

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

obor 23 - 07 - 8

strojírenská technologie

zaměření

OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽ

Katedra obrábění a montáže

Opotřebení dvojic materiálů pro brzdová obložení

Pavel S U K

Vedoucí práce: RNDr. Lubomír Sodomka, CSc., VŠST Liberec

Konsultant: ing. Jan Frinta, VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	78
Počet příloh a tabulek	17
Počet obrázků	31
Počet výkresů	4
Počet modelů nebo jiných příloh	0

KOM - OM - 034

12.6.1981

Vysoká škola: **strojná a textilní**
Liberec

Katedra: **obrábění a montáže**

Fakulta: **strojná**

Školní rok: **1980/81**

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro **Pavla S U K A**

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: **Opetřebení dvojic materiálů pro brzdová obložení**

Pokyny pro vypracování:

- 1/ Shrňte dostupné poznatky pro opetřebení dvojic materiálů užívaných pro brzdová obložení.
- 2/ Zaměřte se při hodnocení dvojic materiálů na povrchové vlastnosti hlavně pak na profil povrchu
- 3/ Proveďte zkoušky erozivního opetřebení brzdových materiálů osinku a litiny
- 4/ Na základě studia literatury se podílejte na konstrukci zařízení na simulaci podmínek v brzdách automobilů čs. výroby
- 5/ Zhodnoťte dosažené výsledky

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
77/62 III/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze
dne 31. 8. 1962 č. 115/53 Sb.

V 299/1989S
VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÁ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PŠČ 461 17

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah průvodní zprávy: **40 - 50 stran textu**

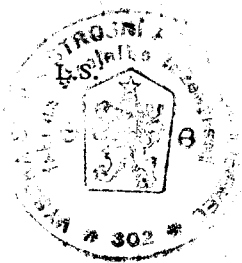
Seznam odborné literatury: **Barilla, J.: DP VŠST Liberec 1980**
**Vecel, M., Dufek, V. a kol.: Tření a opotřebení
strojních součástí. SNTL Praha 1976**
**Oliva, V., Olexa, J.: Úvod do teorie tření ope-
třebení a kontaktního perušování.
ČVUT Praha 1978**
**Nearle, M. J.: Tribology Handbook. Butterworth
London, 1973**
**Cesnek, L. S.: Mechanika i mikrofyzika istirania
poverchnostej. Moskva 1979.**

Vedoucí diplomové práce: **RNDr Lubomír Sedemka, CSc**

Konsultanti: **Ing. Jan Frinta**

Datum zadání diplomového úkolu: **6. 10. 1980**

Termín odevzdání diplomové práce: **22. 5. 1981**




Doc. Ing. Vojtěch Dráb, CSc

Vedoucí katedry


RNDr Bohuslav Striž, CSc

Děkan

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

V Liberci dne 12.6.1981

Pavel Luk

OBSAH

	Seznam použitých zkratk	5
1.	Úvod	7
2.	Rozbor problematiky opotřebení	9
2.1.	Analýza opotřebení u strojních součástí	9
2.2.	Průběh a hodnocení opotřebení	12
3.	Třecí dvojice materiálů	15
3.1.	Vlastnosti kovových materiálů brzdových elementů	16
3.1.1.	Důvody zkoumání materiálů brzdových elementů	16
3.1.2.	Fyzikální vlastnosti kovových materiálů brzdových elementů	17
3.1.3.	Metalurgie brzdových kotoučů a bubnů - nové poznatky o litině	19
3.2.	Vlastnosti nekovových materiálů brzdových elementů	21
3.3.	Další poznatky o brzdách z hlediska materiálů	24
3.4.	Povrch a jeho význam při tření	26
3.4.1.	Styk reálných těles	27
3.4.2.	Morfologie povrchu třecího materiálu	30
3.4.3.	Způsoby kontroly a přístroje pro měření povrchů	31
4.	Cíl práce a rámcová metodika řešení	32
4.1.	Cíl práce	32
4.2.	Metodika řešení	32
5.	Experimentální část	33
5.1.	Laboratorní zkoušky odolnosti materiálů proti opotřebení třením za sucha	33
5.1.1.	Výběr materiálů a příprava vzorků	33
5.1.2.	Použité zařízení - vlastní měření	35
5.1.3.	Měření drsnosti funkční plochy vzorků	43
5.1.4.	Vyhodnocení zkoušky třením za sucha	50

5.2.	Zkoušky erozivního opotřebení	52
5.2.1.	Vzorky - použité zařízení - zkouška erozivního opotřebení	53
5.3.	Vyhodnocení zkoušek erozivního opotřebení	65
6.	Měření fotonové erozivity	67
6.1.	Vyhodnocení měření fotonové erozivity	70
7.	Konstrukce části zařízení na simulaci podmínek v brzdách automobilů československé výroby	71
7.1.	Popis dvojitého kloubu /viz výkresy/	73
8.	Vyhodnocení výsledků a diskuse	74
9.	Závěr	77
10.	Seznam použité literatury	79

Seznam použitých zkratek a symbolů

a	- brzdné zpomalení
b	- šířka
d	- průměr
k	- součinitel bezpečnosti
kp	- součinitel vzájemného překrytí
l	- délka
m	- hmotnost
Δm	- úbytek hmotnosti
p	- tlak
p_{DOV}	- dovolený tlak
tp	- nosný podíl
v	- rychlost
Ev	- objemová erozivita
F	- síla
HB	- tvrdost podle Brinellia
M	- hmotnost brusného prášku
P	- výkon
Q	- množství tepla
Ra	- střední aritmetická odchylka
Re	- napětí na mezi kluzu
Rm	- napětí v tahu
$R_{m, DOV}$	- dovolené napětí v tahu
$R_{max, Rt}$	- maximální výška nerovností
Rz	- výška nerovností
S	- plocha
T	- teplota
W_1	- délkový otěr

- W_h - hmotnostní otěr
 W_o - objemový otěr
- α - teplotní součinitel délkové roztažnosti
 ρ - měrná hmotnost
 μ - součinitel tření
 τ_s - napětí ve smyku
 $\tau_{s, dov}$ - dovolené napětí ve smyku
 ψ_i - poměrná odolnost proti opotřebení - délková
 ψ_h - poměrná odolnost proti opotřebení - hmotnostní
 ψ_o - poměrná odolnost proti opotřebení - objemová

1. ÚVOD

Druhá polovina 20. století je stále výrazněji charakterizována novými rysy vědeckotechnické revoluce, která pokračuje v průmyslově vyspělých zemích vzrůstajícím tempem. Současná etapa vědeckotechnické revoluce významnou měrou zasáhla i do rozvoje materiálně-technické základny našeho socialistického průmyslu.

V hospodářském rozvoji našeho státu má rozhodující úlohu strojírenský průmysl. Jeho výroba v 6. pětiletce vzrostla o polovinu a vývoz strojního zařízení o více než 70 %. Jak uvádí Zpráva o hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1981 - 1985 přednesená na XVI. sjezdu KSČ, má se zvýšit výroba ve strojírenství o 33 až 35 % při růstu produktivity práce o 30 až 32 %. I nadále budou odvětví strojírenství základním článkem rozvoje národního hospodářství.

Porovnáme-li dnešní stav teorie některých oborů, soustavně rozvíjených relativně později, s poznatky z oboru tření, shledáme s překvapením, že jsme zde teprve na počátku soustavného vědeckého bádání. Ještě empiričtější povahu má až dosud hodnocení poznatků z oboru opotřebení. I když už první zmínky o kovových ložiskách u dřevěných strojů a primitivních dopravních prostředků ukazují na hledání materiálů s větší odolností proti opotřebení, teprve průmyslová revoluce v minulém století ukázala na nezbytnost neoddělovat studium tření od jeho nežádoucích důsledků - opotřebení.

Přesto, že se člověk setkává se třením doslova na každém kroku a přibližně 1/3 energie na světě vyrobená se ztrácí třením, není objem vědeckých prací příliš rozsáhlý.

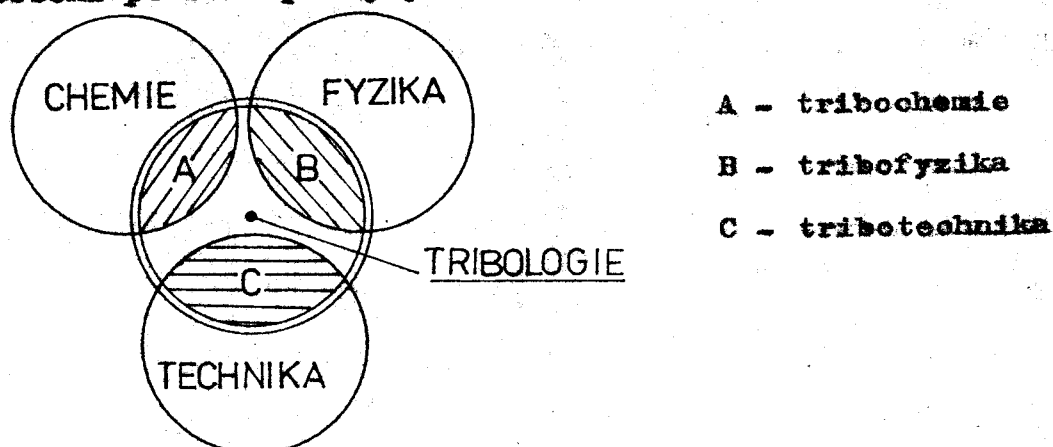
Rozvoj vědeckých poznatků na jedné straně a výrobní struk-

tury na straně druhé, kladou vysoké nároky na odborníky, kteří musí vyvíjet takové strojní zařízení, s nimiž lze plnit požadované úkoly i s příznivými ekonomickými výsledky.

Rozvoj techniky nás dnes postavil před principiálně jiné otázky, kdy není velkým problémem dosahovat rychlostí vozidel několik set kilometrů za hodinu, ale z hlediska tření a opotřebení je obtížné zabrzdit při naléhavé potřebě na relativně krátké dráze.

Tření a opotřebení jsou tedy z hlediska technického a ekonomického hlavní faktory při zkoumání vlastností materiálů pro brzdové obložení vozidel.

Rychle se vyvíjí nová interdisciplinární nauka o vzájemném působení povrchů při jejich vzájemném pohybu - tribologie.



Obr.č.1 : Souvislost tribologie se základními vědními obory /1/

Přihlédneme-li k publikovaným údajům, zjistíme z hlediska tribologie potenciální rezervy v našem národním hospodářství zhruba 5 až 10 miliard Kčs ročně.

Je tedy možné si položit otázku, zda by se nedal na základě dílčích poznatků sestavit systém hodnocení brzdových materiálů.

Proto na řešení tohoto aktuálního problému - opotřebení materiálů pro brzdové obložení, je zaměřena i moje diplomová práce.

2. Rozbor problematiky opotřebení.

2.1. Analýza opotřebení u strojních součástí.

Proces opotřebení je určován řadou působících faktorů. Nej-
důležitějšími jsou zatížení, kluzná rychlost, materiál třecí
dvojice a jejich fyzikálně mechanické a chemické charakteris-
ticky, okolní prostředí, velikost stykových povrchů a kvalita
povrchů.

Oliva a Olexa /2/ uvádějí definici opotřebení dle
ČSN 01 5050 /3/:

"Opotřebení je nešádoucí změna povrchu (rozměru) způsobená
vzájemným působením funkčních povrchů nebo funkčního povrchu
a opotřebovávajícího media. Projevuje se jako odstraňování ne-
bo přemisťování částic z opotřebovávaného povrchu mechanickými
účinky, popř. doprovázenými i jinými vlivy (např. chemickými,
elektrochemickými, elektrickými)."

Opotřebení při záběhu je užitečné!

Zkoumání příčin opotřebení je obvykle záležitostí velmi
složitou, protože je ovlivňováno řadou nejrůznějších faktorů
a vlivů:

a/ vnější podmínky

- prostředí, v němž stroj pracuje (teplota, vlhkost, che-
mické působení, prašnost).
- pracovní medium (rychlost proudění, obsah částic, jejich
tvrdost, tvar, počet, hmotnost, podmínky dopadu na funkč-
ní povrch).
- dynamické zatížení funkčního povrchu

b/ vnitřní podmínky

- vhodnost stroje k předpokládané funkci
- vhodnost volby materiálu
- správnost technologie při výrobě součástí a stroje
- výskyt vad, narušujících správnou funkci součástí

c/ prevozní podmínky

- porovnání skutečných podmínek prevozu s podmínkami předepsanými
- soustavné nebo občasné překročení prevozních podmínek
- chyby obsluhy při řízení stroje nebo zařízení

Snižování opotřebení u strojních součástí se dosahuje několika možnými způsoby:

1. vhodnou volbou konstrukce kluzných dvojic
2. použitím vhodného materiálu:

U kovevých materiálů lze použít:

- náhrady měkkých, tepelně nezpracovaných ocelí ocelmi zušlechťenými na velkou tvrdost, nebo speciálními legovanými litinami.
- vytvoření speciálních povrchových vrstev různými technologickými postupy, buď povrchovým kalením, tepelně chemickými úpravami (nejlépe nitridace) /4/, nebo elektrogalvanickým nanášením vrstev (ochromování).
- plátování, pájení, navařování nebo nástřiky speciálních materiálů.
- náhrady materiálů tvářenými ocelmi na odlitky, litinami nebo edlévanými neželeznými kovy.
- výrobků práškové metalurgie.

U nekovových materiálů lze použít:

- technické keramiky, zejména slinutého korundu.

- taveného čediče a některých typů strusek, odolných proti opotřebení.
- některých druhů pryží, odolných event. i v podmínkách koroze.
- různých typů plastických hmot.
- umělých pryskyřic, popř. s vhodnými plnivými (SiO_2 , Al_2O_3).
- betonů různých typů s velkou odolností proti opotřebení.
- vrstev s některými vhodnými nekovovými materiály (smalty).

Při hodnocení musíme záměrně uvažovat i cenovou relaci, dostupnost materiálů na trhu, rozsah kooperace, nutné změny ve vlastní technologii výroby atd.

I přes zvyšování životnosti opotřebovávaných součástí je nutná po určité době výměna. Proto zařízení podléhající intenzivnímu opotřebení jsou konstruována tak, aby bylo možno buď mechanicky, nebo automaticky kompenzovat rozměrové změny součástí. Tak např. ke kompenzaci úbytku opotřebovaných brzdových čelistí se používá pružných prvků. U těchto zařízení je třeba zajistit včasnými kontrolami, nebo automaticky indikací mezního stupně opotřebení, aby se předešlo nežádoucímu narušení funkce nebo vzniku náhlé poruchy popř. havarie....

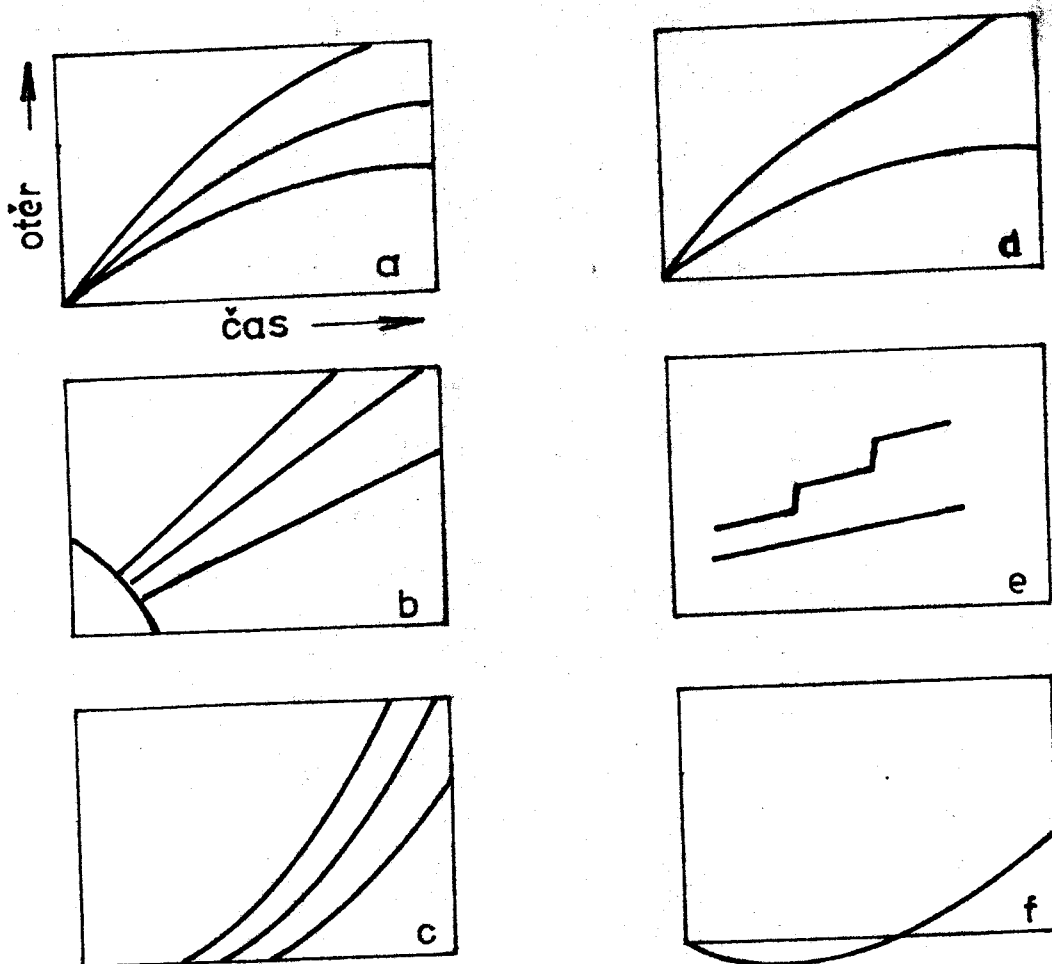
Např. u firmy FERODO LTD. je již po mnoho let známo, že hladina tření a rychlost opotřebení daného materiálu brzdového obložení se mění podle vozidla, na němž je namontováno, t. j. např. celková hmotnost, konstrukce třmenů a kotoučů, proudění chladičského vzduchu kolem brzd, ale i struktura a složení materiálu. /5/

2.2. Průběh a hodnocení opotřebení.

Při analýze opotřebení je třeba přistupovat k daným procesům jako k náhodným dějům, které je možno a nutno hodnotit metodami matematické statistiky. Cílem je vypracování modelů vlastního průběhu opotřebení, na jejichž základě by bylo možno hodnotit dosažené výsledky, jejich spolehlivost a reprodukovatelnost, a předvídat pravděpodobný průběh opotřebení nejen u jedné součásti, ale i u souberu.

Takevým to problémem se zabýval Uetz, který sestavil zjednodušené modely časového průběhu opotřebení, s nimiž se setkáváme v technické praxi.

Výsledky jeho práce uvedli Vocel a Dufek /6/:



Obr. 8.2 : Schema časového průběhu opotřebení

- a - počáteční fáze opotřebení, odstraňují se povrchové nerovnosti na funkčním povrchu (tuto dobu zkracujeme)
- b - ustálený děj, úbytky jsou lineární funkcí času - abrazivní opotřebení (ohceme se nejdelší s minimálními úbytky)
- c - kavitační a únavové opotřebení
- d - kombinace záběhu, ustáleného děje a progresivního rozvoje
- e - při změně vlastního mechanismu opotřebení
- f - počáteční fáze opotřebení částicemi, které se zamáčkou do funkčního povrchu

K sestavení časové závislosti opotřebení musíme nutně měřit změny, k nimž dochází na funkčním povrchu. Zatím nebyl vypracován jednotný systém měření a měřených veličin v opotřebení. Jako základní veličina se navrhuje délkový otěr, t. j. úbytek délky charakteristického rozměru, který je pro konstruktéry hodnotou přímo použitelnou v nejrůznějších aplikacích.

Vocel a Dufek /6/ uvádějí přehled základních měřených veličin v opotřebení. Pro poměrné veličiny se používá název " poměrná odolnost proti opotřebení. "

Způsob měření	Veličina	Jednotka	Rychlost otěru		Otěr na jednotku dráhy (x)	
			veličina	jednotka	veličina	jednotka
přímé měření	délkový otěr W_1	μm	W_1/t	$\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	W_1/x	$\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$
	hmotnostní otěr W_h	mg	W_h/t	$\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$	W_h/x	$\text{mg} \cdot \text{m}^{-1}$
	objemový otěr W_o	mm^3	W_o/t	$\text{mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	W_o/x	$\text{mm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$
poměrné	$\psi_1 = \frac{W_1 \text{ etalonu}}{W_1 \text{ vzorku}}$	1	ψ_{1t}	1	ψ_{1x}	1
	$\psi_h = \frac{W_h \text{ etalonu}}{W_h \text{ vzorku}}$	1	ψ_{ht}	1	ψ_{hx}	1
	$\psi_o = \frac{W_o \text{ etalonu}}{W_o \text{ vzorku}}$	1	ψ_{ot}	1	ψ_{ox}	1

Obr. č. 3 : Hodnocení opotřebení - veličiny - jednotky /6/

3. Třecí dvojice materiálů.

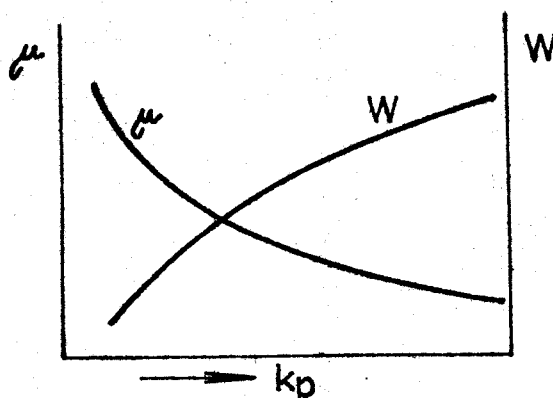
Úlohou výkanných třecích materiálů je pohlcovat a rozptýlit teplo vznikající třením, aniž by se přitom podstatně měnily požadované hodnoty součinitele tření a tím i velikost opotřebení. Dlouhodobým pozorováním bylo zjištěno, že při tření v prostředí bez maziva se obvykle dosahují hodnoty součinitele tření $\mu = 0,2$ až $0,6$. Tento údaj je ovšem pouze orientační, protože k přesnému stanovení součinitele tření je třeba přesně popsat i podmínky tření.

