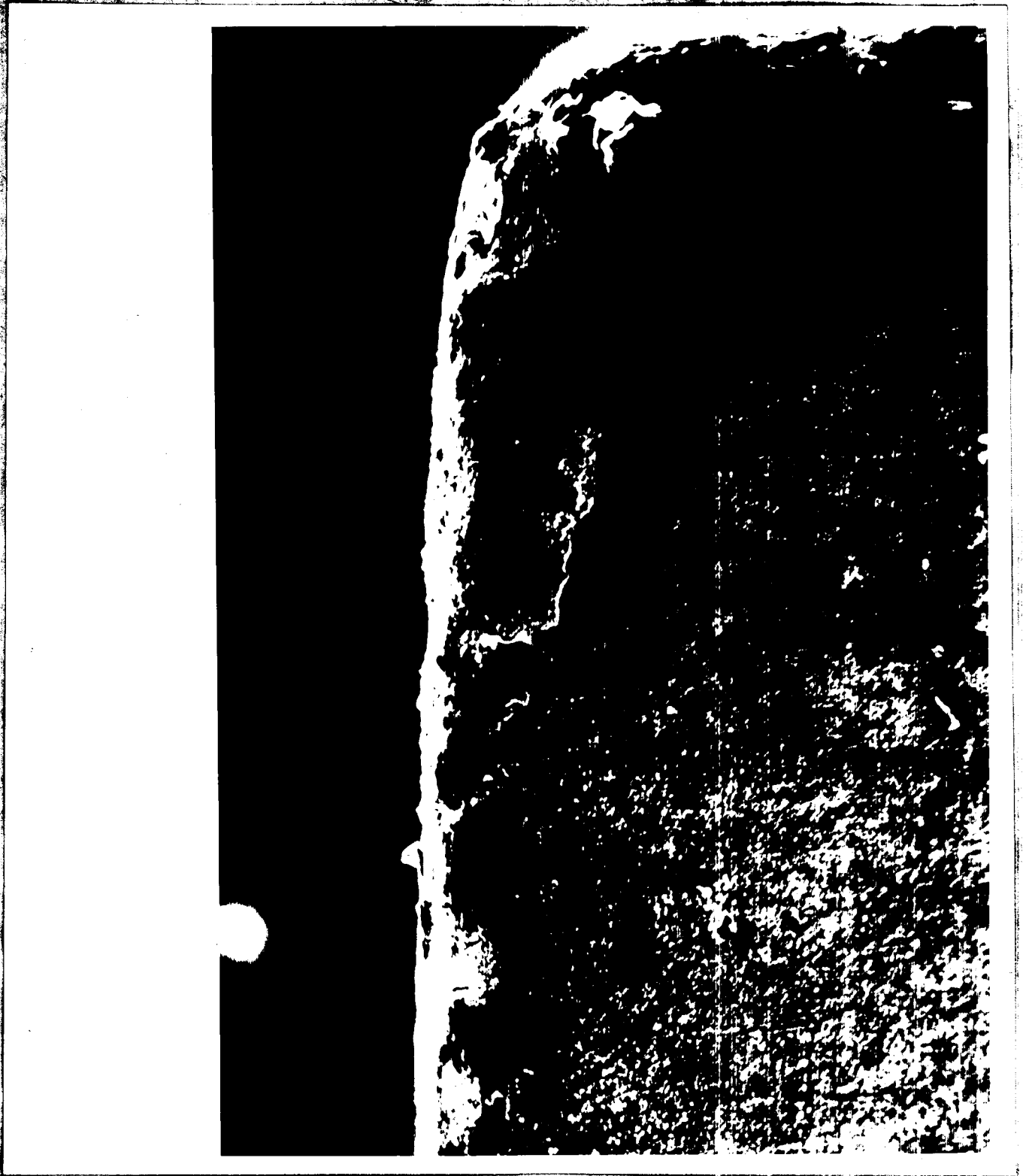


obr. 6 MaN - doba obrábění 0,5 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x



