

Vysoká škola strojná a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce
Fakulta strojná

Obr. 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

zaměření

Obrábění a ekonomika

Katedra obrábění a montáže

Návrh metodiky měření významných parametrů působících na nástroj při soustružení isostaticky lisované keramiky /ILX/

DP - ST 1537/80

Jméno autora: Jiří Novák

Vedoucí DP : Ing. Jan Prina, VŠST Liberec

Konzultant : Ing. Jan Prina, VŠST Liberec

Seznam práce a příloh

Počet stran : 71
Počet příloh : -
Počet tabulek : 15
Počet obrázků : 14
Počet výkresů : -
Počet modelů : -
a jiných příloh : -

Liberec 22. května 1980

KOMI OE

Vysoká škola: strojní a textilní
v Liberci
Fakulta: strojní

Katedra: obrábění a montáže
Školní rok: 1979/80

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Jiřího NOVÁKA

obor 23 - 07 - 8 strojírenská technologie

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

Název tématu: Návrh metodiky měření významných parametrů,
působících na nástroj při soustružení izosta-
ticky lisované keramiky (ILK)

Pokyny pro vypracování:

- 1/ Hospodářskopolitický význam zadání
- 2/ Shrnutí dosavadních poznatků z obrábění ILK
- 3/ Výběr základních parametrů
- 4/ Zpracování metodiky měření včetně záznamu a vyhodnocení
- 5/ Ověření navržené metodiky na příkladech (modelech)
- 6/ Závěr

Autorské právo se řídí ustanoveními
MŠK pro státní záv. zkoušky, č. 131
727/1962 ze dne 13. 12. 1962
1962-Věstník MŠK XVII, sešit 27 ze
31. 8. 1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC I, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Rozsah grafických laboratorních prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: asi 50 stran

Seznam odborné literatury: Lienert, G. a kol.: Obrábění, SNTL Praha 1974
Buda, J., Békés, J.: Teoretické základy obrábění kovov, SVTL Bratislava 1967
Uhlíř, M.: DP-ST 1264/77, VŠST Liberec 1977
Gabriel, V. a kol.: Studium možností současného měření významných parametrů působících na nástroj. Výzkumná zpráva KOE VŠST Liberec, 1977

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Frinta

Konsultanti: Ing. Jan Frinta

Datum zahájení diplomové práce: 15.10.1979

Datum odevzdání diplomové práce: 23.5.1980




Doc. Ing. Vojtěch Dráb, CSc
Vedoucí katedry


Doc. RNDr. Bohuslav Stráž, CSc
Děkan

Nísteprácečně prehlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatu-
ry.

Liberec 22. května 1980

.....
Jiří Honěk

Obsah

1.	Úvod	6
1.1.	Hospodářsko-politický význam zadání	6
2.	Shrnutí dosavadních poznatků z obrábění isostaticky lisované keramiky	8
2.1.	Úvod do keramiky	8
2.2.	Přehled o obrábění keramických hmot	8
2.3.	Technologické schéma výroby izolátorů	11
2.4.	Surovinové složení hmot isostaticky lisované keramiky	12
2.5.	Vlastnosti keramických hmot	13
2.5.1.	Vlastnosti v nevypáleném stavu	13
2.5.2.	Vlastnosti vypáleného střepu	13
2.6.	Přehled dosavadních poznatků	14
2.6.1.	Vliv fyzických podmínek na složky pevné síly	14
2.6.2.	Vliv geometrie břitu na složky pevné síly	15
2.6.3.	Navržení pevné podmínky a geometrie břitové destičky	16
2.6.4.	Opotřebení nástroje	17
2.6.5.	Porovnání nástrojových materiálů	17
3.	Výběr základních veličin	19
4.	Zpracování metodiky měření včetně záznamu a vyhodnocení	22
4.1.	Metoda plánování experimentu	22
4.2.	Metoda nejmenších čtverců	24
4.3.	Měření pevné síly	26
4.3.1.	Použité přístroje a zařízení	26
4.3.2.	Obráběcí stroj	27
4.3.3.	Nástroje	28
4.3.4.	Zkušební materiál	30
4.3.5.	Měřicí přístroje a zařízení	30
4.3.6.	Metodika měření složek pevné síly	34

4.3.7.	Odečítání hodnot ze sáznamu sanyčkového zapísače	35
4.3.8.	Přepačet naměřených sil na skutečné síly	36
4.3.9.	Velikost řezných podmínek ke zkoušce	38
4.3.10.	Číslování	39
4.3.11.	Experimentální práce	42
4.3.12.	Naměřené hodnoty	43
4.3.13.	Zhodnocení zkoušek	54
4.4.	Měření teploty	56
4.4.1.	Zdroje tepla a tepelná bilance při obrábění	57
4.4.2.	Použité přístroje a zařízení	59
4.4.3.	Nástroj	59
4.4.4.	Vstředný termočlunek	60
4.4.5.	Metoda měření teploty	61
4.4.6.	Číslování	61
4.4.7.	Experimentální práce	67
4.4.8.	Zhodnocení měření teploty	69
5.	Závěr	71
6.	Seznam použité literatury	

1. Úvod

1.1. Hospodářsko-politické výzvy zadání

Strojírenská výroba byla ve Směrnici pro hospodářský a sociální rozvoj ČSSR v letech 1976-1990 uloženy velké úkoly. I nadále zůstává základem dynamického rozvoje celé československé ekonomiky, neboť rozvoj strojírenství pozitivně ovlivnil nejen změnu ekonomiky a strukturní zaměstnanosti v národním hospodářství, ale i strukturu a život celé společnosti.

Všechná strojírenská výroba u nás zaznamenala vstoup a to jak po stránce celkového objemu, tak i po stránce kvality a sortimentu. Vznikly nové, technicky náročné obory, výroba se specializovala a koncentrovala do větších celků, vytvořila se silná strojírenská vědecko-výzkumná základna. Přesto stojí před strojírenskou výrobou velké úkoly. Ze závěrů IV. sjezdu KSČ přecházíme, jakými směry se má československá strojírenská výroba ubírat.

Produkce strojírenství se stala základnou pro rozvoj řady dalších průmyslových odvětví. Zvýšení této produkce nelze již zajišťovat cestou extenzivní, tj. zvyšováním výrobních ploch a počtu zaměstnanců. Proto je bezpodmínečně nutné ve všech odvětvích národního hospodářství násobit úsilí o rozvoj produktivity práce, růst produkce a přitom zejména účinněji hospodařit se všemi druhy energie, materiálu a surovin, zamezit výskum na snížení energetické a materiálové náročnosti výroby.

IV. sjezd KSČ dále uložil v politice rychlého rozvoje pokračovat. Zejména je třeba soustavně přizpůsobovat strukturu výroby nové vznikajícím potřebám doma a měnícím se podmínkám ve světě. Znamená to nejen pokračovat v kvantitativním rozvoji vybraných strojírenských oborů, ale zejména věnovat se tech-

nické úrovni, kvalitě, abychom obstáli na náročných světových trzích, abychom na vysoké technické úrovni uspokojovali naše potřeby doma. /10/

Úkoly vědeckotechnického rozvoje v oboru obráběcích strojů v 6. pětiletce navazují na pozitivní výsledky dosažené v minulé pětiletce. Jedním z hlavních směrů rozvoje jsou číslíkové řízené obráběcí stroje, které velmi přispějí ke zvyšování automatizace technologického procesu v oblasti malosériové a středněsériové výroby převážující v našem strojírenství.

Dobrych výsledků bylo dosaženo rovněž v těch odvětvích spotřebního průmyslu, které se opírají o domácí suroviny, tj. ve sklu, keramice a porcelánu.

Výroba va izolátorů zajišťuje v ČSSR monopolní výrobu Elektroporcelán, n.p. Loupy. Přispění k dobrým výsledkům ve výrobě bude rozvoj číslíkově řízených obráběcích strojů, umožňující odstranění některých mezních dosavadní technologie. Vývoj číslíkově řízených strojů na obrábění keramiky řadí VÚEK Hradec Králové v rámci dlouhodobého programu komplexní socialistické racionalizace n.p. Elektroporcelán Loupy. Zavedení nové technologie napomůže ke zvýšení technické úrovně výroby a kladně ovlivní ekonomické přínosy výroby izolátorů. /10/

Zavedení nové technologie klade požadavky v oblasti výzkumu izostaticky lisované keramiky. Jde především o volbu vykonaných strojů, vhodných řezných podmínek, konstrukční provedení řezného nástroje a ohledu na geometrii břitu a povrchu nástrojového materiálu apod.

Z těchto důvodů je nutná snít všechny zákonitosti, kterými se proces obrábění řídí a získat potřebné údaje o obrábění. Tato diplomová práce by měla částečně přispět k řešení problému a též tím, že její úkolem je měření významných parametrů působících na nástroj.

2. Shrnutí dopravních poznatků z obrábění izostaticky lisované keramiky

2.1. Úvod do keramiky

Keramiky sama dnes v sobě zahrnuje mnoho různých výrob, které se svým technologickým charakterem a vlastnostmi výrobků vzájemně značně odlišují. Mezi nejznámější keramiky patří keramika stavební, žáruvzdorná, nářeznická, nářezková a dále nové keramické výrobky pro účely elektrotechniky, výroba keramických kondenzátorů, keramických feromagnetických materiálů a speciálních kyslíčkových hmot.

Výrobky z elektrotechnické keramiky jsou nezbytnou součástí řady elektrotechnických zařízení a to při rozvodu elektrické energie v rozvednách a na linkách, pro slaboproudé elektrotechnické zařízení, elektrické pumpy apod. Výroba elektrotechnické keramiky je klíčovou výrobou, na které závisí rozvoj našeho národního hospodářství, zejména průmyslu, dnes velmi elektrifikovaného.

Vyrábíme keramické hmoty pro nízké, vysoké a velmi vysoké napětí a keramické izolátory pro rozvod elektrické energie. Hlavní používanou hmotou je klasická hmota-elektropercelán. Do další skupiny zařazujeme keramické hmoty a součástky pro slaboproudou a vysokofrekvenční elektrotechniku. /5/

2.2. Přehled z obrábění keramických hmot

Obrábění keramických hmot je značně odlišné oproti obrábění kovů a patří mezi nejobtížnější a nejnáročnější úkony keramické technologie. Mnohé výrobky mají tak složitý tvar, že je možné je vyrobit jen obráběním. K této skupině patří i vn a vvn izolátory.

Technologie obrábění keramických hmot se dělí podle stavu před obráběním na dvě základní skupiny - obrábění keramických hmot před konečným výpalem a obrábění vypálených keramických součástí. Tedy rozhodujícím mezníkem je výpal, při kterém ve střepu probíhají fyzikální a chemické pochody, které mají vliv na konečné vlastnosti. Z charakteristických vlastností je to především značná tvrdost, křehkost a vysoká abrazivnost keramického střepu. Tyto vlastnosti patří mezi ty, které nejsou vhodné k obrábění. Proto je snahou keramické technologie provést většinu obráběcích operací před konečným výpalem a po výpalu obrábění směřit na nejmenší míru, nutnou jen pro dokončení přesných rozměrů a jakosti povrchu.

Aby bylo možné úspěšně obrábět v nevypáleném stavu při technologii mokrého způsobu, je nutno polotovary k obrábění vhodně upravit. Nejjednodušší úpravou je částečné osušení vlhkosti a polotovary převedeme z původního plastického stavu s vlhkostí asi 20 % do tzv. kolovitého stavu s vlhkostí 13 až 18 %. Polotovary se přestávají vlastní vahou deformovat a je schopen obrábění. Další vysušením do vlhkosti pod 3 % se polotovary zpevní, zvýší se jeho pevnost v ohybu.

Pro zvýšení mechanické pevnosti se do surovinové směsi přidávají metylcelulóza, sulfitový louh a další. Takto upravený polotovar lze soustružit, vrtat, brousit. Další zlepšení mechanických vlastností přináší impregnace vysušeného střepu parafinem a dále předběžný výpal /předřah/ na teplotě 800 až 1000 °C. Při této teplotě probíhají však výrazné rozměrové změny, což má vliv na rozměry vypáleného výrobku. /4/

Nejnovější způsob zpracování keramických hmot je lisatrickým lisováním, kdy získáváme polotovary /hobl/ po předběžném suché granulaci. Získávají se však jen hrubé polotovary potřebných rozměrů. Výhodou tohoto způsobu je, že se nemusí po opracování sušit, čím dochází k velkým úsporám tepelné energie a nedochází k deformacím při sušení a tedy i značné roz-

měru.

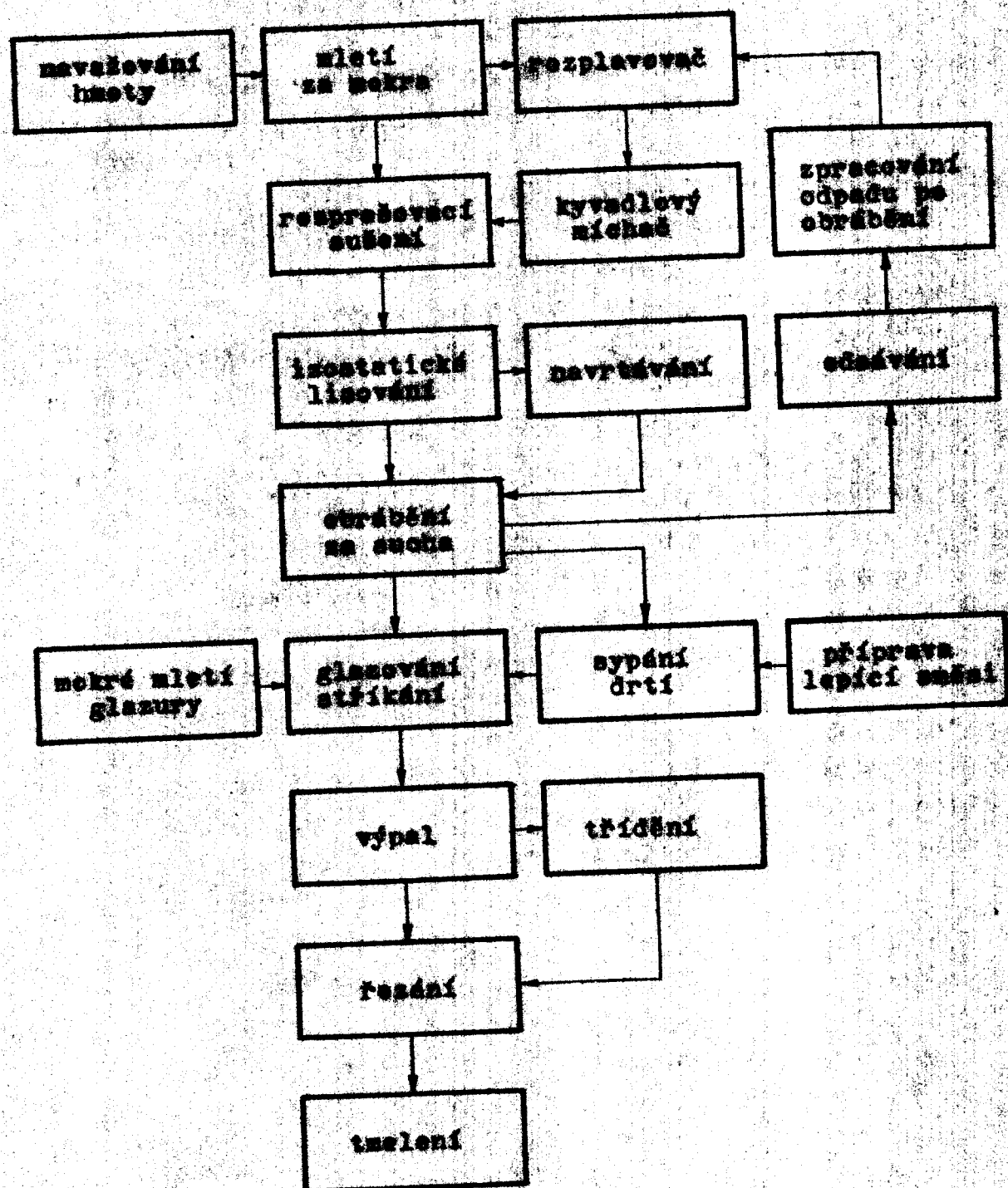
Obrábění izostaticky lisovaných hmot je v počátcích svého vývoje nejen u nás, ale i v zahraničí. Technologie obrábění keramických suchých hmot není dosud v žádné literatuře komplexně zpracovaná. Při teoretickém zpracování technologie obrábění keramiky vycházíme z poznatků při obrábění kovů.

Původní výroba keramických izolátorů v ČSSR byla prováděna pomocí jednoduchých strojů. Počít ruční práce při obrábění se zmenšil zavedením mechanicky a hydraulicky ovládaných kopírovacích soustruhů. Při obou způsobech obrábění je nutno ručně zašišťovat povrch. Další nevýhodou původní technologie je zmetkovitost vlivem rozptýlu smrštění hmoty, dlouhá příprava výroby - výroba šablon a tvarových nožů. /10/

Nasazení číslíkové řízených obráběcích strojů umožní odstranit některé nedostatky dosavadních technologií a přispěje k podstatnému zvýšení produktivity práce. Tuto novou technologii výroby va izolátorů soustružením pomocí číslíkové řízených obráběcích strojů vyvinuli ve VÚEK Hradec Králové a dále vyvíjejí, neboť zavedení nové technologie si klade požadavky na výzkum řezných podmínek, řezných nástrojů a realizaci strojní jednotky.

Stroj je řešen jako portálový, třípolohový svislý soustruh. V jedné poloze se zakládá poletovar a vyjímá hotový výrobek, v další poloze se obrobek hrubuje a ve třetí poloze se dotváří konečný tvar obrobku. Stroj je řízen NC systémem RMC 409.

2.3. Technologické schéma výroby izolátorů /B/



2.4. Surovinové složení hmot izostaticky lisované keramiky

Elektrotechnický porcelán se vyrábí ze zvláštní pracovní hmoty, která se výrazně liší od užitkového porcelánu.

Složení hmot pro izostatické lisování se skládá ze tří základních komponentů: estřiva, pojiva, taviva

Podíl jednotlivých komponentů se pohybuje v rozmezí:

35 - 50 % estřiva / Al_2O_3 mineralizovaný/

20 - 40 % pojiva /jíly/

20 - 40 % taviva /smělec, šivec/

Různou kombinací těchto komponentů jsou vytvořeny příslušné hmoty. Hlavní varianta - hmota M 50 S-2 je určena pro náběh výroby technologií izostatického lisování, proto použita při měření. Má následující složení: /%/

Al_2O_3 slovenský minerál	25
šivec ŽP II	19
smělec Želenice	13
kaolín Podbeřany	11
kaolín Sedlec	7
jíl JHD II	10
kalciováný šamet SLJ	15

Další hmotou na které bylo provedeno měření, má následující složení.

Surovinové složení hmoty M 60: /%/

Al_2O_3 - mineralizovaný Al F_3	35
smělec Želenice	7
šivec Holádky	20
jíl JHD II Jehnědno	20
šamet SLJ	13
kaolín Podbeřany	5

2.5. Vlastnosti keramických hmot

Na vlastnosti elektrotechnického porcelánu se kladou příslušné požadavky, zvláště na mechanickou pevnost, průrazovou pevnost a dielektrické ztráty. Těmto požadavkům může vyhověvat jen výrobek dokonale spojený s rovnoměrnou strukturou a s minimálním množstvím pórů.

