

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

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

BROŠENÍ TĚŽKOOBROBITELNÝCH MATERIÁLŮ
S VYSOKÝM OBSAHEM NIKLU

KOM - OM - 333
Lubomír V o d a

Vedoucí : Ing. Jaroslav J a n o u š e k
VŠST Liberec

Konz : Doc. Ing. Jaromír G a z d a, CSc
VŠST Liberec

Ing. Petr K u b i š t a
VUOSO Praha

E

: 61
: 6
ů : 19

Datum : 24. května 1985

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ

nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

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

BROUŠENÍ TĚŽKO OBRÁBĚLÝCH MATERIÁLŮ
S VYSOKÝM OBSAHEM NIKLU

KOM - OM - 333

Lubomír V o d a

Vedoucí práce : Ing. Jaroslav J a n o u š e k
VŠST Liberec

Konzultant : Doc. Ing. Jaromír G a z d a, CSc
VŠST Liberec

Ing. Petr K u b i š t a
VUOSO Praha

Rozsah práce

Počet stran : 61
Počet příloh : 6
Počet obrázků : 19

Datum : 24. května 1985

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní
Katedra: obrábění a montáže Školní rok: 1984/85

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

č. 333

pro Lubomír V o d a
obor 23-07-8 strojírenská technologie

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

Název tématu: Broušení těžkoobrobitelných materiálů s vysokým
obsahem niklu

Zásady pro vypracování:

1. Výběr kritéria pro stanovení obrobitelnosti broušením těžkoobrobitelných materiálů
2. Rozbor stávajícího stavu v používání brousících kotoučů v np. Motorlet Jinonice
3. Zkoušky československých brousících kotoučů pro brousící operace jako náhrada za kotouče cizí provenience
4. Vliv řezné kapaliny na řezivost brousícího kotouče
5. Zbytkové pnutí u vybraných podmínek broušení
6. Výsledky zkoušek a případné doporučení změny řezných podmínek pro np. Motorlet Jinonice

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 50 stran

Seznam odborné literatury:

1. Kožurov, M.: aj.: Otdeločno abrazivnyje metody obrabotki. Minsk.1983.
2. Podkladové materiály z np. Motorlet Jinonice.
3. König, W. aj.: Prüfung von Kühl-schmierstoffen für die Schleifbearbeitung. IND. Anzeiger, č. 72, str. 26-28
4. Lobanov, A.V.: Vlijanije glubiny šlifovania na kačestvo poverchnostnogo sloja trudnoobratyvajemych materialov. Věstnik mašinostrojenja, 1983, č. 6, str. 61-62

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Janoušek
konzultant: Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc. - VŠST
Ing. P. Kubista - VUOSO Praha

Datum zadání diplomové práce: 15. 10. 1984

Termín odevzdání diplomové práce: 24. 5. 1985

L.S.

Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.
Vedoucí katedry

Doc. RNDr. Bohuslav Stráž, CSc.
Děkan

v Liberci dne 20.9. 1984

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

V Liberci, dne 24. května 1985

Vodný Lukáš

OBSAH

	strana
Seznam použitých symbolů	2
1. Úvod	6
2. Obrobitelnost broušením	8
2.1. Kritéria používaná při hodnocení obrobitelnosti	10
2.1.1. Kriterium obrobitelnosti O_B	16
2.1.2. Kriterium ekvivalentní tloušťky třísky	19
3. Chlazení těžkoobrobitelných materiálů	25
4. Zbytková pnutí po procesu broušení	28
4.1. Metody zjišťování zbytkových pnutí	32
5. Popis experimentálního zařízení	33
6. Brusné kotouče	39
6.1. Použité kotouče při experimentálním měření	41
7. Těžkoobrobitelné materiály	45
7.1. Slitiny s vysokým obsahem niklu	46
8. Stávající stav v n. p. Motorlet Jinonice	48
9. Postup měření	50
10. Vyhodnocování měření	53
10.1. Vyhodnocení kritéria ekvivalentní tloušťky třísky	53
10.2. Vyhodnocení kritéria O_B	55
11. Zhodnocení dosažených výsledků	57
12. Závěr	58
Seznam příloh	59
Seznam použité literatury	60

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Q	$/m^3 s^{-1}/$	Výkon broušení
V_o	$/m^3/$	Objem obroušeného materiálu
t	$/s/$	Čas
q	$/m^3 s^{-1} W^{-1}/$	Měrný výkon broušení
P	$/W/$	Výkon
m		Poměrný objemový obrys
V_k	$/m^3/$	Objem úbytku broušícího kotouče
$\bar{m}$		Měrná výrobnost kotouče
m_N	$/m^2/$	Kvadratický poměrný obrys
C_N		Konstanta
K_P	$/m \cdot s^{-1} N^{-1}/$	Řezivost
v_P	$/m \cdot s^{-1}/$	Rychlost přísuvu
F_P	$/N/$	Radiální složka řezné síly
K_u	$/m \cdot s^{-1} N^{-1}/$	Řezivost
F_v	$/N/$	Tangenciální složka řezné síly
N	$/s^{-1}/$	Emise elektronů
K_Q	$/m^3 s^{-1} N^{-1}/$	Řezná schopnost
K_S	$/m^3 s^{-1} N^{-1}/$	Koeficient samoostření
h_{eq}	$/m/$	Ekvivalentní tloušťka odebírané vrstvy
h	$/m/$	Tloušťka odebírané vrstvy
q_v		Rychlostní poměr
K_{ObA}		Index obrobitelnost
K_{ObR}		Index relativní obrobitelnosti
γ	$/m \cdot W^{-1} \mu m^{-1}/$	Poměrný koeficient brusitelnosti
R_a	$/\mu m/$	Drsnost povrchu dosažená bez vyjiskření
K_{OB}		Koeficient obrobitelnosti
$e_{0,1}$	$/J \cdot mm^{-3}/$	Měrná energie pro $h_{eq} = 0,1 mm$

C		Konstanta vyjiskřovací křivky
k		Exponent polytropy
T	/s/	Časová konstanta
α	/°/	Úhel strmosti vyjiskřovací křivky
K		Řezivost brusného kotouče
I	/N.s/	Časový účinek síly
A		Kritérium počátečního impulzu
U	/mm ⁻² /	Kritérium strmosti práce
S	/mm ² /	Plocha pod vyjiskřovací křivkou
h_{zb}	/mm/	Neodebraná zbytková vrstva
h_o	/mm/	Velikost neodebrané tloušťky materiálu před vyjiskřováním
L		Kritérium strmosti úběru
β	/°/	Úhel strmosti křivky úběru materiálu
S_h	/mm ² /	Plocha pod křivkou úběru materiálu
O_B	/mm ⁻² /	Kritérium obrobitelnosti
b	/mm/	Šířka obrobku
v_o	/m.s ⁻¹ /	Obvodová rychlost obrobku
v_k	/m.s ⁻¹ /	Obvodová rychlost brousícího kotouče
F'_t	/N.mm ⁻¹ /	Tangenciální složka řezné síly vztažená na 1 mm šířky záběru
F_1	/N/	Porovnávací síla pro $h_{eq} = 1 \text{ um}$
F'_u	/N.mm ⁻¹ /	Normálová složka řezné síly vztažená na 1 mm činné šířky brusného kotouče
μ		Koeficient broušení
f		Exponent vyjadřující vztah mezi řeznou silou a ekvivalentní tloušťkou třísky
R_{11}	/μm/	Drsnost povrchu pro $h_{eq} = 1$
r		Exponent vyjadřující vztah mezi drsností

		povrchu dosažené bez vyjiskření a ekvivalentní tloušťkou třísky
R_{1w}	/μm/	Konstanta drsnosti pro $h_{eq} = 1$
r_d		Exponent vyjadřující vztah mezi drsností povrchu dosaženou s vyjiskřením a ekvivalentní tloušťkou třísky
G		Poměrný obrus /brusná účinnost/
G_1		Porovnávací poměrný obrus pro $h_{eq} = 1$
g		Exponent vyjadřující vztah mezi poměrným obrusem a ekvivalentní tloušťkou třísky
V^*	/mm ³ .mm ⁻¹ /	Jednotková objemová trvanlivost brousícího kotouče
V_f^*	/mm ³ .mm ⁻¹ /	Jednotková porovnávací objemová trvanlivost pro $h_{eq} = 1$
v		Exponent vyjadřující vztah mezi jednotkovou objemovou trvanlivostí brousícího kotouče a ekvivalentní tloušťkou třísky
R	/MPa/	Velikost zbytkových pnutí
E	/N.m ⁻² /	Modul pružnosti odpovídající teplotě ohřátí
θ_2	/°C/	Teplota ohřevu
θ_1	/°C/	Původní teplota
α	/°C ⁻¹ /	Koeficient lineární teplotní roztažnosti
F_n	/N/	Radiální složka řezné síly
F_T	/N/	Tangenciální složka řezné síly
s	/mm/	Šířka kotouče
d_K	/mm/	Průměr kotouče
m_g	/g/	Hmotnost kotouče
Q	/g.cm ³ /	Hustota kotouče
E_Z	/kN.mm ⁻² /	Modul pružnosti kotouče

P_{max}	/W/	Maximální výkon zatíženého stroje
Re	/MPa/	Mez kluzu
R_m	/MPa/	Mez pevnosti
$Re_{0,2}$	/MPa/	Smluvní mez kluzu
R_a	/μm/	Drsnost povrchu dosažená bez vyjiskření
R_{aV}	/μm/	Drsnost povrchu dosažená s vyjiskřením
Z		Kontrakce
v_{Po}	/μm.ot ⁻¹ /	Rychlost přísuvu na otáčku
Q_f	/l.min ⁻¹ /	Průtok chladicí kapaliny
P_f	/MPa/	Tlak chladicí kapaliny
$G_{0,1}$		Poměrný obrus pro $h_{eq} = 0,1$
v_{KP}	/m.s ⁻¹ /	Rychlost výtoku kapaliny
d_{eq}	/mm/	Ekvivalentní průměr

1. ÚVOD

Základním odvětvím československé ekonomiky bude i nadále strojírenství. Mezi všemi, v současnosti používanými způsoby obrábění, má své pevné místo také obrábění broušením. Lze předpokládat, že význam tohoto způsobu obrábění dále poroste. Broušení má tu schopnost, že tímto obráběním lze obrábět prakticky všechny druhy materiálů, jejichž tvrdost je menší než tvrdost zrn brusného kotouče. Této výhody se začíná využívat v posledních letech, poněvadž potřeby národního hospodářství si ve stále větší míře vyžadují konstrukční materiály se špičkovými užitnými vlastnostmi /materiály s vysokými pevnostními parametry/, špičkovými fyzikálními, chemickými a jinými vlastnostmi. Z kovových materiálů to jsou konstrukční oceli zušlechťené na pevnost až 2500 MPa, vysokolegované chromové oceli, austenitické oceli manganové, manganniklové a manganchromové, austenitické oceli chromniklové, korozivzdorné, žárovevne, niklové a kobaltové slitiny, dále některé materiály vyrobené metodou práškové metalurgie.

Použití těchto materiálů si vyžadují požadavky kladené na nová zařízení, která pracují často za extrémních podmínek. Bežně používané materiály by byly za těchto podmínek prakticky nepoužitelné.

V závazném dokumentu "Hlavní směry hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1981 - 1985" je v úkolech pro vědeckotechnický rozvoj zvláště zvýrazněna orientace na "nové výrobky a technologie" umožňující vyšší zhodnocování a výraznější úspory paliv, energie, kovů a komplexní zpracování domácích i dovážených surovin a materiálů.

V souladu s těmito požadavky dochází ke zkvalitňování konstrukčních materiálů, což umožňuje za stejných podmínek nahradit původní materiál novým. Těžce obrobitelné materiály mohou zvýšit bezpečnost výrobků nebo snížit nosný průměr, popřípadě zlepšit jiné mechanické vlastnosti. Technologické zpracování těchto materiálů však přináší řadu obtíží, zvláště při obrábění.

Úkolem této diplomové práce je zvolit vhodnou metodu obrobitelnosti těžkoobrobitelných materiálů. S její pomocí porovnat vhodnost použití kotoučů vyráběných v ČSSR, případně jejich náhrada za kotouče dovážené ze zahraničí.

2. OBROBITELNOST PŘI BROUŠENÍ TĚŽKOBROBITELNÝCH MATERIÁLŮ

Současné přístupy k posuzování obrobiteľnosti materiálů jsou různé. Obecně však lze říci, že to je určitý kvalitativní stav materiálu z hlediska jeho vhodnosti pro broušení.

Například Maslov [3] definuje obrobiteľnost jako:

"souhrn technologických vlastností materiálu, charakterizujících jeho způsobilost k obrábění brousícím nástrojem".

Obrobiteľnost zahrnuje řadu ukazatelů: produktivitu obrábění, měrnou spotřebu brousícího nástroje a jeho trvanlivost, velikost řezných sil a teplot broušení, drsnost obrobeného povrchu, kvalitu povrchové vrstvy, rozměrovou přesnost atd. Obecně lze posuzovat obrobiteľnost z několika hledisek. Pro praxi mají největší význam:

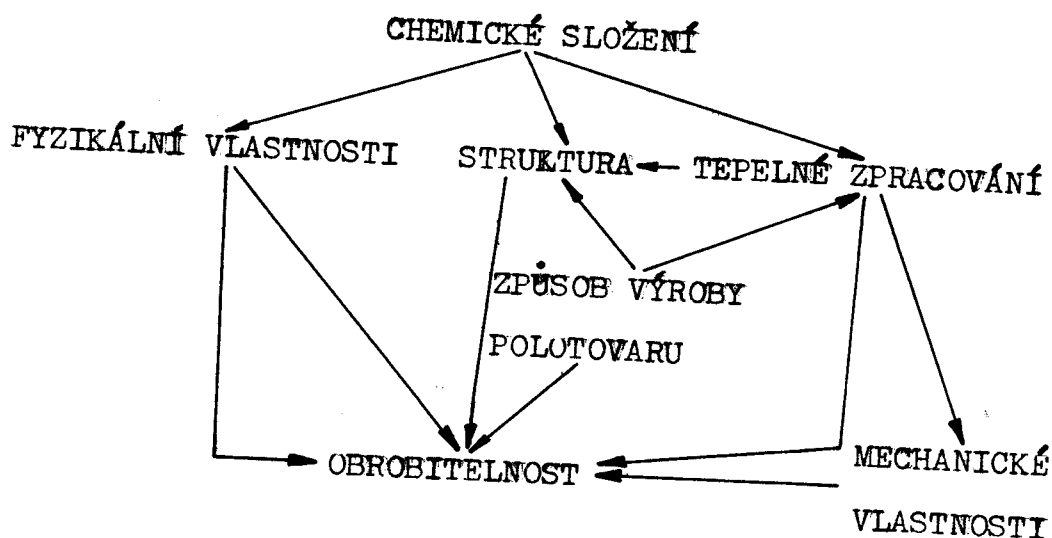
- vliv materiálu obrobku na intenzitu opotřebení nástroje a na teplotu při obrábění
- vliv materiálu obrobku na proces tvoření třísky, jednak z hlediska sil řezání, jednak z hlediska utváření oddělované třísky
- vliv materiálu obrobku na vytváření nových povrchů na obrobku a na jejich jakost.

Kromě těchto hledisek existují ještě další. Vlastnosti materiálu obrobku mají při různých hlediscích různý vliv na obrobiteľnost. V mnoha případech mají i protichůdný vliv. Například materiál, který má dobrou obrobiteľnost podle řezné rychlosti může mít špatnou obrobiteľnost podle utváření třísky.

Obrobitelnost v procesu obrábění jako charakteristiku obráběného materiálu ovlivňuje řada činitelů. K nejdůležitějším patří: - fyzikální vlastnosti

- chemické složení
- způsob výroby
- mikrostruktura.

Tyto činitele mohou být vzájemně vázány, jak ukazuje obr. 1.



Obr. 1 Vliv vlastností obráběného materiálu na obrobitelnost broušením

Mezi fyzikální vlastnosti zejména patří pevnost, tvrdost, houževnatost, tepelná vodivost a adhezní schopnost. Tvrdost zvětšuje abrazivní opotřebení a pevnost zvětšuje řeznou sílu. Zvýšené teploty a řezné síly u těžkoobrobitelných materiálů mají za následek velké zpevnění v oblasti tvoření třísky. Tento negativní jev lze odstranit nebo patřičně snížit zvýšením posuvu a snížením řezné síly.

Z chemického složení vyplývají všechny vlastnosti obráběného materiálu. K prvkům, které snižují výrazně obrobitelnost, patří uhlík /převážně u oceli legovaných karbi-

dotvořnými prvky/, křemík, chrom /snizuje obrábělnost úměrně s obsahem uhlíku/, větší obsah niklu, hliníku, wolframu a další. Naopak zlepšení obrábělnosti materiálu dojde přidáním síry.

Samotná obrábělnost lze ovlivnit i způsobem výroby. Aby bylo dosaženo optimálních vlastností z hlediska obrábění, je důležité znát vliv materiálových vlastností na obrábělnost. To umožní volbu optimálního materiálu, chemických, mechanických úprav a tepelného zpracování obráběného materiálu.

