

VŠST Liberec
Fakulta strojní

obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie
zaměření obrábění a ekonomika

Katedra obrábění a ekonomiky

Název DP : Obrábělnost perlitické temperované litiny
ČSN 42 25 47

S l á d e k Miloslav

DP - ST - 1446/79

Vedoucí práce : Ing. Karel Burač

Konsultanti : Ing. Vl. Gabriel, Ing. Zahálka

Rozsah práce a příloh

Počet stran	:	64
Počet příloh a tabulek	:	38
Počet obrázků	:	31
Počet výkresů	:	1

DT : 669. 131. 82: 620. 179. 5

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Miloslava S l á d k a

obor 23 - 07 - 8 Strojírenská technologie

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

Název tématu: Obrobitelnost perlitické temperované litiny

ČSN 42 25 47

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod
2. Vlivy, působící na obrobiteľnosť litiny
3. Návrh metodiky zkoušek pro stanovení obrobiteľnosti v závislosti na tvrdosti odlitků a stanovení vlivu tvrdosti na řezné síly při soustružení a vrtání
4. Zkoušky a vyhodnocení
5. Návrh řezných podmínek pro soustružení a vrtání a návrh doporučeného rozsahu tvrdosti odlitků při soustružení za stávajících podmínek
6. Závěr

6. Závěr:

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÁ A TEPELNÁ
 BUDOVANÍ A VÝROBA
 LIBEŘICE, P. HENRIKOVSKÁ 5
 POC 461 17

Rozsah grafických laboratorních prací: dle potřeby zadání

Rozsah průvodní zprávy: asi 50 stran textu

Seznam odborné literatury: Liemert, G.: Obrábění. SNTL Praha 1974
Gabriel, Vl.: Návrh nové metodiky zkoušení
řezivosti a obrábitelnosti.
Výzkumná zpráva VŠST Liberec 1974
Wedelhoven, J.: Spanende Werkzeuge in der modernen
Fertigung, Taschenbücher TC,
VDI-Verlag GMBH-Düsseldorf 1969
Vintner, F., Houdek, J.: Řezné síly při obrábění
Technická publikace VÚOSO 4/1971

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Bakač

Konsultanti: Ing. Vladimír Gabriel

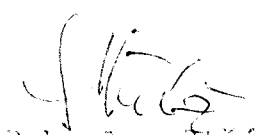
Datum zahájení diplomové práce: 9.10.1978

Datum odevzdání diplomové práce: 25.5.1979

L. S.


Prof. Ing. Jaroslav Draský, CSc.

Vedoucí katedry


Doc. RNDr. Bohuslav Štříž, CSc.

Děkan

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

V Liberci dne 25. 5. 1979

M. Kachub

.....

Obsah diplomové práce

1.	ÚVOD	1
2.	ZÁKLADNÍ POJMY	3
2.1.	Vlivy působící na obrobitelnost litiny	4
2.1.1.	Vliv chemického složení litiny	5
2.1.2.	Vliv mikrostruktury	7
3.	ZKOUŠKY OBROBITELNOSTI	9
3.1.	Přehled zkoušek obrobitelnosti	9
3.1.1.	Metody určení relativní dynamické obrobitelnosti	9
3.1.2.	Určování relativní mikrogeometrické obrobitelnosti	10
3.1.3.	Určení relativní kinetické obrobitelnosti	11
3.1.4.	Krátkodobé zkoušky obrobitelnosti	13
3.1.5.	Nepřímé metody určování obrobitelnosti	14
3.2.	Metodika dlouhodobé zkoušky obrobitelnosti pro určení vlivu tvrdosti na obrobitelnost perlitické temperované litiny - ČSN 42 25 47	14
3.2.1.	Podmínky dlouhodobé zkoušky obrobitelnosti	14
3.2.2.	Vyhodnocení výsledku dlouhodobé zkoušky	19
3.3.	Stanovení obrobitelnosti litiny vrtáním	20
3.4.	Řezné síly při soustružení	21
3.4.1.	Popis tříselektivního dynamometru pro soustružení a odporovými tenzometry	25
3.4.2.	Calibrování dynamometru	27
3.4.3.	Metodika měření složek řezné síly	27
3.5.	Řezné síly při vrtání	28
3.5.1.	Měření řezných sil při vrtání	29
4.	ZKOUŠKY A VYHODNOCENÍ	32
4.1.	Stanovení vlivu tvrdosti na obrobitelnost perlitické litiny soustružením	32
4.2.	Stanovení závislosti obrobitelnosti na tvrdosti litiny vrtáním	45
4.3.	Stanovení vlivu tvrdosti na řezné síly soustružením	49

4.4.	Stanovení vlivu tvrdosti na vzrůst řezných sil vrtáním	52
5.	NÁVRH ŘEZÁNÍCH PODMÍNEK	57
5.1.	Návrh řezných podmínek pro vrtání	57
5.2.	Návrh řezných podmínek pro soustružení	58
6.	ZÁVĚR	62
7.	SEZNAM LITERATURY	64
8.	Příloha diplomové práce - výkres odlitku, hlava kola s brzdovým bubnem	

1. ÚVOD

Základním cílem hospodářské a sociální politiky Komunistické strany Československa pro období 6. pětiletky je zajistit v souladu s prohlubováním socialistického způsobu života uspokojování rostoucích hmotných a duchovních potřeb obyvatelstva a další upevňování jeho životních a sociálních jistot na základě trvalého rozvoje a vysoké efektivity společenské výroby a kvality veškeré práce.

Do roku 1980 se má zvýšit národní důchod o 27 - 29 %. Přírůstek národního důchodu má být z 91 - 93 % kryt růstem společenské produktivity práce při výraznější koncentraci a specializaci výroby, zužováním vyráběného sortimentu cestou intenzivnějšího zapojování zpracovatelského průmyslu do socialistické ekonomické integrace, rychlejším zaváděním vědeckotechnických poznatků, zdokonalováním organizace výroby, rozšiřováním mechanizace, automatizace a zaváděním progresivních technologií snižovat podíl živé práce ve všech odvětvích národního hospodářství. Zabezpečení těchto cílů je o to složitější, že při nižších zdrojích pracovních sil, domácích surovin a při vyšší investiční náročnosti ekonomického rozvoje je nutno zvládnout důsledky stížených vnějších podmínek.

Průmyslová výroba bude mít v 6. pětiletém plánu rozhodující úlohu z hlediska rozvojových záměrů národního hospodářství i uspokojování rostoucích potřeb obyvatelstva. Do roku 1980 se má zvýšit průmyslová výroba proti roku 1975 o 32 - 34 %. Základem průmyslové výroby bude i nadále strojírenství, kde má vzrůst výroba zhruba o 48 - 51 %.

Toto zvyšování produkce kladé vysoké požadavky na další rozvoj výrobních technologií, a tím i na obrábění.

Pro dosažení vysoké produktivity práce při obrábění, a tím i vysoké produkce je nutná dokonalá znalost celého procesu obrábění. Předpokladem pro ekonomické využití moderních plně automatizovaných a programově řízených strojů, je nepochybně optimální průběh procesu řezání, t.j. použití optimálních pracovních podmínek. Volba pracovních podmínek předpokládá dokonalou znalost zákonitostí, jejich vlivu na ekonomické a kvalitativní výsledky obrábění.

2. Základní pojmy

Opotřebení nástroje - změna původního tvaru břitu nástroje během řezání dané úbytkem materiálu a deformací břitu.

Míra opotřebení - rozměr, který se na nástroj měří, aby se zjistila velikost opotřebení.

Kritérium trvanlivosti - předem zvolená mezní míra opotřebení, případně další smluvní hodnota.

Trvanlivost břitu nástroje - doba řezání, za kterou se dosáhne kritéria trvanlivosti.

Relativní trvanlivost - poměr trvanlivostí zkoušeného a etalonového nástroje za daných podmínek obrábění a při stejných kritériích opotřebení.

Obrobitelnost materiálu - souhrn vlastností materiálu určující jeho vhodnost k produktivnímu obrábění. Číselně je pro dané podmínky vyjádřena řeznou rychlostí v_{15} /rychlost, při které je trvanlivost etalonového nástroje 15 min/.

Relativní obrobitelnost - poměr obrobitelnosti zkoušeného a etalonového materiálu za daných podmínek obrábění.

Relativní kinetická obrobitelnost - je vyjádřena poměrem požadované trvanlivosti řezné hrany pro etalonový a obráběný materiál.

Obrobitelnost jako komplexní charakteristika obráběného materiálu je významnou složkou celkového problému optimalizace řezných podmínek. Na stupni obrobitelnosti podstatně závisí vhodná kombinace řezných podmínek, zaručující hospodárnost obráběcího procesu a získání výrobku požadované přesnosti, tvaru, rozměru a jakosti obráběné plochy.

Základní a nejčastěji používaná kritéria obrobitelnosti:

a/ intenzita opotřebení břitu řezného nástroje, respektive trvanlivost vyjádřená obvykle řeznou rychlostí v_T , která

určuje kinetickou obrobitelnost

- b/ energetické parametry obráběcího procesu - spravidla složky řezné síly a teplota řezání - určují dynamickou obrobitelnost
- c/ charakter vznikající třísky a způsob jejího odchodu z místa řezu
- d/ jakost řezu

Použití kritérií pro hodnocení obrobitelnosti se různí v závislosti na obráběném materiálu, druhu řezného nástroje a na způsobu práce. Převažujícím a zatím nejobjektivnějším kritériem pro hodnocení obrobitelnosti je intenzita opotřebení břitu řezného nástroje, neboť nejlépe vyjadřuje vztah obrobitelnosti k ekonomickým parametrům procesu obrábění. Ostatní kritéria pro hodnocení obrobitelnosti, jako např. charakter vznikající třísky se volí při práci na automatech, jakost obrobenej plochy bude spravidla rozhodující při obrábění na čisto.

2.1. VLIVY PŮSOJÍCÍ NA OBROBITELNOST LITINY

Řezný materiál ovlivňuje hodnocení obrobitelnosti především tím, že určuje oblast optimální řezné rychlosti podle odolnosti proti opotřebení. Vyšší řezivost řezného materiálu vede k vyšší řezné rychlosti, a tím ke zlepšení absolutní kinetické obrobitelnosti.

Nejdůležitější vlastnosti materiálů z hlediska obrobitelnosti:

Dobře obrobitelný materiál má mít tyto vlastnosti:

- nízká intenzita otěru hřbetové plochy řezného břitu
- nízká vyfletatelnost čelní plochy řezného břitu
- bez sklonu k navařování na řezný břit, t.j. protinárůstková schopnost
- odolnost proti difúzi s řezným materiálem

- malý tečný odpor
- nízká teplota tvrdnutí
- malý sklon ke srovnávání a ke vzniku puntíků vlivem řezání

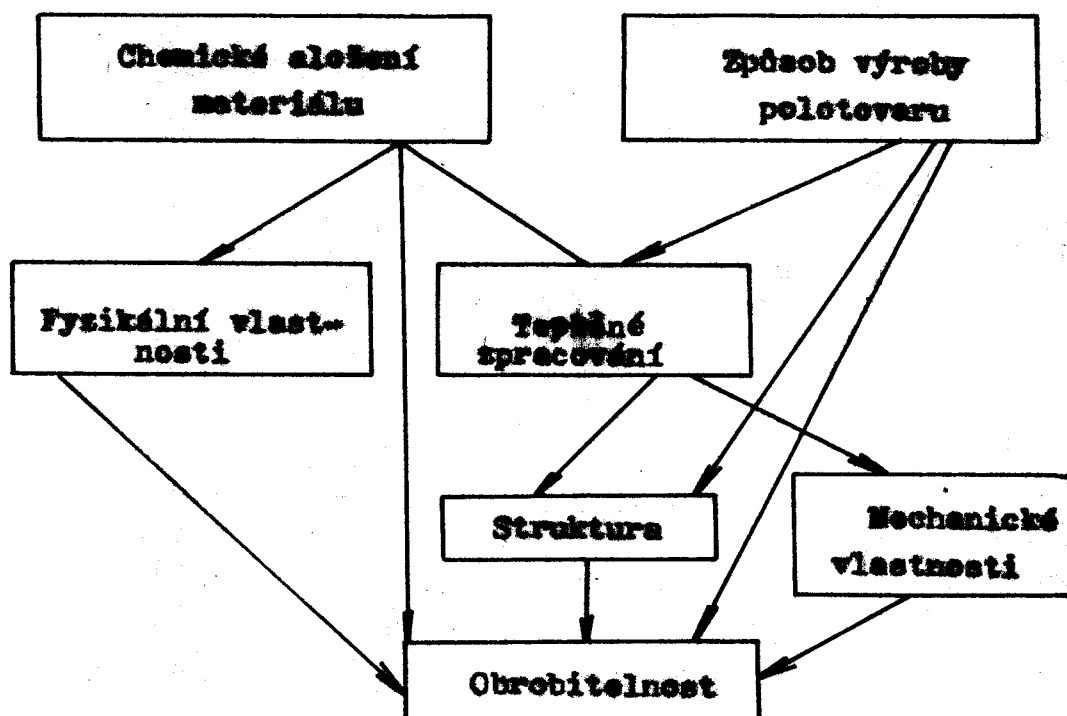
Obrobitelnost jako komplexní vlastnost můžeme zkoumat ve vztahu k fyzikálním, mechanickým a zčásti i k chemickým vlastnostem obráběného materiálu. Z uvedených vlastností jsou uváděny: měrná hmotnost, modul pružnosti ve svisle, v tahu, tepelná vodivost, pevnost, tvrdost, kalitelnost, prodloužení, součinitel tření, chemická afinita ve vztahu k materiálu nástrojů a další. Žádná z těchto vlastností samostatně a jednoznačně neurčuje obrobitelnost, a proto mohou sloužit pouze pro orientaci. Vzájemný vztah činitelů, kteří ovlivňují obrobitelnost materiálu je na obr. 1.

2.1.1. Vliv chemického složení litiny

Obrobitelnost litin závisí na jejich chemickém složení, způsobu výroby a jejich struktuře. /1/ Na obrobitelnost všech druhů litin působí s prvky tvořících jejich chemické složení především uhlík a serna v jaké je obsažen v litině. Lépe se obrábějí kované litiny s feritovou strukturou a malými grafitovými složenými, které působí jako masivo.

Uhlík - význam uhlík Fe_3C zhoršuje obrobitelnost litiny. Volný uhlík v podobě grafitu podstatně zlepšuje obrobitelnost, avšak zhoršuje mechanické vlastnosti litiny, odlisky jsou pórovitější a obrobený povrch drsný.

Křemík - v množství do 2,75 % zlepšuje obrobitelnost, protože podporuje grafitisaci. Při větším obsahu Si než 3 % se obrobitelnost litiny zhoršuje, protože se zvyšuje pevnost feritu. Zjistilo se, že dané pevnosti litiny z hlediska její obrobitelnosti je výhodnější nízký obsah uhlíku a vyšší obsah křemíku.



Obr. 1 Vzájemný vztah činitelů, kteří ovlivňují obrobitelnost materiálu

Fosfor - vytváří tvrdý fosfid Fe_3P , který má velký tvrnostní účinek. Obrobitelnost se zhoršuje, jestliže jeho obsah převyšuje 0,3 %.

Síra a mangan - působí na obrobitelnost litiny příznivě. Vytváří se měkký siričkatý manganatý MnS , který je rozpustný v kovu a zlepšuje obrobitelnost litin.

Vliv legujících prvků

Chrom - zvyšuje tvrdost litiny a podporuje vznik velkých karbidů. Zhoršuje obrobitelnost, jeho obsah nemá překročit 4 %.

Nikl - je grafitisátor a působí proti vzniku bílé litiny. Malý obsah niklu do 2 % zlepšuje obrobitelnost. Litiny s vysokým obsahem niklu 16 - 20 % jsou těžko obrobitelné.

Měď - má podobný účinek jako nikl.

Návod - má vliv na obrobitelnost analogický jako chrom.

Molybden - zvyšuje pevnost litiny, při obsahu do 0,5 % má malý vliv na obrobitelnost.

Zirkon a titan - aktivně dezoxidují kov a při množství asi 0,15 % zlepšují obrobitelnost. Obrobitelnost litiny výrazně zhoršuje přítomnost tvrdé kůry, bílé povrchové vrstvy, tvrdé fáze a písku.

2.1.2. Vliv mikrostruktury

Tvrдость jednotlivých složek struktury určuje jejich brusnou schopnost a vzájemnou adhezi, a proto je důležitým činitelem z hlediska trvanlivosti nástroje. /1/

Tvrдость jednotlivých strukturních složek je v tabulce 1.

strukturní složka	tvrdost /HV/
volný grafit	15 - 40
volný ferit	215 - 270
perlit	300 - 390
jehlicovitá struktura	400 - 495
steadit	600 - 1 200
volné karbidy	2 000 - 2 300

Nejlépe se obrábějí litiny s feritickou a grafitickou mikrostrukturou. Získáme je žháním při 850 - 900 °C za čas 1 - 8 hodin. Litiny s takovou strukturou mají sníženou pevnost a odolnost proti opotřebení. Se zvyšováním obsahu perlitu ve struktuře litiny se její obrobitelnost zhoršuje. Obrobitelnost perlitické litiny se podstatně zlepšuje se zvětšováním částic grafitu a shluků perlitu. Přeměna lamelárního perlitu na zrnitý /Steroidizace/ zlepšuje obrobitelnost litin. Naopak vytváření martensitu nebo sorbitu ji velmi zhoršuje. Na obrobitelnost má špatný vliv volný cementit a fosforové eutaktikum, tzv. steadit, jak jeho obsah ve struktu-

ře převyšuje 5 %. Velký cementit a steadit mají intenzivní brusný účinek na nástroj. Velké karbidy vznikají při rychlém zchlazení litiny. Jejich vznik podporují některé legující prvky jako např. chrom a vanad. Už malé množství velkých karbidů velmi zhoršuje relativní obrobitelnost. Jehlicovitá struktura vzniká při litinách legovaných chromem, niklem a molybdenem při překročení jejich minimálního obsahu. Litiny s jehlicovitou strukturou se vyznačují tvrdostí, pevností a těžkou obrobitelností.

3. KLASIFIKACE OBROBITELNOSTI

3.1. Přehled zkoušek obrobitelnosti

Komplexní technologická obrobitelnost = empirické vyjádření trvanlivosti, řezných sil, drsnosti povrchu, tvarových třísky, teploty při obrábění, náklady na obrábění v závislosti na řezných podmínkách.

3.1.1. Metody určení relativní dynamické obrobitelnosti

Řezné síly závisí od použitých řezných podmínek, a proto hodnoty řezných sil je možné porovnávat při konstantních řezných podmínkách. /1/

Různí autoři doporučují různý postup.

FELDŠTEJN doporučuje určit řezné síly při zapichování nožem z H0 s $\beta = 15^\circ$ a $\alpha = 8^\circ$ při $t = 5$ mm, $s = 0,2$ mm/ot a $v = 10$ m/min.

Relativní dynamická obrobitelnost zkoušeného materiálu

$$K_d = \frac{F_{ze}}{F_{ze}}$$

kde F_{ze} je řezná síla na etalonovém materiálu při stejných podmínkách. /Etalonový materiál pro litiny je šedá litina s drobnou třískou ČSN 42 24 25 s tvrdostí 180 - 200 HB.