2.5.1. Vlastnosti v nevytvořeném stavu pro hmoty M 50 a M 60

	M 60	M 50
-zbytková vlhkost granulátu /%/	0,9 - 1,4	1,4
-objemná hmotnost /kg.m ⁻³ /	990 - 1010	930 - 970
-střední hmotnost /kg.m ⁻³ /	1150 - 1165	1090 - 1130
-mechanická pevnost v ohybu po vylišování - 125 MPa	1,55 - 2,1	1,3 - 2,0
výlisek - válec ø 100mm /MPa/		
-objemová hmotnost výlišku /kg.m ⁻³ /	2,16	2,02

2.5.2. Vlastnosti vytvářeného střepu hmoty M 50

-nasákavost /% hmotnosti/	pod 0,1
-objemová hmotnost /kg.m ⁻³ /	2,35 - 2,50.10 ³
tlak - 125 MPa	
-měrná hmotnost /kg.m ⁻³ /	2,78 - 2,81.10 ³
tlak - 125 MPa	
-porozita /%/	10 - 15
-mechanická pevnost v ohybu /MPa/ ø 90 mm	64,5
-mechanická pevnost v ohybu rázem /kJ.m ⁻² /	1,86
-střední měrná teple /J.kg ⁻¹ .K ⁻¹ /	868
-střední teplotní vodivost /m ² .s ⁻¹ /	1,18.10 ⁻⁶
-měrná tepelná vodivost /W.m ⁻¹ .K ⁻¹ /	2,7

- elektrická průrazová pevnost $\text{KV} \cdot \text{mm}^{-1}$	28 - 32
- dielektrická konstanta	8,2
- měrný povrchový odpor $\rho_s \text{ } \Omega/\text{cm}$	$2,3 \cdot 10^{14}$
- měrný vnitřní odpor $\rho_v \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ při 25 °C	$2,3 \cdot 10^{10}$
100 °C	$1,6 \cdot 10^7$
200 °C	$4,6 \cdot 10^4$
400 °C	$3,3 \cdot 10^2$
600 °C	$2,0 \cdot 10^1$
- modul pružnosti v tahu E /MPa/	$75,4 \cdot 10^3$

Podrobný popis jak složení, tak i vlastností je uveden v /8/.

2.6. Přehled časových parametrů

Cílem první etapy výzkumu bylo určení základních fyzikálních podmínek a geometrii nástroje. Pro řešení tohoto problému je jedním z kritérií závislost velikosti jednotlivých složek fyzikální síly na fyzikálních podmínkách a geometrii nástroje.

Pro měření fyzikálních sil byl použit siloměrný držák konstruovaný pro mechanicky upínané fyzikální destičky a osazený tenzometrickými snímači. Siloměrný držák byl upnut v nožové hlavě kolmo k ose polotovaru. V této poloze byly snímány změny složek fyzikální síly ve směru axiálním a vertikálním. Pro snímání změny fyzikální síly ve směru příčném byl nožový držák s nožovou hlavou pootočen o 90°.

2.6.1. Vliv fyzikálních podmínek na složky fyzikální síly

Specifické vlastnosti mat způsobují, že jejich obrábění soustružením má ve srovnání se soustružením kovů zcela jiný charakter. Zjištěné závislosti lze formulovat takto:

- malý fyzikální odpor dovoluje obrábět třískou velkého průřezu

- hloubka řezu má maximální vliv na složku řezné síly F_v , průběhy jednotlivých složek řezných sil vzrůstají s přibývajícím hloubkou řezu přibližně lineárně. Dynamická složka řezné síly F_v vzrůstá méně než statická a složky řezné síly F_f a F_p se udržují přibližně na konstantní hodnotě.
- posuv má podstatný vliv na složku řezné síly F_v , složky řezné síly F_f a F_p vzrůstají se zvětšujícím se posuvem jen nepatrně. Stejně poměry platí i pro dynamické složky řezné síly.
- statické a dynamické složky řezných sil se vzrůstající řeznou rychlostí se udržují přibližně na konstantní hodnotě

Podrobný popis vlivu řezných podmínek na jednotlivé složky řezné síly je uveden v /10/.

2.6.2. Vliv geometrie břitu na složky řezné síly

Měření bylo provedeno na destičkách a různými úhly čela γ resp. úhly řezu δ při měnícím se úhlu nastavení α . Zjištěné závislosti lze formulovat takto:

- největší vliv na změnu geometrie vykazuje statická a dynamická složka řezné síly F_v . Statická složka řezné síly F_v má klesající průběh pro úhel nastavení $\alpha = 45^\circ$ do 60° při úhlech čela $\gamma = 5^\circ$ a 15° . Dynamická složka je nejpráhivější pro úhel čela $\gamma = 5^\circ$ a interval úhlu nastavení $\alpha = 45^\circ$ až 85° .
- statická složka řezné síly F_f vzrůstá se zvětšujícím se úhlem nastavení α posvele pro úhly čela $\gamma = 0^\circ$ až 15°
- pro statickou složku řezné síly F_p mají průběhy přibližně stejný charakter pro celé rozmezí úhlu čela γ od $+15^\circ$ do -15° a jsou charakteristické tím, že klesají výrazně v intervalu úhlu nastavení α od 30° do 45° . Od úhlu nastavení $\alpha = 45^\circ$ do 85° klesají posvelejší.

- změna úhlu nastavení α má vliv na dynamickou složku řezné síly, neboť se mění poměr mezi tloušťkou a šířkou třísky.
- Střední hodnota vzájemného poměru velikosti složek řezné síly F_f a F_p vzhledem k velikosti tangenciální složky F_v při soustružení střední velikostí třísek, pro $\alpha = 45^\circ$, $\frac{h}{d} = 10$, $- 90^\circ$, pro izostaticky lisovanou keramickou hmotu, vychází:

$$F_v : F_p : F_f = 1 : 0,8 : 0,45$$

Podrobný popis je uveden v /10/.

Poznámka:

Všechny výše uvedené závislosti platí za daných řezných podmínek.

2.6.3. Navržené řezné podmínky a geometrie břitové destičky

Z výsledků měření řezných sil byl pro použitou technologii obrábění vybrán rozsah hodnot základních řezných podmínek a úhlů geometrie nástroje.

- řezná rychlost	$v = 50 - 260 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- posuv nože	$s = 0,085 - 1,6 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$
- přícross nože	$t = 3 - 70 \text{ mm}$
- úhel hřbetu	$\omega = 15^\circ$
- úhel čela	$\beta = 5^\circ - 15^\circ$
- úhel nastavení hlavního ostří	$\alpha = 45^\circ - 60^\circ$
- úhel nastavení vedlejšího ostří	$\alpha' = 45^\circ - 30^\circ$
- úhel sklonu ostří	$\lambda = 0^\circ$
- úhel špičky řezné destičky	$\epsilon = 90^\circ$ jen pro hrubování
- poloměr špičky řezné destičky	$R_{\text{max}} = 1,5 \text{ mm}$ pro hrubování $R_{\text{max}} = 4 \text{ mm}$ pro tvarování /7/

Navržený tvar břitových destiček nelze však do důsledků použít pro strojní jednotku SO 1-NC. Nově navržené produkční nástroje byly použity pro měření a jsou popsány v kap. 4.3.3.

2.6.4. Opotřebení nástroje

Při obrábění izostaticky lisované keramiky převládá mechanické - abrazivní opotřebení nástroje vlivem postupného mechanického narušování mikrone rovností povrchu funkčních ploch nástroje. Abrazivní opotřebení probíhá za nízkých teplot. Tvrdé složky struktury obráběného keramického materiálu /hlavně Al_2O_3 / odřezávají nebo odlamují jednotlivé složky z povrchu nástroje. Důležitou úlohu hraje mikrotvrdość jednotlivých strukturních složek, které přímo ovlivňuje míru mechanického opotřebení.

Při obrábění izostaticky lisované keramiky destičkou ze slinutého karbidu se tvrdými zrnky Al_2O_3 , obsaženými v keramické hmotě, otírá kobalt. Tím se porušuje soudržnost krystalů karbidu a dochází k jejich vylamování. Obdobně jako při obrábění křehkých materiálů, tak i zde převládá opotřebení hřbetu. Nevzniká souvislá tříska, ale odřezávaný materiál odlétá z místa řezu v podobě jemných zrn. V důsledku odletu též intenzita opotřebení je největší na hřbetě nástroje. Při obrábění jsou některé částice obrušovány, které ve styku s řezným materiálem, jiné zcela vytrhovány z materiálu. Při vytržení částice v další části vystupují do vzájemného styku částice nové, s větším abrazivním účinkem, než mají částice již obrušené. Ke spevnění materiálu zde pravděpodobně nedochází, ale zřejmě dochází k přechovávání již uvolněných částic. Podrobný popis, další výsledky jsou uvedeny v /11/.

2.6.5. Porovnání nástrojových materiálů

Cílem úkolu bylo určení nejvýhodnějších nástrojových materiálů pro dané řezné podmínky. Úkol byl řešen určováním trvanlivosti u jednotlivých nástrojových materiálů.

Z měření opotřebení uvažovaných nástrojových materiálů

vyplývá, že oblast doporučené řezné rychlosti $/50 - 260 \text{ m.min}^{-1}$ lze rozdělit na tři pásma:

- v I. pásmu 50 až 80 m.min^{-1} vykazuje největší trvanlivost kompozit P 5008, ze slinutých karbidů pak HIP Ceramant a K 15. Nejmenší trvanlivost vykazuje řezná keramika.
- ve II. pásmu 80 až 110 m.min^{-1} je opět nejlepší kompozit P 5008, nižší trvanlivost je už u řezné keramiky SN 30 a slinutých karbidů HIP Ceramant a P 30. Nejmenší trvanlivost mají slinuté karbidy K 10 a P 20.
- III. pásmu 110 až 260 m.min^{-1} nejlépe vyhovuje řezná keramika. K ní se výbornou trvanlivostí přibližuje i kompozit P 5008. Slinuté karbidy mají o něco horší trvanlivost. Nejhorše se projevily slinuté karbidy K 10 a P 20.

Celkově lze hodnotit jako nejvýhodnější nástrojový materiál kubičkový nitrid bóru - kompozit P 5008. Použití tohoto materiálu ve výrobě vn izolátorů naráží na problémy spojené s vlastní výrobou a tvarováním destiček a kompozitu. Při výrobě a použití NI techniky se jeví jako nejvýhodnější mikroarmovaný keram, vyvinutý ve VÚEK Hradec Králové. /7/

Zeshrnutí:

Všechny výše uvedené závěry platí za daných řezných podmínek a pro zmíněvané nástrojové materiály.

3. Výběr základních veličin

Namontování číslíkové řízených obráběcích strojů přispěje k podstatnému zvýšení produktivity práce. Tyto stroje nejen odstraňují namáhavou ruční práci obsluhujících pracovníků, ale i zkracují výrobní časy hlavních a pomocných operací.

Dokončení obrábění jsou velmi mnohotvárné a složité, má na ně vliv velký počet různých činitelů. Pro praktické účely budeme v dále jen základní činitele a vztahy, které charakterizují a určují průběh procesu obrábění. Některé činitele jsou určeny, jiné můžeme volit. Tyto činitele je nutné znát, aby bylo možno přistoupit zodpovědně k řešení nového způsobu obrábění.

Má-li být realizováno měření veličin vyvolaných řezným procesem a působících na stroj a nástroj, pak musí být nejprve proveden jejich výběr, zhodnocení jejich významnosti. Potom následuje měření a nakonec zhodnocení získaných poznatků a srovnání s poznatky získaných při obrábění ková.

Do oblasti teorie obrábění lze zařadit problémy tvrdoty třísky, řezných sil, tepla a teploty řezání, chvění, opotřebení, trvanlivosti, obrobiteľnosti a řezivosti.

Do oblasti projektování řezných nástrojů pak zařadit otázky řešení řezných materiálů, řezných úhlů, tvarování třískové části nástroje, tvarování a objemového koeficientu třísek.

Z představeného množství veličin je nutné určit ty, které jsou pro obráběcí proces významné a jim věnovat náležitou pozornost. Méně významné veličiny zahrnout do konstantních podmínek provedené zkoušky.

Úkolem předchozích měření, jak vyplývá z kapitoly 2.6., bylo určení základních řezných podmínek, geometrie nástroje a řezného materiálu. Z výsledků měření byly navrženy produkční hrubovací a tvarovací nástroje. Na těchto nástrojích by-

le provedeno měření, které zaměřeno na oblast teoretickou.

Protež svou pozornost zaměřujeme na nástroj, pak rozhodující bude validita, jestli vytvářejí mechanické a tepelné zatížení břitů.

Pod mechanické zatížení břitů zahrneme složky řezné síly F_v , F_f , F_p a chvění, vyjádřené jeho amplitudou.

Vnější projevem tepelného zatížení je teplota řezání.

Tento, i když na první pohled zdánlivý výběr, poskytuje přesto dostatečnou informaci o zatížení břitů jak tepelném, tak i mechanickém.

Měření velikosti složek řezné síly bylo do výběru zahrnuto proto, že zahrnutých sil si lze nejlépe promítnouti všechny změny, které v procesu nastávají. Současně lze některé složky použít k dalším výpočtům, např. středního měrného zatížení.

Dále do výběru bylo zahrnuto chvění, protože je prvkem, který charakterizuje stabilitu procesu obrábění. Pro toto posouzení obvykle dostatečně měřit pouze amplitudu chvění, což podává rozhodující informaci o průběhu obrábění a vlivech na tento proces působících. Jestliže při měření složek řezných sil odečítáme vedle statických i dynamické hodnoty, pak vlastní měření chvění se již nemusí provádět, neboť dynamické hodnoty vykazují velikost chvění.

Měření teploty řezání při obrábění izostaticky lisované keramiky dosud nebylo prováděno a to byl jeden z důvodů, proč teplota zahrnuta do výběru i když metody měření teploty nepatří mezi nejpřesnější. Z měření sil prováděných na izostaticky lisované keramice, které o proti silám při obrábění kovů jsou řádově menší, lze usuzovat, že i teplota bude řádově menší. Její velikost se však ani přibližně neznala.

Dalším důvodem měření teploty bylo to, že keramické řezné destičky, které nejsou přímo mechanicky upnuty, jsou na spodní ploše napuštěny stříbrnou suspenzí a připájeny na kovové podložky cínovou měkkou pájkou /210 °C/. Někdy došlo k

utržení břitové destičky od kovové podložky. lze uvažovat, že teplota řezání překročila teplotu pájky, došlo k natavení pájky a rozpejení.

Teplota řezání má důležitý vliv, jež probíhá při realizačním procesu obrábění. Současně lze z výše teploty řezání uvažovat na teplotní pole soustavy nástroj - obrobek - třísky a dále na množství tepla, které se zde vyvine, a tudíž i na teplotní zatížení břitu.

Současně měření vyžaduje, aby metoda v daných podmínkách byla maximálně spolehlivá a přesnost výsledků pro daný případ vyhovující. Dále způsob měření musí být zvolen tak, aby podstatně neovlivnil samotný studovaný proces. Je nutné použít spolehlivých, ale zároveň běžně dosažitelných přístrojů, případně dalších zařízení, která je možné v běžně zařízených vývojových laboratořích vyrobít.

4. Zpracování metodicky získaných výsledků záznamu a vyhodnocení

4.1. Metoda plánování experimentu

Účinné plánování experimentu dává možnost pro efektivnější provádění vlastních experimentů, zpracování naměřených dat a vyvození závěrů z pokusu, neboť úkolem plánování experimentu je zredukovat rozsah experimentu na nejmenší možnou míru, která však musí poskytovat výsledky experimentu v požadované přesnosti.

Tradiční způsob vedení experimentu je takový, že všechny uvažované faktory jsou konstantní, a výjiskem jednoho, jehož vliv na nezávisle proměnnou zkoumáme. Po experimentálním určení vlivu tohoto jednoho faktoru na nezávisle proměnnou se přikročí ke zkoumání vlivu druhého, třetího atd. faktoru na nezávisle proměnnou. S pomocí moderních statistických metod je však možné plánovat pokusy tak, že je zkoumán vliv řady faktorů na nezávisle proměnnou současně.

Určování počtu úrovní faktorů je velmi důležitý krok v plánování experimentu. Na správné volbě počtu úrovní jednotlivých faktorů bude záviset rozsah / počet buněk / a také přesnost výsledků celého pokusu. Jestliže jsme schopni předpokládat lineární závislost, pak stačí volit pouze dvě úrovně faktorů. Obdobně pro kvadratickou závislost stačí volit tři úrovně, pro kubickou čtyři apod. S mocninnou funkcí lze pracovat jako s funkcí lineární, protože po zlogaritmování obdržíme rovnici přímky v logaritmických souřadnicích. Jestliže nejme schopni s dostatečnou přesností odhadnout charakter závislosti, pak volíme raději funkci vyššího řádu.

Při určování jednotlivých úrovní faktorů se snažíme volit jednotlivé úrovně tak, aby rozdily mezi velikostmi sousedních úrovní byly stejné ve zlinearisovaném tvaru přísluš-

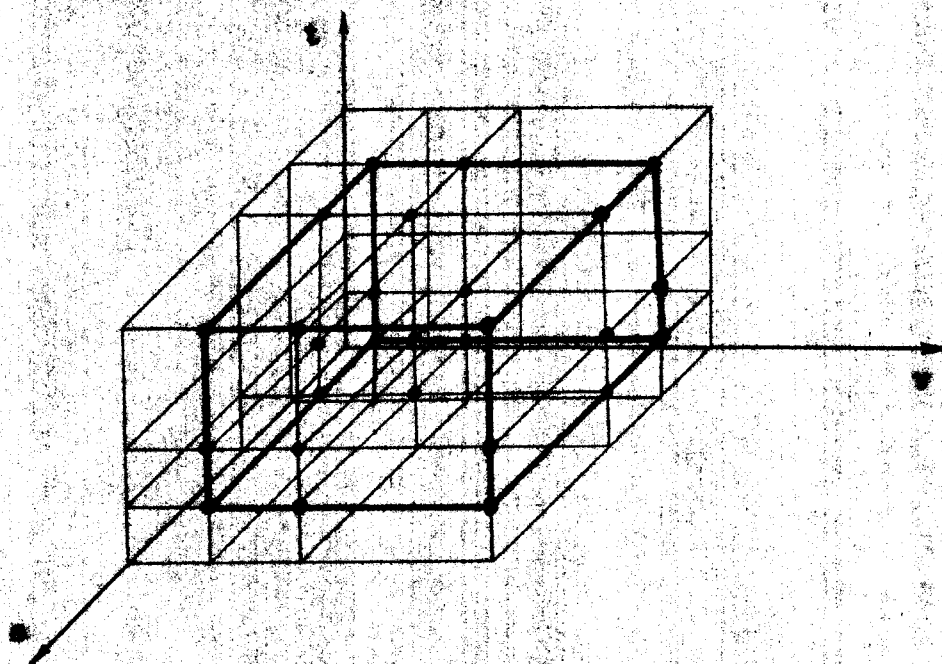
né funkce, pokud je tvar funkce dovolí. Jinak jednotlivé d-
rovně určíme odhadem z dostupných poznatků o obrábění.
Z možných minimálních a maximálních podmínek určíme uslové
body. Stanovení souřadnic úrovní faktoru ve vymezené oblas-
ti měření, pro případ, že každý faktor bude mít tři úrovně,
se provede dle vztahu:

$$x_p = e^{\frac{\ln x_{\max} + \ln x_{\min}}{2}}$$

Strukturální model bude mít pro náš případ měření oíl
dvacetáctá buněk. Funkční model pro naše měření bude totéž-
ný s modelem strukturálním. V tomto případě se tedy jedná o
úplný funkční model. Počet úrovní byl zvolen tři a počet spa-
kování funkčního modelu, tzv. experimentální model, $n = 2$.

Zvolíme-li malý počet n , může být výsledek měření ovliv-
něn spádovou chybou. Zvolíme-li velký počet n , dle experimen-
tu se nedávně zvyšuje. Velmi často si volí experimentátor
počet n odhadem.

Základní modely měření



obr. č. 4.1.1.

4.2. Metoda nejmenších čtverců

Než přikročíme k eventuálnímu studování vztahu závislé a nezávislé, provedeme analýzu naměřených hodnot. Samy sebou existuje vztah mezi nezávislými a se dále vyloučení experimentálně zjištěných h hrubou chybou.