Z konstrukčního hlediska je zajímavý součinitel vzájemného překrytí k_p :

$$k_p = \frac{S_1 \cdot S_2}{S_3^2} \quad (1)$$

$S_1, S_2 \dots$ funkční plochy obou členů dvojice

$S_3 \dots \dots \dots$ třecí plocha vznikající vzájemným pohybem dvojice



Obr.č.4 : Známkování vlivu součinitele překrytí na součinitel tření μ a opotřebení W

Hlavními dvěma aplikacemi třecích materiálů jsou brzdová a spojková obložení, sloužící ke zpomalování popř. zastavení pohybu resp. k přenášení energie ze zdroje na jiný mechanismus.

Rámcové shrnutí poznatků pro volbu a konstrukci třecích uzlů:

- volíme vhodné materiálové dvojice
- prověření způsobu styku povrchů dvou součástí při své funkci i při extrémních případech
- dbáme na kontrolu složení i struktury materiálů
- volba rozměrových tolerancí i jakosti povrchu, t. j. kontrola makrogeometrie i mikrogeometrie
- určení eventuálního programu záběhu
- pro dotyk dvou součástí při tření platí, že zatížení v místě dotyku nesmí být tak velké, aby způsobilo plastické deformace podpovrchových vrstev, které vedou k poškození součástí a lomu

3.1. Vlastnosti kovových materiálů brzdových elementů.

3.1.1. Důvody zkoumání materiálů brzdových elementů /7/.

Brzdový systém vozidla tvoří vysoce výkonný tepelný stroj, jehož významost bývá často podceňována.

Podle Boslera /8/ se při zastavení osobního automobilu vyvine množství tepla, které je možno vypočítat ze vztahu:

$$Q = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (2)$$

Q ... množství tepla /W . s⁻¹/

m ... hmotnost vozidla /kg/

v ... rychlost vozidla /m . s⁻¹/

Výkon brzdového systému je :

$$P = \frac{m \cdot a \cdot v}{2} \quad (3)$$

a brzdové zpomalení (podle výhl.č.90 Sb.) /m . s⁻²/

Dosažením patřičných změřených údajů bylo zjištěno, že pro zastavení vozidla je zapotřebí nejméně dvojnásobného výkonu brzdového systému ve srovnání s výkonem motoru. Přitom hmotnost brzdového systému činí asi 10 % hmotnosti motoru.

Ještě k překřejším relacím došli Jante a Berrmeister /9/, kteří provedli srovnání u užitkových vozidel a zjistili, že v průměru má brzda asi 10 x větší výkon než motor vozidla, ale její výrobní náklady smí tvořit jen 1 % výrobních nákladů motoru.

Z uvedených faktů plyne, že hlavní těžiště tepelného namáhání a výkonu brzd spočívá právě v kovových elementech brzdových systémů. Nelze zde opomenout, ale význam vztahá mezi vlastnostmi kovových třecích materiálů a nekovových (obložení čelistí), kde vzájemné přizpůsobení bude hrát roli jak s ohledem na účinnost brzd, tak především na životnost (spotřebení) jednotlivých komponentů.

3.1.2. Fyzikální vlastnosti kovových materiálů brzdových elementů.

Uvážíme-li brzdu jako tepelný stroj, vyvstanou nám z fyzikálních vlastností především tepelné.

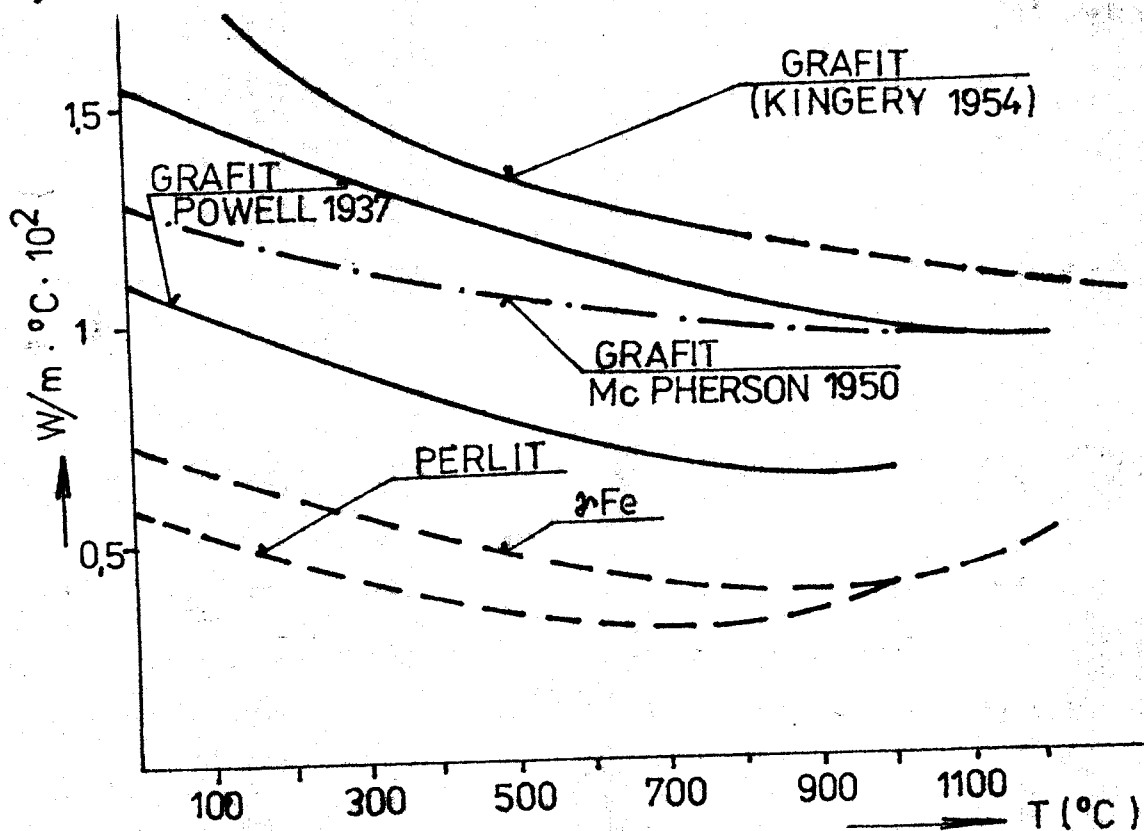
Pro porovnání tepelných vlastností je rozhodující tepelná kapacita, což je součin měrného tepla a hustoty materiálu. Výsledky studie významnosti tepelných vlastností materiálu brzdových kotoučů termální analýzou mikroobjemů sledovaného kotouče shrnul Rusnak /10/ do těchto bodů:

1. Místní teplota povrchu kotouče se snižuje s rostoucí tepelnou vodivostí materiálu kotouče.
2. Teplota povrchu kotouče dosažená během prvních dvou zasta-

vení je relativně nezávislá na tepelné vodivosti, je silně závislá na tepelné kapacitě kotouče.

3. Teplotní gradienty v kotouči se snižují při vyšší tepelné vodivosti slitiny.
4. Významným faktorem snížení teploty kotouče je odvod tepla do náboje kola.
5. Přenos tepla konvekcí z povrchu kotouče je vyšší než 90 %, jestliže se zajistí jeho dobrá ventilace, která značně snižuje nároky na vlastnosti materiálu kotouče.

Další fyzikální vlastností materiálu je tepelná vodivost, u které je především rozhodující dílčí vlastnost - tepelná vodivost základních strukturních složek litiny za normální i za zvýšení teploty.



Obr. 8.5 : Tepelná vodivost strukturních složek litiny podle různých autorů /7/

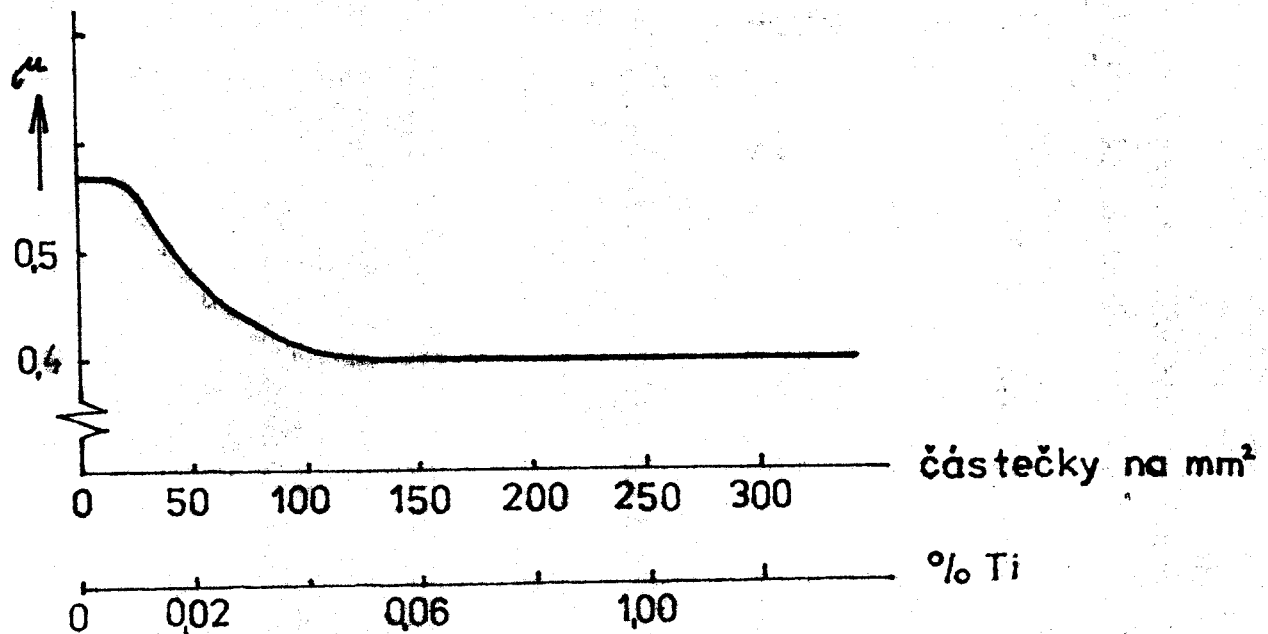
Z obrázku č.5 je patrné, že nejlépe tepelně vedivá složka je grafit. Je třeba mít na paměti, že grafit je anizotropní a jeho vlastnosti jsou v různých směrech vzhledem ke krystalizaci různé. Nejvyšší hodnoty má ve směru lupínek grafitu a nejnižší napříč. Z toho plyne i vysvětlení, proč je rozdíl mezi tepelnou vodivostí šedé a tvárné litiny. Izolované grafitové útvary způsobují, že vodivost tvárné litiny je jen 30 % vzhledem k šedé při stejném chemickém složení a stejné základní kovové hmotě. Tepelná vodivost základní kovové hmoty je pak ještě do jisté míry závislá na obsahu křemíku, který se koncentruje ve feritu a rapidně zhoršuje jeho tepelnou vodivost.

3.1.3. Metalurgie brzdových kotoučů a bubnů - nové poznatky o litině.

Z důvodu nevysvětlitelných případů nesorměrného brzdového účinku byl zahájen asi před 6 lety podrobný průzkum. Byl proveden podrobný rozbor možných činitelů v souvislosti s rozdíly pozorování při zkouškách. V tomto průzkumu byly prozkoumány a postupně vyloučeny všechny zřejmé fyzikální, chemické a metalurgické vlastnosti a jediným zbývajícím rysem k prozkoumání byly příměsi určitých prvků obsažené mimořádně v malých množstvích.

Brzdové kotouče a bubny se obvykle vyrábějí z litiny dobré jakosti, při čemž podle typického doporučení má struktura být složena nejméně z 80 % perlitu s nikelim větším množstvím než 15 % grafitu a též až 5 % feritu. Kromě hlavních prvků Fe a C má obsahovat typické podíly prvků jako mangan, síra, fosfor, nikl a chrom. Z různých stopových prvků nalezených v materiálu,

byl titan tím, který má vztah k třem jevům. V litině malé množství titanu ve spojení s jinými prvky vytváří drobné částičky karbenuitridu titanu, které jsou velmi tvrdé. Množství titanu přítomného v podobě karbenuitridu se pohybuje asi od 0,007 % až do 0,04 %. Přičemž každá částička měří napříč jen 2 - 6 μ m. Byl spočítán skutečný počet částiček karbenuitridu titanu na 1 mm^2 a výsledky byly zaneseny do diagramů.



Obr. č. 6 : Viz text /5/

Skutečná povrchová teplota za použitých zkušebních podmínek byla kolem 150° C. Jak je vidět z obrázku č. 6, čára je v pravé části dosti rovná s hodnotou $\mu = 0,4$, při počtu nižším než 75 částiček na 1 mm^2 ; čára prudce stoupá a znovu se ustálí až při počtu menším než 25 částiček na 1 mm^2 , při čemž indikovaná hladina tření je pak kolem 0,55. Z diagramu je možné udělat závěr, že při obsahu titanu menším než 0,01 % má litina velké tření a velké opotřebení, při obsahu větším než 0,03 % bude tření i opotřebení mnohem menší. Účinky, které má přítomnost malého množství titanu na strukturu lze vyvolat i jinými prostředky, avšak bez účinku na výkonové vlastnosti.

Zkoušky /7/ uspořádané se zkušebními vozidly s kotoučovými a bubnovými brzdami ukázaly, že je možné odlévat kotouče lišící se jen svým obsahem titanu, které budou důsledně způsobovat neseuměrnost brzdného účinku zcela předpověditelným způsobem, budou-li sdruženy. Jsou-li kotouče přizpůsobeny z hlediska třecích vlastností, i když jsou vybrány z různých serií odlitků, dovolí brzdit vozidlo vždy přímým směrem, přičemž brzdná dráha při dané síle na pedál a daném materiálu obložení je pak určována obsahem titanu v kotoučích.

Také další prvky, vanad a niob, které rovněž vytvářejí malé, velmi tvrdé částičky, mají odpovídající účinek na tření. Niob a vanad mají ovšem velmi rozdílný chemický účinek na titan a změny v tření by nemohly být vyvolány chemickou cestou.

Ještě se plně neprokázalo jak tvrdé částičky nalezené v litině ovlivňují hladinu tření a rychlost opotřebení. Normálně by se dalo očekávat, že čím je počet částiček na 1 mm^2 větší, tím vyšší by měla být hladina tření a zajisté tím vyšší i rychlost opotřebení, avšak uvedené výsledky pozorování prokázaly právě opak.

3.2. Vlastnosti nekovových materiálů brzdových elementů.

Pod pojmem nekovových materiálů je míněno obložení brzdových čelistí, i když v některých případech obsahuje kovové součásti jako např. měděné, mosazné nebo železné drátky, drť nebo zrnka. Základní materiál však je zpravidla nekovový, většinou na podkladě azbestu, slídy a různých dalších přísad (Fe_2O_3) pojvaných vhodným materiálem většinou na bázi syntetických pryskyřic (fenolresol). Tyto všechny komponenty dávají

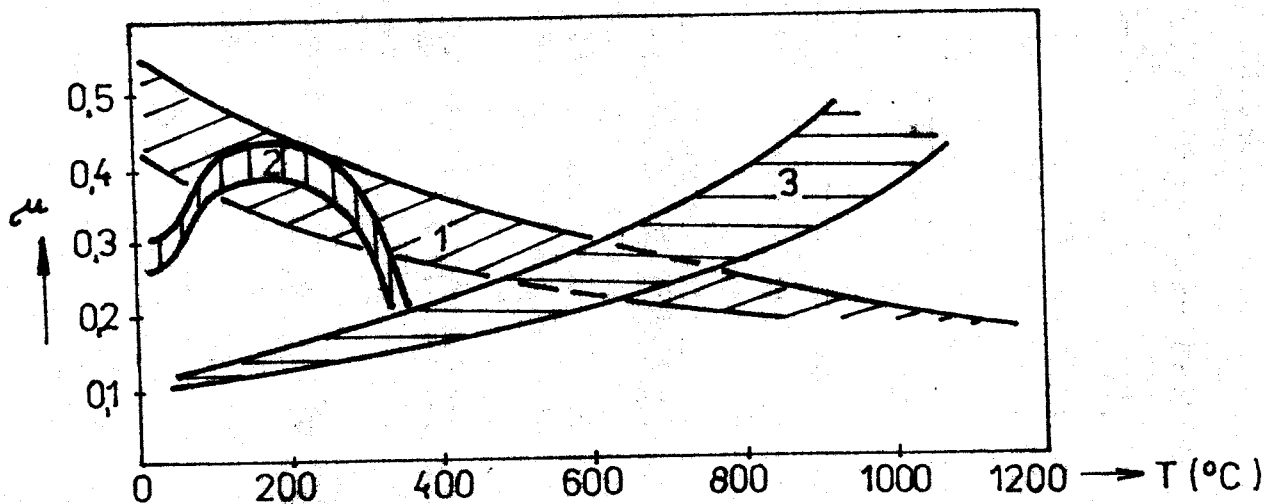
materiálu obložení charakter tepelného izolantu, který zpomaluje přestup tepla z třecí plochy do tělesa čelisti. Přesto však z vyvinutého tepla při brzdění část (10 - 15 %) přechází do čelistí a dále do okolí.

Nejrozšířenějšími třecími materiály jsou různé typy na osinkové bázi, obsahující dále plniva, pryskyřice fenolického druhu, semimetalické materiály, obsahující ke zvýšení tepelné vodivosti kovové prášky, třísky nebo drátěné výztuže.

Dalším příkladem třecích materiálů je heterogenní kovokeramické brzdové obložení. Hlavní jejich strukturální složkou je bronzová nebo mosazná matrice, do které jsou vložena tvrdá zrna zvyšující tření povrchu a zrna látek zabráňující slapování povrchu. Ke zvýšení součinitele tření se přidává do směsi křemenný prach, křemíkový prach nebo karbid křemíku. Opačný účinek má přísávek grafitu a olova.

Součinitel tření je málo závislý na teplotě (až do 650° C), rychlosti tření a přitlačné síle. Kromě toho má měkký záběr. Při zvýšení teploty v místě tření na bod tání olova se povrch pokryje místně vrstvičkou kapalně fáze, čímž μ klesá (viz obr. 8.7). To zamezí blokování brzdy při vysokých teplotách a zaručuje její trvalou účinnost. Také otěr je menší než u ostatních obložení.

Kovokeramický třecí materiál je i dostatečně tepelně vodivý. Maximální součin měrného tlaku a rychlosti tření, který u ostatních obložení smí dosáhnout nejvýše hodnoty 50 MPa m.s⁻¹, je u kovokeramických obložení až 80 MPa m.s⁻¹.



1... běžné kovekeramické obložení (Diafrikt)

2... běžné azbestové obložení (Ferrodo)

3... šedá litina

Obr.č.7 : Závislost součinitele suchého tření na teplotě /11/

Pro extrémní podmínky se používají spékané materiály, vyráběné v n.p. Pramet Šumperk pod označením Diafrikt S, M nebo F. Právě řada S je na bázi bronzu a je určena pro suché tření.

Pryskyřice nebo jiné plastické hmoty mají použitelnost do teplot 300 - 400° C, slituté materiály na bázi bronzu snáší teploty 650 - 700° C a materiály na bázi železa krátkodobě až 1100° C.

Druh	$\rho/\text{g.cm}^{-3}/$	HB	μ	$\alpha \cdot 10^6/\text{K}^{-1}/$
osinkové obložení	1,6-2,0	8-15	min. 0,3	5-10
spékané bronzo-grafitové obložení	5,0-7,0	25-60	0,3-0,5	17-22
spékané železo-grafitové obložení	5,5-6,5	60-100	0,3-0,6	7-10

Tab.č.1 : Nejdůležitější vlastnosti hlavních typů třecích materiálů /6/

3.3. Další poznatky o brzdách z hlediska materiálu.

Jedním z důležitých problémů týkajících se materiálu brzd je vznik prasklin na povrchu brzdových bubnů. Németh /12/ došel k názoru, že pro zvýšení odolnosti materiálu bubnů proti praskání je nutno snížit obsah nekovových strukturních součástí litiny, to znamená, snížit obsah P a S. Toto snížení vede k přechodu od litiny tavené v kuplovně na litinu tavenou v indukční peci. Mimo to doporučuje omezit výskyt drobných grafitových útvarů, naproti tomu silnější grafitové lupínky nejsou tak nebezpečné z hlediska praskání bubnů.

Z výsledků svých zkoušek Mocsy /13/ vyvozuje, že pro zvýšení odolnosti materiálu brzdových bubnů na funkční ploše je třeba litinu legovat takovými přísadami, které zvyšují teplotu eutektoidní přeměny, nebo aspoň stabilizují perlit.