2.1. Kritéria používaná při hodnocení obrábělnosti

V praxi je obrábělnost spojena úzce s pojmem rezivosti, což je vlastně souhrn vlastností nástroje, které vyjadřují jeho řezné schopnosti [7]. V následující tabulce č. 1 je vyber několika kritérií, která se v souvislosti s tímto dvěma jevy zavedla.

Kritéria založená na zkoumání vyjiskřovací křivky

Proces broušení můžeme rozdelit na 3 základní části:

- I vřezávání
- II ustálený režim broušení
- III vyjiskřování

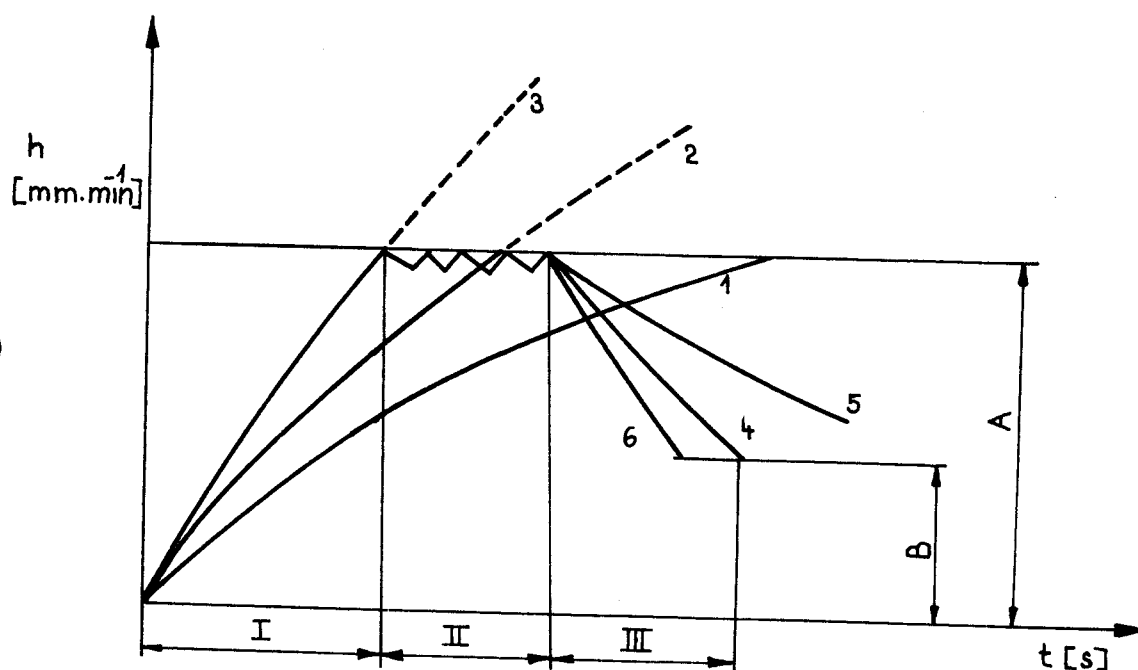
Při vyjiskřování probíhá broušení s nulovou přísunovou rychlostí, což snizuje intenzitu uběru materiálu. Samotný proces je způsoben napnutím soustavy S - N - O - P při najetí brousicího kotouče do záběru s obrátem v etapě I. Cyklus broušení popisuje Maslov. Tato závislost charakterizuje obr. 1.

Tabulka č. 1

Rok	Autor	Vzorec	Rozměr	Pojmenování
		$Q = V_o/t$	$m^3 s^{-1}$	Výkon broušení
		$q = Q/P$	$m^3 s^{-1} W^{-1}$	Merný výkon br.
	Schlesinger	$m = V_o/V_k$ $\bar{m} = V_k/V_o$		Poměrný obje- mový obrus Měrná výrob- nost kotouče
	Norton	$m_N = C_N V_o^2 / V_k$	m^2	Kvadraticky po- měrný obrus
1953	Majkus	$k_p = v_p / F_p$	$m \cdot s^{-1} N^{-1}$	Řezivost
1957	Kölner	$k_v = v_p / F_v$	$m \cdot s^{-1} N^{-1}$	Řezivost
1962	Kramer Engelland	N	s^{-1}	Emise elektronů
1969	Lurje	$k_Q = Q / F_p$	$m^3 s^{-1} N^{-1}$	Řezná schopnost
1971	Říčka	$C_k = F_p \cdot t^k$		Rovnice vyjís- křovací křivky
1974	Maslov	$k_Q = Q / F_p$ $k_s = Q_k / F_p$	$m^3 s^{-1} N^{-1}$ $m^3 s^{-1} N^{-1}$	Koeficient řezivosti koeficient samoostření
1974	CIRP: Sueys Peters Decnevt	$h_{eq} = h \cdot V_o / V_k$	m	Ekvivalentní tloušťka odebí- vané vrstvy

Pokračování tabulky č. 1

11975	Řicka	$k_{ObA} = m/m_E$ $k_{ObA} = Q/Q_E$ $k_{ObR} = m/m_E$ $k_{ObR} = Q/Q_E$		Index absolutní obrobitelnosti z poměrného obrusu Index absolutní obrobitelnosti z výkonu broušení Index relativní obrobitelnosti z poměrného obrusu Index relativní obrobitelnosti z výkonu brou- šení
	Mc Kee Moore Boston	$\gamma = m/P_{111} R_a$	$m.W^{-1} \mu m^{-1}$	Poměrný koefi- cient brusí- telnosti
11977	Armarego Brown	$m = V_o/V_k$ $q = m/P$ $\gamma = m/P_{111} R_a$	W^{-1} $m.W^{-1} \mu m^{-1}$	Měrná výrobnost Charakteristika brusitelnosti Poměrný koefi- cient brusitel- nosti
11978	Kubišta	$k_{Ob} = m/e_0,1 \eta_e$		Koeficient obrobitelnosti



Obr. 1: Pracovní cyklus broušení

- 1' zapichování konstantním přísunem
- 2,3 zapichování zrychleným přísunem
- 4 vyjiskření
- 5 zpomalené vyjiskřování
- 6 zrychlené vyjiskřování
- I doba vřezávání
- II doba ustáleného procesu
- III vyjiskřování
- A odtlačení soustavy S - N - O - P při konstantním přísunu
- B odtlačení soustavy S - N - O - P na konci vyjiskřování

Maslov poukazuje na skutečnost, že intenzita odebrání materiálu závisí na tuhosti technologické soustavy. Při nedostatečné tuhosti je obrobek odtlačován od brousícího kotouče, čímž se snižuje produktivita a přesnost broušení.

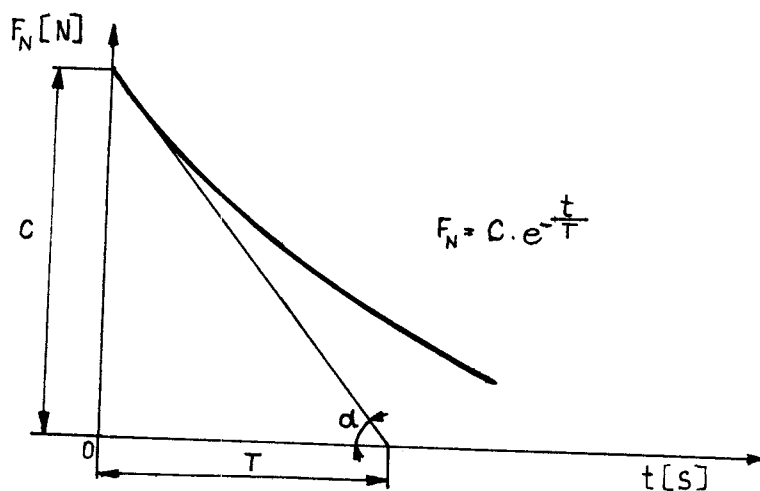
Pokud budeme uvažovat dokonalost unašeče a eliminujeme radiální házení obrobku /v idealizovaném případě/, dostaneme závislost ve tvaru

$$F_N = C \cdot e^{-kt} \quad /N/ \quad (1)$$

Po zavedení časové konstanty T

$$F_N = C \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad /N/ \quad (2)$$

Tvar křivky vyjiskřování má charakter podle obr. 2



Obr. 2 : Zjednodušená vyjiskřovací křivka

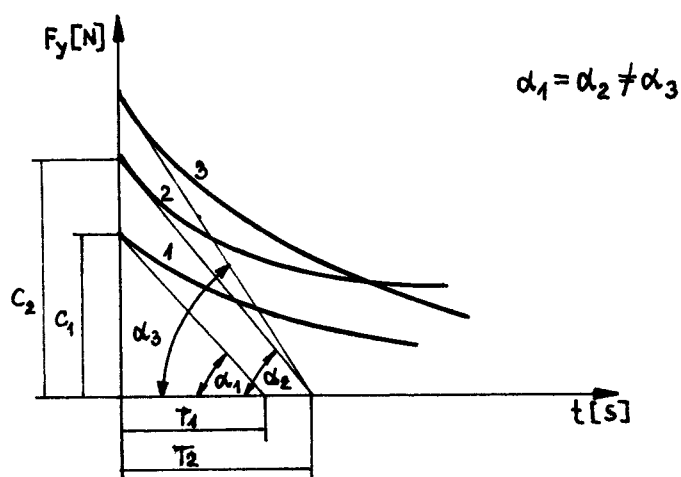
Průběh křivky je funkcí řezivosti brousícího kotouče. Vyjadřuje schopnost kotouče odebrat materiál z obrobku. Čím intenzivnější bude úběr materiálu, tím strmější bude křivka. Při velkém úhlu bude strmost křivky větší a obráceně. To znamená, že při velké strmosti je kotouč řezivější a platí

závislost:

$$K = \operatorname{tg} \alpha = \frac{C}{T} \quad (3)$$

Tento vztah se nazývá kriterium strmosti. Tohoto kriteria lze použít jen při stejné počáteční síle F_N testovaných brousících kotoučů, protože nepostihuje položení křivky v souřadnicích./1/

Kriterium časové konstanty, jež vychází z předchozích úvah rozlišuje brousící kotouče podle velikosti časové konstanty T . Tato konstanta představuje dobu, za kterou by došlo k vyjiskření, kdyby úběr materiálu probíhal stále stejnou počáteční rychlostí. Soustava S - N - U - P by se odpružovala podle přímky na obr. 2. Čím je časová konstanta T menší, tím je řezivost brousícího kotouče větší a opačně. Je-li průběh řezné síly dán křivkou 1 a 2 obr. 3, potom je řezivost obou kotoučů podle kriteria strmosti stejná.



Obr. 3 : Použití kriteria časové konstanty

Podle kriteria časové konstanty je řezivější kotouč, který charakterizuje křivka II.

Kritérium počátečního impulsu odstraňuje nedostatky předeslých dvou kritérií. Zahrnuje hodnotu počáteční síly a časové konstanty. Vyjádření časového účinku síly, při její proměnnosti lze napsat

$$I = \int_{t_0}^t F_N \cdot dt \quad (4)$$

Při předpokladu vyjádření podle přímky a obr. 2 dostaneme

$$I = \int_0^T F_N \cdot dt = \frac{11}{2} C \cdot T \quad (5)$$

Tento vztah vyjadřuje plochu OCT obr. 2. Pro porovnávací vyhodnocování brousících kotoučů stačí kritérium počátečního impulsu ve tvaru

$$A = C \cdot T \quad (6)$$

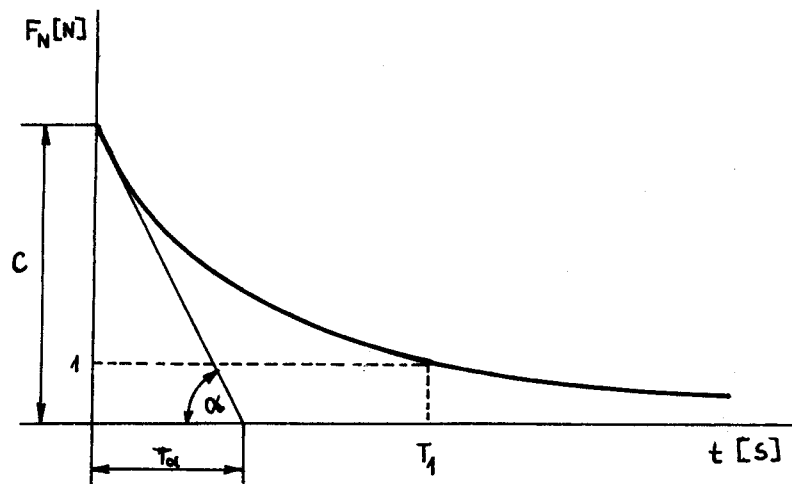
Z kritéria plyne závěr, že největší rezivost vykazuje brousící kotouč s minimální hodnotou A. Nedostatkem je, že pro dvě různé křivky 2, 3 můžeme získat stejné hodnoty kritéria A, obr. 3.

2.1.11 Kritérium obrobitelnosti O_B

Na katedře obrábění a montáže fakulty strojní VŠST Liberec byl v rámci řešení úkolu III - 11 - 5/07 vypracován návrh kritéria obrobitelnosti broušením. Vychází z tvaru vyjiskřovací křivky stanovené jednak pro tečnou složku rezní síly a jednak pro ubytek broušeného vzorku. Vyjiskřovací křivku, stanovenou jako idealizovaný průběh normálové složky

Rezné síly F_N v závislosti na čase představuje obr. 4.
Platí, že:

$$F_N = C \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad /N/ \quad (7)$$



Obr. 4: Vyjiskřovací křivka

Tento tvar vyjiskřovací křivky charakterizuje schopnost brousícího kotouče odebírat materiál z obrobku. Čím vyšší bude intenzita uběru materiálu, tím bude křivka strmější, tedy uhel α větší. Na základě rozboru možností hodnocení jednotlivých parametrů křivky navrhl autor [2] spekulativně kritérium strmosti práce pro hodnocení řezivosti brousících kotoučů:

$$U = 10^5 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{5} \quad /mm^{-2}/ \quad (8)$$

Byl vysloven předpoklad, že podobnou zákonitostí se bude řídit obrušování materiálu. Vzhledem k odpružení systému SPID, neokončí se uběr nastavené tloušťky vrstvy úplně.

Z toho lze usuzovat, že mezi velikostí ubytku brousícího kotouče a neobrousenou vrstvou materiálu je jina souvislost. Postupný úběr sleduje křivky podobnou vyjiskřovací, s tím rozdílem, že i po mnoha zdvizech zůstává neodebraná vrstva h_{zb} . Křivku znázorňuje obr. 5 a popisuje rovnice

$$h = h_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad /mm/ \quad (9)$$

Vezmeme-li jako výchozí stanovisko grafický průběh této závislosti, pak pro optimální kombinaci brousících kotoučů a obrobku musí být strmost křivky maximální $/\beta$ co největší/, plocha pod křivkou minimální a h_{zb} rovněž minimální. Potom lze vyjádřit kritérium strmosti úběru $/7/$

$$L = 10^3 \frac{\operatorname{tg} \beta}{S \cdot h}, \quad (10)$$

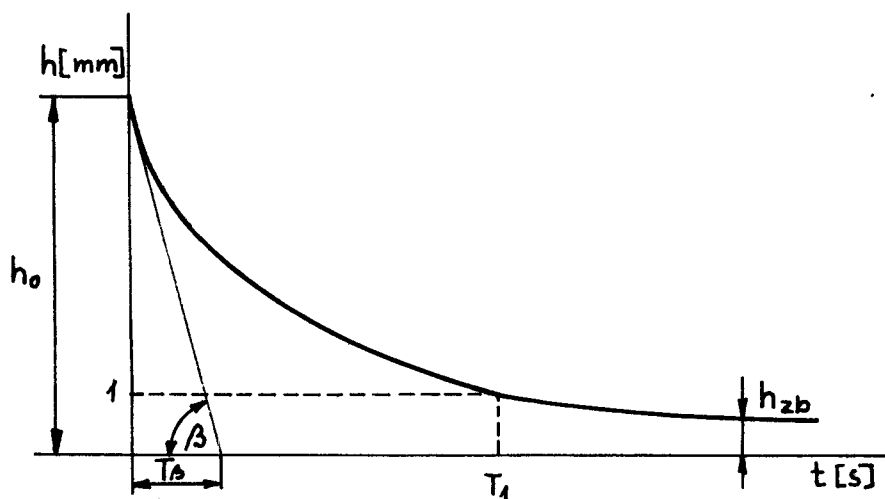
jež může být ukazatelem schopnosti materiálu podrobit se broušení, t. j. obrobitelnosti broušením. Hodnoty U i L se však liší velikostí, což svědčí též o citlivosti těchto ukazatelů. Pro proces broušení je nutno považovat za rozhodující současný vliv řezivosti brousícího kotouče U a vliv broušeného materiálu, vyjádřený schopností podrobit se broušení L . Tato skutečnost dává možnost vytvořit spojením obou kritérií nové, které vyjadřuje vzájemnou interakci brousícího kotouče a obrobku takto:

$$O_B = U \cdot L = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{S} \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta}{S \cdot h} \quad (11)$$

což je obrobitelnost broušením.