MOŽAJEV doporučuje určit řezné síly při řezných rychlostech v_T pro zkoušený a etalonový materiál při posuvu $s = 0,13$ mm/ot a hloubce řezu $t = 2$ mm. Relativní dynamická obrobitelnost zkoušeného materiálu se udává poměrem řezných odporů zkoušeného a etalonového materiálu při řezných rychlostech se stejnou trvanlivostí řezné hrany T .

$$K_d = \frac{k_{dT}}{k_{dT}}$$

Uvádí i nepřímou metodu pro určení dynamické obrobitelnosti materiálů, a to na základě průměru vtisku 90° kulele se spákaného karbidu v zkoušeném a etalonovém materiálu při zatíže-

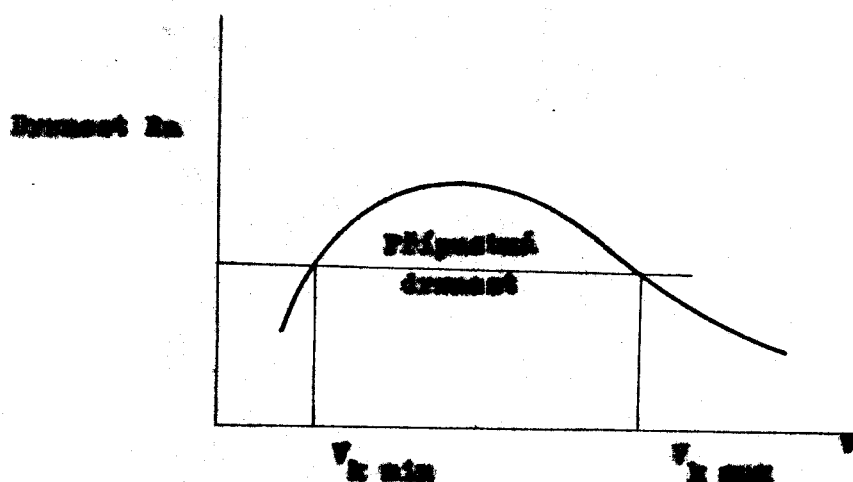
až 10 000 a 15 000 m: relativní dynamická obrobitelnost

$$K_d = \left| \frac{d}{d_0} \right|^2$$

kde d_0 a d je průměr vstupu kule v etalonovém a zkoušeném materiálu.

3.1.2. Určování relativní mikros geometrické obrobitelnosti

Drasnost povrchu ovlivňuje plastická deformace kovu v procesu řezání a její nerovnoměrné pružné vystoupení po odřazení třísky.



Obr. 2 Kritické hodnoty řezných rychlostí

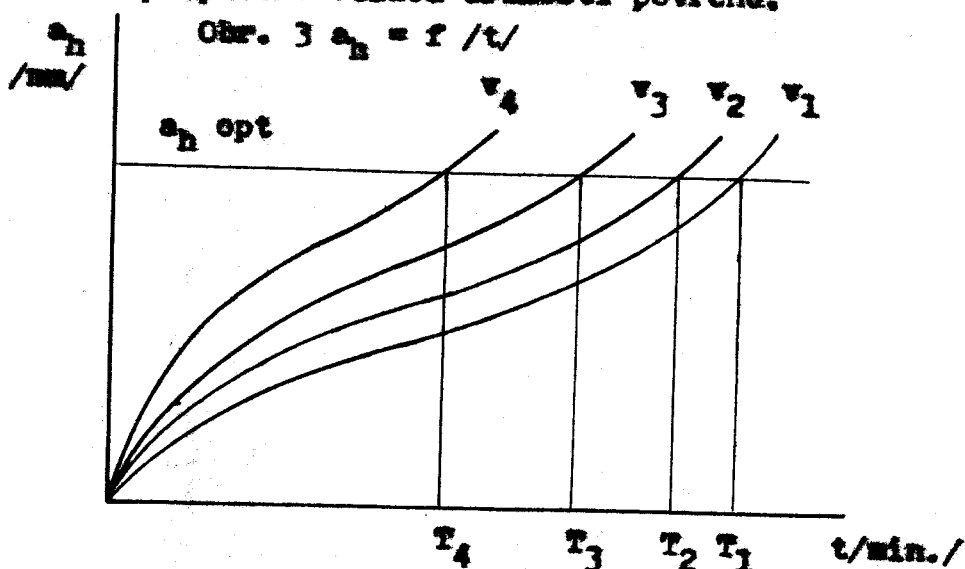
VELDŘAVN doporučuje při zkoušení mikros geometrické obrobitelnosti použít velké řezání při hloubce řezu $t = 0,05$ mm $\gamma = 15^\circ$ a $\alpha = 8^\circ$.

Ze závislosti drasnosti povrchu na řezné rychlosti v pásmu $5 - 120$ m/min. se určí kritické hodnoty řezných rychlostí V_{kmin} a V_{kmax} /obr. 2/, které omezují oblast řezných rychlostí a nepřijatelnou drasností povrchu. Tato metoda je vhodná pro nůž s KO.

Za kritérium relativní mikrobiometrické obrobitelnosti je možné volit poměr rozdílu kritických řezných rychlostí pro etalonový a zkoušený materiál.

$$k_{mg} = \frac{V_{k \max} - V_{k \min}}{V_k \max - V_k \min}$$

Čím větší je hodnota k_{mg} , tím užší je pásmo řezných rychlostí s nepřijatelně velkou drázností povrchu.



3.1.3. Určení relativní kinetické obrobitelnosti

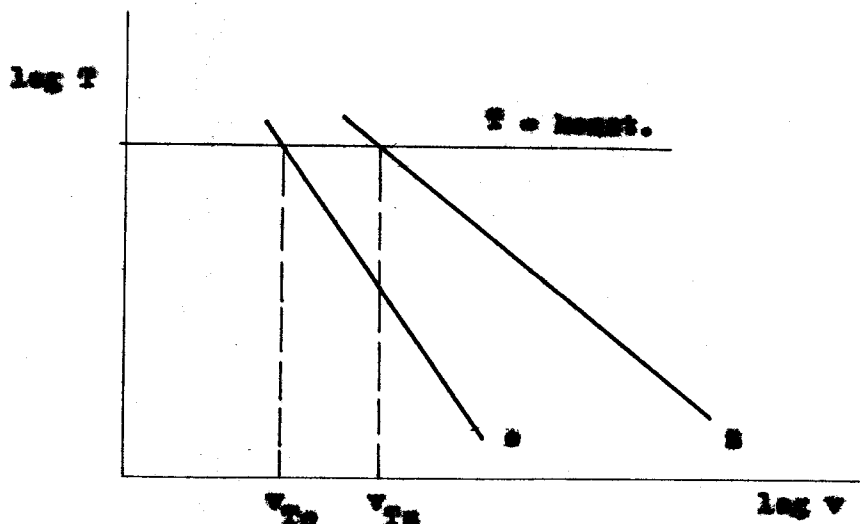
Pro určení relativní kinetické obrobitelnosti se nejčastěji provádí dlouhodobá zkouška obrobitelnosti podélným soustružením.

1/ Určí se časový průběh opotřebení obr. 3, např. $a_n = f / t /$ pro několik konstantních řezných rychlostí ležících v rozsahu např. $\frac{v_{\max}}{v_{\min}} = 2 - 2,5$ hloubku řezu a posuv zachováme konstantní.

2/ Pro přípustnou míru opotřebení např. $a_n \text{ opt}$ s charakteristických křivek určíme hodnoty trvanlivosti příslušné jednotlivým řezným rychlostem.

3/ Hodnoty trvanlivosti příslušející jednotlivým řezným rychlostem vyneseme do logaritmických souřadnic $T - v$ /obr. 4/.

4/ Takto získanými body proložíme přímku a vyhodnotíme příslušné konstanty c_v , c_T a exponent n .



Obr. 4. $T - v$ diagram

Zkoušku provedeme pro etalonový a zkoušený materiál, závislosti vyneseme do grafu a určíme relativní kinetickou obrobitelnost k_v jako poměr požadované trvanlivosti řezné hrany pro etalonový a zkoušený materiál.

$$k_v = \frac{v_{Tn}}{v_{T0}}$$

$k_v > 1$ zkoušený materiál je obrobitelnější než etalonový

$k_v < 1$ zkoušený materiál je hůře obrobitelnější než etalonový

Pro zvýšení přesnosti zjišťovaných závislostí je nutné celý postup provést několikrát, aby se alespoň částečně vyskoušel vliv nepředvídaných náhodných jevů, způsobujících rozptyl naměřených hodnot trvanlivostí.

3.1.4. Krátkodobé zkoušky obrobitelnosti

Jsou metody, které dávají výsledné hodnocení stupně obrobitelnosti poměrně za krátkou dobu a při malé spotřebě zkoušeného materiálu. Provádějí se za podmínek, které neodpovídají běžným podmínkám při obrábění. Účelem je stanovení relativní obrobitelnosti zkoušeného materiálu vzhledem k zvolenému etalonovému materiálu v konkrétních podmínkách. Zkrácení trvanlivostních zkoušek se dosahuje např. použitím sestavených řezných podmínek nebo snížením kritéria otupení atd.

Mikroskouška VÚOSO

Metodika této zkoušky vychází z časového průběhu křivky opotřebení. Volí se kritérium opotřebení na hřbetě $V_{hk} = 0,1$ mm. Této zkoušky, vypracované v VÚOSO Praha se používá pro určování řezivosti slitinových karbidů. Jako řezného nástroje se používá destička s co nejlepším ostřím, protože v tom případě je stádium počátečního zrychleného otupení 0,02 - 0,03 mm.

Krátkodobá zkouška podle Regerosvaného

Podle [2] je metodika této zkoušky odvozena z dlouhodobých zkoušek trvanlivosti a tím rozdílem, že časový průběh opotřebení $a_n = f(t)$ až do hodnoty přípustné míry opotřebení např. $a_{n \text{ opt}}$ se zjišťuje pouze pro jednu až dvě řezné rychlosti. Pro ostatní řezné rychlosti stačí, aby se měření provádělo pouze do doby, kdy charakteristická křivka dosáhne oblasti normální míry opotřebení.

Z experimentálně získaných údajů se určí závislosti:

$$1. \quad v = c_1 \cdot \left| \frac{a_n}{t} \right|^w \quad 2. \quad T = \frac{c_2}{a_n/t}$$

kde $\frac{a_n}{t}$ je intenzita normálního opotřebení, t = doba řezání
Pro $a_n = a_{n \text{ opt}}$ platí: $t = T$, potom po dosazení do 2. dostáváme

$$T = \frac{c_2 \cdot T}{a_{n \text{ opt}}} \quad \text{z toho plyne } c_2 = a_{n \text{ opt}}$$

$$v = c_1 \cdot \left| \frac{a_n}{t} \right|^\omega = c_1 \cdot \left| \frac{c_2}{T} \right|^\omega \quad T = c_2 \cdot \left| \frac{c_1}{v} \right|^{\frac{1}{\omega}}$$

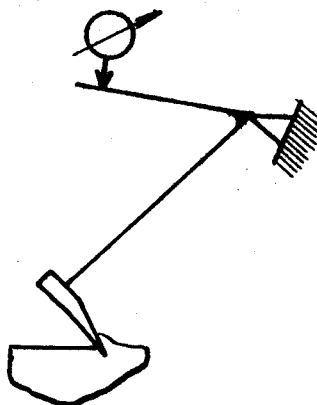
platí, že: $T = \frac{c_T}{v^{\frac{1}{\omega}}}$

$$\frac{c_T}{v^{\frac{1}{\omega}}} = c_2 \cdot \left| \frac{c_1}{v} \right|^{\frac{1}{\omega}} \quad c_T = c_2 \cdot c_1 \cdot \frac{1}{\omega} \quad n = \frac{1}{\omega}$$

3.1.5. Nepřímé metody určování obrobitelnosti

Sem patří technologické zkoušky prováděné na speciálních přístrojích a výpočtové metody určení trvanlivosti řezné hrany na základě teploty řezání, součinitele stlačení třísky apod.

Zkušební kladivo /obr. 5/ navrhl LEYNSETTER. Mírou obrobitelnosti je hloubka, do které se kladivo zasekne ve zkoušeném materiálu.



Obr. 5. Schéma LEYNSETTEROVA kladiva

3.2. Metodika dlouhodobé zkoušky obrobitelnosti pro určení vlivu tvrdomosti na obrobitelnost temperované perlitické litiny - ČSN 42 25 47

3.2.1. Podmínky dlouhodobé zkoušky obrobitelnosti

Zkoušky obrobitelnosti jsou prováděny na odlitcích vyrobených v hutích AZNP Mladá Boleslav. Ze skupiny součástí

s temperované litiny je vytrána hlava kola s brzdovým bub-
nem. /viz příloha DF/

Podniková norma předepisuje pro temperovanou perlitickou
litinu tvrdost /160 - 210/ HB a následující chemické slože-
ní: C - /2,50 - 2,70/ %

Si - /1,25 - 1,40/ %

Obsah ostatních prvků se nepředepisuje.

Mechanické vlastnosti

Průměr odděleně lité skušební tyče

12 mm

Nejmenší pevnost v tahu

461 N/mm²

Nejmenší mez průtažnosti Kt 0,2

275 N/mm²

Nejmenší tažnost

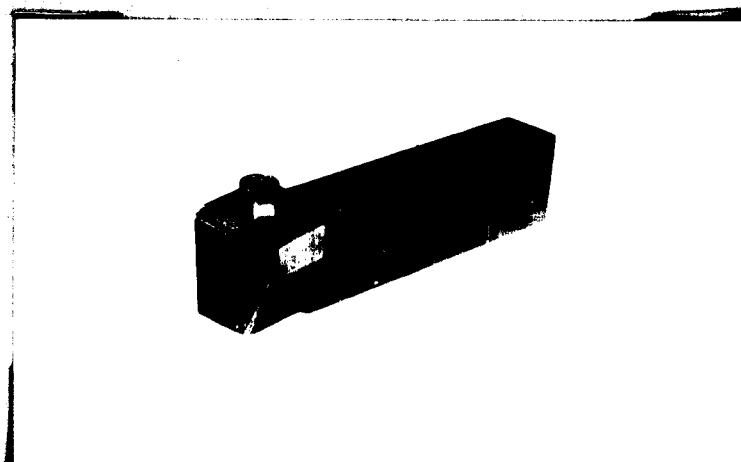
6 %

Na obrobcích byla odstraněna před vlastní zkouškou licí ká-
ra hrubováním.

Obráběcí stroj - maďarský soustruh se stupňovitou zážnou
otáček, typ KE - 800 - 01, rok výroby 1974, v dobrém technic-
kém stavu. Maximální příkon 19,7 kW. Pro upnutí obrobku by-
lo použito běžného upínacího zařízení.

Držák řezných destiček - pro upínání trojúhelníkových řez-
ných destiček se použije nožový držák /viz. obr. 6/

číslo 1-40-6182-3. Tento držák se používá při obrábění brz-
dových bubnů na osmivřeteném poliautomatu při hrubování ve
výrobě. Průřez držáku - 20 x 30 mm. Při zkoušce činí vylouče-
ní nože 45 mm.



Obr. 6. Držák řezných destiček

Rezné destičky - pro zkoušky je použito negativních řezných destiček používaných ve výrobě typu A 16 U 408 - U 1, výrobce Přemysl Šumpert.

Geometrie řezné části nástroje

Při zkouškách je použito nástroje s touto geometrií:

$$\lambda_o = - 8^\circ$$

$$\alpha_o = 8^\circ$$

$$\lambda_s = 7^\circ$$

$$\kappa_r = 92^\circ$$

$$\epsilon_r = 60^\circ$$

Nástroj musí být na stroji upnut tak, aby výška špičky nástroje směřovala na osu obrobku.

Rezné podmínky

Při zkoušce je proměnnou veličinou řezná rychlost a ostatní řezné podmínky jsou konstantní, obrábějí se za sucha.

Hloubka řezu volena $t = 1,5$ mm, posuv $s = 0,355$ mm/ot.

Pro sestavení T - v diagramu je potřeba provést měření závislosti opotřebení na hřbetě alespoň při čtyřech řezných rychlostech.

Otáčky zvolené pro zkoušku obrobitelnosti:

$$n_1 = 140 \text{ 1/min}$$

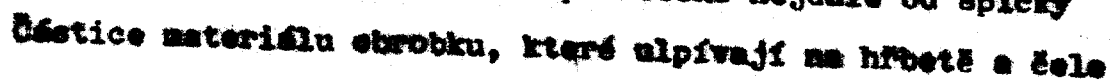
$$n_2 = 180 \text{ 1/min}$$

$$n_3 = 224 \text{ 1/min}$$

$$n_4 = 355 \text{ 1/min}$$

Soustružený průměr odlitku se pohybuje od 0,226 m do 0,241 m. Na základě změny ϕ D se mění řezná rychlost v následujících mezích dle tab. 2.

Označení	Rozsah řezné rychlosti m/min	Průměrná hodnota v m/min
v_1	99,4 - 106	103
v_2	127,8 - 136,3	132
v_3	159 - 169,6	164
v_4	252 - 268,8	260



nástroje mohou měření zkreslovat. Jejich odstranění je přípustné až při posledním měření, vzhledem k možnosti poškození břitu. Velikost opotřebení na hřbetě se měří v oblasti B, od původního ostří odvozeného od nepoškozené části břitu. Ve většině případů je opotřebení rovnoměrné a měří se jeho střední hodnota VB . Je-li v oblasti B výrazné maximum, měří se hodnota VB_{max} zvlášť a do hodnoty VB se nezahrnuje. Oblasti A a C se s měření opotřebení vylučují.

Měření se provádí na dilenském mikroskopu při zvětšení 20 - 50 krát.

Trvanlivost v závislosti na řezné rychlosti

Při konstantní řezné rychlosti se provede měření opotřebení VB ve zvolených intervalech tak, aby závislost opotřebení na hřbetě byla tvořena minimálně 5 body. /3/

Měření se opakuje při ostatních zvolených řezných rychlostech. Uvedené hodnoty se zaznamenávají do diagramu opotřebení - čas. /obr. 3/. Měření se opakuje tak dlouho, až opotřebení překročí hodnotu kritéria. Kriterium opotřebení na hřbetě nástroje $VB_k = 0,5 \text{ mm}$.

V žádném případě nelze křivku extrapolovat.

Body V_1T_1 , V_2T_2 atd. získané pro zvolené kritérium z obr. 3 se vynesou do diagramu $T - V$ ve dvojité logaritmické síti se stejným modulem na obou osách /obr. 8/. Tuto závislost je možné v určitém intervalu řezných rychlostí považovat za lineární a lze ji vyjádřit rovnicí.

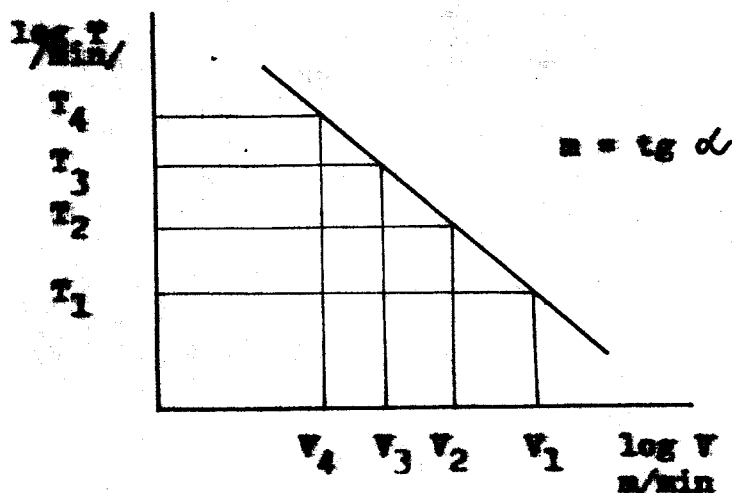
$$v \cdot T^{\frac{1}{m}} = c$$

kde v - řezná rychlost /m/min/

T - trvanlivost /min/

$m = tg$ - exponent udávající citlivost řezného materiálu na řeznou rychlost

c - konstanta /její velikost je rovna řezné rychlosti při trvanlivosti $T = 1 \text{ min}$.