Ve svých pracích se problémy materiálu brzd zabýval též Kantorovič /14/. Dospěl k podobným výsledkům, že odolnost proti praskání roste s rostoucím obsahem uhlíku vyloučeného ve formě grafitu a v poměrně hrubých útvarech. Dále zjistil, že odolnost litiny proti otěru v oblasti teplot 200 - 400° C není závislá na složení litiny, při teplotách okolo 600° C je opět nejodolnější vysoko uhlíková litina. Dalšího zvýšení odolnosti litiny proti praskání lze dosáhnout legováním chromem, niklem, molybdenem a mědí (v SSSR nejčastěji 0,2 - 0,4 % C s 0,2 % Ni nebo 0,08 % Ti s 0,4 % Cu).

Rozhodujícími faktory jsou mikrostruktura a tvrdost, pevnost hraje podružnou roli v celé šíři litin pro automobilový průmysl. Zvýšení tvrdosti litiny má nepříznivý vliv na praskání.

Také významnou roli při posuzování materiálu brzd hraje skřípání nebo pískání brzdových bubnů a kotoučů. Ukázalo se, že

největší podíl na skřípání brzd má nevhodný druh obložení. To lze potlačit vysoustružením hluboké drážky na obvodu kotouče a její vyplnění poddajným měděným drátem, nebo rozdělením funkční plochy na malé kruhové výseče profrézováním mělkých drážek, nebo narušením celistvosti funkční plochy vyvrtáním šachovitě rozložených otvorů.

Zaměření na párování třecích materiálů byl problémem zkoumání Wagenführera /15/. Z technických a fyzikálních údajů vlastností třecích materiálů za pomoci elektronického počítače vyhodnotil rozhodující faktory mající vliv na užité vlastnosti materiálů brzd. Shrnul poznatky, které jsou v souladu se současnými tendencemi v oboru třecích materiálů:

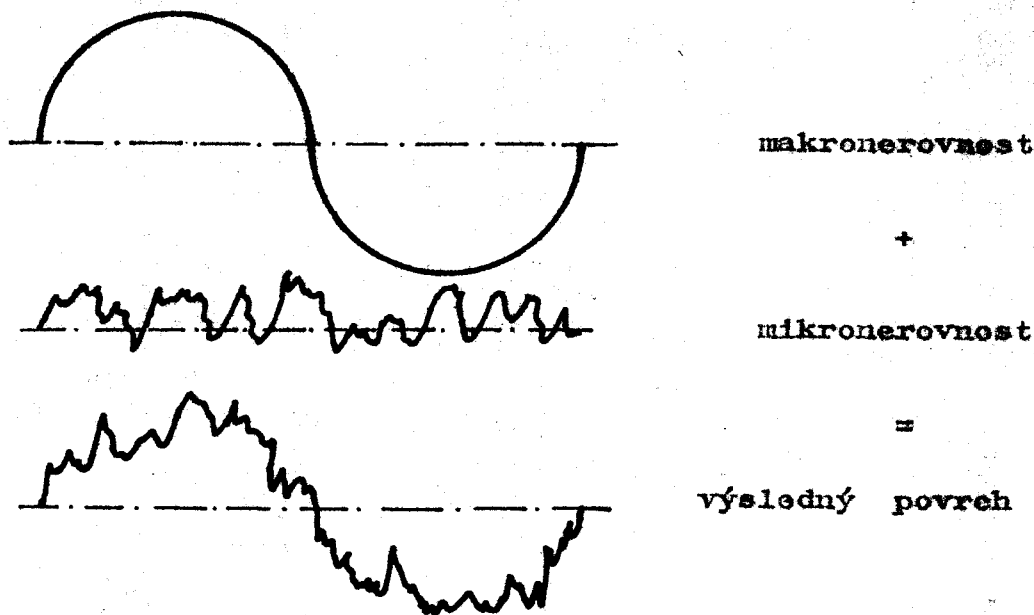
1. Odolnost proti opotřebení litiny je málo závislá na jejím složení.
2. Odolnost proti vzniku prasklin je však významně závislá na velikosti grafitových částic, přičemž rostoucí velikost grafitu snižuje sklon k praskání.
3. Přísada molybdému nemá vliv na koeficient tření, opotřebení a odolnost proti prasklinám.
4. Na odolnost litiny proti praskání má nepříznivý vliv zvýšení tvrdosti litiny.
5. Rozhodujícími faktory jsou mikrostruktura a tvrdost, pevnost hraje podružnou roli.

Firma Bergische - Industrie /16/ řeší materiálový problém větrového brzdového kotouče spojením náboje z lité oceli s kotoučem ze šedé litiny. Tato kombinace má za účel usnadnění výměny kotouče, zvýšení pevnosti náboje a zlepšení třecích vlastností.

3.4. Povrch a jeho význam při tření.

Povrch součásti má zvláštní význam z hlediska funkce a životnosti součásti. Povrchová vrstva materiálu má jiné vlastnosti než základní materiál, je odlišně namáhán, je často zdrojem poruch šířících se potom do celého objemu.

Z fyzikálního hlediska povrchy tuhých těles nejsou nikdy dokonale hladké. Podle použité technologie opracování povrchu vytváří se na nich charakteristický relief makro, mikro a submikronerovností. Proto ke styku povrchů dvou součástí nedochází v celé obrysové ploše, ale na velké množství dotykových plošek.

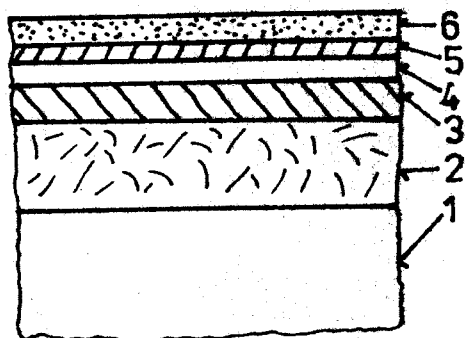


Obr. 8.8 : Základní složky drsnosti.

Makronerovnost (vlnitost povrchu) - je kolísání nerovností o větší vlnové délce.

Mikronerovnost - je tvořena kolísáním povrchu o krátké vlnové délce.

Nepřavidelnost povrchu - je nerovnost o velmi dlouhé vlnové délce, vzniká vibrací obrobku nebo nástroje během přípravy povrchu.



- 1-prvotní objemová struktura kovu
- 2-oblast deformovaného kovu
- 3-vrstva kysličníků
- 4-adsorbovaná vrstva plynu
- 5-adsorbovaná vrstva vody
- 6-adsorbovaná vrstva organických kapalin

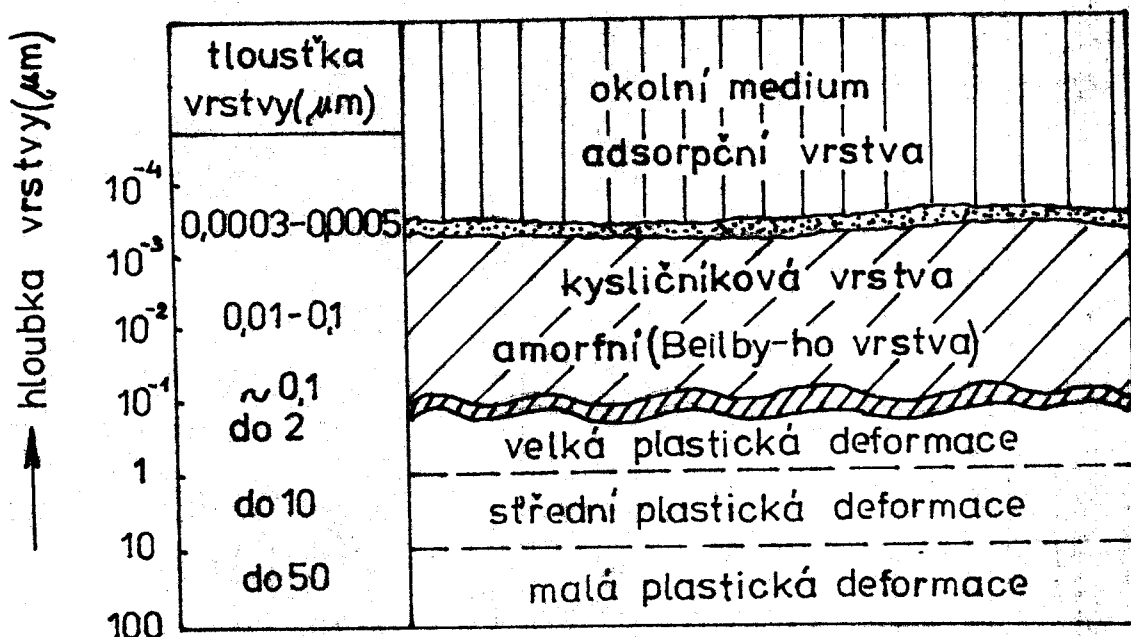
Obr.č.9 : Chemická struktura kovových povrchů /2/.

Povrchová vrstva snižuje tření a opotřebení kovových těles! Jednotlivé atomy krytalické mřížky zaujímají takové polohy, aby přitažlivé a odpuzivé síly sousedních atomů byly v rovnováze. Na povrchu tělesa však nejsou síly působící zevnitř vyrovnávány stejně velkým, opačně směřujícím působením zevnějšku. Proto dochází k posunu povrchových atomů z rovnovážných poloh tak, aby jejich povrchová energie byla co nejmenší. Do hloubky několika atomových vrstev je mřížka deformována a také vlastnosti zjišťované v této oblasti se poněkud liší od vlastního ostatního objemu. K vyrovnání povrchové energie dochází, pokud je to možné, působením okolního prostředí na atomy nebo molekuly /6/.

3.4.1. Styk reálných těles.

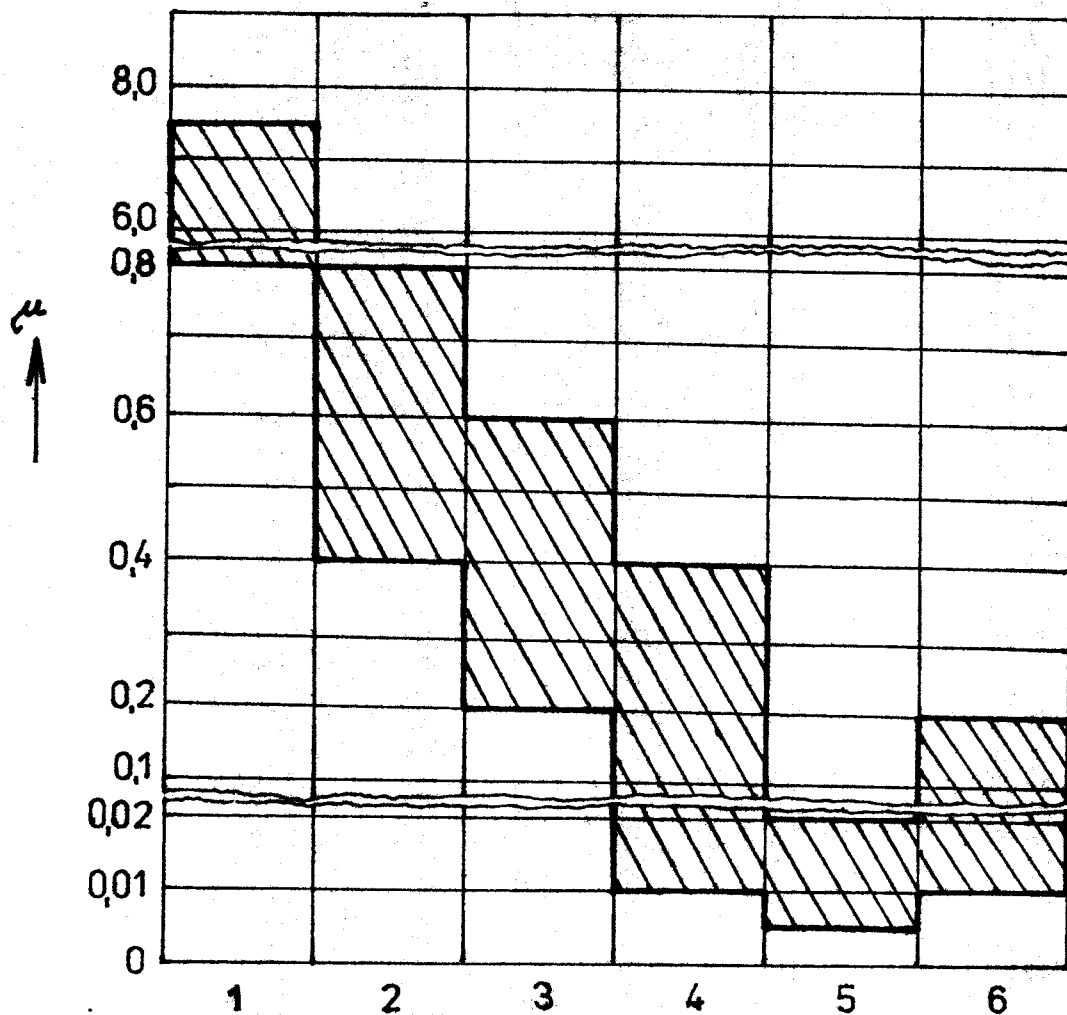
Přibližují-li se k sobě povrchy dvou strojních součástí, dojde k prvnímu dotyku, kterým by měla být vymezena jejich vzájemná poloha, teoreticky ve třech bodech. Tyto tři body představují nejvyšší výčnělky nerovných povrchů. V ostatních místech obrysové plochy styku jsou součásti odděleny nebo vyplněny okolním médiem. Měrný tlak v místech skutečného styku je však tak velký, že dochází k pružné i plastické deformaci výčnělků.

Do kontaktu přicházejí další místa povrchu a to tak dlouho, až vznikne dostatečně velká plocha styku, která unese působící zatížení.



Obr. č. 10 : Zjednodušené schéma leštěného kovového povrchu ve styku s okolním prostředím /6/.

Viz obr. č. 10 - na povrchu kovové součásti identifikujeme pseudoamorfni - Beilbyho vrstvu, vzniklou při vytváření předepsaného povrchu, pod níž je materiál značně plasticky deformován. Směrem do hloubky pak plastická deformace ubývá až do oblasti neovlivněného materiálu. Na povrchu Beilbyho vrstvy vzniká působením okolního prostředí zpravidla oxidická vrstva, na níž pak rozlišujeme ještě adsorpční vrstvu. Při plastické deformaci povrchových nerovností se mohou porušit adsorpční a oxidické vrstvy a dojde ke styku základního materiálu s materiálem druhé součásti. Při relativním pohybu součástí dochází pak následkem vzájemné interakce povrchů k jejich opotřebení.



Obr. 8.11 : Znárodnění vlivu různého stavu povrchu na hodnoty součinitele tření μ .

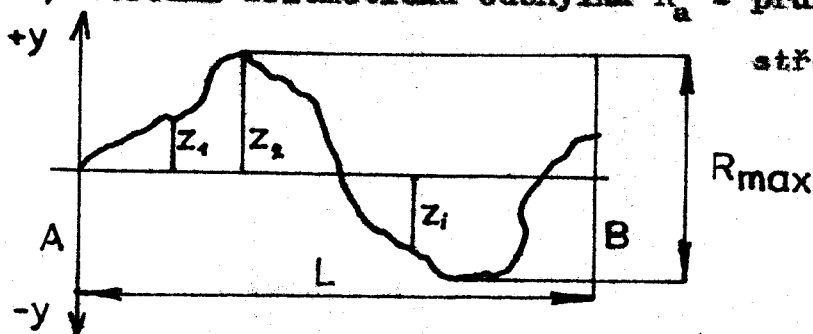
1. fyzikálně čisté povrchy
2. technicky čisté povrchy
3. hraniční oblast mezního tření
4. mezní tření
5. hraniční oblast kapalinového tření
6. kapalinové tření

3.4.2. Morfologie povrchu třecího materiálu.

K popisu odchylek od ideálního stavu jsou zavedeny různé veličiny, z nichž však žádná nepodává výstižný popis stavu povrchu.

U nás se používá jako kvantitativní míra drsnosti povrchu R_a podle ČSN 01 4450 /17/. Tato norma v souladu s mezinárodní normou ISO definuje dále maximální výšku nerovnosti R_{max} , výšku nerovnosti R_z .

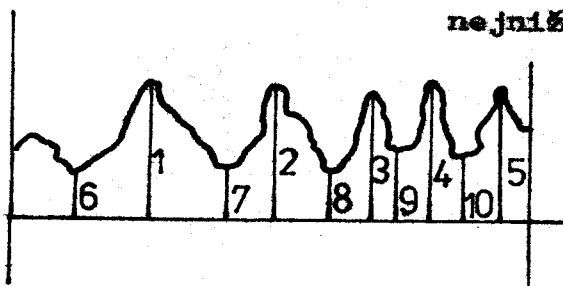
a/ Střední aritmetická odchylka R_a - průměrná hodnota bodů od střední čáry profilu.



$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (4)$$

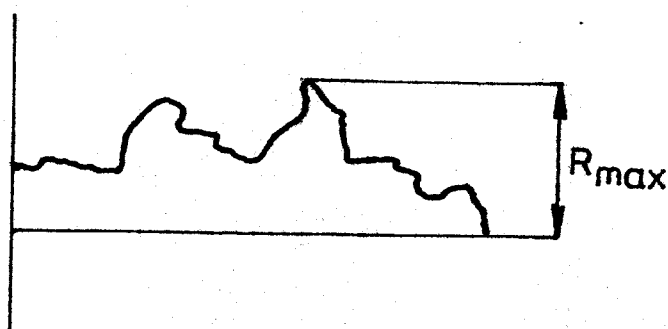
$$R_a = \frac{1}{L} \int_A^B |y| dx \quad (5)$$

b/ Výška nerovnosti R_z - střední hodnota mezi 5 nejvyššími a 5 nejnižšími nerovnostmi.



$$R_z = \frac{(R_1 + \dots + R_5) - (R_6 + \dots + R_{10})}{5} \quad (6)$$

c/ Maximální výška nerovnosti R_{max} .



3.4.3. Způsoby kontroly a přístroje pro měření povrchů.

A. K hodnocení mikrogeometrie povrchu se používá metod:

a/ optické - využívají elektronovou, interferenční nebo odrazovou metodu. Poskytují třírozměrnou představu o povrchu.

b/ mechanické - především metoda šikmých řezů a profilometrie.

Tyto metody se používají pro kvantitativní hodnocení.

B. Srovnávací metody při nichž se porovnává zkoušený povrch s povrchem etalonu. Toto jsou metody kvalitativního hodnocení.

Optické přístroje jsou nejpřesnější, protože nemají dotykové jehly, které škrábou povrch, proto se jich obyčejně používá při zvlášť přesných měřeních mikrogeometrie povrchu.

V poslední době se velmi rozšířilo snímání otisků povrchu. Jsou to vlastně zrcadlové otisky.

Pro hodnocení nosné plochy jsou přístroje, které vyjadřují v % styk zkoušeného povrchu s přesnou optickou rovinnou /18/.

Způsob přípravy povrchu	drsnost Ra	nosný podíl /%/
Hrubé soustružení, vrtání	6-25	10
Soustružení, vrtání na čisto	2,5-10	25
Broušení na čisto	0,6-2,5	40
Nejjemnější broušení, honování, lapování	0,16-0,6	80
Superfinašování	0,04-0,1	90

Tab.č.2 : Souvislost mezi nosnými podíly a drsnostmi povrchů /6/.

4. Cíl práce a rámcová metodika řešení.

4.1. Cíl práce.

Nízká životnost a různé druhy vyskytujících se vad vedou v dnešní době k intenzivnímu zkoumání materiálů brzdových elementů. Účel je především zvýšit provozní spolehlivost elementů, která je druhé straně podmíněna zvýšením odolnosti proti opotřebení. Toto se týká jednak individuálních vlastností, ale také vlastností, které jsou vykazovány u dvojice materiálů třecích uzlů.

Moje práce je zaměřena na experimentální měření, z jejichž výsledků by bylo možno nejnadhěji a nejpřesněji zhodnotit materiál, jeho odolnost proti opotřebení popř. odlišnost dvou třecích materiálů. Součástí této práce je též návrh části konstrukce zařízení pro simulaci podmínek opotřebení materiálu brzdového obležení.

4.2. Metodika řešení.

K dosažení cíle je nutné vykonat:

- úprava vzorků materiálů používaných v stávajících brzdových uzlech ke zkouškám
- výroba třecího kotouče ke zkoušce opotřebení třením za sucha
- laboratorní zkoušky odolnosti materiálů proti opotřebení třením za sucha
- měření drsnosti opotřebovaných povrchů vzorků
- laboratorní zkoušky erozivního opotřebení
- návrh části zařízení k simulaci podmínek brzdových materiálů v kontaktu

5. Experimentální část

5.1. Laboratorní zkoušky odolnosti materiálu proti opotřebení třením za sucha.

5.1.1. Výběr materiálů a příprava vzorků.

K měření a zkouškám byly použity vzorky materiálů z n.p. Osinek Kostelec n/Orlicí. Třecí materiály pod výrobním označením Osinek Favorit (světlý) a Osinek 1391 (tmavý).

Osinek Favorit - je tvrdé lisované obložení. Obsahuje azbest středně dlouhých a velmi krátkých vláken, malé množství ostatních plniv, pojivem je novolaková pryskyřice. Je málo citlivý vůči vodě, je olejivzdorný, avšak olej podstatně snižuje třecí účinky.

