

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-07-8

strojírenská technologie

zaměření
obrábění a montáž
.....

Katedra obrábění a montáže

O V Ě Ř O V A C Í Z K O U Š K Y N O Ž Ů
S Ř E Z N O U K E R A M I K O U
=====

Ivo Rataj

vedoucí práce: Ing. Gabriel Vladimír
konzultant: Ing. Křemen Václav

KOM VŠST Liberec
k.p. Náradí Děčín

Rozsah práce a příloh

počet stran		101
počet příloh a tabulek		31
počet obrázků		28
počet výkresů		2
počet modelů, jiných příloh		0

Datum: 27.5.1983

Vysoká škola: **strojní a textilní**
v Liberci

Fakulta: **strojní**

Katedra: **obrábění a montáže**

Školní rok: **1982/83**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **Ivo Rašaj**

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: **Ověřovací zkoušky nožů s řeznou keramikou**

Zásady pro vypracování:

- 1. Použití nástrojů s řeznou keramikou**
- 2. Posouzení upínek a příložných utvařečů u nástrojů k. p. Náradí, případné návrhy na změny v konstrukci**
- 3. Stanovení pracovního rozsahu dvou typů nástrojů na dvou obráběných materiálech**
- 4. Návrh směrných řezných podmínek**
- 5. Zhodnocení a závěr**

V 240/83 S

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č. j. 31
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze
dne 31. 8. 1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

KOM-OM

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 50 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

Materiály k. p. Náradí Děčín a fy Feldmühle (NSR)

Hubený, P.: Zkrácené funkční zkoušky keramiských
břitových destiček. (Diplomová práce).
Liberec VŠST 1981

Křížtek, F., Gabriel, V., Šírl, J.: Obrábění vyso-
kými řeznými rychlostmi. (Výzkumná zpráv
Jahlonec n.N., Autobrzdý n.p.. 1973

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vladimír Gabriel

Konzultant DP: Ing. Václav Křemen, k. p. Náradí, Děčín

Datum zadání diplomové práce: 15. 10. 1982

Termín odevzdání diplomové práce: 27. 5. 1983



Gazda
Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.

Vedoucí katedry

Stráž
Doc. RNDr. Bohuslav Stráž, CSc.

Děkan

v Liberci dne 10. 10. 1982

PROHLÁŠENÍ

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

V Liberci, dne 27.5.1983

Raty Jro
vl. podpis

O B S A H	str.
1. ÚVOD	7
2. POUŽITÍ NÁSTROJŮ S ŘEZNOU KERAMIKOU	10
2.1 Vlastnosti řezné keramiky	10
2.2 Druhy řezné keramiky	11
2.3 Tvrdost	12
2.4 Odolnost proti opotřebení	12
2.5 Formy otupení břitu	12
2.5.1 Brusný otěr	13
2.5.2 Adhesní otěr	13
2.5.3 Chemický otěr	14
2.5.4 Porušení břitu křehkými lomy	14
2.5.5 Plastická deformace břitu	15
2.6 Tepelná vodivost řezné keramiky	15
2.6.1 Možnosti použití chladicí kapaliny	16
2.7 Pevnost v ohybu a řešení problému křehkosti keramických destiček	17
2.7.1 Vliv řezné rychlosti při použití keramických materiálů	18
2.7.2 Najíždění a vyjíždění z řezu, uprava hran obrobku	19
2.8 Volba posuvu	20
2.8.1 Vliv geometrie destičky a obráběného materiálu na volbu posuvu	22
2.8.2 Doporučené hodnoty pro posuv a hloubku řezu	22
2.9 Síly a výkon při soustružení řeznou keramikou	23
2.9.1 Vliv jednotlivých parametrů na řeznou sílu	23
2.9.2 Výpočet řezné síly	25
2.9.3 Výpočet výkonu	26
2.10 Možnosti použití současných druhů řezné keramiky	26
2.10.1 Rozsah použití různých druhů řezné keramiky	27
2.10.2 Jemné soustružení	27
2.10.3 Jemné frézování	27
2.10.4 Zkoušky vrtání a frézování vícebřitými frézami osazenými řeznou keramikou	28
2.10.5 Obrábění řeznou keramikou za tepla /HO-MACH systém/	29

	str.
2.11 Druhy nožových držáků vyráběných k.p.Nářadí Děčín a jejich použití	29
2.12 Podmínky přechodu z obrábění noži osazenými SK na obrábění reznou keramikou	31
2.13 Eliminace příčin poškození keramických destiček	33
2.14 Ekonomické předpoklady využití keramických řez- ných destiček	33
3. POSOUZENÍ UPÍNEK A UTVAŘEČŮ A NÁVRH NA ZMĚNU KONSTRUKCE	35
3.1 Namáhání keramických destiček	35
3.1.1 Vliv polohy upínací síly	35
3.1.2 Vliv úhlu působení řezné síly	36
3.1.3 Ohybová pevnost destičky a vliv kvality povrchu	36
3.1.4 Vliv materiálu podložky na ohybové namáhání destičky	38
3.1.5 Odlehčení lůžka a podložky	39
3.2 Porovnání čs.držáků NAREX s držáky firem Feldmüh- le a Widax	43
3.3 Návrh konstrukčních úprav držáků NAREX	44
3.3.1 Realizované konstrukční úpravy upínky a nožového držáku CTGNR 25x25 M16K	45
3.4 Pevnostní kontrola upínky a upevňovacího šroubu	46
3.4.1 Výpočet šroubu za předpokladu absolutně tuhých ostatních částí nože	47
3.4.2 Výpočet podle skutečnosti	50
4. STANOVENÍ PRACOVNÍHO ROZSAHU NOŽŮ VYRÁBĚNÝCH K.P.NÁŘADÍ DĚČÍN	60
4.1. Použitá zařízení, nástroje a materiál a řezné podmínky	60
4.2 Vyhodnocení funkčních zkoušek	63
4.2.1 Vyhodnocení utváření třísek	63
4.2.2 Oblast utváření	63
4.2.3 Pracovní rozsah při obrábění litiny	64
4.3 Zhodnocení měření	71

5.	URČENÍ SMĚRNÝCH ŘEZNÝCH PODMÍNEK	str. 73
5.1	Použitá zařízení a pomůcky	73
5.2	Dlouhodobé zkoušky řezivosti	76
5.2.1	Postup dlouhodobé zkoušky	76
5.2.2	Vyhodnocení dlouhodobých zkoušek	97
5.2.3	Volba řezné rychlosti	98
5.2.4	Rozbor výsledků	99
6.	ZÁVĚR	100
7.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	101

Seznam použitých zkratek a symbolů

T_{max}	- max.rozdíl teplot	Δl_i	- prodloužení částí
λ	- tepelná vodivost	$\delta_1 \delta_{\Sigma T}$	- prodloužení šroubu
R_m	- pevnost mat.v tahu	F_0	- osová síla ve šroubu
α	- koef.tepel.roztažnosti	σ_{FO}	- napětí ve šroubu
E	- modul pružnosti v tahu	σ_{Q0}	- napětí ve šroubu
T	- trvanlivost	$\sigma_{a1} \sigma_F$	- napětí ve šroubu
v	- řezná rychlost	s	- bezpečnost k mezi kluzu
c_T	- konstanta	σ_K	- napětí na mezi kluzu
m	- exponent	J_i	- moment setrv.průřezu
h	- hloubka řezu	W_0	- průřez.modul.v ohybu
s	- posuv	M_{RED}	- redukovaný moment
α_0	- ortog.úhel hřbetu	R_a, R_b	- reakce
γ_0	- ortog.úhel čela	$\bar{R}$	- fiktivní reakce
α_r	- úhel nastavení ostří	σ_{cs}	- výsl.tah.napětí ve šroubu
α_s	- úhel sklonu ostří	σ_{cu}	- výsl.ohyb.nap.v upínce
ϵ_r	- úhel špičky	K	- bezp.k mezi pevnosti
r	- poloměr špičky	VB	- opotřebení hřbetu
F	- řezná síla	VC	- šíř.opotřebení špičky
F_z	- tg.složka řez.síly	VN	- šířka vrubu na hřbetě
p	- měrný řezný odpor	VB	- max.šíř.opotř.hřbetu
x_1, x_2, x_3	- exponenty	a_r	- radiální opotřebení
a	- tloušťka třísky	KB	- šířka výmolu
b	- šířka třísky	KM	- vzdál.stř.výmolu od ostří
c_{Fi}	- konstanta	KT	- hloubka výmolu
x_{Fi}, y_{Fi}	- exponenty	T_i	- naměřený čas
s_z	- posuv na zub	T_{oi}	- vypočtený čas
F_u	- upínací síla	S_0	- resid.součet čtverců
F_r	- řezná síla /3.1/	s	- odhad.směrod.odchylek
w	- půhyb	n	- počet měření
y	- průhyb /3.1/	HB	- tvrdost materiálu
Q	- osová síla ve šroubu	HRC	- tvrdost materiálu
D_0	- střední ϕ závitu	KRD	- keram.řezné destičky
f_2	- souč.tření ve styk.ploše	SK	- slinutý karbid
f_1	- souč.tření v závitech	RO	- rychlořezná ocel
ω	- úhel stoupání šroub./3.4/		
M	- utahovací moment		
S_j	- průřez jádra		
S	- průřez dřívku		
ΔT_i	- rozdíl teploty		

1. Ú V O D

Jedním ze základních úkolů našeho národního hospodářství je další rozvíjení strojírenské výroby ve všech jejích oblastech. Rozvoj strojírenství, jako základ pro růst technické úrovně celého národního hospodářství kladně ovlivňuje změnu ekonomiky, strukturu zaměstnanosti a tedy i život celé společnosti.

Strojírenská výroba v naší zemi je postavena před velmi závažné úkoly, vypracované vedením strany a konkretizované na XVI. sjezdu KSČ formou zprávy "O směrech hospodářského a politického vývoje ČSSR na léta 1981-85", která pro strojírenství jako základní článek naší ekonomiky vytýčila nové úkoly.

Tyto úkoly lze rozdělit do dvou stěžejních oblastí. První z nich vyplývá z členství naší země v Radě vzájemné hospodářské pomoci plněním úkolů a povinností našeho strojírenství v rámci této organizace. Druhou oblastí je vývoz, což znamená zvýšení kvality a technické úrovně našich strojírenských výrobků. Dále je to rozvoj elektroniky, automatizace, zvyšování společenské produktivity práce, snižování spotřeby paliv a energie, rozvoj jaderného, leteckého a automobilového průmyslu, nové nároky na řídicí činnost, rozvoj nových technologií a neustálá modernizace výrobní základny.

Tímto budou splňovány předpoklady pro rozšiřování a zkvalitňování naší strojírenské výroby a tedy i předpoklady, že výrobky našeho strojírenského průmyslu obstojí v tvrdé konkurenci na národních světových trzích.

Podíváme-li se na strukturu strojírenské technologie, zjišťujeme, že podíl obrábění a požadavek neustálého zvyšování produktivity práce je stále rozhodující. Podle průzkumů má tento podíl obrábění v důsledku vzrůstu ostatních výrobních metod tvořit asi 30% celkového rozsahu strojírenské výroby. Tato vlastnost obrábění zdůrazňuje význam konstrukce a použití řezných nástrojů pro strojírenský průmysl. Vhodné použití řezných nástrojů podstatně ovlivňuje hospodárnost výroby a růst produktivity práce zejména svým materiálem, optimálními úhly a správně navrženými rozměry, důležitými s hlediska pevnosti a trvanlivosti nástrojů. Jedním z hlavních hledisek posuzování kvality a výkonnosti řezných nástrojů je druh použitého řezného materiálu na daném nástroji.

Mnohaleté historické období průmyslového využití obráběcích strojů je poznamenáno převratnými vlivy vývoje řezných materiálů. První revoluční konstrukční změny v oblasti řezných materiálů podnítil F.W.Taylor svými dlouhodobými vývojovými pracemi a praktickými ověřovacími zkouškami s legovanými/Cr, Wo, Va/ nástrojovými ocelemi /1880-1906/, jejichž výsledkem byl nástup rychlořezných ocelí do obráběcího procesu. V letech 1900-1910 byly vyráběny rychlořezné oceli s přísadou Wo a po nich následovalo období litých rychlořezných ocelí Stellite, jejich legovacími přísadami byl wolfram, chrom, kobalt a molybden. Ve dvacátých letech byly nahrazeny slinutými karbidy wolframu.

O rozvoj slinutého karbidu se přičinila ve dvacátých letech firma Krupp, která pomocí těchto nových materiálů obráběla především šedou litinu a využívala ho při obrábění většinou s nepřerušovaným řezem. Tyto destičky byly v tehdejší době výhradně pájeny na tělo řezného nástroje.

V roce 1969 uvedli evropští výrobci na trh vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu opatřené otěruvzdorným povlakem. Nejnovější druh břitových destiček Coromant GC 415 /Sandvik/ opatřený třemi otěruvzdornými povlaky z TiC , Al_2O_3 , TiN , pokrývá rozsah použití dle ISO. Kromě větší řezivosti poskytuje také prodloužení trvanlivosti břitu v průměru o 50%.

Dalšími příklady použití moderních povlakovaných karbidů jsou např. destičky Widalon od firmy Krupp Widia, karbid X 44 od firmy Stellite a další.

Jedním z nejprogresivnějších materiálů, použitých na řezné nástroje je v současné době řezná keramika. Předpoklady pro její uplatnění vznikly až kolem roku 1960, přestože první kroky pro její uplatnění při obrábění kovů byly učiněny již počátkem třicátých let. Vývoj keramických řezných destiček přinesl řadu výhod oproti všem dřívějším nástrojovým materiálům. Tyto destičky jsou tvrdší a odolnější proti opotřebení a zachovávají si své vlastnosti i za vysokých teplot. Velmi důležitá je podstatně nižší cena surovin na výrobu těchto destiček ve srovnání s cenou deficitních kovů pro výrobu destiček ze slinutých karbidů. Jejich hlavní předností je významné zkrácení strojních časů při obrábě-

ní, způsobené vlivem vysokých řezných rychlostí.

Podle údajů zveřejněných na Hannoverském veletrhu z 15.-24.9. 1981 je současný stav použití řezné keramiky přibližně 3-4% z celkového objemu řezných materiálů. Stěžejní postavení zaujímá slinutý karbid /67%/ a rychlořezná ocel. Z těchto údajů vyplývá, že podíl řezné keramiky je dosud poměrně malý, i když u některých podniků činí tento podíl již více než 10%. Podle současných prognóz je předpoklad nasazení řezné keramiky v příštích deseti letech až 30% z objemu veškerého třískového obrábění.

Keramické řezné materiály zaujaly stálé místo ve vývoji řezných materiálů. Hlavním předpokladem jejich zavedení do výroby je používání odpovídajícího strojního zařízení a největšího uplatnění dosáhne řezná keramika zřejmě v hromadné a seriové výrobě, kde se ve značné míře uplatňuje již nyní.

2. POUŽITÍ NÁSTROJŮ S ŘEZNOU KERAMIKOU

2.1 Vlastnosti řezné keramiky

/7,13/

Přednostmi řezné keramiky, které způsobily její rozšíření v obráběcí technice je vysoká tepelná odolnost, až 1200°C bez ztráty tvrdosti, odolnost vůči otěru, a tím i vysoký výkon obrábění. Ještě při 1000°C není na korundové keramice měřitelná plastická deformace nebo tečení. Její tvrdost je při této teplotě vyšší než u slinutého karbidu za studena. Keramické řezné nástroje se vyznačují vynikající odolností proti chemickým účinkům komponentů většiny běžně obráběných materiálů.

Při soustružení řeznou keramikou se docílí velmi kvalitního povrchu. Proto tento způsob obrábění může nahradit v některých případech broušení, z čehož vyplývají významné úspory časů a nákladů. Nevýhodou je prozatím poměrně malá pevnost keramických destiček v ohybu, způsobená křehkostí a omezující použití řezné keramiky na vybrané druhy materiálů. Tento nedostatek se úplně nedaří odstranit ani u současné moderní čisté keramiky, jako jsou např. SN80, SN76 a další.

Dalším základním nedostatkem je její citlivost na tepelné rázy, způsobené její nízkou tepelnou vodivostí. Při tepelné změně o více než 200°C již dochází k rozrušování destiček z čistého Al_2O_3 . Značné zlepšení tepelné odolnosti dosahujeme při obrábění směsnou keramikou, která obsahuje vždy jednu nebo více fází s lepší stálostí při změnách teploty. Tuto keramiku označujeme jako černou a jako příklad lze uvést keramiku firmy SPK SH20, SH1 a SHT1.

Vhodnost řezné keramiky pro třískové obrábění se dalekosáhle určí jejím složením, rozdělením zrn, zbytkovou porovitostí a procesem spékání. Vývoj řezné keramiky se zaměřil hlavně na snížení křehkosti, t.j. na zvýšení ohybové pevnosti keramických materiálů. Nejvhodnější materiál je jemnozrný /střední velikost zrna 2,5-3 mikrometry/ s rovnoměrnou velikostí zrna bez zbytkových vnitřních prutí^a strukturních

poruch. Hustota materiálu má být přibližně 97,5-98,5% teoretické hustoty. U destiček z hustšího materiálu dosahujeme sice větší odolnosti proti opotřebení, ale jejich křehkost se opět zvětšuje.

2.2 Druhy řezné keramiky

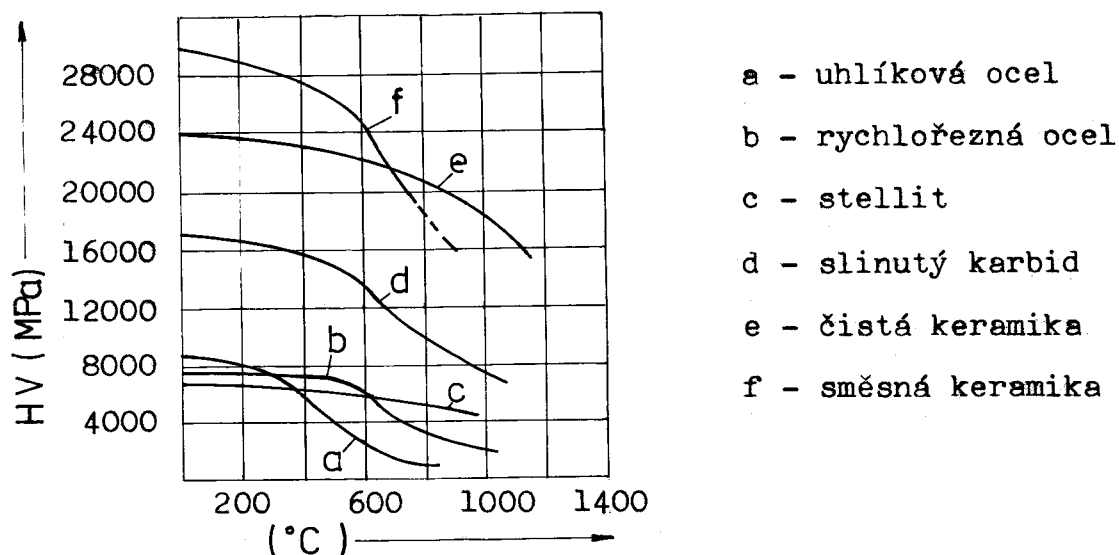
Vyráběné keramické řezné materiály dělíme do dvou skupin:

- čistá keramika - obsahuje 99,7% Al_2O_3 , velikost zrna bývá 2,5-3 mikrometry, pevnost v ohybu 500 - 600 MPa. Hlavní nevýhodou této čisté keramiky je její značná citlivost na tepelné rázy. Prudká změna teploty o 200°C již způsobuje destrukci destičky, tato čistá keramika se nehodí pro obrábění s chlazením.
- směsná keramika - ke konci šedesátých let byly vyvinuty spojením karbidu titanu TiC s kysličníkem hliníku Al_2O_3 nové, modifikované keramické břitové destičky, t.zv. černá keramika. Tato keramika je méně citlivá na tepelné rázy, až na 500°C , při současném zvýšení ohybové pevnosti. Tuto keramiku lze používat při obrábění s chlazením, vzhledem k tomu, že má větší pevnost, je vhodná pro obrábění tvrzené litiny a pro oceli zušlechtěné nebo kalené. Mezi dalšími legujícími složkami používanými ve spojení s Al_2O_3 jsou kysličníky magnezia, titanu, chromu, niklu a zirkonia. Místo karbidu titanu přidávají někteří výrobci k bázi kysličníku hliníku nitrid titanu a diborid titanu. Ve stádiu zkoušek jsou břitové destičky ze slitin kysličníku hliníku a nitridu křemíku, t.zv. sialony $[\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3]$. Směsná keramika je dražší než čistá a používá se proto v menší míře.

2.3 Tvrdost

Tvrdost je významnou vlastností všech nástrojových materiálů. Při měření tvrdosti podle Vickerse dosahujeme u čisté keramiky hodnoty 23-24000 MPa, u směsné 28-30000 MPa.

Následující diagram znázorňuje závislost tvrdosti na teplotě u jednotlivých řezných materiálů.



Obr. 2.1

2.4 Odolnost proti opotřebení

/1/

Při obrábění řeznou keramikou se používá vysokých řezných rychlostí, které vedou ke zvýšení teploty v místě řezu. Proto u nich nemůže být zanedbána změna tvrdosti materiálu s teplotou, neboť opotřebení je přímo úměrné velikosti působící normální síly a nepřímo úměrné tvrdosti.