Obr. 8. Závislost $T - V$

3.2.2. Vyhodnocení výsledků dlouhodobé zkoušky

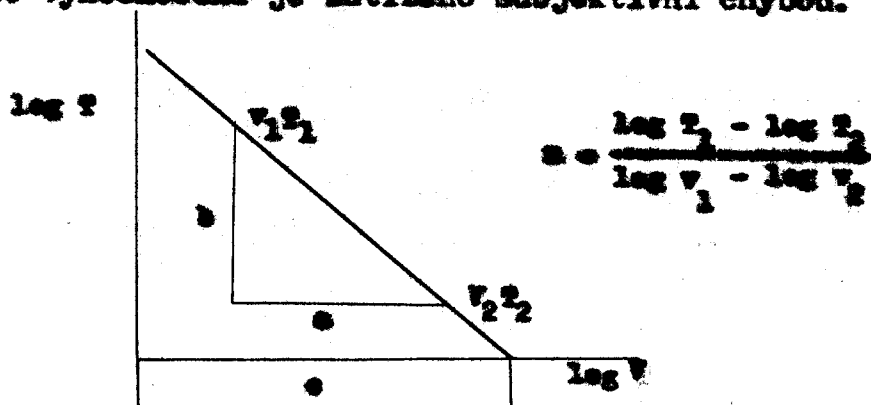
A/ Přibližné vyhodnocení

Všechny naměřené body $T_i - v_i$ se vynesou do diagramu s dvojitou log. sítí. /3/ Neuvažují se body zřejmě chybné /vyštipnutí břitu, nehomogenita otrobku/. Těmito body se proloží přibližně přímkou. Je nutné vzít na vědomí, že body v horní části diagramu mají vlivem log. sítě větší váhu než body ve spodní části.

Exponent n se určí přímo z diagramu obr. 9 nebo výpočtem ze dvou bodů ležících na proložené přímce. Konstanta c se určí buď přímo z diagramu nebo výpočtem:

$$c = v_1 \cdot T_1^{\frac{1}{n}}$$

Toto vyhodnocení je zatíženo subjektivní chybou.



Obr. 9. Určení exponentu n

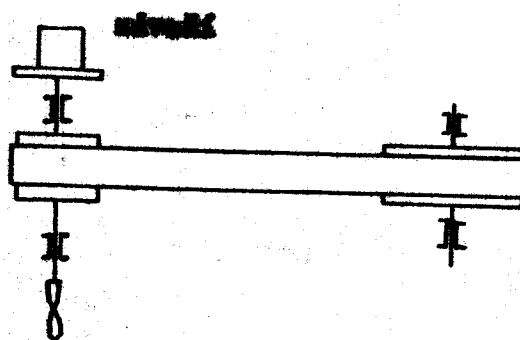
$$V \cdot T^{\frac{1}{n}} = c$$
$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i + \sum_{i=1}^n X_i \sum_{j=1}^n Y_j}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left| \sum_{i=1}^n X_i \right|^2}$$
$$\log c = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$$
$$\text{hde } \bar{Y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Y_i$$
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Číslo měření	V_i	T_i	X_i $\log V_i$	Y_i $\log T_i$	$X_i Y_i$ $\log T$	X_i^2
--------------	-------	-------	---------------------	---------------------	-----------------------	---------

Obrobitelnost v_{15}

$$\log v_{15} = \log c - \frac{\log 1}{1}$$

Stanovení obrobitelnosti litiny vrtáním /1/ se řadí k napřímým metodám zjištění obrobitelnosti. Při zkoušce obrobitelnosti vrtáním při stálém tlaku je vrták zatížen stálou silou vyvolanou závažím ohr. 10. Opotřebení roste s rostoucí silou F_0 . Při určitém opotřebení vrták přestane váikat do materiálu. Mírou obrobitelnosti je hloubka vyvrtaného materiálu. Při praktických zkouškách se lépe stanoví čas, při kterém se vrták zavrtá o stanovenou délku, nebo při určitém čase vrtání se stanoví délka zavrtání vrtáku. Mírou obrobitelnosti je pak velikost středního posuvu vrtáku. Při této zkoušce stanovíme pouze, který z materiálů je obrobitelnější.



Obr. 10. Schéma zkoušky obrobitelnosti vrtáním

Pro přibližné zařazení litiny do třídy obrobitelnosti je nutné provést zkoušku navrtání také pro ocelový materiál při stejných řezných podmínkách.

Index obrobitelnosti je pak dán vztahem:

$$i_o = \frac{S \text{ zkoušeného materiálu}}{S \text{ ocelového materiálu}} = \frac{t_z}{t_z}$$

t_z - čas navrtání do ocelového materiálu

t_z - čas navrtání do zkoušeného materiálu

Zařazování do skupin obrobitelnosti se během vrtání neprovádí, ale pro přibližné zařazení tato metoda postačí.

3.4. Řezné síly při soustružení

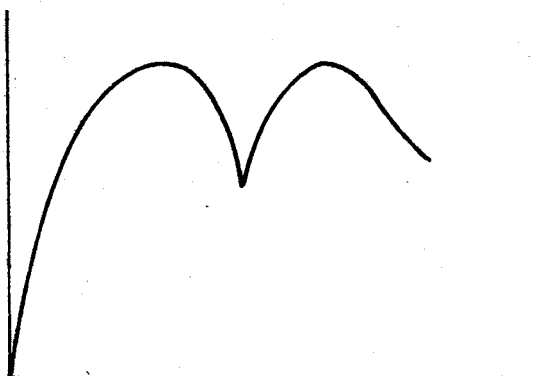
Teoretické poznatky o řezných silách umožňují zpřesnit teorii o řezném procesu. [2] V praxi jsou poznatky o řezných silách důležité při konstruování nástrojů, při volbě řezných poměrů, při výpočtu a konstruování obráběcích strojů. Současné zkoumání řezných sil v teorii obrábění kovů se opírá nejvíce o měření, která se uskutečňují s dynamometry různé principu a různé konstrukce. Řezná síla je dynamický jev, což znamená, že v časovém průběhu není konstantní. Závislost měřené řezné síly F_z na dráze nože je určena NICHOLSONEM při tvoření elementární třísky obr. 11.

Jak je vidět z obr. 11, řezná síla na začátku řezání roste až po určité maximum. Toto maximum je charakteristické pro moment oddělení elementu třísky od základního materiálu. Potom síla poklesne, ale ne na nulovou hodnotu, protože před skončením posunutí elementu se začne deformace dalšího elementu.

Řeznou sílu můžeme chápat ve smyslu:

- a/ statickém - přitom jde o určení střední hodnoty mezi nejmenší a největší hodnotou kolísání řezné síly
 - b/ dynamickém - jde o věrný obraz velikosti řezné síly
- V současnosti se nejčastěji operuje s řeznou silou jako se statickým pojmem.

Řezná síla
 F_z /N/



Dráha nože /mm/

Obr. 11. Základ řezné síly na dráze nože

Běžnými měřicími metodami je velmi těžké zachytit přesný průběh řezné síly.

Při soustružení působí na nůž výsledná řezná síla F , která se rozkládá na tři složky obr. 12.

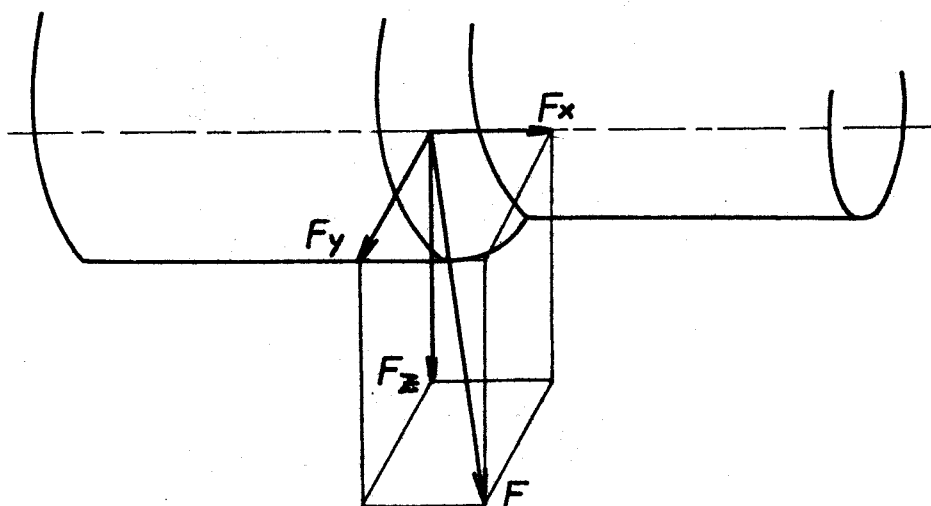
- a/ na složku F_z , která leží ve směru řezné rychlosti. Tato složka se nazývá tangenciální řezná síla, nebo hlavní řezná síla. Poznámky o jejich hodnotách jsou potřebné pro výpočet hlavního pohybu, pevnosti nástroje, součástí mechanismu hlavního pohybu obráběcího stroje.

b/ na složku F_y , která má radiální směr. Radiální řezná síla ovlivňuje průhyb součástek, tuhost obráběcího stroje a nástroje.

c/ na složku F_x , která má směr osy odštěpící se součástky - axiální řezná síla. Její velikost je potřebná pro výpočet součástek posuvového mechanismu.

Mezi výslednou řeznou silou a jejími složkami platí vztah:

$$F = F_x^2 + F_y^2 + F_z^2$$



Obr. 12. Rozklad sil při soustružení

Na velikost řezných sil mají vliv následující faktory:

- řezné prostředí
- řezné podmínky
- materiál nástroje, stav bříty
- geometrie nástroje
- materiál obrobku

Složky řezné síly při obrábění závisí na fyzikálních vlastnostech materiálu, jako je tvrdost, pevnost, houževnatost atd. Čím jsou tyto parametry vyšší, tím obecně rostou i složky řezné síly.

Existuje několik způsobů při určování řezných sil:

- a/ určování řezných sil na základě analytických vzorců
/z geometrie nože a rozměrů třísky/

b/ určování řezných sil pomocí měrného řezného odporu

c/ určování řezných sil z empirických vzorců

d/ měření řezných sil při obrábění

Jelikož velikost jednotlivých složek řezné síly je ovlivňována řeznými podmínkami, jsou výsledky získané výpočtem ze vzorců pouze přibližné a v praxi je nutno je porovnávat s experimentálně zjištěnými výsledky. Řeznou sílu a její složky můžeme při obrábění měřit dvojím způsobem:

- nepřímé měření sil
- přímé měření sil dynamometrem

Nepřímé měření sil

Pro běžné měření v praxi obvykle vystačíme s méně přesnými metodami určení střední hodnoty řezné síly. Změříme výkon motoru stroje nebo Mk na vřetení a z těchto hodnot vypočítáme tangenciální složku řezné síly F_x .

Přímé měření řezných sil

Nepřesnost metod nepřímého měření řezných sil vede k užívání přesnějších metod přímého měření řezné síly a jejich složek pomocí dynamometrů. Metoda záleží v měření pružných deformací některého vhodného elementu dynamometru, které vznikají při zatížení řeznou silou, respektive její složkou. S deformací tohoto elementu se po zesílení usuzuje na velikost i směr jednotlivých složek řezné síly. Měření deformace zatěžovaného elementu dynamometru může být na principu mechanickém, elektrickém, hydraulickém, pneumatickém, kapacitním, indukčním, magnetickým aj. Podle počtu řezných sil, které současně měříme, dělíme dynamometry na jednosložkové, dvousložkové nebo tříslložkové.

Požadavky na spotřebič

- dostatečná tuhost
- malá setrvačnost
- přesnost
- citlivost
- stabilita cejchování

- dostatečný měřicí rozsah
- minimální ovlivňování složek navzájem
- minimální rozměry a hmotnost
- spolehlivost
- stálost údajů

3.4.1. Popis tříoskového dynamometru pro soustružení s od- porovými tensometry

Pro měření závislosti řezných sil na tvrdosti odlitek se použije tříoskový dynamometr obsazený drátkovými odporovými tensometry.

Parametry dynamometru

1/ Maximální dovolené zatížení:

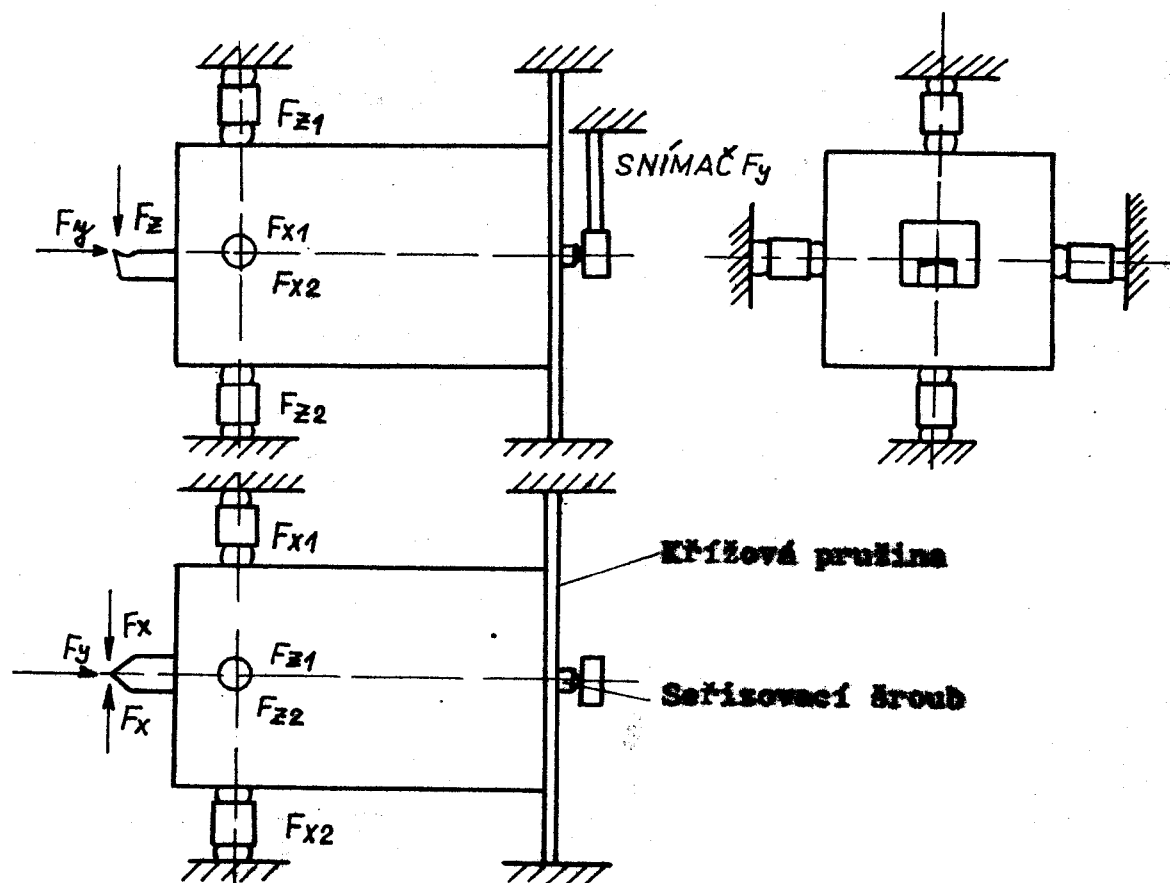
složka F_z 10 kN
 F_x 6 kN
 F_y 5 kN

2/ Citlivost 4 %/°

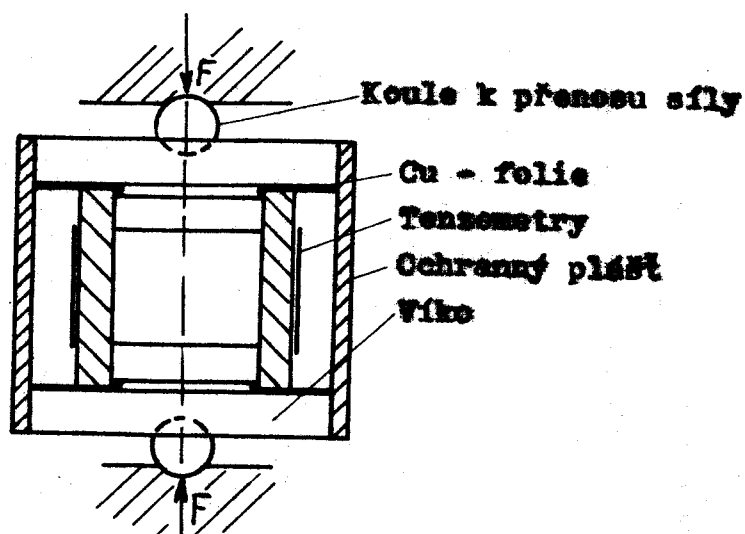
3/ Výška špičky od základny 109 mm

4/ Vlastní frekvence ve směru F_z 2,8 kHz
 F_x 2,8 kHz
 F_y 1,9 kHz

Čelní strana dynamometru je bezpečně vodotěsná. Vzájemné ovlivňování složek řezné síly na všech rozsazích je maximálně 0,5 %. Dynamometr není určen k měření při soustružení přerušovaným řezem. Princip dynamometru je na obr. 13. Snímače složek F_x a F_z jsou trubičkové namáhané na stlačení. Snímač pro F_y je vetknutý nosník ohýbaný osamělou silou na volném konci. Všechny snímače jsou předepjaty seřizovacími šrouby a opřeny do tělesa dynamometru. Polie z mědi tloušťky 0,2 mm zaručuje stejné obtížení celého čela deformačního členu. Obr. 14. Vylučuje se maximální možná souosost povrchu vnějšího a vnitřního a kolmost čel. Tensometry jsou namáhány tmelem T M3 - Mikrotechna a proti vlhkosti prostředí jsou chráněny syntetickým emailen.



Obr. 13. Princip dynamometru



Obr. 14. Konstrukce měřicích článků F_x a F_z

Na změnu délky deformačního členu reagují tensometry změnou svého elektrického odporu. Tyto změny jsou řádově 10^{-6} ohmů. Lze ji měřit jen Wheatstoneovým mostem s několikastupňovým zesilovačem. Jako měřicí aparatura se používá Wheatstoneův most se zesilovači typ TDA 3.

3.4.2. Cejchování dynamometru

Nezbytně nutnou součástí dynamometru je cejchovací zařízení. Sestává se z připravené cejchovací klece, mající pro každou složku řezné síly šroub, jímž přes třmenový siloměr vyvozujeme definovanou sílu, působící na hranol umístěný v držáku nože. Šroubem vyvozujeme na siloměr definovanou sílu a na milivoltmetru čteme výchylku. Konstanta siloměru je známa, takže výchylka odpovídá síle. Cejchování provedeme v několika bodech žádaného rozsahu, sestrojíme cejchovací křivku a pokud je přímkou, je cejchování správné. Při použití různých noží bývá různé vyložení jejich špičky. Je jiné než vyložení cejchovacího hranolu obr. 15.

Je nutno přepočítat pro F_n a F_x cejchovací hodnoty v poměru vyložení nože a hranolu

$$F_n = F_h \cdot \frac{h}{n} \quad \text{kde: } F_h - \text{zatěžovací síla na hranol}$$

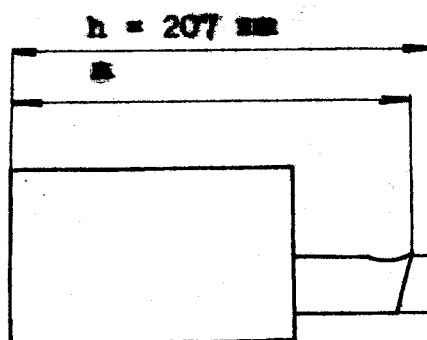
$$F_n - \text{skutečná síla na noži}$$

$$h = 207 \text{ mm}$$

$$n - \text{délka určitého nože}$$

3.4.3. Metodika měření složek řezné síly

- 1/ Montáž a ustavení dynamometru na místo nožového suportu.
- 2/ Zapojení aparatury TDA - 3 a vyvážení jednotlivých kanálů.
- 3/ Cejchování jednotlivých složek. Třmenový siloměr vložíme pod příslušný šroub a jeho utahováním vyvozujeme sílu. Na číselníkovém odchylkoměru kontrolujeme utahování např. po 0,1 mm, přitom čteme výchylku v milivoltech na milivoltmetru. Obě hodnoty zapisujeme do tabulky. Cejchování provedeme vícekrát a vezmeme aritmetický průměr.