Kritérium O_B má postihnout současně vliv druhu brousícího kotouče a obráběného materiálu. Číselné vyjádření toho-

to kriteria je pouze relativní hodnotou a současně stavovou veličinou, která však platí jen pro předem dané podmínky /stroj, řezné podmínky, velikost a tvar obrobku, řezné prostředí a pod../2/



Obr. 5 : Křivka postupného úběru

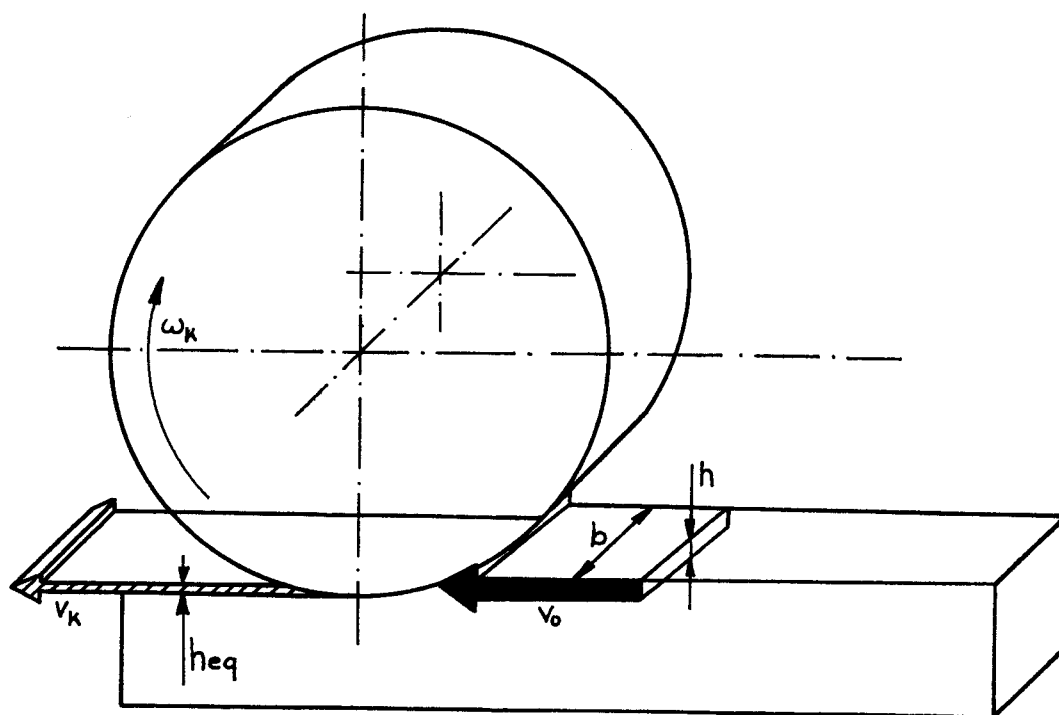
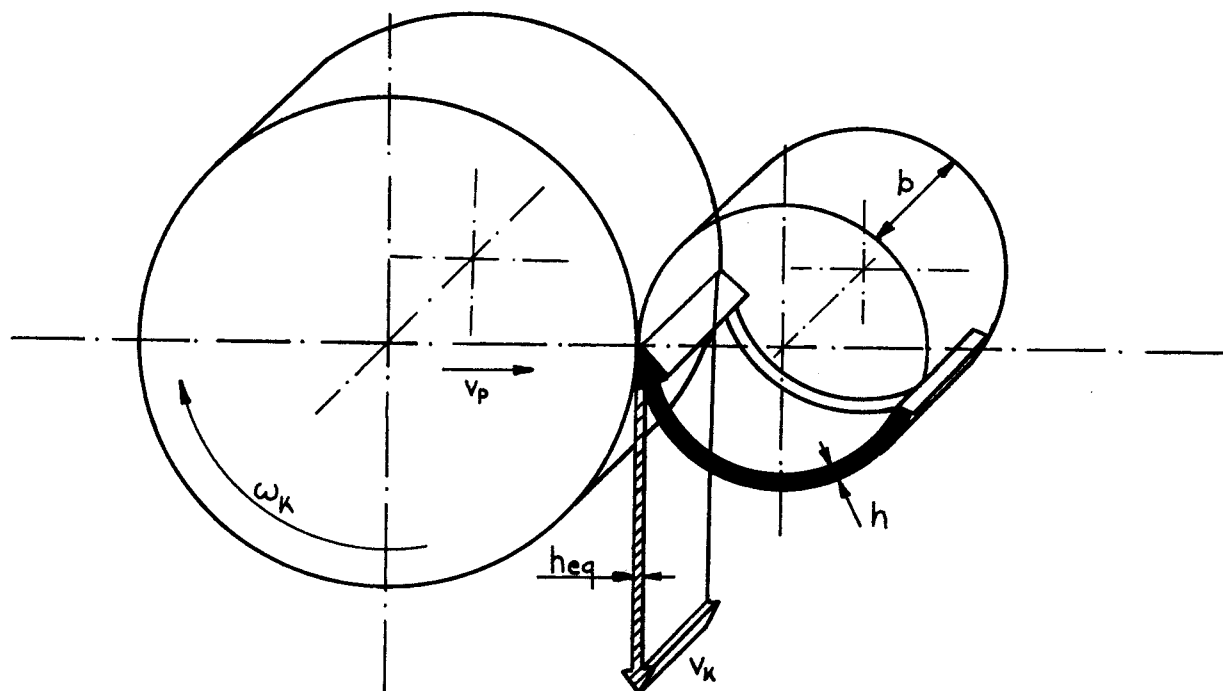
2.1.2 Kritérium ekvivalentní tloušťky odebírané vrstvy

Považujeme-li proces obrušování odebírané vrstvy "h" za plynulý, potom při zachování objemové stálosti je možné považovat poměr $h \cdot v_o / v_k$ za tloušťku vrstvy odebírané z obrobku při rychlosti v_k . Toto vyjádření vyplývá z obr. 6 a uvedený poměr má označení h_{eq} . Platí tedy, že:

$$h \cdot b \cdot v_o = h_{eq} \cdot b \cdot v_k \quad (12)$$

$$h_{eq} = h \cdot v_o / v_k \quad /mm/ \quad (13)$$

Ekvivalentní tloušťka odebírané vrstvy h_{eq} je tloušťka pásu, který se odvíjí ve směru tečném od brusného kotouče, a to rychlostí, která je rovna rychlosti kotouče.



Obr. 6 : Schemata pro výpočet h_{eq}

Hodnota $h_{eq0,1}$ je považována za hodnotu oddělující dokončovací a hrubovací broušení.

Je-li rychlostní poměr $q_v = v_k/v_o$ (14)

pak platí, že: $h_{eq} = h/q_v$ /mm/ (15)

Experimentálně bylo dokázáno, že většinu veličin vznikajících při broušení lze vyjádřit pomocí ekvivalentní tloušťky odebírané vrstvy

$$F'_t, F'_n, Ra, Ra_v, G, \Delta V = f/h_{eq} \quad (16)$$

Tangenciální složka řezné síly vztažená na 1 mm šířky záběru

$$F'_t = F_1 \cdot h_{eq}^f \quad /N/mm/ \quad (17)$$

Sílu F'_t můžeme také zjistit z užitečného příkonu vřetene

$$F'_{tv} = \frac{P_{max} - P_{na\ prázdn\o}}{v_k} = \frac{P'_S}{v_k} \quad /N.mm^{-1}/ \quad (18)$$

Tento způsob byl využit i při výpočtech méj diplomové práce.

Normálová složka řezné síly, vztažená na 1 mm činné šířky brusného kotouče

$$F'_n = \frac{F_1}{\zeta^u} \cdot h_{eq}^f, \quad /N.mm^{-1}/ \quad (19)$$

kde : F_1 ... porovnávací síla pro $h_{eq} = 1$ mm

ζ ... koeficient broušení

f ... exponent vyjadřující vztah mezi řeznou silou a ekvivalentní tloušťkou třísky

Součinitel tření μ je prakticky nezávislý na h_{eq} a mění se v rozsahu 0,2 - 0,5.

$$\mu = F_t / F_n \quad (20)$$

Drsnost povrchu dosažená bez vyjiskření

$$R_a = R_1 \cdot h_{eq}^r \quad / \mu m / \quad (21)$$

Drsnost povrchu dosažená s vyjiskřením

$$R_{av} = R_{1v} \cdot h_{eq}^{r+rd} \quad / \mu m / \quad (22)$$

kde : R_{1v} ... konstanta drsnosti pro $h_{eq} = 1 \mu m$

rd ... exponent

Poměrný obrus nebo také brusná účinnost

$$G = G_1 \cdot h_{eq}^g \quad , \quad (23)$$

kde : G_1 ... porovnávací poměrný obrus pro $h_{eq} = 1 \mu m$

g ... exponent

Objem materiálu, odstraněný brusným kotoučem mezi dvěma orovnáními, vztažený na 1 mm činné šířky brusného kotouče

$$V' = V_1 \cdot h_{eq}^v \quad / mm^3 / mm / \quad (24)$$

kde : V' ... Jednotková objemová trvanlivost brousícího kotouče

V_1 ... jednotková porovnávací objemová trvanlivost pro $h_{eq} = 1 \mu m$

v ... exponent

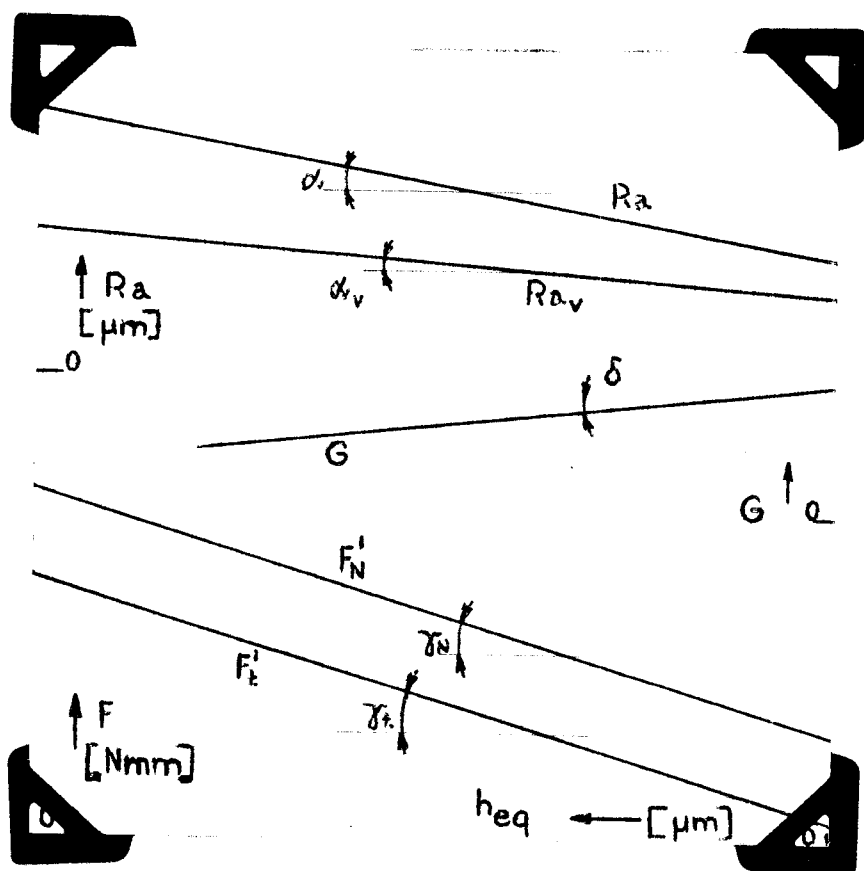
Specifická energie, potřebná pro odstranění objemové jednotky materiálu obrobku

$$e = F_1 \cdot h_{eq}^{f-1} \quad /J.m^{-3}/ \quad (25)$$

měrná energie

$$e_{0,1} = F_t' / h_{eq} \cdot 10^3 = F_t' / 0,1 = 10F_t' \quad /J.m^{-3}/ \quad (26)$$

Všechny funkční závislosti h_{eq} mají exponenciální charakter a převedením do logaritmické stupnice dostaneme přímkové závislosti. Takto sestavené grafy se nazývají diagramy broušení. Jeho úplnou podobu ukazuje obr. 7.



Obr. 7 : Diagram broušení

Diagramy broušení umožňují porovnání výsledků zkoušek získaných při práci s různými kombinacemi brusný kotouč - obrobek - řezná kapalina. Informace získání z diagramů

broušení mohou být použity pro ekonomickou optimalizaci brusných operací. K velkým přednostem těchto diagr mů bezpochyby patří komplexnost posouzení vzájemného působení brusný kotouč - obrobek./2/

Zhodnocení diagramů vyplývá:

- čím větší je absolutní hodnota exponentů řezných sil $/F_t - F_n/$, tím produktivněji probíhá proces broušení /materiál má lepší obrobitelnost nebo je kotouč řezivější/
- čím menší jsou konstanty, tím lepšího výsledku se dosáhne
- čím menší je hodnota $e_{0,1}$ odpovídající $h_{eq} = 0,1 \mu m$, tím úspěšněji probíhá broušení /s nižší energetickou náročností/

Podstatným nedostatkem diagramů broušení je jejich náročné sestavování. Mohou být sestrojeny jen na základě obsáhlého laboratorního měření. K dalším nedostatkům patří to, že se v diagramu nevyskytuje údaj o použitém stroji /je zastoupen pouze údajem o tuhosti stroje/.

3. CHLAZENÍ TĚŽKO OBRÁBITELNÝCH MATERIÁLŮ

Řezné kapaliny jsou kromě nástrojů činitelem, který nejvýrazněji ovlivňuje produktivitu a ekonomii obrábění. Zejména pak při obrábění TOM umožňuje i náročnější operace.

V důsledku zvýšených řezných sil při obrábění těžkoobrobitelných materiálů dochází k vysokým teplotám řezání. Malá tepelná vodivost způsobuje koncentraci tepla v oblasti řezání.

Význam samotného chlazení spočívá v :

- a/ chladícím účinku kapaliny
- b/ mazacím účinku kapaliny
- c/ čistícím účinku a jako prostředku pro odstraňování třísek

Pro obrábění TOM jsou vhodné především chladicí emulze a řezné oleje s tzv. vysokotlakými přísadami. Možnost použití chladicích kapalin při jednotlivých způsobech broušení a pro různé druhy materiálů ukazuje následující tabulka.

Tabulka č. 2

	Broušení běžné	Broušení rychlostní
Vysokolegované oceli včetně austenitických	AKVOL /1,5-2 %/ ostatní emulze /2-4 %/	ROBOL /5 %/ AKVOL /4-6 %/ ostatní
Austenitické slitiny a ostatní slitiny na bázi Ni, Ni-Cr, Co		emulze /8-12 %/ ABRASOL B
Titan a titanové slitiny		

Pro tvarové broušení včetně závitů se používá :ABRASOL B, EJEKTOL, FINOL, P2DS./4/

Popis některých méně používaných řezných kapalin

ABRASOL B - řezný olej s obsahem vysokotlakých přísad na bázi chloru a síry

FINOL - speciální kapalina s obsahem nízkoviskózních uhlovodíků a vysokotlakých přísad, jako náhrada za dosud používaný petrolej nebo směsí oleje a petroleje

EJEKTOL - řezný olej s obsahem vysokotlakých přísad na bázi chloru a síry a polárních přísad pro široké rozmezí teplotního obrábění

P2DS - minerální olej zušlechťený přísadami síry, chloru a fosforu /jemné a přesné práce/

ROBOL - emulgační olej s vysokotlakými přísadami /pro výkonné a rychlostní broušení/. Snižuje proti běžným brusným kapalinám řezné síly až o 50 %. Má příznivé sekundární vlastnosti /stabilita, hodnota pH, nepodporuje korozi/

AKVOL - minerální olej a sulf. ricinový olej s dalšími mastnými látkami trietanolaminem a baktericidní přísadou pro náročné obráběcí operace.

Chlazením obráběné plochy dochází nejen k odvodu tepla, ale snižuje odpor /řezný/, zlepšuje jakost a přesnost obrobené plochy. Proto mají kapaliny na chlazení své důležité místo v procesu obrábění. Při prováděných zkouškách v rámci diplomových prací byly použity kapaliny Emulsin H a Robol. Emulsin H z důvodů jeho rozšířeného používání v provozech zaměřených na obrábění a Robol pro jeho vlastnosti uvedené předcházející tabulkou. Tato fáze zkoušek byla dů-

vodem zkoumání při řešení diplomové práce s. Davidkové.

4. ZBYTKOVÉ PNUTÍ PO PROCESU BROUŠENÍ

Při obrábění kovových materiálů vznikají pod obrobeným povrchem zbytková napětí. Materiál mění své mechanické vlastnosti a strukturu. Tato zbytková napětí se zachovávají v materiálu i po odstranění vnějšího působícího napětí. Obecně můžeme napětí v kovových polykrystalických látkách /materiálech/ rozdělit:

a/ na napětí podle příčiny, která napětí vyvolala: Působí-li na systém vnější síly, vznikají napětí, která se označují jako vložena. Napětí vnitřní musí být v uzavřeném systému v rovnováze.

b/ na napětí posuzovaném podle doby, po kterou působí:

Okamžitá - zanikají po odstranění příčin, které je vyvolaly. Taková napětí mohou vznikat pouze do meze kluzu R_e .