2.5 Formy otupení břitu

Forma otupení břitu řezného nástroje závisí na materiálu břitu a obrobku a na použitých řezných podmínkách, zejména na řezné rychlosti, tloušťce třísky a úhlu řezu. Výchozí tvar a kvalita pracovních ploch břitu se postupně mění s délkou odřezávané vrstvy materiálu, popřípadě s jeho objemem.

Zhoršuje se značně drsnost stykových míst břitu s třískou a plocha řezu, mění se geometrie břitu, zvětšuje se poloměr ostří.

K otupení břitu dochází:

- úběrem materiálu na čele ve tvaru žlábků
- úběrem materiálu břitu na hřbetě, kde se vytváří nepravidelná ploška
- křehkým lomem ostří nebo lomem celé břitové destičky
- zaoblením ostří plastickou deformací

Z fyzikálních vlastností řezných materiálů ovlivňuje způsob otupování jejich tvrdost a houževnatost, zejména však závislost tvrdosti na teplotě. Břity z keramických řezných materiálů se otupují jednak brusným otěrem jednak křehkým lomem. Vzniku křehkého lomu napomáhá malá tepelná vodivost a křehkost keramického materiálu. Svým způsobem se na otupování podílí také chemický a částečně i adhesní otěr.

2.5.1 Brusný otěr

Vzniká tím, že tvrdé částice materiálu třísky, popřípadě na povrchu plochy řezu vytvářejí mikrorýhy na stykových místech břitu s třískou a plochou řezu. Předpokladem ke vzniku brusného otěru je, aby tvrdost některých mikročástic materiálu třísky a obrobku převyšovala tvrdost určitých částí materiálu břitu. Sekundárním jevem brusného otírání břitu je, že zvyšuje napětí v mezní vrstvě materiálu břitu, a tím i pravděpodobnost odtržení jeho části. Brusný otěr vyvolávají vysoce zpevněné částice třísky a částice na vnějším okraji řezu, které spolu s oxidy tvořícími se na okraji stykových ploch vytvářejí na okraji otřených ploch na hřbetě a čele hluboké rýhy.

U keramických řezných materiálů jsou jednotlivá zrna Al_2O_3 vlivem chvění soustavy stroj-nástroj-obrobek a povrchového napětí vylamována z aktivní části keramické destičky. Tímto brusným otěrem mikročástic rozrušeného povrchu břitu dochází k jeho otupování.

2.5.2 Adhesní otěr

Tento otěr se podílí na otupování keramické destičky malou

měrou. Vlivem mikronerovností povrchu destičky dochází ke vzniku vysokého měrného tlaku ve stykových místech, což spolu s vysokou teplotou vede k vytváření lokálních mikro-svarů. Na jejich tvorbu má vliv celá řada faktorů. Jedním ze základních je chemická příbuznost materiálu břitu a obrobku. Výchozí surovinou keramických řezných materiálů je Al_2O_3 , proto tato podmínka pro vznik spojů u keramických materiálů není splněna.

2.5.3 Chemický otěr

Chemickým otěrem označujeme vytváření defektní vrstvy na pracovních místech břitu v důsledku jejich oxydace, popř. v důsledku vytváření chemických sloučenin z prvků řezného materiálu a řezného prostředí.

Opotřebení řezné keramiky je především podmíněno chemickou reakcí mezi kysličníky obráběného materiálu a nástrojového materiálu. Dochází tak ke vzniku dvojitých kysličníků s nízkou teplotou tavení. K chemickému opotřebení dochází v určité vzdálenosti od špičky nástroje, kde se tříska odděluje od povrchu nástroje za přístupu vzduchu.

2.5.4 Porušení břitu křehkými lomy

K porušení břitu v oblasti jeho ostří křehkými lomy dochází v mikroobjemu při ostření břitu, v mikroobjemech při práci nástroje. Při ostření břitu se vylamují částičky materiálu břitu na přechodové hraně hřbetu a čela. Tyto lomy zasahují ve větší míře do plochy čela než do plochy hřbetu na obou plochách do vzdálenosti 10-50 mikrometrů od ostří. Výrazněji se porušení břitu křehkými lomy projevuje při práci nástroje. Dochází k němu překročí-li zatížení břitu na některém místě pevnost materiálu v ohybu.

Příčinou přetížení může být:

- ráz způsobený přerušovaným řezem
- náhlé zvýšení řezného odporu v důsledku přítomnosti tvrdého vměstku v materiálu obrobku
- neúměrně velký průřez odřezávané vrstvy materiálu
- tepelný ráz

Vzniku křehkých lomů při práci nástroje napomáhají trhliny v materiálu břitu, které se vytvářejí v povrchové vrstvě při ostření nástroje za nevhodných podmínek. Příčinou vzniku mikrotrhlin je velký teplotní spád mezi povrchovou vrstvou a ostatním materiálem nástroje a vnitřní pnutí tím způsobené. Ke vzniku křehkých lomů dochází u materiálů málo houževnatých, jako jsou slinuté karbidy a zejména keramický materiál.

U keramických řezných materiálů je hlavní příčinou jeho vzniku nespojitě mechanické a teplotní namáhání spojené s malou ohybovou pevností a citlivostí na tepelné rázy.

2.5.5 Plastická deformace břitu

Podstatou této formy otupení břitu je kontinuální přesun plasticky deformované vrstvičky materiálu břitu o tloušťce 10^2 nm na stykových plochách břitu. Na čele se posouvá materiál ve směru odchodu třísky, na hřbetě ve směru relativního pohybu hřbetu proti ploše řezu. Předpokladem pro vznik této formy otupení je určitý stupeň plasticity povrchových vrstev materiálu břitu. Plasticita je vyvolána mechanickým zatížením spolu se zahřátím této vrstvy. Význačná je zde koncentrace tepla v nástroji. K plastické deformaci břitu může dojít i u nástrojů ze značně křehkých materiálů, jako je slinutý karbid nebo keramické destičky. Malá tepelná vodivost těchto materiálů je příčinou koncentrace tepla v povrchových vrstvách břitu, což spolu se všestranným tlakem zvyšuje jejich plasticitu.

Plastická deformace má za následek změnu geometrie řezného klínu.

2.6 Tepelná vodivost řezné keramiky

/11/

Keramické řezné materiály mají v porovnání se slinutými karbidy tepelnou vodivost 10-40x menší, /0,59 u slinutého karbidu K 20 oproti 0,021 /J.cm.s⁻¹.grad⁻¹/, což je běžně udávaná hodnota u čisté keramiky DISAL/. Toto se projevuje zvýšeným ohřevem řezné části keramické destičky a

obráběný materiál se více zahřívá. Z tohoto důvodu by bylo vhodné užití chladicí kapaliny, což je však možné v určité míře jen u keramiky směsné.

Odolnost proti náhlým změnám teploty vyjadřujeme vztahem:

$$T_{\max} = \frac{\lambda R_m}{\alpha E}$$

$T_{\max}$ - maximální teplot. rozdíl

λ - tepelná vodivost

R_m - pevnost mater. v tahu

α - koef. tepel. roztažnosti

E - modul pružnosti

2.6.1 Možnosti použití chladicí kapaliny

/13,14/

Nízká tepelná vodivost tedy činí keramiku mnohem citlivější na tepelné výkyvy způsobené převáděním chladicí kapaliny na horkou břitovou destičku. Proto se doporučuje obrábět při úplném vyloučení chladicí kapaliny, zejména u řezné keramiky z čistého Al_2O_3 . Někteří výrobci však doporučují použití chladicí kapaliny ve velmi omezené míře na určité operace, v případech, kdy by vysoká teplota ovlivnila požadovanou toleranci obrobku. V těchto případech je vhodné použít chlazení mlhou.

Jestliže si zvláštní postup obrábění vyžádá kombinaci nástrojů osazených karbidy na hrubování a keramikou pro dokončování a řezná kapalina se použije během prvních řezů, doporučuje se, aby bylo zbývajícím chladiivo z obrobku ofouknuto, protože intermitentní kontakt se zbývajícím chladiivem by způsobil u keramické destičky tepelný šok. V případě, že ostatní operace vyžadují chlazení, je vhodné, ale z technologického hlediska dost obtížně proveditelné udržovat nástroj osazený keramikou neustále chlazený.

Jak již bylo uvedeno, je možno použít pro soustružení s chladicí tekutinou značně odolnou keramickou směs SH1, SHT1 nebo SH20. Při soustružení s chladicí kapalinou je šířka opotřebení destičky podobně jako u karbidu poněkud menší. Toto rozdílné chování při opotřebovávání má zejména

význam pro dokončování a jemné soustružení.

Velikost řezné rychlosti se při obrábění s chladicí kapalinou nedoporučuje příliš vysoká. Dle podkladů Feldmühle je možno uvažovat pro hrubování šedé litiny směrnou hodnotu řezné rychlosti $300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, při dokončování $500 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

2.7 Pevnost v ohybu a řešení problému křehkosti keramických destiček

/12,14/

a/ z hlediska materiálu destičky

Poměrně nízká pevnost v ohybu u keramických řezných materiálů je hlavní příčinou řady neúspěchů při použití tohoto materiálu. Vývojem technologie výroby a složení řezné keramiky se podařilo ohybovou pevnost značně zvýšit /až na hodnotu 700 MPa /. Následující tabulka uvádí některé údaje týkající se keramiky SPK. Tyto hodnoty jsou uvažovány jako 99% jistota.

	SN 60	SN 80	SH 1	SH 20
tvrdost podle Wickerse	20 000	20 000	25 000	21 000
lomová pevnost N/mm^2	175	210	160	165
Pevnost v ohybu MPa	440	500	380	400

b/ z hlediska geometrie nástroje

Tab. 2.1

V oblasti geometrie je vhodné pro zlepšení vlastností použít:

- tlustších destiček kdykoliv je to možné. Obvyklá tloušťka se doporučuje 8 mm. Toto zvětšení tloušťky ve srovnání s tloušťkou karbidových destiček téměř zdvojnásobuje pevnost vetknutých destiček, protože se mění silové působení v destičce,
- použití destiček s největším pracovním úhlem špičky dovoleným konfigurací obrobku a největším možným poloměrem špičky, odpovídajícím geometrii prováděného řezu,
- vytvoření fazetky na čele destičky. To jednak zesiluje

břit destičky při zvětšení jejího úhlu nad 90° a jednak usměrňuje tangenciální složky řezné síly do destičky v úhlu, který keramickou destičku namáhá více na tlak a méně na tah. Tím se lépe využije velké pevnosti keramiky v tlaku a snižuje se závislost na nižší pevnosti materiálu v tahu

- honování malého rádiusu na břitu. Takový rádius nejen že zvyšuje geometrickou pevnost břitu /čím větší je poloměr, tím větší je pevnost/, ale má také tendenci k eliminování mikroskopických trhlinek ostří, které se mohou utvořit během broušení a které by se mohly stát zdrojem malých napětí a později se rozrůstat v mnohem vážnější trhliny.

Fazetka a zaoblení břitu jsou obvykle uvažovány spolu. U nožů používajících řeznou keramiku bývají pro zvýšení pevnostních hodnot úhly čela uvažovány jako záporné.

Hodnoty geometrických parametrů závisí na podmínkách obrábění. Meze optimálních hodnot jsou hlavně při těchto dvou způsobech obrábění:

- je-li nůž v plynulém řezu
- jde-li o přerušovaný řez

Nejběžnější používané hodnoty jsou:

$\alpha_0 = 6^\circ$	$\alpha_0 = 5^\circ$
$\gamma_0 = -6^\circ$	$\gamma_0 = 6^\circ$
$\varphi_r = 70^\circ$	$\varphi_r = 70^\circ$
$\varepsilon_r = 90^\circ$	$\varepsilon_r = 90^\circ$
$\lambda_s = -4^\circ$	$\lambda_s = 0^\circ$

2.7.1 Vliv řezné rychlosti při použití keramických materiálů /14/

Při obrábění je obecná tendence snižovat řeznou rychlost v případě, že dochází k lomům destiček. Při použití řezné keramiky je však východiskem naopak zvýšení řezných rychlostí. Důvodem proč je řezná rychlost tak důležitá je to, že keramické destičky mají relativně malou pevnost v ohybu, což obvykle přikazuje negativní geometrii čela.

Negativní čelo při daném posuvu znamená větší tlak na nástroj, ale zvýšením obvodové rychlosti bez zvyšování hodnot posuvu je možné toto zvýšení tlaku na nástroj minimalizovat.

U keramických destiček je většina tepla generovaného při řezání převáděno do třísky. Proto geometrie negativního čela má za následek zvýšení spotřeby výkonu obráběcího stroje s vývinem větší tepelné energie v oblasti smykové zóny. Takto se mechanická pevnost kovu obrobku v této zóně zmenšuje jako následek plastického tečení. Tlak na nástroj se sníží také podle požadavku na výkon obráběcího stroje. Protože keramický nástroj může udržet tvrdost břitů při vysokých teplotách, nejsou velké řezné rychlosti a malé posuvy škodlivé.

2.7.2 Najíždění a vyjíždění z řezu, úprava hran obrobku

Keramické řezné destičky jsou značně citlivé na tepelný ráz a namáhání způsobené přerušovaným řezem. Na tyto vlastnosti musíme brát ohled při najíždění do řezu a vyjíždění z něho.

Pro obrábění obrobků s nesraženými hranami se doporučuje používat pouze čtvercové destičky, které mají vyšší odolnost proti porušení křehkým lomem. V takovýchto případech se však doporučuje najíždět sníženým posuvem.

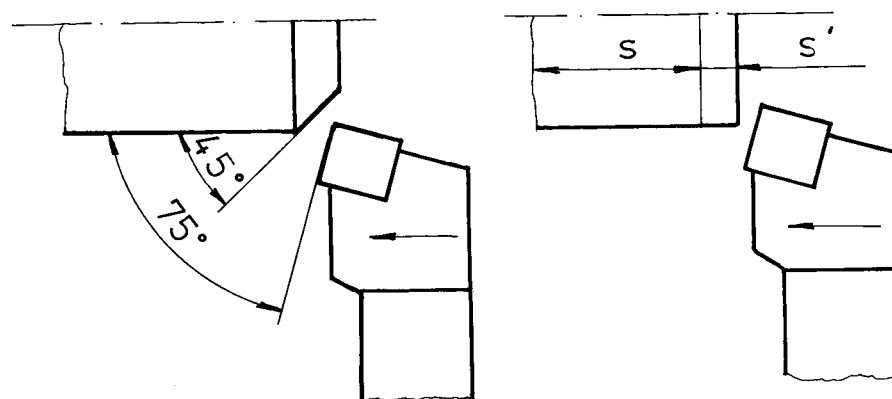
Při použití všech ostatních typů destiček je doporučováno sražení hran /karbidovými noži nebo keramickými čtvercovými destičkami/. Běžná hodnota sražení je 45° , pro obrábění litiny je vhodnější 75° sražení.

Vyjíždění z řezu se provádí při zastaveném posuvu sníženou rychlostí, abychom omezili tepelný ráz.

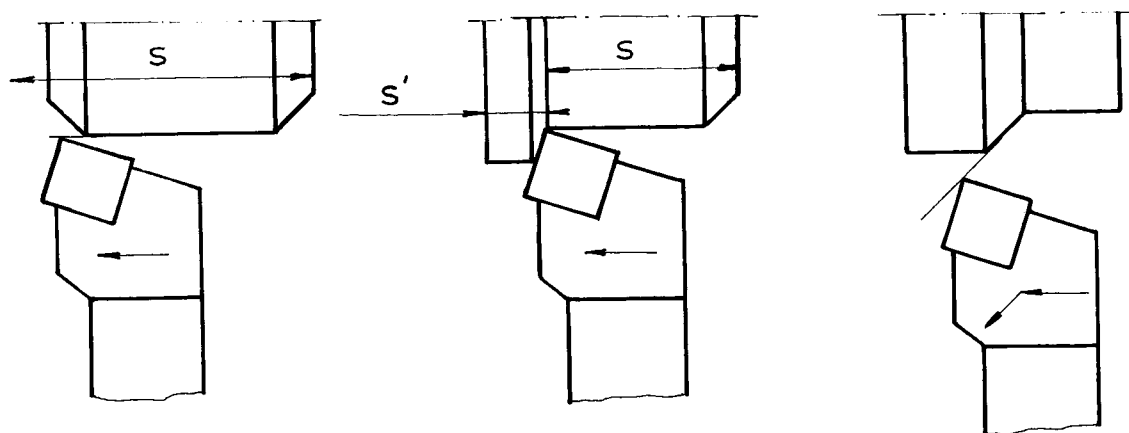
Obrázek č.22 /na následující straně/

Obr. 2.2

Schéma najíždění a vyjíždění z řezu při obrábění řeznou keramikou



$$s' < s$$

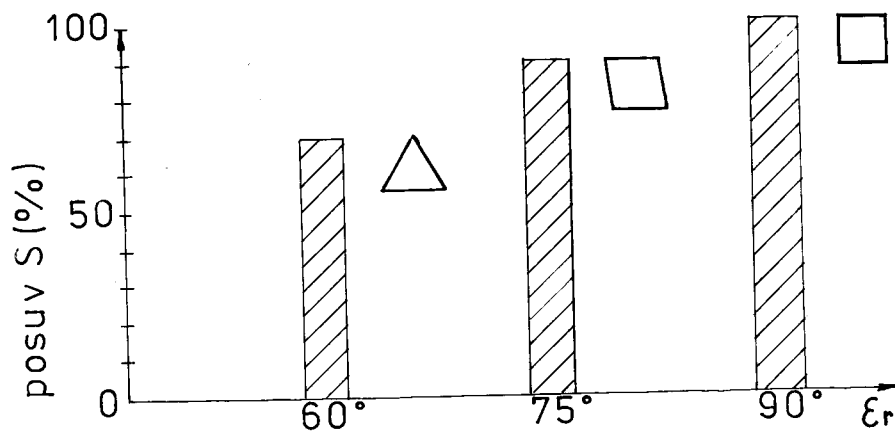


2.8 Volba posuvu

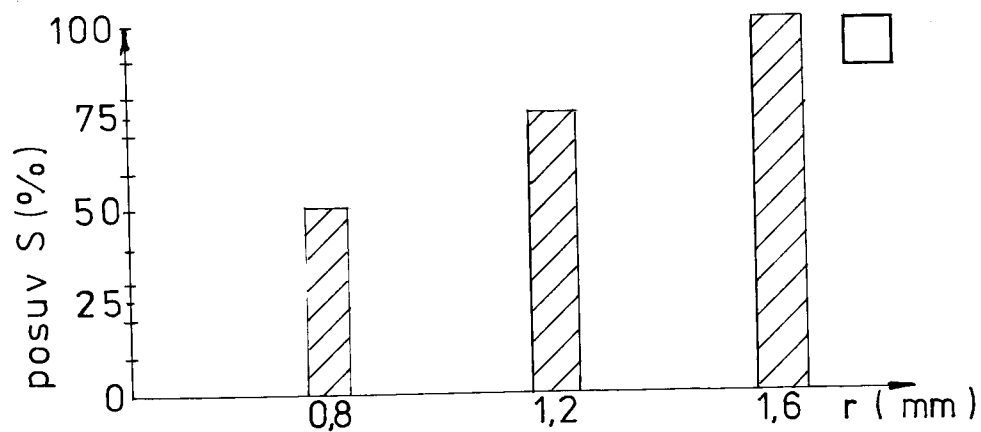
/5,13/

Při hrubování by měl být volený posuv co největší, což znamená zkrácení strojních časů a menší ohřátí součástí. Z následujících závislostí vyplývá, že posuv je závislý na geometrii řezné destičky a také na poloměru jejího zaoblení. Při dokončování je maximální možný posuv v širokém rozsahu závislý na požadované jakosti povrchu.

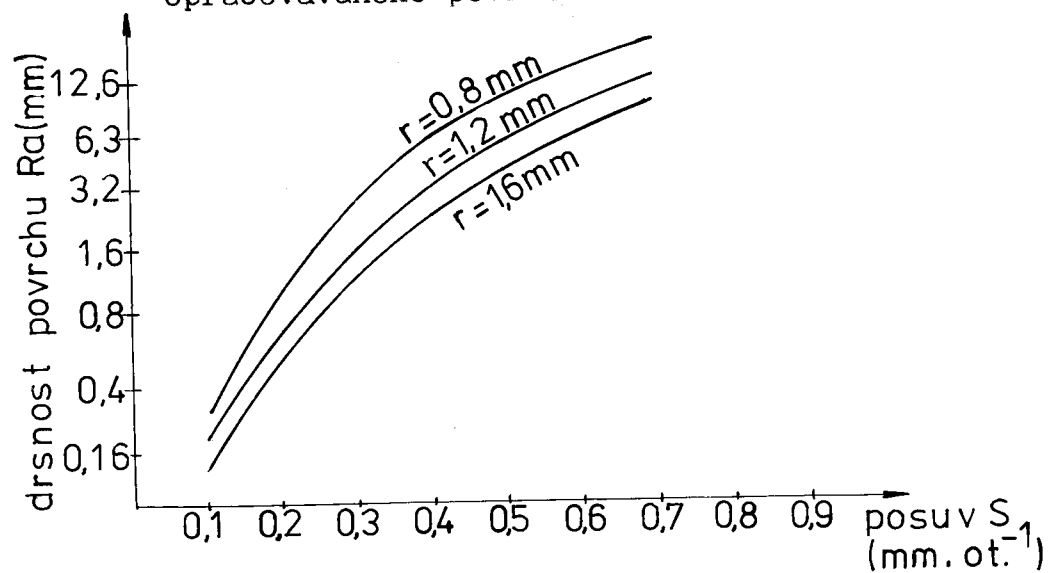
Obr. 2.3 Závislost velikosti posuvu na velikosti úhlu špičky



Obr.2.4 Vliv poloměru špičky nože na volbu posuvu

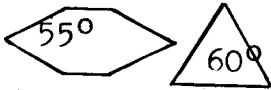


Obr.2.5 Vliv posuvu a poloměru špičky nože na drsnost opracovávaného povrchu



2.8.1 Vliv geometrie destičky a obráběného materiálu na volbu posuvu

Tab. 2.2

Typ destičky	0,8		1,2		1,6		2,0			r
	0,2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	s
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	litina
	x	x	x	x	x					ocel
	x	x	x	x	x					litina
	x	x	x							ocel
	Tvary destiček se 60°, příp. 55° nejsou vhodné pro hrubování									

2.8.2 Doporučené hodnoty pro posuv a hloubku řezu

Tab. 2.3

Typ operace	s mm . ot ⁻¹	h mm
hrubování šed.litiny	0,4 - 0,6	max. 6
hrubování oceli	0,3 - 0,5	max. 5
hlazení šed.litiny	0,2 - 0,4	0,5 - 1
hlazení oceli	0,2 - 0,4	0,5 - 1
jemné soustružení	0,1 - 0,2	max. 0,3

Na řezných hranách destiček DISAL jsou sbroušeny fazetky 0,2x20°. Při obrábění se doporučuje, jestliže je to při daném způsobu obrábění možné volit posuv větší, než je šířka fazetky.