Hustota: $\rho = 1900 \text{ kg.m}^{-3}$

Podmínky použití: maximální tlak 2,5 MPa

trvalé působení teploty do 200° C

krátkodobé působení teploty do 300° C

Doporučené použití: lisované obložení universální použitelnosti s nižšími třecími účinky, pro nižší mechanické a teplotní namáhání. Je nejvhodnější pro tvarově složité výrobky. Vyrábí se v tloušťkách 3 - 16 mm jako kotouče, lamely a ozuby, segmentové obložení, obložení brzdových čelistí, desky a jiné tvarové výlisky.

Osinek 1391 - je tvrdé lisované obložení. Obsahuje azbest středně dlouhých vláken, kovovou přísadu, minerální plnidla, pojivem je novolaková modifikovaná pryskyřice. Je tepelně upravený. Je málo citlivý vůči vodě, je olejivzdorný, avšak olej podstatně snižuje jeho třecí účinky.

Hustota: $\rho = 2060 \text{ kg.m}^{-3}$

Podmínky použití: maximální tlak 2,5 MPa

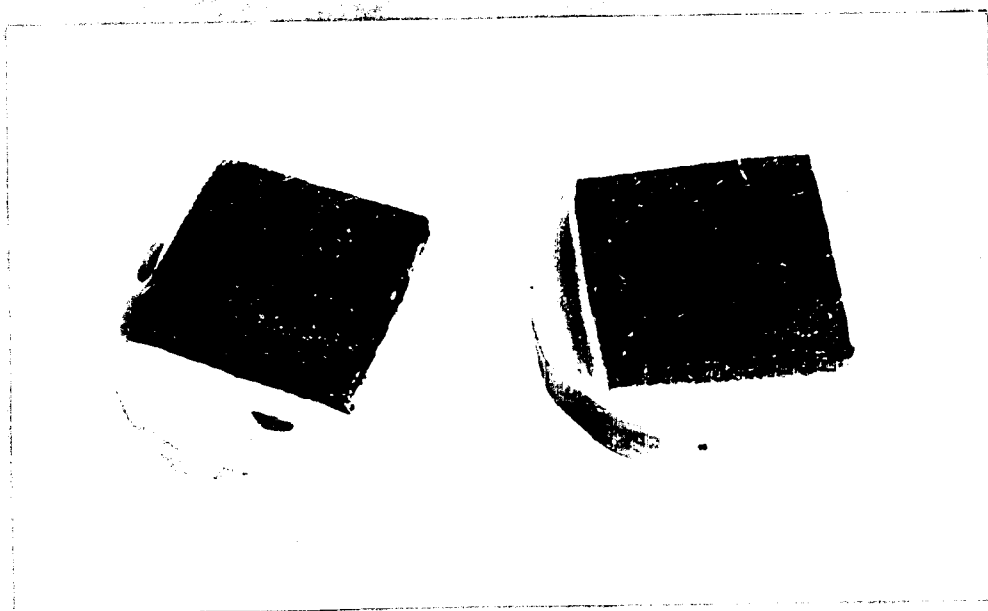
trvalé působení teploty do 300° C

krátkodobé působení teploty do 400° C

Doporučené použití: čelistové brzdy nákladních vozidel, autobusů, přívěsů a pod., s obloukem do 60° a tloušťky 12 - 20 mm.

Z uvedených materiálů byly připraveny vzorky pro experimentální měření. Byly nařezány na pásové pile na rozměr 25 x 25 mm a zality do dentacrylu.

Funkční plocha vzorku je $6,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.



Obr.č.12 : Vzorek pro zkoušku třením: osínek P (světlý)

osínek 1391 (tmavý)

Brzdové bubny se dříve vyráběly ze šedé litiny ČSN 42 2425. Nyní se používají bubny z temperované litiny ČSN 42 2547.

Její tvrdost je HB = 200, pevnost v tahu $R_m = 470 \text{ MPa}$.

Z materiálových důvodů byl pro naši zkoušku k dispozici pouze materiál ocel ČSN 41 1373.

11 373 : C = max 0,22 %

$R_m = 363 - 441 \text{ MPa}$

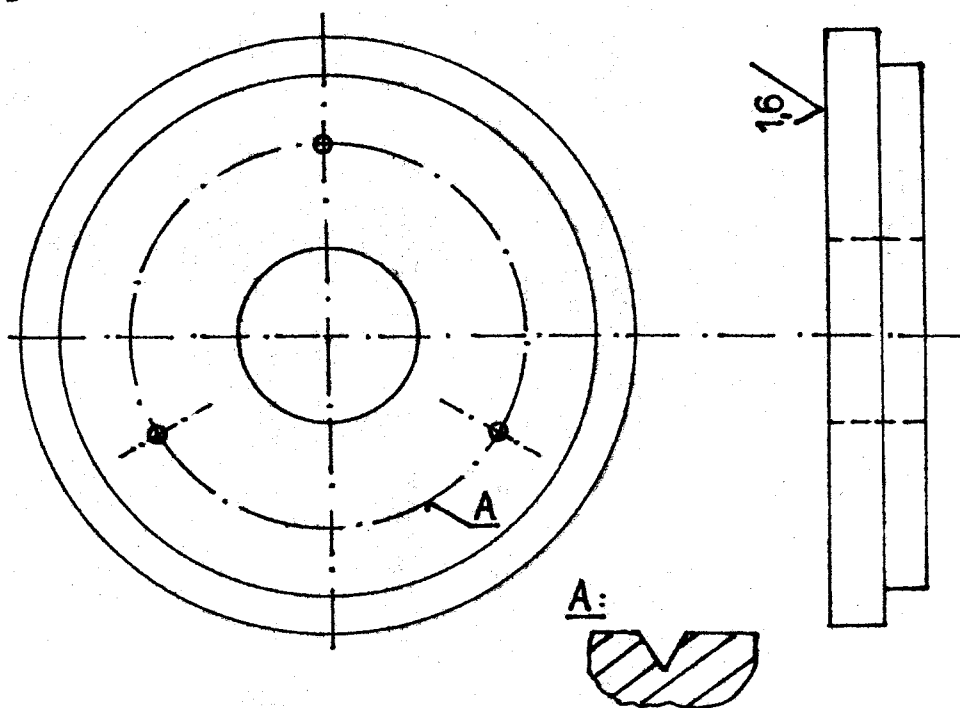
P = max 0,05 %

$R_e = 235 \text{ MPa}$

S = max 0,05 %

tepelně nezpracovaná

Z tohoto materiálu 11 373 byl vysoustružen kotouč pro naši potřebu. Nahrazuje brzdový buban.



Obr.č.13 : Třecí kotouč.

5.1.2. Použité zařízení - vlastní měření.

K laboratorní zkoušce bylo použito náhradní zařízení MONTASUPAL (NDR) neboť z konstruované zařízení ve vývojových dílnách VŠST Liberec nebylo ještě z technických důvodů provozuschopné. Toto náhradní zařízení je určeno k leštění a broušení, ale po úpravě a doplnění plně vyhovuje našim požadavkům a potřebám.

Popis: Zařízení se skládá z hnacího hřídele a desky, která má tři unášecí kolíky. Na tuto desku se nasadí vyrobený třecí kotouč. Takto je imitován brzdový buban automobilu. Vzorky osin-
ků jsou volně zasazeny v otvorech 4 věnců vždy po 3 kusech. Lze tedy zkoušet až 12 vzorků najednou. Věnce se vzorky jsou přidržovány na rotujícím třecím kotouči výkyvnými rameny. V horní části věnce je osazení k umístění závaží, které

imitují přítlačný tlak brzdy. Hmotnost jednoho závaží je 0,85 kg a z bezpečnostních důvodů se volí zatížení 1 vánce max. 4 závažími, t.j. 3,4 kg. Zařízení Montasupal je poháněno motorem s plynulou změnou otáček během chodu a má stopky k automatickému zastavení motoru po uplynutí nastaveného času.

Popis metody měření: Vzorky jsou v otvorech vánců přítlačovány zvoleným tlakem závaží a vlivem nastavené rotace hubru se otáčejí, což zamezuje jednosměrnému opotřebení funkční plochy třecího kotouče i osinkového vzorku. Každé měření jsem prováděl při stejných podmínkách měření na 3 vzorcích a jejich naměřené hodnoty jsem průměroval, k vyloučení náhodných chyb. Opotřebení jsem vyhodnocoval na základě měření úbytku hmotnosti osinkových vzorků. Úbytek hmotnosti byl zjišťován vážením vzorků před zkouškou a po zkoušce na analytických vahách s citlivostí 0,0001 g. Úbytek hmotnosti třecího kotouče jsem nezjišťoval. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tabulkách a pro názornost i v grafickém vyjádření.

Provedl jsem tři typy zkoušek pro oba osinky a 1 třecím kotoučem (materiál 11 373).

- Závislosti: 1) $\Delta m = \Delta m(t)$ tab.č.3 obr.č.14
 2) $\Delta m = \Delta m(p)$ tab.č.4 obr.č.15
 3) $\Delta m = \Delta m(n)$ tab.č.5 obr.č.16

V závislosti $\Delta m = \Delta m(p)$ byla hmotnost závaží přepočítána

na plochu vzorků: plocha 3 vzorků $S = 18,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

1 závaží $G = F = 0,85 \text{ kg} \dots 454 \text{ Pa}$

2 závaží $G = 1,7 \text{ kg} \dots 909 \text{ Pa}$

3 závaží $G = 2,55 \text{ kg} \dots 1363,5 \text{ Pa}$

4 závaží $G = 3,4 \text{ kg} \dots 1818 \text{ Pa}$

$$p = \frac{F}{S}$$

(7)

VZ.	m (g)	m ₁ (g)	Δ m ₁ (g)	φ Δ m ₁ (g)	m ₂ (g)	Δ m ₂ (g)	φ Δ m ₂ (g)	m ₃ (g)	Δ m ₃ (g)	φ Δ m ₃ (g)	m ₄ (g)	Δ m ₄ (g)	φ Δ m ₄ (g)
1	22,411922	41120,0007			22,40450,0074			22,39300,0189			22,36180,0501		
2	21,021421	02080,00060	00054	00054	21,01500,00640	0005	0005	21,00320,01820	0167	0167	20,98060,04080	0409	0409
3	19,916219	91590,0003			19,91500,0012			19,90320,0130			19,88430,0219		

Tab. 8.3 : osinek F, n=834ot/min, p=1818Pa, kotouč 11373

m₁...po 300s
m₂...po 900s
m₃...po 1800s
m₄...po 3600s

VZ.	m (g)	m ₁ (g)	Δ m ₁ (g)	φ Δ m ₁ (g)	m ₂ (g)	Δ m ₂ (g)	φ Δ m ₂ (g)	m ₃ (g)	Δ m ₃ (g)	φ Δ m ₃ (g)	m ₄ (g)	Δ m ₄ (g)	φ Δ m ₄ (g)
1	20,954220	95330,0009			20,92300,0312			20,91060,0436			20,89270,0615		
2	19,496919	49570,00120	0010	0010	19,48550,01150	0202	0202	19,47640,02050	0309	0309	19,47300,02390	0407	0407
3	21,343121	34220,0009			21,32530,0178			21,31440,0287			21,30630,0368		

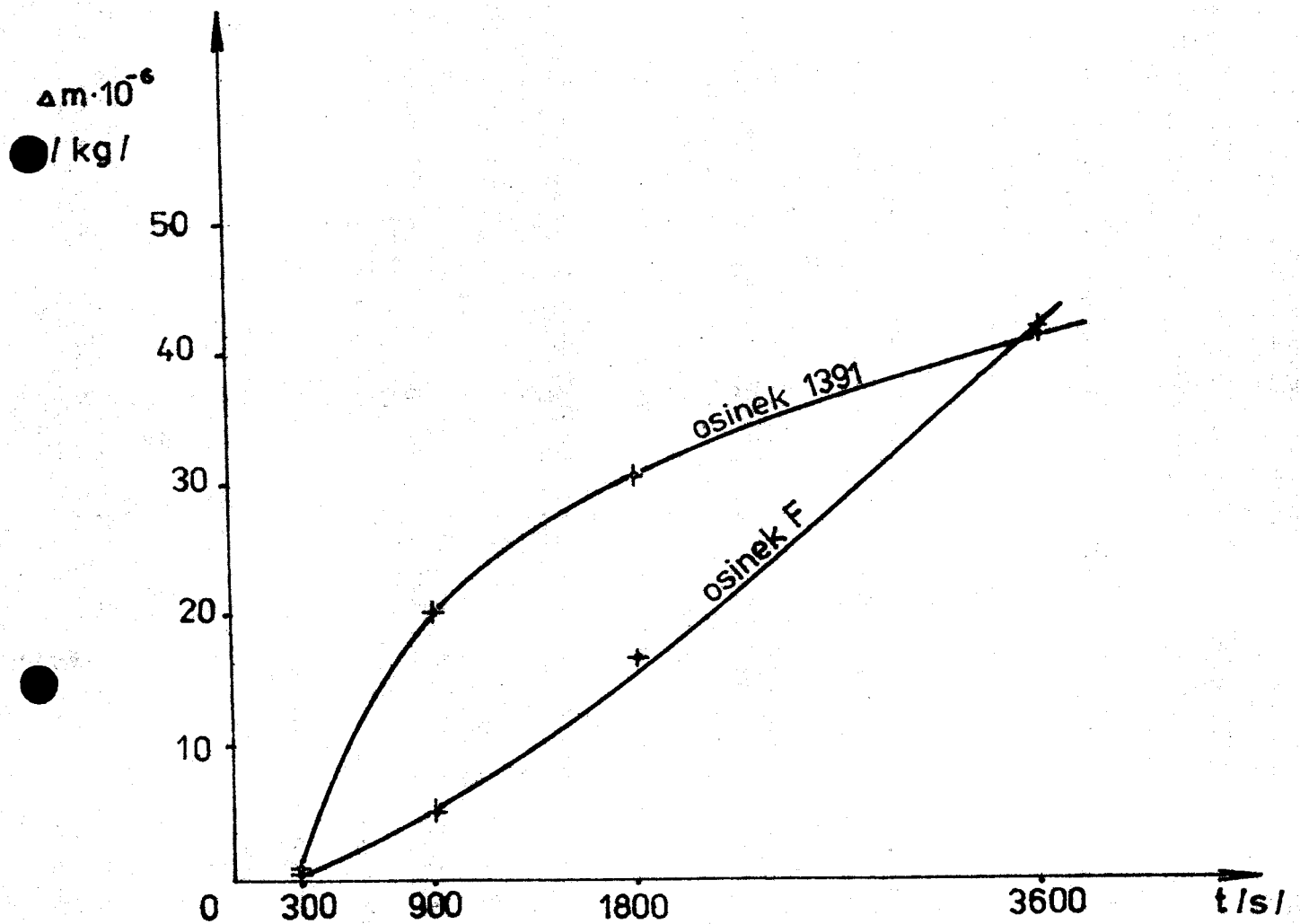
m₁...po 300s
m₂...po 900s
m₃...po 1800s
m₄...po 3600s

Tab. 8.4 : osinek 1391, n=834ot/min, p=1818Pa, kotouč 11373

$n = 834 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$

$p = 1818 \text{ Pa}$

kotouč 11 373



Obr.č.14 : $\Delta m = \Delta m(t)$, tab.č.3,4

osinek 1391 - tmavý

osinek F - světlý

VZ.	m (g)	m_1 (g)	Δm_1 (g)	$\phi \Delta m_1$ (g)	m_2 (g)	Δm_2 (g)	$\phi \Delta m_2$ (g)	m_3 (g)	Δm_3 (g)	$\phi \Delta m_3$ (g)
1	20,931220	92330,0079			20,92290,0004			20,92230,0006		
2	20,874720	87300,00170,0046			20,87210,00090,0006			20,87190,00020,0003		
3	20,794820	79050,0043			20,79000,0005			20,78990,0001		

$m_1 \dots$ při 1818Pa
 $m_2 \dots$ při 1563,5Pa
 $m_3 \dots$ při 909Pa

Tab. č. 5 : osinek F, $t=900s$, $n=834 \text{ ot/min}$, kotouč 11373

VZ.	m (g)	m_1 (g)	Δm_1 (g)	$\phi \Delta m_1$ (g)	m_2 (g)	Δm_2 (g)	$\phi \Delta m_2$ (g)	m_3 (g)	Δm_3 (g)	$\phi \Delta m_3$ (g)
1	21,243821	24270,0011			21,24220,0005			21,24170,0005		
2	22,003522	00240,00110,0011			22,00200,00040,0006			22,00170,00030,0005		
3	19,753019	75190,0011			19,75100,0009			19,75030,0007		

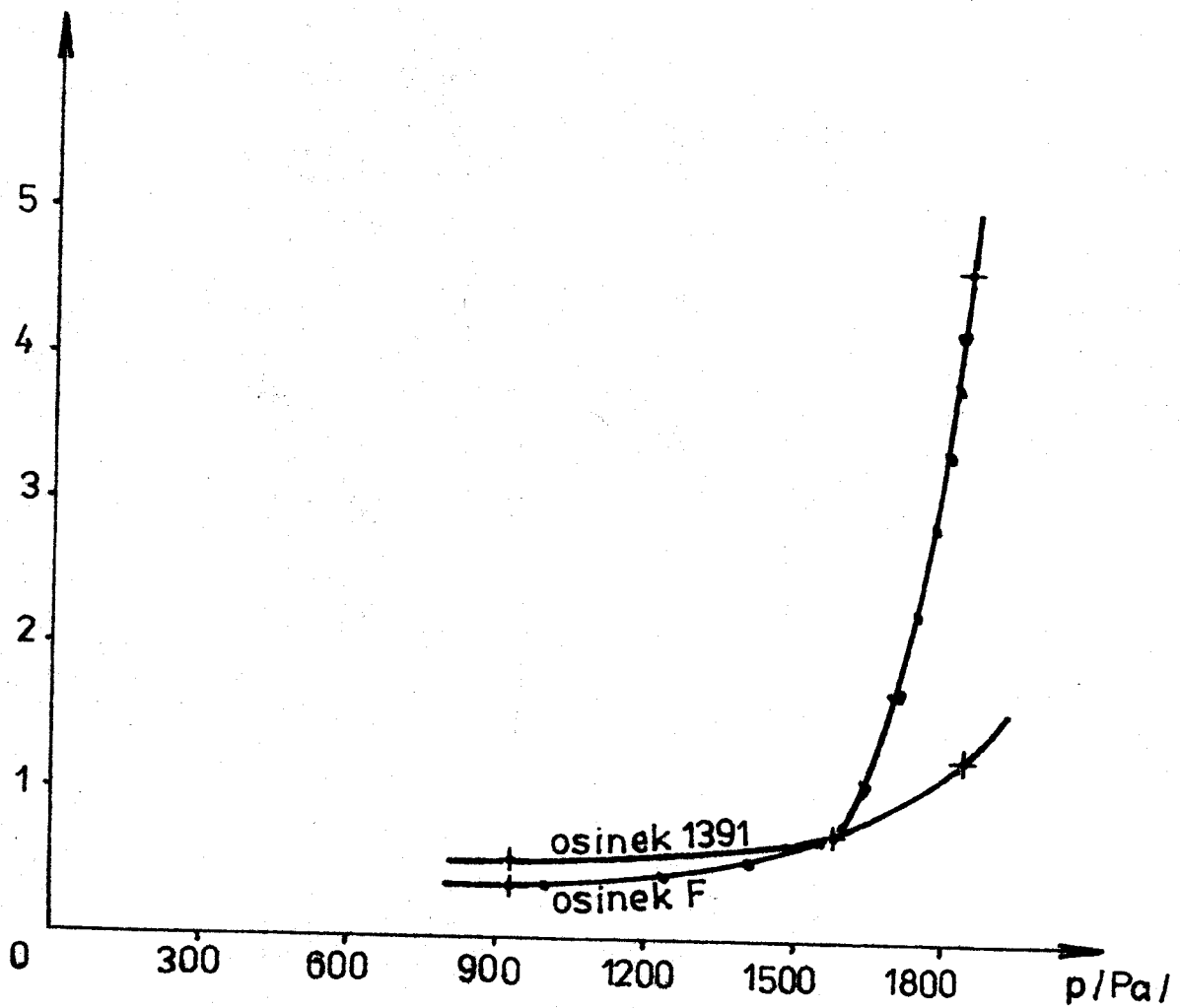
$m_1 \dots$ při 1818Pa
 $m_2 \dots$ při 1563,5Pa
 $m_3 \dots$ při 909Pa

Tab. č. 6 : osinek I391, $t=900s$, $n=834 \text{ ot/min}$, kotouč 11373

$t=900\text{ s}$

$n=834\text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$

kotouč 11373



Obr.č.15 : $\Delta m = \Delta m(p)$, tab.č.5,6

osinek 1391 - tmavý

osinek F - světlý

vz.	m (g)	m_1 (g)	Δm_1 (g)	$\phi \Delta m_1$ (g)	m_2 (g)	Δm_2 (g)	$\phi \Delta m_2$ (g)	m_3 (g)	Δm_3 (g)	$\phi \Delta m_3$ (g)
1	20,191520	18360,0079			20,18230	0013		20,18150	0008	
2	20,404720	40220,00250	0066		20,40000	00220	0015	20,39870	00130	00113
3	19,642819	63330,0095			19,63230	0010		19,63100	0013	

$m_1 \dots$ při 834ot/min
 $m_2 \dots$ při 500ot/min
 $m_3 \dots$ při 300ot/min

Tab.č.7 : osinek F, t=900s, p=1818Pa, kotouč 11373

vz.	m (g)	m_1 (g)	Δm_1 (g)	$\phi \Delta m_1$ (g)	m_2 (g)	Δm_2 (g)	$\phi \Delta m_2$ (g)	m_3 (g)	Δm_3 (g)	$\phi \Delta m_3$ (g)
1	19,983819	97540,0084			19,97360	0018		19,97220	0014	
2	19,503219	49520,00800	0082		19,49290	00230	00166	19,49000	00190	00149
3	21,11721	10350,0082			21,10260	0009		21,10150	0011	