Pro vyjádření rovnice sily se používá exponenciální vztah:

$$F = c \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^z \quad /1/$$

Chceme-li stanovit konstanty c, x, y, z se nejprve uvažuje pro vyrovnání naměřených hodnot podmínku, aby se čtverců odchylek vyrovnaných hodnot od hodnot skutečně naměřených byl minimální. Aby šlo aplikovat metodu nejmenších čtverců, musíme provést linearizaci vztahu /1/ zlogaritmováním.

$$\ln F = \ln c + x \cdot \ln t + y \cdot \ln s + z \cdot \ln v \quad /2/$$

Pro snadnější vyjádření vztahu zavedeme transformaci:

$$\ln F = K$$

$$\ln c = C$$

$$\ln t = T$$

$$\ln s = S$$

$$\ln v = V$$

Vztah /2/ po transformaci bude mít tvar:

$$K = C + x \cdot T + y \cdot S + z \cdot V$$

Součet čtverců odchylek pak bude mít tvar:

$$\sum_{i=1}^n / K_i - \bar{K}_i /^2 = \min.$$

$K_i = \ln P_i$ - slogaritmovaná hodnota skutečně získaná z měření
 $\bar{K}_i = C + x.T + y.S + z.V$ - slogaritmovaná hodnota vyrovnaná transformovanou funkcí

Pro řešení této rovnice, ke zjištění konstant c, x, y, z , musíme dále získat dalších $n+3$ rovnic, neboť hledáme extrém funkce o $n+1$ neznámých. Ty získáme parciální derivací funkce dle parametrů C, x, y, z , derivace položíme rovny nule. Problém tak převedeme na řešení soustavy lineárních rovnic, kterou lze řešit ručně nebo pomocí počítače.

Soustavu rovnic lze zapísat v maticovém tvaru:

$$\begin{vmatrix} n & \sum T_i & \sum S_i & \sum V_i \\ \sum T_i & \sum T_i^2 & \sum S_i T_i & \sum V_i T_i \\ \sum S_i & \sum T_i S_i & \sum S_i^2 & \sum V_i S_i \\ \sum V_i & \sum T_i V_i & \sum S_i V_i & \sum V_i^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} C \\ x \\ y \\ z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sum P_i \\ \sum P_i T_i \\ \sum P_i S_i \\ \sum P_i V_i \end{vmatrix}$$

Řešení soustavy rovnic získáme přímo konstanty x, y, z . Chceme-li získat konstantu c , musíme provést zpětnou transformaci:

$$c = e^C$$

4.3. Měření řezné síly

Měření řezných sil při obrábění má nejen praktický, ale i teoretický význam. Teoretické poznatky o řezných silách naplňují teorie o řezném procesu. V praxi jsou zase poznatky o řezných silách důležité při konstruování nástrojů, při volbě řezných poměrů, při výpočtu a konstruování obráběcích strojů.

Měření sil při obrábění je spravidla založeno na měření deformací, způsobených silami vznikajícími při obrábění. Tyto deformace jsou u dobře konstruovaného stroje velmi malé. Je proto nutné vložit do systému stroj - nástroj - obrobek člen menší tuhosti - dynamometr - jehož deformace z hlediska měření je dostatečně velká, při tom však nemá zkreslovat obráběcí proces velkou chybou. Základním problémem při konstrukci dynamometru je proto volba správného kompromisu mezi tuhostí a citlivostí.

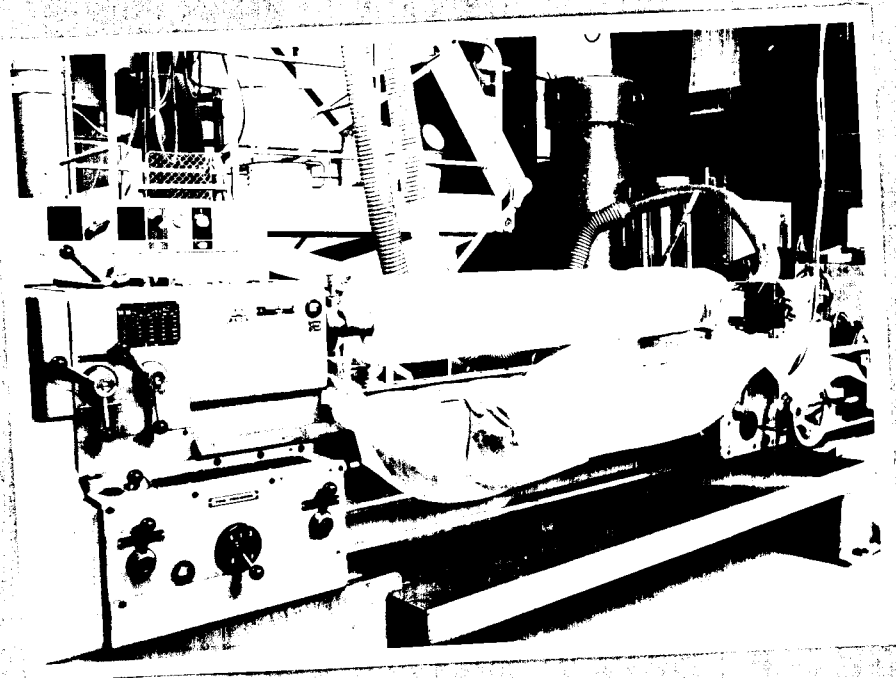
Pro přímé měření řezných sil se používají siloměry zvané též dynamometry různé konstrukce a různých měřících principů. Siloměr může být konstruován tak, že se měří jen jedna nebo více složek výsledné řezné síly. Podle toho rozlišujeme jedno-, dvoj-, tříoskové dynamometry.

4.3.1. Popis přístroje a zařízení

- 1/ Obráběcí stroj SN 50 B
- 2/ Nástroje
- 3/ Zkušební materiál
- 4/ Tříoskový dynamometr
- 5/ Tenzometrické mětky
- 6/ Galileoskop
- 7/ Sýtkový zapisovač
- 8/ Ovládací zařízení

4.3.2. Obráběcí stroj

Ke zkouškám byl použit univerzální hrotový soustruh, jehož technické parametry byly vyhovující pro provedení zkoušek.



obr. 4.3.2.1. Univerzální hrotový soustruh

Technické parametry soustruhu:

Typ:	SN 50 B
Výrobce:	n.p. TOS TRENČÍN
Oběžný průměr nad ložem:	500 mm
Oběžný průměr nad suportem:	270 mm
Vzdálenost hrotů:	2060 mm
Vrtání včetně:	50,8 mm
Otáčky včetně - rozsah:	12/45 - 2000 ot.min ⁻¹
Posuvy podélné - rozsah:	38 stupňů
Posuvy příčné - rozsah:	snížení 2:1
Výkon motoru:	6,6 kW

4.3.3. Nástraje

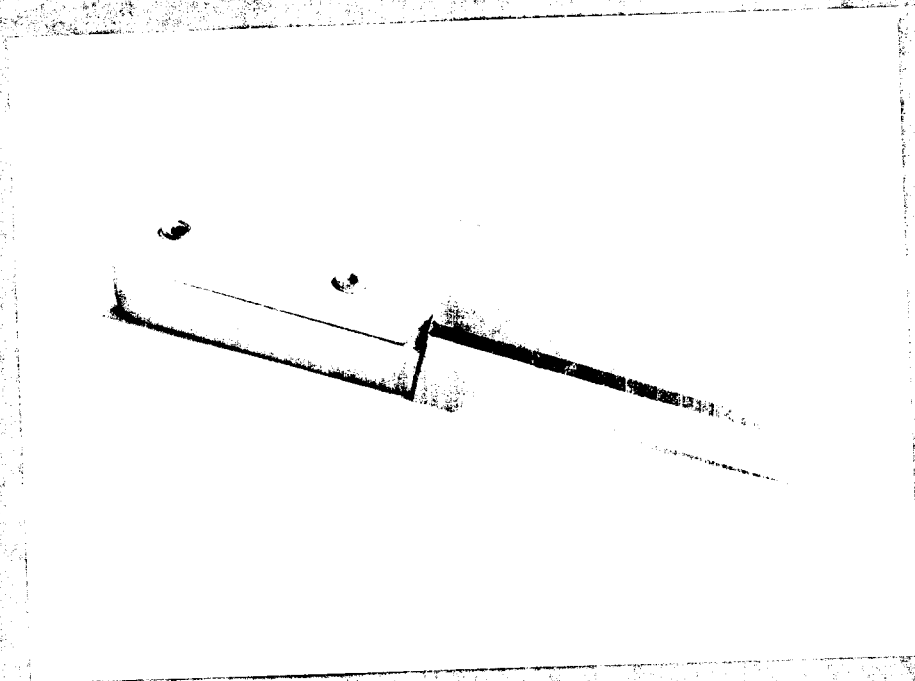
Pro měření byly použity druhy nožů, s kterými se současně pracuje na obráběcích strojích a u kterých je předpoklad dalšího rozvoje.

Jako nástroj byl použit držák a mechanickým upínáním příslušné řezné destičky.

Pro měření byly použity následující nože:

Hrubevací nůž č.1: obr. 4.3.3.1.

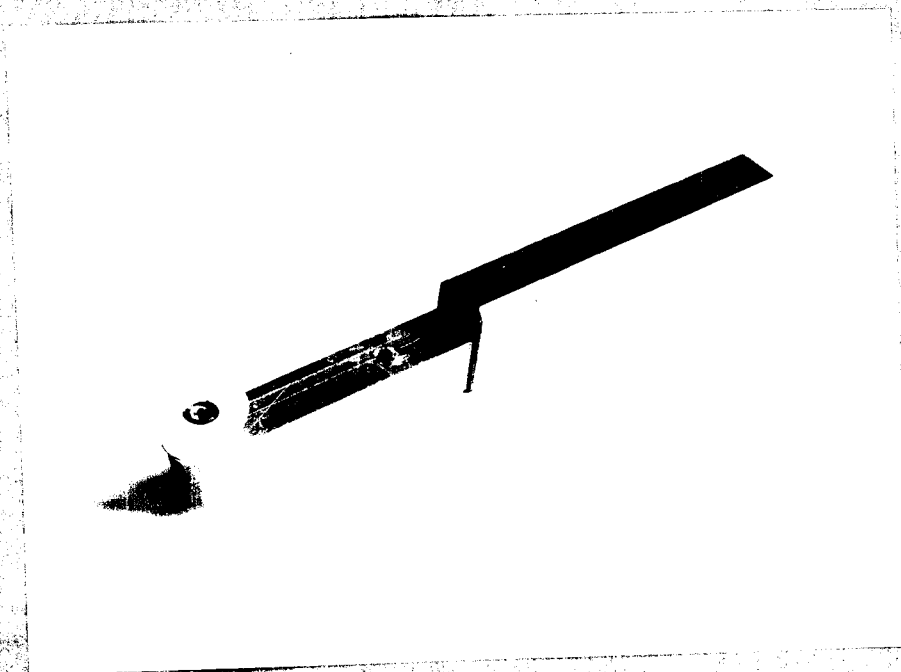
Geometrie nástroje:	- úhel hřbetu	$\alpha_0 = 15^\circ$
	- úhel čela	$\gamma_0 = 15^\circ$
	- úhel řezu	$\delta_0 = 75^\circ$
	- úhel sklonu ostří	$\alpha_p = 0^\circ$
	- úhel nastavení	$\beta_p = 90^\circ$



obr. 4.3.3.1. Hrubevací nůž

Tvarovací nář. 4.2: obr. 4.3.3.2.

Geometrie nástroje: - úhel břetu $\alpha_1 = 15^\circ$
 - úhel čela $\beta_1 = 15^\circ$
 - úhel řezu $\delta_0 = 75^\circ$
 - úhel sklonu ostří $\lambda_1 = 0^\circ$
 - poloměr zaoblení $R = 12,5 \text{ mm}$



obr. 4.3.3.2. Tvarovací nář.

Řezné destičky:

Pro měření byly použity keramické řezné destičky vyráběné ve VÚM Hradec Králové. Materiál - mikrokrupný keram, který má tyto vlastnosti: střední hustota... $0,385 - 0,397 \text{ kg.m}^{-3}$
 pevnost v ohybu... min. 4000 N.m^{-2}
 tvrdost... $2,1 \cdot 10^3 \text{ N.m}^{-2}$
 přibližné složení... $99,8\% \text{ Al}_2\text{O}_3$
 výpalná teplota 1400°C

Rozměry destiček:

- hrubovací: délka - 94 mm
šířka - 20 mm
výška - 8 mm
- tvarovací: průměr - 25 mm
výška - 8 mm

4.3.4. Zkušební materiál

Ke zkouškám byly dodány dva izostaticky lisované huble z vývojových hmot M 50 a M 60.

Lisovací tlak pro obě hmoty 125 MPa.

Rozměry huble:

- průměr $\varnothing D = 260$ mm
- délka $l = 1650$ mm

Chemické složení a vlastnosti v nevypáleném stavu pro oba huble jsou uvedeny v kap. 2.4. a 2.5.

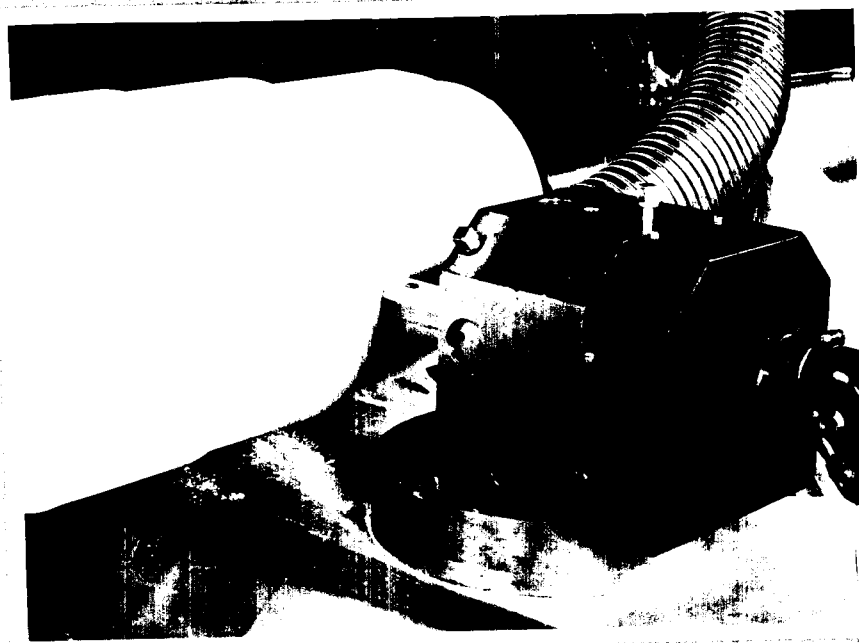
4.3.5. Měřicí přístroje a zařízení

a/ Penie a parametry dynamometru

Pro měření byl použit tříšlápkový dynamometr s drátkovými odporovými tenzometry. Vyrobený byl n.p. Elektropereodán Čeb, a to pro jemné soustružení. Z předchozích měření víme, že při obrábění izostaticky lisované keramiky se vyskytují síly poměrně malé, daný rozměr by tedy poskytoval malí při velkém zesílení. Proto bylo nutné zmenšit měřicí rozsah a dynamometr rekonstruovat.

Dynamometr se skládá z vlastního tělesa velmi vysoké tuhosti, v němž je uložen drátkový tenzometr a tento je v předu podpírán měřicími články, zachycující reakce složek rovné síly F_x .

a F_p . Vsaďu je uchycen držák křížovou pružinou zachycující reakci složky F_p . Celkový pohled na dynamometr je na obr. 4.3.5.1. a celkové schéma konstrukce na obr. 4.3.5.2.

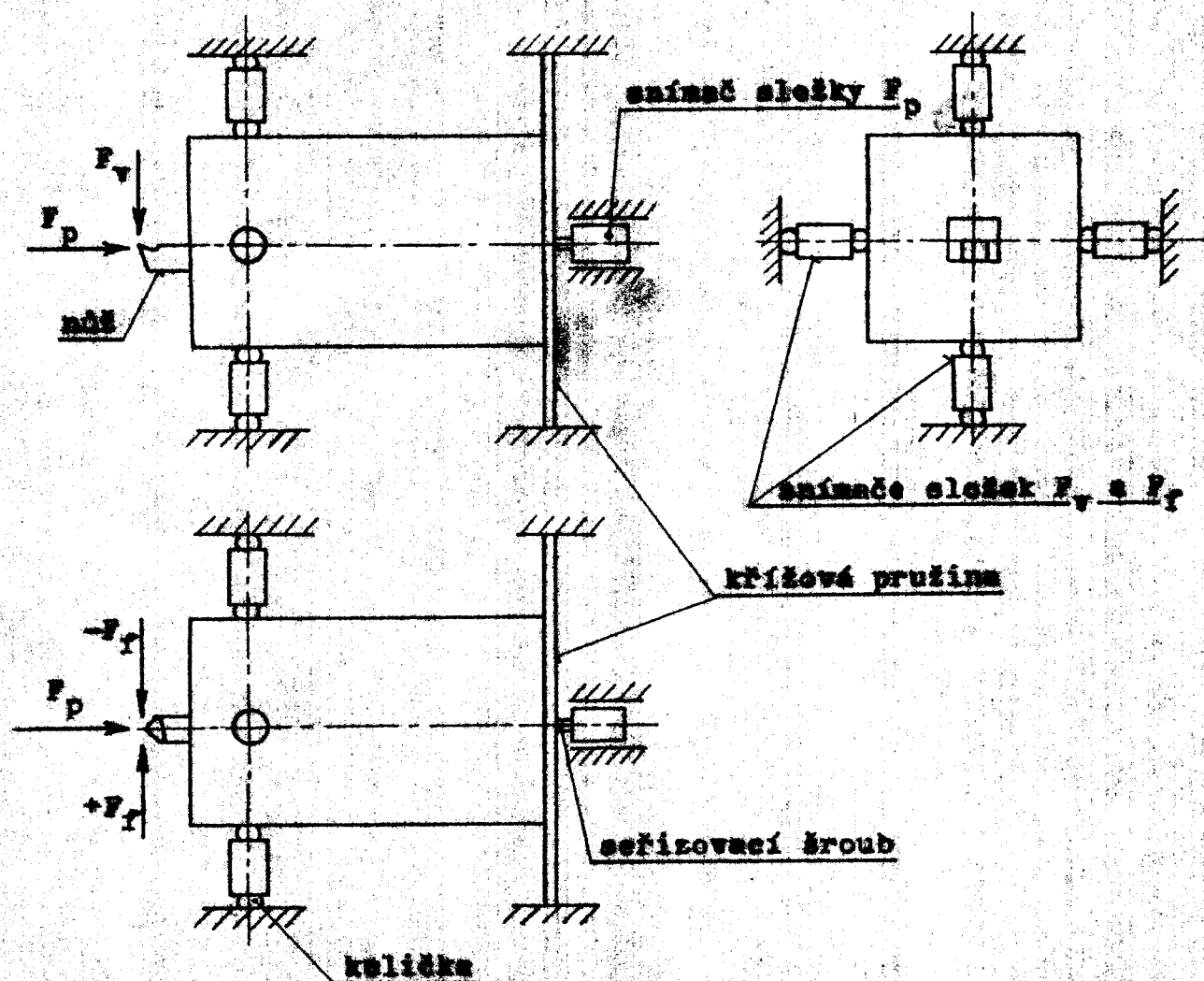


obr. 4.3.5.1. Dynamometr

- 1 - těleso dynamometru
- 2 - konstruktivní nář
- 3 - kryt držáku nože /ochrana proti třískám/
- 4 - upínací šrouby nože
- 5 - šrouby vyvazující předpětí snímačů složek F_v a F_f

Nezbytnou součástí dynamometru je cejchovací zařízení, které se skládá:

- cejchovací klíč
- cejchovací hranol
- třmenový siloměr s úchylkoměrem
- šrouby resp. závaží k zatěžování



obr. 4.3.5.2. Schéma konstrukce dynamometru

Snímače složek řezné síly F_v a F_r jsou trubkové, namáhané sacově na tlak. Jsou předpřijaty seřizovacími šrouby v těle dynamometru.