Vliv konstrukčního provedení nástroje na ohybové namáhání řezné destičky je uveden v kapitole 3.

V souladu s energetickou rovnováhou procesu řezání musí být v rovnováze silové vztahy, t.j. řezný odpor R který klade materiál proti oddělení třísky na jedné straně, a síla, kterou nástroj působí na odřezávanou vrstvu a plochu řezu, t.zv. řezná síla F , na straně druhé.

Výsledky zjišťování řezných sil mají význam pro vyšetřování statické a dynamické tuhosti obráběcích strojů a nástrojů a pro stanovení potřebného výkonu pro daný případ obrábění. Při obrábění soustružením má na velikost řezných sil vliv posuv, hloubka řezu, geometrie řezného klínu - úhel čela, úhel břitu, úhel hřbetu, úhel nastavení a vliv fazetky na hraně řezné destičky, radius řezné destičky, její opotřebení a vliv chladících prostředků.

2.9.1 Vliv jednotlivých parametrů na řeznou sílu

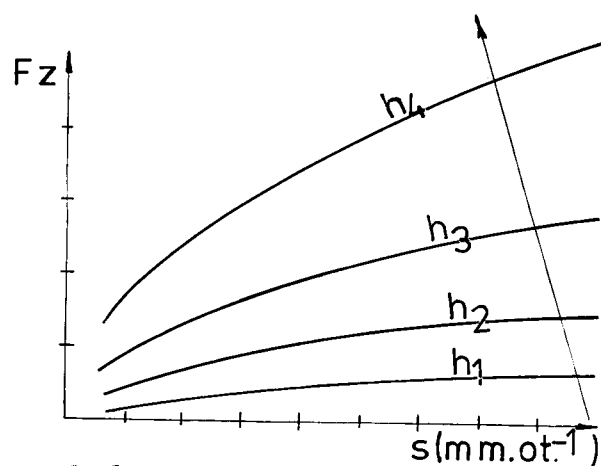
Hloubka řezu h , posuv s , případně tloušťka třísky ovlivňují značně tangenciální složku řezné síly F_z . Obrázek č.2.6 ukazuje nelineární zvýšení řezné síly při stoupajícím posuvu. Průběh řezné síly v závislosti na řezné rychlosti znázorňuje obrázek č.2.7 Řezná síla se zmenšuje se zvyšující se řeznou rychlostí a závisí velmi silně na zvoleném posuvu. Při obrábění různých materiálů vznikají na základě jejich rozdílných fyzikálních vlastností při stejných řezných podmínkách rozdílné řezné síly. Měření řezné síly ukazuje, že s přibývajícím pevností v tahu, případně tvrdostí řezná síla stoupá, pokud se chemické složení od sebe příliš neliší.

Mimo druhu materiálu, pevnosti v tahu a tvrdosti existuje ještě řada dalších činitelů, které rovněž ovlivňují řeznou sílu F_z . Obr.č.2.8 znázorňuje závislost řezné síly při záporném úhlu čela, který se normálně užívá u řezné keramiky a při úhlu čela kladném /RO, SK/ na řezné rychlosti.

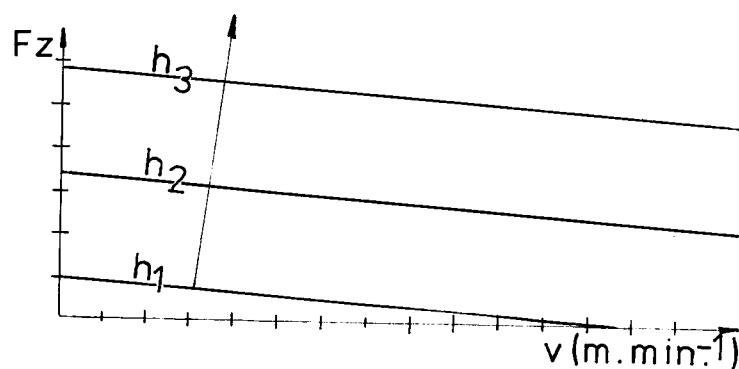
Se zmenšujícím se úhlem čela, případně negativním úhlem čela /řezná keramika/ stoupá řezná síla F_z . Při

obrábění litiny a oceli se zvyšuje řezná síla F_z přibližně o 1-2% na jeden stupeň změněného úhlu čela.

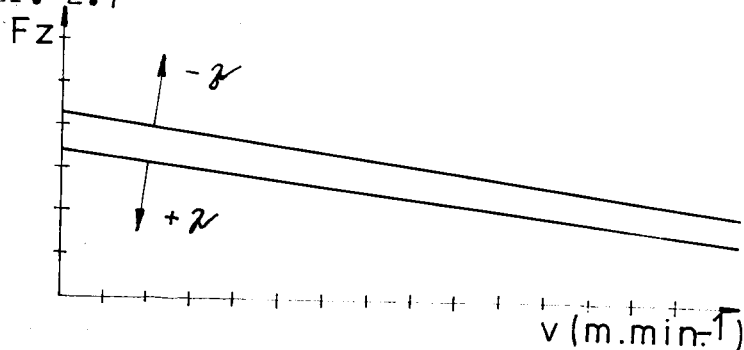
Při použití slinutého karbidu s pozitivním úhlem čela, který se normálně u těchto materiálů používá vznikají menší řezné síly, stejně jako u řezné keramiky s pozitivním úhlem čela. U slinutého karbidu s pozitivním úhlem čela stoupají řezné síly při větších řezných rychlostech s přibývajícím opotřebením velmi rychle, takže řezná keramika s negativním úhlem čela vykazuje menší řezné síly.



Obr. 2.6



Obr. 2.7

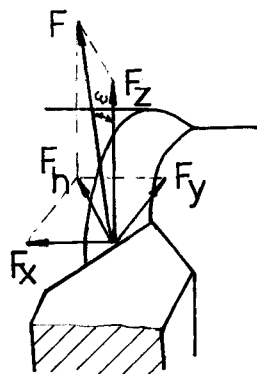


Obr. 2.8

Menší vliv na řeznou sílu F_z dále mají:

- úhel nastavení v rozsahu $45^\circ - 90^\circ$
- použití chladících prostředků
- rádius hran destiček

2.9.2 Výpočet řezné síly



$$F = \sqrt{F_z^2 + F_y^2 + F_x^2}$$

Vztah mezi jednotlivými složkami je při běžných způsobech obrábění:

$$F_z : F_y : F_x = 1 : 0,4 : 0,25$$

Obr. 2.9

Pro tangenciální složku F_z platí vztah

$$F_z = p \cdot S \text{ /N/}$$

p - měrný řezný odpor

$S = a \cdot b = s \cdot h$ - plocha odřezávané vrstvy

Velikost měrného řezného odporu p určíme:

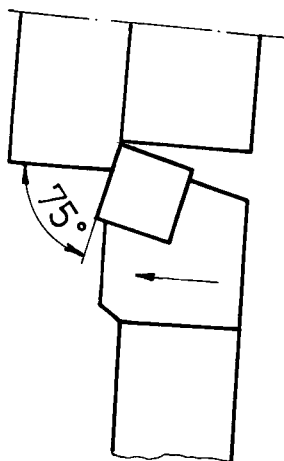
a/ pomocí vztahu experimentálně zjištěného v lab.ČVUT:
pro ocel

$$p = \frac{\sigma_{Pt}^{x_1} \cdot \sqrt{x_3}}{a^{x_2} \cdot 60} \text{ /MPa/}$$

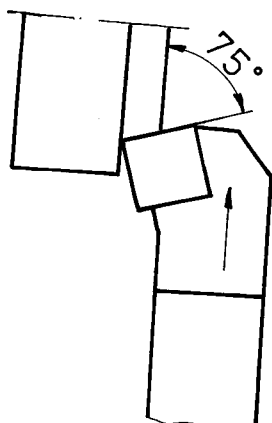
Hodnoty exponentů x_1 x_2 x_3 jsou tabelovány.
Tloušťky třísek uvažujeme:

- jemné soustružení - do 0,05mm
- na čisto - do 0,25mm
- hrubování - do 0,50mm

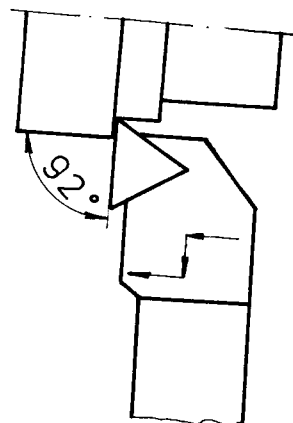
typů nožů - nůž ubírací, stranový, čelní s trojúhelníkovou destičkou, se čtvercovou destičkou a nůž rohový. Připravuje se nůž s kruhovou destičkou, který v době zpracování dipl. práce ještě nebyl k dispozici.



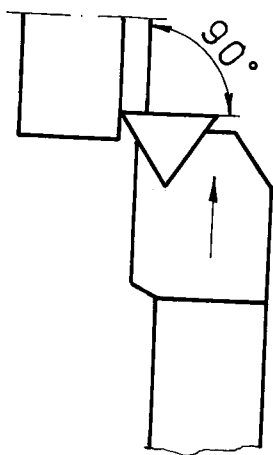
CSRNR, CSRNL



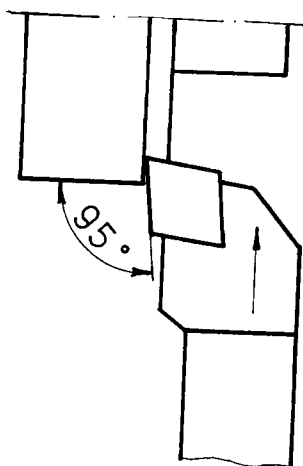
CSKNR, CSKNL



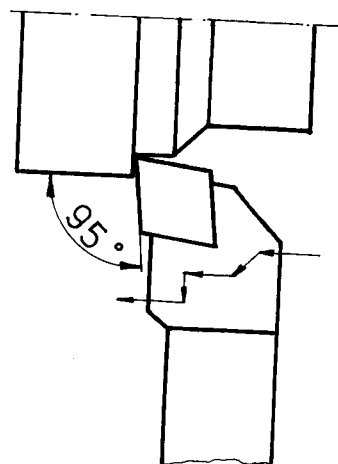
CTGNR, CTGNL



CTFNR, CTFNL



CCLNR, CCLNL



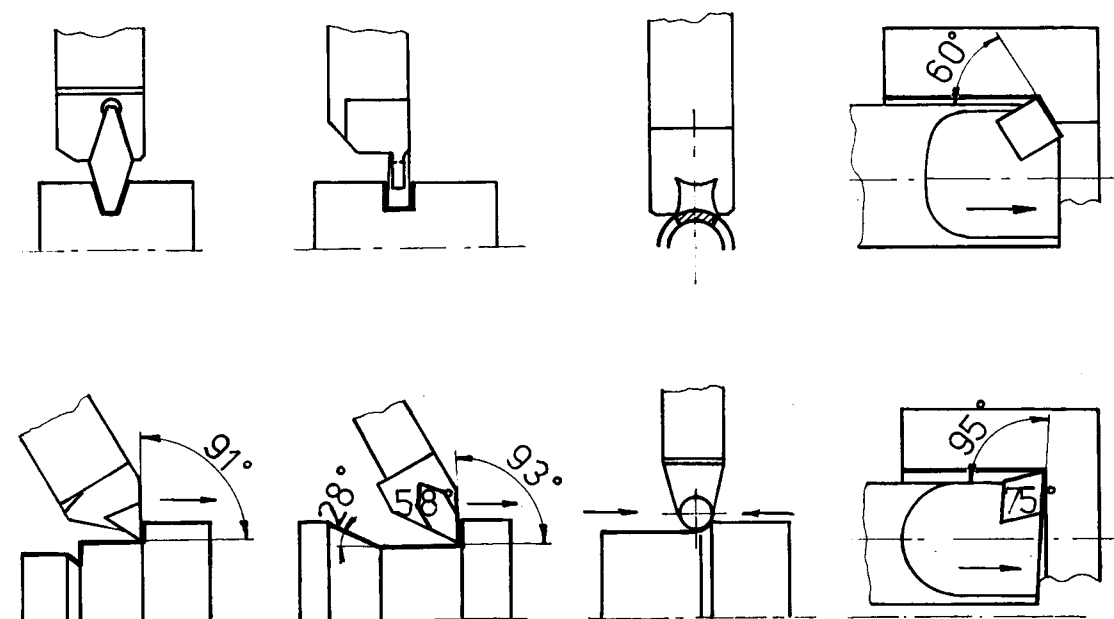
CCLNR, CCLNL

Obr. 2.10

Bylo by žádoucí, aby náš výrobce rozšířil sortiment vyráběných držáků o některé další speciální typy, jejichž použití je v hromadné a sériové výrobě při nasazení soustružnických automatů nezbytné.

Jako příklad dalších typů držáků uvádím část sortimentu výroby firmy Feldmühle.

/12/



Obr. 2.11

2.12 Podmínky přechodu z obrábění noži osazenými SK na obrábění řeznou keramikou

/5,8,14/

Použití keramických řezných nástrojů nemůže být provedeno úspěšně pouhým nahrazením dříve používaného nástrojového materiálu keramickými destičkami při zachování předešlých řezných podmínek. Rozdíl ve vlastnostech mezi keramickými a karbidovými nástroji je daleko větší, než mezi různými jakostmi karbidů a jednoduchý přechod z jednoho nástrojového materiálu na druhý má zpravidla za následek destrukci keramické destičky. Je nutné provést celkový rozbor parametrů obrábění a k úspěšné aplikaci řezné keramiky dodržet následující body.

Z hlediska stroje

- dostatečný výkon pohonného agregátu
- dostatečný rozsah otáček vřetena
- automatický pracovní chod
- plynulá změna posuvu
- vysoká tuhost stroje

- stabilní uchycení stroje
- spojky a brzdy obráběcích strojů konstruovány s vysokou frekvencí sepnutí
- napojení dopravníku třísek s velkou kapacitou
- spolehlivé a snadné upínání

Z hlediska nástroje

- oddálení břitu od povrchu obrobku při zpětném chodu
- vyjíždění z řezu při zastaveném posuvu sníženou rychlostí
- najíždění do řezu sníženou rychlostí
- malé vyložení nože z nožového držáku
- použití vhodného utvařeče
- malé upínací síly destiček
- čistota lůžka
- včasná výměna destičky
- při soustružení vysokou řeznou rychlostí má pracovat současně co nejméně břitů
- pro hrubování používat jen destičky s nejpevnějším břitem, t.j. čtvercové se záporným úhlem čela a poloměru špičky alespoň $r = 1,2\text{mm}$
- hloubku řezu volit větší než je tvarová nepřesnost obráběné součásti

Z hlediska obrobku

- sražení hran obrobku
- použití pro obrábění tvrdých materiálů
- neobrábíme nesymetrické součásti a součásti málo tuhé /dlouhé a tenké/

Z hlediska obsluhy a zavádění do výroby

- obsluha stroje potřebuje zaškolení aby si osvojila používání vysoce produktivních keramických materiálů
- zkušenosti získávat postupně při obrábění jednoduchých obrobků ze snadno obrobitelných materiálů /ocel, šedá litina/, teprve později přecházet na složitější případy obrábění
- analýza postupu obrábění
- přesná specifikace parametrů obrábění

2.13 Eliminace příčin poškození keramických destiček

/2,14/

Příčinami poškozování břitových destiček je vylamování ostří, tvoření výmolů, normální abrazivní opotřebení nebo zlomení. Pro odstranění těchto nežádoucích jevů /popř. pro jejich snížení/ jsou doporučovány následující úpravy

- při nadměrném tvoření výmolů na povrchu čela nástroje je vhodné snížit řeznou rychlost a uvažovat o event. aplikaci chladicí kapaliny
- při nadměrném abrazivním opotřebení na hřbetu destičky je vhodné snížit řeznou rychlost a uvažovat o event. aplikaci chladicí kapaliny
- při nadměrném vylamování ostří změníme:
hodnotu posuvu a použijeme destičku s dvojitou šíří negativní fazetky
provedeme honování fazetky
- při nadměrné tvorbě vrubů a rýh :
srazíme hranu na obrobku
použijeme, pokud to operace dovolí kotoučovou destičku
zmenšíme, je-li to možné úhel hlavního břitu nože na nulu
snížíme otáčky vřetena
- při lomech destičky redukuje řezné síly snížením hodnot posuvu, hloubky řezu nebo obojího. Vyloučíme jakékoliv chlazení, které může způsobit tepelný ráz. Efekty mechanických rázů je možno snížit zvýšením řezné rychlosti a snížením hodnoty posuvu.

2.14 Ekonomické předpoklady využití keramických řezných destiček

Dosavadní cena československých keramických řezných destiček se pohybuje okolo 35-43 Kčs za kus podle typu destičky. S růstem výroby by měla v budoucnu cena destiček klesat.

Trvanlivost jednoho břitu keramické destičky lze při plném využití stanovit řádově v minutách podle druhu obráběného materiálu a použité řezné rychlosti. S rostoucí řeznou rychlostí klesají celkové náklady na obrábění jednoho kusu. Pro hodnocení je směrodatné vyrobené množství kusů za dobu trvanlivosti a ne trvanlivost břitu./Nakladově optimál-

ní trvanlivost./ Zkrácení času obrábění keramikou je proti slinutému karbidu cca 3-5x. Keramické destičky lze po otužení přebrousit, vzhledem k nákladovosti této operace a k dalším problémům se tento postup doporučuje pouze velkoodběratelům destiček.

Cenové porovnání

Typ destičky: keramika SPK	Přibližná cena za lks	6-10 DM
keramika DIAS		35-43 Kčs
SK ČSSR	prům.	8 Kčs
SK ČSSR povlakovaný		10-12 Kčs
SK NDR povlakovaný		25 Kčs

Předností destiček z řezné keramiky je nedeficitnost, relativně nízká cena výchozího materiálu a měrná hmotnost, vedoucí k většímu počtu výrobků z jednotkového množství materiálu.

Problémy se zaváděním progresivní technologie obráběním řeznou keramikou spočívají částečně v nedůvěře pracovníků a v nevyhovujících strojích /nízké otáčky, malá tuhost, málo plynulé řazení/. Hlavním problémem byl zatím nedostatek těchto destiček, výhledový plán výroby by však měl odpovídat potřebám československých strojírenských podniků. Teoreticky se uvádí, že keramické materiály mohou nahradit asi 5-10% slinutých karbidů. K tomu je však třeba vytvořit podmínky již správnou volbou druhu výroby polotovarů bez vnitřních vad a s rovnoměrným přídavkem na obrábění, výrobou vhodných obráběcích strojů /otáčky $2000 \cdot \text{min}^{-1}$ a výše, výkon 30-50 kW, vysoká tuhost/ a především zajištěním dostatečného množství keramických destiček na československém trhu, v širokém sortimentu.

3. POSOUZENÍ UPÍNEK A UTVAŘEČŮ A NÁVRH NA ZMĚNU KONSTRUKCE

3.1 Namáhání keramických destiček

/9,10/

Mechanicky upínané keramické destičky jsou namáhány dvěmi vnějšími silami, řeznou silou a upínací silou.

V destičce tak vzniká trojí druh namáhání:

- namáhání od vlastní řezné síly, kterou obvykle nemůžeme konstrukcí upínacího systému ovlivnit. Ovlivnění je možné pouze změnou geometrie nástroje, utvařeče třísek a velikostí fazetky,
- namáhání od upínací síly, které lze ovlivnit vhodnou konstrukcí přenosového prvku, jako je upínka, utvařeč apod.,
- namáhání způsobené dvojicí vnějších sil a jejich reakcí, které je ohybového charakteru. Velikost tohoto namáhání závisí zejména na poloze a velikosti upínací síly, na poloze reakce od řezné síly a upínací síly a na tvaru dosedací plochy břitové destičky a podložky.

Všeobecně je známo, že řezná keramika je materiál o vysoké tvrdosti a pevnosti v tlaku, malé pevnosti v tahu a ohybu a že její modul pružnosti v tahu je poměrně malý. Jeho hodnoty se přibližují k modulu pružnosti oceli. Z toho vyplývá, že jeho velikost leží mezi modulem slinutého karbidu a oceli.

Tyto vlastnosti způsobují, že nástroje s řeznou keramikou vyžadují některé zvláštní konstrukční úpravy oproti běžným nástrojům ze slinutých karbidů.