Obr. 15. Vyleštění nože a hranolu

- 4/ Demontáž seřizovacího zařízení a upnutí skoušeného materiálu na soustruh.
- 5/ Upnutí nože do dynamometru.
- 6/ Obrábění dle předem stanoveného programu a zapisování hodnot v milivoltech do tabulek.
- 7/ Převodění hodnot v mV na N jednotlivých složek řezné síly.
- 8/ Sestrojení závislosti vlivu tvrdosti na velikost řezných sil.

3.5. Řezné síly při vrtání

Při vrtání jsou řezné síly rozloženy na hranách vrtáku. Výsledné řezné síly si představujeme /1/ z koncentrované v bodě A obr. 16 na řezných hranách šroubovitého vrtáku a rozkládáme je do směrů X, Y, Z.

Když má vrták asymetrické příčné ostří, radiální síly F_y a F_y' se rovnají a navzájem se ruší.

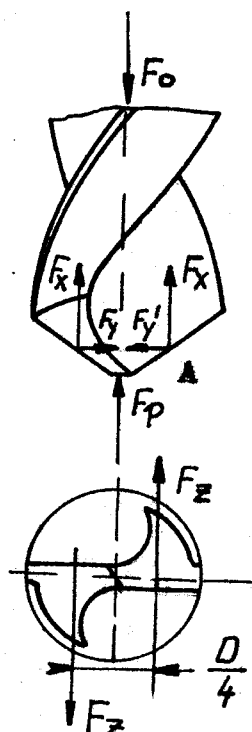
Řezné síly F_z působí přibližně na rameni $D/4$ vytvářejí krouticí moment M_k , který se přenáší na včetně stroje. Řezné síly F_x a F_p se skládají a tvoří osovou sílu F_o , kterou překonává posuvový mechanismus.

$$\text{Krouticí moment } M_k = 2 F_z \cdot \frac{D}{4} \text{ /Nm/}$$

$$\text{Osová síla } F_o = 2 F_x + F_p$$

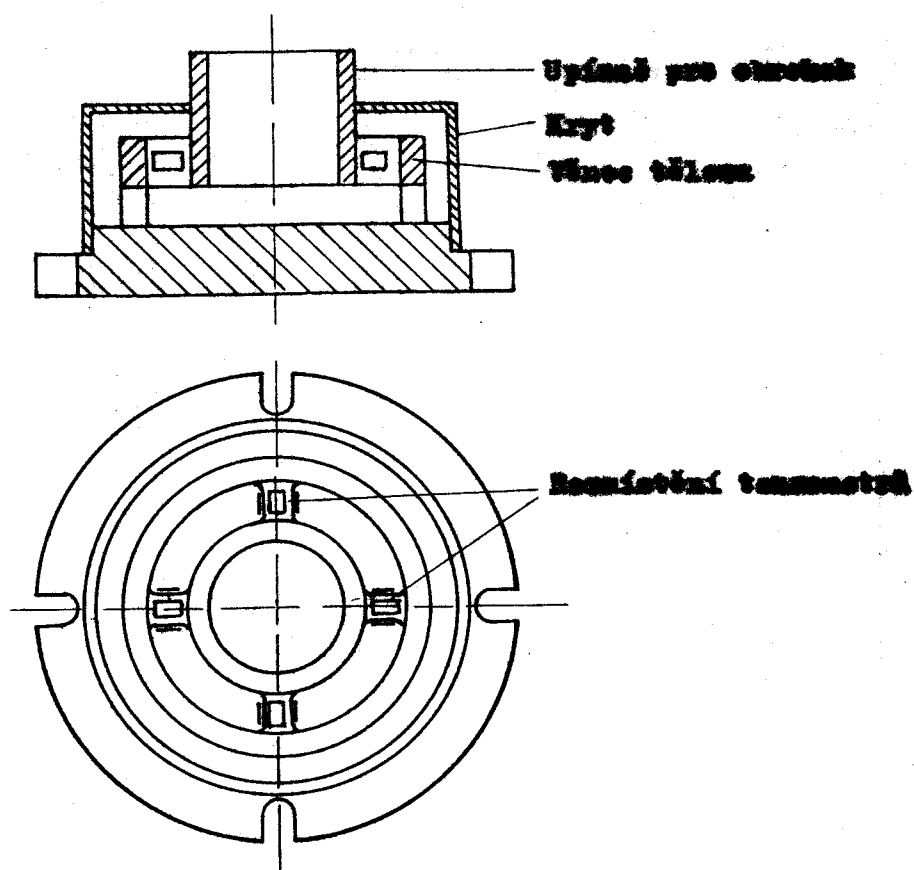
3.5.1. Měření řezných sil při vrtání

Kruticí moment a osovou sílu měříme při vrtání dynamometrem s tenzometrickými snímači obr. 17.



Obr. 16. Řezné síly při vrtání

Těleso dynamometru tvoří vněs spojený se střední částí čtyřmi rameny. Vněs tělesa má v místech, kde jsou ramena na spodní straně výstupky, kterými dosedá na upínací desku a je k ní přišroubován. Střední část tělesa tvoří upínač pro obrobek a nese kryt proti vnikání nečistot a chladicí kapaliny do dynamometru. Na ramenech tělesa jsou nalepeny odporové tenzometry podle obr. 17. Mechanické deformace ramen se převádějí na změny odporu prostřednictvím nalepených tenzometrických snímačů a tyto změny se pak měří citlivými místky tenzometrické aparatury TDA - 3.



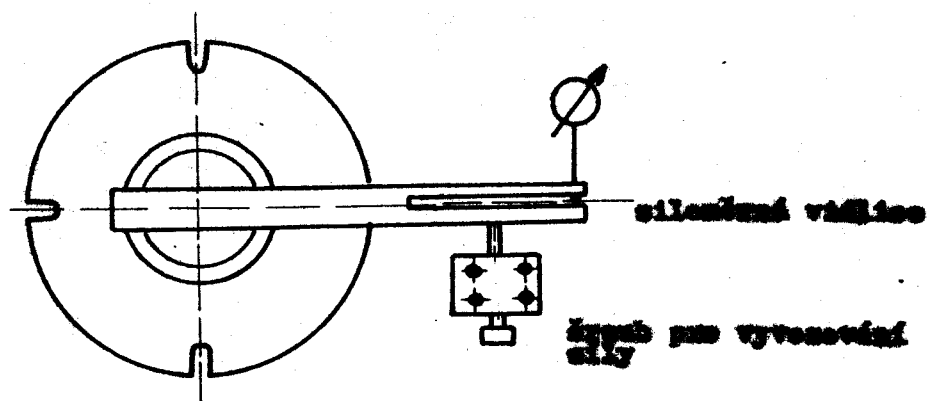
Obr. 17. Princip dynamometru pro vrtání

Cejchování dynamometru

Při cejchování působíme na dynamometr známým M_k a oso-
vou silou, abychom si mohli zjistit závislost výchylek mili-
voltmetru na M_k nebo na osové síle.

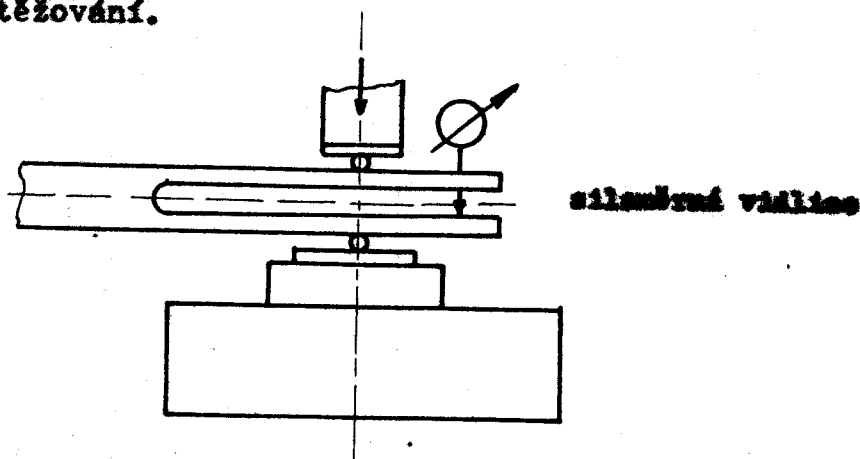
Cejchování na M_k je na obr. 18.

Dynamometr se upevní na upínací desku radiální vrtačky.
Do držáku dynamometru se upevní cejchovací siloměrná vidlice,
na kterou budeme působit přes kulový detek silou vyvoze-
nou šroubem, který je veden v matici svléštního stojánu,
upevněného na upínací desce vedle dynamometru. Velikost M_k
nastavíme podle číselníkového výchylkoměru upevněného do si-
loměrné vidlice. Velikost M_k odpovídající určité výchylce
výchylkoměru zjišťujeme z cejchovní křivky siloměrné vidlice.



Obr. 18. Cejchování dynamometru na Mx

Princip cejchování dynamometru na osovou sílu je na obr. 19. Do držáku dynamometru upevníme vložku, na kterou budeme působit vřetenem radiální vrtačky přes siloměrnou vidlici ve směru osové síly. Zatěžování provedeme tím způsobem, že nahradíme vřetenem vrtačky, ve kterém je opěrná vložka na siloměrný třmen, položený na dynamometru. Zapojíme automatický posuv /motor vrtačky je vypnut/ a ručním kolečkem provádíme zatěžování.

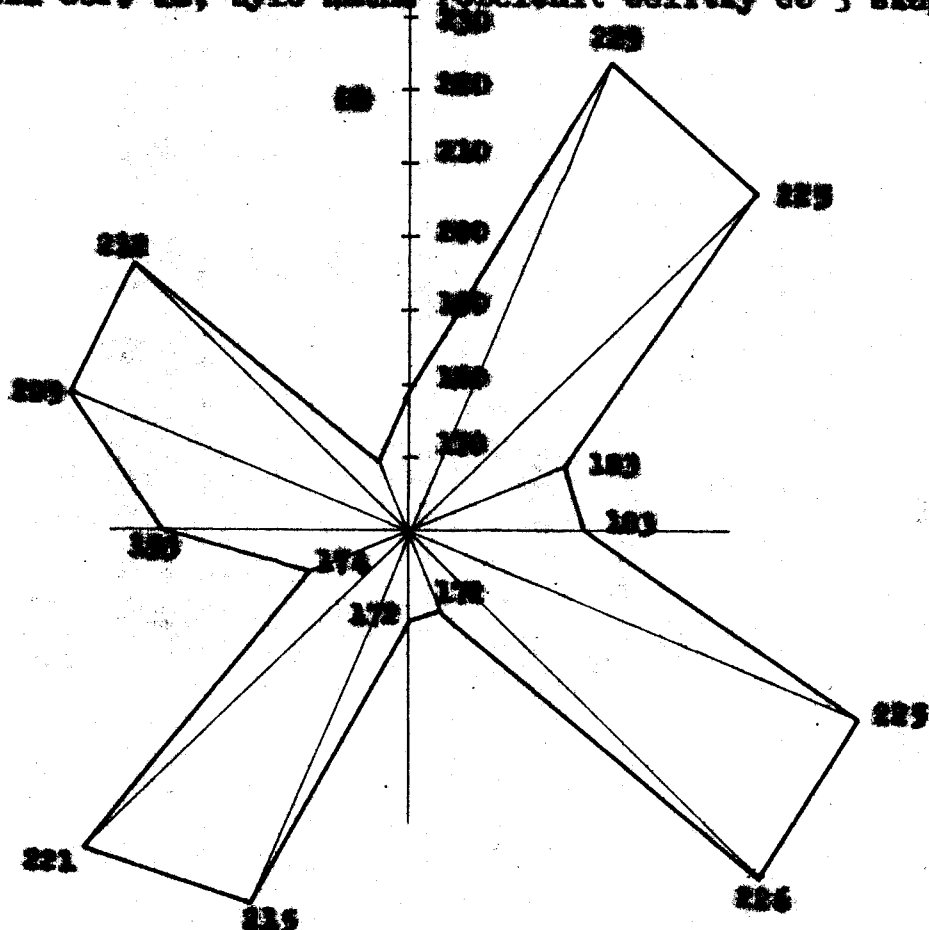


Obr. 19. Princip cejchování dynamometru na osovou sílu
Velikost síly nastavujeme dle číselníkového úchylkoměru upnutého v siloměrné vidlici.
Velikost osové síly, odpovídající určité výchylce úchylkoměru, zjišťujeme z cejchovní křivky siloměrné vidlice.

4. ZKOUŠKY A VYHODNOCENÍ

4.1. Stanovení vlivu tvrdosti na obrobitelnost perlitické litiny soustružením

Na základě kapitoly 3.2. byla provedena dílčedobá zkouška podélným soustružením. Jelikož se tvrdost HB na odlitcích lišila jak mezi jednotlivými odlitky, tak po obvodu odlitku obr. 20, bylo nutné rozdělit odlitky do 3 skupin



Obr. 20. Rozložení tvrdosti po obvodu náhodně vybraného buhnu

podle aritmetického průměru tvrdosti po obvodu odlitku.

1. skupina tvrdost /180 - 190/ HB

2. skupina tvrdost /200 - 210/ HB

3. skupina tvrdost /215 - 225/ HB

U náhodně vybraného odlitku byla proměřena tvrdost po celém obvodu buhnu. Hodnoty tvrdosti HB jsou v kruhovém diagramu obr. 20.

Tabulka perlitických hodnot

Podstata (180 - 190) HB 2. měření

$n = 140 \text{ l/min}$

Tab. 4

t/min/	0,80	1,77	2,65	3,53	4,42	5,3	6,38	7,07	7,95
VB /mm/	8	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	8	0,21
8,83	9,72	10,6	11,48	12,36	13,25	14,13	15,02	15,9	16,78
0,23	0,25	0,3	0,31	0,32	0,34	0,34	0,36	0,38	0,39
17,7	18,55	19,43	20,3	21,2	22,1	22,96	23,85	24,74	25,62
0,4	0,42	0,42	0,44	0,46	0,46	0,47	0,53	0,53	0,63

Hodnoty, u kterých je H jsou s nářezem, mohou se tudíž použít pro vyhodnocování. Nářezek vzniká na hřbetě nástroje.

Č - nářezek na čele

Podstata 180 - 190 HB 2. měření

$n = 140 \text{ l/min}$

Tab. 5

t/min/	0,80	1,77	2,65	3,53	4,42	5,3	6,38	7,07	7,95
VB /mm/	0,12	0,15	0,18	0,2	0,21	0,21	0,21	H	H
8,83	9,72	10,6	11,48	12,36	13,25	14,13	15,02	15,9	16,78
0,22	0,24	0,25	0,28	0,3	0,3	0,3	0,31	0,32	0,32
17,7	18,55	19,43	20,3	21,2	22,1	22,96	23,85	24,74	25,62
0,34	0,35	0,36	0,39	0,41	0,42	0,43	0,43	0,46	0,54

Tvrdość (180 - 190) HB 1. měření

$n = 100 \text{ l/min}$

Tab. 6

t/min/	0,72	1,43	2,15	2,87	3,98	4,3	5,02	5,73	6,45
VB /mm/	0,24	0,3	0,34	0,35	0,37	0,37	0,4	0,41	0,45

7,17	7,88	8,6	9,31	10,03	
0,48	0,51	0,54	0,58	0,60	

2. měření

Tab. 7

t/min/	0,72	1,43	2,15	2,87	3,98	4,3	5,02	5,73	6,45
VB /mm/	0,12H	0,13H	H	0,18	0,24	0,33	0,34	0,35	0,37

7,17	7,88	8,6	9,31	10,03	10,75	11,47	12,18	12,9	
0,38	0,4	0,4	0,41	0,44	0,46	0,48	0,49	0,51	

Tvrdość (180 - 190) HB

$n = 224 \text{ l/min}$

Obě měření v jedné tabulce. Tab. 8

t/min/	0,58	1,17	1,75	2,33	2,92	3,5	4,08	4,66	
VB /mm/	0,33H	0,31	0,39	0,45	0,48	0,54	0,58	0,62	
VB /mm/	H	H	0,3	0,35	0,39	0,41	0,49	0,52	

Tvrdość (180 - 190) HB

$n = 355 \text{ l/min}$

Obě měření v jedné tabulce. Tab. 9

t/min/	0,42	0,83	1,25	1,66	2,08	
VB /mm/	0,4	0,43	0,5	0,58	0,6	
VB /mm/	0,35	0,39	0,46	0,58	0,62	

Tvrdość (200 - 210) HB 1. měření

tab. 10

$n = 140 \text{ l/min}$

t/min/	0,88	1,77	2,69	3,53	4,42	5,3	6,18	7,07	7,95
$\frac{VB}{\text{mm/}}$	0,18H	0,26H	0,32H	0,34H	0,32H	0,35H	0,40H	0,40H	0,38

8,83	9,72	10,6	11,48	12,36	13,25	14,13	15,02	15,9	16,78
0,4H	0,4H	0,42	0,45	0,49	0,5	0,52	0,57	0,58	0,6

2. měření

tab. 11

t/min/	0,88	1,77	2,69	3,53	4,42	5,3	6,18	7,07	7,95
$\frac{VB}{\text{mm/}}$	H	0,29H	0,3H	0,25	0,34	0,37	0,41	0,42	0,43

8,83	9,72	10,6	11,48	12,36	13,25	14,13	15,02		
0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,58	0,6	0,62		

Tvrdość (200 - 210) HB

$n = 180 \text{ l/min}$

1. měření

tab. 12

t/min/	0,72	1,43	2,15	2,87	3,58	4,3	5,02	5,73	6,45
$\frac{VB}{\text{mm/}}$	0,43H	0,41H	0,42H	0,35	0,42	0,46	0,50	0,54	0,56

7,17	7,88	
0,59	0,61	

2. měření

tab. 13

t/min/	0,72	1,43	2,15	2,87	3,58	4,3	5,02	5,73	6,45
$\frac{VB}{\text{mm/}}$	H	H	0,23H	0,27H	0,29H	0,34H	0,36	0,4	0,43

7,17	7,88	8,6	9,31	10,3	10,75	
0,46	0,48	0,5	0,55	0,58	0,6	

Tvrdość (200 - 210) HB; $n = 224$ 1/min

tab. 14

t/min/	0,58	1,17	1,75	2,33	2,92	3,5	4,08		
VB /mm/	0,3	0,4	0,48	0,53	0,57	0,62			
VB /mm/	H	0,31	0,36	0,42	0,49	0,52	0,61		

Tvrdość (200 - 210) HB; $n = 355$ 1/min

tab. 15

t/min/	0,42	0,83	1,25	1,66	2,08
VB /mm/	0,3	0,43	0,48	0,59	0,62
VB /mm/	H	0,42	0,58	0,65	

Tvrdość (215 - 225) HB

$n = 140$ 1/min

1. měření

tab. 16

t/min/	0,88	1,77	2,65	3,53	4,42	5,3	6,18	7,07	7,95
VB /mm/	0,4H	0,27	0,4H	0,4	0,44	0,45	0,46	0,48	0,49
8,83	9,72	10,6	11,48						
0,52	0,55	0,57	0,60						

2. měření

tab. 17

t/min/	0,88	1,77	2,65	3,53	4,42	5,3	6,18	7,07	7,95
VB /mm/	0,19H	0,22H	0,25H	0,27H	0,32H	0,33	0,34	0,35	0,37
8,83	9,72	10,6	11,48	12,36					
0,39	0,42	0,47	0,51	0,6					