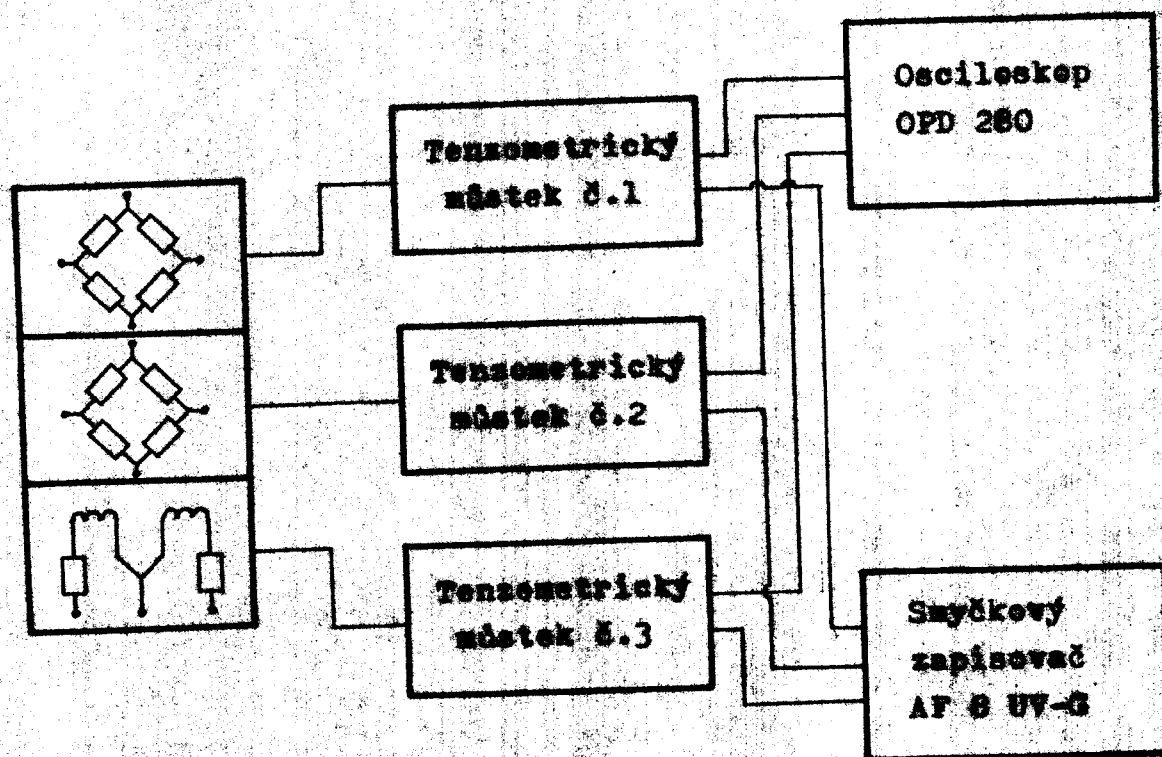
Snímač pro složku řezné síly F_p je indukčního typu. Seřizovací šroub, pro vymazání nulové polohy jádra snímače, přenáší též průhyb křížové pružiny na jádro snímače.

b/ Blokové schéma zapojení měřicích přístrojů

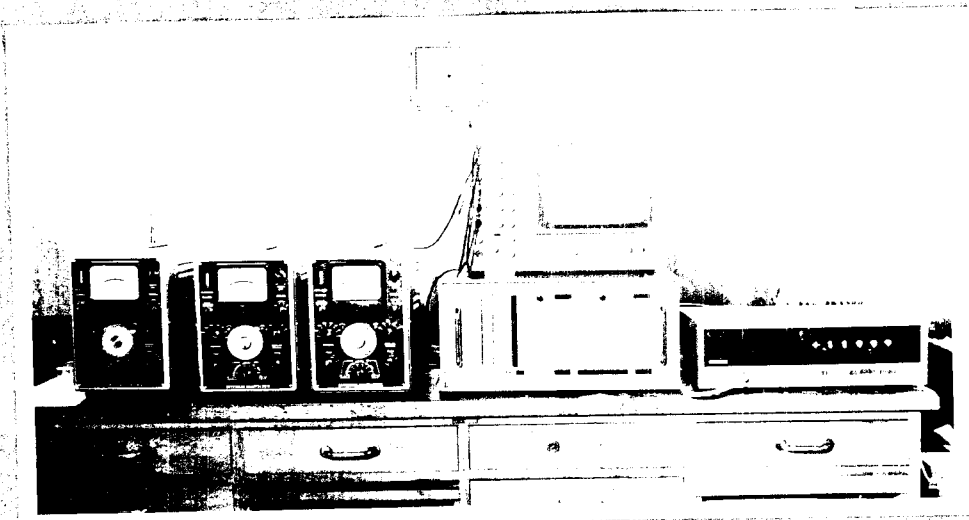
Blokové schéma zapojení celého měřicího systému je na obr. 4.3.5.3. Změny odporů tenzometrických snímačů a indukčního snímače jsou velmi malé, a proto se musely zesilovat. Pro registraci bylo použito tři střídavých tenzometrických můstků o nosné frekvenci 5 kHz, firmy Hettlinger - Messtechnik, typ KWS II/5.

Údaje byly registrovány vizuálně nebo smyčkovým zapisováním typu AF 8 UV-G, výrobce A. Fischer KG Gettlingen.

K aparatuře byl připojen osciloskop OPD 280, výrobce TESLA, na kterém byla prováděna vizuální kontrola. Celkový pohled na měřicí přístroje je na obr. 4.3.5.4.



obr. 4.3.5.3. Blokové schéma zapojení



obr. 4.3.5.4. Pohled na měřicí přístroje

4.3.6. Metodika měření složek řezné síly

Před vlastním měřením je nutné provést cejchování jednotlivých složek řezné síly. Dle použitého dynamometru může být cejchovací zařízení různé konstrukce. Cejchování se provádí buď mimo soustruh resp. přímo na soustruhu. Vždy však provést pro zatěžování a odlehčování a z naměřených hodnot sestrojit cejchovní křivku. Jestliže byl postup správný, je získaná závislost přímková. Po cejchování se nesmí manipulovat a vyvažováním mostů, je možno jen jevně doladovat na nulu, případně přepnout rozsah zesílení.

V případě cejchování mimo soustruh se dále provede demontáž nožového suportu soustruhu a montáž dynamometru na toto místo. Následuje upnutíkušebního materiálu na soustruh, srovnání povrchu, upnutíkušebního nástroje do dynamometru a ustavení na správnou výšku. Nutné změřit vyležení pro přepočet naměřených sil na skutečné síly.

Obrábění provádíme dle předem stanoveného programu a naměřené hodnoty zapisujeme do tabulek. Pro sestavení průběhu

změně složek řezné síly na zkoumané veličině a konečné vyhodnocení, je nutné převést naměřené hodnoty /mV, dílky/ na N /newtony/ u jednotlivých složek řezné síly.

4.3.7. Odečítání hodnot ze záznamu smyčkového zapisovače

Měření a záznam jsme provedli smyčkovým zapisovačem AF 8 UV-G, který je vybavený světlocitlivým fotopapírem, po osvětlení vyvolatelný. /obr. 4.3.7.1./

Z uvedeného záznamu můžeme vyčíst:

- statické hodnoty složek řezné síly F_v , F_f , F_p
- dynamické hodnoty složek řezné síly F_v , F_f , F_p
- směr působení sil /+, -/
- frekvence dynamických hodnot

Jelikož jsme schopni ze záznamu odečíst dynamické hodnoty, které nám vykazují amplitudu chvění, není nutné provádět vlastní měření chvění, které založeno na podobném principu - vhodné snímač připevněn k měřenému nástroji.

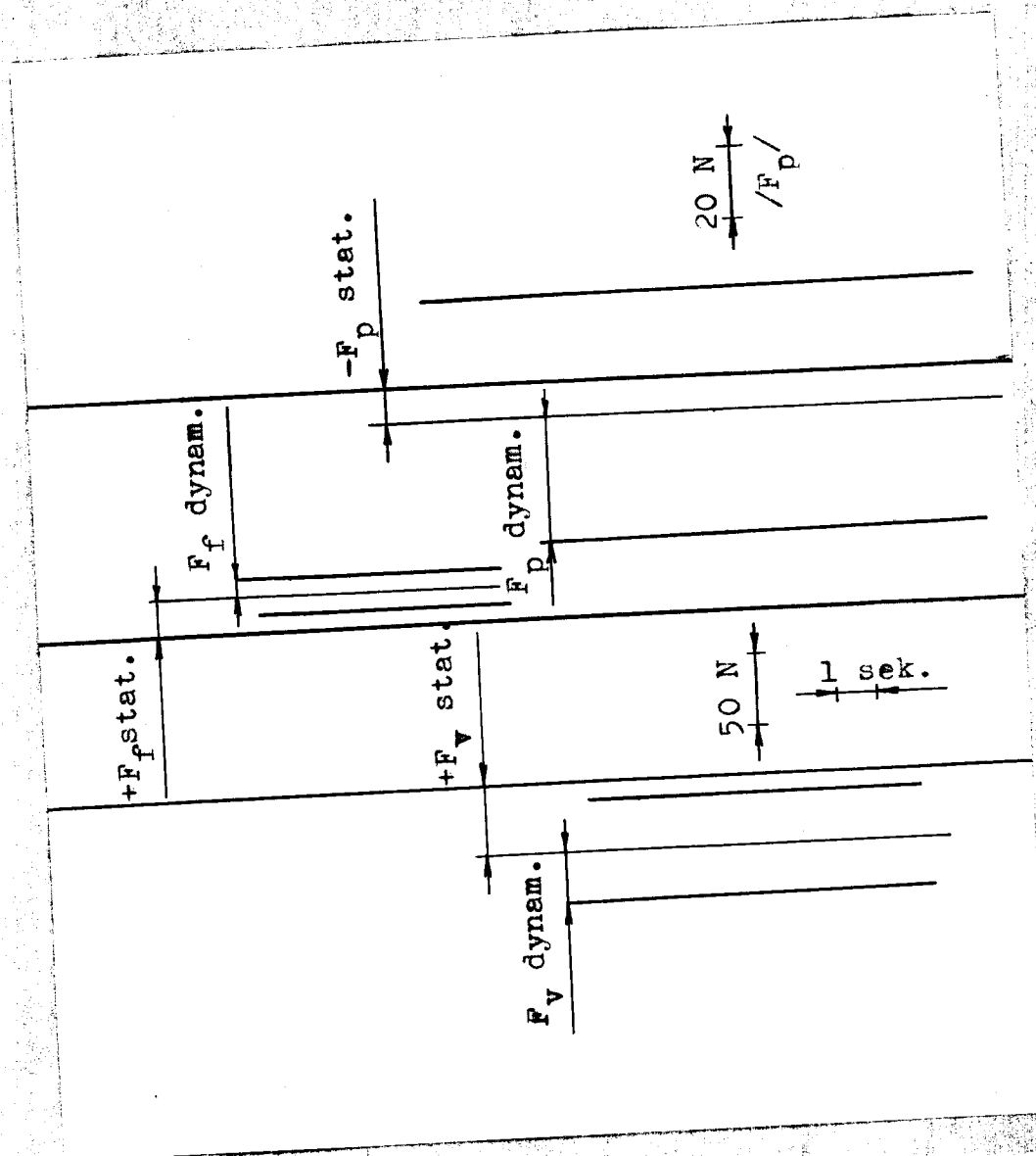
Velikost amplitudy chvění závisí na tuhosti soustavy stroj - nástroj - obrobek. Tedy změnou průřezu drážku resp. změnou vyležení nástroje se amplituda mění. Jestliže bychom chtěli znát skutečnou amplitudu chvění, je nutné aparaturu seřizovat. Ve většině případů, porovnávání nástrojů nebo zkoumání vlivu řezných podmínek na chvění nástroje, vystačíme se zjištěním relativní velikosti amplitudy a aparaturu pak není nutné seřizovat. Během měření se však nemusí měnit citlivost přístroje.

V případě, že při měření stačí znát pouze statické hodnoty složek řezné síly, pak jsou tyto hodnoty odečítány přímo z tenzometrických mětek.

Použití snímačů na smyčkovém zapisovači:

- pro složky F_v a F_f : 500x - km = 5N, 1 dílek - 10N

- pro složku F_p : $100x - 1mm = 2N$, 1 dílek - 4N
- podélná osa: 1 dílek - 1 sec.



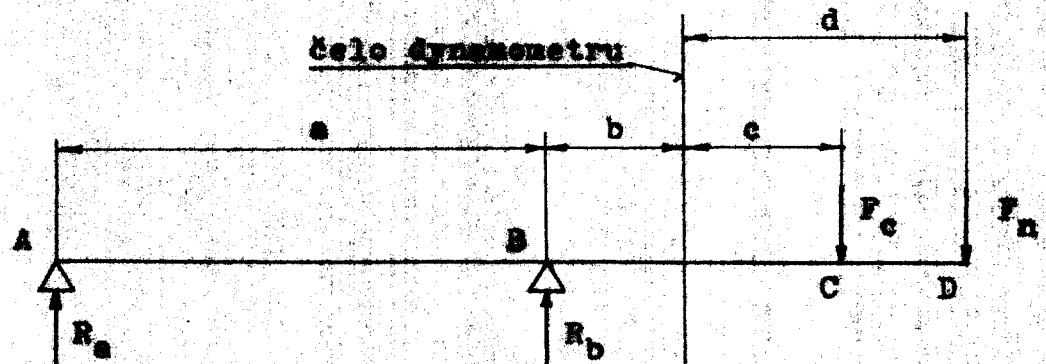
obr. 4.3.7.1. Grafický záznam sil

4.3.8. Přepčet naměřených sil na skutečné síly

Naměřené síly anemickým zapisovačem resp. tenzometricky-

ni nástky, neodpovídají skutečným silám působícím v těžišti odebírané třísky, jelikož jsme cejchovali při jiném vložení.

> Ve skutečnosti se změnil naměřené síly v poměru ramen vložení při cejchování a při měření. /obr. 4.3.8.1./



obr. 4.3.8.1. Silové poměry na dynamometru

F_c - síla při cejchování

F_n - síla působící na nástroj

R_A - reakce v bodě A

R_B - reakce v bodě B

a - vzdálenost mezi reakcemi

b - vzdálenost čela dynamometru od reakce R_B

c - vzdálenost cejchovního bodu C od čela dynamometru

d - proměnná vzdálenost nástroje od čela dynamometru dána vložení

$$R_B \cdot a - F_c / a + b + c / = 0$$

$$R_B \cdot a - F_n / a + b + d / = 0$$

$$R_B = \frac{F_c / a + b + c /}{a} = \frac{F_n / a + b + d /}{a}$$

$$F_n = F_c \frac{a + b + c}{a + b + d} = F_c \frac{k_1}{k_2 + d}$$

4.3.9. Volba řezných podmínek ke zkoušce

Při volbě řezných podmínek se vycházelo jednak z dosavadních zkušeností při obrábění izostaticky lisované keramiky, jednak z potřeby rozsahu řezných podmínek dána rozvíjející se výrobou a jednak z rozmezí technologických požadavků produkčního zařízení s ohledem na mechanické vlastnostikušebního materiálu a parametry stroje.

Po zvážení těchto činitelů jsme volili následně krajní řezné podmínky pro vytvoření strukturálního modelu měření. Seusední řezné podmínky se vypočítají dle vzorce uvedeného v kap. 4.1.

NOŽ Č.1:

- otáčky vřetena: $n_{\min} = 125 \text{ ot.min}^{-1}$, $n_{\max} = 250 \text{ ot.min}^{-1}$
 $n_s = 180 \text{ ot.min}^{-1}$
- posuv supertu: $s_{\min} = 0,32 \text{ mm.ot}^{-1}$, $s_{\max} = 0,96 \text{ mm.ot}^{-1}$
 $s_s = 0,56 \text{ mm.ot}^{-1}$
- hloubka řezu: $t_{\min} = 3 \text{ mm}$, $t_{\max} = 15 \text{ mm}$
 $t_s = 6,7 \text{ mm}$

NOŽ Č.2:

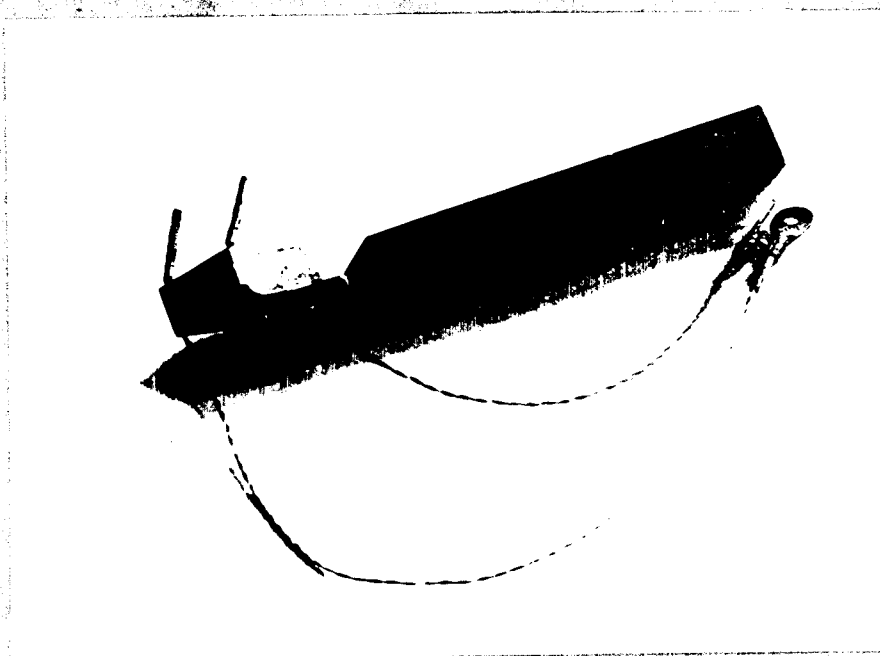
- otáčky vřetena a posuv supertu jsou totožné s volbou u nože Č.1
- hloubka řezu: $t_{\min} = 3 \text{ mm}$, $t_{\max} = 12 \text{ mm}$
 $t_s = 6 \text{ mm}$

Pro měření závislosti dynamických hodnot složek řezné síly na řezných podmínkách byly voleny následně řezné podmínky:

- otáčky vřetena: $n = /65, 90, 125, 180, 250/ \text{ ot.min}^{-1}$
- posuv supertu: $s = /0,44, 0,56, 0,8, 0,96, 1,28/ \text{ mm.ot}^{-1}$
- hloubka řezu: $t = /3, 6, 9, 12, 15/ \text{ mm}$

4.3.10. Cejchování

V našem případě nebylo cejchování provedeno pomocí tlámenového siloměru a číselníkovým setinovým úchylkoměrem, ale pomocí závaží, které bylo zavěšováno na cejchovní nůž /obr. 4.3.10.1/ postupně v jednotlivých směrech.



obr. 4.3.10.1 Cejchovní nůž

Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 4.3.10.1. a z těchto hodnot byly sestrojeny cejchovní křivky /diagram č. 4.3.10.1./.

Kontrolou při odlehčování nebyla zjištěna výrazná hystereze, která nepříznivě ovlivňuje přesnost měření.

Z cejchovní křivky je zřejmé, že závislost registrovaného údaje na zatěžující síle je lineární.