3.1.1 Vliv polohy upínací síly

Nezávisle na konstrukčním provedení uložení platí přímá závislost mezi velikostí tahového napětí na čele destičky a vzdáleností místa upnutí od působíště řezné síly. To znamená, že čím blíže je působíště upínací síly k místu působení řezné síly, tím se zmenšuje ohybové namáhání břitové destičky. Z tohoto důvodu je vhodné pro nástroje osazené řeznou keramikou volit působíště upínací síly v oblasti těžiště destičky nebo ještě blíže k působíšti řezné síly. T touto úpravou

lze docílit úplné eliminace tahového namáhání z čela destičky. Stabilita břitové destičky se za předpokladu odlehčení lůžka touto úpravou nesníží - viz dále. Určitým omezujícím faktorem je možnost kolize čela upínky s odcházející třískou, avšak při použití příložného utvařeče by nemělo být toto problémem.

Vliv polohy upínací síly na rozložení napětí v břitové destičce je patrný z následujících obrázků.

Působení nevhodného tahového napětí na čele ovlivňuje i absolutní velikost upínací síly F_u vzhledem k velikosti řezné síly F . Podle výsledků měření je optimální velikost upínací síly v intervalu

$$F_u = / 0,2 - 0,5 / F_{\max}$$

kde $F_{\max}$ je maximální řezná síla, o které předpokládáme, že se při obrábění vyskytne.

Přechod na tyto malé upínací síly u řezných nástrojů je v souladu se světovým trendem a stále širším uplatňováním řezné keramiky. Snížení upínacích sil však vyžaduje splnění některých dalších podmínek jako je odlehčení v podložce a lůžku a dodržení vysoké rovinnosti.

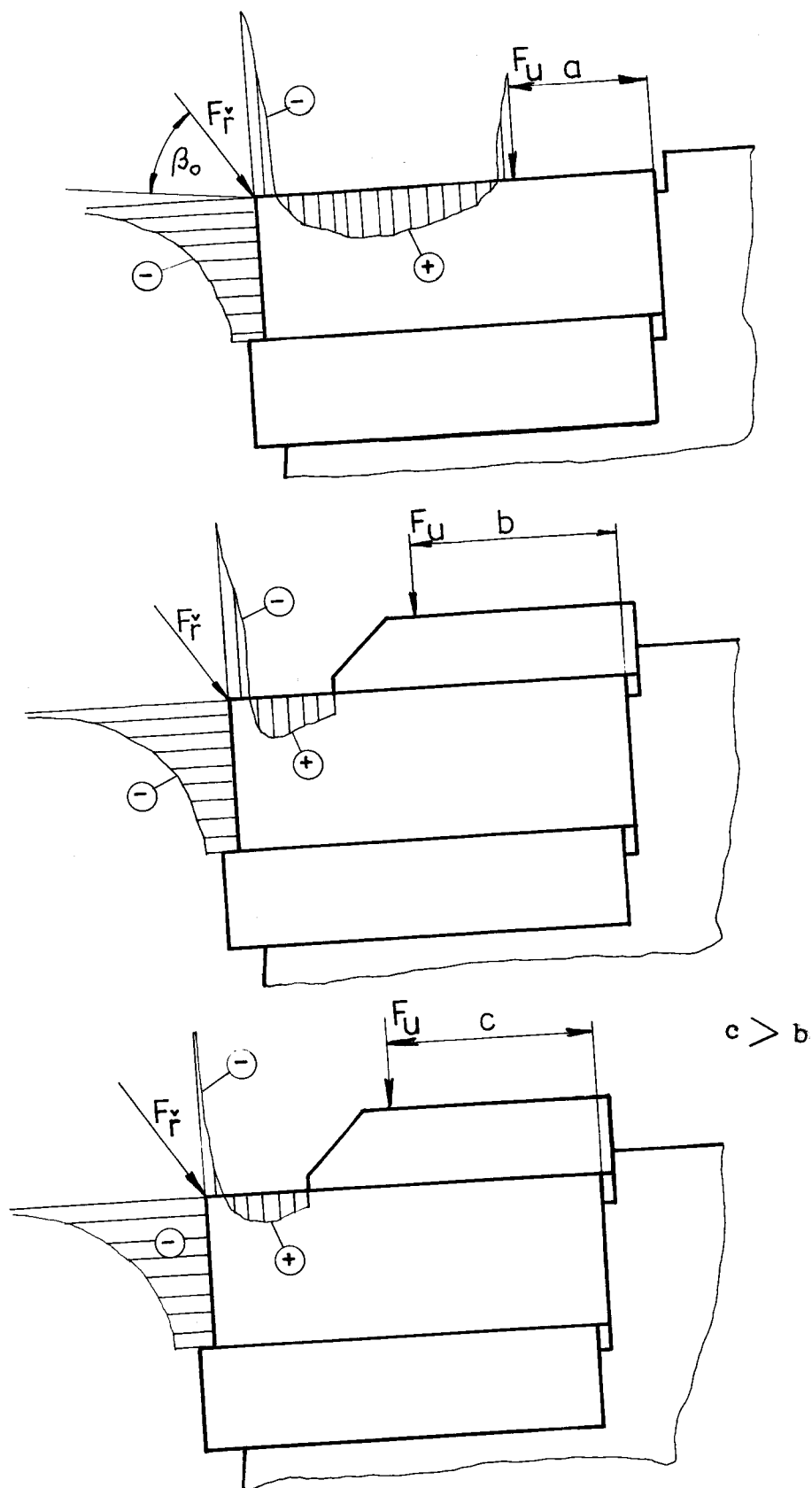
3.1.2 Vliv úhlu působení řezné síly $/F_r/$

Druhou možností jak snížit tahové napětí na čele je zmenšit úhel β_0 . Ten můžeme snížit zvětšením fazetky, která však způsobuje zvětšení radiálních a axiálních složek řezného odporu.

3.1.3 Ohybová pevnost destičky a vliv kvality povrchu

Zjišťujeme-li ohybové napětí v keramické destičce, docházíme k závěru, že již poměrně malá síla F_u způsobí v prohýbané destičce značné ohybové napětí - tab.3.1. Meze pevnosti v ohybu $/\sigma_o = 300-500\text{MPa}/$ je dosaženo při síle cca 6000-10000 N, přitom průhyb břitové destičky je asi 0,002-0,003 mm, tedy velice malý. Aby nemohlo být tohoto průhybu dosaženo /dosaženo odpovídajícího ohybového napětí/ je třeba

Obr. 3.1. Vliv použití utvařeče na velikost tahových napětí



Tab. 3.1

Upínací síla	Max.napětí v ohybu	Průhyb
F_u /N/	σ_o /MPa/	y /mm/
2 000	110	0,0006
4 000	220	0,0013
6 000	330	0,0018
8 000	440	0,0025
10 000	550	0,0032

zajistit úchylky rovinnosti max.0,002mm. Pro zachování bezpečnosti je žádoucí dodržet rovinnost v rozsahu do 0,001mm. Tento požadavek je oprávněný zejména u destiček s otvorem. Tyto hodnoty jsou v souladu s dosahovanou rovinností destiček a nožových držáků předních výrobců /Feldmühle, Krupp/. Maximální odchylky destiček těchto firem se pohybují v rozsahu 0,0005mm.

Požadavky na rovinnost ovlivňuje

- materiál řezné destičky, podložky a tělesa nože
- velikost styčných ploch
- tloušťka destičky a podložky
- zatížení nástroje

3.1.4 Vliv materiálu podložky na ohybové namáhání destičky

Všechny nože vyráběné k.p.Nářadí Děčín jsou vybaveny podkladovými destičkami ze slinutého karbidu. Tyto destičky mají až 2x vyšší modul pružnosti než řezná keramika. Z tohoto vyplývá, že při deformování styčných ploch dochází především k deformaci destičky a podložka se na celkové deformaci účastní minimálně, což je pro namáhání destičky značně nepříznivé. Kdyby měl podkladový materiál srovnatelný nebo nižší modul pružnosti E , docházelo by k rovnocenným deformacím

a tím i k rychlejšímu snižování ohybových ramen, a tím ke snižování ohybových momentů - obr. 3.3 .

S ohledem na tuto skutečnost by bylo velice vhodné u držáků NAREX realizovat podkladovou destičku z kalené oceli /E o 1/3 nižší než u keramické destičky/, která by značně snižovala ohybová namáhání keramických destiček. Rovinností styčných ploch je myšlena součtová odchylka rovinností obou stýkajících se povrchů. Proto je třeba požadavku na rovinnost vhodně rozdělit mezi obě plochy. Vypoukllost plochy považujeme za velmi nebezpečnou, vydutost lze naopak připustit i několikrát vyšší než jsou uvedené hodnoty.

3.1.5 Odlehčení lůžka a podložky

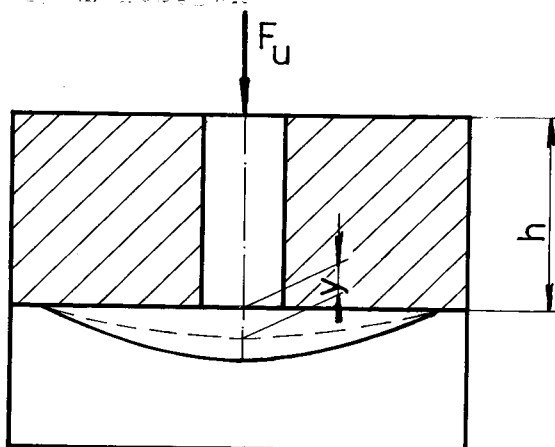
Snížení nepříznivého namáhání keramických destiček, především tahového napětí na čele můžeme dosáhnout konstrukcí odlehčení dosedacích ploch. Na následujících obrázcích jsou znázorněny průběhy povrchových napětí na volných povrchových plochách břitové destičky v závislosti na odlehčení.

Významnou roli hraje odlehčení dosedací plochy v tělese nástroje. Podložka je v tomto případě však značně namáhána, proto je vhodné i odlehčení styčné plochy mezi destičkou a podložkou. Tímto opatřením se sníží tahové napětí na čele a tahová napětí na spodní hraně břitové destičky nebezpečná.

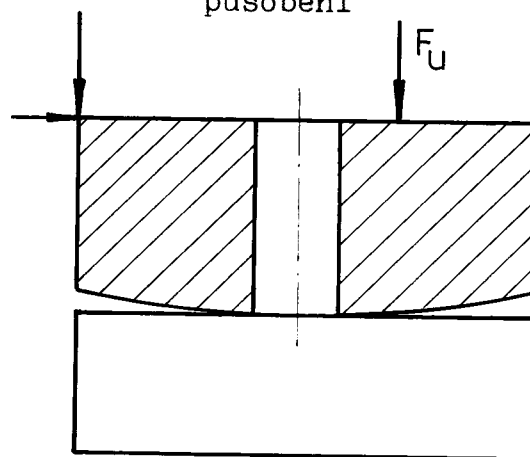
Na velikosti odlehčení závisí velikost kontaktních tlaků ve styčných plochách. Se zvětšujícím se odlehčením vzrůstá i velikost tlaku, u většiny nástrojů však nezpůsobí i odlehčení o velikosti vepsané kružnice /maximální/ vzrůst kontaktních tlaků nad přijatelné hodnoty.

Velikost odlehčení lze volit podle tabulky 3.2.

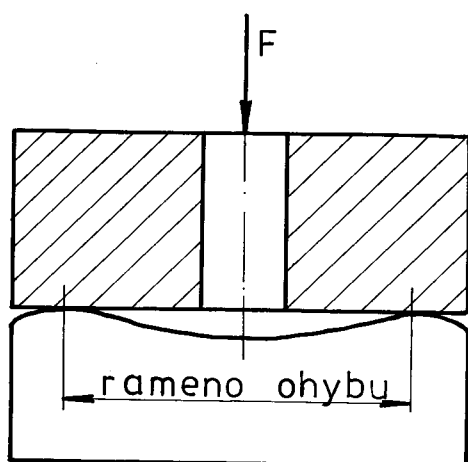
Obr. 3.2 a/ k Tab.3.1
a/ k Tab.3.1



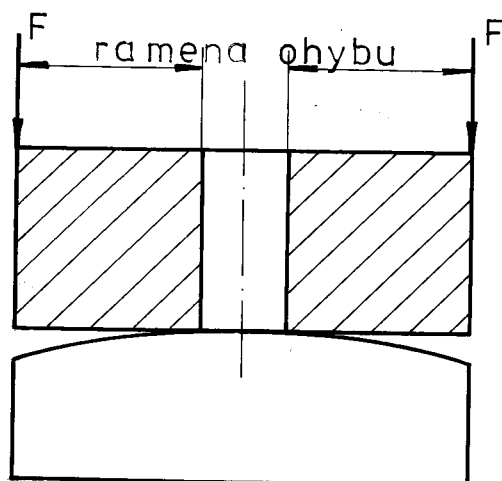
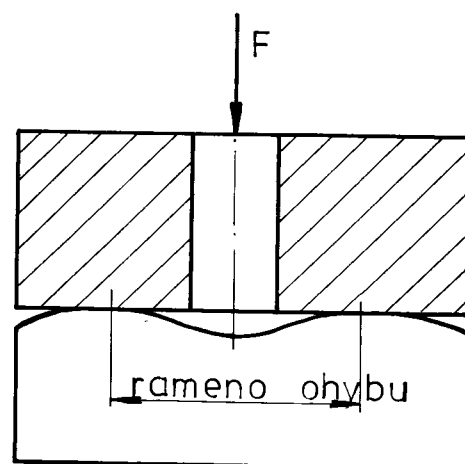
b/ příklad skut.situace silového působení



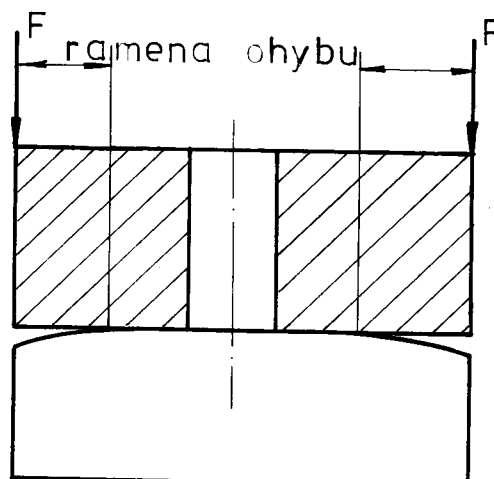
Obr. 3.3 Vliv modulu pružnosti v tahu na velikost ohybových napětí v keramické destičce



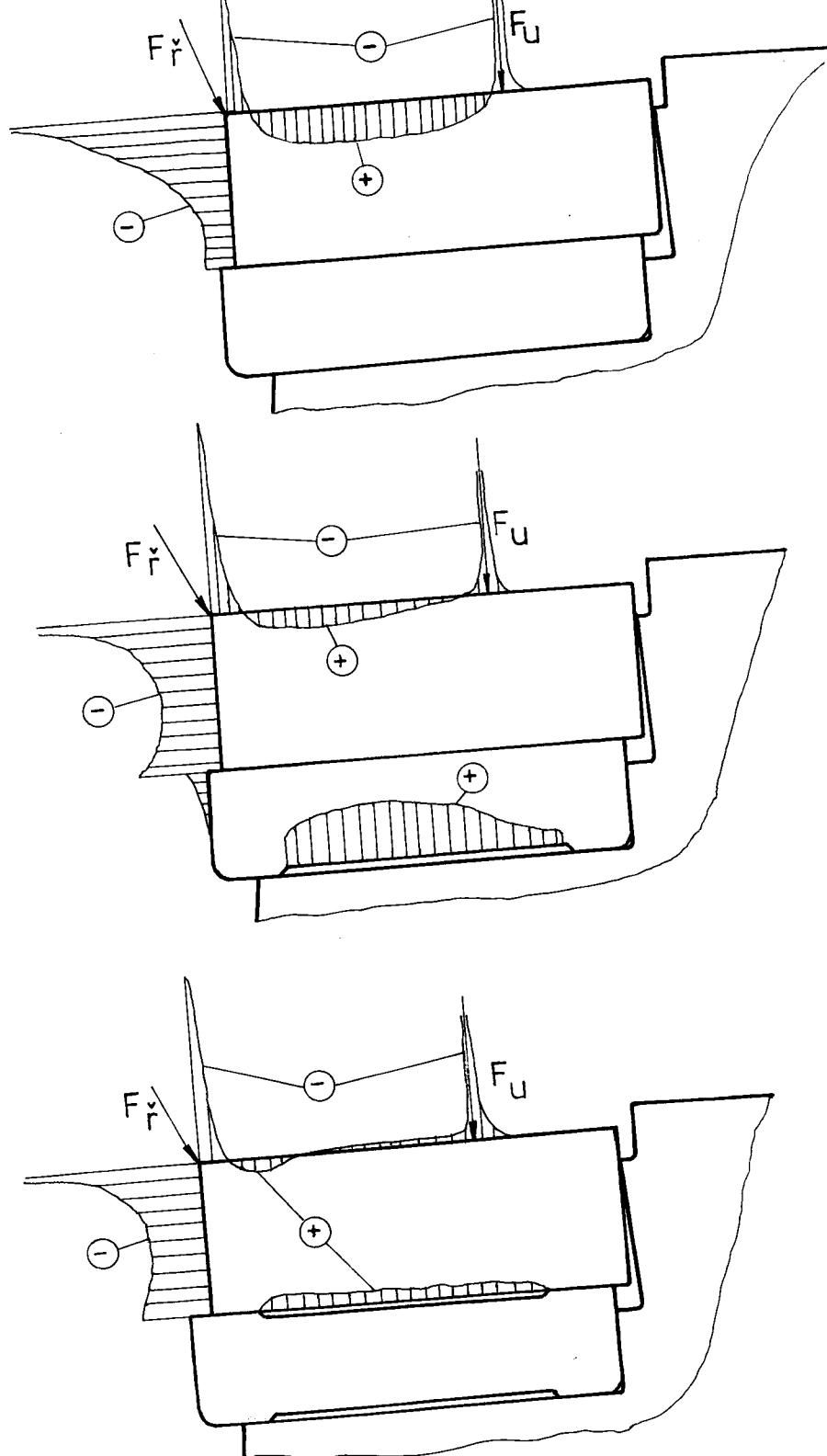
$E > E$



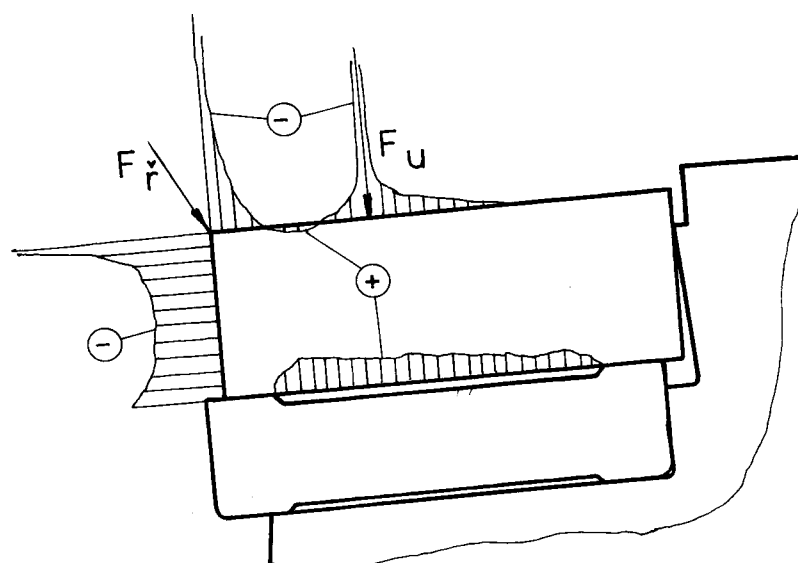
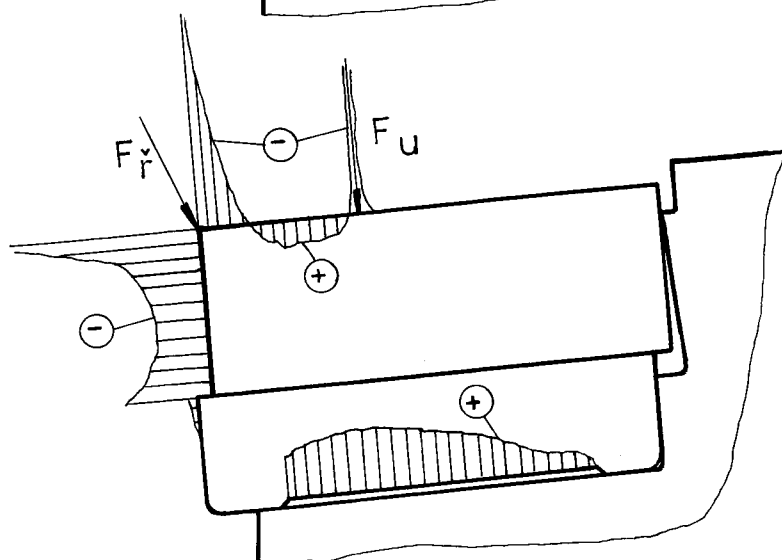
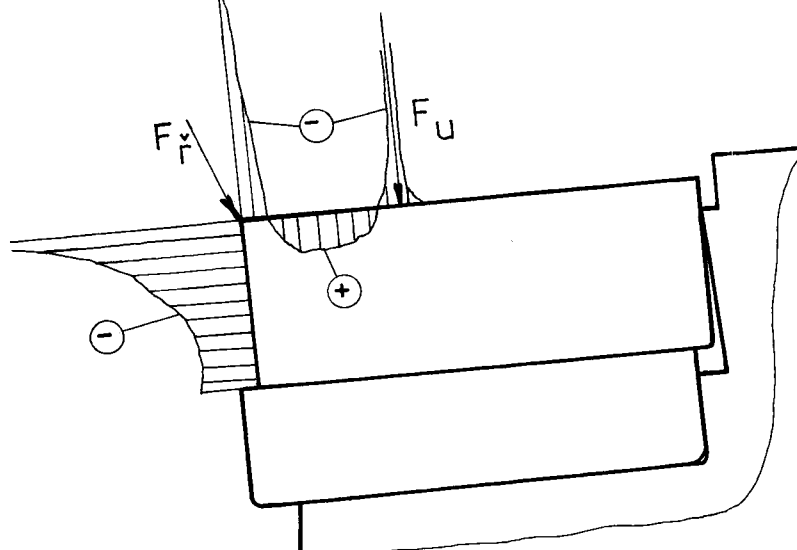
$E > E$



Obr. 3.4 Vliv odlehčení na průběh tahových a tlakových napětí v podložce a břitové destičce



pokrač. obr.3.4



3.2 Porovnání československých držáků NAREX s držáky firem
Feldmühle a Widax /9,13/

Porovnány byly následující držáky:

NAREX	pravý uběrací nůž $\alpha_r = 75^\circ$, čtvercová destička
	pravý stranový nůž $\alpha_r = 92^\circ$, trojúhel. destička
Feldmühle	-"-
Widax	-"-

Z rozboru naměřených hodnot lze vyvodit tyto závěry:

- úchylka rovinnosti destiček
U destiček firem Feldmühle a Widax se tyto úchylnky pohybovaly v hodnotách max. 0,001mm. Destičky DISAL dřívějšího data mají tyto hodnoty vyšší /až o 1 řád/, u destiček pozdějšího data /1982/ leží úchylnky rovinnosti většinou v požadovaném rozmezí.
- úchylka rovinnosti podložky
U držáků zahraničních firem byla úchylka rovinnosti podložky značně menší než u čsl. držáků.
- úchylka rovinnosti lůžka
byla u držáků NAREX přibližně stejná jako u zahraničních držáků
- materiál podložky
Firma Feldmühle používá výhradně podložky z oceli o tvrdosti 60-65 HRC /tyto ocelové podložky firma používá i u dalších typů držáků/, k.p. Náradí a Widax používají podložky výhradně z SK.
- odlehčení dosedacích ploch
je realizováno u všech firem /NAREX ϕ 6,5mm, Feldmühle ϕ 6,5mm, Widax ϕ 6mm/. Feldmühle používá navíc odlehčení v lůžku držáku / ϕ 6,5mm/.
- utvařecí třísek-u držáků Feldmühle a Widax je utvařecí stavitelný a kvalita dosedací plochy utvařeče vyšší než u držáků NAREX.