Tvrdość (215 - 225) HB

$n = 180 \text{ 1/min}$

1. měření

tab. 20

$t/\text{min/}$	0,72	1,43	2,25	2,87	3,58	4,3	5,02	5,73
$\frac{VB}{\text{mm/}}$	0,26	0,21	0,32	0,37	0,42	0,48	0,5	0,55

Tvrdość (215 - 225) HB

$n = 180 \text{ 1/min}$

2. měření

tab. 20

$t/\text{min/}$	0,72	1,43	2,25	2,87	3,58	4,3	5,02	5,73	6,43
$\frac{VB}{\text{mm/}}$	3	0,2	0,31	0,33	0,35	0,36	0,4	0,43	0,47

7,17	7,00
0,51	0,56

Tvrdość (215 - 225) HB; $n = 224 \text{ 1/min}$

tab. 20

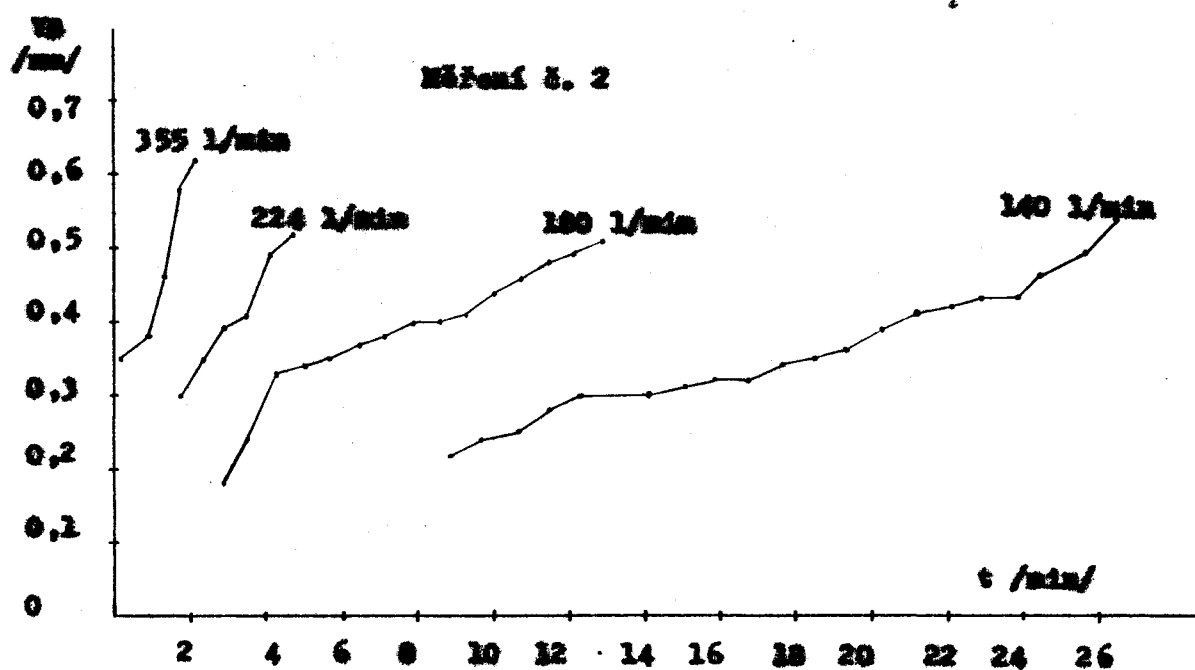
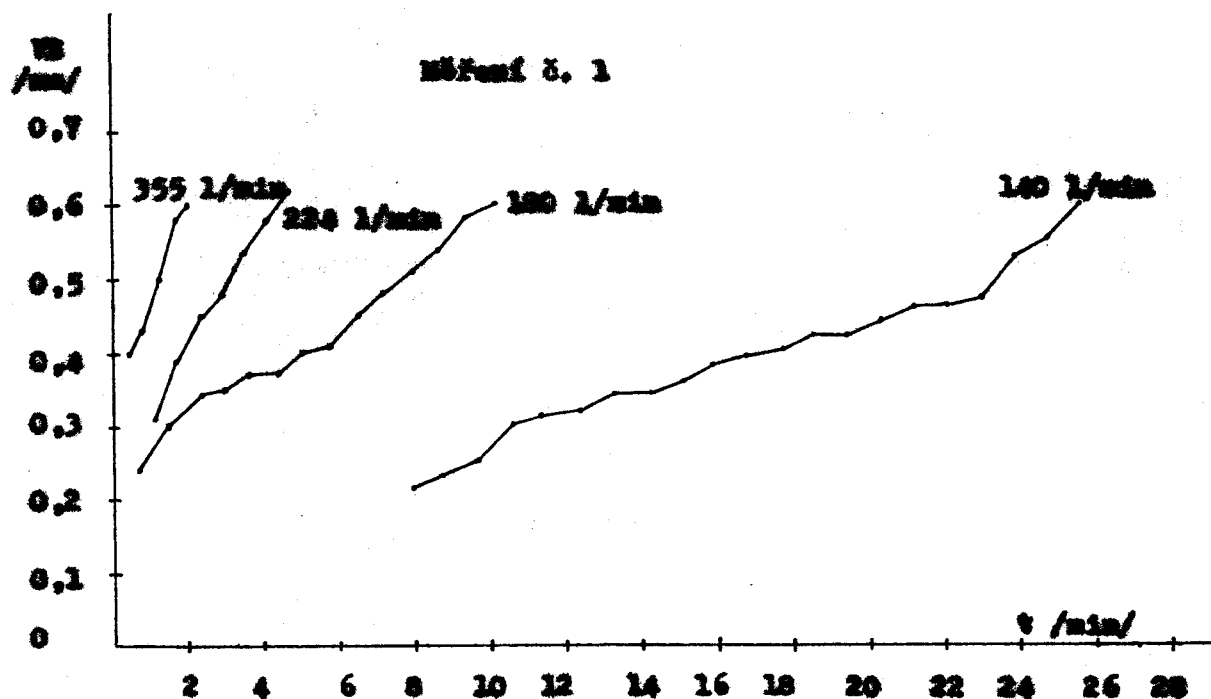
$t/\text{min/}$	0,98	1,17	1,75	2,33	2,92	3,5	4,08	4,66	
$\frac{VB}{\text{mm/}}$	0,28	0,33	0,40	0,43	0,52	0,60			
$\frac{VB}{\text{mm/}}$	0,28	0,34	0,37	0,45	0,46	0,52	0,56	0,62	

Tvrdość (215 - 225) HB

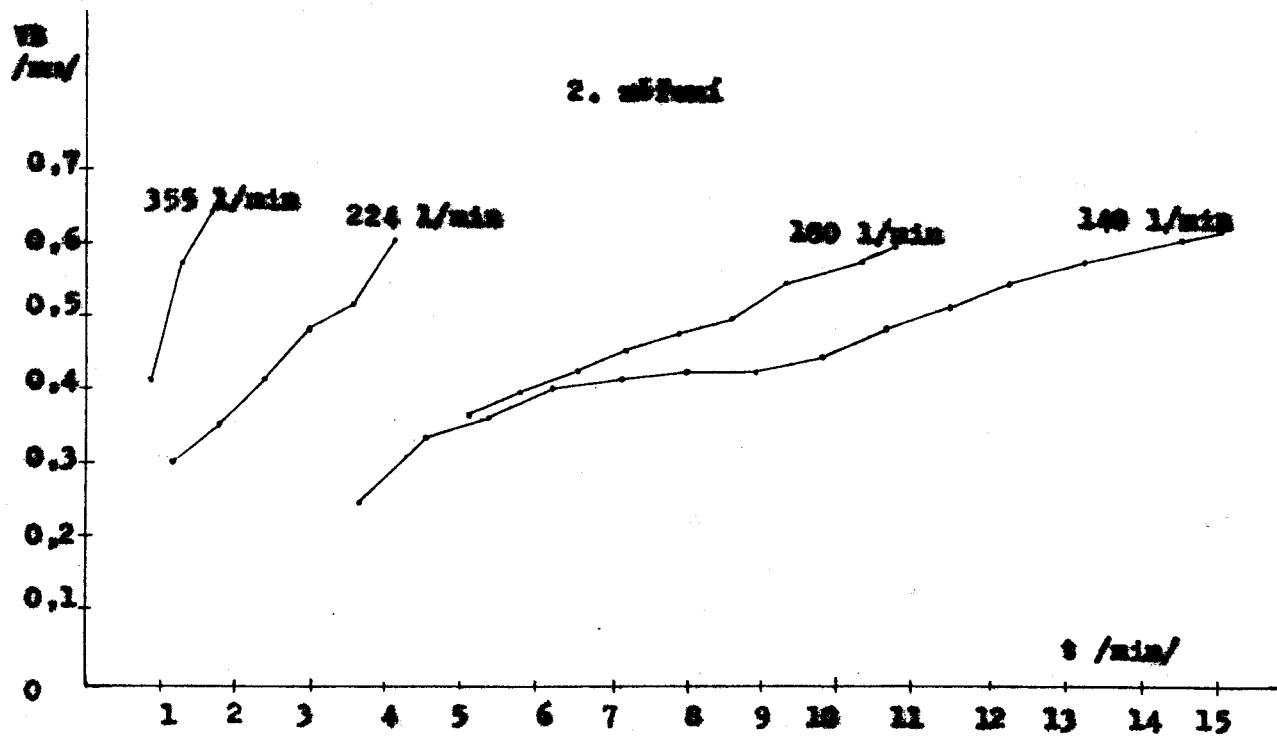
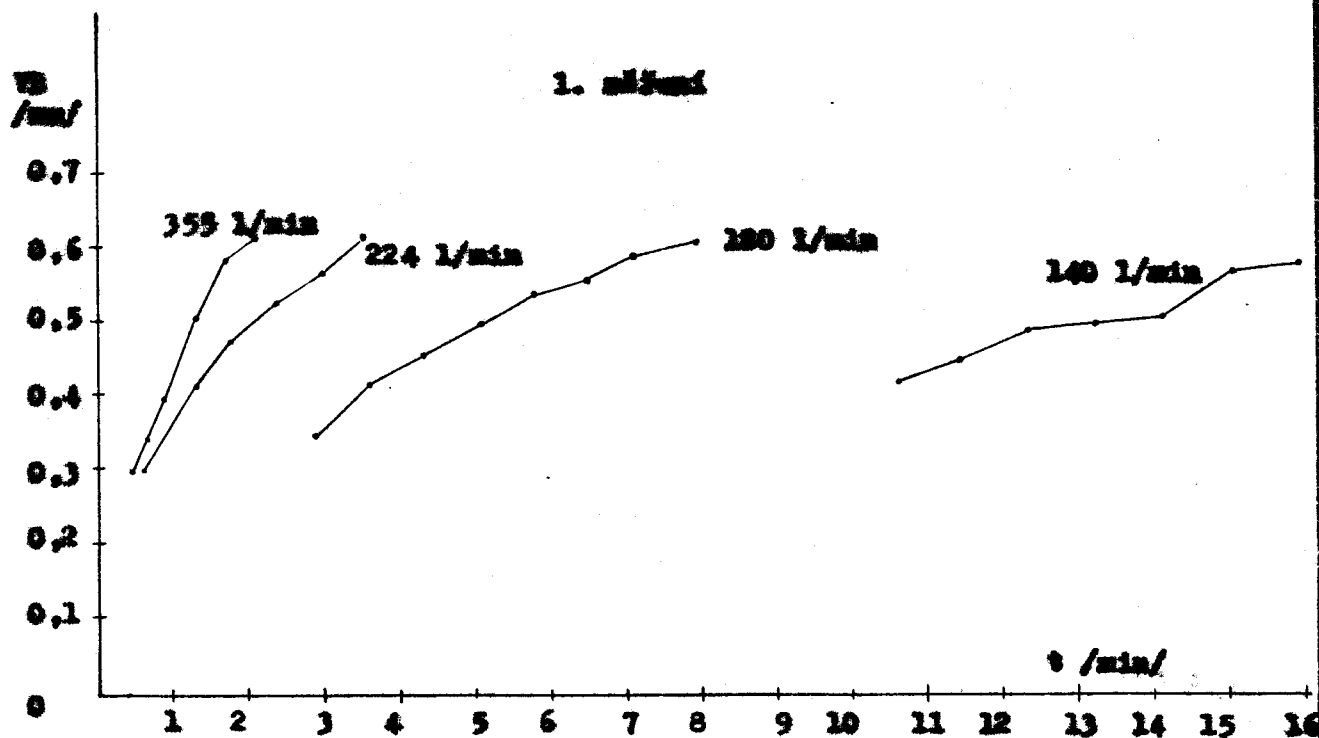
$n = 355 \text{ 1/min}$

tab. 21

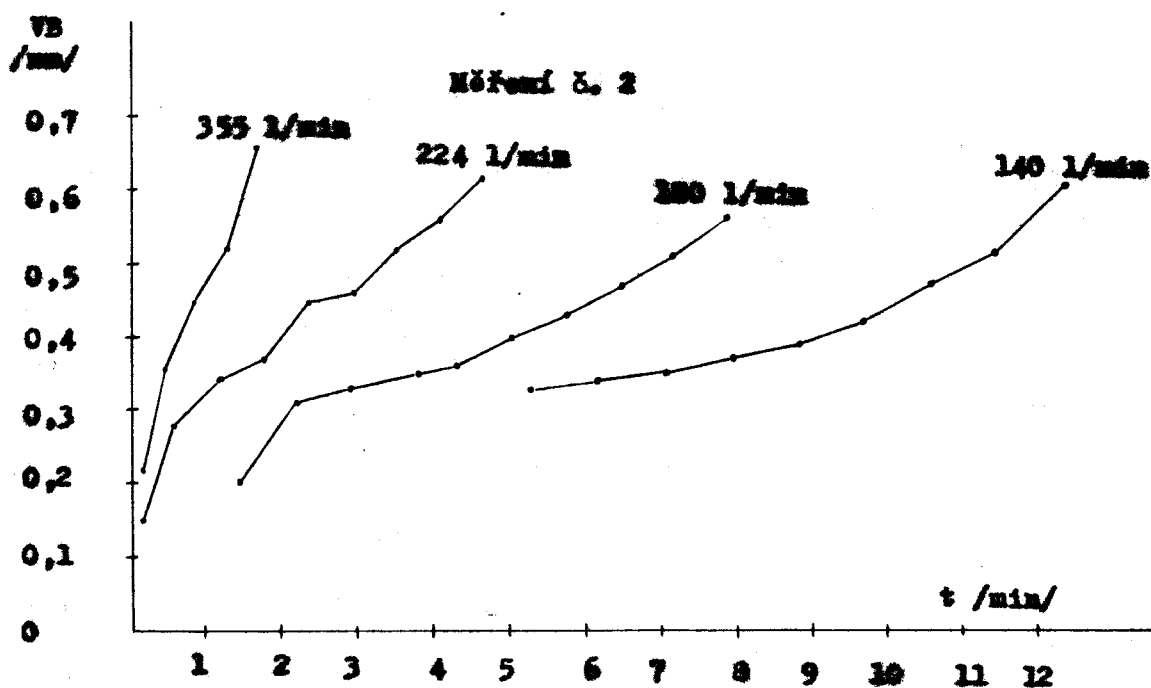
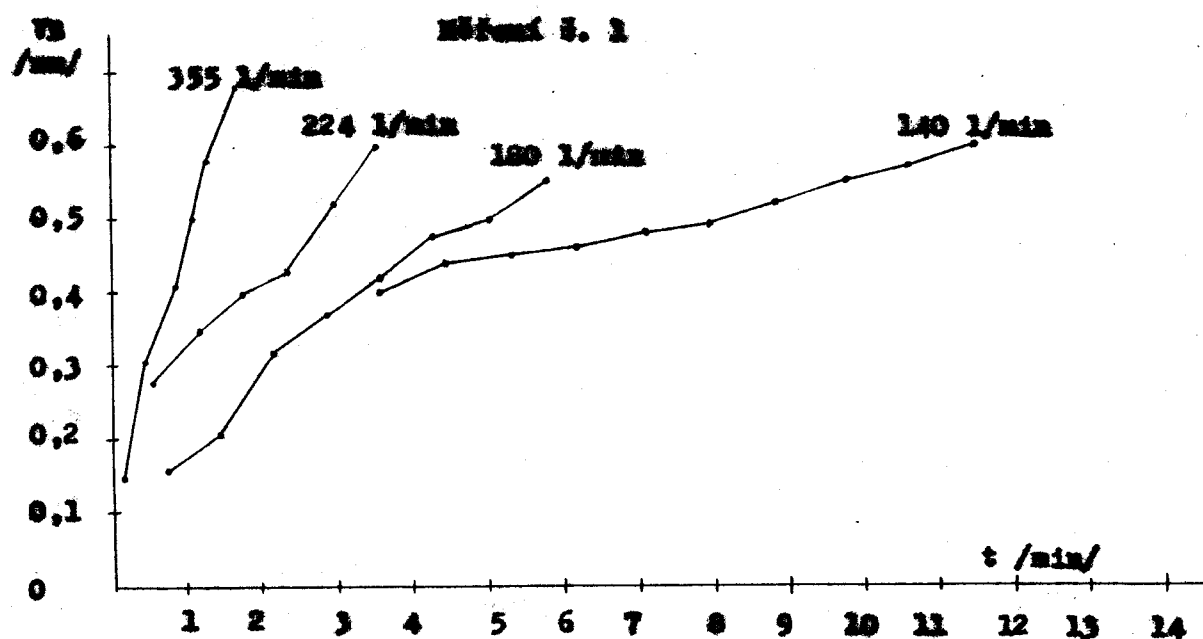
$t/\text{min/}$	0,17	0,42	0,83	1,23	1,66
$\frac{VB}{\text{mm/}}$	0,15	0,31	0,41	0,58	0,68
$\frac{VB}{\text{mm/}}$	0,2	0,36	0,45	0,52	0,66



Obr. 21. Časový průběh opotřebení řezného břitu nástroje
pro tvrdost (180 - 190) HB



Obr. 22. Časový průběh opotřebení řezného nástroje pro tvrdost (200 - 210) HB



Obr. 23. Časový průběh spotřeby řezného břida nástroje
pro tvrdost (215 - 225) HB

Zpracování tvrdosti (180 - 190) HB metodou segmentních štěr-
ců je v tab. 22.

Tab. 22

Číslo	V_1	T_1	$\frac{Y_1}{\log V}$	$\frac{X_1}{\log V}$	$X_1 Y_1$	X_1^2
1	355	1,25	0,0969	2,55	0,247	6,504
2	224	5,0	0,477	2,35	1,121	5,524
3	180	7,00	0,808	2,255	1,826	5,086
4	140	23,50	1,371	2,146	2,942	4,606
5	355	1,5	0,176	2,55	0,49	6,504
6	224	4,3	0,633	2,35	1,488	5,524
7	280	12,5	1,097	2,255	2,474	5,086
8	140	25,0	1,412	2,146	3,03	4,606
Σ			6,0709	18,602	13,737	43,44

Odečtené hodnoty pro $VB_K = 0,5$ mm. V_1 , T_1 jsou v tabulce 22
a metodou segmentních štěrů určuje: n , $a = v_{15}$.

$$n = \frac{-8 + 13,737 + 18,602 - 6,0709}{8 \cdot 43,44 - (18,602)^2} = 3,082 \quad = 71^\circ 34'$$

$$Y = \frac{6,0709}{8} = 0,7588 \quad X = \frac{18,602}{8} = 2,3252$$

$$\log a = \frac{0,7588}{3,082} + 2,3252 = 2,5779 \quad a = 378,35$$

$$\log v_{15} = \log a - \frac{1,376}{8} = 2,5779 - \frac{1,376}{8} = 2,286$$

$$v_{15} = 153,46 \text{ m/min}$$

Izpracování tvrdosti (200 - 210) HB metoda nejmenších čtverců je v tabulce 23.