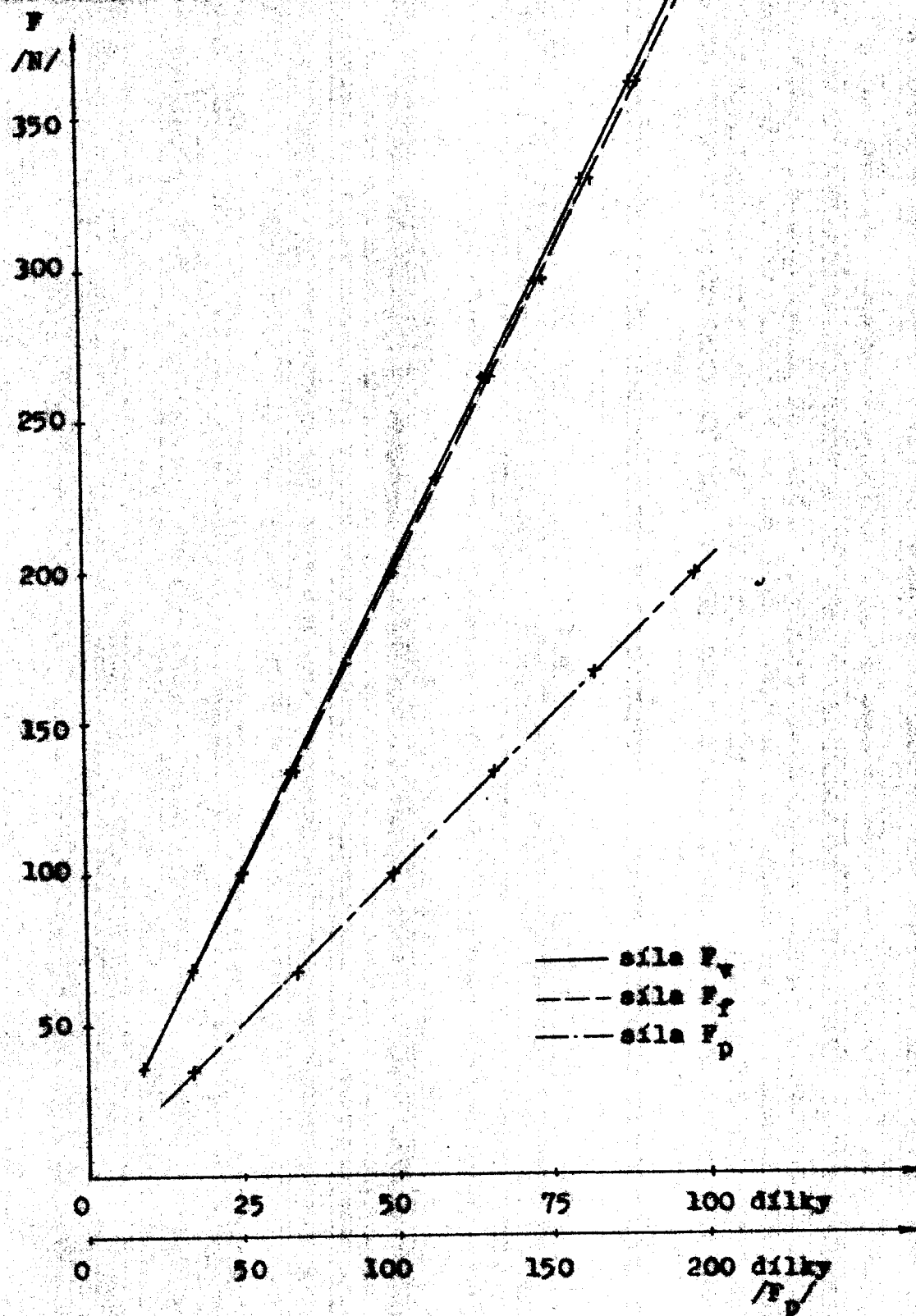
Tabulka č. 4.3.10.1.

Závaží /kg/	Počet dílků					
	zatěžování			odlehčování		
	F_v	F_f	F_p	F_v	F_f	F_p
3,587	8,6	8,7	34	8,8	9,2	36
6,834	16,7	16,7	68	16,9	17,3	70
10,081	25,3	25,0	100	25,5	25,5	101
13,328	33,0	33,5	133	33,3	34,0	134
16,575	41,0	41,5	165	41,3	42,0	166
19,822	49,0	50,0	197	49,4	50,5	197
23,069	57,5	58,0	229	58,0	58,5	229
26,316	66,0	66,5	251	66,3	66,5	251
29,563	73,5	75,0	283	74,1	75,0	283
32,810	81,0	83,0	-	81,5	83,0	-
36,057	89,5	91,0	-	89,5	91,0	-

Použitá druhá značení:

- pro složku F_v : 1000x
- pro složku F_f : 1000x
- pro složku F_p : 100x

Diagram č. 4.3.10.1. - Časové křivky



4.3.11. Experimentální práce

Úkolem měření je stanovení silových poměrů a chvění při ohrabování vn izolátorů v závislosti na řezných podmínkách pro hrubovací a tvarovací nůž a hmoty M 50 a M 60. Práce je rozdělena na dvě části.

V první části měření, které spíše zaměřeno na teoretickou oblast, je úkolem určení konstant v experimentálním vyjádření složek řezné síly $P = c_F \cdot t^X \cdot s^Y \cdot v^Z$ pro oba produkční nástroje, navržené po předchozích měřeních a pro oba materiály.

V druhé části měření se provedla měření závislosti statických a dynamických hodnot složek řezné síly na řezných podmínkách pro hrubovací nůž.

Měření se provádělo podélným soustružením v intervalu řezných podmínek navržených v kap. 4.3.9.

Poznámka:

V tabulkách naměřených hodnot je již uvedena průměrná hodnota z dvou naměřených hodnot a skutečná síla, přepočtená dle uvedených vztahů v kap. 4.3.8.

4.3.12. Naměřené hodnoty

a/ Statické:

1. Kružovací nář: - průměr obráběného materiálu $\phi D=257$ mm
- hmotn N 50 S-2

Tabulka č. 4.3.12.1.

t	n	v	s	F_T		F_F		F_P	
				μ	/N/	μ	/N/	μ	/N/
15	125	100,9	0,32	18,75	64,2	10,5	32,3	-10,5	-10,3
			0,56	24,0	82,1	13,0	40,0	-16,5	-16,2
			0,96	30,0	102,6	14,0	43,1	-19,0	-18,6
	180	145,3	0,32	18,0	61,6	10,5	32,3	-12,0	-11,0
			0,56	23,0	78,7	12,0	37,0	-16,5	-16,1
			0,96	29,5	101,0	13,25	40,8	-28,0	-27,5
	250	201,8	0,32	18,75	64,2	10,5	32,3	-16,5	-16,2
			0,56	24,0	82,1	12,0	37,0	-27,0	-26,5
			0,96	31,25	107,0	13,0	40,0	-39,0	-38,3
6,7	125	100,9	0,32	9,0	30,3	5,5	16,7	- 6,0	- 5,9
			0,56	11,75	39,5	6,0	18,1	-11,0	-10,8
			0,96	15,0	50,7	6,5	19,7	-13,5	-13,2
	180	145,3	0,32	9,0	30,3	5,25	15,9	- 9,0	- 8,8
			0,56	12,5	42,1	6,0	18,1	-13,0	-12,8
			0,96	15,5	52,1	6,5	19,7	-18,0	-17,7
	250	201,8	0,32	9,0	30,3	5,0	15,1	-10,0	- 9,0
			0,56	12,0	40,4	5,75	17,4	-18,5	-18,1
			0,96	16,0	53,8	6,5	19,7	-28,0	-27,5
3	125	100,9	0,32	4,55	15,2	2,5	7,5	- 3,0	- 2,9
			0,56	6,0	20,0	2,6	7,8	- 4,75	- 4,7
			0,96	7,0	23,4	2,6	7,8	- 5,5	- 5,4
	180	145,3	0,32	4,6	15,4	2,4	7,2	- 4,0	- 3,9
			0,56	6,0	20,0	2,6	7,8	- 5,5	- 5,4
			0,96	6,5	21,7	2,65	8,0	- 7,0	- 6,9
	250	201,8	0,32	4,8	16,0	2,4	7,2	- 6,0	- 5,9
			0,56	6,0	20,0	2,7	8,1	- 9,0	- 8,8
			0,96	6,7	22,4	2,7	8,1	-11,0	-10,8

2. Bravení od: - průměr obráběného materiálu $\phi D=257$ mm
- kosa N 60

Tabulka č. 4.3.12.2

t /mm/	n o.min ⁻¹	v m.min ⁻¹	s mm.ot ⁻¹	F _p		F _f		F _p	
				s	/N/	s	/N/	s	/N/
15	125	100,9	0,32	18,0	61,6	13,0	40,0	- 9,0	- 8,8
			0,56	22,5	77,0	13,5	41,6	-14,0	-13,7
			0,96	28,0	95,8	14,0	43,1	-20,0	-19,6
	180	145,3	0,32	18,0	61,6	11,5	35,4	-10,0	- 9,8
			0,56	22,5	77,0	12,0	37,0	-17,0	-16,7
			0,96	28,0	95,8	13,0	40,0	-24,0	-23,5
	250	201,8	0,32	17,5	60,0	11,0	33,9	-10,0	- 9,8
			0,56	22,0	75,3	11,5	35,4	-17,5	-17,2
			0,96	28,5	97,5	12,0	37,0	-30,0	-29,4
6,7	125	100,9	0,32	9,5	32,0	6,5	19,7	- 4,0	- 3,9
			0,56	11,5	38,7	7,0	21,2	- 6,5	- 6,4
			0,96	15,0	50,5	7,0	21,2	-11,0	-10,8
	180	145,3	0,32	9,0	30,3	6,0	18,1	- 5,0	- 4,9
			0,56	11,5	38,7	6,0	18,1	-10,0	- 9,8
			0,96	15,0	50,5	6,5	19,7	-15,0	-14,7
	250	201,8	0,32	8,75	29,4	5,0	15,1	- 6,0	- 5,9
			0,56	11,0	37,0	5,5	16,7	-12,0	-11,8
			0,96	14,5	48,6	5,75	17,4	-20,0	-19,6
3	125	100,9	0,32	4,85	16,2	2,9	8,7	- 2,0	- 2,0
			0,56	5,8	19,4	2,85	8,6	- 3,0	- 2,9
			0,96	6,5	21,7	2,6	7,8	- 4,5	- 4,4
	180	145,3	0,32	4,5	15,0	2,65	8,0	- 2,0	- 2,0
			0,56	5,55	18,5	2,65	8,0	- 3,0	- 2,9
			0,96	6,75	22,5	2,35	7,0	- 6,0	- 5,9
	250	201,8	0,32	4,5	15,0	2,45	7,3	- 3,5	- 3,4
			0,56	5,9	19,7	2,6	7,8	- 7,8	- 7,6
			0,96	7,0	23,4	2,4	7,2	- 9,0	- 8,8

3. Charakteristika - průměr odrobku $\phi D=257$ mm
- hmotn M 50 S-2

Tabulka č. 4.3.12.3.

t /mm/	n o.min ⁻¹	v m.min ⁻¹	s mm.st ⁻¹	F _v		F _f		F _p	
				s	/N/	s	/N/	s	/N/
12	125	100,9	0,32	20,0	68,0	10,0	30,6	28,0	27,5
			0,56	24,0	81,6	11,0	33,7	24,0	23,5
			0,96	29,0	98,6	12,5	38,3	19,0	18,6
	180	145,3	0,32	19,5	66,2	9,5	29,1	25,0	24,4
			0,56	24,0	81,6	11,0	33,7	18,0	17,7
			0,96	29,0	98,6	12,0	36,7	12,0	11,8
	250	201,8	0,32	19,0	64,6	9,0	27,5	21,0	20,6
			0,56	24,0	81,6	10,75	32,9	11,0	10,8
			0,96	30,0	101,9	12,0	36,7	4,0	3,9
6	125	100,9	0,32	12,25	41,1	5,0	15,1	28,0	27,5
			0,56	14,5	48,6	5,5	16,6	25,0	24,4
			0,96	17,0	57,0	6,5	19,6	21,5	21,1
	180	145,3	0,32	12,0	40,3	5,0	15,1	25,5	25,0
			0,56	14,0	46,9	5,5	16,6	23,0	22,6
			0,96	17,25	57,9	6,0	18,1	16,5	16,2
	250	201,8	0,32	11,5	38,6	4,5	14,6	22,0	21,6
			0,56	14,0	46,9	5,0	15,1	17,5	17,2
			0,96	17,25	57,9	6,0	18,1	10,0	9,8
3	125	100,9	0,32	7,75	25,8	2,3	6,9	22,0	21,6
			0,56	8,5	28,4	2,55	7,7	22,0	21,6
			0,96	10,5	35,0	3,1	9,3	20,0	19,6
	180	145,3	0,32	7,2	24,1	2,45	7,3	20,0	19,6
			0,56	8,5	28,4	2,7	8,1	20,0	19,6
			0,96	10,5	35,0	3,05	9,2	17,0	16,7
	250	201,8	0,32	7,0	23,4	2,15	6,4	17,0	16,7
			0,56	8,5	28,4	2,5	7,5	16,0	15,7
			0,96	10,5	35,0	2,8	8,4	12,5	12,3

Zpracování naměřených hodnot

Naměřené hodnoty byly zpracovány metodou nejmenších čtverců pomocí ručně programovatelné kapesní kalkulačky. Získané konstanty pro jednotlivé složky řezné síly, nože a materiály jsou uvedeny v následující tabulce č. 4.3.12.4.

Tabulka č. 4.3.12.4.

Druh: -nůž -hmota	složka	c_F	x_F	y_F	z_F
hrubovací	F_v	8,009	0,897	0,424	0,028
nůž	F_f	3,496	0,974	0,165	-0,033
hmota M 50	F_p	-0,054	0,746	0,672	0,865
tvarovací	F_v	28,330	0,893	0,531	-0,166
nůž	F_f	4,798	1,040	0,228	-0,104
hmota M 50	F_p	821,380	-0,103	-0,489	-0,793
hrubovací	F_v	2,325	0,981	0,400	0,223
nůž	F_f	9,675	0,983	0,032	-0,252
hmota M 60	F_p	-0,076	0,853	0,902	0,718

Poznámka:

Všechny výše uvedené konstanty platí pouze pro použité nástroje a příslušnou geometrii a pro použité keramické hmoty.

Báse pomocí těchto konstant byly vyjádřeny u hrubovacího nože hodnoty složek řezné síly pro stanovení závislosti poměru složek F_v : F_f : F_p na řezných podmínkách a grafické znázornění výsledného sílového působení pro obě keramické hmoty.

Vliv řezných podmínek na poměr složek řezné síly F_v : F_f : F_p

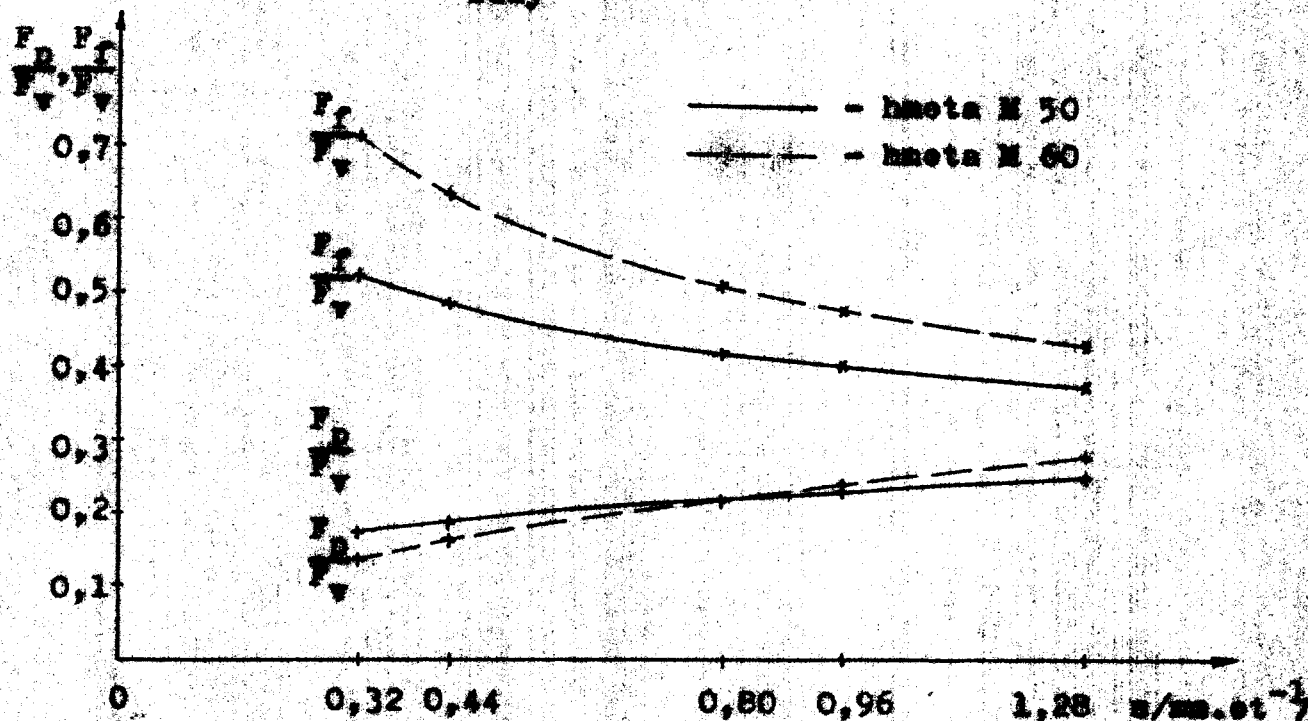
1/ Vliv posuvu: - hrubovací nář

- řezné podmínky: $t = 9 \text{ mm}$, $v = 100,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Tabulka č. 4.3.12.5

s $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	F_v /N/		F_f /N/		F_p /N/		$\frac{F_f}{F_v}$		$\frac{F_p}{F_v}$	
0,32	40,3	35,6	21,1	25,3	7,0	4,9	0,524	0,711	0,174	0,138
0,44	46,1	40,4	22,3	25,8	8,7	6,5	0,484	0,631	0,189	0,161
0,80	59,5	51,4	24,6	26,0	13,0	11,1	0,413	0,506	0,218	0,216
0,96	64,3	55,2	25,3	26,2	14,6	13,1	0,393	0,475	0,227	0,237
1,28	72,6	62,0	26,6	26,4	17,8	17,0	0,366	0,426	0,245	0,274
	M 50	M 60	M 50	M 60	M 50	M 60	M 50	M 60	M 50	M 60

Diagram č. 4.3.12.1. - Vliv posuvu na poměr složek řezné síly



2/ Vliv hloubky řezu: - hrubovací mříž

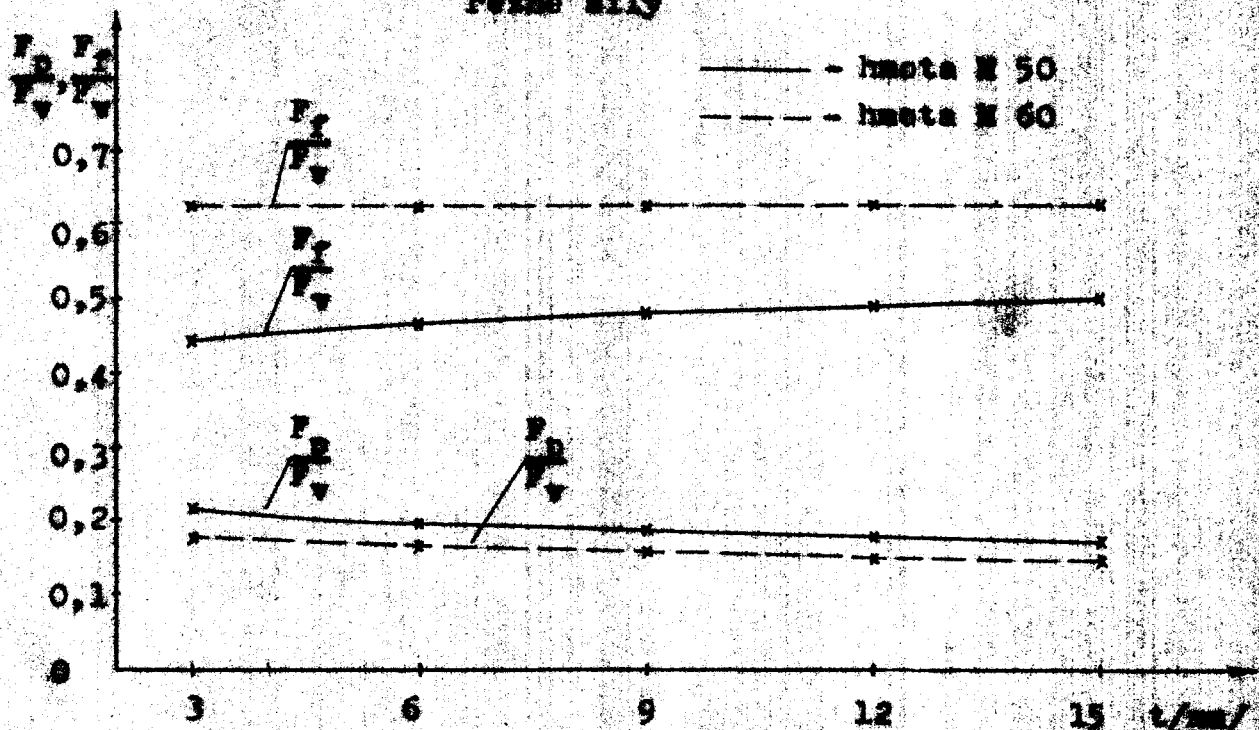
- řezné podmínky: $a = 0,44 \text{ mm.ot}^{-1}$