- působíště upínací síly

U zahraničních držáků je působíště upínací síly rozloženo do přímky. Pouze NAREX používá bodového dotyku upínky. Působíště síly u zahraničních držáků je navíc posunuto blíže ke středu destičky nebo dokonce za střed směrem k řezné hraně. U firmy Feldmühle může sice při úplně zasunutém utvařeči třísek působit upínací síla na stejném místě jako u držáků NAREX, ale vliv této nevhodné polohy je eliminován materiálem podložky a odlehčením podložky na obou styčných plochách.

U držáků firmy Widax je ohybové namáhání potlačováno vhodnou polohou upínací síly a dokonalým rovinným dotykem destičky a podložky a destičky a utvařeče třísek.

3.3 Návrh konstrukčních úprav držáků NAREX

/9,10/

Z výsledků rozborů a porovnání našich držáků s držáky předních světových výrobců vyplývá možnost následujících úprav:

- nahrazení podložky z SK podložkou z kalené oceli /60-65 HRc/. Rozměry podložky by měly odpovídat dosavadním rozměrům podložek z SK, případně by bylo vhodné jejich tloušťku zvětšit cca o 50% /tlustší podložky by lépe eliminovaly nerovnosti dosedací plochy v lůžku držáku/.
- dodržení rovinnosti dosedací plochy pro břitovou destičku s úchytkami max.0,001mm, dodržení rovinnosti dosedací plochy podložky pro uložení v lůžku držáku s úchytkami max.0,01mm.
- realizace odlehčení dosedacích ploch. Touto úpravou lze částečně snížit nároky na rovinnost dosedacích ploch. Odlehčení realizovat v dosedací ploše břitové destičky i v dosedací ploše podložky a tělesa nástroje.

Viz tab. 3.2

Tab. 3.2

Průměr vepsané /mm/ kružnice břit.dest.	Průměr odlehčení podložky /mm/	Průměr odlehčení v tělese /mm/
5,55	3	3
6,35	3	3
9,52	5	min 4
12,7	7	min 6
15,88	9	min 8

- dodržení rovinnosti dosedací plochy utvařeče v rozmezí srovnatelném s hodnotami u břitových destiček a použití co nejširších utvařečů
- posunutí působíště upínací síly do středu /nebo ještě blíže k řezné hraně/ břitové destičky. Tuto úpravu lze realizovat na stávajícím držáku NAREX dvěma způsoby:
 - a/ posunutím osy upínacího šroubu
 - b/ prodloužením ramene upínky

3.3.1 Realizované konstrukční úpravy upínky a nožového držáku CTGNR 25 x 25 M16 K

V rámci této diplomové práce byla provedena a odzkoušena úprava b/.

Úprava upínky a utvařeče

Působíště upínací síly při použití stávající upínky leží za středem břitové destičky a způsobuje v ní nepříznivá tahová napětí. Z tohoto důvodu byl upínací bod posunut za střed destičky směrem k řezné hraně, což bylo realizováno prodloužením přední části upínky o 1,5mm. Tímto prodloužením se upínací bod však dostal na hranu utvařeče, kde by mohlo docházet k jeho kolizi s odcházející třískou. Proto

bylo provedeno snížení utvařeče na tloušťku 2,6mm, čímž se jeho hrana posunula o 0,7mm od čela upínky. Vlivem prodloužení upínky dochází ke zvýšení max. ohybového napětí v kritickém průřezu upínky. Z tohoto důvodu byla zvětšena výška upínky na 8,5mm a provedena její pevnostní kontrola.

Úprava nožového držáku

Vlivem prodloužení upínky dochází k vyosení upínacího bodu. Aby bylo toto odstraněno je nutno podélnou osu upínky natočit cca o 15° a vrátit tak upínací bod na podélnou osu utvařeče. Z tohoto důvodu bylo na nožovém držáku vyfrézováno zahloubení o $\varnothing$ 8mm, které toto natočení umožňuje. Hloubka zahloubení je oproti původní drážce zvětšena o 0,7mm, aby byla zachována kolmost osy šroubu a podélné osy upínky. Při nedodržení tohoto požadavku by mohlo docházet ve šroubu k přídatným ohybovým napětím, která by mohla převyšovat napětí na mezi kluzu materiálu šroubu.

Výkres upravené upínky a úprava nožového držáku jsou uvedeny jako příloha.

3.4 Pevnostní kontrola upínky a upevňovacího šroubu /6/

Upínka i upevňovací šroub jsou namáhány jednak od upínací síly, vyvozené utahovacím momentem při dotahování šroubu a dále zatížením, které vzniká od nerovnoměrného ohřevu jednotlivých elementů. Vzhledem k nízkému součiniteli tepelné vodivosti pro řeznou keramiku, jsou síly, vyvolané tepelným zatížením v porovnání se silami od utahovacího momentu poměrně malé a na celkovém zatížení se podílí malou měrou /asi $\frac{1}{4}$ /.

Výpočet je proveden nejprve orientačně pro absolutně tuhé elementy a v druhé části výpočtu jsou uvažovány pružné deformace jednotlivých členů. Vzhledem k celé řadě zjednodušujících předpokladů je vhodné uvažovat vyšší bezpečnost $/k = 2-3/$ šroubu a upínky.

Hodnoty teplot jednotlivých částí nože byly získány od pracovníků VÚOSO Praha a jsou přibližné.

3.4.1 Výpočet šroubu za předpokladu absolutně tuhých ostatních částí nože

Nože NAREX pro řeznou keramiku mají upínací šroub M6 s vnitřním šestihranem. Utahovací moment je dle doporučení $M = 6 \text{ Nm}$. Tímto momentem překonáváme tření v závitech a tření ve stykové ploše mezi hlavou šroubu a upínkou.

$$M = 0,5Q \cdot D_o (\operatorname{tg} \alpha + f_1) + 0,5Q \cdot D_s \cdot f_2 \quad \text{Nm}$$

kde

Q osová síla ve šroubu

$D_o = 5,35 \text{ mm}$ střední ϕ závitu M6

$D_s = 7,8 \text{ mm}$ střední ϕ stykové plochy

$f_2 = f = 0,15$... součinitel tření ve stykové ploše

$f_1 = 1,15f = 0,173$... součinitel tření v závitech

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s}{\pi \cdot D_o} = \frac{1}{\pi \cdot 5,35} = 0,0594$$

kde $\operatorname{tg} \alpha$... je tg úhlu stoupání závitu M6

s je stoupání závitu M6

Velikost osové síly je pak

$$Q = \frac{2M}{D_o \cdot (\operatorname{tg} \alpha + f_1 + \frac{D_s}{D_o} \cdot f_2)} =$$

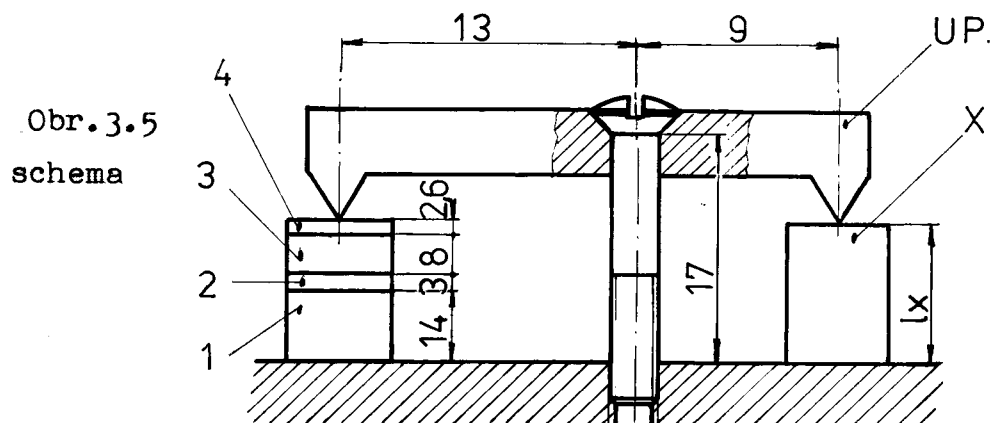
$$= \frac{2 \cdot 6}{0,00535 (0,0594 + 0,173 + 0,15 \cdot \frac{0,0078}{0,0053})} = 4972,4 \text{ N}$$

Plocha průřezu jádra šroubu M6 $S_j = 20,1 \text{ mm}$

Velikost tahového napětí ve šroubu

$$\sigma_Q = \frac{Q}{S_j} = \frac{4972,4}{20,1} = 247,383 \text{ MPa}$$

Zatížení od nerovnoměrného ohřevu držáku



Přibližné teploty jednotlivých částí nožového držáku:

$$\Delta T_1 = 80^\circ$$

$$\Delta T_2 = 200^\circ$$

$$\Delta T_3 = 300^\circ$$

$$\Delta T_4 = 250^\circ$$

$$\Delta T_s = 100^\circ$$

$$\Delta T_x = 60^\circ$$

Součinitele tepelné roztažnosti

$$\alpha_1 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ grad}^{-1} \text{ ocel}$$

$$\alpha_2 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ grad}^{-1} \text{ řezná keramika}$$

$$\alpha_3 = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ grad}^{-1} \text{ slin, karbid}$$

$$\Delta l_1 = \alpha_1 \cdot T_1 \cdot l_1 = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 14 \cdot 80^\circ = 0,0134 \text{ mm}$$

$$\Delta l_2 = \alpha_3 \cdot T_2 \cdot l_2 = 5,5 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 200^\circ = 0,0033 \text{ mm}$$

$$\Delta l_3 = \alpha_2 \cdot T_3 \cdot l_3 = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 8 \cdot 300^\circ = 0,019 \text{ mm}$$

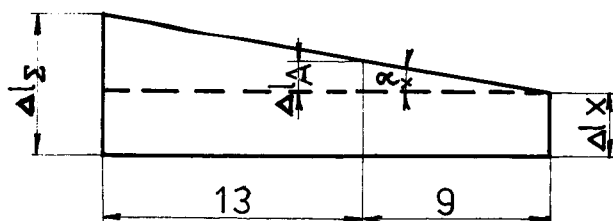
$$\Delta l_4 = \alpha_3 \cdot T_4 \cdot l_4 = 5,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2,6 \cdot 250^\circ = 0,0035 \text{ mm}$$

$$\Delta l_\Sigma = 0,04 \text{ mm}$$

$$\Delta l_s = \alpha_1 \cdot T_3 \cdot l_s = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 17 \cdot 100^\circ = 0,02 \text{ mm}$$

$$\Delta l_x = \alpha_1 \cdot T_x \cdot l_x = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 30 \cdot 60^\circ = 0,021 \text{ mm}$$

Prodloužení šroubu vlivem tepelné deformace tuhých částí



$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{0,18}{22} = 0,0008$$

$$\alpha_x = 0,047^\circ$$

$$\Delta l = \Delta l_A + \Delta l_x = 0,007 + 0,021 = 0,028 \text{ mm}$$

$$\delta = \Delta l - \Delta l_s = 0,028 - 0,02 = 0,008 \text{ mm}$$

Toto prodloužení vyvolá osovou sílu ve šroubu F_0 kterou určíme ze vztahu

$$\delta = \frac{F_0}{E} \cdot \left(\frac{c_1 + 0,5m}{S_j} + \frac{c_2}{S} \right) = \frac{F_0}{2,1 \cdot 10^5}$$

$$\cdot \left(\frac{3,14 + 0,5 \cdot 8,8}{20,1} + \frac{5}{22,3} \right) = F_0 \cdot 2,85 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$$

kde $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ modul pružnosti materiálu šroubu

$c_1 = 3,14 \text{ mm}$ délka natahované části šroubu se závitem

$c_2 = 5 \text{ mm}$ délka dříku

$S_j = 20,1 \text{ mm}^2$ plocha průřezu jádra šroubu

$S = 22,3 \text{ mm}^2$ plocha průřezu dříku

$m = 8,8 \text{ mm}$ délka zašroubované části šroubu

$$F_0 \cdot 2,85 \cdot 10^{-6} = 0,008 \text{ mm}$$

$$F_0 = \frac{\delta}{k} = \frac{0,008}{2,85 \cdot 10^{-6}} = 2807 \text{ N}$$

Tato síla vyvolává ve šroubu napětí

$$\sigma_{F_0} = \frac{F_0}{S_j} = \frac{2807}{20,1} = 139,6 \text{ MPa}$$

Pak výsledné napětí ve šroubu od síly F_0 a Q bude

$$\sigma_0 = \sigma_Q + \sigma_{F_0} = 247,383 + 139,6 = 387,052 \text{ MPa}$$

Materiál šroubu - 14240, $\sigma_k \approx 950 \text{ MPa}$

Bezpečnost k mezi kluzu σ_k je

$$s = \frac{\sigma_k}{\sigma_0} = \frac{950}{387} = 2,454$$

3.4.2 Výpočet podle skutečnosti

V této části opouštíme předpoklad dokonale tuhých elementů a uvažujeme jejich pružné deformace.

Tahová síla působící v ose šroubu Q zůstává stejná, neboť její velikost je funkcí třecích podmínek, utahovacího momentu a rozměrů šroubu $/D_0, D_s, \alpha /$. Nemění se tedy ani napětí ve šroubu $\sigma_Q = 247,38 \text{ MPa}$.

Další výpočet se tedy vztahuje na určení napětí, které vyvolá upínací síla Q a tepelné zatížení v upínce. Upínku považujeme za prostě podepřený nosník, přestože nesplňuje všechny předpoklady výpočtu prostě podepřených nosníků /vznik víceosé napjatosti, atd/.

Výpočet provádíme pomocí redukovaných momentů s použitím mohrovy metody.

Zatížení od nerovnoměrného ohřevu držáku

Vzhledem k poddajnosti spojovaných částí se nebude šroub vlivem ohřátí prodlužovat o celou délku

$$\delta = \Delta l - \Delta l_g = 0,008 \text{ mm}$$

Vzniklá síla F bude o něco menší než síla F_0 a stanovíme ji z deformační podmínky

$$|\delta| = |\delta_{\text{št}}| + |w|$$

kde $\delta_{\text{št}}$ prodloužení šroubu od síly F , které je vyvoláno tepelnými dilatacemi

w průhyb upínky v místě, kde působí síla F

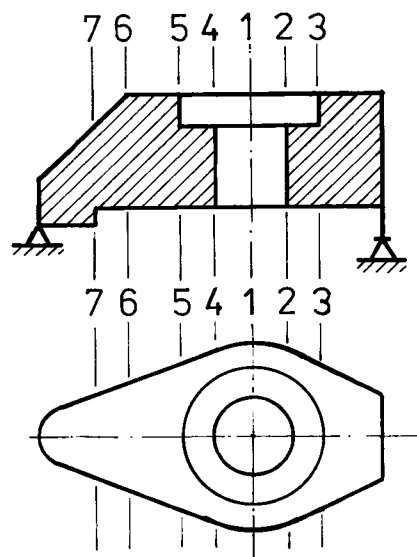
$$\delta_{\text{št}} = \frac{F}{E} \left(\frac{c_1 + 0,5m}{S_j} + \frac{c_2}{S} \right)$$

$$\delta_{\text{št}} = F \cdot 2,85 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$$

Určení momentů setrvačnosti vyznačených průřezů

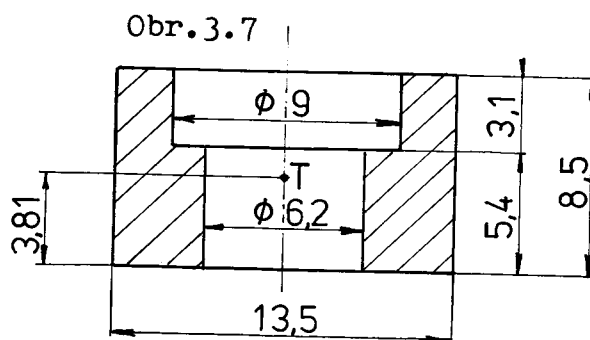
Upínku nahradíme zjednodušeným modelem. Budeme uvažovat skokové změny průřezu a zanedbáme některé průběžné změny průřezu /měnící se šířka v rámci jednoho intervalu mezi řezy atd/.

Obr. 3.6



- řez 1 - 1

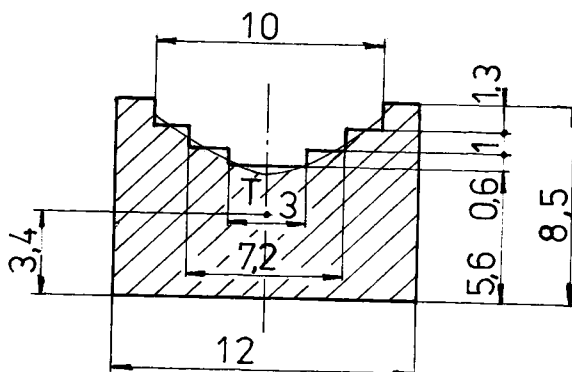
$$J_1 = 290 \text{ mm}^4$$



- řez 2 - 2 a

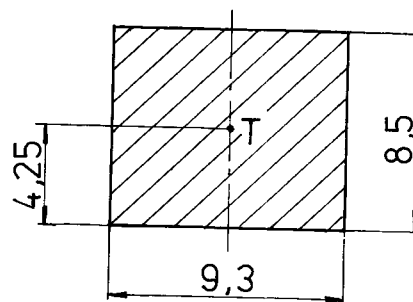
řez 4 - 4

$$J_2 = J_4 = 376 \text{ mm}^4$$



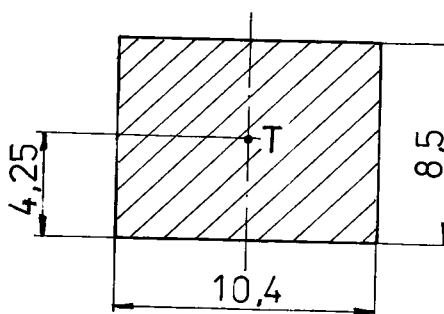
- řez 3 - 3

$$J_3 = 476 \text{ mm}^4$$



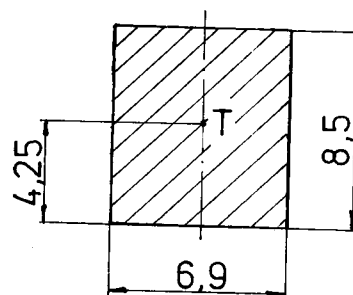
- řez 5 - 5

$$J_5 = 532,24 \text{ mm}^4$$



- řez 6 - 6

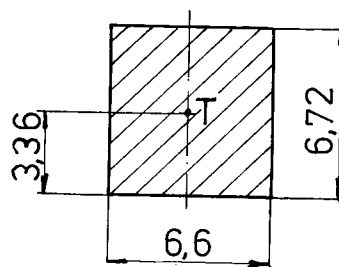
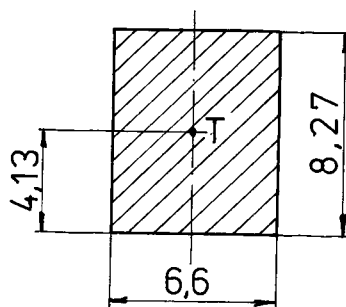
$$J_6 = 353,12 \text{ mm}^4$$



- řez 7 - 7

$$J_6 = 167 \text{ mm}^4$$

$$J_6 = 311 \text{ mm}^4$$



Maximální ohybové napětí vzniká uprostřed upínky v kritickém průřezu 1 - 1.

$$\sigma_{oQ} = \frac{M_1}{W_{o1}}$$

kde $M_1 = R_a \cdot a = 0,59 F \cdot a = 2938 \cdot 0,009 = 26,4 \text{ Nm}$

$$W_{o1} = \frac{J_1}{h - y_T} = \frac{290}{8,5 - 3,81} = 62,77 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{oQ} = \frac{26442,6}{62,77} = 421,29 \text{ MPa}$$

Výpočet redukované momentové plochy .