Tab. 23

Číslo	V_1	Z_1	$\frac{Y_1}{\log V}$	$\frac{X_1}{\log V}$	$X_1 Y_1$	X_1^2
1	355	1,2	0,0792	2,55	0,184	6,504
2	224	2,0	0,302	2,35	0,707	5,524
3	180	5,02	0,702	2,255	1,58	5,086
4	140	13,25	1,122	2,146	2,408	4,606
5	355	1,05	0,0822	2,55	0,054	0,904
6	224	3,2	0,585	2,35	1,387	5,524
7	180	8,6	0,934	2,255	2,108	5,086
8	140	11	1,042	2,146	2,235	4,606
Σ			4,7044	18,602	10,463	43,44

Očíslené hodnoty pro $VB_L = 0,5$ mm, V_1 , Z_1 , jsou v tab. 23 a metoda nejmenších čtverců určí a , b a v_{15} .

$$a = \frac{-8 \cdot 10,463 + 18,602 \cdot 4,7044}{8 \cdot 43,44 - (18,602)^2} = 2,563 \quad - 68^\circ 41'$$

$$T = \frac{4,7044}{8} = 0,588 \quad T = \frac{18,602}{8} = 2,3253$$

$$\log a = \frac{0,588}{2,655} + 2,3252 = 2,554 \quad a = 358,1$$

$$\log v_{15} = 2,554 - \frac{1,111}{2,655} = 2,095$$

$$v_{15} = 124 \text{ m/min}$$

Zpracování tvrdosti (215 - 225) HB metodou nejmenších čtverců
je v tabulce 24.

tab. 24

Číslo	v_1	T_1	$\frac{T_1}{\log v}$	$\frac{X_1}{\log v}$	$X_1 X_1$	X_1^2
1	355	1,1	0,0434	2,55	0,1056	6,904
2	224	2,8	0,447	2,35	1,05	5,924
3	180	5,02	0,701	2,255	1,523	5,086
4	140	8,35	0,921	2,146	1,955	4,606
5	355	1,15	0,0497	2,55	0,155	6,904
6	284	3,3	0,529	2,35	1,22	5,924
7	180	7,0	0,835	2,255	1,895	5,086
8	140	11,1	1,045	2,146	2,243	4,606
Σ			4,5701	18,602	10,214	43,44

Odečtené hodnoty pro $VB_x = 0,5$ mm, v_1 , T_1 jsou v tab. 24

$$n = \frac{-8 \cdot 18,214 + 18,602 \cdot 4,5701}{8 \cdot 43,44 - (18,602)^2} = 2,222 \quad = 65^\circ 46'$$

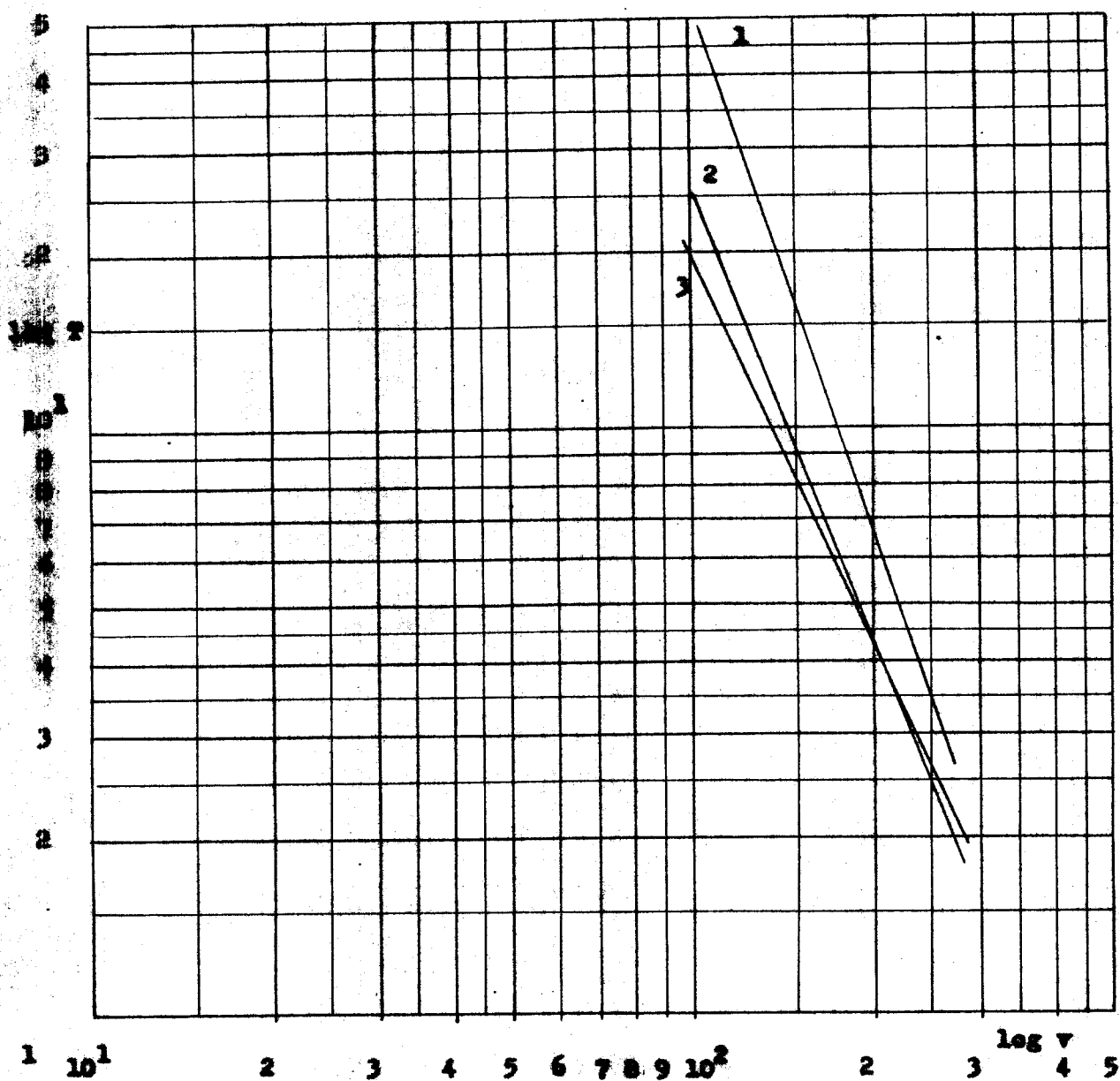
$$\bar{T} = \frac{4,5701}{8} = 0,571 \quad \bar{X} = \frac{18,602}{8} = 2,325$$

$$\log c = \frac{0,571}{2,222} + 2,325 = 2,583 \quad c = 383,1$$

$$\log v_{15} = 2,583 - \frac{1,176}{2,222} = 2,057$$

$$v_{15} = 113,0 \text{ m/min}$$

Obr. 24. Proložení sávkalosti T - v metodou nejmenších čtverců



1 - tvrdost (180 - 190) HB

2 - tvrdost (200 - 210) HB

3 - tvrdost (215 - 225) HB

4.2. Stanovení závislosti obrobitelnosti na tvrdosti litiny vrtáním

Byla provedena krátkodobá zkouška obrobitelnosti vrtáním na stolní vrtačce obr. 25, s příkonem 1 kW. Stroj byl v dobrém technickém stavu a zcela vyhovující pro daný účel. Způsob upnutí odlitku - pomocí šroubu na stole vrtačky. Tento systém umožňoval snadné a rychlé nastavení měřendho místa vůči nástroji.

Po obvodech buňků byly vybrány následující tvrdosti: 174, 191, 202, 216, 229 HB.

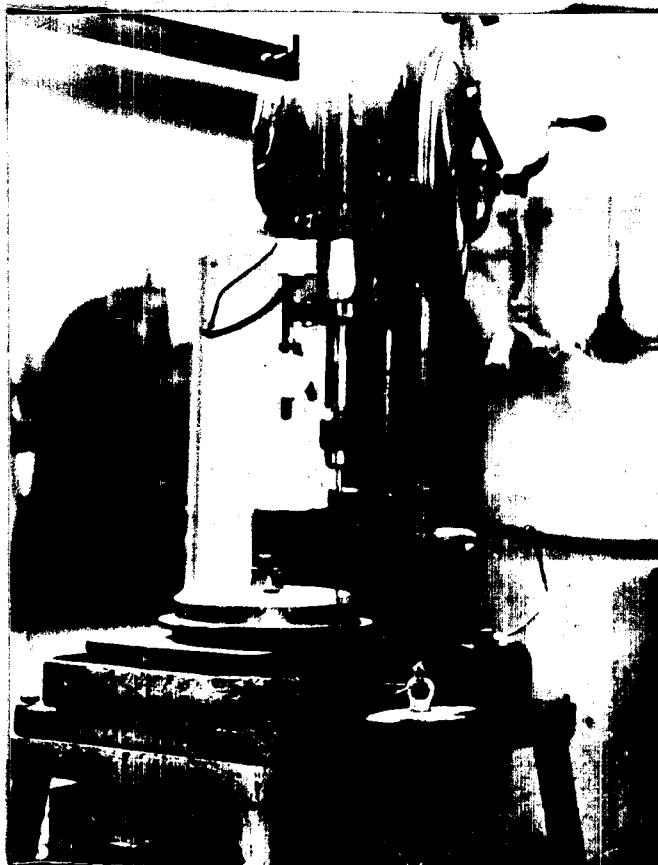
Vrtání s posuvovou silou F_p se rovná konstantě. Pro vyvození konstantní posuvové síly a velikosti posuvu byly na vrtačce provedeny následující úpravy:

- Byla vyjmuta vratná spirálová pružina, která vrací vřeteno do horní polohy.
- Páka ručního posuvu byla nahrazena kládkou pro upevnění závaží k vyvození F_p = konstantě.
- Stanovení rychlosti posuvu bylo provedeno měřením času t elektrickými stopkami po konstantní dráze $L = 7$ mm, která byla měřena číselníkovým dýcháčkem s rozsahem 10 mm. Vrtání za sucha bylo provedeno šroubovitým vrtákem $\varnothing 8$ mm /S ČSN 22 11 30/ s vrcholovým úhlem $2\epsilon = 118^\circ$, upnutém za válečkovou stopku do sklíčidla. K vyloučení vlivu materiálu nástroje, tvaru drážek apod. na výsledky měření, byly zkoušky prováděny jedním nástrojem. Současně bylo sledováno opotřebení vrtáku během zkoušek. Toto bylo minimální a nemohlo tak prakticky ovlivnit výsledky měření.

Na základě observací zkoušek byly voleny následující pracovní podmínky:

otáčky $n = 730$ 1/min., což odpovídá řezné rychlosti $v = 17,84$ m/min.

závaží pro vyvození osové síly = 9,6 kg, závaží jednak vyvozovalo hmotnost vřetena a způsobovalo konst. osovou sílu F_o .



Obr. 25. Princip zkoušky obrobitelnosti vrtáním

Pro každou tvrdost bylo provedeno celkem 5 měření bez použití řezné kapaliny a z nich vypočítána průměrná hodnota doby sávrání t . Měřitkem obrobitelnosti byla velikost středního posuvu, vypočtená dle vztahu:

$$S_{stř} = \frac{L \cdot 60}{t \cdot n}$$

$S_{stř}$ - střední posuv /mm/ot/

t - čas na délku L /s/

L - délka vrtání /mm/

n - počet ot. vřetena /1/min/

Pro určení indexu obrobitelnosti byla zkouška opakována se stejných parametry pro ocelový materiál 42 24 25.

Naměřené a vypočtené hodnoty pro litinu 42 25 47 jsou v tabulce 25.

Tab. 25

Typ testu	σ_1 /N/	σ_2 /N/	σ_3 /N/	σ_4 /N/	σ_5 /N/	σ_6 /N/	$\sigma_{\text{stř}}^2$ /N/
274	6,49	6,2	6,64	6,46	6,35	6,428	0,092
191	6,88	6,7	7,38	7,25	7	7,062	0,084
202	9,6	9,74	9,58	9,83	9,12	9,565	0,082
216	10,48	10	9,9	10	9,28	9,992	0,099
229	10,8	10,28	10,32	10,2	10,28	10,236	0,096

Naměřené hodnoty doby souvrtní t_v pro ocelový materiál ČSN 42 24 25 jsou v tab. 26.

Tab. 26

t_v /s/	t_v /s/	t_v /s/	t_v /s/	t_v /s/	t_v /s/
9,8	10,22	9,11	10,09	8,96	9,556

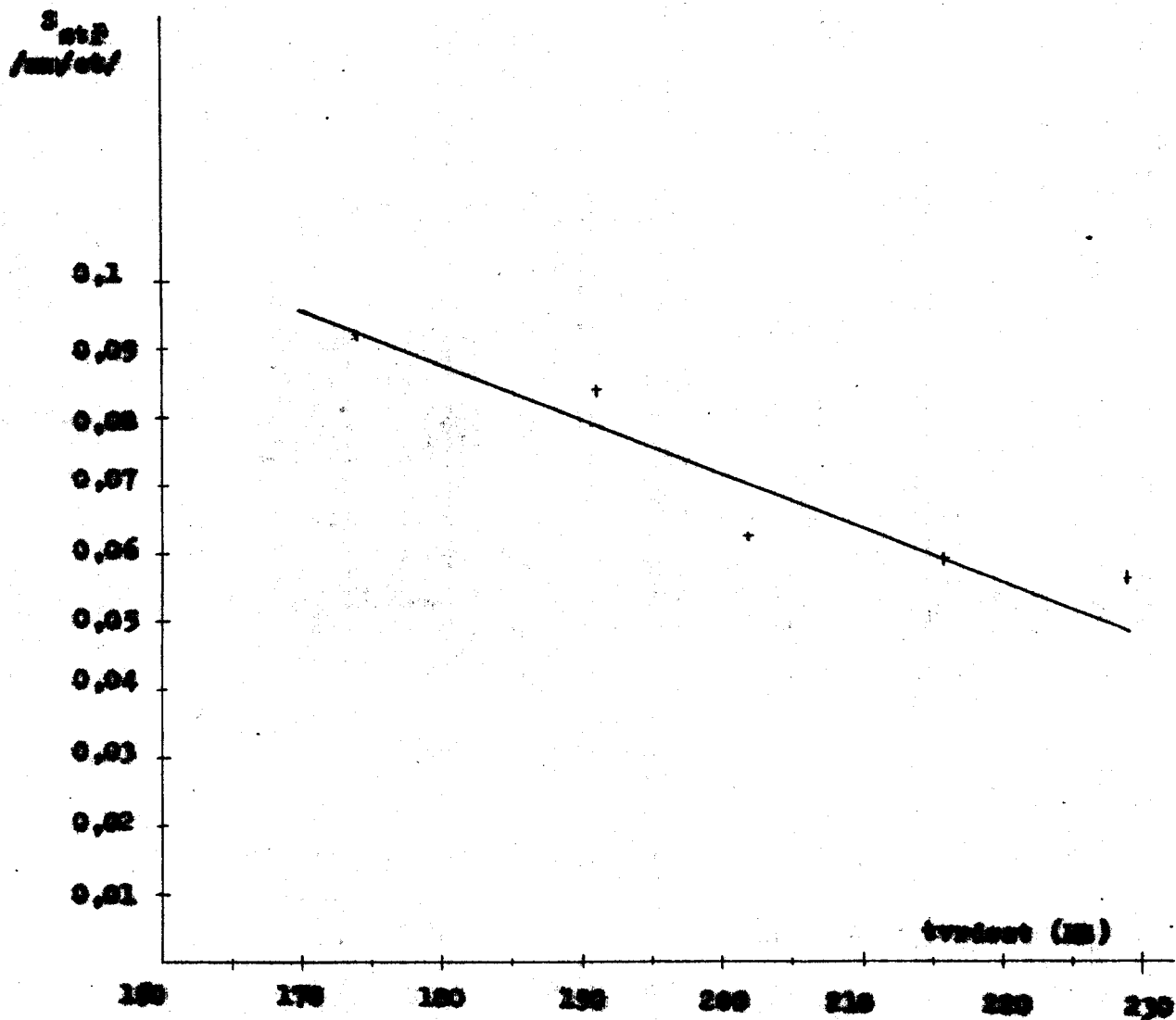
Na kapituly 3.3. jsou určeny indexy obrobitelnosti pro jednotlivé tvrdosti litiny.

Hodnoty indexu obrobitelnosti a příslušné třídy obrobitelnosti /3/ pro jednotlivé tvrdosti litiny jsou v tabulce 27.

Tab. 27

Typ testu	Index obrobitelnosti	Třída obrábění
174	1,49	12 a
191	1,36	11 a
202	0,999	10 a
216	0,96	10 a
229	0,92	10 a

Vliv tvrdosti litiny ČSN 42 25 47 na obtížitelnost při vrtnutí
je na obr. 25.



Obr. 25. Vliv tvrdosti na obtížitelnost litiny - ČSN 42 25 47

4.3. Stanovení vlivu tvrdosti na řezné síly soustružení

Pro určení řezných sil byly vybrány odlitky materiálu ČSN 42 25 47 s následujícími průměry tvrdosti po obrobě bubnu: 169 HB, 191 HB, 210 HB, 227 HB.

Zkouška byla prováděna na soustruhu SU Y5/1 500 s následujícími parametry: hloubka třísky $t = 1,5$ mm, $n = 90$ 1/min a posuv $s = 0,35$ mm/ot bez chlazení.

Pro soustružení byl použit nožový držák č. 1-40-6182-3, který se používá při obrábění daného bubnu v A2NP s geometrií viz odstavec 3.2.

Řezná destička označení A 16 U 406 - UL.

Vyložení špičky nože $n = 233$ mm

Odlitky byly předem vyhrubovány.

Dynamometr byl oceňován a určeny cejchovací křivky pro síly F_x , F_y a F_z .

Konstanta siloměru 10 kN = 1,92 mm.

Byly přepočítány cejchovací hodnoty pro F_x a F_z v poměru vyložení nože a hranolu podle odst. 3.4.2.

Hodnoty pro srovnání cejchovací křivky pro sílu F_y jsou v tabulce 28.

tab. 28

mm	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
mV	4,01	8,38	22,06	17,4	22,04	26,6
F_y /N/	200,4	520,8	781,2	1042	1302	1562,5

Hodnoty pro srovnání cejchovací křivky pro sílu F_x jsou v tabulce 29. F_{zs} , F_{ms} - přepočítané cejchovací hodnoty v poměru vyložení nože a hranolu.