$m_1 \dots$ při 834ot/min
 $m_2 \dots$ při 500ot/min
 $m_3 \dots$ při 300ot/min

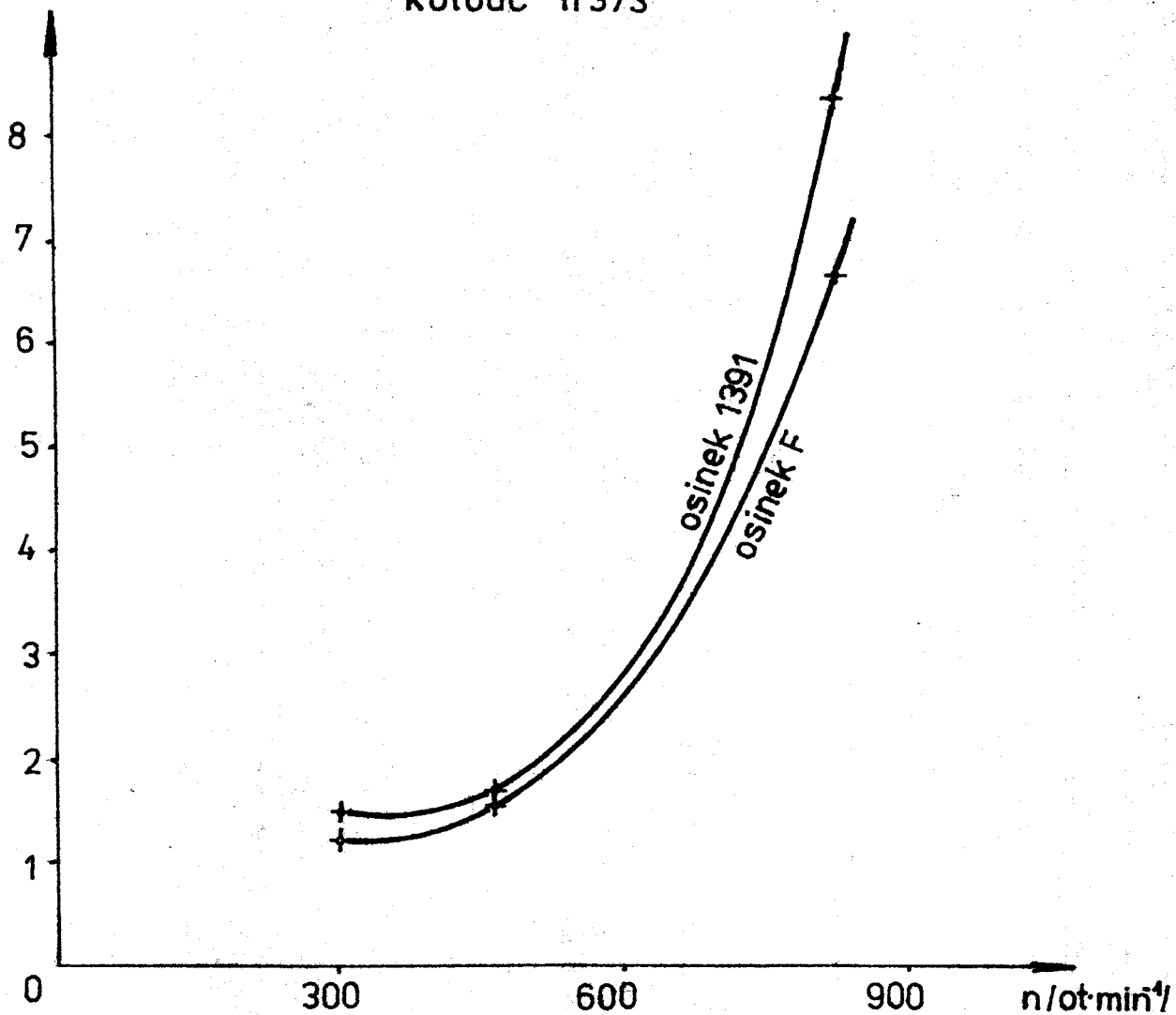
Tab.č.8 : osinek 1391, t=900s, p=1818Pa, kotouč 11373

$t=900\text{ s}$

$p=1818\text{ Pa}$

kotouč 11373

$\Delta m \cdot 10^{-6}$
/kg/



Obr.č.16 : $\Delta m = \Delta m(n)$, tab.č.7, 8

osinek 1391 - tmavý

osinek F - světlý

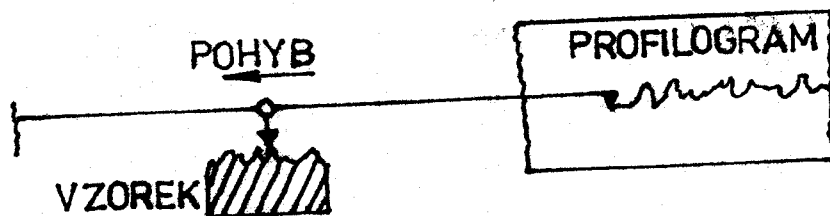
5.1.3. Měření drsnosti funkční plochy vzorků.

U používaných vzorků byl zkoumán profil a vyhodnocovány změny vzniklé na povrchu po určitém čase zkoušky, zatížení a otáčkách třecího bubnu. K tomuto bylo použito zařízení dílen VŠST Liberec HOMMEL-WERKE TESTER - typ T3 (NSR): přístroj na kontrolu jakosti povrchu podle dotykové průsečné metody (Ritterova metoda) se zesilovačem nosné frekvence a s elektroinduktivním snímačem.

Byly zjištěny následující veličiny zkoumaného povrchu podle systému M, DIN 4762:

R_t - max. výška nerovnosti (R_{max}) / μm /

R_a - střední aritmetická odchylka / μm /



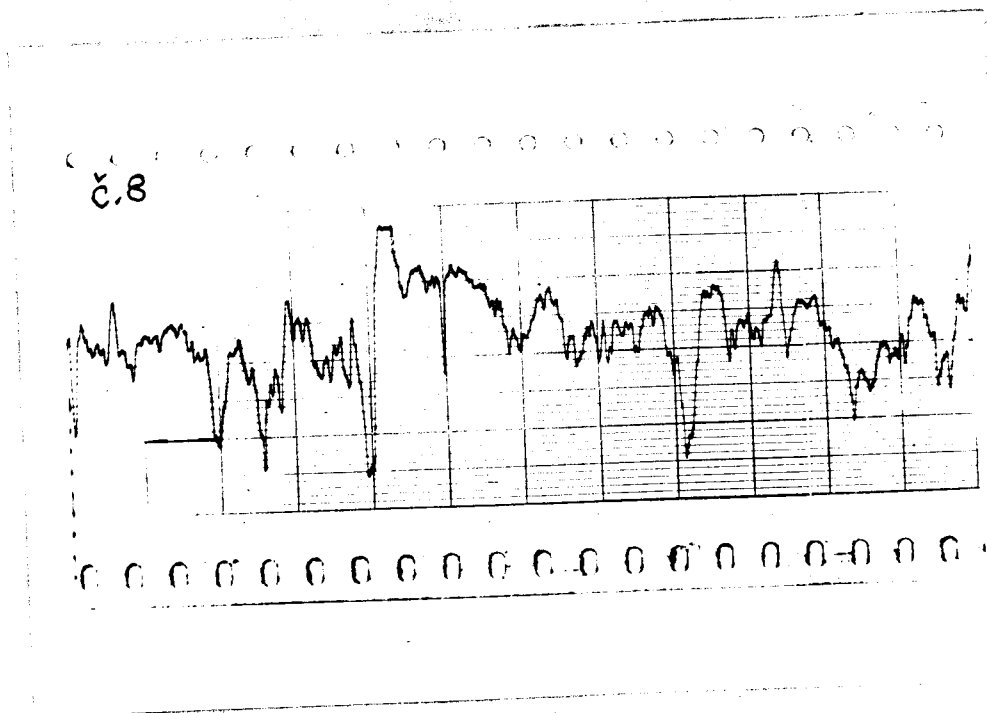
Obr.č.17 : Schéma záznamů profilu funkční plochy vzorku.

Výsledky měření jsou uvedeny v následujících grafických záznamech a doloženy naměřenými hodnotami.

Obr.č.18, 19, 20 - pro osinek F (světlý)

Obr.č.21, 22, 23 - pro osinek 1391 (tmavý)

Pro názornost a srovnatelnost bylo použito stejného zvětšení ve vertikálním i horizontálním směru u každého druhu osínku.



Obr. 8.18 : Osinek F (světly)

Vzorek nepotřebovaný (nepoužitý)

Čas zkoušky $t/a/$: $t = 0$

Dotyková dráha = 6,3 mm

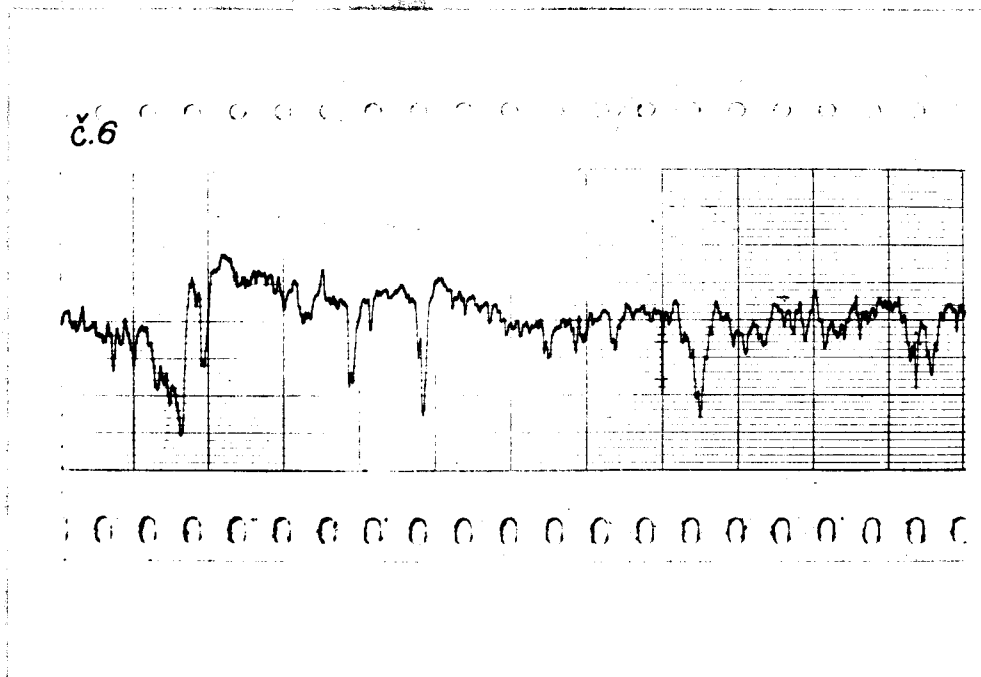
CUT - OFF (olona) = 2,2 mm

Horizontální zvětšení 10 mm \sim 300 μ m

Vertikální zvětšení 10 mm \sim 3 μ m

Změřené hodnoty: $R_a = 1,4 \mu$ m

$R_t = 12 \mu$ m



Obr.č.19 : Osinek F (světlý)

Čas zkoušky $t = 900$ s

Otáčky třecího bubnu $n = 834$ ot . min⁻¹

Zatížení $p = 1818$ Pa

Dotyková dráha = 6,3 mm

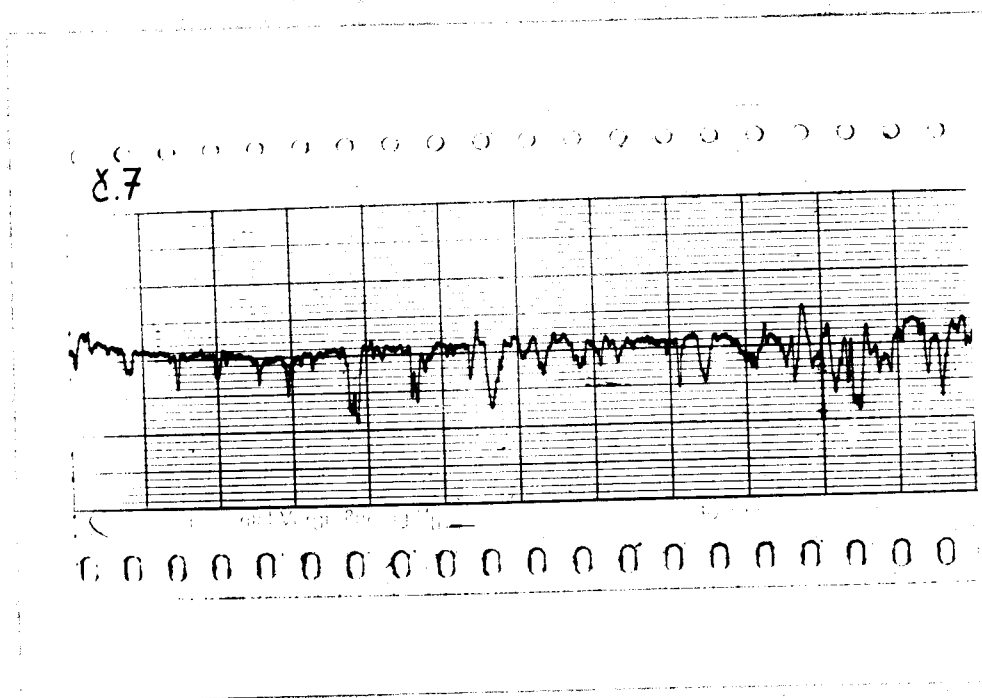
CUT - OFF (elona) = 2,2 mm

Horizontální zvětšení 10 mm ~ 300 μ m

Vertikální zvětšení 10 mm ~ 3 μ m

Změřené hodnoty: $R_a = 0,8$ μ m

$R_t = 7,8$ μ m



Obr. 8.20 : Osinek F (světly)

Čas zkoušky $t = 2700$ s

Otáčky třecího bubna $n = 834$ ot . min⁻¹

Zatížení $p = 1818$ Pa

Dotyková dráha = 6,3 mm

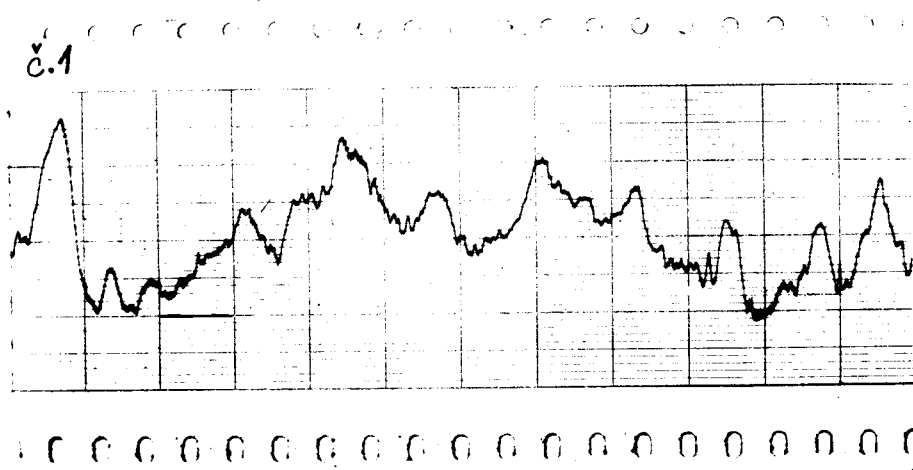
CUT - OFF (clona) = 2,2 mm

Horizontální zvětšení 10 mm $\sim 300 \mu m$

Vertikální zvětšení 10 mm $\sim 3 \mu m$

Změřené hodnoty : $R_a = 0,7 \mu m$

$R_t = 6,8 \mu m$



Obr.č.21 : Osinek 1391 (tmavý)

Vzorek neopotřebovaný (nepoužitý)

Čas zkoušky t /s/ : t = 0

Dotyková dráha = 6,3 mm

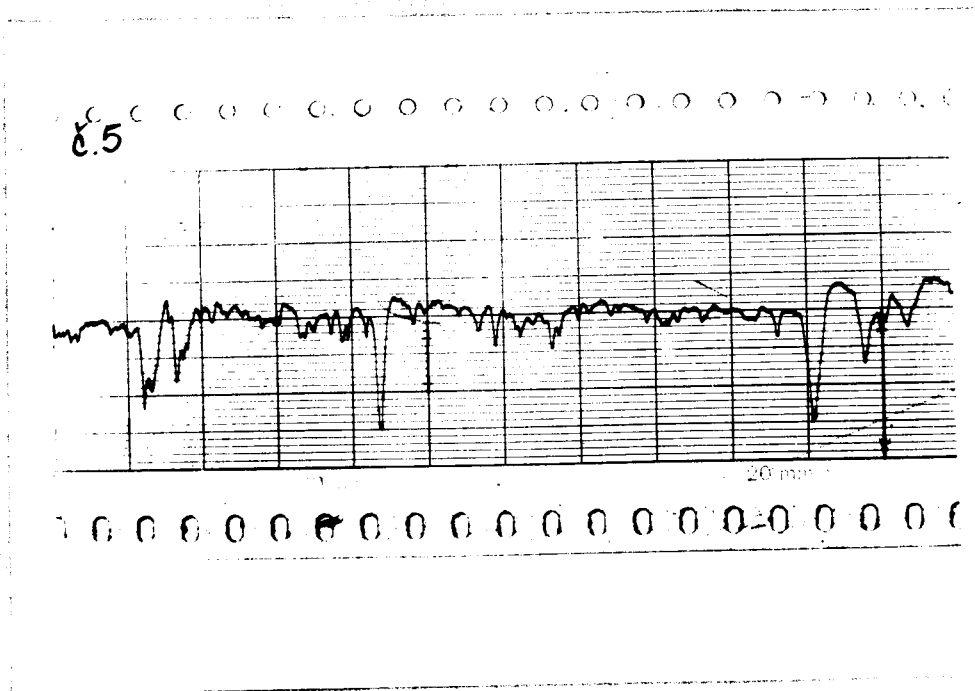
CUT - OFF (olona) = 2,5 mm

Horizontální zvětšení 10 mm \sim 300 μ m

Vertikální zvětšení 10 mm \sim 10 μ m

Změřené hodnoty : Ra = 4,2 μ m

Rt = 28 μ m



Obr. 8.22 : Osinek 1391 (tmavý)

Čas zkoušky $t = 900$ s

Otáčky třecího bubnu $n = 834$ ot. min^{-1}

Zatížení $p = 1818$ Pa

Dotyková dráha $= 6,3$ mm

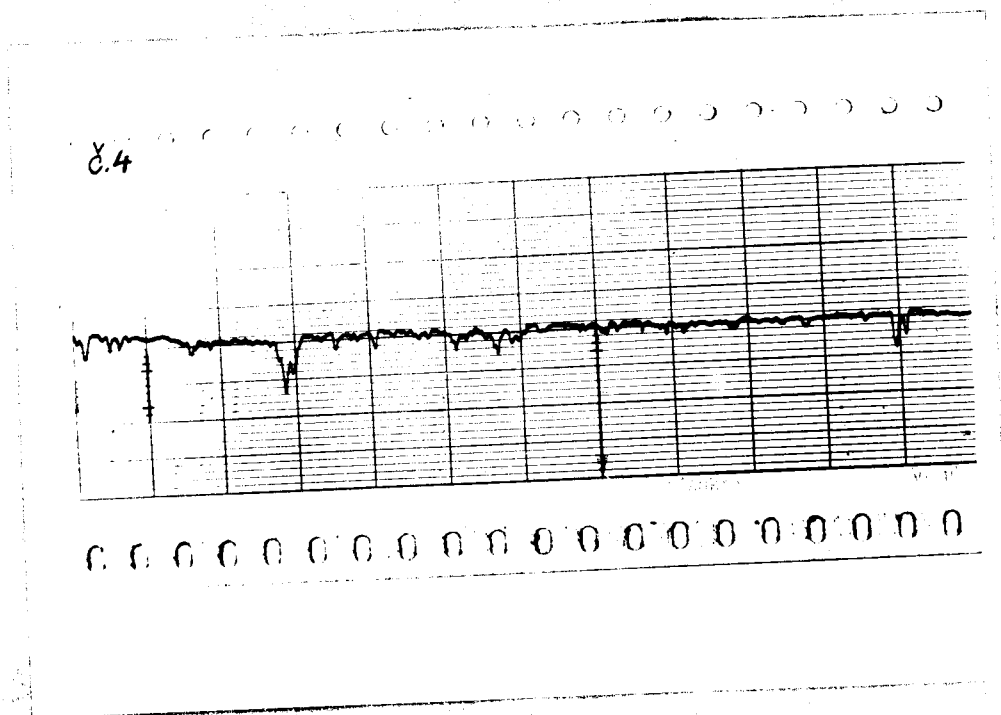
CUT - OFF (clona) $= 2,5$ mm

Horizontální zvětšení 10 mm ~ 300 μm

Vertikální zvětšení 10 mm ~ 10 μm

Změřené hodnoty : $R_a = 2,1$ μm

$R_t = 20,5$ μm



Obr.č.23 : Osinek 1391 (tmavý)

Čas zkoušky $t = 2700$ s

Otáčky třecího bubnu $n = 834$ ot . min^{-1}

Zatížení $p = 1818$ Pa

Dotyková dráha = $6,3$ mm

CUT - OFF (olona) = $2,5$ mm

Horizontální zvětšení 10 mm ~ 300 μ m

Vertikální zvětšení 10 mm ~ 10 μ m

Změřené hodnoty : $R_a = 1,5$ μ m

$R_t = 20$ μ m

5.1.4. Vyhodnocení zkoušky třením.

Cílem zkoušek třením za sucha bylo dosáhnout co nejlepšího rozlišení třecích materiálů - osinku F a osinku 1391.