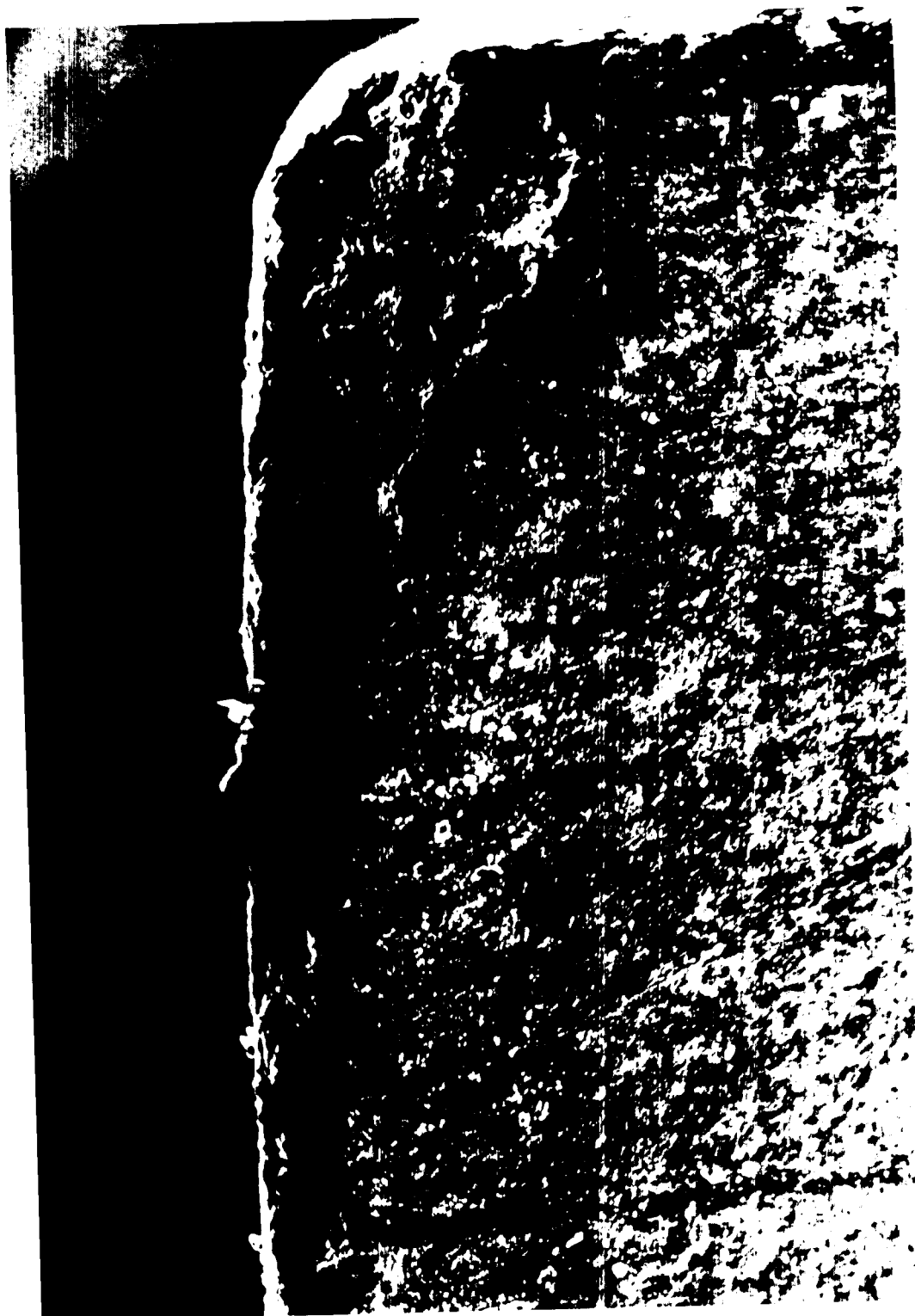
obr. 10 - doba obrábění 2 min při  $v_1 = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

400x





obr. 8 MaN - doba obrábění 10 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$  400x



obr. 9 MaN - doba obrábění 0,5 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x



obr. 10 MaN - doba obrábění 2 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x



obr. 11 MaN - doba obrábění 10 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x



obr. 12 DISAL 210 - doba obrábění 0,5 min při  $v_2 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x



obr. 13 DISAL 210 - doba obrábění 6 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x



obr. 14 DISAL 210 - doba obrábění 10 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