Zbytková - zůstávají i po odstranění příčin, které je vyvolaly. Vznikají při překročení meze kluzu R_e .

c/ na napětí podle relativní velikosti objemu, ve kterém dosahuje rovnováhy

Zbytková napětí - 1. druhu - rovnováhy se dosahuje v makroobjemu součásti /makroskopické změny/

2. druhu - místní, k vyrovnaní dojde v oblastí jednoho nebo několika zrn /narušení rovnováhy nemusí vyvolat změny makroskopických rozměrů/

3. druhu - projevuje se v objemu několika atomových vzdáleností, několika krystalických buněk zrna /nedojde k makroskopickým změnám/, je nehomogenní i v nejmenších oblastech materiálu.

Zbytková napětí se obvykle vyskytují současně a pod pojmem zbytkové pnutí rozumíme zpravidla pouze zbytkové napětí 1. druhu.

Vznik zbytkových napětí 1. druhu si můžeme vysvětlit dvěma způsoby:

1. Působením řezného klínu na obráběný povrch, dochází v povrchových vrstvách k plastickým deformacím, zpevnění a změně fyzikálně-mechanických vlastností v této vrstvě. Vlivem toho dojde k zvětšení hustoty a zvětšení specifického objemu. Toto zvětšení však je omezeno hloubkou plastické deformace. Dále má za následek přitlačování dotykových nedeformovaných vrstev, které se tímto začínají také pružně deformovat. Po ukončení obráběcího procesu se pružně deformované vrstvy snaží vyrovnat, čímž působí tlakem na vnější vrstvy. V těch vznikají napětí tlakové a ve spodních vrstvách tahové.
2. Při samotném procesu obrábění vzniká teplo, které mění vlastností obráběného kovu. Povrchová vrstva vlivem tepla zvětšuje svůj objem. Spodní vrstvy teplem neovlivněné tomu brání, čímž v povrchové vrstvě vznikají tahová napětí. V povrchové vrstvě dochází k plastickým deformacím, které odstraňují vnitřní tlakové napětí. Ochladnutím dojde ke zmenšení povrchové vrstvy /objemu/. Tomu

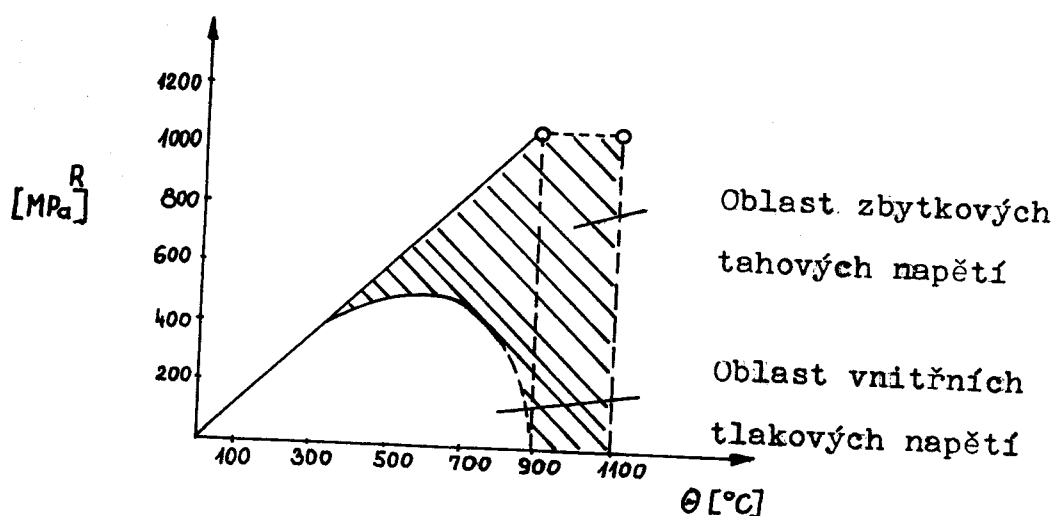
však brání studený kov uprostřed součástky. V důsledku tohoto silového působení vznikají v povrchové vrstvě zbytková napětí a pod touto vrstvou tlaková napětí. Působení těchto napětí je znázorněno obr. 8. Velikost zbytkových napětí pro případ 2 lze orientačně spočítat z Hookova zákona

$$R = \varepsilon \cdot E \quad (27)$$

a po úpravě

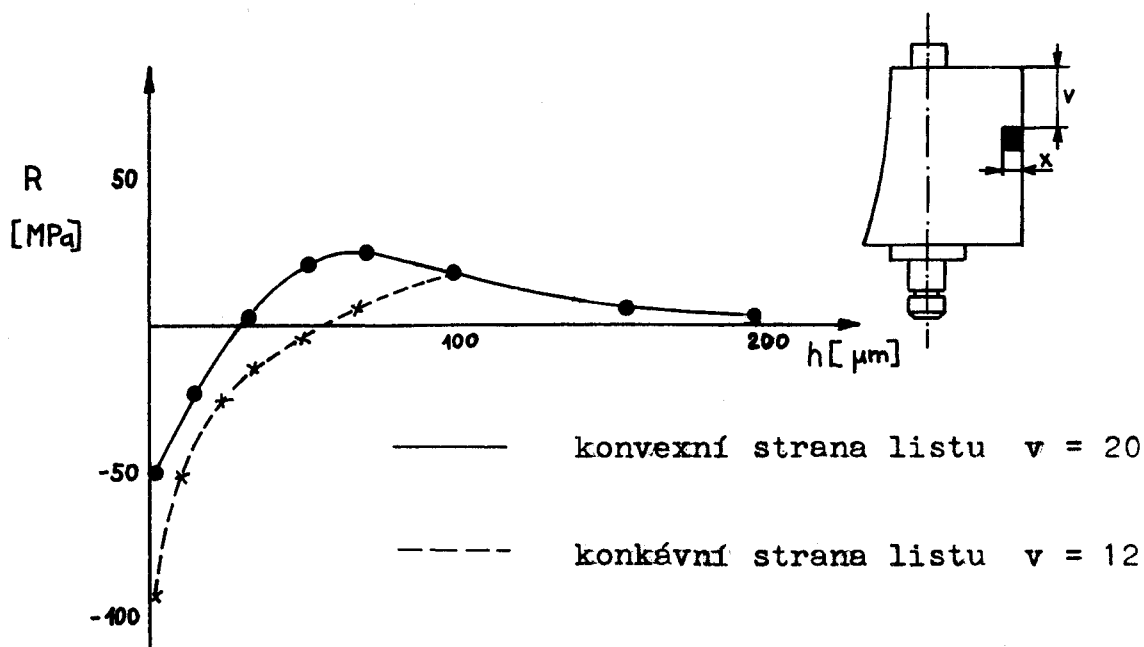
$$R = 0,5 \cdot (\theta_2 - \theta_1) \cdot \alpha \cdot E \quad [\text{MPa}] \quad (28)$$

kde : θ_2 ... teplota ohřevu $^{\circ}\text{C}$
 θ_1 ... původní teplota $^{\circ}\text{C}$
 α ... koeficient lineární teplotní roztažnosti $^{\circ}\text{C}^{-1}$
 E ... modul pružnosti odpovídající teploty ohřátí $[\text{kN}\cdot\text{mm}^{-2}]$



Obr. 8 : Charakter změny vnitřních napětí v závislosti na teplotě ohřevu povrchové vrstvy

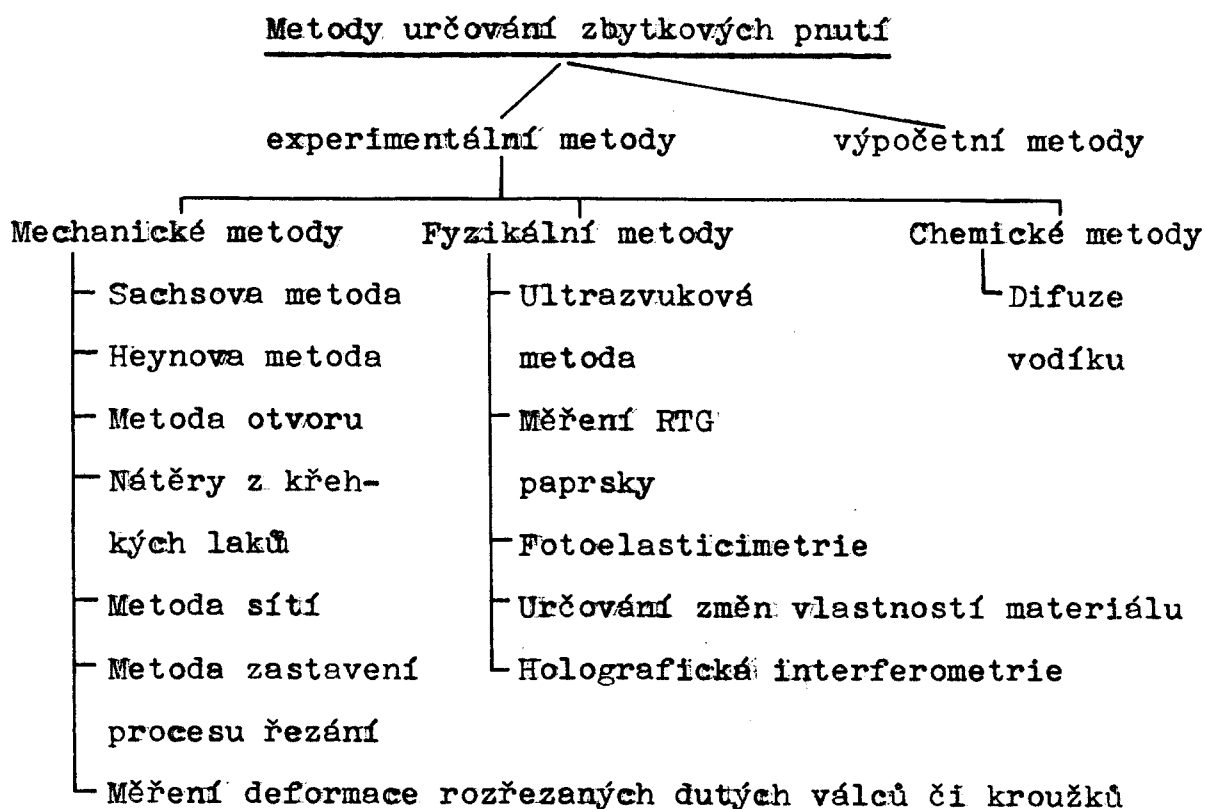
Všeobecně se přijímá názor, že zbytková pnutí v tahu jsou považována za nežádoucí. V případě, že namáháme daný materiál tahem, skládá se napětí v materiálu s působící silou a snižuje se tím teoretická pevnost materiálu. Největší vliv zbytkových napětí můžeme pozorovat u materiálů, jejichž mez kluzu se blíží mezi pevnosti. U těchto materiálů nedochází k rozsáhlejším plastickým deformacím. Experimentálně bylo dokázáno, že tahové zbytkové napětí snižuje životnost součástí, naopak tlaková životnost zvyšuje. Výsledné hodnoty získané měřením kontrolních vzorků, zaznamenáváme do grafů zbytkové pnutí - hloubka. Příklad uveden na obr. 9.



Obr. 9 : Průběhy zbytkových pnutí v odtokové hraně statorových lopatek axiálního kompresoru - chromová ocel

4.11. Metody zjišťování zbytkových pnutí

Většina metod v současnosti používaných se zakládá na experimentálních měřeních, které jsou buď zdlouhavé a náročné na zařízení nebo nepřesné. Mohou být experimentální nebo teoretické. Teoretická měření se prakticky nepoužívají z důvodu nedokonalosti výpočtu a velmi pracného početního řešení. Experimentální metody můžeme rozdělit na mechanické, rentgenové a nepřímé. /6/



Z dosavadních zkušeností vyplývá, že zbytkové pnutí ve výrobku negativně ovlivňuje jeho mechanické vlastnosti /projevuje se to zvláště při cyklickém namáhání/. Proto bude nutné postupně volit nejen optimální řezné podmínky, ale i podmínky, aby zbytkové pnutí bylo minimální.

5. POPIS EXPERIMENTÁLNÍHO ZAŘÍZENÍ

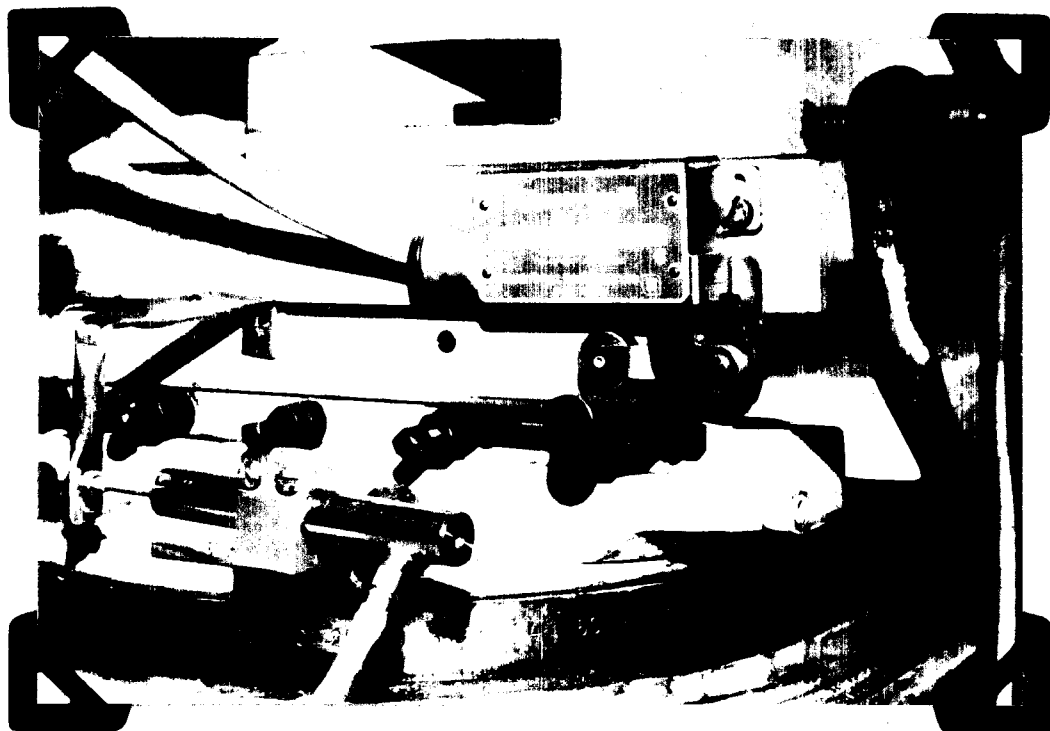
Stroj

Zkoušky obrobitelnosti byly provedeny na hrotové univerzální brusce BUA 16 TOS Hostivař.

Hlavní technologická data stroje jsou:

největší průměr předmětu :	160 mm
vzdálenost hrotů :	250 mm
největší průměr brousícího kotouče :	250 mm
otáčky brusného vřetena :	2420, 3290 min ⁻¹
otáčky pracovního vřetena :	250, 355, 500, 710 min ⁻¹
samočinný přísun brusného vřeteníku:	0,1 + 3 mm Ø.min ⁻¹

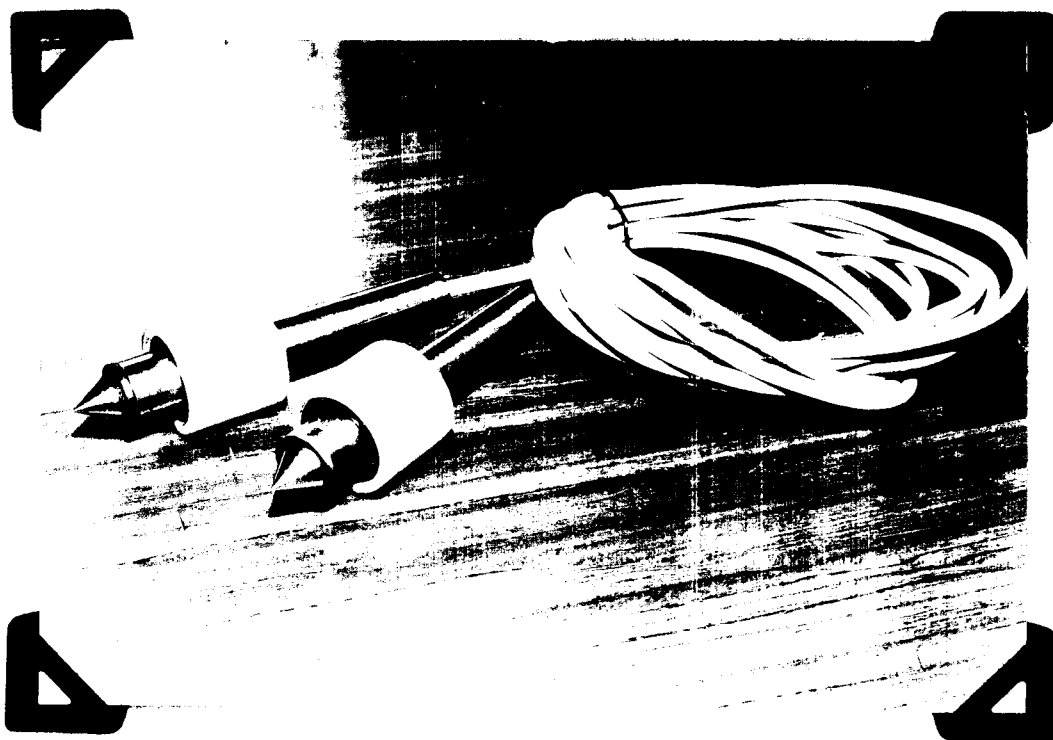
Při měření byl použit samočinný přísuv brusného vřeteníku. Velikost přísuvu byla snímána indukčním snímačem IWT 302 RFT DDR /obr. 10/. Pro dodržení dezichovacího způsobu broušení byl nastaven nulový pohyb stolu.