Vzhledem k tomu, že se jedná o nosník s proměnným průřezem, užijeme redukované ohybové momenty a tento nosník nahradíme nosníkem s průřezem vyznačeným v ř.1 - 1 a získáme takto náhradní nosník, který se deformuje stejně, jako nosník původní.

$$M_{red_i} = M_i \cdot \frac{J_1}{J_i}$$

$$M_1 = R_a \cdot a = 0,59 \text{ F} \cdot 0,009 = 0,00531 \text{ F Nm}$$

$$M_2 = R_a \cdot (a - a_3) = 0,59 \text{ F} \cdot 0,0059 = 0,00348 \text{ F Nm}$$

$$M_{2r} = M_2 \cdot \frac{J_1}{J_2} = 0,59 \text{ F} \cdot 0,0059 \cdot \frac{290}{376} = 0,00268 \text{ F Nm}$$

$$M_{3r} = M_3 \cdot \frac{J_1}{J_2} = 0,59 \text{ F} \cdot 0,0045 \cdot \frac{290}{376} = 0,00205 \text{ F Nm}$$

$$\bar{M}_{3r} = M_3 \cdot \frac{J_1}{J_3} = 0,59 \text{ F} \cdot 0,0045 \cdot \frac{290}{476} = 0,00162 \text{ F Nm}$$

$$M_4 = R_b \cdot (b - a_3) = 0,409 \text{ F} \cdot 0,0099 = 0,00405 \text{ F Nm}$$

$$M_{4r} = M_4 \cdot \frac{J_1}{J_4} = 0,409 \text{ F} \cdot 0,0099 \cdot \frac{290}{376} = 0,00312 \text{ F Nm}$$

$$M_{5r} = R_b \cdot (a_4 + a_5 + a_6) \cdot \frac{J_1}{J_4} = 0,409 \text{ F} \cdot 0,0035 + 0,002$$

$$+ 0,003 \cdot \frac{290}{376} = 0,00268 \text{ F Nm}$$

$$\bar{M}_{5r} = R_b \cdot (a_4 + a_5 + a_6) \cdot \frac{J_1}{J_5} = 0,409 \text{ F} \cdot 0,0085 \cdot$$

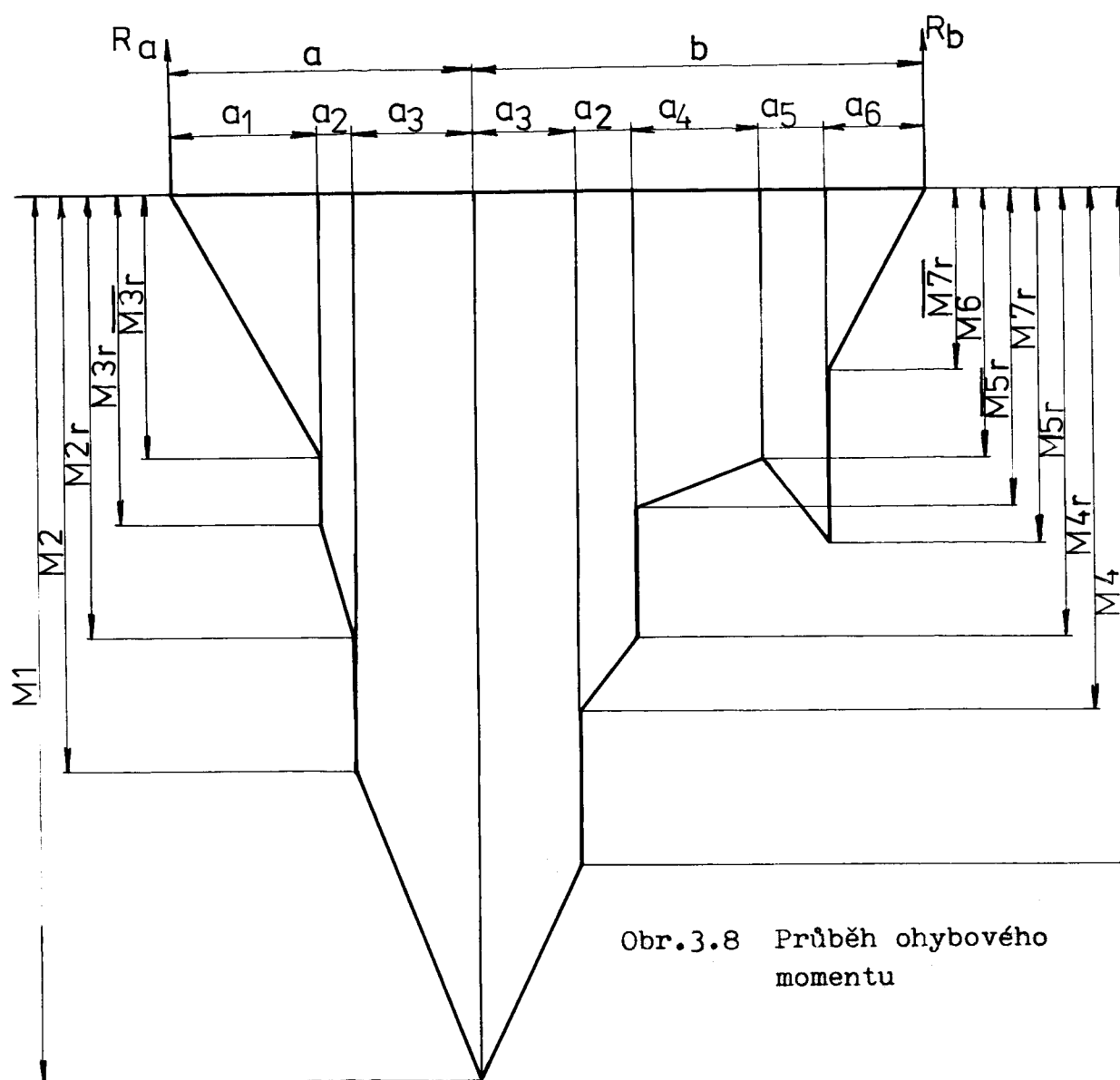
$$\frac{290}{532} = 0,00189 \text{ F Nm}$$

$$M_6 = R_b \cdot (a_5 + a_6) \cdot \frac{J_1}{J_6} = 0,409 F \cdot 0,005 \cdot \frac{290}{353,12} =$$

$$= 0,0016 F \text{ Nm}$$

$$M_{7r} = R_b \cdot a_6 \cdot \frac{J_1}{J_7} = 0,409 F \cdot 0,003 \cdot \frac{290}{167} = 0,0021 F \text{ Nm}$$

$$\bar{M}_{7r} = R_b \cdot a_6 \cdot \frac{J_1}{\bar{J}_7} = 0,409 F \cdot 0,003 \cdot \frac{290}{311} = 0,0011 F \text{ Nm}$$



Obr.3.8 Průběh ohybového momentu

Určení průhybu nosníku

Výpočet je proveden Mohrovou metodou, pro jejíž aplikaci budeme potřebovat velikost fiktivní reakce sdruženého nosníku v místě A. Stanovíme ji z rovnice rovnováhy momentů k bodu B. Redukovanou momentovou plochu považujeme za zatížení fiktivního nosníku.

$$\begin{aligned}
 R_a \cdot (a + b) &= 0,5 \cdot a_1 \cdot \bar{M}_{3r} \cdot \left((a + b) - \frac{2}{3} \cdot a_1 \right) + \\
 &M_{3r} \cdot a_2 \left((a + b) - a_1 - \frac{a_2}{2} \right) + 0,5 (M_{2r} - M_{3r}) \cdot a_2 \cdot \\
 &\left((a + b) - a_1 - \frac{2}{3} \cdot a_2 \right) + M_2 \cdot a_3 \left(b + \frac{a_3}{2} \right) + 0,5 (M_1 - \\
 &M_2) \cdot a_3 \left(b + \frac{a_3}{3} \right) + M_4 \cdot a_3 \left(b - \frac{a_3}{2} \right) + 0,5 (M_1 - M_4) \cdot \\
 &a_3 \left(b - \frac{a_3}{3} \right) + M_{5r} \cdot a_2 \left(b - a_3 - \frac{a_2}{2} \right) + 0,5 \cdot (M_{4r} - M_{5r}) \\
 &a_2 \left(b - a_3 - \frac{a_2}{3} \right) + M_6 \cdot a_4 \cdot \left(a_6 + a_5 + \frac{a_4}{2} \right) + 0,5 (\bar{M}_{5r} \\
 &- M_6) \cdot a_4 \left(a_6 + a_5 + \frac{2}{3} \cdot a_4 \right) + M_6 \cdot a_5 \left(a_6 + \frac{a_5}{2} \right) + 0,5 \\
 &(M_{7r} - M_6) \cdot a_5 \cdot \left(a_6 + \frac{1}{3} \cdot a_5 \right) + 0,5 \cdot \bar{M}_{7r} \cdot a_6 \cdot \frac{2}{3} \cdot a_6
 \end{aligned}$$

Po dosazení:

$$\begin{aligned}
 R_a \cdot 22 &= 0,5 \cdot 1,62 F (22 - 3) + 2,05 F \cdot 1,4 (22 - 4,5 - \\
 &0,7) + 0,5 (2,68 F - 2,05 F) \cdot 1,4 (22 - 4,5 - 0,94) + 3,48 F \\
 &\cdot 3,1 \cdot (13 + 1,55) + 0,5 (5,31 F - 3,48 F) \cdot 3,1 \cdot (13 + \\
 &1,03) + 4,05 F \cdot 3,1 (13 - 1,55) + 0,5 (5,31 F - 4,05 F) \cdot
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \cdot 3,1 (13 - 1,03) + 2,68 F \cdot 1,4 (13 - 3,1 - 0,7) + 0,5 \\
& (3,124 F - 2,68 F) \cdot 1,4 (13 - 3,1 - 0,47) + 1,68 F \cdot 3,5 \\
& (3 + 2 + 1,75) + 0,5 (1,89 F - 1,68 F) \cdot 3,5 (3 + 2 + 2,34) \\
& + 1,68 F \cdot 2 (3 + 1) + 0,5 (2,13 F - 1,68 F) \cdot 2 (3 + 0,67) \\
& + 0,5 \cdot 1,15 F \cdot 3 \cdot 2 = 531,18 F
\end{aligned}$$

Velikost fiktivní reakce $R_a = 24,14 F$

Průhyb upínky v řezu 1 - 1 je určen ze vztahu

$$w_1 = \frac{1}{E \cdot J_1} \cdot \bar{M}_1$$

kde $\bar{M}_1$ je moment v řezu 1 - 1 sdruženého nosníku

$$w = \left(\frac{1}{E \cdot J_1} R_a \cdot a - 0,5 \bar{M}_{3r} \cdot a_1 \left(a - \frac{2}{3} \cdot \right. \right.$$

$$a_1) - M_{3r} \cdot a_2 \left(a - a_1 - \frac{a_2}{2} \right) - 0,5 (M_{2r} - M_{3r}) \cdot a_2$$

$$\left(a - a_1 - \frac{2}{3} \cdot a_2 \right) - M_2 \cdot a_2 \cdot \frac{a_2}{2} - 0,5 (M_1 - M_2)$$

$$\cdot a_3 \cdot \frac{a_3}{3} \Bigg)$$

Po dosazení:

$$\begin{aligned}
 w = & \frac{1}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 290} \left(24,14 \cdot 9 - 0,5 \cdot 1,62 F \cdot 4,5 \left(9 - \frac{2}{3} \right. \right. \\
 & \left. \left. - 4,5 \right) - 2,05 F \cdot 1,4 \left(9 - 4,5 - 0,7 \right) - 0,5 \left(2,68 F - 2,05 F \right) \right. \\
 & \left. \cdot 1,4 \left(9 - 4,5 - \frac{2}{3} \cdot 1,4 \right) - 3,48 F \cdot 3,1 \frac{3,1}{2} - 0,5 \cdot \right. \\
 & \left. \left(5,31 F - 3,48 F \right) \cdot 3,1 \frac{3,1}{3} \right) = 2,62 \cdot 10^{-6} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dosazení do deformační podmínky

$$0,008 = 2,85 \cdot 10^{-6} + 2,62 \cdot 10^{-6}$$

z které se určí síla $F = 1462,5 \text{ N}$

Tato síla způsobuje v upevňovacím šroubu tahové napětí

$$\sigma_F = \frac{F}{S_j} = \frac{1462,5}{20,1} = 72,76 \text{ MPa}$$

Výsledné tahové napětí ve šroubu je

$$\sigma_{c\check{s}} = \sigma_Q + \sigma_F = 247,4 + 72,76 = 320,16 \text{ MPa}$$

Bezpečnost šroubu k mezi kluzu

$$s = \frac{\sigma_k}{\sigma_{c\check{s}}} = \frac{950}{320,16} = 2,97$$

Ohybové napětí v upínce od síly F

$$\sigma_{oF} = \frac{M_1''}{W_{o1}} = \frac{7778}{62,77} = 123,9 \text{ MPa}$$

Výsledné ohybové napětí v upínce

$$\sigma_{cu} = \sigma_{oQ} + \sigma_{oF} = 421,29 + 123,9 = 545,2 \text{ MPa}$$

Bezpečnost upínky k mezi pevnosti R_m

Napětí na mezi pevnosti pro mat.upínky $15260 \pm 1200 \text{ MPa}$

$$K = \frac{R_m}{\sigma_{cu}} = \frac{1200}{545,2} \approx 2,2$$

Z uvedených výsledků vyplývá, že šroub i prodloužená upínka vyhoví s dostatečnou bezpečností při dotažení předepsaným momentem / 6 Nm/. Tepelné zatížení obou kontrolovaných elementů je poměrně nízké a na celkovém zatížení se podílí pouze cca 1/3 - 1/4.

4. STANOVENÍ PRACOVNÍHO ROZSAHU NOŽŮ VYRÁBĚNÝCH K. P. NÁŘADÍ DĚČÍN

Úkolem této části bylo určení pracovního rozsahu nožů CSRNR 25x25 M12K a CTGNR 25x25 M16K při obrábění dvou druhů materiálu, ocele 12050.1 a šedé litiny 422420.

Zkoušky byly provedeny v širokém rozmezí posuvů a hloubek řezů při střední řezné rychlosti $300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Při zkouškách bylo sledováno utváření třísky a zároveň průvodní jevy při tvorbě třísky, zejména chvění celé soustavy a zda příložený utvařec usměrňuje třísku. Při obrábění oceli byl tvar třísky většinou rozhodující a bylo možné kombinací hodnot posuvu a hloubky řezu při konstantní řezné rychlosti vymežit jednotlivé oblasti utváření třísky.

Při obrábění litiny byl pracovní rozsah určen řeznými silami a výkonem použitého stroje.

V rámci úkolu určení pracovního rozsahu nože CTGNR byla odzkoušena prodloužená upínka a její vliv na velikost pracovního rozsahu tohoto nože.

Při zkouškách byl brán ohled na podmínky, které jsou doporučeny pro obrábění řeznou keramikou a na blízkost způsobu obrábění, který je s tímto materiálem používán v praxi.

4.1 Použitá zařízení, nástroje a materiál a řez. podmínky

Obráběcí stroj

Ke zkouškám byl použit soustruh EE - 800 - 01 maďarské výroby umístěný v laboratoři KOM VŠST.

Zkušební materiál

a/ ocel 12050.1, která je stanovena jako etalonový materiál. Tato ocel vhodná k zušlechťování má v normalizačně žíhacím stavu pevnost 650 MPa. Její tvrdost je HB 1800-

2000 MPa. Pro zkoušky byl použit jeden obrobek o rozměrech $\varnothing 210 \times 1000$ mm.

- b/ šedá litina 422420. Pro zkoušky byly použity tři duté válce $\varnothing 180/130 \times 550$ mm. Střední tvrdost se pohybovala v rozmezí HB = 1900 - 2100 MPa.

Příprava obrobků a jejich upnutí

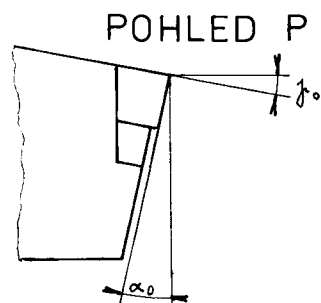
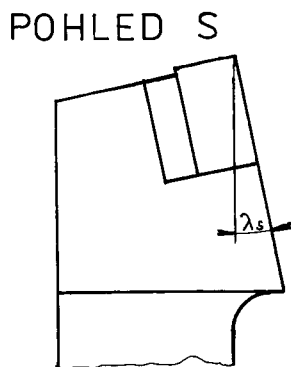
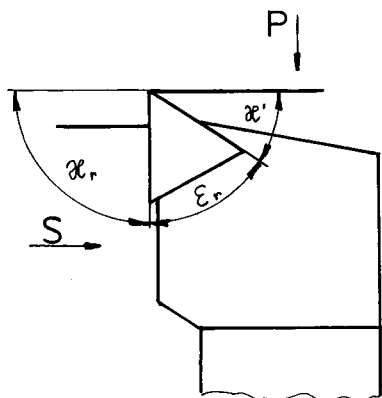
- a/ ocelový válec byl upnut do tříčelistového sklíčidla a opřen koníkem s otočným hrotem. Povrchová vrstva byla do hloubky cca 3mm odhrubována nožem osazeným SK a náběhová hrana sražena pod úhlem 45° .
- b/ litinové duté válce byly upnuty do tříčelistového sklíčidla za vnější povrch a u každého zkušebního válce byl opracován otvor pro upnutí vložky s důlkem a upínacího sklíčidla. Povrchová licí kůra byla odhrubována do hloubky asi 4 mm.

Použité nástroje

- a/ stranový nůž CTG NR 25x25 M16K osazený destičkou TNGN 16 08 08, rok výroby 7.10.82, materiál DISAL 100,

Geometrie řezné části nástroje

$$\varphi_o = -6^\circ \quad \alpha_o = 6^\circ \quad \lambda_s = -4^\circ \quad \varphi_r = 92^\circ$$

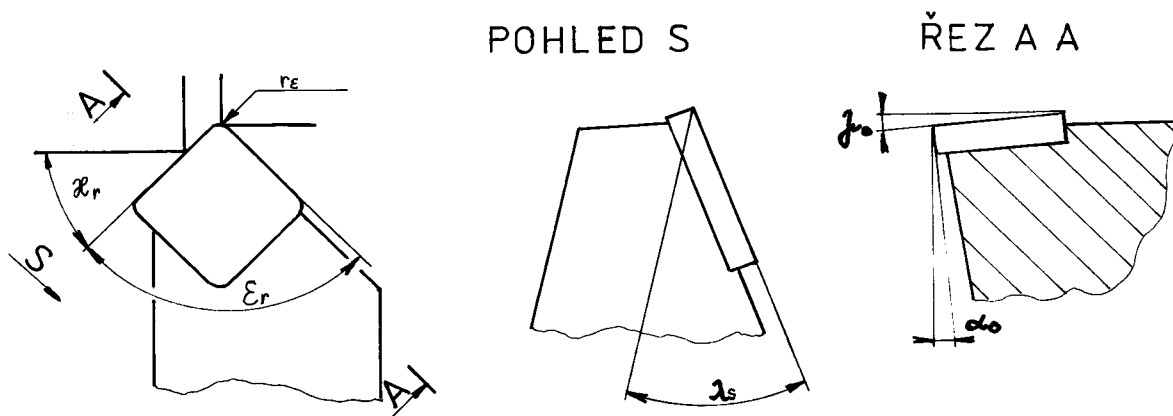


Obr. 4.1

b/ ubírací nůž CSRNR 25 x 25 M12K osazený destičkou SNGN
1208 12, rok výroby 12.11.82, materiál DISAL 100.

Geometrie řezné části nástroje

$$\varphi_0 = -6^\circ \quad \alpha_0 = 6^\circ \quad \lambda_s = -4^\circ \quad \kappa_r = 75^\circ$$



Obr. 4.2

Řezné prostředí

Při soustružení nebyla použita chladicí kapalina, neboť zkoušky byly prováděny s břitovými destičkami z čisté keramiky.

Řezná rychlost

byla konstantní pro oba typy nožů $v = 300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Vzhledem k tomu, že zkušební stroj nebyl vybaven plynulou regulací otáček, se tato rychlost pohybovala v určitém malém rozmezí. Tyto změny byly však velmi malé a můžeme je zanedbat.