400x



obr. 15 DISAL 210 - doba obrábění 0,5 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x





obr. 16 DISAL 210 - doba obrábění 2 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x



obr. 17 DISAL 210 - doba obrábění 10 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

400x



obr. 18 DISAL 100 - doba obrábění 0,5 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x



obr. 19 DISAL 100 - doba obrábění 0,5 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  1000x



obr. 20 DISAL 100 - doba obrábění 0,5 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  1500x



obr. 21 DISAL 100 - doba obrábění 6 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m.min}^{-1}$

400x



obr. 22 DISAL 100 - doba obrábění 10 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x



obr. 23 DISAL 100 - doba obrábění 0,5 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x





obr. 24 DISAL 100 - doba obrábění 6 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

400x



obr. 25 DISAL 100 - doba obrábění 10 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x



obr. 26 H 10 - doba obrábění 0,5 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

400x



obr. 27 H 10 - doba obrábění 2 min při  $v_1 = 36,8$  m.min<sup>-1</sup>

400x



obr. 28 H 10 - doba obrábění 6 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

400x



obr. 29 H 10 - doba obrábění 10 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

400x



obr. 30 H 10 - doba obrábění 10 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

1000x



obr. 31 H 10 - doba obrábění 0,5 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  400x





obr. 32 H 10 - doba obrábění 2 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

400x



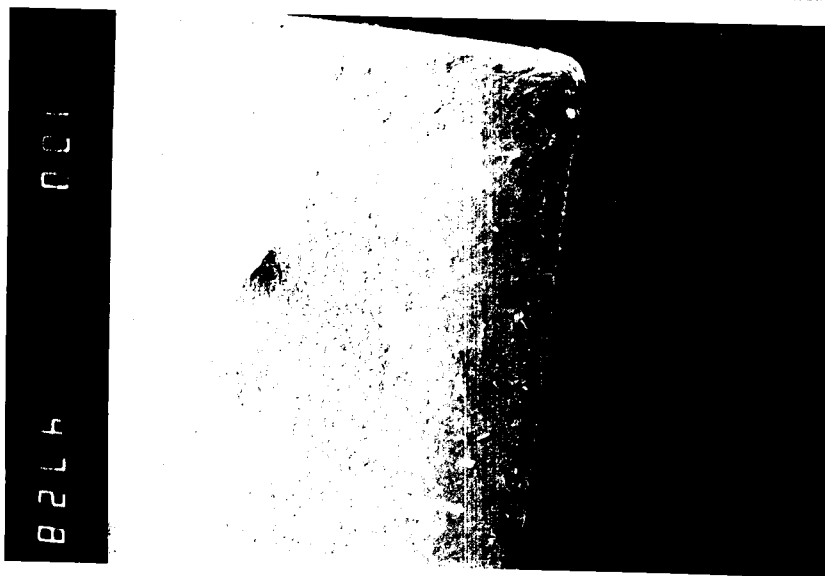
obr. 33 H 10 - doba obrábění 10 min při  $v_2 = 204,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

400x



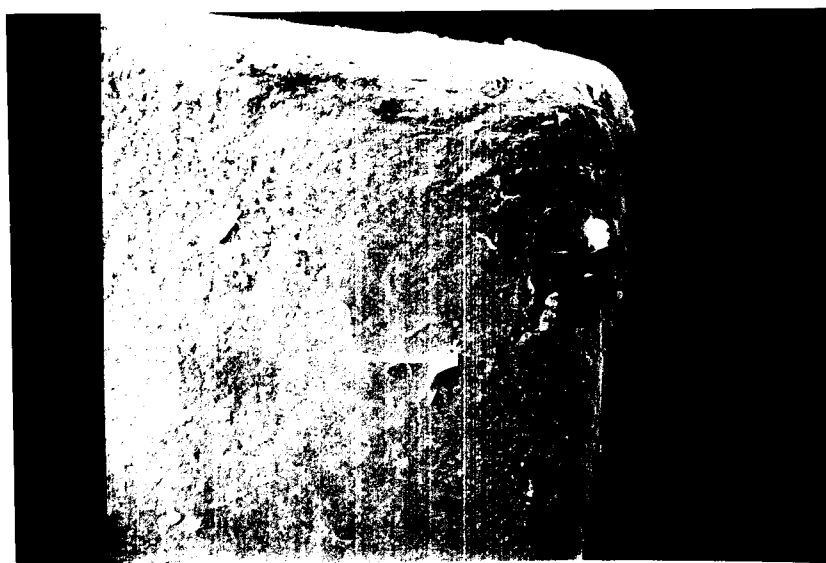
obr. 34 LUXAL 204 - doba obrábění 2 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