Obr. 10 : Indukční snímač přísuvu

Dynamometr

K měření řezných sil bylo využito návrhu dynamometru s tenzometrickými snímači podle Holásky. Pro účely brusky BUA - 16 bylo však nutné dynamometr rozměrově přizpůsobit. Došlo též k některým konstrukčním úpravám. Zvýšila se ochrana tenzometrů pomocí silonového pouzdra a gumového těsnění.

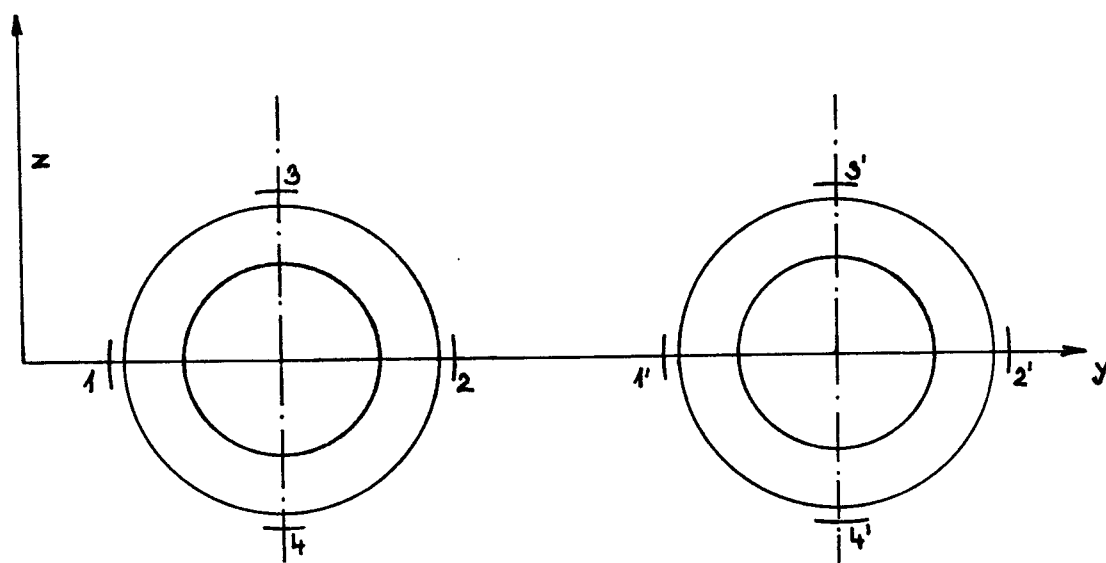


Obr. 11 : Dynamometr

Tímto způsobem je zamezeno vnikání brusného prachu k tenzometrům.

Tenzometry

Jako snímače pro měření deformace dynamometru bylo použito 8 tenzometrů SM - 120. Umístění tenzometrů ukazuje obr. 12. Radiální složka řezné síly F_n bude deformovat tělo dynamometru ve směru osy - y. Tato síla je snímána ten-



Obr. 12 : Umístění tenzometrů

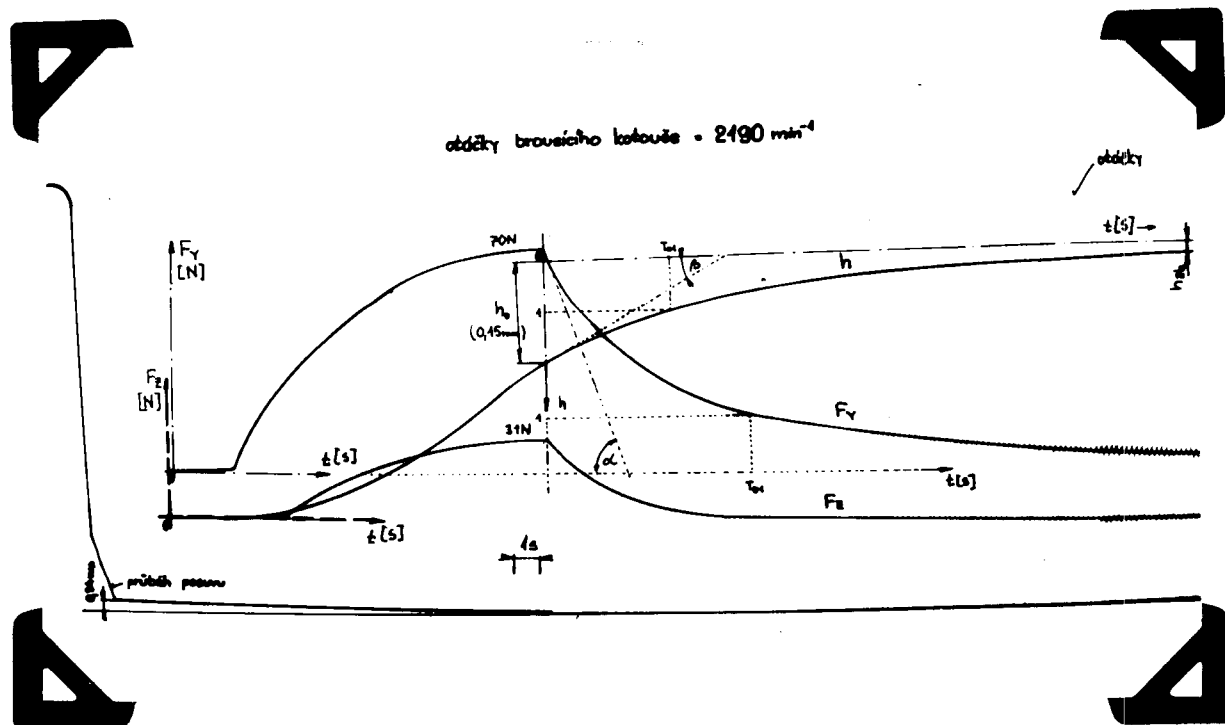
zometry 1, 2, 1', 2',.. Umístění tenzometrů v podélné ose dynamometru /x/ bylo voleno v bezprostřední blízkosti jeho vetknutí.

Registrační zařízení

Registrační zařízení zaznamenávalo při měření tyto veličiny :

- radiální složku řezné síly F_n
- tangenciální složku řezné síly F_T
- úbytek materiálu h
- průběh přísuvu brousícího vřeteníku v_p

Najetím brousícího kotouče do záběru s obrobkem dochází k zatížení dynamometru. Vyvolaná deformace je snímána tenzometry. Elektrický signál tenzometrů je tenzometrickým můstkem

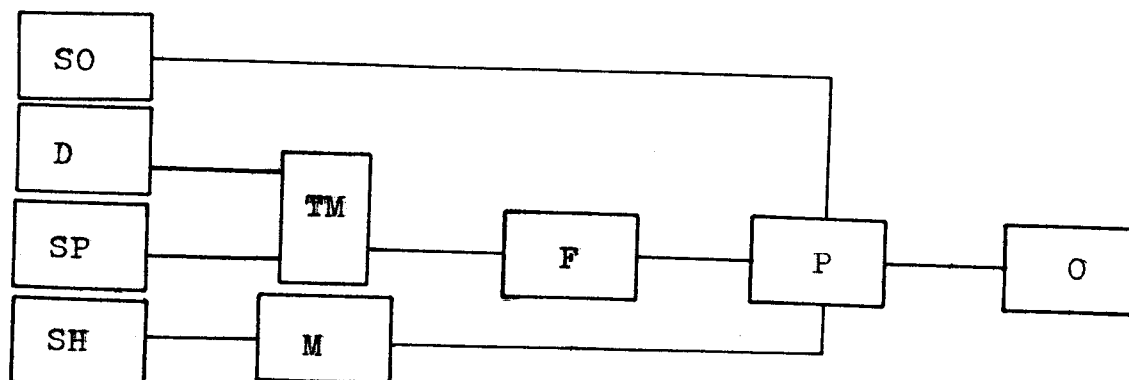


Obr. 13 : Záznam vyjiskřovací křivky

veden přes filtr F, předzesilovač P do smyčkového oscilografu O. Blokové schéma aparatury je zachyceno na obr. 14. Elektrický signál v oscilografu řídí osvit fotografického papíru ve směru osy $n / F_n /$. Vodorovný pohyb řízeného paprsku světla je zajišťován posuvem fotografického papíru. Při měření bylo použito posuvu 5 mm.s^{-1} . Záznam je na obr. 13.

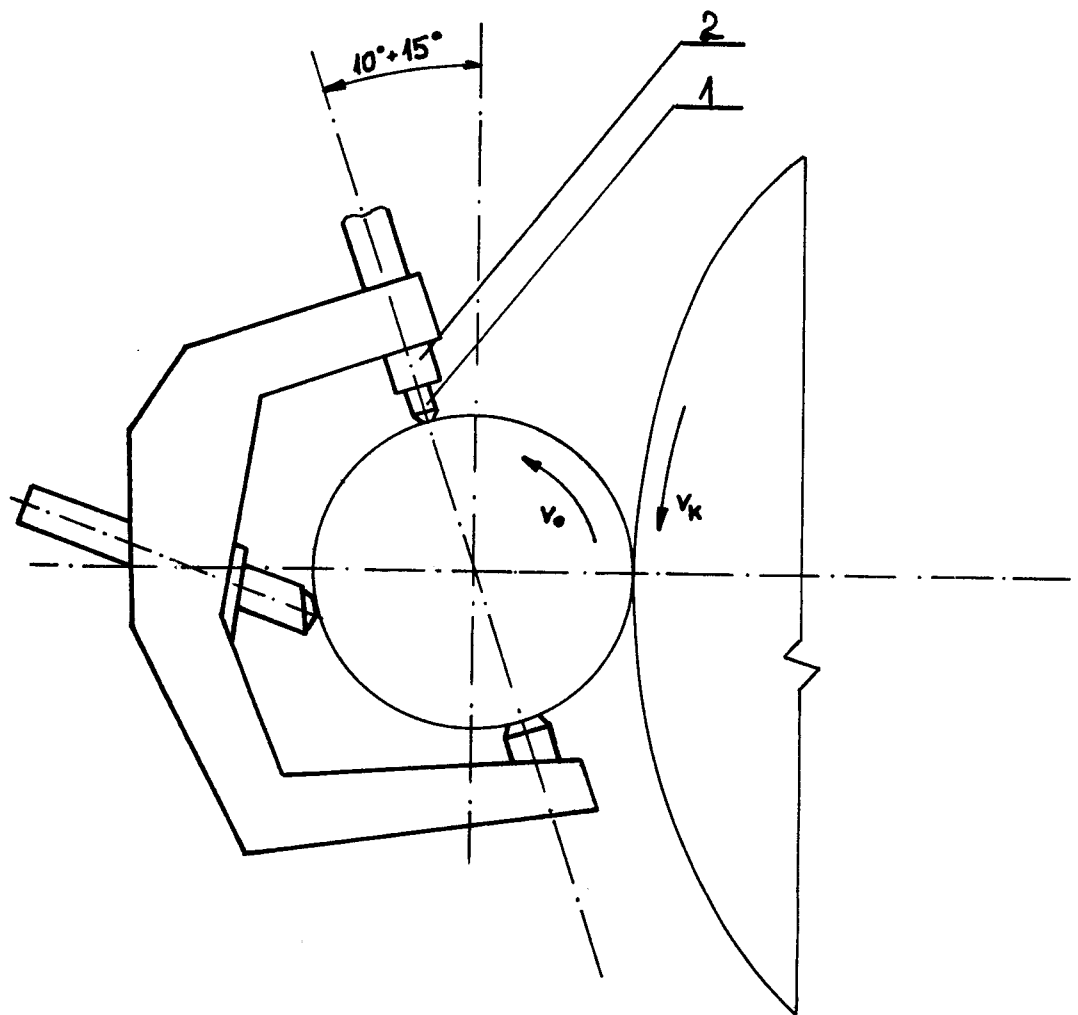
Úbytek materiálu h byl sledován dotykovým snímačem Marposs. Měřidlo má dva pevné a jeden pohyblivý dotyk. Na obr. 15 je schematicky znázorněno měřidlo. Při opracovávání obrobku dochází ke změně jeho průměru. Změna je sledována pohyblivým dotykem 1 /obr. 15/, který se vysouvá z vodícího pouzdra 2 tak, aby byl stále ve styku s povrchem obrobku. Pohyblivý dotyk vysílá elektrický signál k tisícínovému ručičkovému ukazateli Marposs. Na ukazateli je možno sledovat průběh úbytku materiálu až do obroušení požadovaného

Obr. 14 : Schéma přístrojového zapojení



- SO ... snímač otáček MGB 102
D ... dynamometr
SP ... snímač posuvu IWT 302 RFT DDR
SH ... snímací hroty Marposs pro měření úběru materiálu
TM ... tenzometrický můstek UM - 131
F ... filtr VŠST DP $f_1 = 200$ Hz
P ... předzesilovač HONEYWELL GMBH
O ... smyčkový oscilograf ULTRA - VIOLET RECORDET 205
M ... MARPOSS FENAR

přídavku. Pro potřebu záznamu změny úbytku materiálu na fotografický papír registračního zařízení ULTRA - VIOLET RECORDER 205 byl z 12. a 13. kanálu ukazatele Marposs vyveden signál od pohyblivého dotyku 1 /obr. 15/.



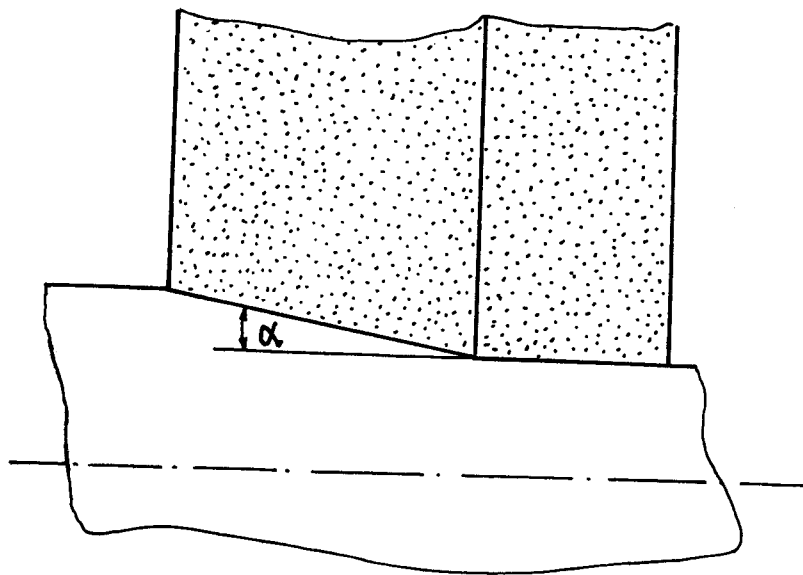
Obr. 15 : Schématické znázornění dotykového snímače Marposs

6. BRUSNÉ KOTOUČE

Na kvalitu funkčních ploch součástí z těžkoobrobitelných materiálů jsou kladeny vysoké požadavky, a to nejenom z hlediska geometrické přesnosti, ale i z hlediska jakosti povrchu. Tyto parametry významnou měrou ovlivňuje i brusný kotouč /jeho volba/.

Vysoké teploty při broušení a velké řezné odpory způsobují intenzivní otupování brousícího kotouče, což vyžaduje časté orovnávaní. U houževnatých materiálů se brousící kotouč navíc "zanáší" a ztrácí řezné vlastnosti.

Nejvhodnějším způsobem je broušení obvodem kotouče zapichováním a podélným posuvem obrobku nebo kombinací podélného a příčného pohybu, vždy s malým přísuvem do řezu. Při podélném broušení se osvědčilo broušení kotoučem orovnaným do mírného kužele tak, aby se při malém posuvu /0,5 - 1 mm/ a malé tloušťce řezu /asi 0,05 mm/ mohly větší přídavky odebírat najednou. Příznivého styku brousícího kotouče s broušenou plochou dosáhneme orovnávaní kotouče dle obr. 16.



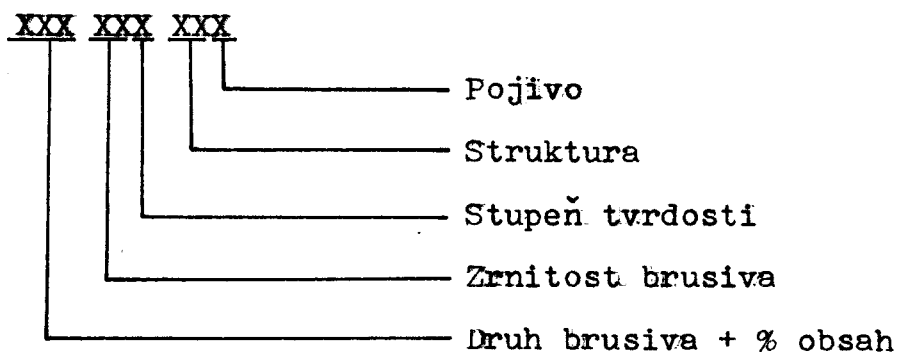
Obr. 16

Pro konkrétní materiál je třeba optimální řezné podmínky stanovit technologickými zkouškami se zřetelem na požadovanou jakost obrobku, minimální výrobní náklady a řezné vlastnosti brusného kotouče. Dále je nutné přihlédnout i k typu brousícího stroje a jeho technickému stavu. V literatuře /4/ je uvedena tabulka doporučených brusných kotoučů k broušení slitin s vysokým obsahem niklu /tab. 3/.