$v = 100,9 \text{ m.min}^{-1}$

Tabulka č. 4.3.12.6.

t /mm/	F_v /N/		F_f /N/		F_p /N/		$\frac{F_f}{F_v}$		$\frac{F_p}{F_v}$	
3	17,2	13,8	7,6	8,7	3,8	2,5	0,442	0,629	0,221	0,181
6	32,1	27,2	15,0	17,1	6,4	4,6	0,467	0,630	0,199	0,169
9	46,1	40,4	22,3	25,5	8,7	6,5	0,484	0,631	0,189	0,161
12	59,7	51,6	29,5	33,9	10,7	8,3	0,494	0,632	0,179	0,155
15	73,0	66,7	36,7	42,2	12,7	10,0	0,503	0,633	0,174	0,150
	M 50	M 60	M 50	M 60	M 50	M 60	M 50	M 60	M 50	M 60

Diagram č. 4.3.12.2 - Vliv hloubky řezu na poměr složek řezné síly



3/ Vliv řezné rychlosti: - hrubovací nář

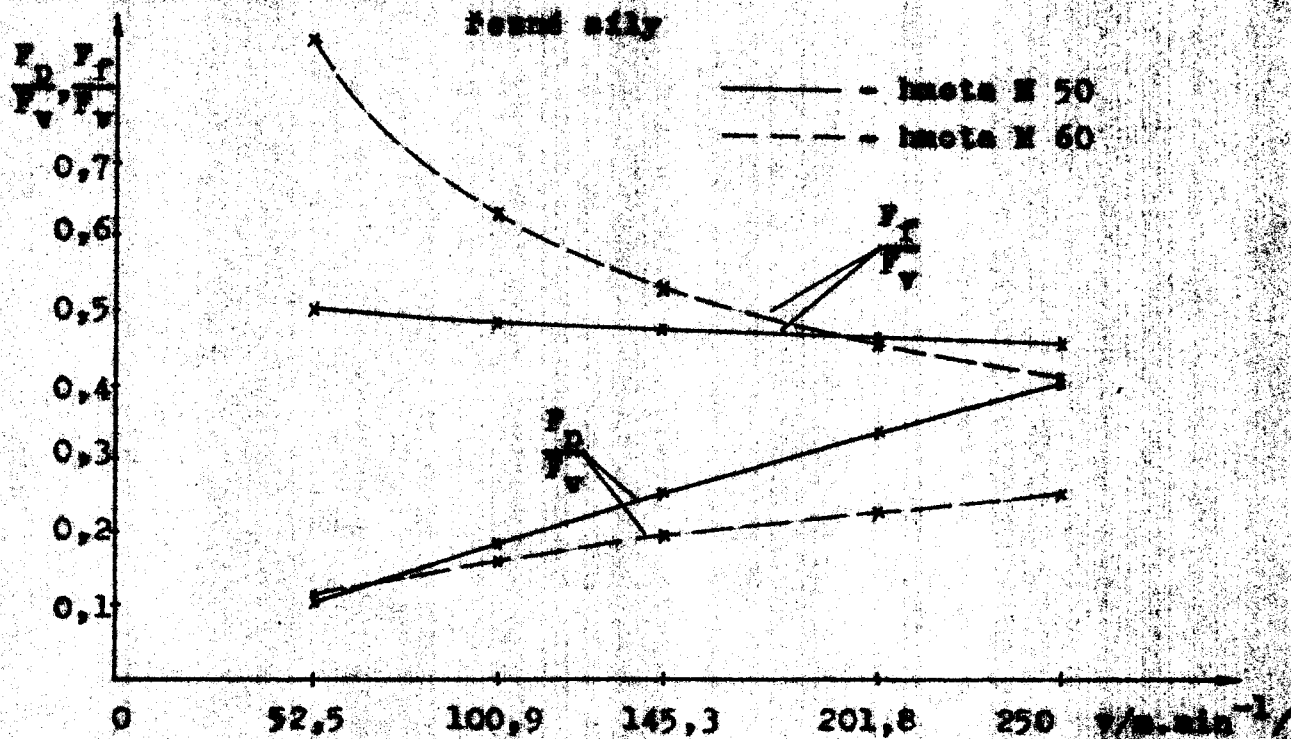
- Řezné podmínky: $t = 9 \text{ mm}$

$$a = 0,44 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$$

Tabulka č. 4.3.12.7.

v $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	F_v /N/		F_f /N/		F_p /N/		$\frac{F_f}{F_v}$		$\frac{F_p}{F_v}$	
52,5	45,3	39,0	22,8	30,1	4,9	4,1	0,503	0,871	0,108	0,117
100,9	46,1	40,4	22,3	25,5	8,7	6,5	0,484	0,631	0,189	0,161
145,3	46,6	43,9	22,0	23,3	11,9	8,4	0,472	0,531	0,255	0,191
201,8	47,0	47,2	21,8	21,4	15,8	10,7	0,464	0,453	0,336	0,227
250,0	47,3	49,5	21,6	20,3	19,0	12,4	0,457	0,410	0,402	0,251
	M 50	M 60	M 50	M 60	M 50	M 60	M 50	M 60	M 50	M 60

Diagram č. 4.3.12.1. - Vliv řezné rychlosti na poměr složek řezné síly



Poznámka:

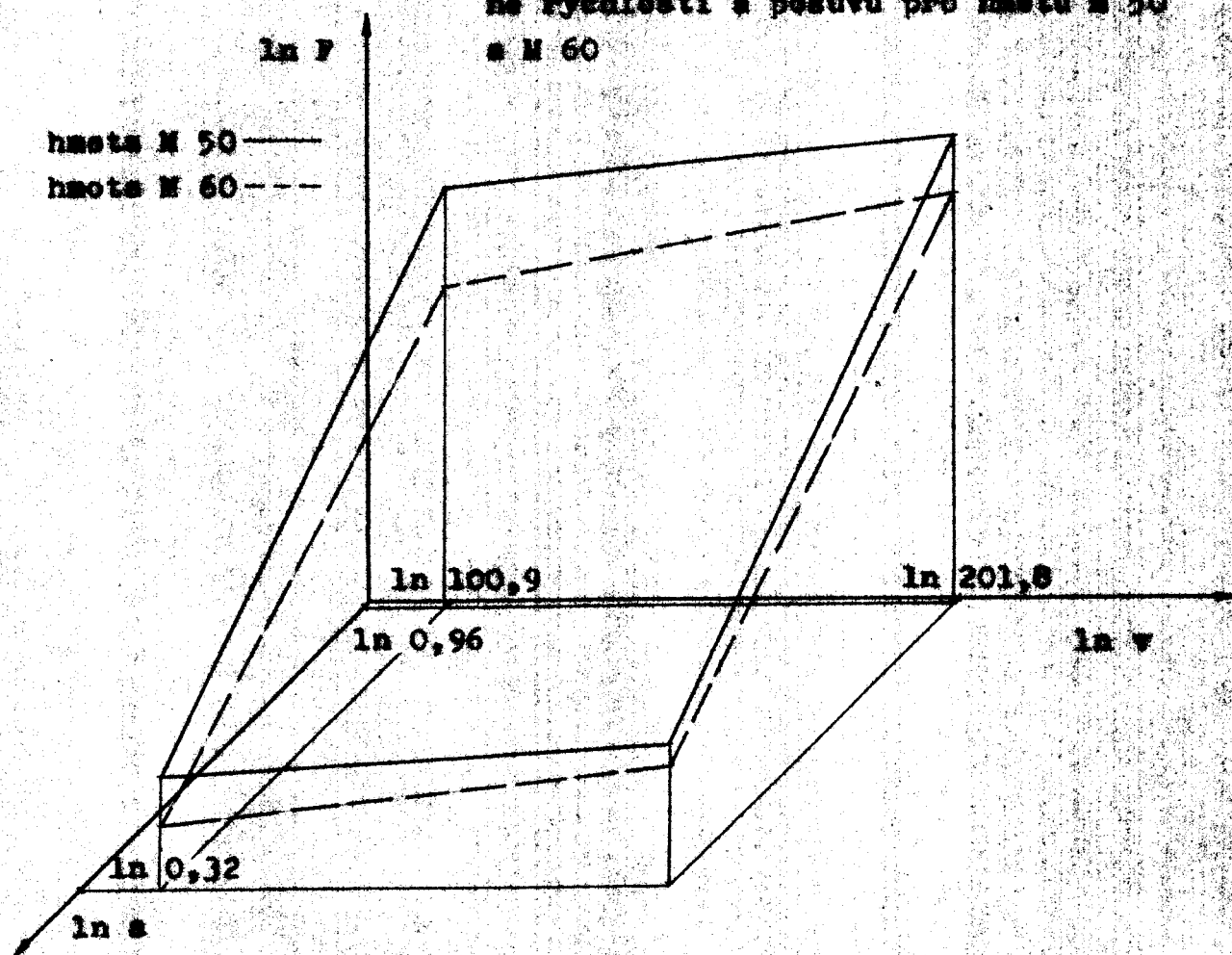
Složka řezné síly F_p při určování poměrů dosazována v absolutní hodnotě.

4/ Převýšení výsledné řezné síly pro hmoty M 50 a M 60

Tabulka č. 4.3.12.8.

t /mm/	v m.min ⁻¹	s mm.ot ⁻¹	F _v /N/		F _f /N/		F _p /N/		ln F	
6,7	100,9	0,32	30,9	26,7	15,9	18,9	5,6	3,8	3,56	3,49
		0,96	49,3	41,4	19,0	19,6	11,8	10,2	3,99	3,85
	201,8	0,32	31,5	31,1	15,5	15,9	10,2	6,2	3,60	3,57
		0,96	50,3	48,3	18,6	16,5	21,4	16,8	4,06	3,98
			M 50	M 60	M 50	M 60	M 50	M 60	M 50	M 60

Diagram č. 4.3.12.4. - Závislost výsledné řezné síly na řezné rychlosti a posuvu pro hmoty M 50 a M 60



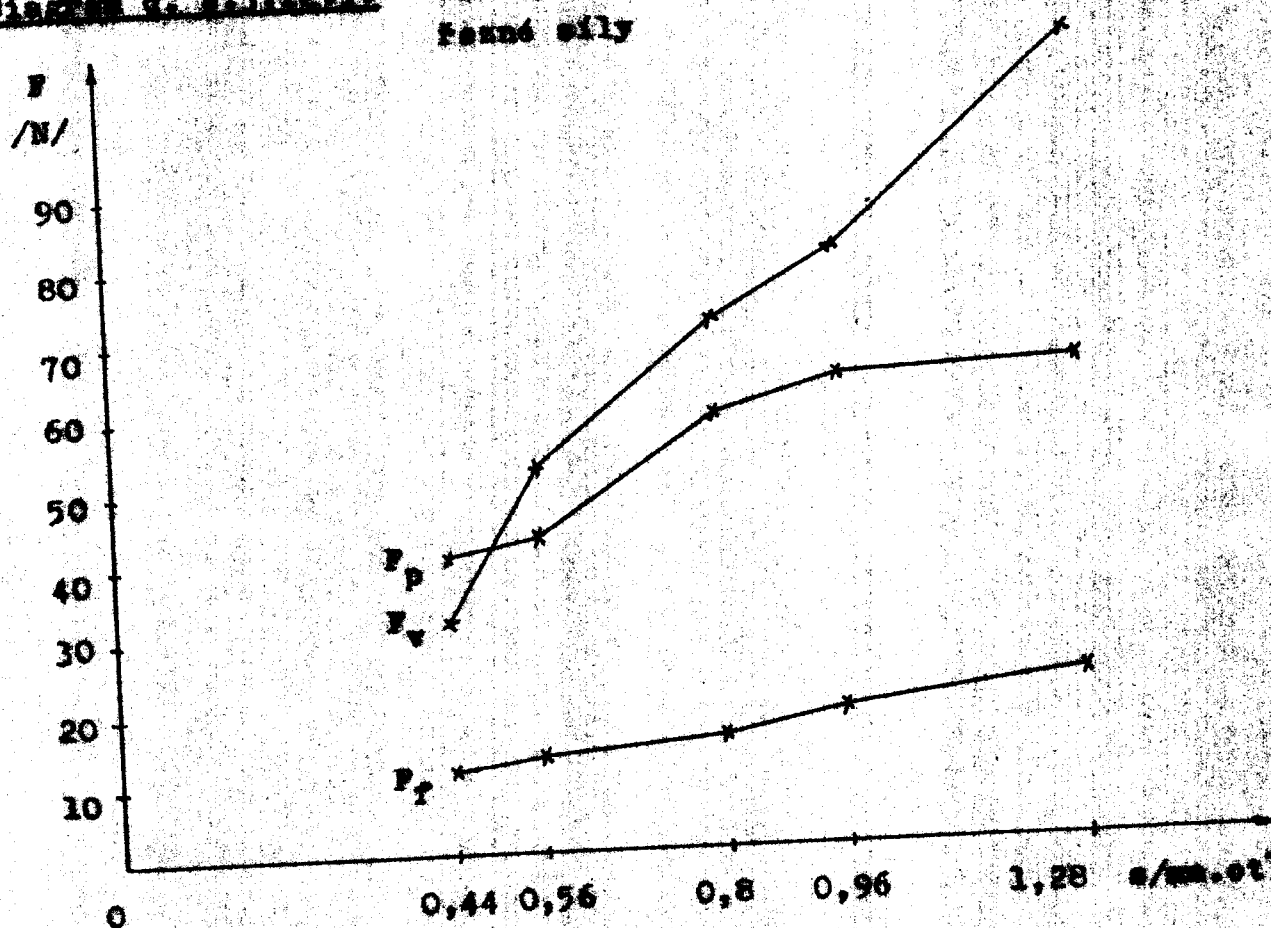
b/ Dynamické podmínky

1. Hřebevní síla - řezné podmínky: $t = 6,7 \text{ mm}$, $v = 145,3 \text{ m.min}^{-1}$
- hmota M 50

Tabulka 8. 4.3.12.9.

a /mm.ot ⁻¹	F_v /N/	F_f /N/	F_p /N/
0,44	± 31,5	± 11,3	± 40,2
0,56	± 52,5	± 13,2	± 42,6
0,80	± 71,5	± 15,5	± 58,9
0,96	± 80,7	± 18,9	± 63,2
1,28	± 109,3	± 22,7	± 64,7

Diagram 8. 4.3.12.5. - Vliv posuvu na dynamické složky řezné síly

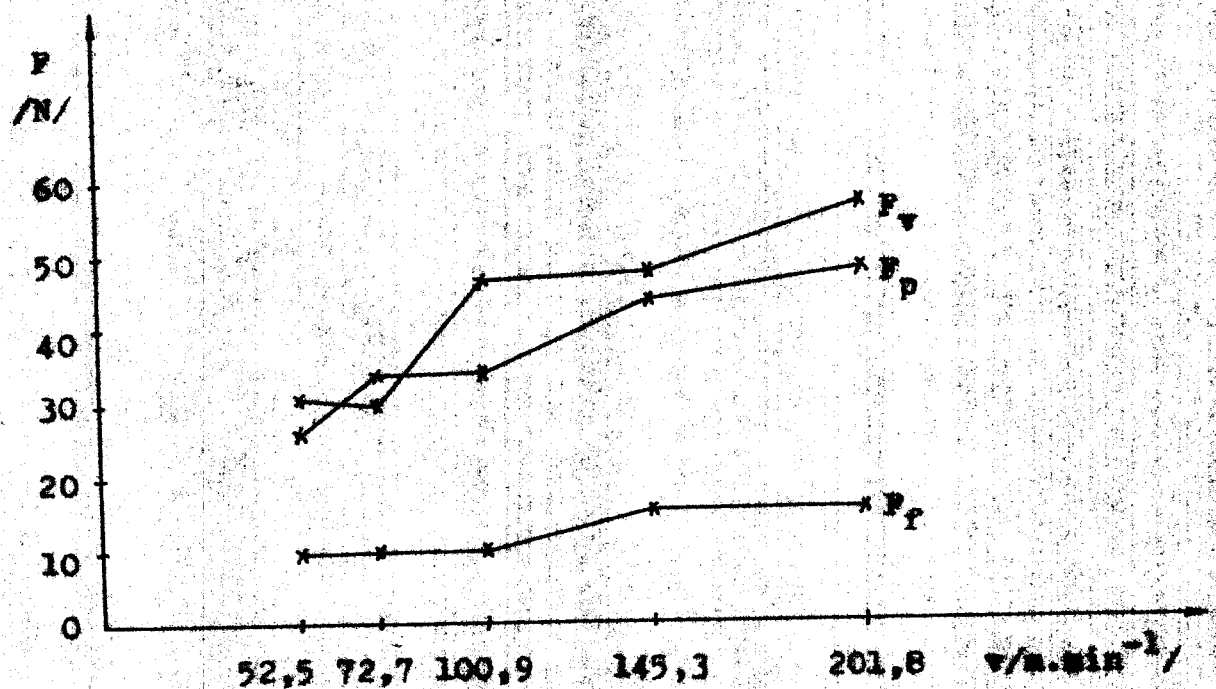


2. Hrubovací nář. - řezné podmínky: $t = 6,7 \text{ mm}$, $a = 0,56 \text{ mm.ot}^{-1}$
 - hmota M 50

Tabulka 8. 4.3.12.10.

v /m.min ⁻¹ /	F_v /N/	F_f /N/	F_p /N/
52,5	±30,7	± 9,1	±25,5
72,7	±29,4	± 9,9	±33,4
100,9	±46,2	± 9,5	±33,7
145,3	±47,1	±15,1	±43,2
201,8	±56,7	±15,1	±47,1

Diagram 8. 4.3.12.6: - Vliv řezné rychlosti na dynamické složky řezné síly



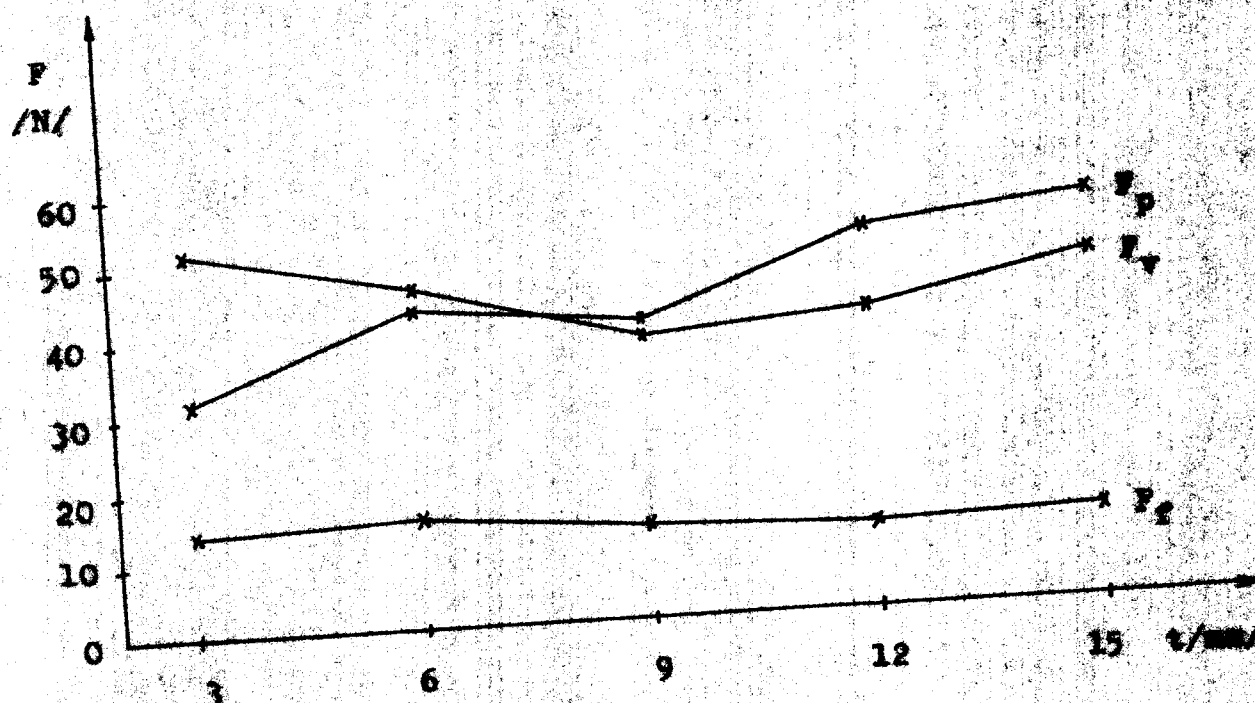
3. Hrubační mříž: - řezné podmínky: $v = 145,3 \text{ m.min}^{-1}$
 $a = 0,56 \text{ mm.ot}^{-1}$

- hmotn M 50

Tabulka č. 4.3.12.11.

t /mm/	F_v /N/	F_f /N/	F_p /N/
3	52,1	13,9	31,8
6	46,1	15,1	43,2
9	38,0	12,5	40,6
12	40,4	11,5	51,8
15	47,0	12,3	54,7

Diagram č. 4.3.12.11 - Vliv hloubky řezu na dynamické složky řezné síly



4.3.13. Zhodnocení skvělek

Z tabulky č. 4.3.12.4. vypočtených konstant a exponentů, platné pro použité nástroje a příslušnou geometrii, lze vyčíst vliv jednotlivých řezných podmínek na složky řezné síly. Je-li exponent kladný, pak se vzrůstající řeznou podmínkou vzdává i složka řezné síly, je-li záporný, pak složka řezné síly klesá. Čím exponent má větší hodnotu, tím výrazněji má vliv na změnu složky řezné síly, jestliže se exponent blíží nule, pak má vliv velmi malý, tzn., že se změnou řezné podmínky složka řezné síly zůstává přibližně konstantní. Pro hrubovací nůž vyšla konstanta c_p záporná, tedy složka řezné síly F_p má obrácený směr a nůž je vtahován do obrobku. To se dá vysvětlit tím, že použitý hrubovací nůž, který slouží především pro napichovací způsob obrábění a má dle toho vytvořenou geometrii, tak při podélném soustružení má úhel čela γ na přední části nebo význačnou úhlu sklonu ostří λ_y a tím dochází k vtahování a ne k vliwu odobírané vrstvy materiálu. Při vlastní výrobě brát na toto ohled, aby nedošlo k poškození obrobku.