100x



obr. 35 LUXAL 204 - doba obrábění 2 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

300x



obr. 36 LUXAL 204 - doba obrábění 2 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

500x



obr. 37 LUXAL 204 - doba obrábění 2 min při  $v_1 = 36,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$

700x



obr. 38



obr. 39



obr. 40



obr. 41





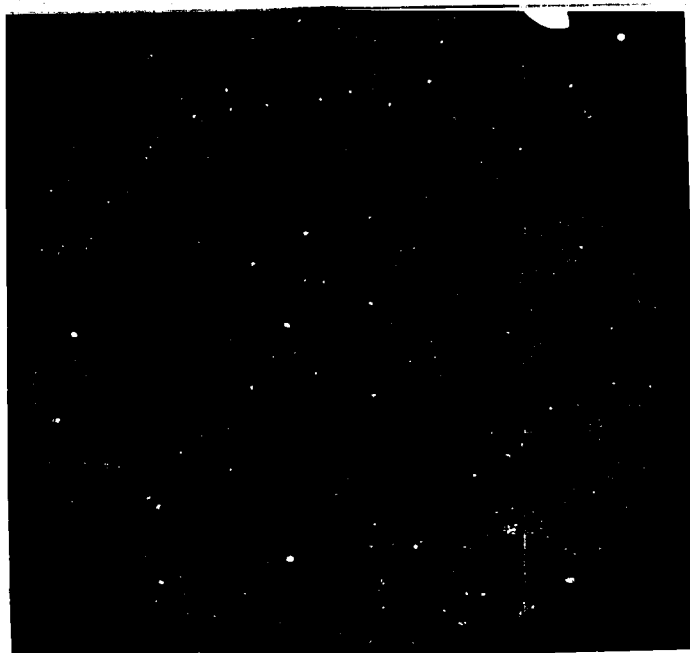
obr. 42



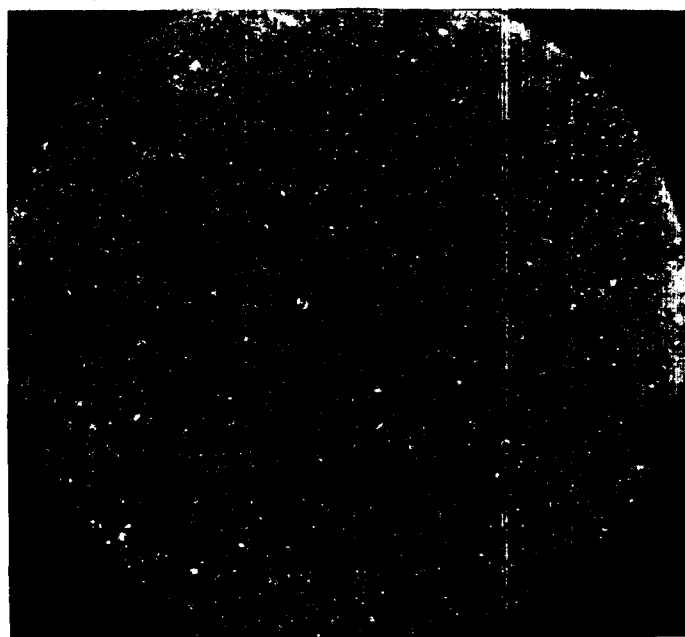
obr. 43



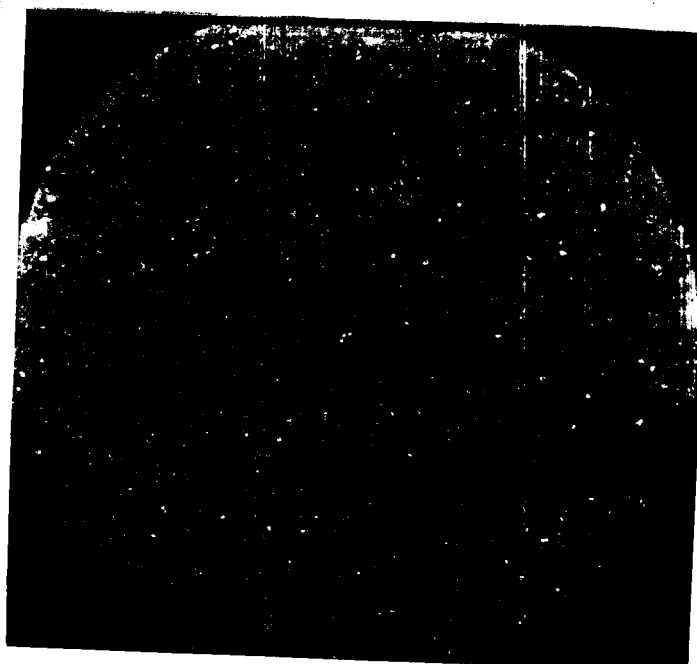
obr. 44 Povrch obrobku - vzorek 2



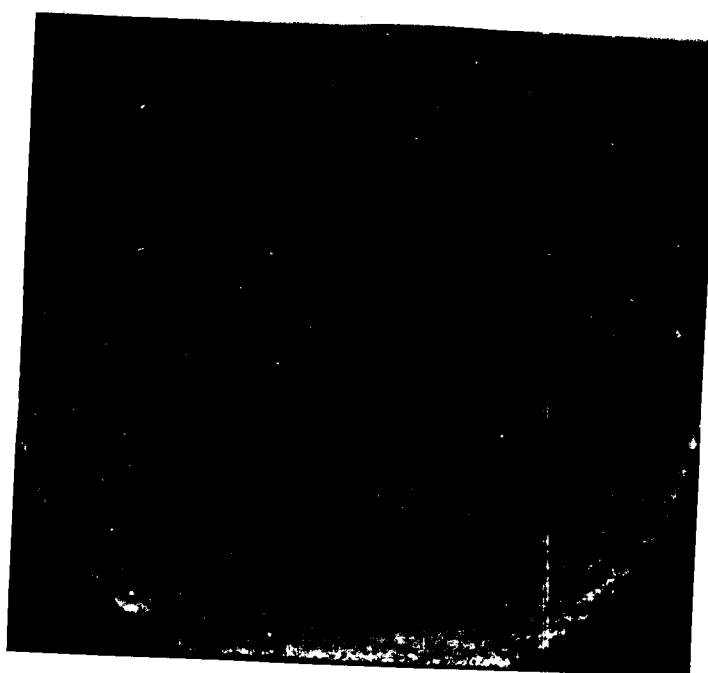