Ze závislosti $\Delta m = \Delta m(t)$ je nejlépe viditelná odlišnost třecích vlastností obou použitých materiálů. Z obrázku č.14 lze usoudit, že úbytek hmotnosti osinku F s časem je přibližně lineární a roste strměji než úbytek hmotnosti osinku 1391. Otěr obou osinek zjištěný experimentem odpovídá počáteční fázi opotřebení, t.j. odstraňují se povrchové nerovnosti na funkčním povrchu. Je zřejmé, že osinek 1391 má kratší dobu záběhu než osinek F. Je to důsledek povrchové vrstvy vzniklé epékáním osinku při výrobě. Tvrdší povrchová vrstva osinku F se odstraňuje pomaleji a tedy záběh je delší.

Další dvě závislosti $\Delta m = \Delta m(p)$ a $\Delta m = \Delta m(n)$ již tak viditelně nerozlišují oba materiály, i když rozdíl je patrný. Závislost $\Delta m = \Delta m(p)$ potvrzuje, že hmotnostní úbytek u osinku F je větší. Průběh závislosti $\Delta m = \Delta m(n)$ je u obou materiálů téměř shodný. Další pozorování bylo provedeno při měření drsnosti funkční plochy vzorků. Grafický záznam přístroje a hodnoty R_a , R_t dokumentují jaké změny probíhají na povrchu vzorku. Porovnáním obr.č.18, 19, 20 a obr.č.21, 22, 23 vidíme jak se snižují hodnoty R_a a R_t a jak roste noaný podíl t_p v %.

U osinku F v čase $t = 0$: $R_a = 1,4 \mu m$, $R_t = 12 \mu m$

$t = 2700s$: $R_a = 0,7 \mu m$, $R_t = 6,8 \mu m$

U osinku 1391 v čase $t = 0$: $R_a = 4,2 \mu m$, $R_t = 28 \mu m$

$t = 2700s$: $R_a = 1,5 \mu m$, $R_t = 20 \mu m$

Hlubší teoretické zdůvodnění získaných výsledků experimentu vyžaduje podrobnější zkoumání mechanismu opotřebení

materiálů jako procesu diskretního děje u zkoušek materiálu v závislosti na jejich vlastnostech a strukturní stavbě . Při hodnocení experimentálních metod je důležité posuzovat s ohledem na vlastnosti třecí dvojice (podložky a zkoušeného materiálu).

5.2. Zkoušky erozivního opotřebení.

Typickým jevem eroze je nerovnoměrné porušení funkčního povrchu - zvlňnění, je způsobeno vlivem turbulence proudícího média, při němž mohou být oddělovány částice materiálu v určitých exponovaných místech i z nejnižších míst povrchu. Erozivita se dá využít i ve výzkumu složitých mechanických materiálů i při jejich hodnocení proti opotřebení.

Ovlivňující faktory: relativní rychlost, teplota a chemické působení média, druh, velikost, tvar a tvrdost částic, kinetická energie a úhel dopadu na funkční povrch.

a/ Šikmý dopad - částice má dostatečnou energii, vnikne do povrchu, částečně materiál vytlačí nebo oddělí.



b/ Kolmý dopad - pružně, nebo plasticky deformuje částice povrch a odráží se zpět.



Erozivitu kvantifikujeme úbytkem hmotnosti materiálu Δm způsobenou jednotkovým množstvím tryskaného abrazivního materiálu M .

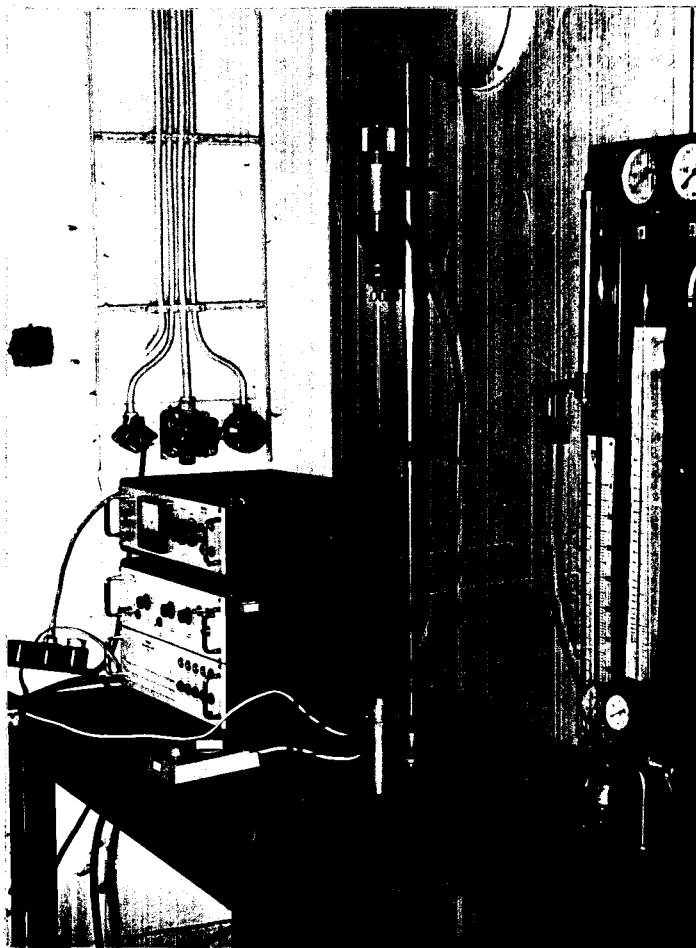
Objemovou erozivitu definujeme: $E_v = \frac{dV}{dm} \text{ /m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}/$ (8)

Časovou erozivitu představuje vlastně rychlost úběru materiálu při otryskávání $E_t = \varphi \cdot E_v$ (9)

5.2.1. Vzorky - použité zařízení - zkoušky erozivního opotřebení.

Ke zkoušce erozivního opotřebení byly použity vzorky oceli F (světlý) a 1391 (tmavý) a dále vzorky šedé litiny 42 2425 používané jako materiál brzdových bubnů.

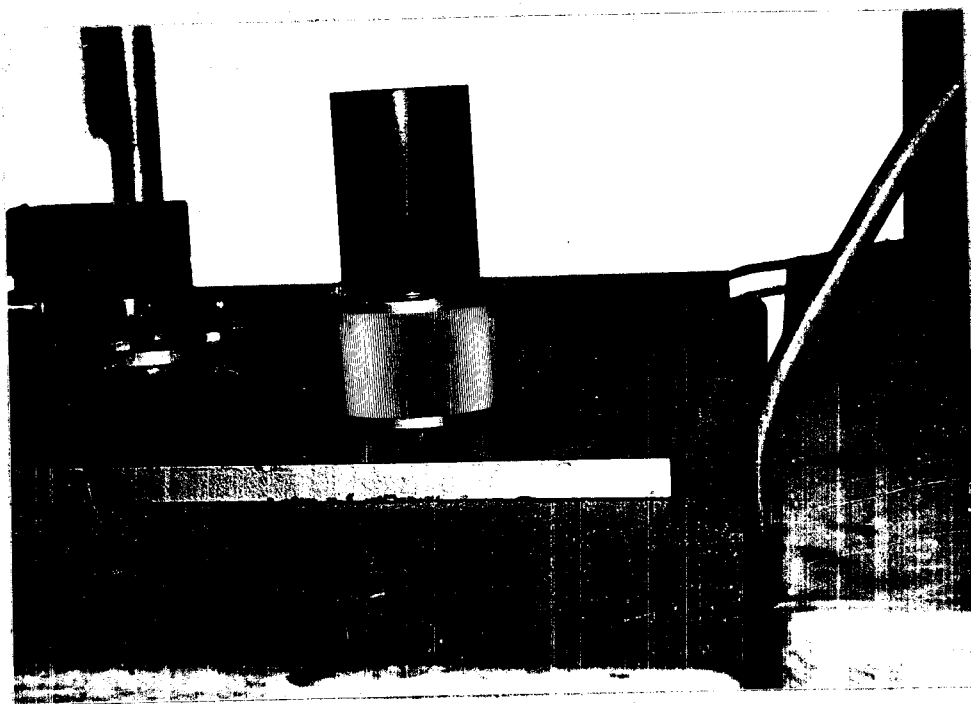
Erozivitu jsme měřili na tryskacím zařízení, které bylo navrženo v práci /19/ a realizováno v práci /20/.



Obr. 8.24 : Tryskací zařízení s uzavřeným okruhem tryskání.

Pro přesnější vyhodnocení měření je výhodné uzavřený okruh trykání přerušit a prášek, který padá z trykací komory do zásobníku kvantitativně zachytit. Takto získáme veličinu M vážením podstatně přesněji. Vážení trykacího brusného prášku bylo provedeno na laboratorních vahách s přesností 0,01 g a úbytek hmotnosti Δm na analytických vahách s přesností 0,0001 g.

Použité vzorky byly uchyceny v nástavci s plynulou změnou úhlu dopadu částic.



Obr. 8.25 : Nástavec s plynulou změnou úhlu dopadu částic.

K tryskání bylo použito prášku SiC 150 zelený, který byl tryskán pod tlakem 0,3 MPa. Rychlost částic byla stanovena v práci /21/ a při uvedeném tlaku je $36,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Měrná hmotnost vzorku :

$$\text{osinek 1391 } \rho = 2060 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{osinek F } \rho = 1900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Měřili jsme závislost úbytku hmotnosti na úhlu dopadu částic, závislost úbytku hmotnosti na čase a závislost úbytku hmotnosti na množství tryskaného prášku.

Výsledky objemové erozivity $E_v / \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ jsou získány s dostatečnou přesností a zpracovány odpovídající výpočetní technikou.

vz.	t / s /	$m_1 / \text{g} /$	$m_2 / \text{g} /$	$\Delta m / \text{g} /$	$M_1 / \text{g} /$	$M_2 / \text{g} /$	$\Delta M / \text{g} /$
1	120	41,4478	41,4475	0,0003	817,5	907,13	89,63
2	240	41,9800	41,9789	0,0011	817,5	991,15	174,05
3	360	41,8445	41,8427	0,0018	817,5	1108,95	291,45
4	480	42,1602	42,1370	0,0032	817,5	1320,61	503,11
5	600	42,1520	42,1463	0,0057	817,5	1504,83	687,33
6	720	41,7800	41,7728	0,0072	817,5	1754,37	936,87

Tab.č.9 : Šedá litina 42 2425

vz.	t / s/	$m_1 / \text{g/}$	$m_2 / \text{g/}$	$\Delta m / \text{g/}$	$M_1 / \text{g/}$	$M_2 / \text{g/}$	$\Delta M / \text{g/}$
1	120	11,4934	11,4839	0,0095	817,5	931,34	113,84
2	240	12,0345	11,9987	0,0358	817,5	1040,95	223,45
3	360	11,5668	11,4502	0,1166	817,5	1347,19	529,69
4	480	11,8299	11,6847	0,1355	817,5	1515,33	697,83
5	600	11,1260	10,9962	0,1798	817,5	1638,67	821,17
6	720	11,4822	11,2720	0,2102	817,5	1784,58	967,08

Tab.č.10 : Osinek 1391 (tmaavý)

vz.	t / s/	m ₁ / g/	m ₂ / g/	Δm / g/	M ₁ / g/	M ₂ / g/	ΔM / g/
1	120	12,0674	12,0490	0,0184	817,5	967,74	150,24
2	240	11,4462	11,3945	0,0517	817,5	1080,05	262,55
3	360	12,5078	12,3943	0,1135	817,5	1269,55	452,15
4	480	11,6333	11,4650	0,1683	817,5	1486,65	669,15
5	600	12,2874	12,0633	0,2241	817,5	1582,25	769,75
6	720	11,6303	11,3439	0,2864	817,5	1793,95	976,45

Tab. 8.11 : Osinek FAVORIT (světlý)

vz.	d/deg	m ₁ /g	m ₂ /g	Δm/g	M ₁ /g	M ₂ /g	ΔM/g	Dv /m ³ .kg ⁻¹
1	90	11,9325	11,5054	0,4271	817,5	1520,02	702,52	3,2391.10 ⁻⁵
2	80	12,4325	12,0500	0,3825	817,5	1597,50	780,00	3,6126.10 ⁻⁵
3	70	12,2135	11,6318	0,5817	817,5	1593,00	775,50	3,9963.10 ⁻⁵
4	60	12,3963	11,9326	0,4637	817,5	1594,50	777,00	3,1794.10 ⁻⁵
5	50	11,9317	11,4631	0,4686	817,5	1658,00	840,50	2,9703.10 ⁻⁵
6	40	12,1862	11,7364	0,4498	817,5	1662,00	844,50	2,3376.10 ⁻⁵
7	30	12,2006	11,9730	0,2276	817,5	1602,00	784,50	1,6654.10 ⁻⁵
8	20	12,1244	12,0003	0,1241	817,5	1603,00	785,50	8,4171.10 ⁻⁶

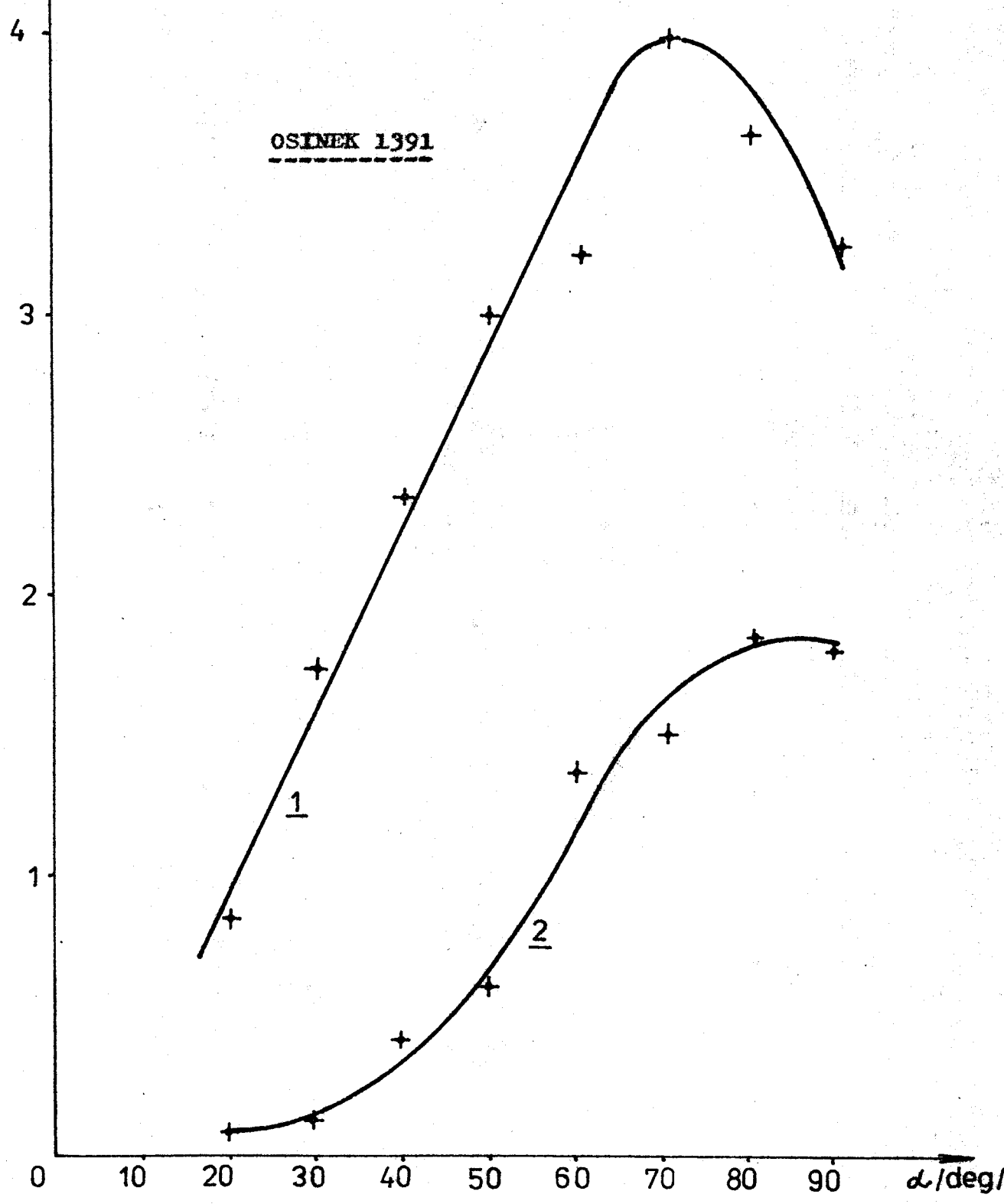
Tab.č.12 : Osinek 1391 (tuhavý), tryskaný kolmo na směr lisování

vz.	$\alpha / \text{deg.}$	$m_1 / \text{g.}$	$m_2 / \text{g.}$	$\Delta m / \text{g.}$	$M_1 / \text{g.}$	$M_2 / \text{g.}$	$\Delta M / \text{g.}$	$E_V / \text{m.KeV.}$
1	90	12,0003	11,6850	0,3153	817,5	1734,08	991,58	$1,7840 \cdot 10^{-5}$
2	80	12,9730	11,7711	0,3019	817,5	1697,45	879,95	$1,8277 \cdot 10^{-5}$
3	70	11,7364	11,4822	0,2542	817,5	1720,95	903,45	$1,4989 \cdot 10^{-5}$
4	60	11,4631	11,2260	0,2371	817,5	1763,66	946,16	$1,3350 \cdot 10^{-5}$
5	50	11,9326	11,8239	0,1087	817,5	1836,03	998,53	$5,7999 \cdot 10^{-6}$
6	40	11,6917	11,5668	0,0650	817,5	1719,99	902,99	$3,8371 \cdot 10^{-6}$
7	30	12,0500	12,0345	0,0155	817,5	1728,13	910,63	$9,0684 \cdot 10^{-7}$
8	20	11,5054	11,4934	0,0115	817,5	1779,28	961,78	$6,3701 \cdot 10^{-7}$

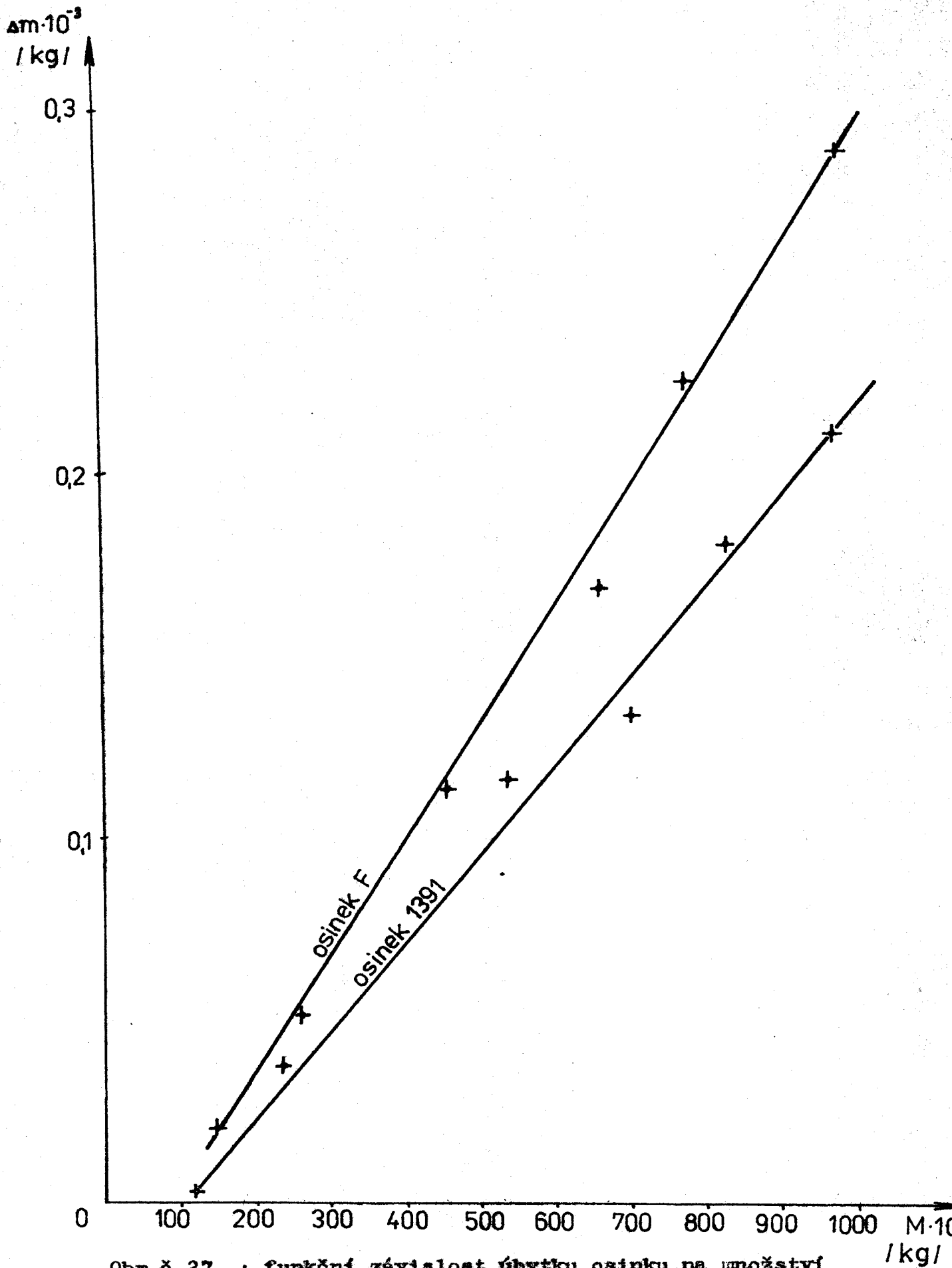
Tab. č. 13 : Osinek 1391 (tuzevý), troykaný ve směru lisování