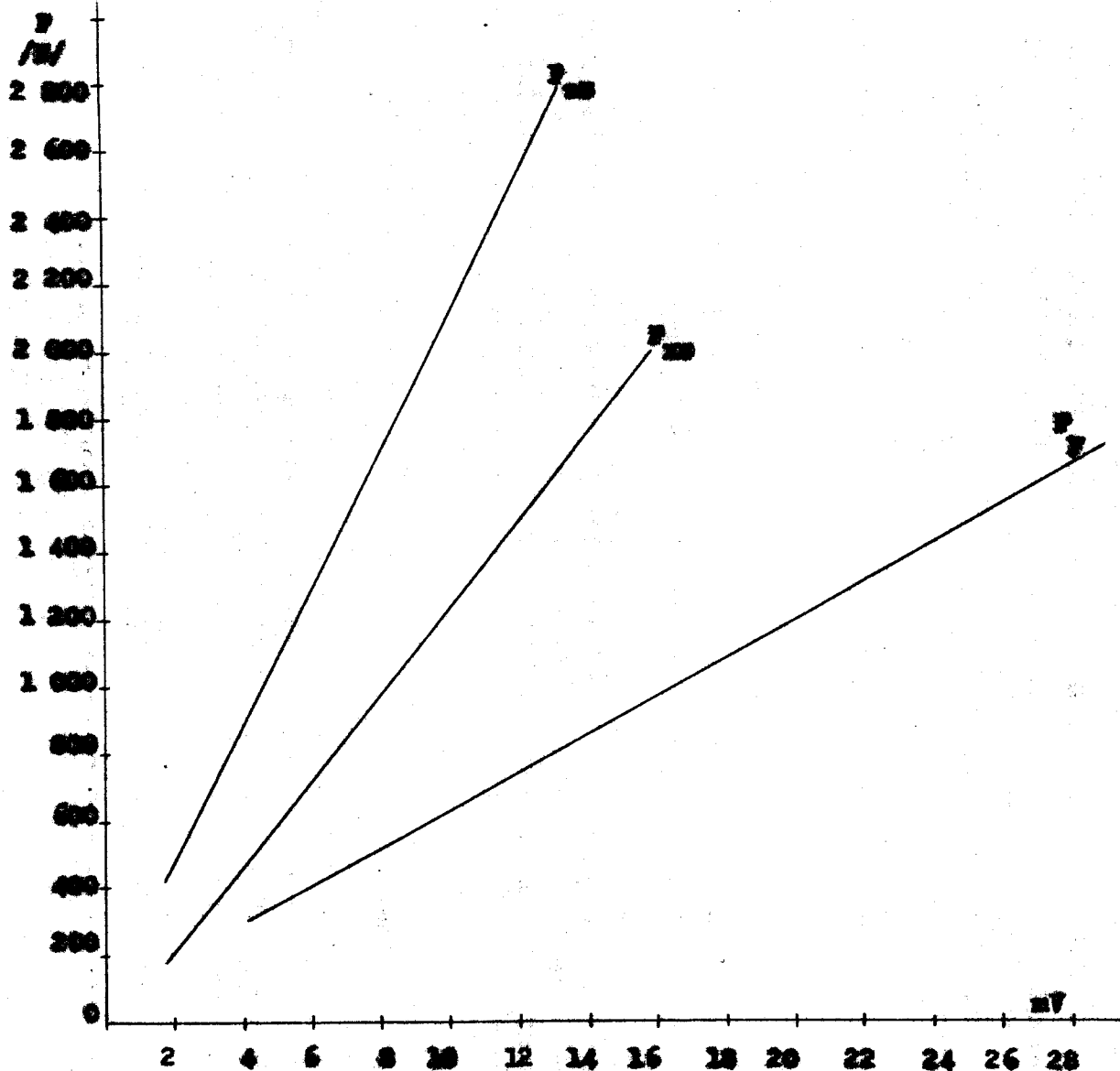
Tab. 29

mm	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
mV	1,89	3,81	5,65	7,45	9,41	11,13	13,03	24,65
F_x /N/	206,4	520,8	781,2	1042	1302	1563	1823	2083
F_{zs} /N/	283,4	462,7	604	925,4	1197	1388	1628	1851

Hodnoty pro sílu P_z jsou v tab. 30

Tab. 30

mm	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
mV	2,15	4,30	6,45	8,61	10,75	12,91
P_z /N/	920,8	1842	2763	3683	4604	5525
P_{z0} /N/	460,6	921,0	1380,1	1841,9	2302,0	2762,5



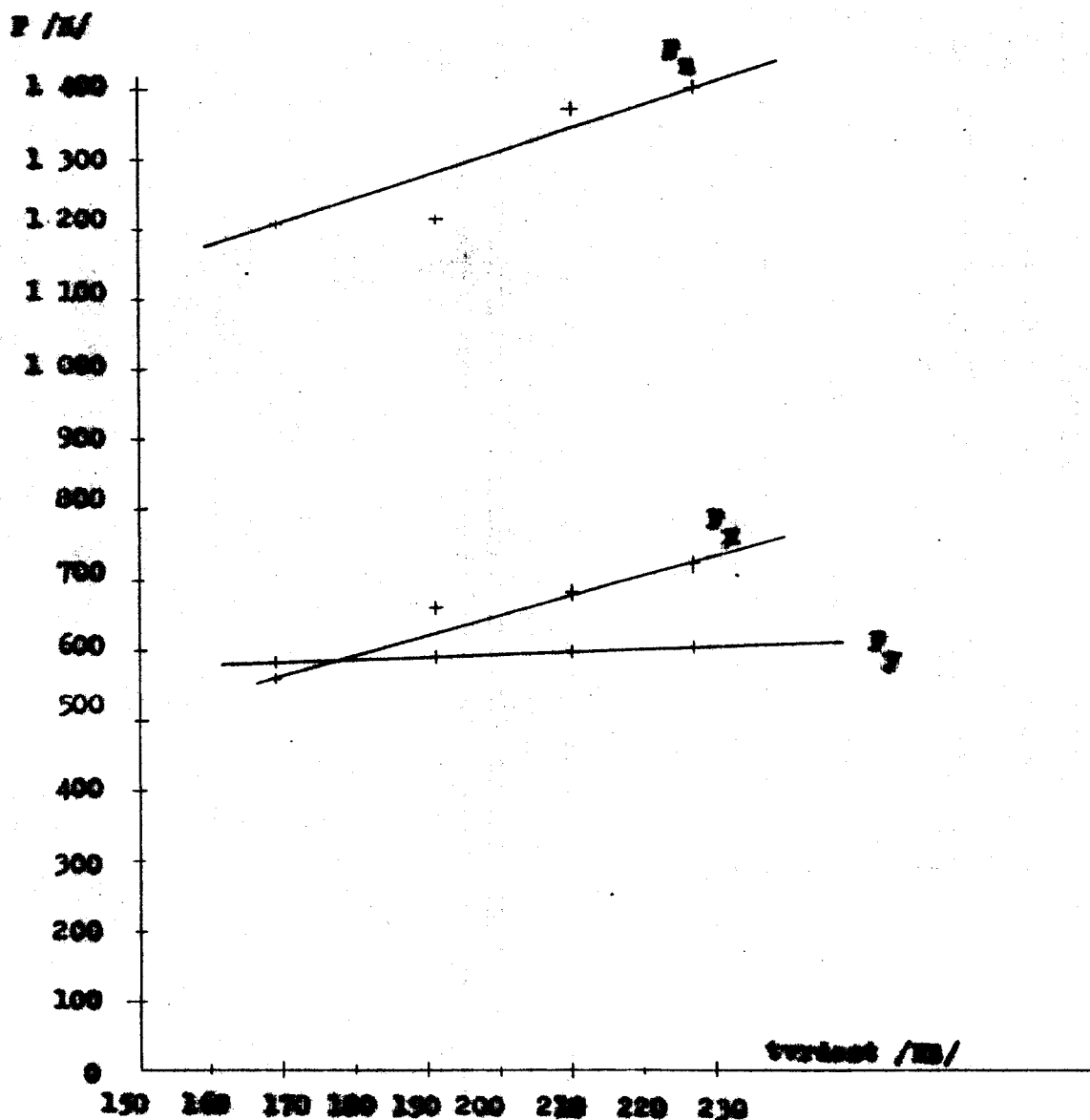
Obr. 26. Odjehové křivky pro soustružení

Hodnoty R_m a $R_{p0.2}$ pro dané tvrdosti jsou v tabulce 11.

Tab. 11

Tvrdost HB	R_m /MPa/	$R_{p0.2}$ /MPa/	R_m /MPa/	$R_{p0.2}$ /MPa/	R_m /MPa/	$R_{p0.2}$ /MPa/
169	2,5	9,1	5,74	500	500	1 230
191	2,89	9,46	5,78	600	500	1 215
213	3,09	9,5	6,36	600	600	1 370
227	3,28	9,53	6,49	720	605	1 400

Obz. 27. Vliv tvrdosti na hodnoty R_m a $R_{p0.2}$ při soustružení.



4.4. Stanovení vlivu tvrdosti na vrstev řezných sil vrtače

Pro stanovení vlivu tvrdosti na řezné síly byly z materiálu 42 25 47 vybrány odlitky s těmito tvrdostmi po obvodě bubnu: 174, 191, 202, 211, 223 HB.

Pro zkoušky byly zvoleny následující řezné podmínky:

vrtač 6 ČSN 22 11 30, posuv $s = 0,1$ mm/ot, $n = 1000$ ot/min.,
tomm odpovídá řezná rychlost $v = 25,13$ m/min.

Hodnoty pro seřazení dynamometru na HK jsou v tabulce 32.

Konstanta siloměrné vidlice 1 mm = 45 Hz

Tab. 32

mm	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
mm	4	8	11,3	14,7	17,6	20,6	23,6	26,5	29,7
Hz /mm/	0,45	0,9	1,35	1,8	2,25	2,7	3,15	3,6	4,05

Hodnoty pro seřazení dynamometru na osovou sílu F_0 jsou v tab. 33.

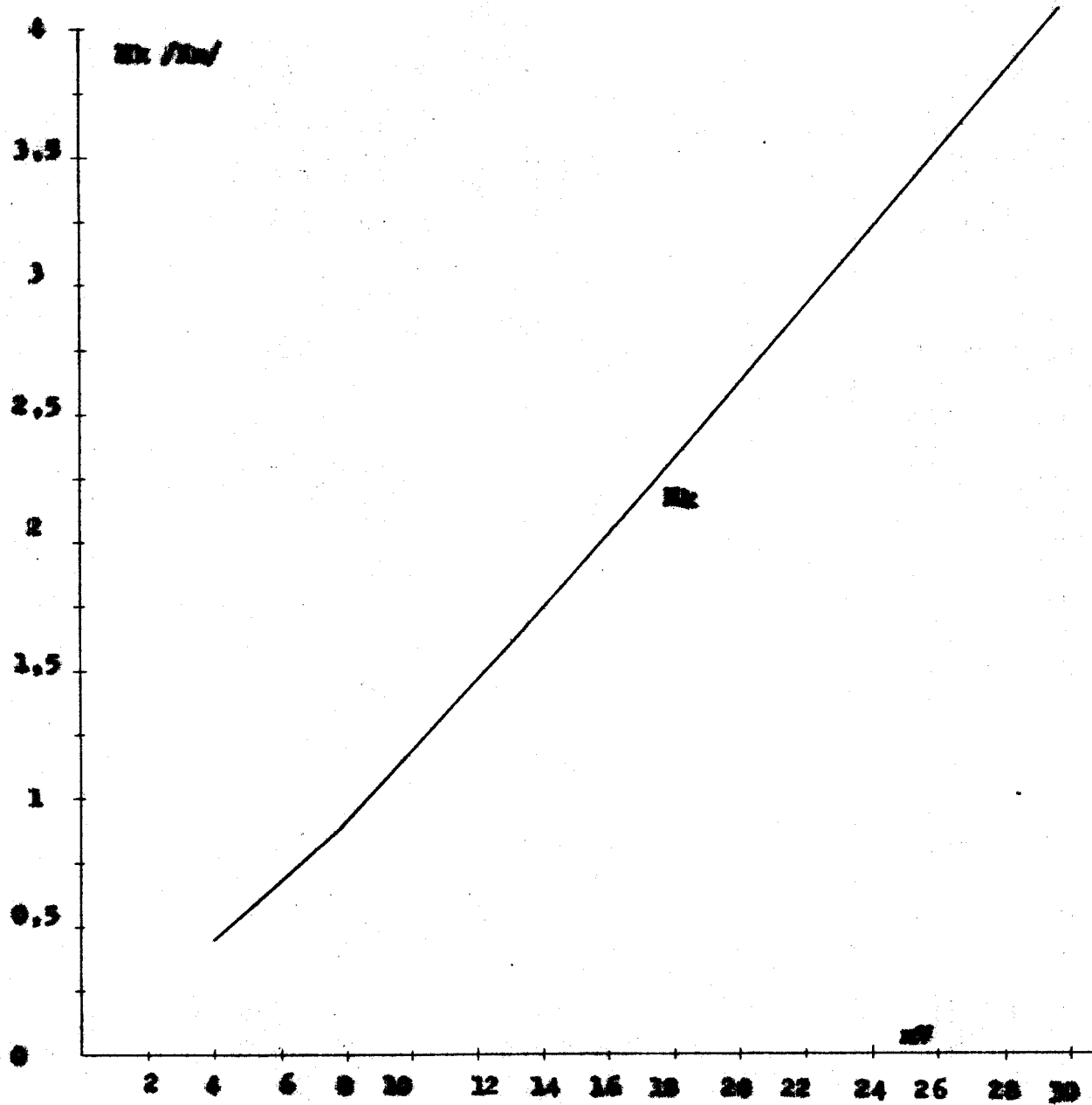
Konstanta siloměrné vidlice 6 mm = 4 Hz

Tab. 33

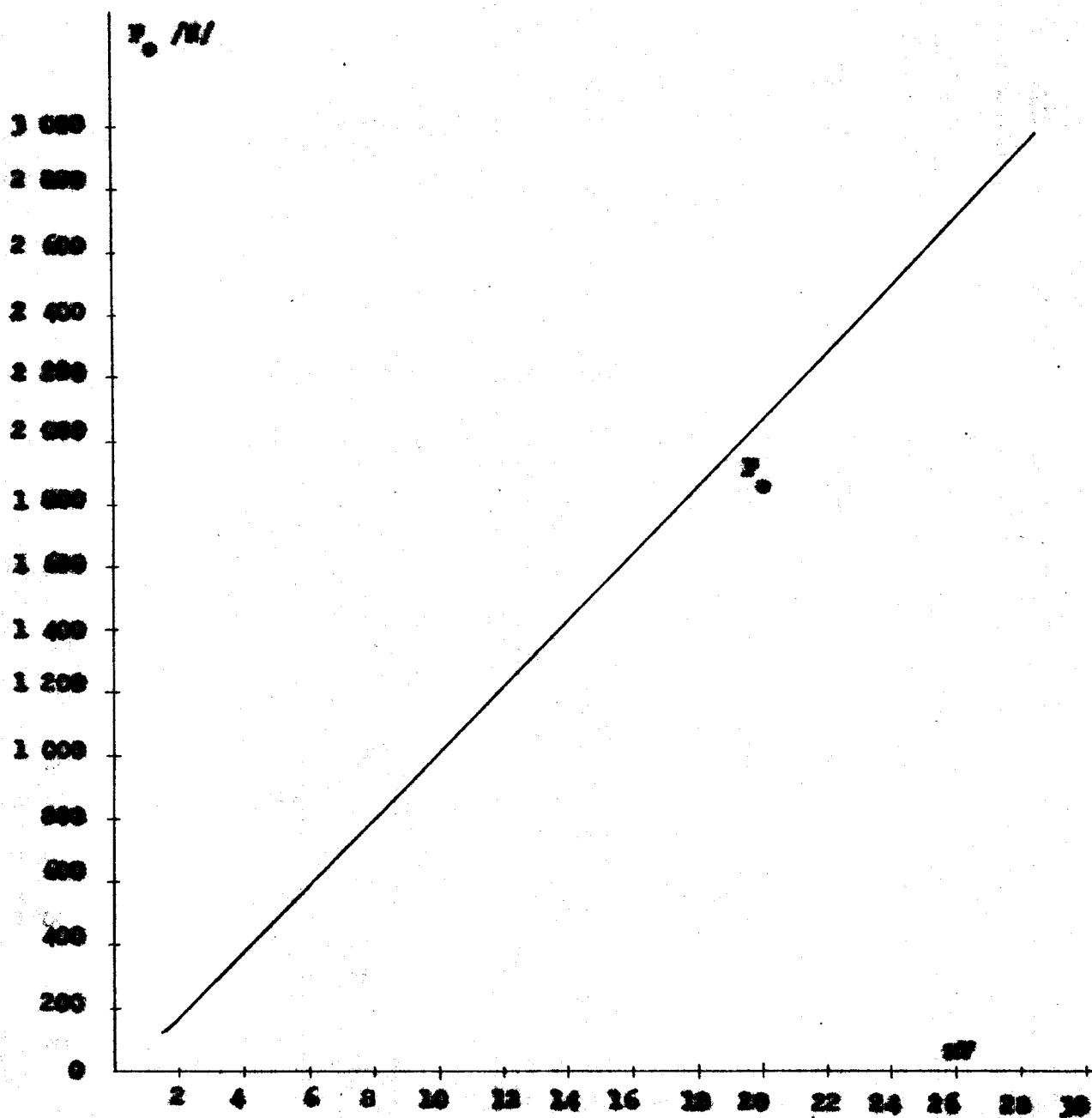
mm	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
mm	1,4	2,8	4,2	5,5	6,9	8,2	9,5	10,7	12
F_0 /N/	133,3	266,7	400	533,3	666,7	800	933,3	1067	1200

2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8
13,3	14,6	15,8	17,2	18,4	19,6	20,9	22,1	23,4	24,8
1333	1467	1600	1733	1867	2000	2133	2267	2400	2533

4,0	4,2	4,4	4,6
25,7	27	28,4	29,4
2667	2800	2933	3067



Obr. 28. Osečková křivka pro HL při vrtačí



Obr. 29. Grafická závislost rychlosti řezání v na době řezání T pro vrtání

Hlavní hodnoty P_0 a M_k pro jednotlivé tvrdosti jsou v následujících tabulkách. Tvrdost 174 HB je v tab. 34.

Tab. 34

P_0 /mV/		ϕP_0 /mV/	P_0 /V/	M_k /mV/		ϕM_k /mV/	M_k /Vn/
P_{01}	P_{02}			M_{k1}	M_{k2}		
8,8	8,8	8,6	880	13	14	13,5	1,45

Tvrdost 192 HB.

Tab. 35

P_0 /mV/		ϕP_0 /mV/	P_0 /V/	M_k /mV/		ϕM_k /mV/	M_k /Vn/
P_{01}	P_{02}			M_{k1}	M_{k2}		
8,2	9	8,6	880	16,5	16	16,25	2,05

Tvrdost 202 HB.

Tab. 36

P_0 /mV/		ϕP_0 /mV/	P_0 /V/	M_k /mV/		ϕM_k /mV/	M_k /Vn/
P_{01}	P_{02}			M_{k1}	M_{k2}		
9,6	9,7	9,65	980	16	16,8	16,4	2,08

Tvrdost 212 HB.