Z diagramu č. 4.3.12.1. vyplývá, že se vzrůstajícími posuvem poměr složek $F_f: F_v$ pro obě hmoty klesá, naopak poměr $F_p: F_v$ mírně stoupá.

Z diagramu č. 4.3.12.2. lze vyčíst, že se vzrůstající hloubkou řezu poměr $F_f: F_v$ pro hmotu M 60 je konstantní a pro hmotu M 50 mírně stoupá. Poměr $F_p: F_v$ pro obě hmoty mírně klesá.

Z diagramu č. 4.3.12.3. vyplývá, že se vzrůstající řeznou rychlostí výrazně klesá poměr $F_f: F_v$ pro hmotu M 60, pro hmotu M 50 klesá mírně. Poměr $F_p: F_v$ pro obě hmoty roste, výrazněji však pro hmotu M 50.

Z diagramu č. 4.3.12.4. je vidět, že hmota M 60 vyžaduje menší výsledné řezné síly, než hmota M 50, z toho usuzovat, že hmota M 60 je v daném rozsahu řezných podmínek obrábitelnější.

V další části měření byl zjišťován vliv různých podmínek na velikost dynamických hodnot složek řezné síly a krouticího momentu.

Z diagramu č. 4.3.12.5. je patrné, že se vřetelností posuvem vřetelí všechny tři dynamické složky. Složka F_v má nejstrmější závislost, naopak složka F_r má nejmírnější závislost.

Z diagramu č. 4.3.12.6. vyplývá, že se vřetelností řeznou rychlostí složka F_r nabývá výrazně svoji hodnotu, složky F_v a F_p mají přibližně stejnou vřetelností závislost.

Z diagramu č. 4.3.12.7. lze vyčíst, že se vřetelností hloubkou řezu má složka F_r přibližně konstantní hodnotu, složka F_v má minimum při hloubce řezu $t = 9$ mm, složka F_p vřetelí, avšak při hloubce řezu $t = 9$ mm určitý dílem.

Poznámka:

Všechny výše uvedené závislosti platí za daných řezných podmínek a při dané tuhosti soustavy stroj - nástroj - práce.

4.4 Měření teploty

Celková mechanická práce, vynaložená na vznik třísky při obrábění a její odvod z místa řezu, se téměř úplně přemění na teplo, a vyjímkou práce pružných deformací a práce utajené. Podíl těchto dvou složek na celkové vynaložené práci je poměrně malý.

Projevem tepla je teplota, která je různá v jednotlivých bodech působení tepla. Hovoříme o okamžité teplotě hmotných bodů v oblasti řezání. Aritmetický průměr teplot hmotných bodů třísky se nazývá střední teplota třísky. Analogicky hovoříme o střední teplotě obrobku resp. nástroje.

Střední teplota celé styčné plochy nástroje a třísky a obrobku se nazývá teplotou řezání. Ta bude pochopitelně nižší než maximální teplota na břitu, má však tu výhodu, že ji lze stanovit podstatně snadněji.

Experimentální metody zkoumání tepelných jevů je možné rozdělit na metody měření přímého tepelného obsahu třísky, obrobku a nástroje a na metody měření teploty.

Přímý tepelný obsah měříme kalorimetricky. Princip této metody je v tom, že ohřátý předmět vložíme do kapaliny a zjistíme míru jejího ohřátí. Z rozdílu teplot kapaliny vypočítáme tepelný obsah vloženého předmětu.

Pro měření teplot při obrábění byla vyvinuta celá řada metod, založených na různých principech. Nejčastější způsob měření teploty je pomocí termočlánků, kde principem měření teploty je tzv. termoelektrický jev. Fyzikální podstata spočívá v tom, že ve styku dvou různých kovů vzniká napěťový spád vlivem různých velkých výstupních prací elektronů. Velikost tohoto napětí závisí na teplotě spoje, druhu kovu a v menší míře také na mechanickém zatížení spoje.

Při sledování teplot při obrábění se nejčastěji používá tzv. přímého termočlánku mezi nástrojem a obrobkem a ter-

močlánku vestavěného se dvěma cizími kovy /umělého/.

4.4.1. Zdroje tepla a tepelná bilance při obrábění

Celkové množství tepla vyvinutého v řezném procesu se jednotku času lze vypočítat bez velkých chyb z výrazu:

$$Q_c = \frac{F_v \cdot v}{1000} \quad /W/, \quad F_v \quad /N/, \quad v \quad /m.min^{-1}/$$

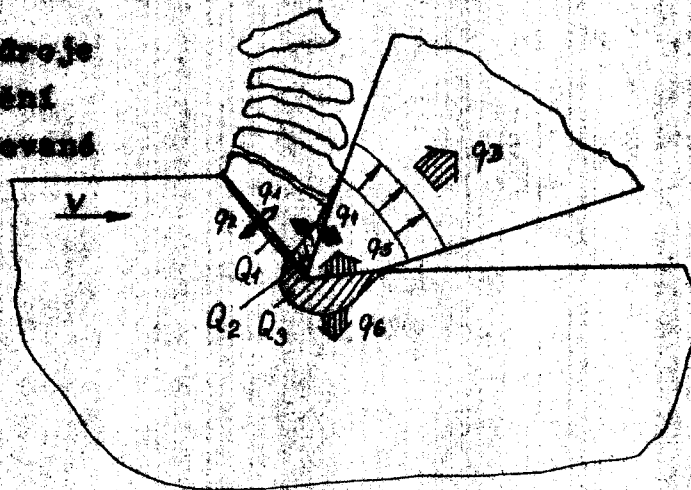
Ke vzniku tepla při obrábění dochází ve třech zdrojích:

1. Q_1 - teplo vzniklé transformací práce primární plastické deformace v oblasti tvoření třísky
2. Q_2 - teplo vzniklé transformací práce sekundární plastické deformace a vnějšího tření na styčné ploše třísky a čelou nástroje
3. Q_3 - teplo vzniklé transformací práce tření na styčné ploše hříbtu a plochy řezu

Teplo vzniklé v uvedených zdrojích se rozvádí do třísky $/Q_{tx}/$, nástroje $/Q_n/$, obrobku $/Q_o/$ a okolního prostředí $/Q_p/$. Z podmínky tepelné rovnováhy vyplývá rovnice, která vyjadřuje tzv. tepelnou bilanci procesu řezání:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_{tx} + Q_n + Q_o + Q_p \quad /2/$$

obr. 4.4.1.1. Zdroje tepla při obrábění izostaticky lisované keramiky



Při obrábění izostaticky lisované keramiky, obdobně jako při obrábění křehkých materiálů, je velikost plastických deformací odřezávané vrstvy velmi malá. Jelikož též při obrábění nevzniká znečištěná tříška, ale odřezávaný materiál odléhá z místa řezu, je styková plocha mezi třískou a čelem nástroje velmi úzká a styk tříška-čelo má přerušovaný charakter, takže i alekta tepla vzniklého transformací vnějšího tření dosahuje menších hodnot než u oceli. Hlavním zdrojem tepla při obrábění izostaticky lisované keramiky tedy bude tření ve styku hřbet-plocha řezu /teplo Q_3 /. Lze usuzovat i z charakteru opotřebení, které největší na hřbetě.

Poněvadž však při obrábění izostaticky lisované keramiky jsou plastické deformace velmi malé a dále v důsledku stlačení stykové plochy mezi třískou a čelem nástroje, lze předpokládat, že i teplota bude výrazně menší než jsou teploty při obrábění oceli za stejných podmínek.

Celkové množství tepla odvedené třískou: $q_t = q_1 + q_3$

Do břitu přechází jednak část tepla q_4 vzniklého třením ve styku tříška-čelo a jednak hlavně teplo tření q_5 na hřbetě. Celkové množství tepla odvedené břitem: $q_b = q_4 + q_5$. Toto teplo se odvádí břitem do tělesa nástroje. Část tepla tření q_6 ve styku hřbet-plocha řezu přechází do obrobku.

Část tepla se odvede do okolní atmosféry.

Podíly odvedené jednotlivými částmi závisí na různých podmínkách, na vlastnostech obráběného a řezného materiálu.

Při porovnání fyzikálně-mechanických vlastností různých materiálů je vidět, že keramické řezné materiály mají horší tepelnou vodivost než spékání karbidy /tepelná vodivost: spékaný karbid K 10 - $79,5 \text{ W.m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, keramické řezné materiály - $4,9$ až $16,3 \text{ W.m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ /. V důsledku toho přejde při obrábění keramickou destičkou do břitu nástroje méně tepla než při obrábění slitinovým karbidem.

Poněvadž tepelná vodivost řezné keramiky je větší než

izostaticky lisované keramiky, přejde do břitu nástroje více tepla než do ohrobu. Ještě výraznější u aluminových karbidů.

Důležitou roli zde hraje specifické teplo řezných destiček. Keramická destička má přibližně 5x vyšší specifické teplo než aluminové karbidy. Z toho vyplývá, že na zahřátí jednotky objemu keramických destiček je potřebné větší množství tepla než na zahřátí jednotky objemu aluminových karbidů.

Jestliže uvažíme, že řezná síla při obrábění keramickými destičkami je menší než za stejných podmínek při obrábění kovovými řeznými materiály, bude i množství vyvinutého tepla při obrábění keramickými destičkami menší. Způsobuje to především menší tření.

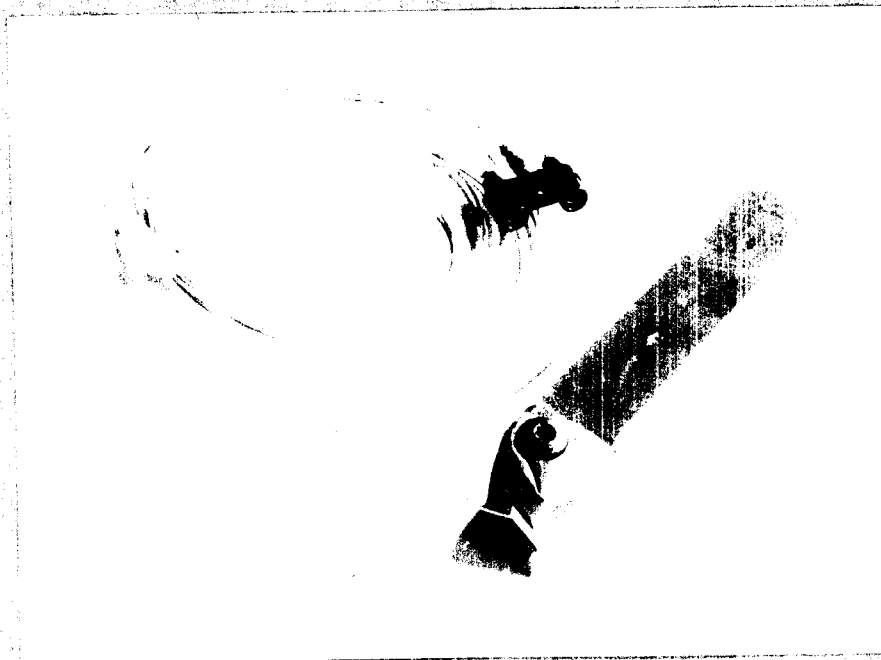
4.4.2. Použitá přístroje a zařízení

- 1/ Obráběcí stroj SN 50 B
- 2/ Nástroj
- 3/ Zkušební materiál - hmoty M 60
- 4/ Drát na vestavěný termočlánek: $\text{mCd}^\circ/\text{Cu}$ - konstantan /Kc/
- 5/ Digitální milivoltmetr M8 30
Výrobce: n.p. Metra
- 6/ Odvěrací zařízení

4.4.3. Nástroj

Ke zkouškám byl použit nálevový drátek /obr. 4.4.3.1./ s průřezem 25 x 25 mm s mechanicky upínanou řeznou destičkou.

Geometrie nástroje:	- úhel břetu	$\alpha_0 = 4^\circ$
	- úhel čela	$\beta_0 = 4^\circ$
	- úhel sklon ostří	$\alpha_s = 2^\circ$
	- úhel nastavení	$\beta_1 = 20^\circ$
	- úhel špičky	$\epsilon_1 = 90^\circ$



obr. 4.4.3.1. Nástroj

Řezné destičky:

Pro měření byly použity dva druhy řezných destiček s používáním při obrábění izostaticky lisované keramiky:

1. Řezná destička ze slitinového karbidu K10
 - rozměry řezné destičky: 12,7x12,7x4,75 mm
2. Keramická řezná destička VÚBK Hradec Králové
 - materiál: mikrosrný karbid
 - rozměry řezné destičky: 13x13x4 mm

4.4.4. Vestavěný termočlánek

Pro měření byl použit vestavěný termočlánek tvořený párem termočlánekových materiálů nřd-konstantan. Hlavní předností této metody je jednoduché seřizování a vzniklá termoelektrická síla je poměrně velká a proti termočlátku přirozenému, a proto lépe měřitelná.

Vestavěný termočlánek je tvořen párem termočlánekových materiálů. Těmito kovy mohou být: měď-konstantan, nikel-chrom-nikel, platina-platinarodinn. Teplý spoj termočlánu, vzniklý spojením obou termočlánekových materiálů, je umístěn ve vývrtu provedeném v břitové destičce tak, aby byl umístěn co nejblíže místu předpokládané maximální teplotě. Je třeba dbát na dokonale přivaření teplého spoje do místa určení a izolaci a zajištění obou vodičů. Teplota na volných koncích vodičů má být konstantní $/20^{\circ}\text{C}$ nebo $0^{\circ}\text{C}/$, což zabezpečíme vložením do prostředí s konstantní teplotou, např. do směsi ledu a vody.

Vestavěný termočlánek měří okamžitou teplotu místa přivaření teplého spoje, neměří však maximální teplotu na břitu nástroje.

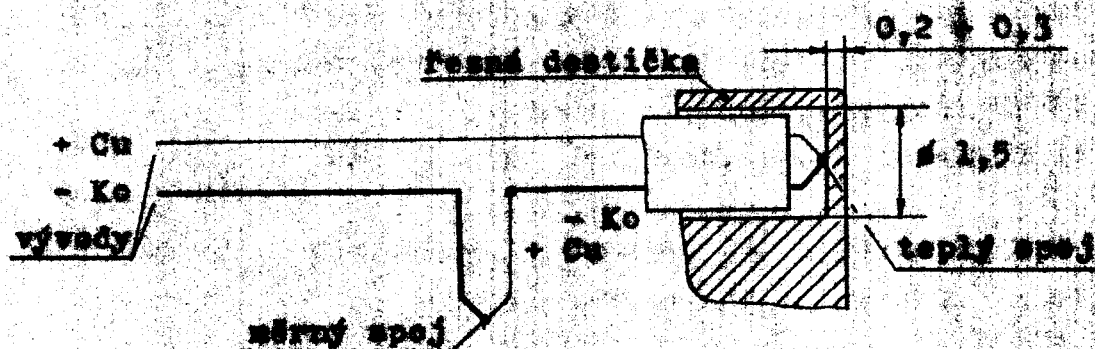
4.4.5. Metodika měření teploty

Do břitové destičky se zhotoví otvor $\varnothing$ 1,5 mm /dle průměru drátku/ v místě co nejblíže břitu a do takové hloubky, aby zůstala tloušťka dna 0,2 až 0,3 mm. Umístění otvoru volit a ohledem, aby nedošlo k porušení řezné části břitové destičky vlivem velmi slabých stěn, což je zvláště nebezpečné u keramické destičky, kde může dojít vlivem deformací při výpalu k uťápnutí.

V případě slitného karbidu se zhotoví otvor elektrojiskrově resp. ultrazvukem. Spojení drátků termočlánu Cu-Ka se provede nejlépe kondenzátorovou svářečkou a teplý spoj vzniklého obvodu /viz. obr. 4.4.5.1./ se přivaří ke dnu otvoru v břitové destičce. Takto zabudovaný spaj se zalije speciálním lepidlem a vypálí se při teplotě 300°C po dobu dvou hodin.

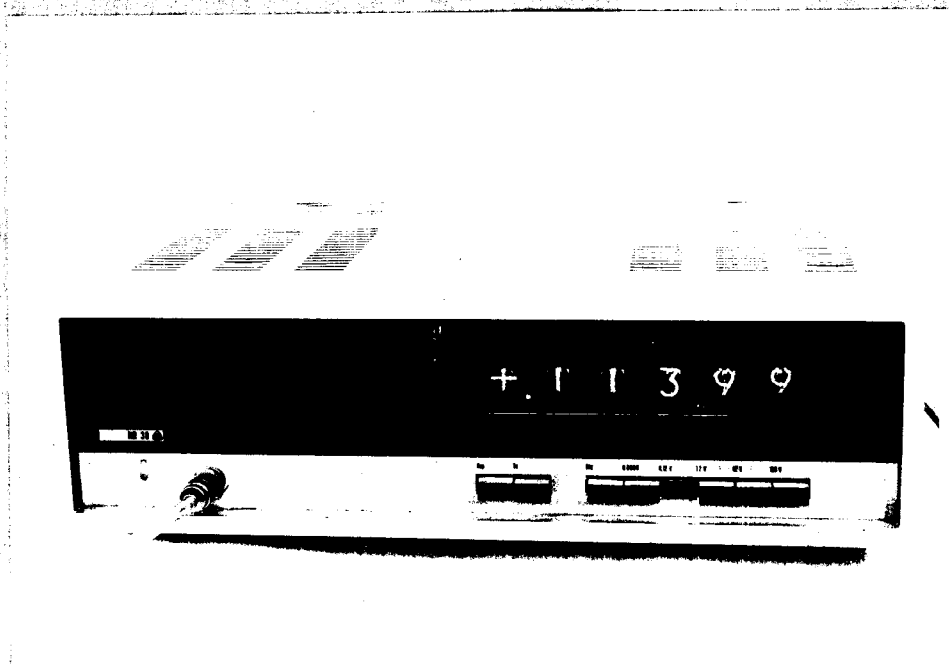
V případě keramické destičky, u které se otvor nepodaříle zhotovit ani ultrazvukem, bylo nutné otvor předlisovat

resp. předvrtat v nevypáleném stavu. Teplý spoj termočlánku byl zasunut do otvoru a zalit speciálním lepidlem. V tomto případě byl přestup tepla z keramické desičky na teplý spoj termočlánku zajištěn pouze dobrými vlastnostmi lepidla. Takto zabudovaný spoj se opět vypálí při teplotě 300°C po dobu dvou hodin.



obr. 4.4.5.1. Obvod vestavěného termočlánku

Měrný spoj byl vložen do nádoby se směsí ledu a vody pro udržení konstantní teploty. Vývody termočlánku se připojí přímo na měřicí zařízení, kterým v našem případě byl digitální milivoltmetr NR 30 /viz. obr. 4.4.5.2./.



obr. 4.4.5.2. Digitální milivoltmetr NR 30

Měření teploty provádíme dle předem stanoveného programu a naměřené hodnoty v mV zapisujeme do tabulky, která převedeme na skutečné teploty pomocí cejchovní závislosti.