obr. 45 Povrch obrobku - vzorek 4



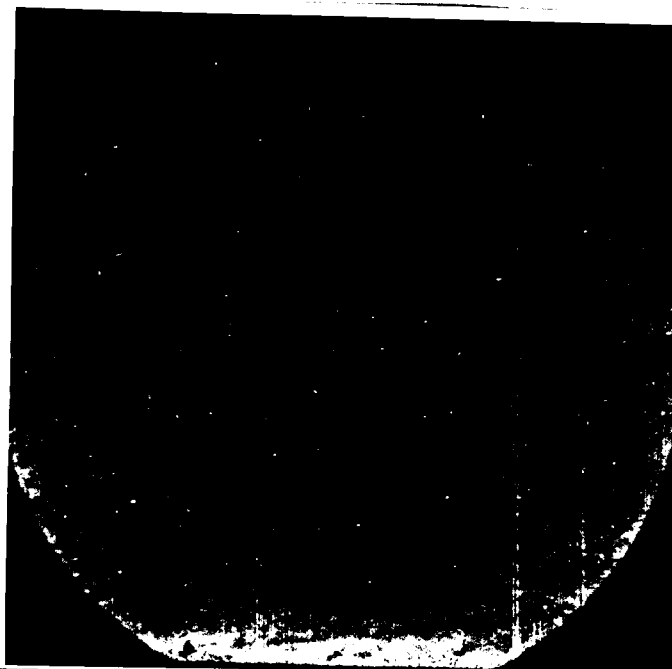
obr. 46 Povrch obrobku - vzorek 4



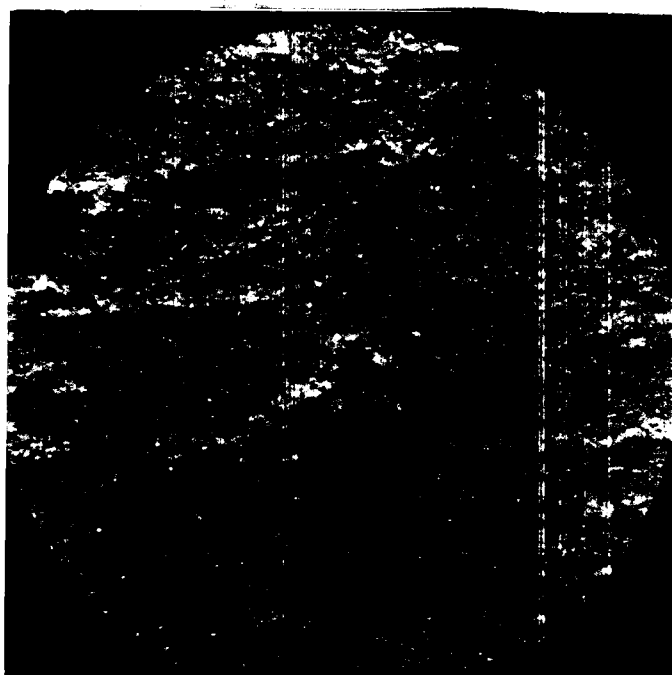
obr. 47 Povrch obrobku - vzorek 1



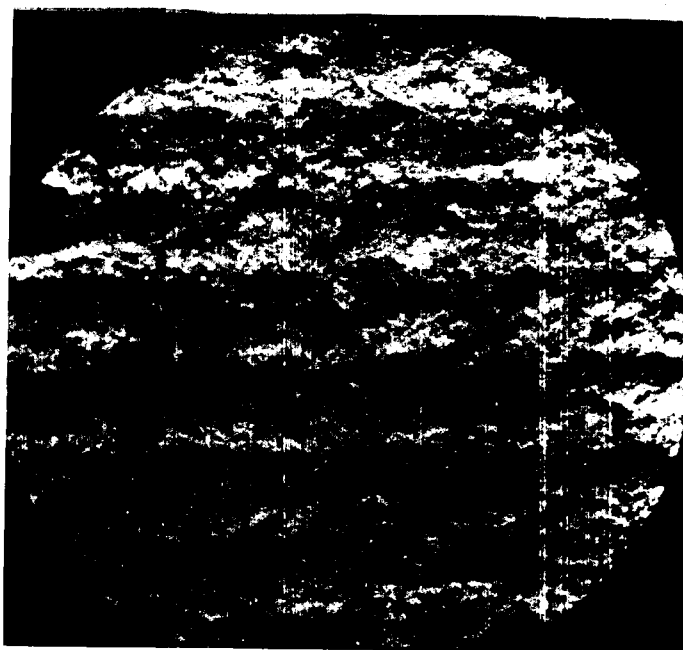
obr. 48 Povrch obrobku - vzorek 2



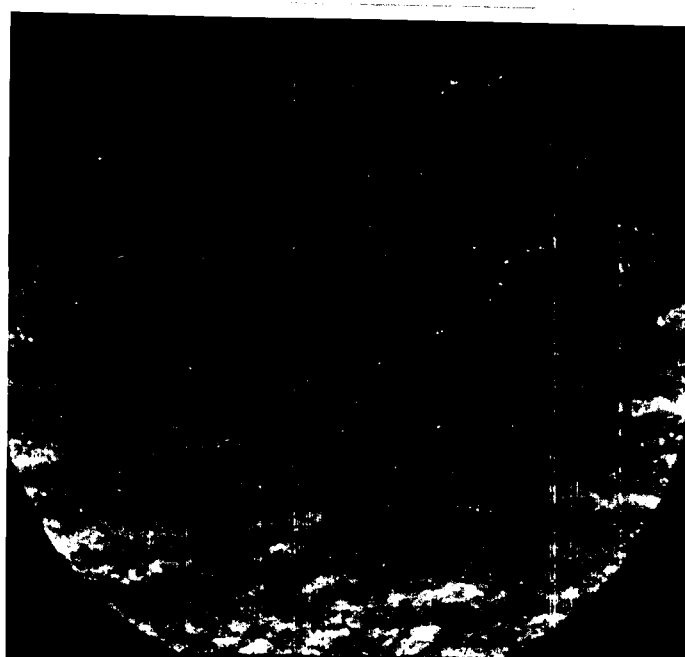