Tabulka 3

Materiál	Slitiny Ni, Ni - Cr
Vnější broušení v hrotech	A99/C49 A97 MK 32K9V A99/A97MK 25 až 32 J až K 12 V C49 25M 12V
Vnitřní broušení	A99/C49 25 až 32 K9V
Bezhraté broušení	A99/A97MK C4925 K - L 9V
Rovinné broušení	
- se svislou osou	A9950K12V
- s vodorovnou osou	A9950J9V

Kotouče československé výroby mají označení dle ČSN následovné:



6.1. Použité kotouče při experimentálním měření

Výběr kotoučů byl proveden:

- na základě zkušeností v n. p. Motorlet Jinonice
- na základě kotoučů doporučených v odborné literatuře
- kotouče nově vyrobené /ještě neodzkoušené na těchto materiálech/ v n. p. Carborundum Benátky nad Jizerou

Na základě tohoto výběru bylo stanoveno 5 druhů zkušebních brusných kotoučů

A98S 25H 10V

A97 25H 10V

A98 25H 10V

A99 25K 9V

TYROLIT 89A 60K 8A V 217

V tabulce 4 jsou základní charakteristické vlastnosti kotoučů zaslaných z n. p. Motorlet Jinonice /výsledky zkoušek/.

S kotouči C 48 bylo provedeno pouze jedno měření a pro jeho příliš velké opotřebení a minimální úběr bylo od dalších zkoušek s ním upuštěno. Z dalších byly vybrány pouze

Tabulka 4

Č.	Druh	D /mm/	S /mm/	d /mm/	m _g /g/	Q / $\frac{g}{cm^3}$ /	Strukt. /v % zr/	E _z / $\frac{kN}{mm^2}$ /	Tvr.
1	A97	248,3	20,7	76,2	1721	1,896	44	30,0	H
2	A97	249,0	20,5	76,1	1736	1,918	44	32,7	H
3	A97	249,0	20,6	76,6	1738	1,914	44	31,4	H
4	A97	249,0	20,6	76,5	1722	1,896	44	30,5	H
5	A97	249,0	20,7	76,3	1729	1,893	44	30,9	H
6	A98	250,1	20,6	76,3	1712	1,865	43	28,9	H
7	A98	250,0	20,5	76,5	1703	1,867	43	28,0	H
8	A98	248,4	20,6	76,4	1692	1,872	43	28,7	H
9	A98	250,0	20,6	76,6	1692	1,847	42	26,3	H
10	A98	250,1	20,6	76,5	1705	1,859	43	28,1	H
11	A98S	249,0	18,8	76,3	1494	1,801	41	25,6	H
12	A98S	249,1	20,8	76,3	1700	1,851	43	27,8	H
13	A98S	249,0	20,9	76,3	1703	1,847	42	29,0	H
14	A98S	249,1	20,0	76,6	1622	1,838	42	29,4	H
15	A98S	249,0	20,0	76,3	1654	1,874	43	30,6	H
16	C48	248,3	20,9	76,3	1245	1,358	28	17,6	G
17	C48	249,0	20,6	76,2	1242	1,366	28	17,2	G
18	C48	248,5	20,9	76,6	1246	1,358	28	19,4	G
19	C48	248,8	20,8	76,4	1250	1,365	28	19,8	G
20	C48	249,0	20,6	76,3	1240	1,364	28	17,7	G

některé z celé řady /č. 2, 3, 9, 11/.

Pro srovnání byl použit kotouč rakouské výroby TYROLIT 89A 60K 8AV 217. Je to bílý umělý korund. Obsahuje 99,9 % kysličníku hlinatého Al_2O_3 . Zrno je střední velikosti /60/,

stupeň tvrdosti kotouče "K" /měkký/, struktura /8A/ otevřená. Kotouč má keramickou vazbu /V/. Charakteristickým číslem kotouče je 217. Potřebné hodnoty byly zaznamenány do tabulky 5.

7. TĚŽKOOBROBITELNÉ MATERIÁLY

Těžkoobrobitelné materiály jsou materiály s větší pevností než uhlíkové oceli. V současné době dochází stále častěji k používání těchto materiálů. Současně s tím vyvstává problém s jejich obráběním. Jejich použití si vyžadují požadavky na nová zařízení, která pracují za extrémních podmínek. Běžně používané materiály by byly za těchto podmínek prakticky nepoužitelné. Charakteristickou vlastností těchto materiálů je zvýšená pevnost, což vede k růstu řezných sil a současně dochází k vyššímu stupni pěchování. Velice významná vlastnost je nízká tepelná vodivost./5/

Těžkoobrobitelné materiály můžeme rozdělit na :

- vysocepevnostní oceli
- nerez oceli
- žárupevné oceli a žáruvzdorné oceli

Vysocepevnostní oceli, jak už z názvu vyplývá, jsou charakteristické vysokou pevností. Jejich použití je však limitováno jejich nízkým plastickými vlastnostmi. Jako kritérium pro posuzování se používá mez kluzu /Re/ nebo mez pevnosti /Rm/, případně chemické složení nebo způsob tepelného zpracování. Jako dělicí měřítko se uvažuje

$$Re \geq 1250 \text{ MPa}$$

$$Rm \geq 1500 \text{ MPa}$$

Představují dnes špičkové materiály, které lze uplatnit při konstrukci vybraných součástí /jsou to např. oceli TRIP nebo Maraging/.

Nerez oceli, oproti uhlíkovým ocelím mají vyšší pevnost

a větší množství volných karbidů, což má za následek zhoršení obrobiteľnosti. Problémy vznikající v souvislosti s nízkou tepelnou vodivostí materiálu se snažíme odstranit kvalitním chlazením.

Žáruvzdorné a žárupevné oceli jsou většinou oceli na bázi Ni, Co. Jsou charakterizovány vysokými hodnotami pevnosti při tečení za teplot 650 - 1000 °C a současně nízkými hodnotami tažnosti /A/ při tečení.

7.1. Slitiny s vysokým obsahem niklu

Jsou vyráběny vzhledem k nárokům, které nemohou splnit austenitické oceli se zvýšeným obsahem niklu a chrómu. Nese snadná obrobiteľnost je zaviněna především typem jejich krystalické mřížky /krychlová plošně středěná mřížka, pro kterou je příznačná velká houževnatost a tvárnost, což ztěžuje obrobiteľnost/. Pro praktické zkoušky byly n. p. Motorlet Jínonice zaslány následující materiály:

EI - 437 BUVD

ŽS 6K

LVN 110

Chemické složení těchto materiálů ukazuje tabulka 6. K důležitým vlastnostem z hlediska obrobiteľnosti patří i mechanické vlastnosti materiálu /tab. 7/. Vzhledem k rozsáhlosti zkoušek potřebných k hodnocení obrobiteľnosti a jejich časové náročnosti byl z uvedených materiálů vybrán pouze jeden. Jedná se o slitinu LVN 10. Další pokusy plánované v oboru obrábění těžkoobrobiteľných materiálů budou mít za úkol posoudit další z řady zaslaných vzorků.

Tabulka 6

Prvek	EI-437 BUVD	ŽS 6K	LUV 10
Ni	cca 73,00	67,3000	74,4000
Mn	0,400	0,0100	0,0100
Si	0,600	0,1420	0,0670
Cr	19 - 22	9,1810	11,5000
Mo	-	4,1580	4,6060
Ti	2,5 - 2,9	2,8220	0,8300
Al	0,6 - 1,0	5,2920	6,0380
Co	-	4,4430	0,1000
Nb	-	-	2,0000
Nb+Ta	-	-	2,0100
Fe	1,000	0,6250	0,1950
Zr	-	0,0050	0,1200
Cu	0,070	0,0090	0,0090
B	0,010	0,0160	0,0080
C	0,070	0,1500	0,0440
S	0,070	0,0013	0,0020
W	-	5,1000	-
P	0,015	-	-

Tabulka 7

	EI-437BUVD	ŽS	LVN
Mez pevnosti /Rm/	980	981-11050	911
Mez kluzu /Re _{0,2} /	590	863-922	792
Tažnost /A ₅ /	13	1,5-7,0	11,2
Kontrakce /Z/	16	8-16	-
Vrub. houž. /KCU2/	30	-	-
Tvrđost /HB/	269-341	322-350	285-435

8. STÁVAJÍCÍ STAV V N. P. MOTORLET JINONICE

Broušení miklových slitin v n. p. Motorlet můžeme rozdělit do čtyř základních skupin :

1. Broušení na plocho. Opracování rovinných ploch se provádí nejčastěji kotoučem A99 116K 9V při použití řezné kapaliny EMULSIN H.
2. Tvarové broušení na plocho. Tímto způsobem se provádí např. broušení závěsů lopatek do turbín. Při této operaci se nejčastěji používají brusné kotouče firmy ELBE 81A 120 - 1G15 - V18 nebo kotouče od stejné firmy 81A 120 - 3H11 - V18 /400 x 17 x 127/. V samotném podniku dochází k pokusům o náhradu těchto kotoučů kotouči československé výroby. Pro hrubování s tvrdostí G a při broušení na čisto H.
3. Tvarové broušení na kulato /rotační součásti/. Takto se například brousí bandáže lopatek. Lopatky jsou sestavené do kruhu a zality voskem nebo woodovým kovem pro zajištění proti pohybu. Po dokončení je působením tepla zpevňující hmota odstraněna. Na obr. 17a je znázorněn profil výrobku zhotoveného z materiálu LVN 10. K používání dvou různých kotoučů dochází z důvodů, že kotouče naší výroby špatně "drží" předepsaný tvar, rychle se vydrolují a proto se musí často orovnávat. Používaná chladicí kapalina je výrobkem italské firmy Bellucco chimica TORINO s obchodním označením Sinbolin R 30. Používá se v koncentraci s vodou v poměru 1 : 50 . Účinně odstraňuje vzniklé nečistoty z kotouče, čímž zabráňuje jeho zanášení. Požadovaná drsnost povrchu je 1,6 μ m.

Orovnávací rolny jsou zhotoveny z materiálu 19436 /Poldi 2002/.

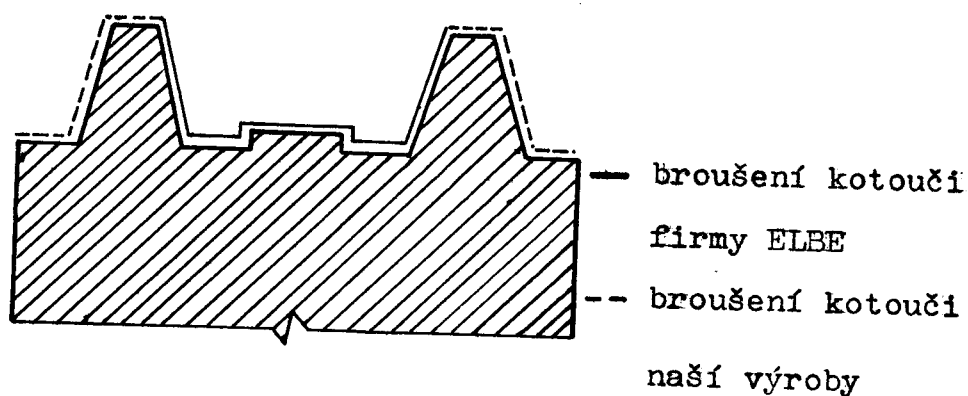
V tomto i v předešlém případě se obrábí s velice malými posuvy $/22 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}/$. K orovnění kotouče dochází vždy po projetí 3 lopatek. Vyvinutý tlak kapaliny na rolnu při orovňávání je 0,5 MPa. Z dosavadní praxe se doporučuje pracovní tlak co největší.

4. Přesné broušení. Používá se pro $/5-6/^{\circ}$ lícování na materiálu EI437 BUVD. Jako nástroje se užívá brousící kotouč švýcarské výroby VITOUBIN WINTERTHUR o tvrdosti 80J a 80H. Řezná kapalina je dovážena z Velké Británie s označením BLASER, BLASOCUT, Grindex 883, v koncentraci s vodou 1:50. Dosahovaná drsnost je $0,4 \mu\text{m}$ i méně.

Z práce vývojového a technologického oddělení vyplynuly tyto závěry:

- proces broušení je maximální měrou ovlivněn kvalitou a vlastnostmi brousícího kotouče
- vliv řezných kapalin je zanedbatelný.

Z těchto závěrů bylo vycházeno i při počátcích této diplomové práce.



Obr. 17a

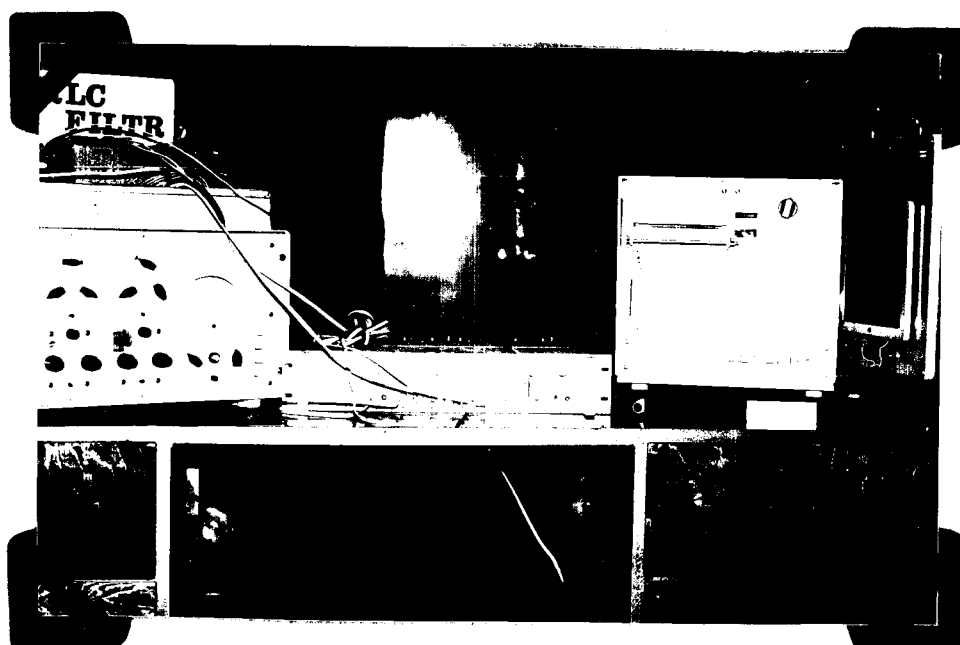
9. POSTUP MĚŘENÍ

- 1/ Volba brousícího kotouče
- 2/ Zvuková zkouška kotouče /poklepem dřevěného kladívka do volně zavěšeného kotouče - je-li kotouč bez vady, vydává zvonivý zvuk/
- 3/ Vyvážení brousícího kotouče - statické
- 4/ Vyvážení brousícího kotouče - dynamické
- 5/ Ustavení brousícího kotouče na vřeteno stroje a zajištění
- 6/ Bod 1 až 4 se opakuje při výměně kotouče
- 7/ Orovnání pracovní plochy brousícího kotouče /k orovnání bylo použito jednokamenného diamantu; celková hloubka orovnání činila 0,35 mm; hrubovací přídavky jsou o tloušťce 0,04 mm; při orovnávání jemném jsme odebrali 2x vrstvu po 0,02 mm s jedním vyjiskřením/
- 8/ Správné usazení dynamometru /kontrola souososti hrotů dynamometru - případné přebroušení, kontrola polohy tenzometrů/
- 9/ Cejchování dynamometru /závislost síla - průhyb/
- 10/ Ustavení obrobku mezi hroty /nutno mazat středící důlky - sníží se tření a nedochází k výraznému opotřebení hrotů/
- 11/ Volba řezných podmínek / $n_k = \text{konst.}$, $n_o = \text{konst.}$, nastavení přísuvu, doba vyjiskření, velikost zpomalení, nastavení přídavku na broušení/
- 12/ Volba řezné kapaliny
- 13/ Nasadit snímač měřidla Marposs na obrobek
- 14/ Vyvážit tenzometrický můstek