$E_v \cdot 10^{-5}$
/m²·kg⁻¹/

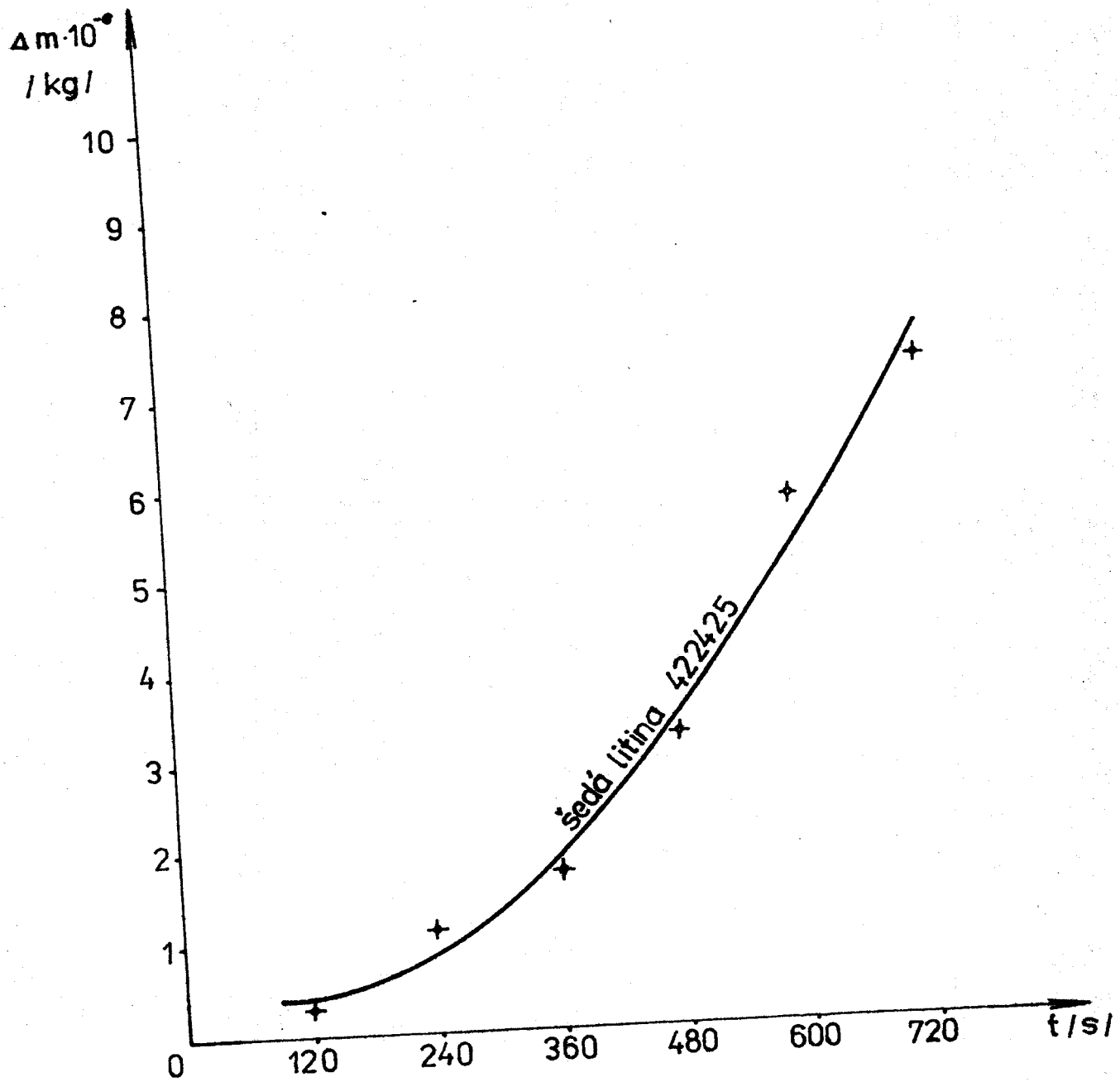
- 1- vzorek tryskaný z boku
- 2- vzorek tryskaný na plochu ve směru lisování



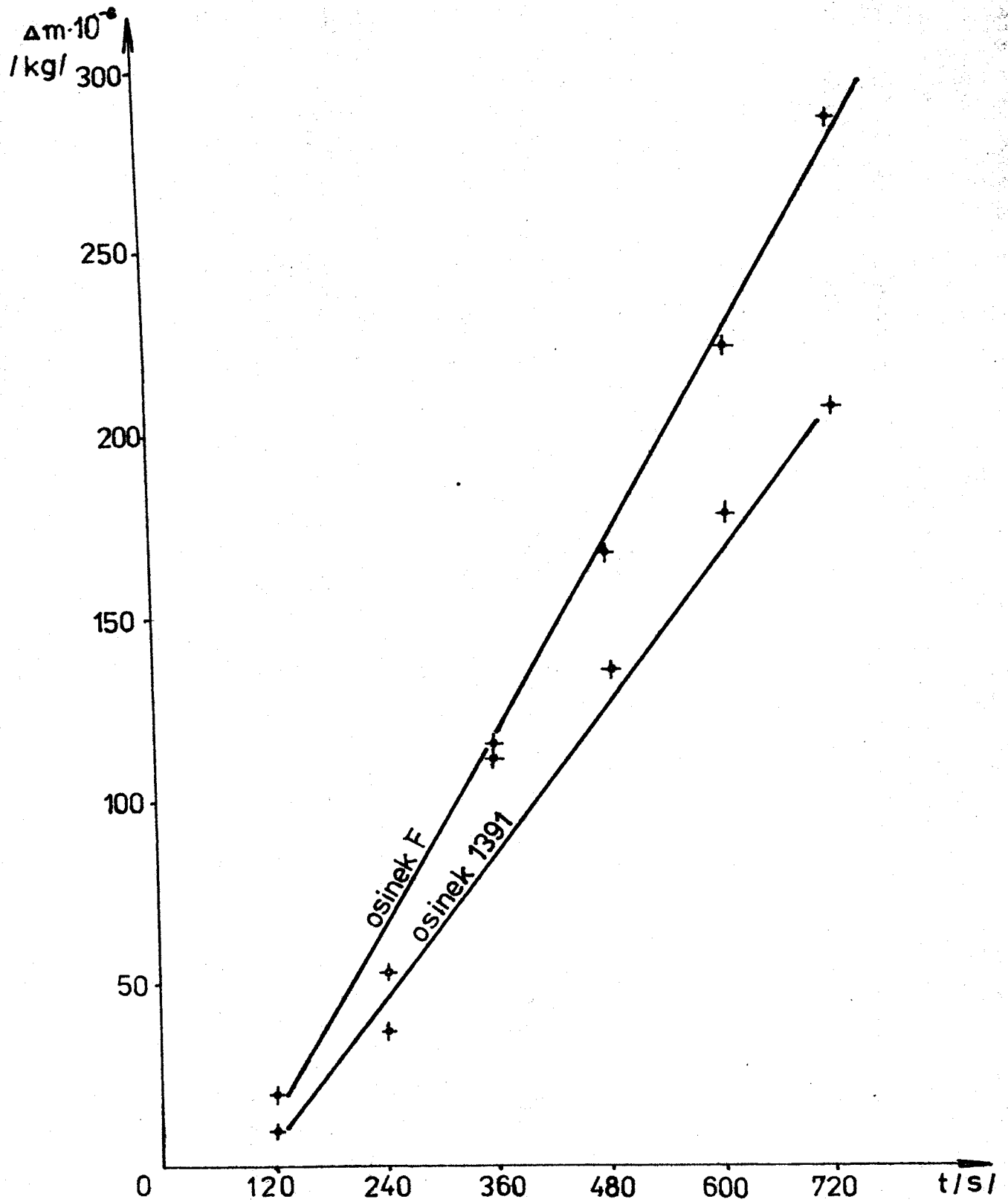
Obr. 8.26 : funkční závislost E_v na úhlu dopadu částic
brusného prášku (tab. 8.12, 13).



Obr. 8.27 : funkční závislost úbytku osínku na množství
tryskaného prášku (tab. 8.10, 11).



Obr.č.28 : funkční závislost úbytku šedé litiny 42 2425 na čase tryskání (tab.č.9).



Obr. 8.29 : funkční závislost úbytku osinek na čase tryskání (tab. 8.10, 11).

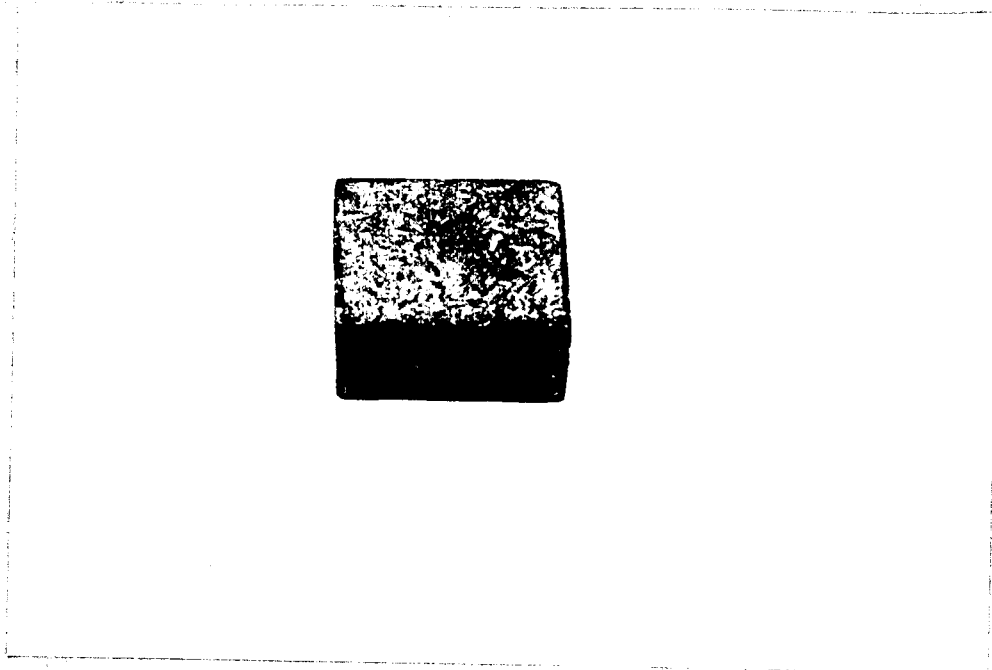
5.3. Vyhodnocení zkoušek erozivního opotřebení.

Měřením byla získána závislost $\Delta m = \Delta m ()$ obr.š.26 a tab.š.12,13, $\Delta m = \Delta m (M)$ obr.š.27 a tab.š.9,10, 11 a závislost $\Delta m = \Delta m (t)$ obr.š.28,29 a tab.š.10, 11. Ze získané závislosti hmotnostního úbytku na úhlu dopadu částic lze rozhodnout zda se jedná o křehký nebo houževnatý materiál. Protože maximum křivky leží v oblasti úhlu $\alpha = 70^\circ$ resp. 80° . Toto odpovídá experimentu, že se jedná o vzorek z houževnatého materiálu - osinek 1391 (tmavý) o měrné hmotnosti 2060 kg/m^3 .

Na základě úběru hmotnosti můžeme hodnotit obrobiteľnosť různých materiálů. Z charakteru křivek lze usoudit různé vlastnosti otryskaných osinek a šedé litiny.

Houževnatý osinek 1391 odolává erozivnímu opotřebení více než osinek F (obr.š.29). Je to způsobeno obsahem kovové přísady, která zvyšuje odolnost a tím také snižuje opotřebení materiálu. V obou grafech roste lineární závislost osinku F strměji. Osinek 1391 lze tedy použít i při vyšších teplotách (krátkodobě do 400°C), neboť vykazuje nižší hodnoty opotřebení.

Pro ilustraci je vyhodnocení zkoušek doplněno fotografií otryskaného vzorku (obr.š.30). Na obrázku je patrný otryskaný funkční povrch vzorku s vyhloubeným kráterem vzniklým erozivním působením částic tryskaného prášku SiC 150 zelený.



Obr. 8.30 : Vzorek osinku po otryskání.

6. Měření fotonové erozivní.

Pro konfrontaci výsledků odolnosti materiálů proti opotře-
bení uvádím doplňkovou zkoušku - měření fotonové erozivní.

Měření se provádělo na laserovém přístroji GTL 971 firmy
SYLVANIA USA. Přístroj je osazen příčně buzeným CO₂ laserem.
Vzorky byly ozařovány ve dvou směrech a to ve směru lisování
osinku a ve směru kolmém. Výkon laseru byl $P = 500 \text{ W}$, fokusa-
ce provedena na průměru $0,46 \text{ mm}$ (t.j. průměr světelné stopy
na povrchu materiálu). Tomu odpovídá hustota záření
 $3 \cdot 10^5 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$. Rozkladění hustoty výkonu odpovídalo TEM₀₁.
Měření se provádělo na vzduchu.

Byla změřena závislost $\Delta m = \Delta m(t)$

kde Δm ... úbytek hmotnosti materiálu/kg/
t... čas ozařování/s/

Tímto měřením byla získána časová erozivita. Výsledky
zkoušky jsou uvedeny v tab.č. 14, 15, 16, 17 a vyneseny do
grafu č. obr. 31.

t /s/	Δm /g/
5	0,159
10	0,313
15	0,455
20	0,564
25	0,739
30	0,866

tab.č.14 : osinek 1391
ozařování ve směru lisování

t /s/	Δm /g/
6	0,196
12	0,389
18	0,562
24	0,780
30	1,006

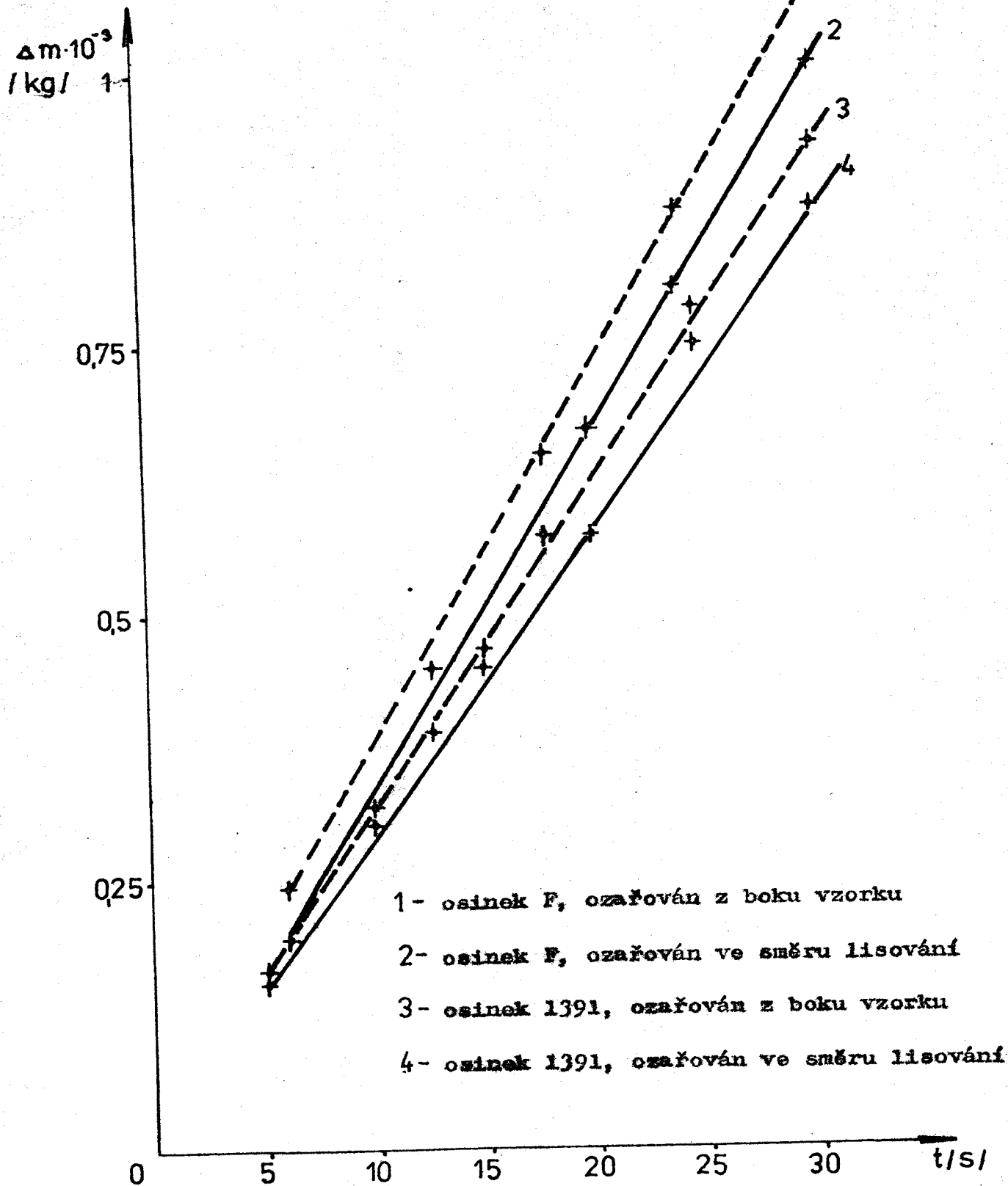
tab.č.15 : osinek F
ozařování ve směru lisování

t /s/	Δm /g/
5	0,163
10	0,307
15	0,446
20	0,664
25	0,779
30	0,923

Tab.č.16 : Osinek 1391, označovaný z boku vzorku

t /s/	Δm /g/
6	0,239
12	0,445
18	0,636
24	0,866
30	1,074

Tab.č.17 : Osinek F, označovaný z boku vzorku



Obr.č.31 : Funkční závislost úbytku hmotnosti osinek na čase ozařování (tab.č.14,15,16,17).

6.1. Vyhodnocení měření fotonové erozivity.

Výsledky zkoušky vynesené do obr.č. 31 velmi dobře rozlišují jednak oba druhy osinků a také rozdíly v úbytku hmotnosti při ozařování ve směru lisování vzorku nebo při ozařování z boku vzorku.

Z lineární závislosti $\Delta m = \Delta m(t)$ plyne, že osinek F vykazuje větší úbytek hmotnosti než osinek 1391 při stejném čase ozařování. Též úbytek při ozařování z boku je větší u obou materiálů než při ozařování ve směru lisování. Je to způsobeno povrchovou vrstvou osinku vzniklou při spékání materiálu. Tato vrstva je odolnější a proto vykazuje i nižší hodnoty opotřebení.

S touto skutečností se musí počítat, neboť také ovlivňuje dobu záběhu osinkových elementů používaných v třecích uzlech.

Z experimentálního měření fotonové erozivity dostáváme v grafickém vyjádření téměř ideálně lineární závislost úbytku hmotnosti na čase ozařování.

7. Konstrukce části zařízení na simulaci podmínek v brzdách automobilů československé výroby.

Ke vhodnému způsobu zjištění vlastností a stavu materiálů brzdových elementů po spotřebení bylo na VŠST Liberec zkonstruováno simulační zařízení. Konstrukce je volena tak, aby bylo možno měnit přítlakový tlak zkoušených vzorků na brzdový buben, a otáčky třecího kotouče.

V rámci této práce je proveden návrh části této konstrukce. Je to tzv. dvojitý kloub, který zajišťuje optimální plošný styk obou třecích elementů a zároveň jejich rovnoměrné opotřebení v celé ploše. Návrh konstrukce zařízení je na přiložených výkresech.