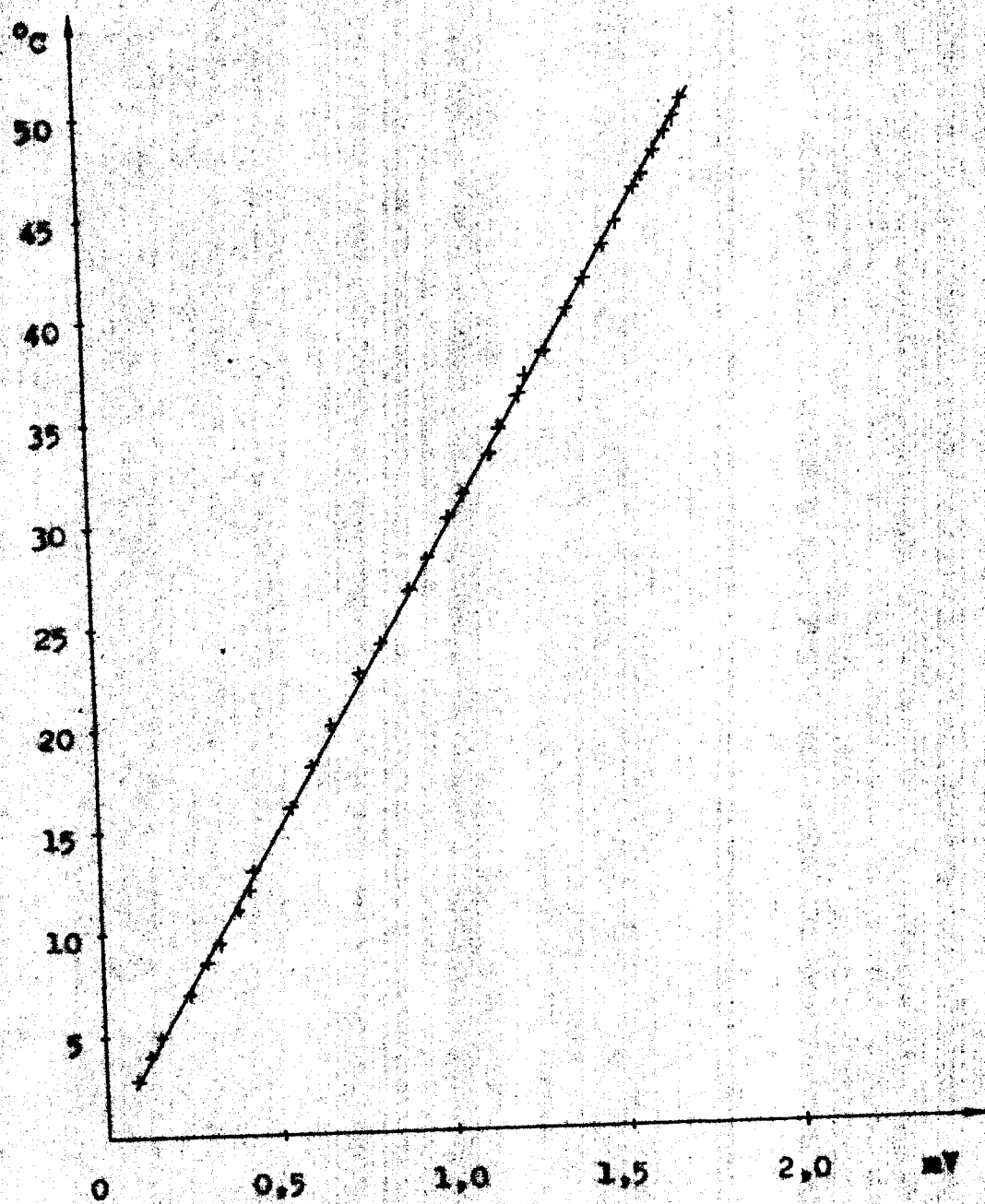
4.4.6. Cejchování

Před vlastními měřeními je nutné provést cejchování celého systému, které se provede tak, že na vstup měřicího zařízení se přivede napětí porovnáním do lázně o známé teplotě. Do 100°C se používá jako lázeň voda, nad 100°C se používá silikonový olej. Hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 4.4.6.1. a z těchto hodnot byla sestavena cejchovní křivka /diagram č. 4.4.6.1./

Tabulka č. 4.4.6.1.

°C	mV	°C	mV
2,8	0,09	31,2	1,08
4,1	0,13	33,0	1,17
5,0	0,16	34,3	1,19
7,0	0,25	35,9	1,25
8,5	0,30	36,8	1,27
9,5	0,32	38,0	1,33
11,0	0,40	40,0	1,39
13,0	0,45	41,5	1,44
16,0	0,55	43,1	1,51
18,0	0,61	44,2	1,56
20,0	0,68	45,9	1,60
22,5	0,76	46,5	1,63
24,0	0,83	47,6	1,67
26,5	0,92	48,6	1,72
28,0	0,97	49,2	1,73
29,9	1,03	50,0	1,75

Diagram 5. 4.4.6.1. - Sežehová křivka



4.4.7. Experimentální práce

Úkolem je ověření navržené metodiky měření teploty včetně záznamu a vyhodnocení. Provedlo se na závislosti teploty na posuvu a řezné rychlosti.

Naměřené hodnoty

1/ Řezná částička - slinný karbid K10

Řezná podmínky - hloubka řezu $t = 5 \text{ mm}$

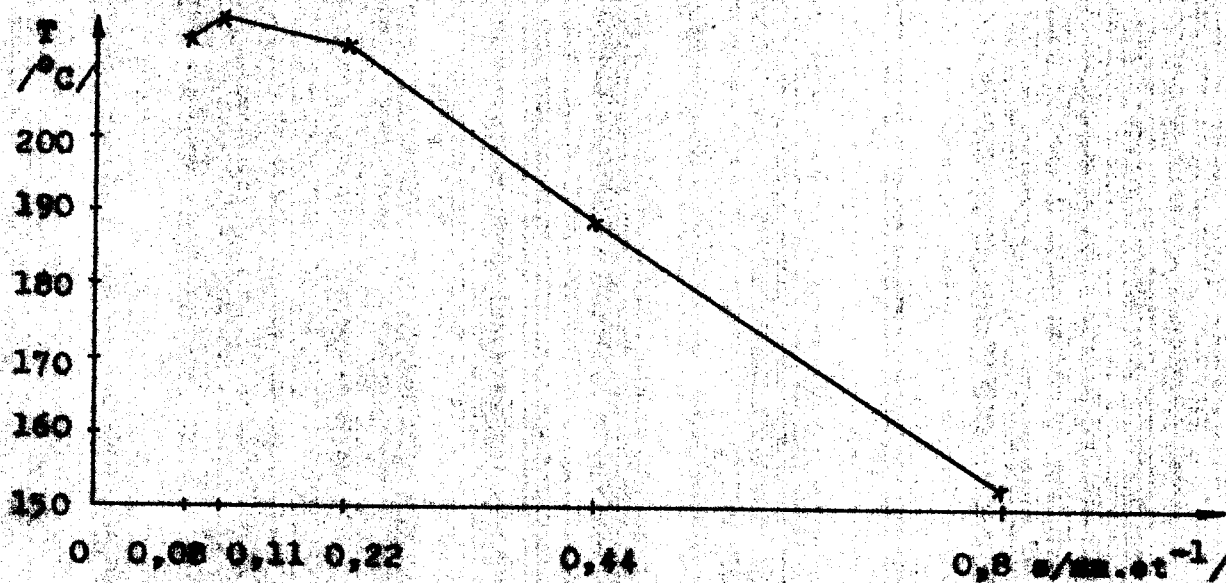
- řezná rychlost $v = 144,2 \text{ m.min}^{-1}$

Hmeta M 60

Tabulka č. 4.4.7.1.

s /mm.ot ⁻¹	T	
	/mV/	/°C/
0,08	7,40	213,1
0,11	7,50	216,0
0,22	7,37	212,3
0,44	6,54	188,4
0,80	5,29	152,4

Diagram č. 4.4.7.1.1 - Vliv posuvu na teplotu řezání



2/ Řezná destička - slinutý karbid K10

- mikroskopný kerand VÚEK Hradec Králové

Řezné podmínky - hloubka řezu $t = 5 \text{ mm}$

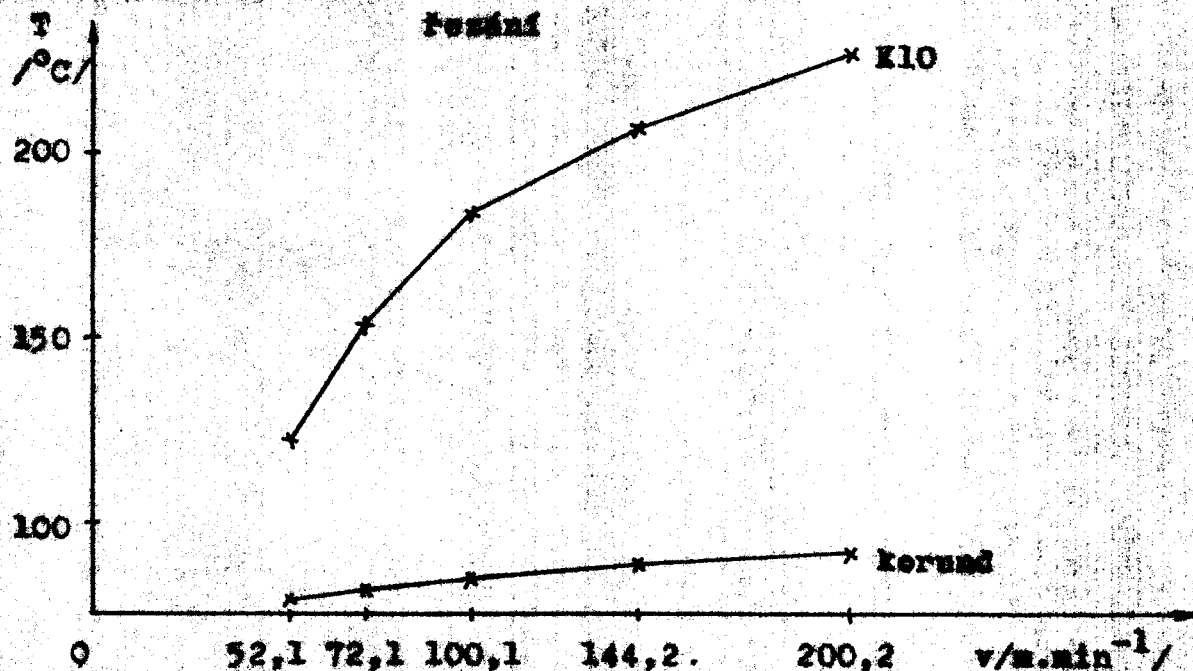
- posuv $s = 0,08 \text{ mm.st}^{-1}$

Hmata N 60

Tabulka č. 4.4.7.2.

v /m.min ⁻¹ /	K10		kerand	
	T		T	
	/mV/	/°C/	/mV/	/°C/
52,1	4,24	122,1	2,73	78,6
72,1	5,34	153,8	2,82	81,2
100,1	6,37	183,5	2,93	84,4
144,2	7,17	206,5	3,08	88,7
200,2	7,87	226,7	3,17	91,3

Diagram č. 4.4.7.2. - Vliv řezné rychlosti na teplotu řezání



Poznámka:

V tabulkách naměřených hodnot je již uvedena průměrná hodnota ze dvou měření.

4.4.8. Zkušební měření teploty

Poté, spojná se shtavením otvoru pro teply spoj ter-
močlásku do keramické destičky běžnou způsobu, vedly k použi-
tí vedle keramické destičky i řezné destičky se slitiného kar-
bidu, do které lze otvor shtavit snáze.

Jelikož se předpokládala při obrábění izostaticky lisov-
vané keramiky malá teplota řezání /do 100°C i méně/, tomu od-
povídá i malé napětí na termočlásku, byla nutná použít pro
měření citlivý milivoltmetr. Malé množství tepla, vzniklé při
obrábění izostaticky lisované keramiky, dále vedlo k tomu, že
byla provedena izolace řezné destičky teflonovou folií, která
má malou tepelnou vodivost $\lambda = 2,3 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ a tím se zkrá-
tila doba náběhu na ustálenou hodnotu teploty. Přesto však ta-
to doba byla dlouhá v porovnání s dobou náběhu u kovů nebo mě-
ření sil. Proto nebylo vhodné měřit síly a teplotu najednou.
Bez folie by byla doba náběhu ještě delší, neboť řezné destič-
ka je intenzivně chlazena kovovým dráčkem a okolím.

Při měření řeznou destičkou se slitiného karbidu K10 je
z diagramu č. 4.4.7.1. vidět, že při posuvu $s = 0,11 \text{ mm.ot}^{-1}$
je maximální teplota, která dále s rostoucím posuvem klesá.
Je to tedy ostrá závislost než u kovů. Z diagramu č. 4.4.7.2.
vyplývá, že s rostoucí řeznou rychlostí teplota parabolicky
roste a při $v = 200,2 \text{ m.min}^{-1}$ a $s = 0,08 \text{ mm.ot}^{-1}$ byla dosaže-
na teploty 226,7°C. Tyto závislosti byly prováděny s řeznou
destičkou, která měla otupení $V_B = 0,8$ až 0,9 mm.

Na velikost teploty řezání bude mít vliv i velikost spo-
třebení řezné destičky, což jsme se přesvědčili měřením více
stupňovou řeznou destičkou $V_B = 1,5 \text{ mm}$, kdy jsme získali hod-
notu teploty 235,2°C při $s = 0,08 \text{ mm.ot}^{-1}$ a $v = 200,2 \text{ m.min}^{-1}$.

Při měření keramickou řeznou destičkou, u které byla též
provedena izolace teflonovou folií, byly dosaženy nižší teple-
ty oproti K10, jak vyplývá z diagramu č. 4.4.7.2. S rostoucí

řeznou rychlostí teplota roste přibližně lineárně.

Menší teploty lze jednak přisoudit způsobu výroby otvoru v řezné destičce, který nemohl být dostatečně blízko maximální teplotě v důsledku odřívnutí při výpalu, a dále tomu, že přestup tepla z řezné destičky na teplý spoj termočlásku zajišťovalo pouze speciální lepidlo. Některé na utváření teplotu byl proto velmi dlouhý a tudíž nebyla odečtena ani konečná teplota. Jistý podíl na rozdílu teplot mají rozdílné vlastnosti řezných destiček /viz. kap. 4.4.1./.

Z těchto důvodů má měření teploty keramické destičky pouze informativní význam, který si dále vyžaduje ověření novým měřením. Nejně však bude vyřešení zhotovení otvoru v místě maximální teploty řezné destičky a případně tepelného spoje termočlásku s uváděním, že hlavní zdroj tepla při střelně izostaticky lisované keramice je ve styku hřbet-plocha řezu.

5. Závěr

Úkolem této diplomové práce byl návrh metodiky měření významných parametrů působících na nádobu při soustružení izostaticky lisované keramiky.

Práce se skládá v podstatě ze dvou částí. Z teoretické a praktické, která je ověřením navržené metodiky měření.

V teoretické části jsou shrnuty poznatky o izostaticky lisované keramice z doporučených prací, neboť obrábění izostaticky lisované keramiky je v počátcích svého vývoje a technologie obrábění izostaticky lisované keramiky není dosud v žádné literatuře zpracovaná. Uvedeny jsou vlastnosti, složení, echová výroby a výsledky z doporučených měření.

V praktické části byla putně provedt před vlastním měřením výběr základních veličin, musela se stanovit metodika sloužek a provést výběr nejvhodnějších zařízení a měřicích přístrojů.

Měření sil prováděné tříslečkovým dynamometrem bylo zpracováno do tabulek a grafů, z kterých je možné vyčíst velikost a průběh poměrů složek řezných sil na různých řezných podmínkách. Obdobně zpracováno pro dynamické hodnoty složek řezné síly a měření teploty.

Pro efektivnější provádění měření sil bylo použito metody plánování experimentu a pro zpracování naměřených hodnot bylo použito metody nejmenších čtverců. Tyto moderní matematické metody, a využitím výpočetní techniky, by se měly používat místo dřívějších grafických metod pro všechna měření.

Měření řezných sil byly stanoveny:

- konstanty pro vyjádření vzájemné složek řezné síly pro hrubovací a tvarovací nást a pro hmoty M 50 a M 60
- poměry složek řezné síly F_v : F_f : F_p a jejich závislosti na řezných podmínkách pro obě hmoty
- výsledná řezná síly a jejich závislost na řezné rychlosti

a posuvu pro obě hmoty, hmotu M 60 vykazuje v dané závislosti menší výsledné síly

- dynamické hodnoty složek řezné síly pro hrubovací nář. a hmotu M 30 v závislosti na řezných podmínkách:

- se variantačním posuvem variantaží dynamické hodnoty, nejvíce složka F_x

- vliv řezné rychlosti a hloubky řezu na dynamické hodnoty je proti posuvu menší

Měření teploty:

- se variantaží řeznou rychlostí má teplota parabolicky variantační průběh

- se variantačním posuvem teplota lineárně klesá

Pro lepší vysvětlení je celá práce doplněna fotografiami a kreslenými obrázky.

Nové technologie výroby ve izolátoru si vyžadují pokračovat ve výzkumu obrábění, např. dalšími předmetem zkoumání by mohlo být měření průběhu chvění pro určení dynamického mezního průřezu třísky, tj. kdy při daných řezných podmínkách nastane výrazné chvění. Měření sil použité pro reálné průřezné hmoty dle obrátitelnosti, neboť měření sil není tak časově náročné jako stanovení obrátitelnosti měření optikou.

Aby mohlo být prováděno měření ještě kvalitněji, musí být na vyšší úroveň posunuta především přístrojové vybavení.

Závěrem této diplomové práce bych chtěl poděkovat svému konzultantovi ing. Františku za cenné připomínky a rady, kterými vhodně usměrňoval vypracování celé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat všem pracovníkům VÚEK Hradec Králové, kteří mi byli nápomocni a svým zkušenostmi přispěli k úspěšnému průběhu měření.

6. Rejstřík autorů

- /1/ Bada, Boris : - Teoretické základy obrábění kovů
SVVH Bratislava 1962
- /2/ Polnýk S. : - Teorie obrábění
SVVH Praha 1978
- /3/ Gabriel V. : - Studium možnosti neustálého měření vý-
namných parametrů působících na nástroj
výzkumná správa VÚHK Liberec 1977
- /4/ Mikovec B. : - Obrábění tvárněkřehkých materiálů
SVVH Praha 1964
- /5/ Turek H. : - Elektrotechnická kontrola
SVVH Praha 1964
- /6/ Růžička S. : - Využití strojního strážení na sousta-
vách výzkumné správy VÚHK 1975
- /7/ Růžička S. : - Mechanická příslušnost
výzkumná správa VÚHK 1977
- /8/ Fátor J. : - Technické dokumentace
výzkumná správa VÚHK 1978
- /9/ Hájek J. : - Základy experimentálních metod a opti-
malizace v teorii obrábění
Skripta ČVUT Praha
- /10/ Uhřet M. : - DP - ST 1264/77 VÚST Liberec 1977
- /11/ Jukl V. : - DP - ST 1334/74 VÚST Liberec 1974
- /12/ Davidovič P. : - DP - ST 1454/79 VÚST Liberec 1979
- /13/ Bada J. : - Obrábění křehkými destičkami
SVVH Bratislava 1959
- /14/ Blahut M. : - Eliminace karbidů pro obrábění
SVVH Praha 1964