Hloubka řezu

$$h = 0,5 \quad , \quad 1 \quad , \quad 1,5 \quad , \quad 2 \quad , \quad 3 \quad , \quad 4 \quad , \quad 5 \quad \text{mm}$$

Posuv

$$s = 0,1 \quad , \quad 0,2 \quad , \quad 0,28 \quad , \quad 0,4 \quad , \quad 0,5 \quad , \quad 0,63 \quad , \quad 0,71 \quad , \quad 0,8 \quad , \quad 0,9 \quad , \quad 1 \quad \text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$$

Vzdálenost příložného utvařeče od řezné hrany

a/ nůž CSRNR $x = 2,0\text{mm}$

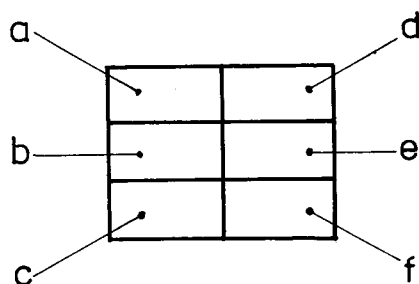
b/ nůž CTGNR $x = 2,5\text{mm}$

4.2 Vyhodnocení funkčních zkoušek

/4/

Naměřené hodnoty z funkčních zkoušek jsou uvedeny v tabulkách č.4.1 a č.4.2 Tyto hodnoty jsou zapsány v jednotlivých políčkách tabulek podle následujícího schématu

Obr. 4.3



a otáčky

b ϕ obrobku

c typ třísky

d chvění stroje

e zastavení stroje

f destrukce břitu

4.2.1 Vyhodnocení utváření třísek

Vyhodnocení utváření třísek je při různých posuvech a hloubkách řezu provedeno v tabulkách č.4.3 a č.4.4

4.2.2 Oblast utváření

je vyznačena pro nůž CSRNR na obr.4.5 a pro nůž CTGNR na obr.4.6V diagramu je dále vyznačeno výkonové omezení a destrukce břitu destiček. V oblasti pracovního rozsahu nože CTGNR je vyznačen vliv prodloužené upínky na oblast utváření.

Při zkouškách se vyskytovaly uvedené typy třísek, které můžeme rozdělit do těchto skupin:

a/ neutvářené	M - motané
	PP - plynulé pásy
	DŠ - dlouhé šroubovice
b/ utvářené	P - půlkroužky
	K - kroužky
	KŠ - krátké šroubovice
	KLO - šroubovice do 10ti závitů
	ČN - článkovitá nepřechovaná
c/ pěchované	ČP - článkovitá pěchovaná
	U - drobné úlomky

4.2.3 Pracovní rozsah při obrábění litiny

Vzhledem k tomu, že při obrábění šedé litiny vzniká jemná drobná tříška, nelze velikost pracovního rozsahu určit podle utváření třísky. Oblast použití se rozšiřuje k malým hodnotám posuvu a hloubek řezu na jedné straně a na straně druhé je omezena maximálním výkonem použitého stroje a velikostí řezných sil působících na břitovou destičku. Protože měrný řezný odpor je při obrábění šedé litiny menší než při obrábění oceli, lze předpokládat, že okamžiky destrukce břitu i výkonové omezení se posunou k vyšším hodnotám posuvů a hloubek řezu. Tyto změny jsou však poměrně malé a jsou i zkresleny přítomností vměstků v obráběné litině. /Přerušovaný řez./

Z těchto důvodů můžeme uvažovat horní hranici oblasti utváření určenou výkonovým omezením a destrukcemi břitu podobnou jako při obrábění oceli.

Tab.4.1

P O S U V e / mm . ot ⁻¹ /																				
Hloubka řezu h /mm/	0,1		0,2		0,28		0,4		0,5		0,63		0,71		0,8		0,9		1	
	560	183	560	183	560	183	560	183	560	183	560	183	560	183	560	184	560	184	560	176
0,5	M		M		PP		PP		M		P		P		K ₁₀		DŠ		DŠ	
	560		560		560		560		560		560		560		560		560		560	
	182		182		182		182		182		182		183		182		182		176	
1	M		M		M		M		K ₁₀		P		P		P		P		P	
	560		560		560		560		560		560		560	CH	560		560		560	
	180		180		180		180		180		182		182		182		182		176	
1,5	M		M		M		M		K ₁₀		P		P		č _N		DŠ		č _N	
	560		560		560		560		560		560		560		560	CH	560		560	
	176		176		176		176		176		180		180		176	x	182	x	176	x
2	M		M		M		M		P		P		P		č _N		č _P		č _P	
	450		450		450		450		450		450		450		450		450	CH	560	
	198		198		198		198		198	x	198	x	198	x	198	x	198	x	176	x
3	PP		PP		PP		PP		P		P		č _N		č _P		č _P		č _P	
	450		450		450		450		450		450		450		450		450	CH	560	
	198		198		198		198		198		198	x	198	x	198	x	198	x	176	x
4	PP		PP		PP		PP		P		P		č _N		č _P		č _P		č _P	
	450		450		450		450		450		450		450		450	CH	450	CH	560	
	198		198		198		198	x	198		198	x	198	x	198	x	198	x	182	x
5	PF		PP		M		M		č _N		č _N		č _P		č _P		č _P		č _P	
	560		560		560		560		560	CH	560		560		560		560		560	
	171		171	x	171	x	171	x	171	x	171		171		171		171		171	
	PP		M		M		M		č _N		č _N		č _N		č _N		č _N		č _N	

Tab.4.2

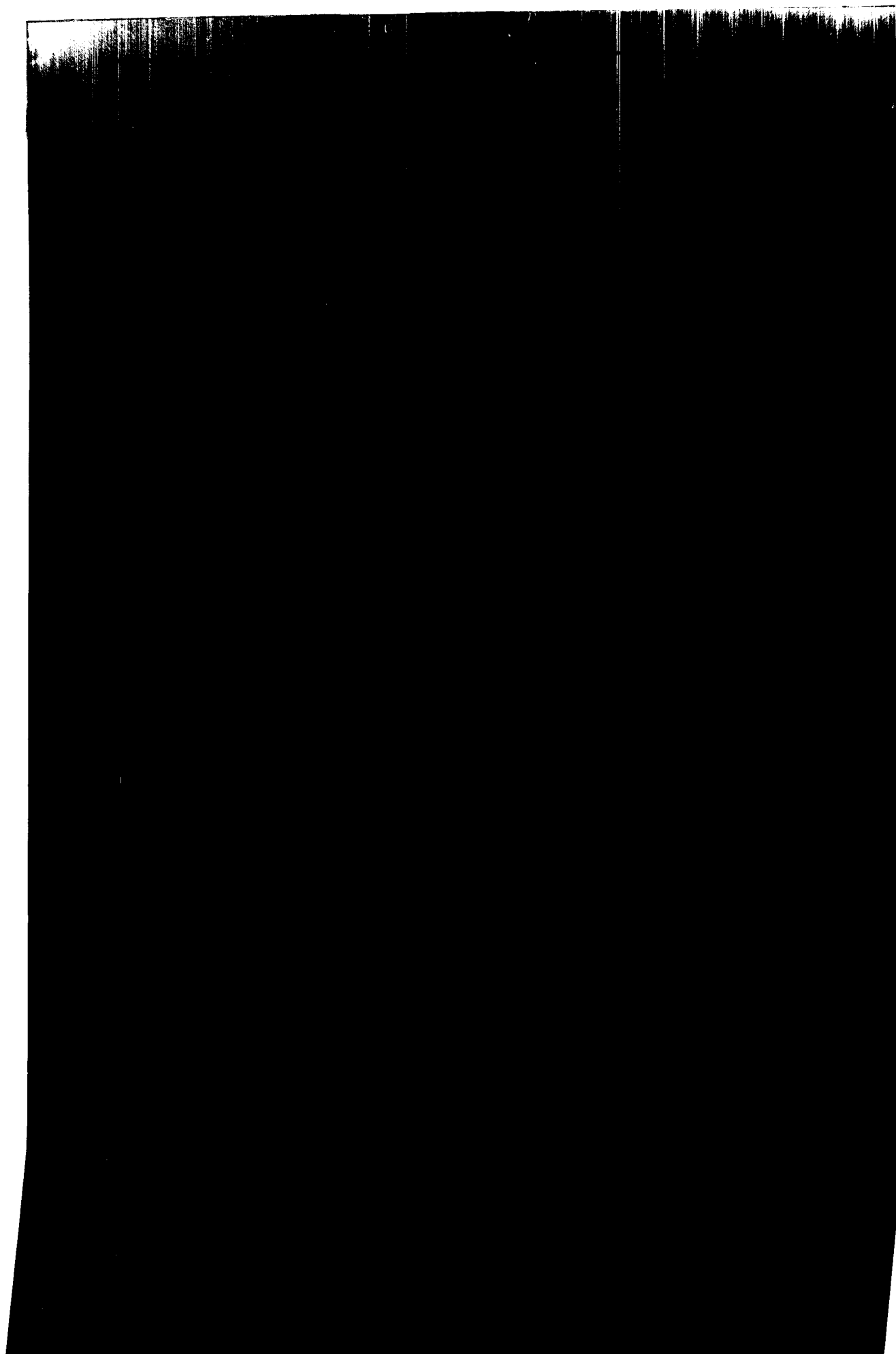
Hĺoubka řezu h /mm/	POSUV s / mm . ot-1/										
	0,1	0,2	0,28	0,4	0,5	0,63	0,71	0,8	0,9	1	
0,5	560	560	560	560	560	560	560	560	560	560	
	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	
	M	M	M	DŠ	DŠ	DŠ	DŠ	DŠ	DŠ	DŠ	
1	560	560	560	560	560	560 CH	560	560	560	560	
	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	
	M	PP	M	DŠ	K ₁₀	K ₁₀	KŠ	KŠ	KŠ	KŠ	
1,5	560	560	560	560	560	560	560	560	560	560	
	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	
	M	M	K ₁₀	K ₁₀	K ₁₀	K ₁₀	K ₁₀	KŠ	KŠ	KŠ x	
2	560	560	560	560	560	560	560	560	560	560	
	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	
	M	M	M	KŠ	P	P	U	x			
3	450	450	450	450	450	450	450 CH	450 CH	450 CH	450 CH	
	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	
	M	M	M	KŠ	P	P	P	x	U	x	
4	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	
	198	198	198	198	198	198	198	198	198	198	
	M	M	M	KŠ	x						
5	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	
	198	198	198	198	198	198	198	198	198	198	
	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	

Tab.č.4.3

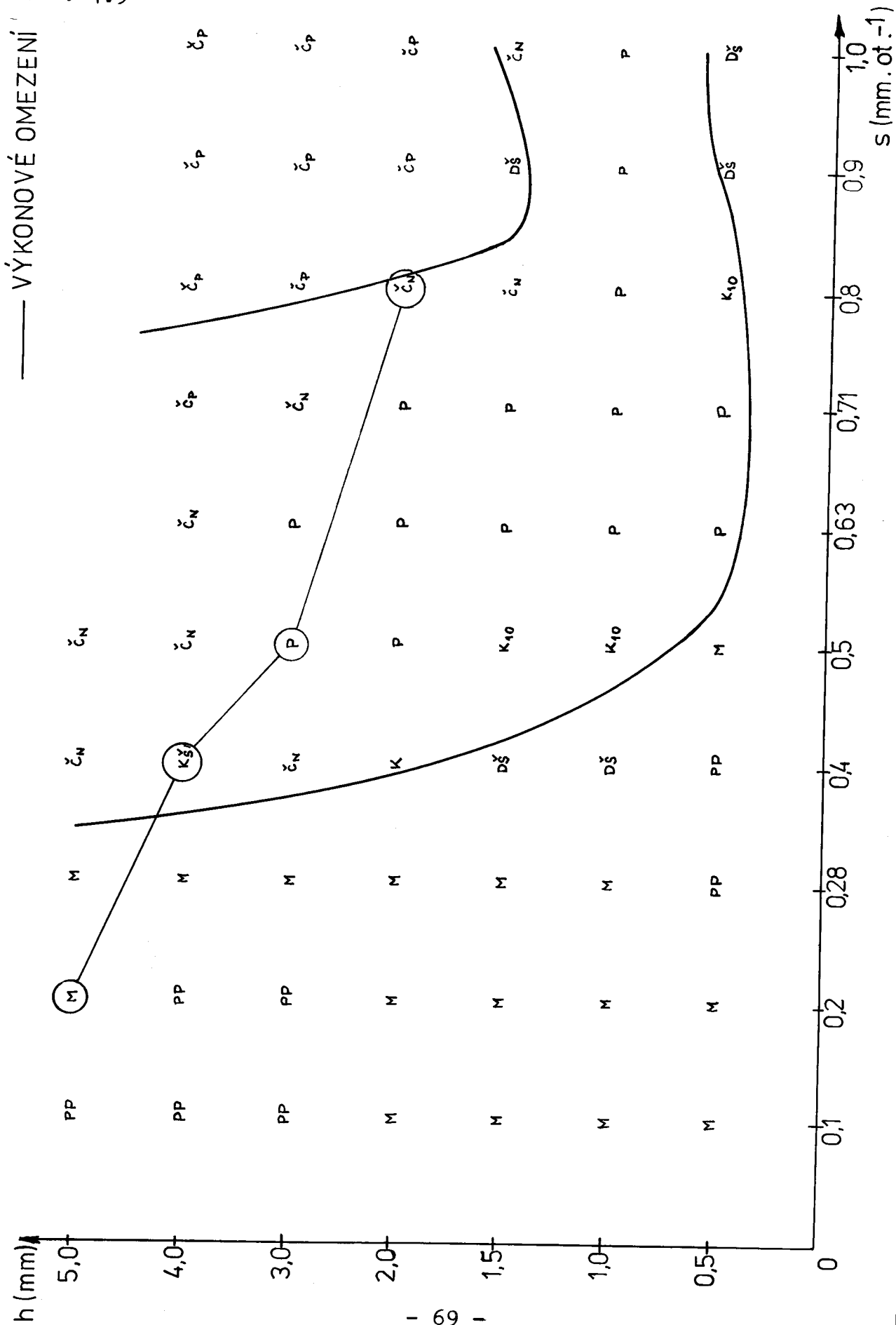
PRACOVNÍ ROZSAH NOŽE CSNR 25x25M12K; x=2mm

$\frac{s}{h}$ mm/mm	0,1	0,2	0,28	0,4	0,5	0,63	0,71	0,8	0,9	1,0
0,5										
1,0										
1,5										
2,0										
3,0										
4,0										
5,0										

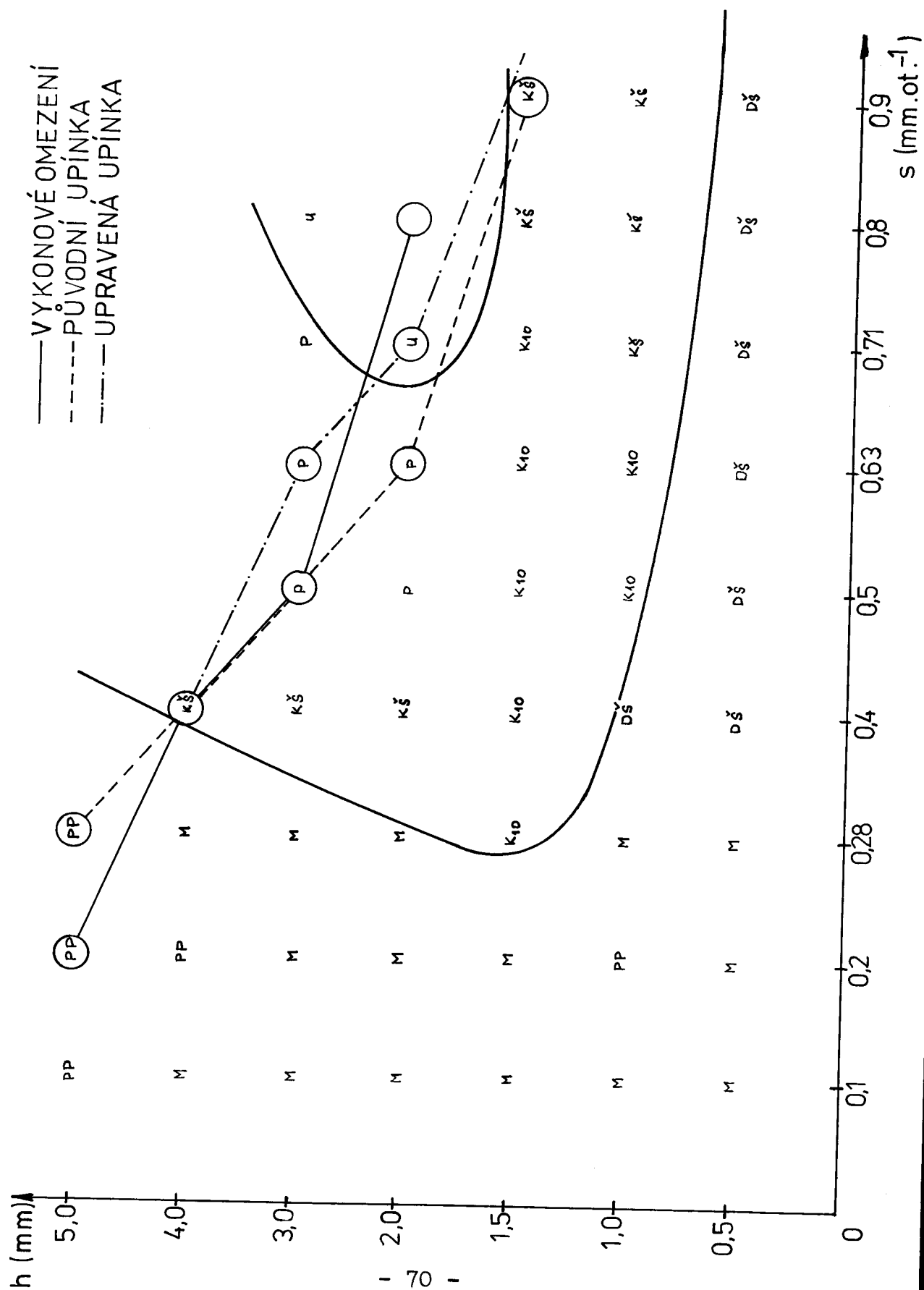
Tab.č. 4.4



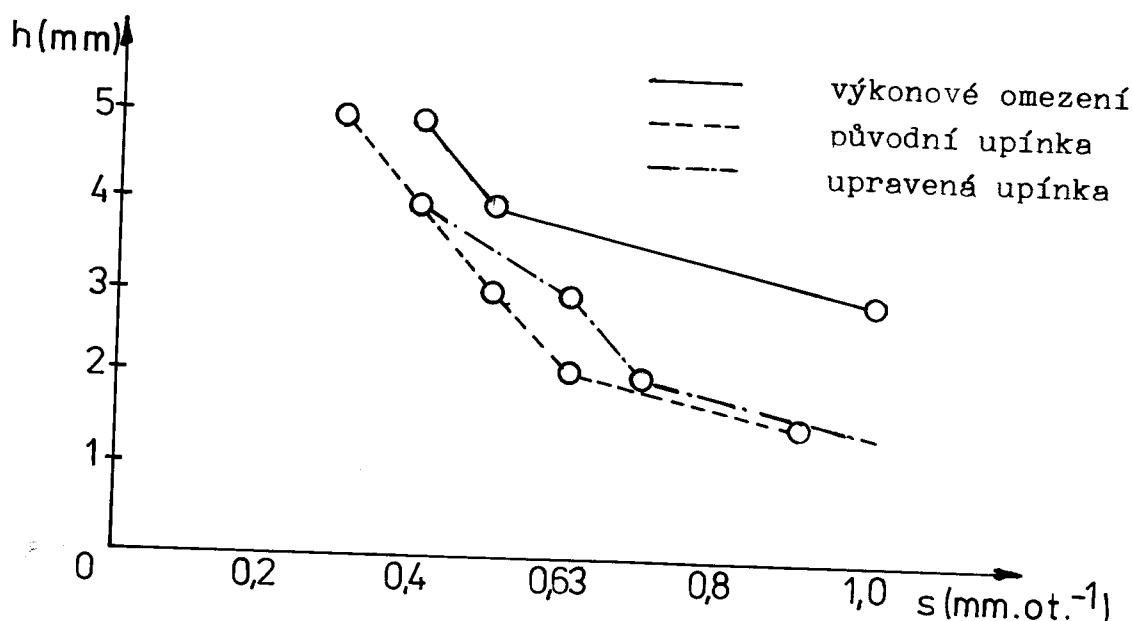
Obr. 4.5



Obr. 4.6



Obr.4.4



Obr.

Pracovní rozsah nože CTG NR 25x25 M16K při obrábění litiny.

4.3 Zhodnocení měření

Z funkčních zkoušek soustružnických nožů NAREX osazených keramickými břitovými destičkami DIAS při obrábění materiálů ČSN 12050.1 a ČSN 422420 vyplývají tyto závěry.

Při obrábění oceli nožem CSR NR 25x25 M12K je jeho pracovní rozsah určen oblastí správného utváření třísky a odshora výkonovým omezením. Zdola je hranice posuvu omezena hodnotou cca $0,3 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$, přestože byl použit široký utvařeč. /Vzdálenost od řezné hrany 2 mm./ Horní mez posuvu vychází cca $s = 0,8 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$. Do hodnot hloubky řezu $h = 1,5 \text{ mm}$ není oblast utváření při použití daného stroje uzavřena.

Při obrábění nožem CTG NR 25x25 M16K byla zjištěna dolní hranice posuvu z hlediska správného utváření třísky $s \approx 0,3 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$. Při použití nadměrných hloubek řezu a posuvů se oblast utváření uzavírá spojnici bodů, znázorňujících lomy břitu keramických destiček. Při malých hloubkách řezu /do 1,5 mm/ není oblast utváření uzavřena.