obr. 49 Povrch obrobku - vzorek 3



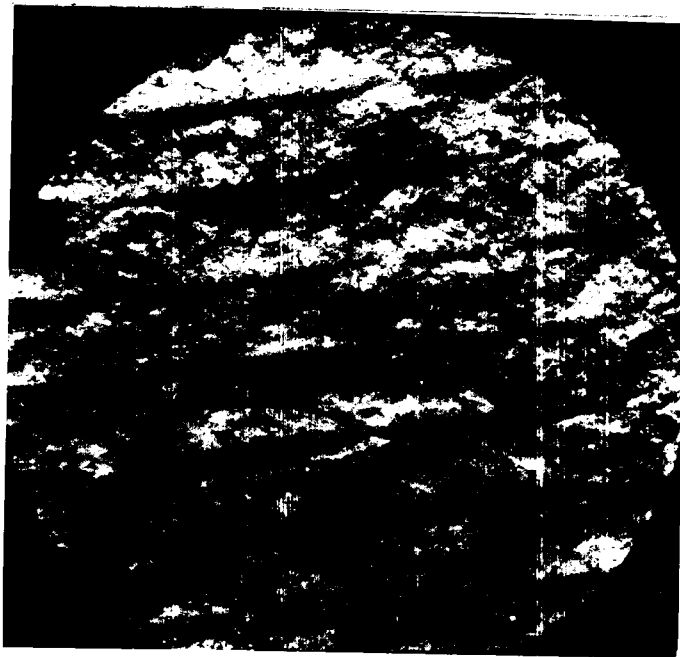
obr. 50 Povrch obrobku - vzorek 4



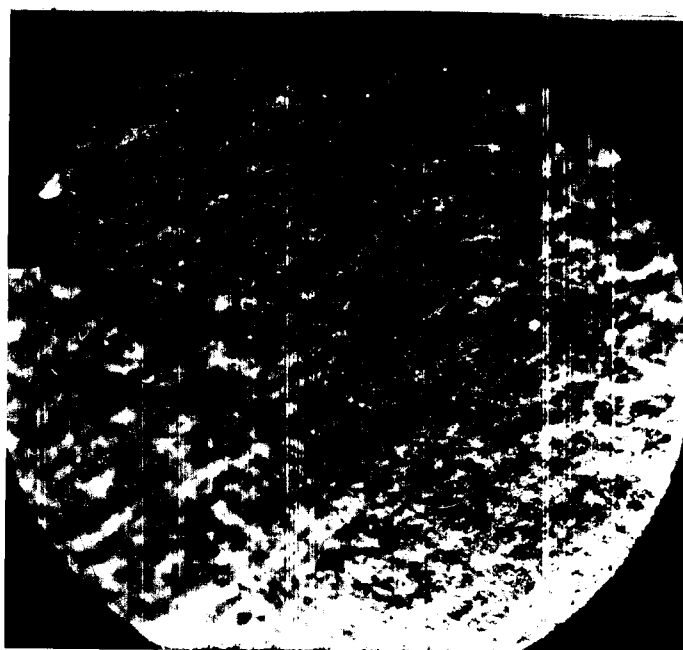
obr. 51 Povrch obrobku - vzorek 6



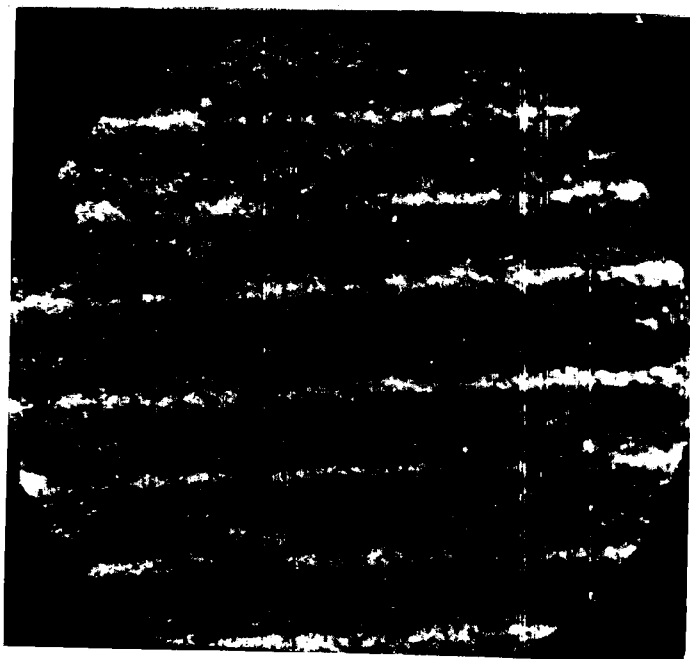
obr. 52 Povrch obrobku - vzorek 7