- 15/ Uvedení do chodu registračního zařízení /obr. 17/
- 16/ Zapnutí automatického přísuvu brousícího vřeteníku
/Rychlost přísuvu v_f byla měřena indukčním snímačem
IWT 302 RFT DDR. Z grafického záznamu na výstupu re-
gistračního zařízení bylo zjištěno, že daný hydrau-
lický systém neumožňuje zachovávat konstantní rychlost
přísuvu pro všechny obrobky. Proto pro výsledné hodno-
cení byly brány hodnoty odečtené ze záznamu/. Pro
konstantní rychlost přísuvu v_f by bylo výhodné pou-
žít NC systém.
- 17/ Provedení operace broušení s vyjiskřením /doba vyjís-
kření nastavena automaticky/
- 18/ Vypnout registrační zařízení /obr. 17/
- 19/ Zaznamenání naměřených hodnot do tabulky č. 5
- 20/ Měření drsnosti povrchu /měření bylo prováděno na
drsnoměru HOMMEL TESTER T3 snímačem TFE 100, délka drá-
hy 2 mm, cut off 0,75 mm/
- 21/ Provedení operace broušení bez vyjiskření
- 22/ Měření drsnosti povrchu
- 23/ Opakování operace 21 dvakrát do stejného místa kotouče
/operace 21 provedena 3x za sebou /2 x 23 + 24/ slou-
žila k získání hodnot pro poměrný obrus/
- 24/ Měření úbytku kotouče planžetovou metodou /planžeta
 $t_1 = 1,1$ mm/. Otištění profilu kotouče do planžety.
- 25/ Vyhodnocování záznamu z ULTRA - VIOLET RECORDER 205.
Převedení naměřených hodnot pomocí cejchovací křivky
na jednotky SI.
- 26/ Orovnání brousícího kotouče /viz bod 6/
- 27/ Opakování měření /změna některého z parametrů bodů
11, 12/

- 28/ Vyhodnocení kritéria OB /viz kap. 10.2./
- 29/ Vyhodnocení kritéria h_{eq} /viz kap. 10.1./
- 30/ Provedení výběru optimálních hodnot /řezná rychlost brousícího kotouče, řezné kapaliny/

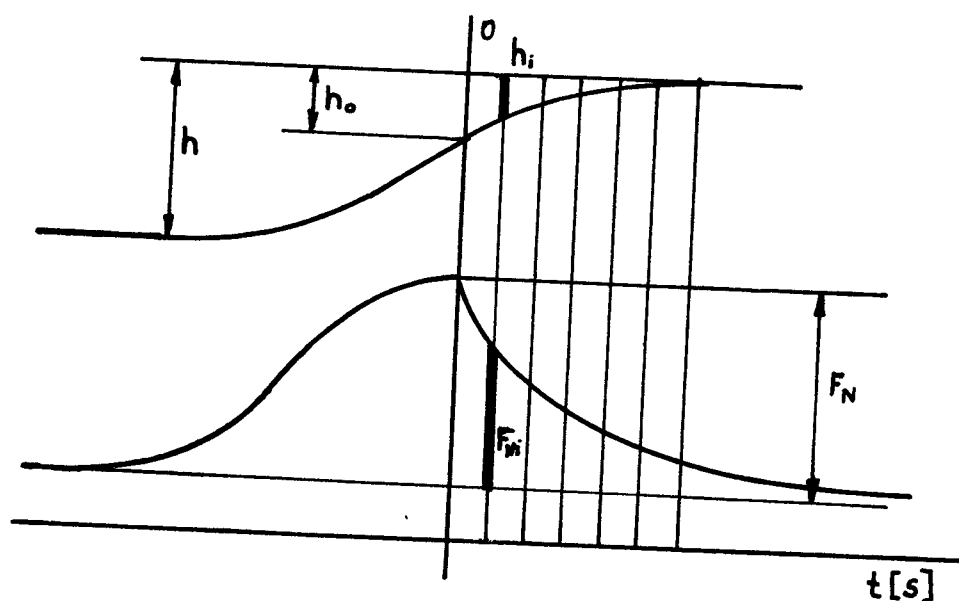
obr. 17 Registrační zařízení



10. VYHODNOCOVÁNÍ MĚŘENÍ

10.1. Vyhodnocení kritéria h_{eq}

Vyhodnocování kritéria h_{eq} se provádělo ze záznamu pořízeného na registračním zařízení ULTRA - VIOLET RECORDER 205 /viz obr. 13/ K hodnocení bylo použito hodnot h_0 , h , F_{Ni} , l_0 , l_c , α , β ; Pro zaznamenání naměřených hodnot sloužila předtištěná tabulka č. 5. Některé z důležitých hodnot, které v tabulce chyběly, byly později během měření doplněny. Na časovou osu se nanášela hodnota t_i , zvolená 5,5126 mm a odměřila odpovídající hodnota h_i a F_{Ni} souřadnic vyjiskřovací křivky, kdy $i = 0, 1, \dots, 9$ /obr. 18/.



Obr. 18 : Odečet h_i a F_{Ni} souřadnic vyjiskřovací křivky

Násobením F_{Ni} souřadnice cejchovacím měřítkem síly získáme hodnoty v jednotkách síly /cejchovací měřítko síly = 0,8143 N/. Tím získáme hodnoty radiální složky síly.

Tangenciální složka řezné síly nebyla vyhodnocována ze záznamu, ale výpočtem z užitečného výkonu (18). Získané hodnoty h_o , F_{No} a naměřené hodnoty během broušení Ra , Ra_v , G , se zanášely do diagramu broušení. Jelikož závislost těchto funkcí je exponenciální, výsledné hodnoty v logaritmických souřadnicích jsou přímky. Při opakovaném měření se v některých případech vyskytly odchylky od přímek /viz diagramy broušení/. Součástí každého diagramu broušení je doplňková tabulka, udávající hodnoty, které se vztahují k danému diagramu /tab. č. 8/. Hodnota h_{eq} se spočítala z hodnot v tabulce 5 následovně

$$l_o/5,5126 = l_s \quad /mm/ \quad (29)$$

$$zpomalení/2l_s = v_P \quad /μm.s^{-1}/ \quad (30)$$

$$v_P/4,878 = v_{Po} \quad /μm.ot^{-1}/ \quad (31)$$

$$v_{Po}/q = h_{eq} \quad (32)$$

kde q spočteme ze vztahu /vpředu/ a velikost zpomalení byla volena /zpravidla 0,2/. Pro přepočet hodnoty h_i z grafu bylo potřebné nejprve zjistit h_p /přepočtová hodnota - pro každý graf jiná/

$$\frac{d_{01} - d_{02}}{2} \cdot \frac{1}{h} = h_p \quad (33)$$

kde : d_{01} ... průměr obrobku před broušením /mm/
 d_{02} ... průměr obrobku po broušení /mm/

Potom skutečná hodnota $h_{is} = h_i \cdot h_p$. Hodnotu poměrného obrusu G spočteme ze vztahu:

$$G = \frac{d_{01}^2 - d_{02}^2}{d_{k1}^2 - d_{k2}^2} \quad (34)$$

Výsledné hodnoty byly zaznamenány do tabulky 5. Ta později sloužila k vyhodnocení a porovnání jednotlivých variant /kotouč - řezná kapalina - řezné podmínky/. Z uvedeného vyplývá, že výpočet je dosti zdlouhavý. Proto by bylo výhodné zpracování postupu výpočtu charakteristických veličin pro h_{eq} na počítač. Při samotném vyhodnocování grafického záznamu dochází ke zkreslení výsledků /nepřesnost měřících pomůcek, omezené možnosti lidských vjemů, .../. Bylo by velice výhodné napojení registračního zařízení na počítač /značně by zkrátilo čas výpočtu a zlepšila přesnost měření/.

10.2. Vyhodnocení kritéria O_B

Kritérium obrobitelnosti O_B bylo zvoleno jako jedno z možných pro porovnání hodnot s hodnotami h_{eq} . Pro výpočet kritéria byly použity veličiny z grafického výstupu /obr. 43 a z tabulky 5. Pro optimalizaci hodnot naměřených u jednotlivých měření /pro jeden kotouč, jeden druh kapaliny, ale různé řezné podmínky/ bylo použito vývojového systému JVS - 80. Výstupními hodnotami jsou U při kroku 5 a U' při kroku 10. Obdobně platí i pro hodnoty L a L' . Výsledná hodnota O_B byla zanesena do logaritmické stupnice diagramů broušení /pro srovnání s h_{eq} /.

Tabulka 8 : Materiál IVN 10

Č.	Kotouč	Ra	Ra _v	α	α _v	f	f _v
1	89A 60K 8A V 217	4,1	2,5	24	25	0,45	0,47
2	A99 25K 9V	2,4	1,5	17	23	0,32	0,42
3	A98 25H 10V	5,9	2,3	30	21	0,36	0,52
4	89A 60K 8A V 217	2,2	0,85	20	12	0,36	0,41
5	A97 25H 10V	3,1	1,0	16	8	0,32	0,12
6	A99 25K 9V	1,2	-	11	-4	0,16	-0,05

Č.	G _{0,1}	δ	e _{0,1}	F ₁	μ	γ _N	γ _T
1	1,05	-1,5	35	10,5	0,320	26	26
2	1,25	-10	42	8,5	0,430	16	18
3	0,31	-51	23,5	6,0	0,340	33	43
4	1,35	-3	29	10,5	0,360	29,5	40,5
5	0,2	-46	30	9,5	0,420	26	26
6	2,4	-3	36	11	0,400	21,1	26

Č.	f _T	f _N	Kapalina
1	0,420	0,420	EMULSIN H 5 %
2	0,320	0,320	EMULSIN H 5 %
3	0,420	0,420	EMULSIN H 5 %
4	0,560	0,560	ROBOL
5	0,487	0,487	EMULSIN H 5 %
6	0,320	0,480	ROBOL

11. ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

Naměřené hodnoty zanesené v brusných diagramech porovnáme v tabulce 9. K hodnocení jednotlivých kombinací brousící kotouč - chladicí kapalina použijeme kritéria uvedená na str. 24. Pořadí podle těchto kritérií porovnáme s pořadím pro kritérium Q_B ,

Tabulka č. 9

Kotouč	Řezná kapalina	F_1 /N/	γ_T /°/	$e_{0,1}$ /J.m ⁻³ /	h_{eq}	Q_B
TYROLIT						
89A 60K 8A V 217	Emulsin H 5 %	10,5	26,0	35,0	4	3
A98 25H 10V	Emulsin H 5 %	6,0	23,0	23,5	2	2
A97 25H 10V	Emulsin H 5 %	9,5	26,0	30,0	3	4
TYROLIT						
89A 60K 8A V 217	Robol	10,5	29,5	29,0	1	1
A99 25K 9V	Emulsin H 5 %	8,5	18,0	42,0	6	6
A99 25K 9V	Robol	11,0	26,0	36,0	5	5

Obě kritéria se v tomto závěru shodují až na malé niance, které mohou být zaviněny nepřesností měřených veličin nebo zaokrouhlováním hodnot. Kritérium h_{eq} oproti kritériu Q_B zahrnuje více hodnot charakterizujících výrobek. Bude záležet na výrobcí, na který z parametrů $F_1, \gamma_T, e_{0,1}$, popřípadě R_a bude klást větší důraz. V závislosti na těchto parametrech /důrazu/ se bude měnit i pořadí v hodnotě v tab. 9.

12. ZÁVĚR

Uvedené výsledky zkoušek dávají představu pouze o obrobitelnosti materiálu /řezivosti kotouče/. Nedávají nám však informace o stavu materiálu po procesu obrábění /broušení/. Jak vyplývá z kapitoly 4, je nutné pro závěrečnou volbu kombinace brusný kotouč - řezná kapalina - řezné podmínky uvažovat také změnu povrchové vrstvy. Ta může významnou měrou ovlivnit mechanické vlastnosti výrobku, a tím i jeho použitelnost. Z hlediska obrobitelnosti, která byla hlavním ukazatelem při experimentech obrábění slitiny LVN 10, se nejlépe osvědčil kotouč TYROLIT 89A 60K 8A V 217 v kombinaci s kapalinou ROBOL.

Tato diplomová práce je součástí výzkumů prováděných v této oblasti na katedře KOM VŠST v Liberci. Vzhledem k časové náročnosti měření byla řešena tato diplomová práce jako týmová se s. Davidkovou.

Závěrem bych chtěl poděkovat zaměstnancům laboratoře: s. Čihulovi, s. Burianovi a s. Bělohoubkovi za pomoc při praktických zkouškách. Zvláště bych pak chtěl poděkovat s. Ing. Jaroslavu Janouškovi za pomoc při vedení práce a experimentálním měření obrobitelnosti. Také děkuji pracovníkům VUOSO za pomoc při úvodním seznamování s problematikou obrábění těžkoobrobitelných materiálů.

SEZNAM PŘÍLOH

Č. přílohy

- 1 Diagram broušení /TYROLIT 89A 60K 8A V 217 -
- Emulsin H 5 %/
- 2 Diagram broušení /A98 25H 10V - Emulsin H 5 %/
- 3 Diagram broušení /A97 25H 10V - Emulsin H 5 %/
- 4 Diagram broušení /TYROLIT 89A 60K 8A V 217 -
- Robol/
- 5 Diagram broušení /A99 25K 9V - Emulsin H 5 %/
- 6 Diagram broušení /A99 25K 9V - Robol/

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

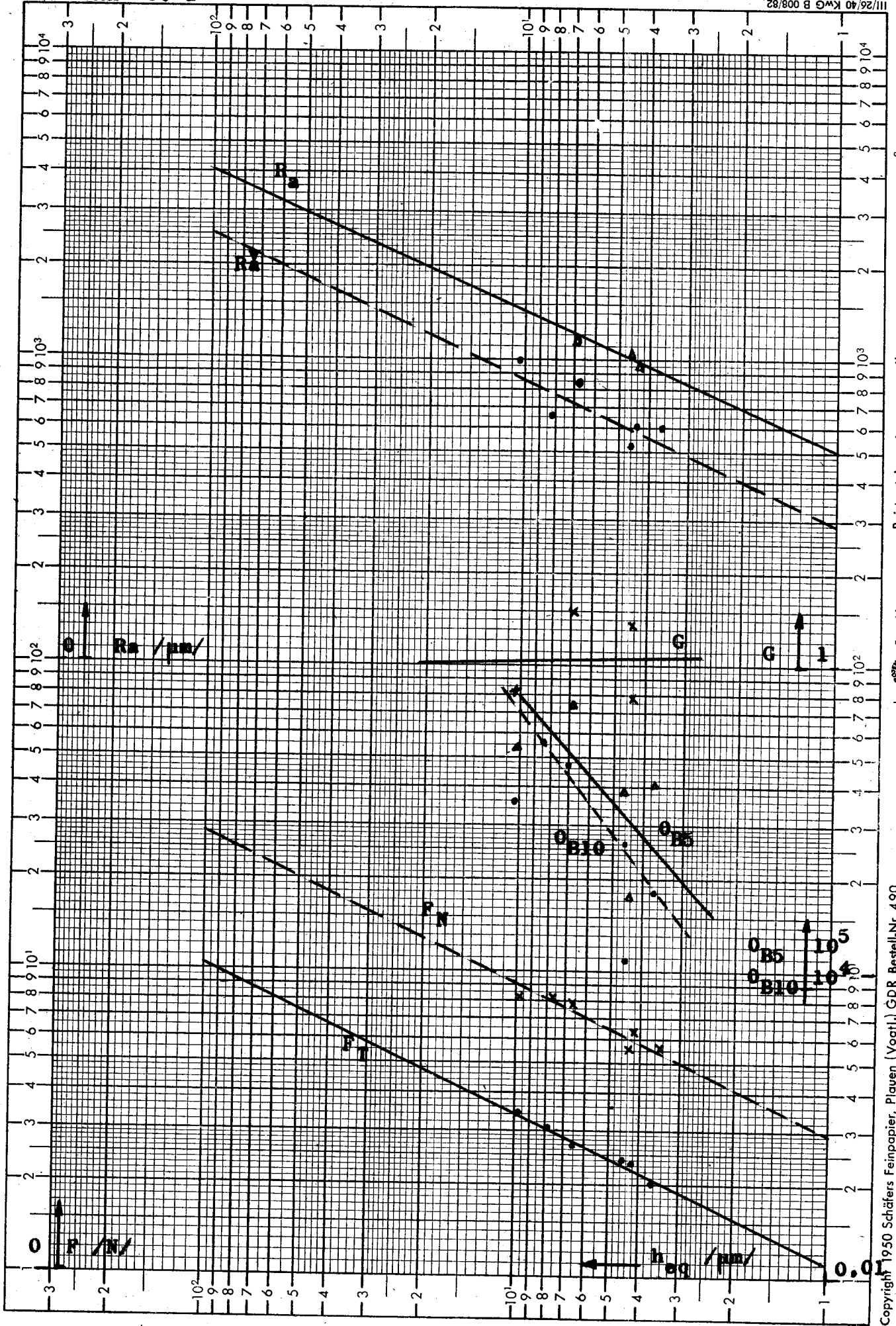
- /1/ GAZDA, J. : Mechanismus vytváření povrchu a třísky a obrobitelnost při vysokých rychlostech deformace a gradientech teploty.
/Výzkumná zpráva/. Liberec, Vysoká škola strojní a textilní 1982.
- /2/ GAZDA, J. : Řezivost brusných kotoučů.
/Habilitační práce/. Liberec 1979. - Vysoká škola strojní a textilní. Fakulta strojní
- /3/ MASLOV, J. N. : Teorie broušení kovů.
Praha, SNTL 1979
- /4/ MIKOVEC, M. : Obrábění materiálů s velkou pevností a tvrdostí.
Praha, SNTL 1982.
- /5/ MIKOVEC, M. : Obrábění těžkoobrobitelných materiálů.
Praha, SNTL 1963
- /6/ NIKL, J. : Měření zbytkových pnutí u kroužků ložisek.
/Diplomová práce/. Liberec 1983. - Vysoká škola strojní a textilní. Fakulta strojní
- /7/ RULCOVÁ, E. : Návrh metodiky určování obrobitelnosti broušením.