Výpočtová část:

A/ Kontrola čepu na střih /22/:

- normalizované čepy s hlavou a s dírou pro závlačku
ČSN 02 2211 se vyrábějí z materiálu 11 373 nebo 11 343/29/

- volím materiál čepu 11 373:

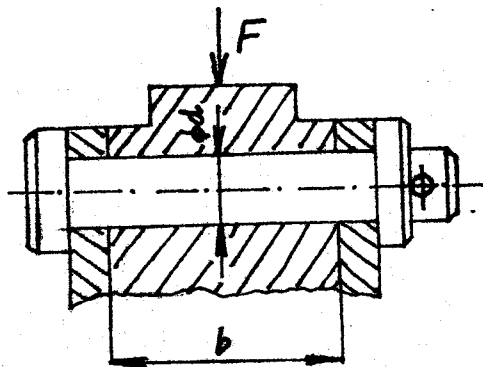
$$R_m = 370 - 450 \text{ MPa}$$

$$R_{m \text{ dov}} = 100 - 160 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_{\text{dov}} = 60 - 96 \text{ MPa}$$

- zatížení vzorku $p = 6 \text{ MPa}$

- plocha vzorku $S = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$



$$p = \frac{F}{S} \Rightarrow F = p \cdot S = 6 \cdot 10^6 \cdot 6,25 \cdot 10^{-4} = 3750 \text{ N}$$

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} \leq \tau_{sdov}$$

$$\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} = \tau_{sdov} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot 3750}{\pi \cdot 60}} = 8,92 \text{ mm} \Rightarrow \underline{\underline{d = 10 \text{ mm}}}$$

$$\text{Kontrola: } \tau_s = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 3750}{\pi \cdot 10^2} = 47,75 \text{ MPa}$$

$$\underline{\underline{\tau_s < \tau_{sdov}}}$$

bezpečnost $k = 1,2$ (statické namáhání)

B/ Kontrola čepu na otláčení /22/

$$F = 3750 \text{ N}$$

$$d = 10 \text{ mm} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$b = 30 \text{ mm} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

- spojovací čep se vzájemným pohybem součástí $p_{dov} < 15 \text{ MPa}$

$$p = \frac{F}{b \cdot d} = \frac{3750}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10^{-3}} = 12\,500\,000 \text{ Pa} = 12,5 \text{ MPa}$$

$$\underline{\underline{p < p_{dov}}}$$

7.1. Popis dvojitého kloubu /viz výkresy/.

Nutná část simulačního zařízení je prvek, který by zajistil jednak dostatečný plošný styk vzorku s brzdovým bubnem a také spolehlivě a bezpečně upnul zkoušený vzorek. Proto byl proveden návrh této konstrukce.

Je sestavena ze 4 hlavních částí: spodní objímka, horní objímka, těleso a dva spojovací čepy. Právě spojovací čepy plní hlavní funkci zařízení t.j. možnost natočení a přizpůsobení se plochy vzorku ve dvou rovinách. Osy čepů jsou mimořádné. Čepy přenášejí pohyb a tlak ze zatěžovacího zařízení na horní objímku a těleso resp. z tělesa na dolní objímku a vzorek materiálu. Proti vysunutí ve směru osy jsou čepy zajištěny podložkou a závlačkou. Vzorek materiálu je ustaven v drážce dolní objímky a upnut 2 šrouby M 4.

Celý dvojitý kloub má válcový upínací čep \varnothing 20 mm, který se vsune do pouzdra zatěžovací desky. Vzorek je takto mechanicky upnut, protože se požaduje rychlá a snadná výměna. Jiné konstrukční řešení jako např. navulkanizování nebo nalepení vzorku by byly časově, cenově a technicky náročnější. Proto tento mechanický způsob upnutí bude splňovat požadovanou funkci a účel.

Dvojitý kloub je vývojová část konstrukce a předpokládá se další vylepšování konstrukce.

8. Vyhodnocení výsledků a diskuse.

Cílem provedených zkoušek a uvedené doplňkové zkoušky bylo získat širší okruh výsledků, které by umožnily při vzájemné konfrontaci posoudit výhodnost či nevýhodnost dané metody pro stanovení vlastností třecích materiálů. Dále pak na základě těchto získaných poznatků provést analýzu, která by určila nejoptimálnější materiálové složení třecích elementů.

Z úvodní části této práce je možno provést následující závěr: Životnost brzd je protichůdnou vlastností proti jejich účinnosti. Je logické, že zvyšováním účinnosti brzd a koeficientu tření, bude klesat jejich životnost. Proto je nutný určitý kompromis. Legovat šedou litinu pro brzdové kotouče a bubny přísadami, které vytvářejí drobné karbidické útvary v základní kovové hmotě litiny. Tyto karbidové vměstky sníží koeficient tření, ale současně (úměrně) zvýší odolnost materiálu proti otěru. Je tedy zvýšení životnosti vykoupeno snížením účinnosti brzd. Nevýhodou uvedeného řešení je nutnost přesného dodržování množství přísad v poměrně nízkých mezích 0,04 - 0,15 %. Vhodnými legovacími přísadami jsou titan, vanad a niob.

Výzkum a vývoj třecí dvojice brzdy musí být koordinován tak, aby bylo možno najít optimální řešení z hlediska účinnosti, životnosti a výrobních nákladů. Tato optimalizace platí sice v plném rozsahu pro vybraný typ výrobku, lze ji však vždy vhodným způsobem modifikovat a aplikovat na nový výrobek.

Z prováděných experimentálních měření tření osinkových vzorků na ocelovém kotouči 11 373 plyne, že nejlépe rozlišuje oba druhy osinků závislost úbytku hmotnosti na čase, ostatní dvě závislosti úbytku hmotnosti na otáčkách a tlaku již tak

viditelný důkaz odlišnosti materiálů nepodávají.

Porovnáme-li ovšem všechny tři experimenty:

- laboratorní zkoušky odolnosti materiálů proti opotřebení třením za sucha
- zkoušky erozivního opotřebení
- měření fotonové erozivity

dostáváme velmi lehce srovnatelné výsledky, neboť u všech tří experimentů byla měřena časová závislost.

Kde čas t byl : - čas styku vzorku s třecím bubnem

- čas otryskávání vzorku brusným práškem

- čas ozařování vzorku laserem

Přesto že zkoušky nebyly prováděny ve stejných časových intervalech lze vyvodit závěr, při kterém experimentu se materiál opotřeboval nejvíce. Z výsledků:

Zkouška třením: osinek F	$t = 300s$	$\Delta m = 1 \text{ mg}$
osinek 1391	$t = 300s$	$\Delta m = 0,54 \text{ mg}$
Zkouška erozivity: osinek F	$t = 240 \text{ s}$	$\Delta m = 51,7 \text{ mg}$
osinek 1391	$t = 240 \text{ s}$	$\Delta m = 35,8 \text{ mg}$
Zkouška fotonové erozivity: osinek F	$t = 30 \text{ s}$	$\Delta m = 1006 \text{ mg}$
osinek 1391	$t = 30 \text{ s}$	$\Delta m = 866 \text{ mg}$

Je patrné z výsledků, že největší úbytek hmotnosti a tedy i opotřebení měl osinek při fotonové erozivitě, i když tato metoda je nejméně náročná na čas. Naopak nejmenší úbytky byly zaznamenány při laboratorních zkouškách třením za sucha. Poměrně dlouhé časy zkoušek třením a malé úbytky hmotnosti jsou způsobeny malými přitlaky dosaženými na náhradním zkušebním zařízení Montasupal a nepříliš vhodným materiálem třecího kotouče.

Na závěr je možno konstatovat, že všechny metody rozlišily oba druhy osinků.

Povrchový reliéf či mikrostruktura jsou měřitelné u osinkových vzorků poměrně obtížně, proto na závěr této práce navrhuji další možný postup zkoumání: spotřebovaný vzorek se rozřizne kolmo na funkční (opotřebovanou) plochu a provede se na tomto řezu metalografický výbrus s naleptáním. Takto připravený vzorek je možno sledovat na mikroskopu popř. k pozorování zhotovit fotografie výbrusu.

9. Z Á V Ě R.

Provedené experimenty přinesly výsledky s možností praktické aplikace. Výsledky práce je možno považovat jako přínos do problematiky zkoumání opotřebení, vztahů vlastností kovových třecích materiálů a nekovových třecích materiálů (obložení), kde vzájemné přizpůsobení bude hrát významnou roli, jak s ohledem na účinnost brzd, tak především na životnost jednotlivých komponentů.

Uvedená srovnání metod naznačují skutečnou významnost problematiky brzdových systémů s ohledem na jakost materiálů funkčních součástí.

S použitím vhodných laboratorních metod a doplňkové zkoušky byly získány výsledky umožňující vyslovit závěry:

- časový průběh opotřebení tření osinků F a 1391 s kotoučem L1 373 má odlišný průběh (nelineární)
- časový průběh erozivního opotřebení osinků F a 1391 má lineární průběh
- časový průběh fotoerzivní erozivity má lineární průběh
- nejlépe rozlišuje materiály osinků F a 1391 závislost úbytku hmotnosti na čase
- měrný tlak i otáčky třecího bubnu při procesu opotřebování ovlivňují intenzitu opotřebení osinků
- osinek 1391 je houževnatější než osinek F
- osinek F podléhá více opotřebení než osinek 1391
- s časem tření se snižují hodnoty R_a a R_t a naopak roste nosný podíl t_p

Získané výsledky jsou významným přínosem k řešení problematiky tření a opotřebení.

Pro komplexní řešení otázek související s hodnocením třecích materiálů a stanovení jejich vlastností bude potřebné zkoušet širší okruh třecích materiálů a řešit problematiku opotřebení při provozních podmínkách brzd.

Řešení uvedených úloh je nejen aktuální, ale i společensky a ekonomicky efektivní.

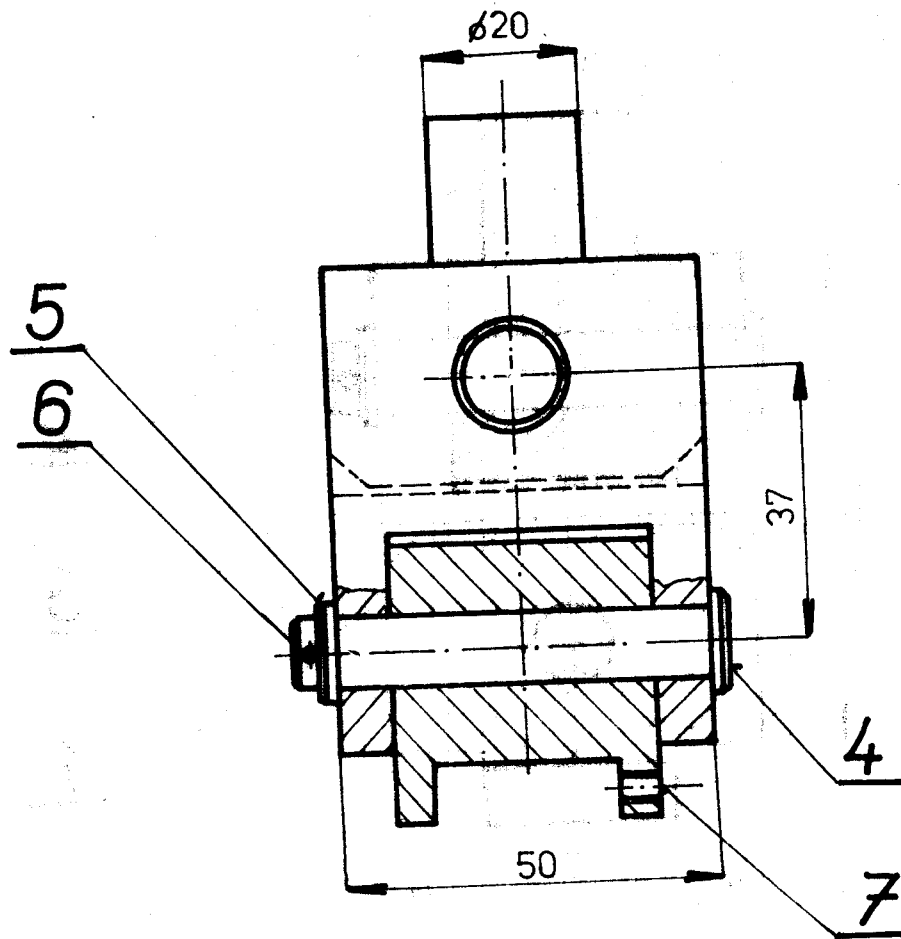
Závěrem bych chtěl poděkovat vedoucímu a konsultantovi své diplomové práce a. RNDr. Lubomíru Sedemkovi, CSc. za jeho cenné rady, za odbornou a organizační pomoc při vypracování této diplomové práce.

10. Seznam použité literatury.

1. Weseman, K. F. : Schmieretechnik-Tribologie 15, 1968
2. Oliva, V. - Olexa, J. : Úvod do teorie tření, opotřebení a kontaktního porušování ČVUT, Praha 1978
3. ČSN 01 5050 : Opotřebení materiálu
4. Čanky, S. : Odolnost chemicko-tepelne zpracovaných ocelí voči abrazivnému opotřebení, DP VŠST Liberec, 1981
5. Peredo Limited : Metallurgy of brake discs and drums, 1976
6. Vocel, M. - Dufek, V. : Tření a opotřebení strojních součástí, Praha SNTL, 1976
7. Řezníček, M. : Studie problematiky třecích dvojic brzdových a spojkových systémů, SVÚM, Brno 1980
8. Bosler, H. : Zkušenosti s vlivem uspořádání, tvaru a materiálu na tepelné zatížení brzdových bubnů, Přednáška na 1. mezinárodní konferenci o brzdách, Velké Karlovice 1968
9. Jante, A. - Bormeister : Materiál pro výrobu brzdových bubnů a kotoučů osobních a užitkových vozidel, Režarše SVÚM Brno, č. 800, 1975
10. Rusnak, R. M. - Schwartz, H. : A comparison by thermal analysis of rotor alloys for automobile disc brakes, SAE, reprint 1970, č. 700137

11. Pluhař, J.-Koritta, J. : Strojirenské materiály,
SNTL Praha, 1977, str. 457-458
12. Németh, L. : Öntöttvas fékdokok repedésének
megelőzése,
Kohászati Lapok, 96, 1963, č. 7
13. Mocsy, A. : Ekokozott tartósságú öntöttvas
fékdokok gyártási kísérletei,
Kohászati Lapok, 102, 1969, č. 8
14. Kantorovič, V. N. : Čugun dlja tormoznych barabanov
avtomobilej bolšoj gruzopodjennosti,
Avtomobilnaja promyšlennost, 1970, č. 6
15. Wagenführer, H. : Werkstoffentwicklung für Reibpaarun-
gen mit dem Computer,
Automobiltechnische Ztsch, 1973, č. 7
16. Henker, E. : BSI Scheibenbremse mit neuer
Bremscheibe,
ATZ, 1967, č. 8
17. ČSN 01 4450 : Drsnost povrchu
18. Djačenko, P.-Jakobson, M. : Jakost povrchu při obrábění kovů,
SNTL, Praha 1953
19. Walde, M. : Fyzikální metody hodnocení obrá-
běných vlastností karbidu křemi-
ku a kysličníku hlinitého,
DP VŠST Liberec, 1979
20. Barilla, J. : Souvislost mechanoluminiscence s
erozivitou materiálů,
DP VŠST Liberec, 1980

21. Pecenka, M. : Metody hodnocení fyzikálních vlastností SiC v broušení a leštící technice,
DP VŠST LIBEREC, 1978
22. Černocho, S. : Strojně technická příručka I., II.,
SNEL Praha, 1977
23. Bartoš, J. a kol. : Strojnické tabulky
SNEL Praha, 1971, str. 44-47

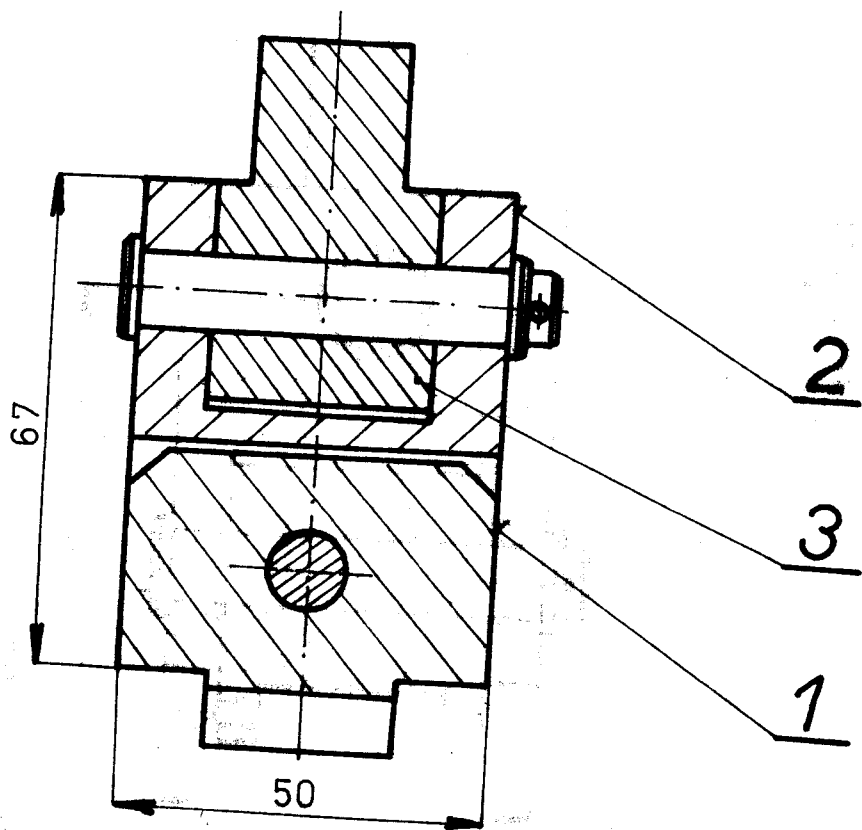


2	ŠROUB M4 x 10	ČSN 02 1101								7
2	ZÁVLAČKA ø2,5 x 16	ČSN 02 1781								6
2	PODLOŽKA ø 10,5	ČSN 02 1702								5
2	SPOJ. ČEP ø 10 x 11	ČSN 02 2111								4
1	HORNÍ OBJÍMKA	52 x 52 x 32	M 500		1		0,68	4-360-01/3		3
1	TĚLESO	52 x 52 x 70	M 500		1		1,4	4-360-01/2		2
1	DOLNÍ OBJÍMKA	52 x 40 x 42	M 500		1		0,67	4-360-01/1		1

Podíl kusů	Mězev - Rozměr	Polotovár	Mat. konečný	Mat. vychází	Čís. obr.	Č. váha	Hr. váha	Číslo výkresu	Pos.
------------	----------------	-----------	--------------	--------------	-----------	---------	----------	---------------	------

Poznámka									
Měřítko	PAVEL SUK	Pavel Suk	Čís. stříž.						
1:1			Č. trans.						

VŠST	Typ	Skupina	Starý výkres
LIBEREC	DVOJITÝ KLOUB		
			3-360-01/00-D



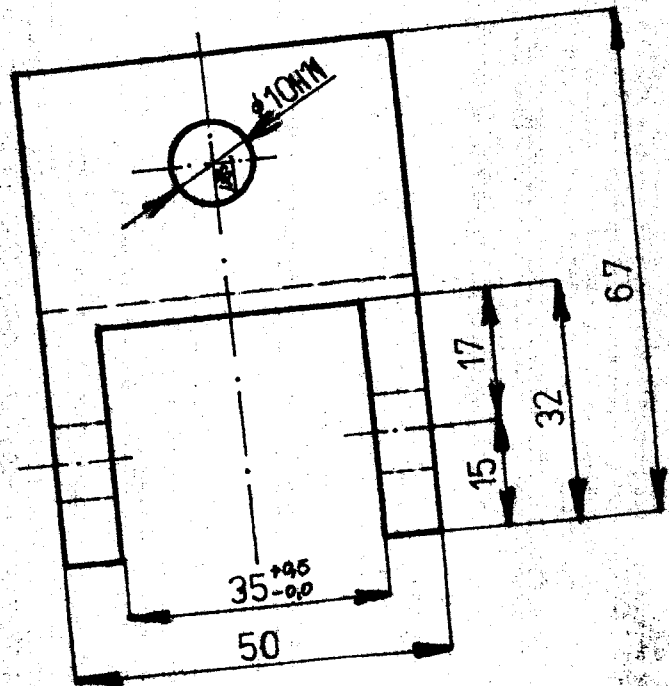
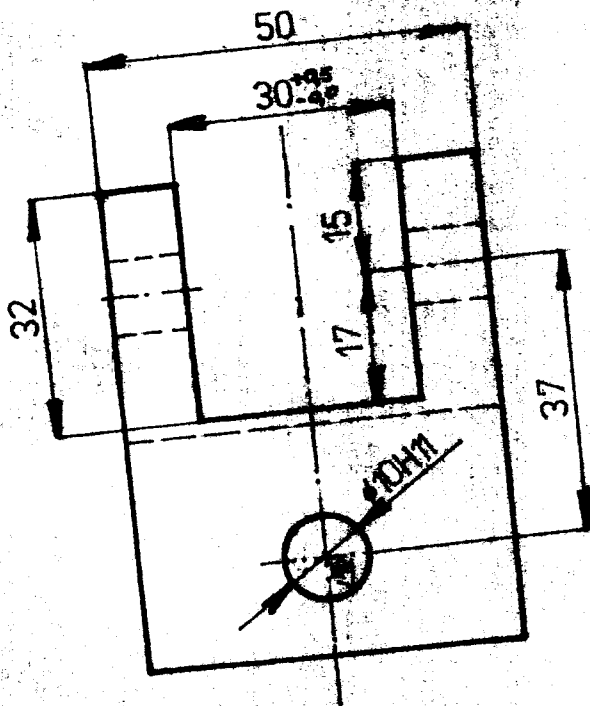
3000

1000

1000

1000

32
17



1	TĚLESO	50 x 52 x 70	11500	1	1,4	4-360-01/2-D
Podíl kusů	Název - Rozměr	Projevitel	Mat. číslo	Mat. výchoz.	Pr. da. obr.	Č. v.ř. a Hr. váha
Poznámka	Číslo výkresu					
Měřítko	1:1	PAVEL ŠTĚPÁNEK	ŠTĚPÁNEK	ŠTĚPÁNEK	ŠTĚPÁNEK	ŠTĚPÁNEK
Výkres proveden	1:1	ŠTĚPÁNEK	ŠTĚPÁNEK	ŠTĚPÁNEK	ŠTĚPÁNEK	ŠTĚPÁNEK
VSST	LIBEREC	TĚLESO	4-360-01/2-D			

32 ✓ (16 ✓)