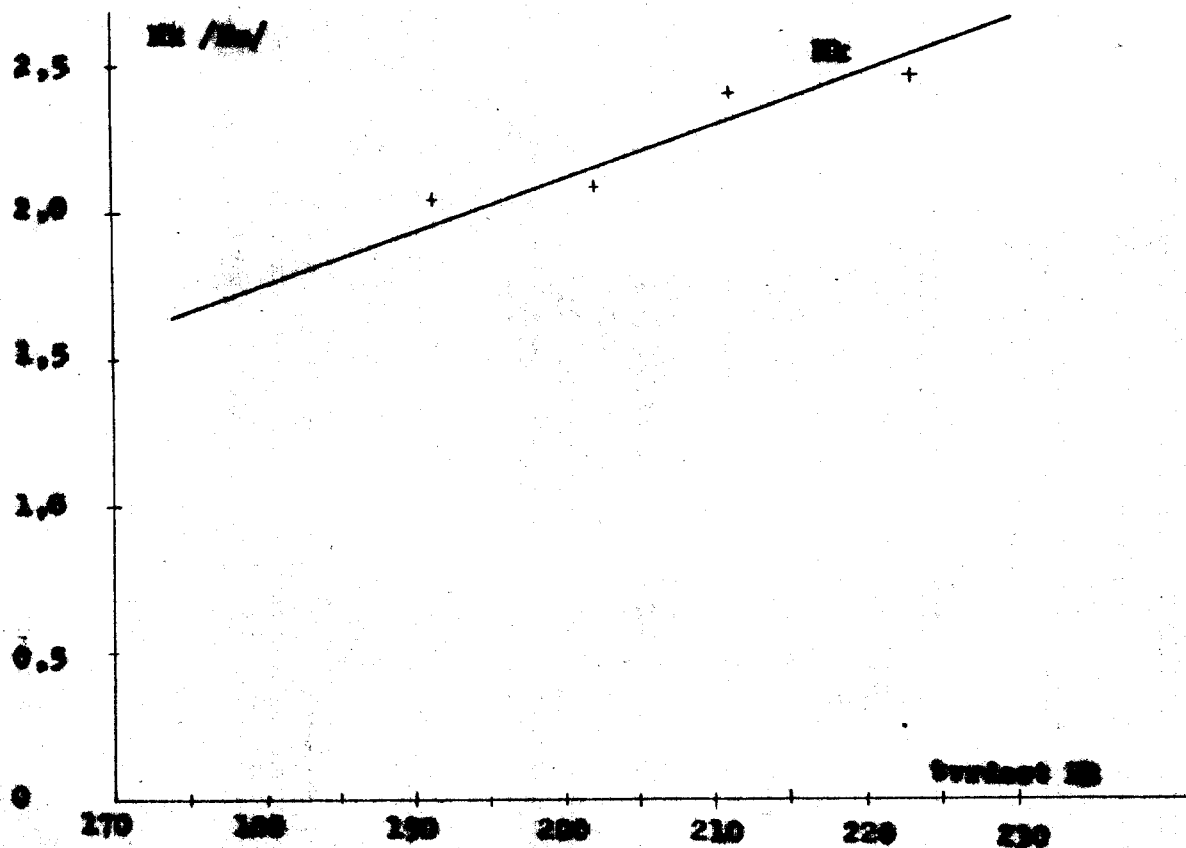
Tab. 37

P_0 /mV/		ϕP_0 /mV/	P_0 /V/	M_k /mV/		ϕM_k /mV/	M_k /Vn/
P_{01}	P_{02}			M_{k1}	M_{k2}		
10,3	10,2	10,25	1 080	20,5	20,7	20,6	2,4

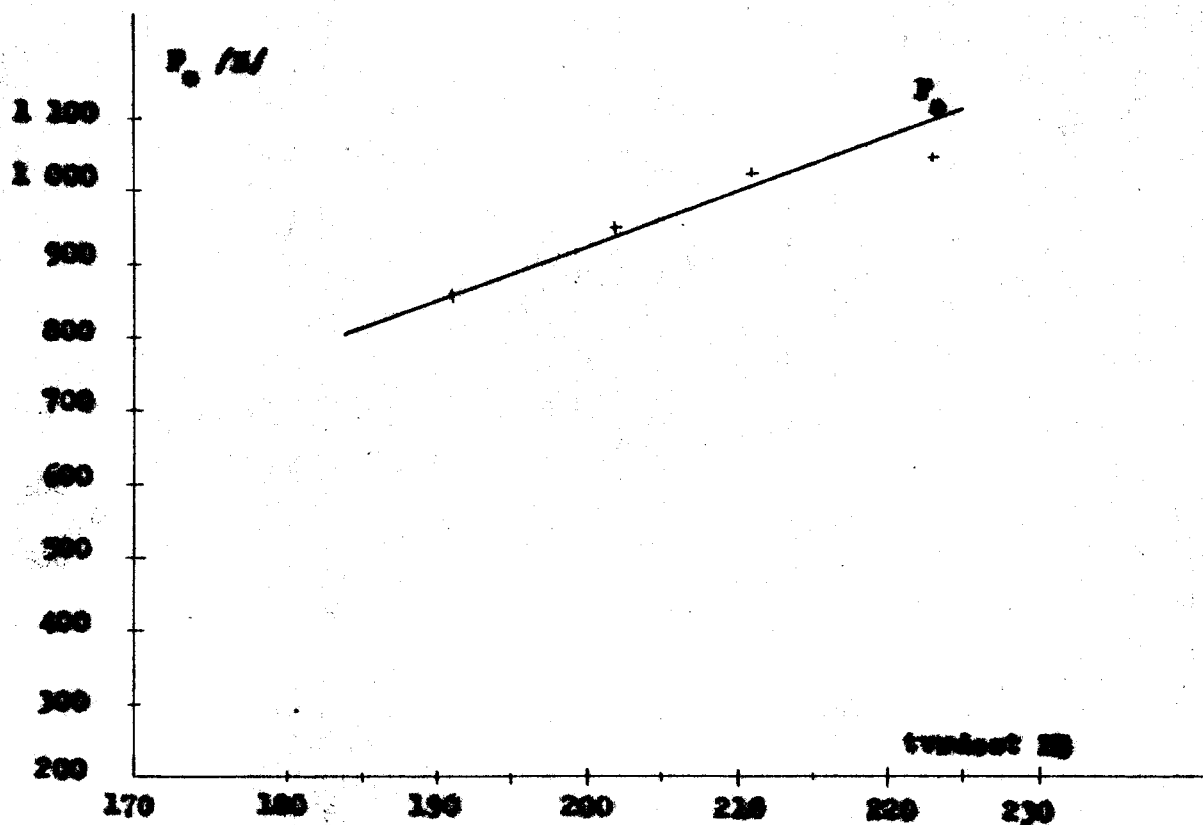
Tvrdost 223 HB.

Tab. 38

P_0 /mV/		ϕP_0 /mV/	P_0 /V/	M_k /mV/		ϕM_k /mV/	M_k /Vn/
P_{01}	P_{02}			M_{k1}	M_{k2}		
10,3	20,5	20,4	1 040	19,4	18,5	20,9	2,45



Obr. 30. Vliv tvrdosti odlitku na velikost krájecího momentu



Obr. 31. Vliv tvrdosti odlitku na velikost souvř síly

5. NÁVRH REZNÝCH PODMÍNEK

5.1. Návrh rezných podmínek pro vrtání

Při obrábění odlitku hlavy kola s brzdovým bubnem, z temperované perlitické litiny ČSN 42 25 47 vrtáním, se používají pro celý rozsah tvrdosti následující rezné podmínky: kombinovaný vrták Ø 12,5 mm číslo 1-58-0307-3 v rychlořezné oceli, současně se s ním sráží hrany 1 x vrcholový úhel 60°, otáčky $n = 280$ 1/min., tomu odpovídá rezná rychlost 11 m/min., posuv $s = 0,18$ mm/ot., délka vrtání 10 mm, trvanlivost ostří vrtáku 100 minut.

Pro dané tvrdosti a jim odpovídající třídy obrobitelnosti, určené v kapitole 4.2., jsou rezné podmínky podle /8/. Parametry jsou navrženy podle rezných podmínek pro vrtání dle normalizovanými vrtáky /ČSN 22 11 21, ČSN 22 11 40/ a třídy obrobitelnosti.

Tvrdost 174 HB - třída obrobitelnosti 12 a

Rezné podmínky : $s = 0,241$ mm/ot.

$n = 730$ ot/min.

$v = 25,4$ m/min.

pro trvanlivost ostří 120 minut

Tvrdost 191 HB - třída obrobitelnosti 11 a

Rezné podmínky : $s = 0,223$ mm/ot.

$n = 965$ ot/min.

$v = 21,32$ m/min.

pro trvanlivost ostří 100 minut

Tvrdosti 205 - 229 : třída obrobitelnosti 10 a

Rezné podmínky : $s = 0,205$ mm/ot.

$n = 475$ ot/min.

$v = 18$ m/min.

pro trvanlivost ostří 70 minut

Ve výrobě se však vyskytnou odlitky i s tvrdostí přes 230 HB, zařazené do třídy obrobitelnosti 9 a, protože třída 10 a má rozsah indexu obrobitelnosti 0,9 - 1,12 a právě do tohoto

rozsaahu se tvrdost 229 HB vejde. Pro vyšší tvrdost je třída obrobitelnosti 9 a, pro kterou platí řezné podmínky:

$s = 0,183 \text{ mm/ot.}$, $n = 410 \text{ ot/min.}$, $v = 15,54 \text{ m/min.}$ pro trvanlivost 40 min.

Z toho plyne, že pro daný rozsah tvrdosti, kdy se při obrábění objevují kusy i s tvrdostí přes 230 HB je nutná použít řezné podmínky pro třídu obrobitelnosti 9 a.

5.2. Návrh řezných podmínek pro soustružení

Při návrhu optimálních řezných podmínek vycházíme z předpokladů: hloubka třísky t je dána přídatkem, který se hrubováním odstraní na jednu třísku, posuv s je volen tak, aby se při hrubování využilo co nejvíce výkonu stroje a neperušila se jeho stabilita. Předpokládáme, že při obrábění bubnu jsou tyto předpoklady zachovány a určíme optimální trvanlivost podle /4/ rovnice:

$$N_{ej} = t_s \cdot \tau \cdot \frac{D_s}{60} + t_{A101} \cdot \frac{D_s - C_E}{60} + t_s \cdot \frac{1}{T} \cdot N_T$$

a to za předpokladu, že její velikost je funkcí pouze řezné rychlosti, t.j. nezávisí na velikosti posuvu a hloubce řezu.

Dosažením za $t_s = -\frac{1}{T}$ a $v = -\frac{C}{T^m}$, derivací podle trvanli-

vosti T , položením rovnice 0 a úpravou dostaneme hodnotu T pro minimální výrobní náklady t.j. $T_{\text{optimální}}$.

$$T_{\text{opt}} = \frac{60 N_T}{D_s} \cdot \frac{1}{\tau} \cdot \frac{1}{m-1}$$

- kde: N_{ej} - celkové vlastní náklady na jednotku výroby
 v - řezná rychlost
 t_s - strojní čas
 D_s - celkové náklady na hodinu práce stroje
 N_T - náklad na nástroj za dobu jeho trvanlivosti
 t_{A101} - čas upínání a měření obrobku
 C_E - náklady na energii za 1 hod. práce stroje

Návrh řezných podmínek je prováděn pro hrubování vnitřní válcové plochy daného odlitku.

Výpočet optimální rychlosti

$$\tau = \frac{L}{L_0} = \frac{50}{200} = 0,25$$

L - délka strojního posuvu

L_0 - dráha záběru stroje

$$N_{sh} = \frac{C_s}{p} \cdot U + C_m$$

N_{sh} - náklady stroje, jeho údržby a spotřeby energie na 1 hod. práce

C_s - pořizovací cena stroje 975 366 Kčs

odpis = 7 %

životnost stroje = $\frac{100}{7} = 14,3$ roku

počet pracovních dnů v roce = 272, po 2 směších

celkový počet hodin práce na stroji za dobu jeho životnosti p

$$p = 272 \cdot 2 \cdot 0,25 \cdot 14,3 = 64\,178,4 \text{ hodin}$$

U - součinitel údržby a oprav stroje U = 1,3

instalovaný výkon P = 40 kW

Vzhledem k tomu, že se neodehrává stále maximální výkon, ale motory jsou dost vytížené, uvažují pro další výpočet výkon 35 kW.

Velkoobchodní cena kWh elektrické energie je 0,26 Kčs.

$$N_{sh} = \frac{975\,366}{64\,178} \cdot 1,3 + 35 \cdot 0,26 = 28,452 \text{ Kčs}$$

Celkové náklady na 1 hod. práce stroje D_s

$$D_s = T_{rd} \cdot \left(1 + \frac{R_d}{100}\right) + N_{sh}$$

T_{rd} - tarifní sazba elektrika

$T_{rd} = 10,3296 \text{ Kčs/hod.}$

R_d - diferenční sazba -

$R_d = 570 \%$

$$D_s = 10,3296 \cdot \left(1 + \frac{570}{100}\right) + 28,452 = 97,66 \text{ Kčs/hod.}$$

Cena destičky $c_d = 4,50 \text{ Kčs}$, Návrhář DČČin udává, že využije destičky, jejich hrůt je asi 87,5 %. Při destičkové destičce se využije 5,25 hrůtu.

cena drátů $c_n = 150 \text{ Kčs}$

životnost drátů = 1 rok

$$t_{ac} = 3,3 \text{ min.}$$

$$\text{počet kusů za směnu} = \frac{8,25 \cdot 60}{3,3} = 150 \text{ ks}$$

$$\text{strojní čas } t_s = \frac{1}{n \cdot S} = \frac{45}{90 \cdot 0,377} = 1,36 \text{ min.}$$

$$\text{doba obrábění za směnu} = 1,36 \cdot 150 = 204 \text{ min.}$$

$$\text{za rok se oprací uvažovaný nástroj} = 272 \cdot 2 \cdot 204 = 110\,976 \text{ min.}$$

pro první přibližnutí uvažujeme trvanlivost 80 minut

$$\text{počet trvanlivostí} = \frac{110\,976}{80} = 1\,387,2$$

cena podložky $c_p = 2,70 \text{ Kčs}$, podložka vydrží přibližně 20 ks
pevných destiček

$$M_T = t_{vn} \cdot \left[\frac{T_{K4}}{60} \cdot \left| 1 + \frac{R_d}{100} \right| + \frac{H_{sh} - C_E}{60} \right] + \frac{c_n}{1\,387,2} + \frac{c_d}{s} + \frac{c_p}{120}$$

t_{vn} - čas výměny destičky $t_{vn} = 0,39 \text{ minut}$

$$M_T = 0,39 \cdot \left[\frac{10,1294}{60} \cdot \left| 1 + \frac{570}{100} \right| + \frac{28,452 - 9,1}{60} \right] + \frac{130}{1\,387,2} + \frac{4,70}{5,25} + \frac{2,70}{120} = 1,5634 \text{ Kčs}$$

T_{opt} pro tvrdost /180 - 190/ HB, $n = 3,002$

$$T_{opt} = \frac{60 \cdot 1,5634}{97,66} \cdot \frac{1}{0,25} \cdot \frac{1}{3,002 - 1} = 7,7 \text{ min.}$$

T_{opt} pro tvrdost /200 - 210/ HB, $n = 2,563$

$$T_{opt} = \frac{60 \cdot 1,5634}{97,66} \cdot \frac{1}{0,25} \cdot \frac{1}{2,563 - 1} = 6 \text{ min.}$$

T_{opt} pro tvrdost /215 - 225/ HB, $n = 2,222$

$$T_{opt} = \frac{60 \cdot 1,5634}{97,66} \cdot \frac{1}{0,25} \cdot \frac{1}{2,222 - 1} = 4,7 \text{ min.}$$

Dané hodnoty optimálních trvanlivostí je nutné opravit s hlediska rozpočítání ceny drátů na nový počet trvanlivostí, kde je volena trvanlivost 7,7 min.

$$\text{nový počet trvanlivostí} = \frac{110\,976}{7,7} = 14\,412$$

$$M_T = 1,46369 \text{ Kčs}$$

Tvrdoost /180 - 190/ HB

$$T_{opt} = \frac{60}{97,66} \cdot \frac{1}{0,25} \cdot \frac{1}{3,002} = 1/ = 7,2 \text{ min.}$$

$$\text{tomu odpovídá } v_{opt} = \frac{178,13}{7,2 \cdot 3,002} = 196 \text{ m/min.}$$

Tvrdoost /200 - 210/ HB

$$T_{opt} = \frac{60}{97,66} \cdot \frac{1}{0,25} \cdot \frac{1}{2,563} = 1/ = 5,62 \text{ min.}$$

$$\text{tomu odpovídá } v_{opt} = \frac{158,1}{5,62 \cdot 2,563} = 182,6 \text{ m/min.}$$

Tvrdoost /215 - 225/ HB

$$T_{opt} = \frac{60}{97,66} \cdot \frac{1}{0,25} \cdot \frac{1}{2,222} = 1/ = 4,4 \text{ min.}$$

$$\text{tomu odpovídá } v_{opt} = \frac{181,1}{4,4 \cdot 2,222} = 196,7 \text{ m/min.}$$

Hodnoty optimálních řezných rychlostí jsou příliš vysoké a pro praktické použití nevhodné, ale z tohoto postupu je vidět, že z ekonomického hlediska je výhodné snížení trvanlivosti břitů řezných nástrojů, volbou vyšších řezných rychlostí. Náklady na nástroj jsou jedním faktorem při výpočtu nákladů, rozhodující jsou celkové výrobní náklady. Snižování např. jen nákladů na nástroje je jednostranný přístup k řešení problematiky nákladovosti /6/. Náklady na nástroje tvoří malá procento rozpočtu celkových nákladů, zatímco přímé a nepřímé náklady na mzdy tvoří daleko větší část.

Stávající řezné podmínky: $n = 90 \text{ l/min}$ tomu odpovídá $v = 70 \frac{\text{m}}{\text{min}}$
Trvanlivost břítu $T = 80 \text{ min.}$

6. ZÁVĚR

Hodnoty tvrdosti zjišťované u odlitků na náboji bubnu neodpovídají tvrdostem po obvodu bubnu. Tvrdost po celém obvodu bubnu se výrazně mění /viz. obr. 20/. Se stoupající tvrdostí odlitků rostou podstatně složky řezných sil a tím i kroutící moment M_k . Tento vzrůst řezných sil při vyšších tvrdostech /viz. obr. 27/ a periodická změna síly vlivem střídání jednotlivých tvrdostí po obvodě bubnu během obrábění může mít za následek rozkmitání soustavy stroj - nástroj - obrobek. Kmitání při obrábění pak má za následek nejen zhoršení kvality obrobku, což při hrubování tak nevádí, ale i větší otupení nástroje a větší namáhání stroje, nástroje i obrobku. Zvláště při vzniku nestabilního nárůstu, který při obrábění vzniká, je kolísání řezných sil markantní.

Odstranění chvění je velice náročné a nákladné, znamená docílení vyšší tuhosti stroje i nástroje. Nejjednodušší způsob snížení chvění znamená dodržování stanoveného rozsahu tvrdosti odlitků popřípadě i jeho zmenšování.

Vliv tvrdosti na obrobitelnost temperované perlitické litiny je nejlépe vidět porovnáním rychlostí v_{15} u jednotlivých skupin tvrdostí. Zatím, co u skupiny tvrdosti /160-190/ HB je $v_{15} = 153,5$ m/min, u skupiny tvrdosti /200-210/ HB je v_{15} 124 m/min., pak u tvrdosti /215-225/ HB je v_{15} už jen 113 m/min.

Zvýšená tvrdost klade vysoké požadavky, jak na řezný materiál, tak na celý proces obrábění.

Při dodržování pednikových norem, které předepisují hutím pro temperovanou perlitickou litinu ČSN 42 25 47 tvrdost /160-210/ HB by řezné podmínky, při kterých se daný materiál obrábí bezpečně vyhovovaly, bylo by možné použít vyšších řezných podmínek, a tak zvýšit výkon obrábění.

Na závěr bych chtěl poděkovat za velmi cenné rady,
přípomínky a odborné vedení při práci ing. Vladimíru
Gabrielovi, ing. Běhálkovi a pracovníkům mechanické obrábě-
ny s. Růžičkovi za pomoc v mechanické obrábě.

7. SEZNAM LITERATURY

- /1/ J. Buda - J. Békás : Teoretické základy obrábění kovov, Alfa, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava 1977
- /2/ G. Lienert : Obrábění. SNTL Praha 1974
- /3/ Vl. Gabriel : Návrh normy metodiky zkoušení řezivosti a obrobitelnosti. Výzkumná správa VŠST Liberce 1974
- /4/ Z. Přikryl - R. Mosilková : Teorie obrábění. SNTL Praha 1975
- /5/ Vl. Roček : Příručka obrábění. SNTL Praha 1973
- /6/ J. Uedelhoven : Spanende Werkzeuge in der modernen Fertigung, Taschenbücher TG, VDE-Verlag GHH-Düsseldorf 1969
- /7/ J. Madl, V. Schubert : Stanovení vlivu chemických prvků na obrobitelnost hliníkových slitin. ACTA POLYTECHNICA - Práce ČVUT v Praze, II. 1975 vědecká konference
- /8/ Jednotné normativy : Vrtáčky. Brno 1977