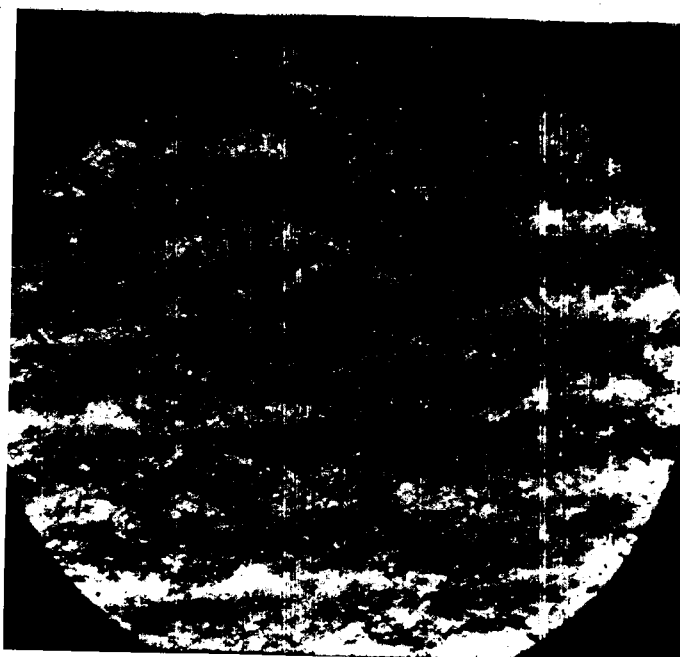
obr. 53 Povrch obrobku - vzorek 8



obr. 54 Povrch obrobku - vzorek 10

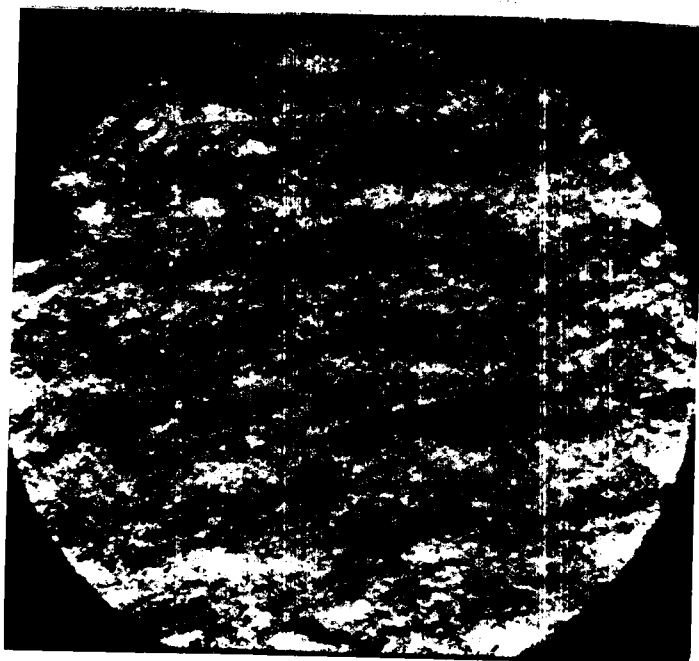


obr. 55 Povrch obrobku - vzorek 11





obr. 56 Povrch obrobku - vzorek 12



obr. 57 Povrch obrobku - vzorek 5



obr. 58 Povrch obrobku - vzorek 9