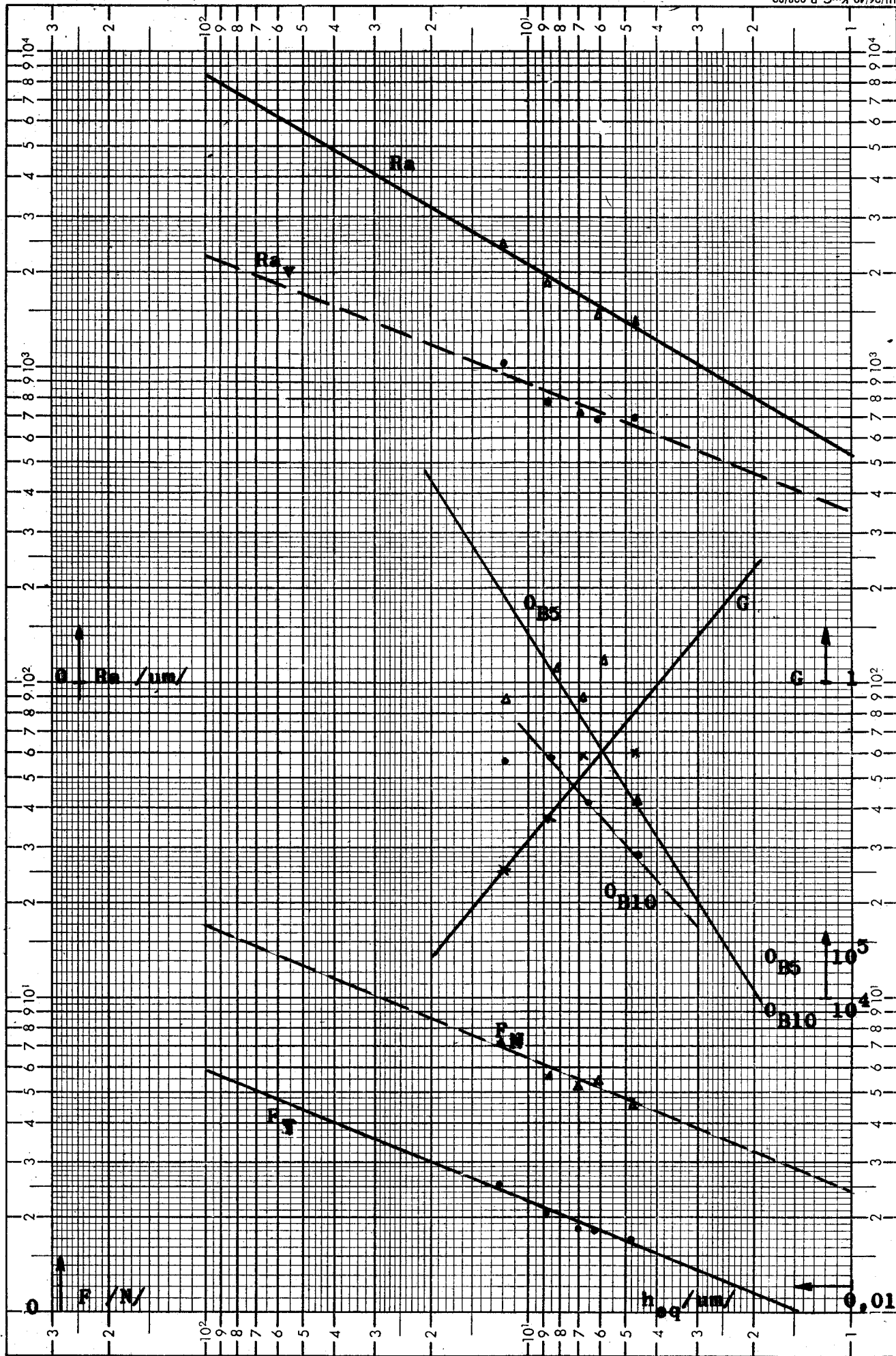
/Diplomová práce/. Liberec 1983. - Vy-
soká škola strojní a textilní. Fakulta
strojní

BROUSÍČÍ KOTOUČ	TYP CARBORUNDUM	A97 25H10V	.STROJ	BUVD 16																							
	n_k OTÁČKY [1/s]	2780	DATUM MĚŘENÍ	24.4 1985																							
	PRŮMĚR [mm]	246,71	POŘADOVÉ ČÍSLO	019																							
	HLOUBKA OROVNÁNÍ [mm]	0,75	$F_n=21,99$ $V_{Fn}=$ $s_k=68$ $F_t=9,468$ $\mu=0,430$ $U=10^5 \cdot \frac{tg \alpha}{s}$ $U=688,709$ $U=$ $h_o=17,04$ $f_{h_o}=$ $\beta_{sk}=23$ $h_{zb}=$ $L=10^3 \cdot \frac{tg \beta}{s_h}$ $L=778,65$ $L=$ $\alpha_{01}=62$ $\alpha_p=57$ $\alpha_p=$ $\beta_{01}=20$ $\beta_p=53$ $\beta_p=$																								
	ÚBYTEK KOTOUČE [mm]	0,012/0,025																									
	POMOCNÉ ZNAČENÍ	"2"																									
	v_k /m.s ⁻¹ /	35,91																									
MATERIÁL	DRUH MATERIÁLU	LVN 10	<table><tr><th>T_F</th><th>F_n</th></tr><tr><td>0</td><td>21,99</td></tr><tr><td>1</td><td>13,84</td></tr><tr><td>2</td><td>9,44</td></tr><tr><td>3</td><td>6,02</td></tr><tr><td>4</td><td>3,25</td></tr><tr><td>5</td><td>1,87</td></tr><tr><td>6</td><td>1,22</td></tr><tr><td>7</td><td>1,14</td></tr><tr><td>8</td><td>0,81</td></tr><tr><td>9</td><td>0,73</td></tr></table>		T_F	F_n	0	21,99	1	13,84	2	9,44	3	6,02	4	3,25	5	1,87	6	1,22	7	1,14	8	0,81	9	0,73	
	T_F	F_n																									
	0	21,99																									
	1	13,84																									
	2	9,44																									
	3	6,02																									
	4	3,25																									
	5	1,87																									
	6	1,22																									
	7	1,14																									
	8	0,81																									
9	0,73																										
ČÍSLO VZORKU	"4"																										
PRŮMĚR PŘED BROUŠ. [mm]	63,48																										
PRŮMĚR PO BROUŠENÍ [mm]	63,34																										
ŠÍŘKA [mm]	5,10																										
R_a BEZ VYJISKŘENÍ	1,05																										
R_a PO VYJISKŘENÍ	0,62																										
DOBA VYJISKŘOVÁNÍ [s]	15																										
h ZBYTKOVÉ [mm]																											
3x0,16 BEZ VYJISKŘ:	63,06																										
CHARAKTERISTIKA PROCESU	OTÁČKY [1/min]	292,68	$O_B=U \cdot L$ $O_{B_s}=536,25 \cdot 10^3$ $O_{B_{sk}}=$ $h_{eq}=0,044 \mu m$ $d_{eq}=50,443 mm$ $G=1,588$ $q_v=36,91$ <table><tr><th>h_{BK}</th><th>h</th><th>T_h</th></tr><tr><td>17,04</td><td>0</td></tr><tr><td>10,34</td><td>1</td></tr><tr><td>6,69</td><td>2</td></tr><tr><td>4,26</td><td>3</td></tr><tr><td>3,04</td><td>4</td></tr><tr><td>1,52</td><td>5</td></tr><tr><td>1,21</td><td>6</td></tr><tr><td>0,91</td><td>7</td></tr><tr><td>0,61</td><td>8</td></tr><tr><td>0,30</td><td>9</td></tr></table>		h_{BK}	h	T_h	17,04	0	10,34	1	6,69	2	4,26	3	3,04	4	1,52	5	1,21	6	0,91	7	0,61	8	0,30	9
	h_{BK}	h			T_h																						
	17,04	0																									
	10,34	1																									
	6,69	2																									
	4,26	3																									
	3,04	4																									
	1,52	5																									
	1,21	6																									
	0,91	7																									
	0,61	8																									
	0,30	9																									
NASTAVENÝ PŘÍDAVEK ϕ	0,16																										
VELIKOST ZPOMALENÍ ϕ	0,20																										
NAPRUŽ. SYSTÉMU MARP.	0,084																										
NAPRUŽ. ZE ZÁZNAMU																											
PŘÍKON NAPRAZDNO [kW]	28,5 x 40																										
PŘÍKON MAXIMÁLNÍ [kW]	37,0 x 40																										
NASTAVENÍ PŘÍSUUVU [-]	"0,012"																										
VYPOČTENÝ PŘÍSUUV [mm]	1,626 $\mu m/ot$																										
$v_0=$ /m.min ⁻¹ /	7,930 $\mu m/s$																										
CELKOVÁ DOBA BROUŠ:	18,40																										
CHLAZENÍ	DRUH	EMULSIN H.	Tabulka č. 5																								
	KONCENTRACE	5%																									
	TLAK [MPa]	-----																									
	RYCHLOST [m/s]	0,88																									
	MNOŽSTVÍ [t]	5,34																									



Nr. 490

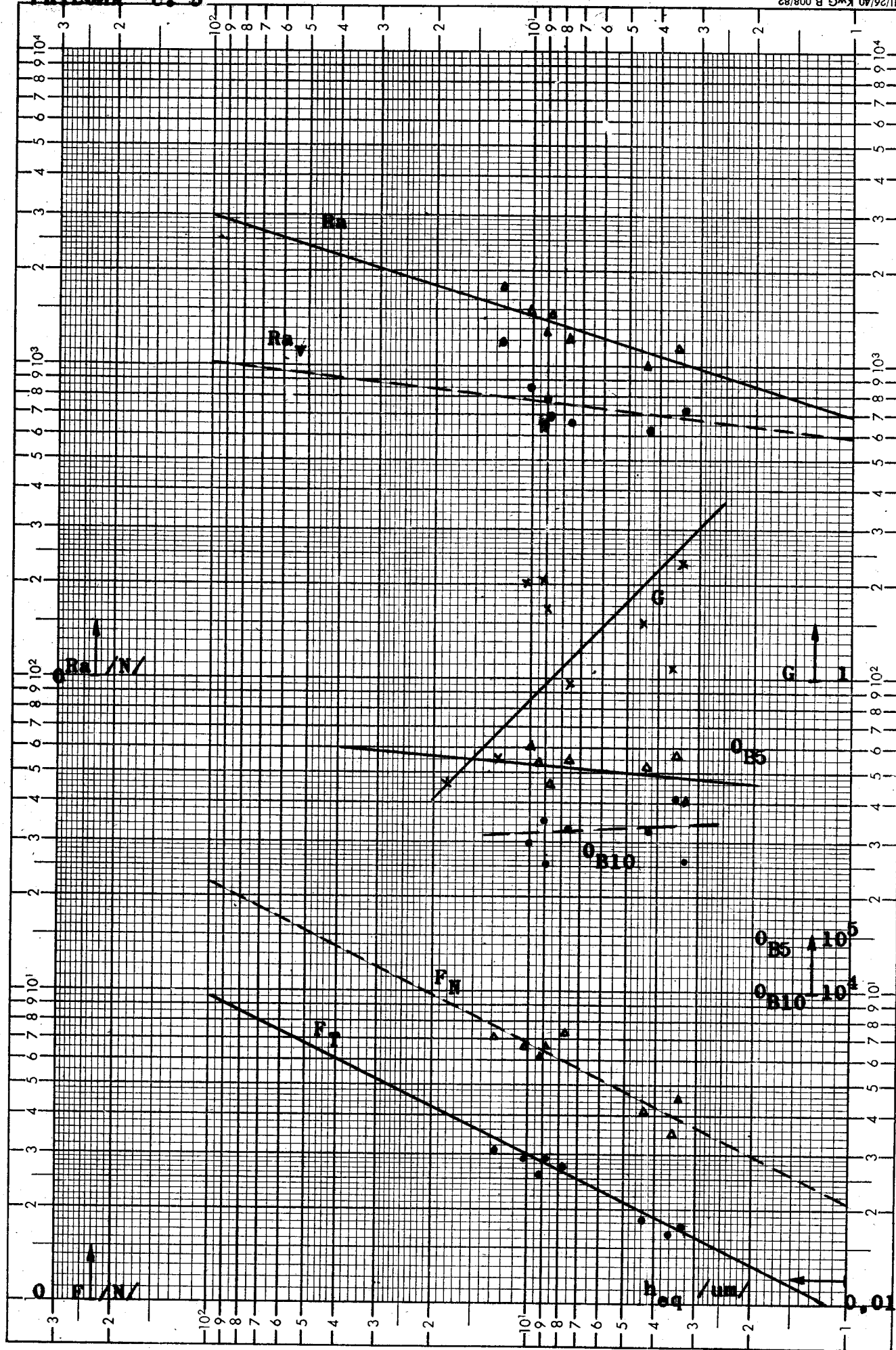


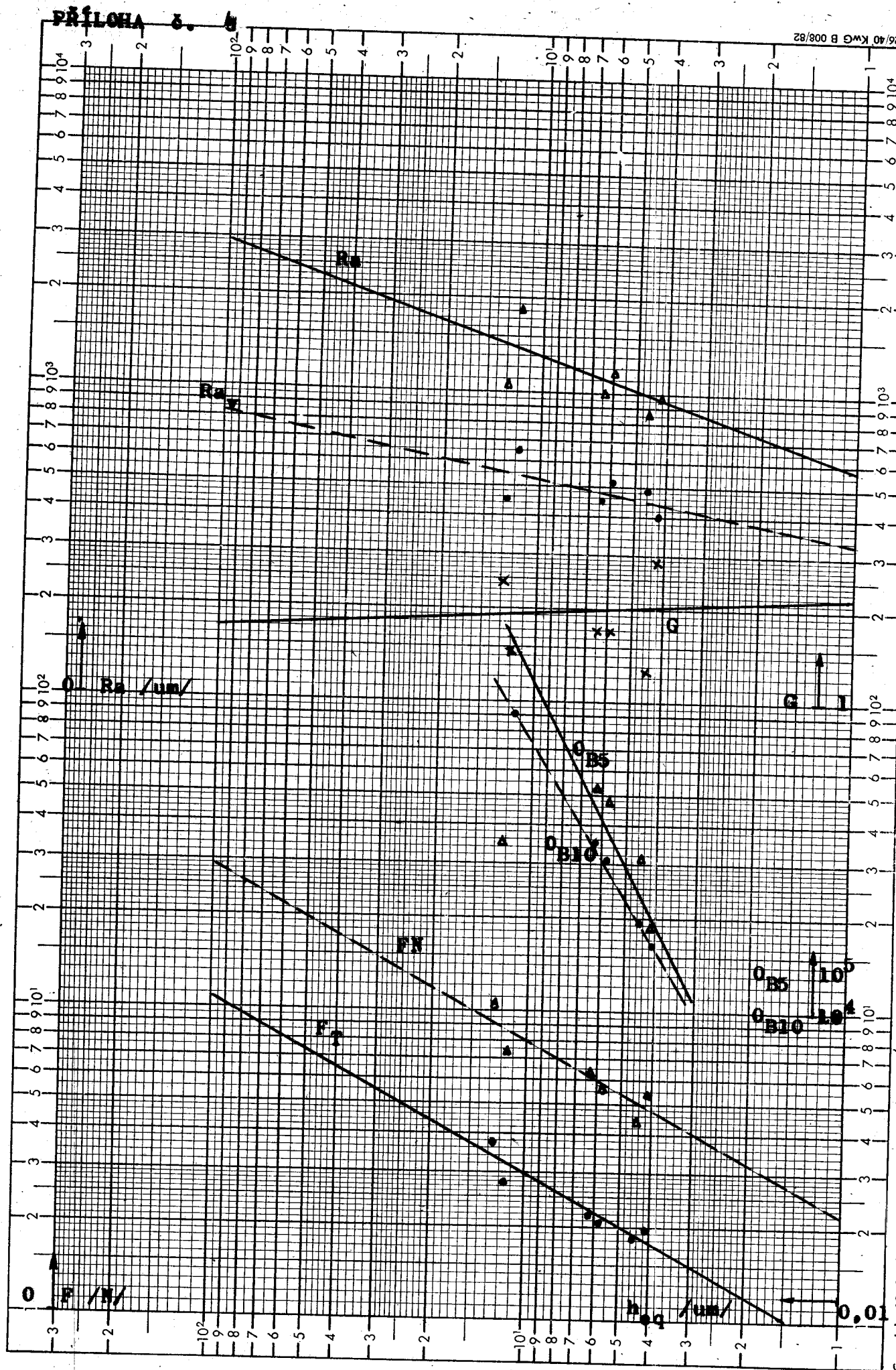


Beide Achsen logar. geteilt von 1 bis 10^4 u. 1 bis $3 \cdot 10^2$ Einheit 62,5 mm

Reg.-Nr. 600908
ges. gesch. unter

Copyright 1950 Schäfers Feinpapier, Plauen (Vogtl.) GDR Bestell-Nr. 490
(Nachdruck nur mit Genehmigung des Herausgebers)





Nr. 490