Při obrábění litiny dochází ke zvětšení pracovního rozsahu obou nožů vlivem drobné třísky a poněkud menšího řezné-

- ho odporu.

Odzkoušení upínky s prodlouženým ramenem potvrdilo vhodnost této úpravy na stávajících nožích NAREX. Použitím této upínky na noži CTGNR se jeho pracovní rozsah v oblasti omezené lomy destiček mírně zvýšil.

V žádném případě nebyl porušen upínací systém destičky /šroub, upínka/, ani těleso nože a nedošlo k uvolnění destičky ani příložného utvařeče. Pouze čelo utvařeče na noži CSRNR bylo porušeno výmolem, který způsobovala odcházející tříska o vysoké teplotě.

Drsnost obrobeného povrchu kolísala podle stavu opotřebení břitové destičky, celkově však vzrůstala se zvětšujícím se posuvem. Kvalita obrobené plochy byla při podmínkách dokončovacího obrábění dobrá, v rozsahu posuvů $0,1 - 0,3 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ se pohybovala dle odhadu v rozmezí $R_a = 2 - 5$ mikrometrů.

Použité řezné destičky DIAS vykazaly dobré vlastnosti i při vysokých řezných podmínkách a nedocházelo k jejich nadměrným lomům.

5. URČENÍ SMĚRNÝCH ŘEZNÝCH POD- MÍNEK

Úkolem této části měření bylo určení směrných řezných podmínek při podélném obrábění etalonové oceli 12050.1 a šedé litiny 422420 výše uvedenými nástroji k.p. Nářadí.

Nožové držáky byly osazeny čs. keramickými destičkami SNGN 12 08 12 a TNGN 16 08 08 n.p. DIAS Turnov. Vyhodnocování bylo provedeno pomocí dlouhodobých zkoušek, které byly prováděny na stejném pracovišti v laboratoři KOM jako v případě určování pracovního rozsahu těchto nožů a shodný byl také způsob upínání obrobků, obrobky, řezné prostředí, geometrie břitu, použité nožové držáky a data výroby destiček.

5.1 Použitá zařízení a pomůcky

Zařízení na měření opotřebení

Provádělo se měření opotřebení na hřbetě VB a pro tento účel byl použit dílenský mikroskop BK 70 x 50 Carl Zeiss Jena s křížovým stolem. Přesnost odečítání na tomto mikroskopu je 0,005mm. Ustavení destiček pod mikroskop bylo zajištěno pomocí speciálního přípravku.

Opotřebení nástroje je pro účely měření rozděleno na oblasti vyznačené na obr.č. 5.1

Zařízení na měření času

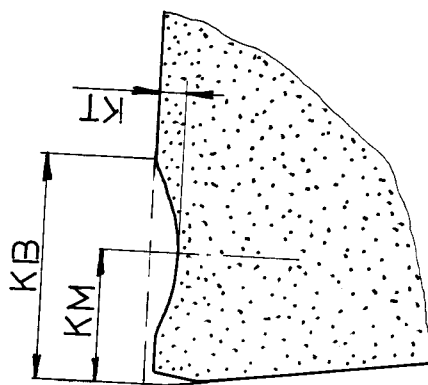
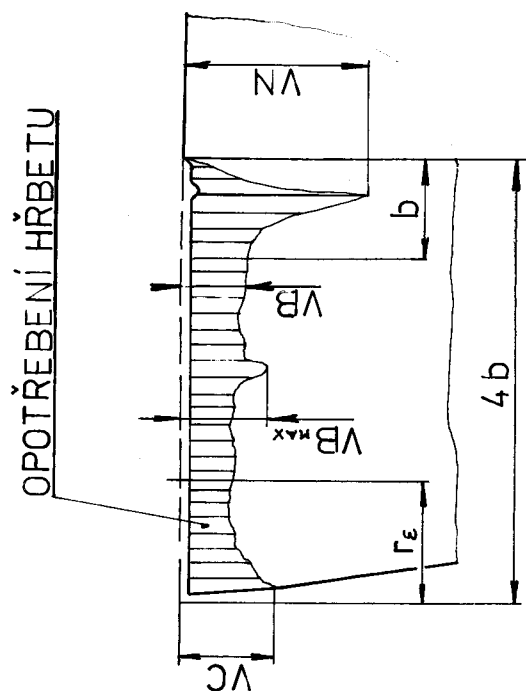
Elektromechanické stopky z n.p.Metra Blansko

Dotahovací klíč

K vyvození utahovacího momentu 6 Nm na upínacím šroubu sloužil momentový klíč.

Tento klíč byl použit i v první části měření.

ŘEZ A-A



VB - střední šířka plošky opotřeb.hřbetu

VC - šířka opotřebení špičky

VBmax - max. šířka plošky opotřebení
hřbetu

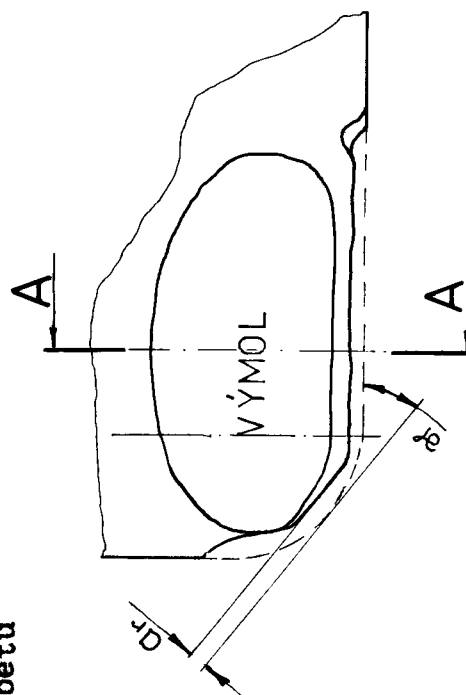
VN - šířka vrubu na hřebetě

a_r - radiální opotřebení

KB - šířka výmolu

KM - vzdálenost středu výmolu
od ostří

KT - hloubka výmolu



Měření průměru obrobku

bylo prováděno posuvným měřítkem SOMET.

Použité břitové destičky

SNGN 12 08 12 /12,7 x 12,7 x 8mm, $r = 1,2\text{mm}/$, datum výroby 12.11.82 - 4 ks

TNGN 16 08 08 /16,5 x 13,494 x 8mm, $r = 0,8\text{mm}/$, datum výroby 7.10.82 - 3 ks

Posuv

$$s = 0,2\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$$

Hloubka řezu

$$h = 1,5\text{mm}$$

Kritérium opotřebení

$$VB = 0,3\text{mm}$$

Řezná rychlost

Vzhledem k tomu, že zkoušky byly prováděny na soustruhu s odstupňovanými převody, řezná rychlost v rámci každé zkoušky kolísá v určitém malém rozmezí se změnou průměru obrobku.

- střední rychlost při obrábění ocele

$$v_1 = 450 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_2 = 350 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_3 = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

- střední rychlost při obrábění litiny

$$v_1 = 300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_2 = 230 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_3 = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Pozn. Při obrábění litiny docházelo vlivem tvarové nepřesnosti odlitku k jeho házení. Při vyšší řezné rychlosti docházelo ke značným vibracím a chvění, takže řezná rychlost $300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ byla maximální s hlediska řezných podmínek i bezpečnosti obsluhy. Z tohoto důvodu byla zvolena rychlost $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, aby bylo možno proložit regresní přímku v $T - v$ závislosti.

5.2 Dlouhodobé zkoušky řezivosti

/3,7,8/

Krátkodobé zkoušky řezivosti mají řadu nedostatků způsobených jejich krátkou dobou trvání a neúplným provedením. Z těchto důvodů byly pro tento úkol vybrány dlouhodobé zkoušky řezivosti, pomocí kterých byla zjištěna trvanlivost dvou typů destiček při obrábění oceli a litiny a odečteny nejvýhodnější řezné podmínky pro daný materiál.

5.2.1 Postup dlouhodobé zkoušky

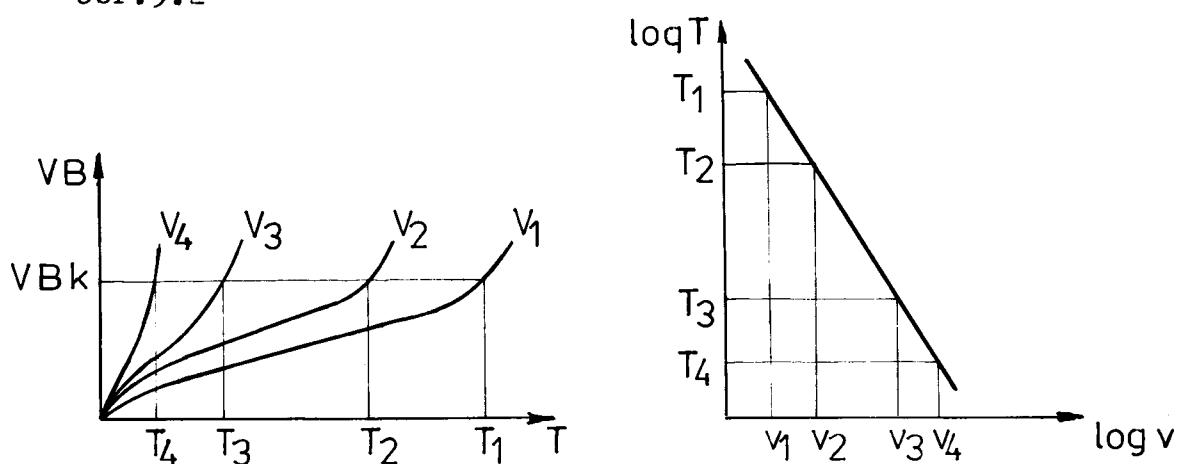
- stanoví se závislost $VB - T$ při několika konstantních řezných rychlostech
- určí se kritérium otupení
- ve dvojité logaritmické síti se sestrojí $T - v$ závislost
- získaná závislost se matematicky zpracuje a určí se konstanta c_T a exponent m z Taylorova vztahu

$$T = \frac{c_T}{v^m}$$

kde T trvanlivost břitu v minutách

c_T konstanta jejíž hodnota je dána teoretickou trvanlivostí při řezné rychlosti $1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Obr. 5.2



Použité řezné rychlosti mají být odstupňovány v geometrické řadě $R 10 / q = 1,25/$. Trvanlivost při nejvyšší zvolené rychlosti nemá klesnout pod 5 min. Posuv a hloubku řezu volíme v mezích doporučených normou pro daný způsob obrábění.

Při dodržení těchto podmínek obrábíme první řeznou rychlostí určitou dobu, změříme opotřebení VB na hřbetě a pokračujeme v obrábění. Intervaly mezi měřeními volíme tak, aby závislost VB - T byla určena minimálně pěti body. Poslední naměřené opotřebení musí být rovno nebo větší než kritérium opotřebení VB_k .

Tento postup dodržíme i u dalších řezných rychlostí a pro zvolené kritérium opotřebení vyneseme příslušné hodnoty trvanlivosti T a odpovídající řezné rychlosti v do dvojité logaritmické sítě. Takto zjištěnými body proložíme regresní přímku metodou nejmenších čtverců.

Hodnota exponentu m je závislá na nástrojovém a obráběném materiálu. Pro řeznou keramiku se pohybuje v rozmezí 1 - 3.

Naměřené závislosti VB - T jsou uvedeny v grafu 5.1 - 5.4 a T - v závislosti v grafu 5.5 - 5.8

Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Nožový držák : CSRNR 25 x 25 M12K

Břitová destička : SNGN 12 08 12

Materiál: 12050.1

Tab. 5.1

Číslo měření	D /mm/	$\bar{n}$ /l.min ⁻¹ /	$\bar{v}$ /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	204	710	455	1	0,12
2	204	710	455	2	0,17
3	204	710	455	3	0,23
4	204	710	455	4	0,25
5	204	710	455	5	0,29
6	204	710	455	6	0,32

Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Nožový držák: CSRNR 25 x 25 M12K

Břitová destička : SNGN 12 08 12

Materiál: 12050.1

Tab. 5.2

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	204	560	359	1	0,06
2	204	560	359	2	0,085
3	204	560	359	3 ³⁰	0,13
4	204	560	359	5	0,16
5	204	560	359	5 ³⁰	0,16
6	204	560	359	7 ¹⁵	0,17
7	201	560	354	10 ¹⁵	0,20
8	201	560	354	13 ¹⁵	0,25
9	201	560	354	14 ¹⁵	0,258
10	201	560	354	16 ¹⁵	0,285
11	201	560	354	17 ¹⁵	0,30

Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Nožový držák: CSRNR 25 x 25 M12K

Břitová destička : SNGN 12 08 12

Materiál : 12050.1

Tab.5.3

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	201	355	224	2	0,095
2	201	355	224	6	0,125
3	198	355	220	10	0,16
4	198	355	220	15	0,185
5	198	355	220	21	0,205
6	198	355	220	27	0,235
7	198	355	220	33	0,25
8	198	355	220	41	0,33

Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Nožový držák : CTGNR 25 x 25 M16K

Břitová destička : TNGN 16 08 08

Materiál : 12050.1

Tab.5.4

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	198	710	442	1	0,09
2	198	710	442	2	0,12
3	198	710	442	3	0,16
4	195	710	437	4	0,17
5	195	710	437	6 ¹⁵	0,225
6	195	710	437	7 ⁴⁵	0,28
7	195	710	437	9	0,31

Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Nožový držák : CTG NR 25 x 25 M16K

Břitová destička : TNGN 16 08 08

Materiál : 12050.1

Tab.5.5

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	195	560	343	1	0,07
2	195	560	343	4 ¹⁵	0,14
3	192	560	338	7	0,18
4	192	560	338	10 ³⁰	0,21
5	192	560	338	12 ³⁰	0,245
6	192	560	338	14 ³⁰	0,25
7	192	560	338	15 ⁴⁵	0,26
8	192	560	338	18	0,32

Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Nožový držák : CTGNR 25 x 25 M16K

Břitová destička : TNGN 16 08 08

Materiál : 12050.1

Tab.5.6

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	192	355	214	2	0,08
2	192	355	214	5	0,095
3	192	355	214	8	0,125
4	192	355	214	14 ³⁰	0,17
5	189	355	211	18	0,20
6	189	355	211	21	0,21
7	189	355	211	26	0,212
8	189	355	211	30	0,24
9	189	355	211	32 ³⁰	0,25
10	189	355	211	35 ³⁰	0,26
11	189	355	211	37 ³⁰	0,28
12	189	355	211	39 ³⁰	0,285
13	189	355	211	41 ³⁰	0,30

Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Nožový držák : CSRNR 25 x 25 M12K

Břitová destička : SNGN 12 08 12

Materiál : 422420

Tab.5.7

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	175	560	307	1	0,05
2	175	560	307	3	0,07
3	175	560	307	5 ³⁰	0,14
4	175	560	307	7 ³⁰	0,145
5	175	560	307	10	0,16
6	172	560	302	15	0,21
7	172	560	302	18	0,23
8	172	560	302	22 ²⁰	0,26
9	172	560	302	25 ²⁰	0,27
10	169	560	298	29 ⁴⁵	0,31

Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Nožový držák : CSRNR 25 x 25 M12K

Břitová destička : SNGN 12 08 12

Materiál : 422420

Tab.5.8

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	166	450	234	3	0,1
2	166	450	234	6	0,145
3	166	450	234	9 ²⁰	0,19
4	166	450	234	11 ²⁰	0,20
5	163	450	230	14 ³⁰	0,20
6	163	450	230	18 ⁴⁰	0,21
7	163	450	230	22 ⁴⁰	0,22
8	163	450	230	28	0,25
9	160	450	226	34	0,27
10	160	450	226	37 ²⁰	0,315

Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Nožový držák : CSRNR 25 x 25 M12K

Břitová destička : SNGN 12 08 12

Materiál : 422420

Tab.5.9

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	150	450	212	3 ¹⁵	0,08
2	150	450	212	6	0,1
3	150	450	212	8 ⁵⁰	0,13
4	147	450	207	13	0,15
5	147	450	207	17	0,18
6	147	450	207	22	0,20
7	147	450	207	26	0,245
8	144	450	203	29	0,26
9	144	450	203	36 ⁰⁵	0,28
10	144	450	203	38	0,285
11	144	450	203	44 ³⁰	0,3

Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Nožový držák : CTGNR 25 x 25 M16K

Břitová destička : TNGN 16 08 08

Materiál 422420

Tab.5.10

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	173	560	305	1	0,06
2	173	560	305	3 ³⁰	0,11
3	173	560	305	6	0,15
4	173	560	305	9 ²⁰	0,17
5	170	560	300	12 ³⁵	0,20
6	170	560	300	14 ³⁵	0,21
7	170	560	300	15 ⁵⁰	0,21
8	170	560	300	17 ⁵⁰	0,22
9	167	560	295	21 ⁵⁵	0,23
10	167	560	295	23 ⁵⁵	0,235
11	167	560	295	25 ⁵⁰	0,25
12	167	560	295	28 ⁵⁰	0,26
13	164	560	290	31 ⁵⁰	0,30

Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Nožový držák : CTGNR 25 x 25 M16K

Břitová destička : TNGN 16 08 08

Materiál : 422420

Tab.5.11

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min. ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	164	450	232	2	0,07
2	164	450	232	6 ⁵⁵	0,12
3	161	450	229	11 ⁵⁰	0,15
4	161	450	229	16 ⁴⁰	0,16
5	161	450	229	21 ³⁰	0,205
6	158	450	224	27	0,21
7	158	450	224	30 ⁰⁵	0,22
8	158	450	224	36	0,26
9	155	450	220	39 ³⁰	0,31

ZÁVISLOST VB-T

MAT. 12050.1
DESTIČKA SNGN 120812

Graf 5.1

VB (mm)

T (min)

V₁

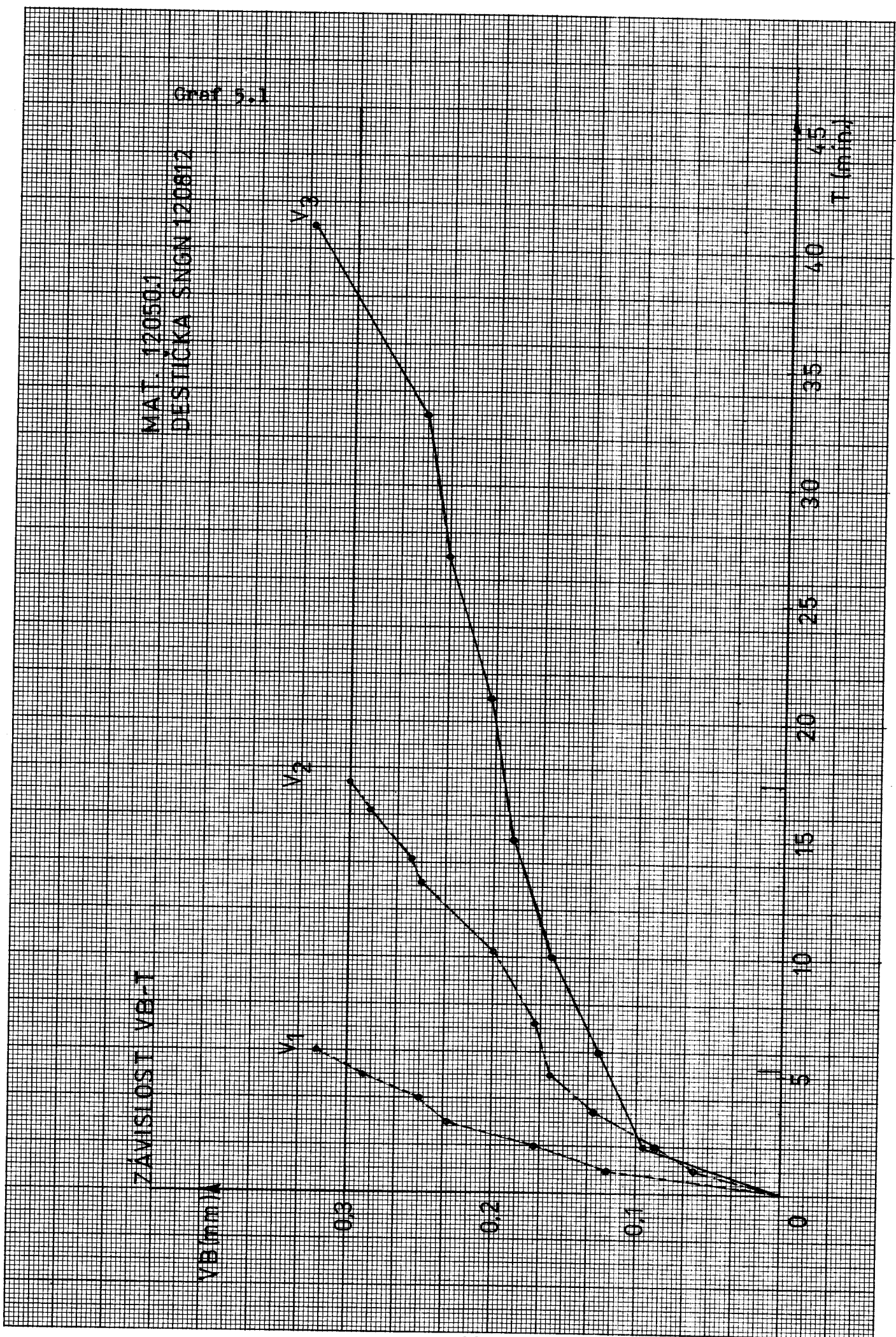
V₂

V₃

V₁

V₂

V₃



A 12050.1
u.

ZÁVISLOST VB-T

MAT. 120501
DETIČKA TNGN160808

Graf 5.2

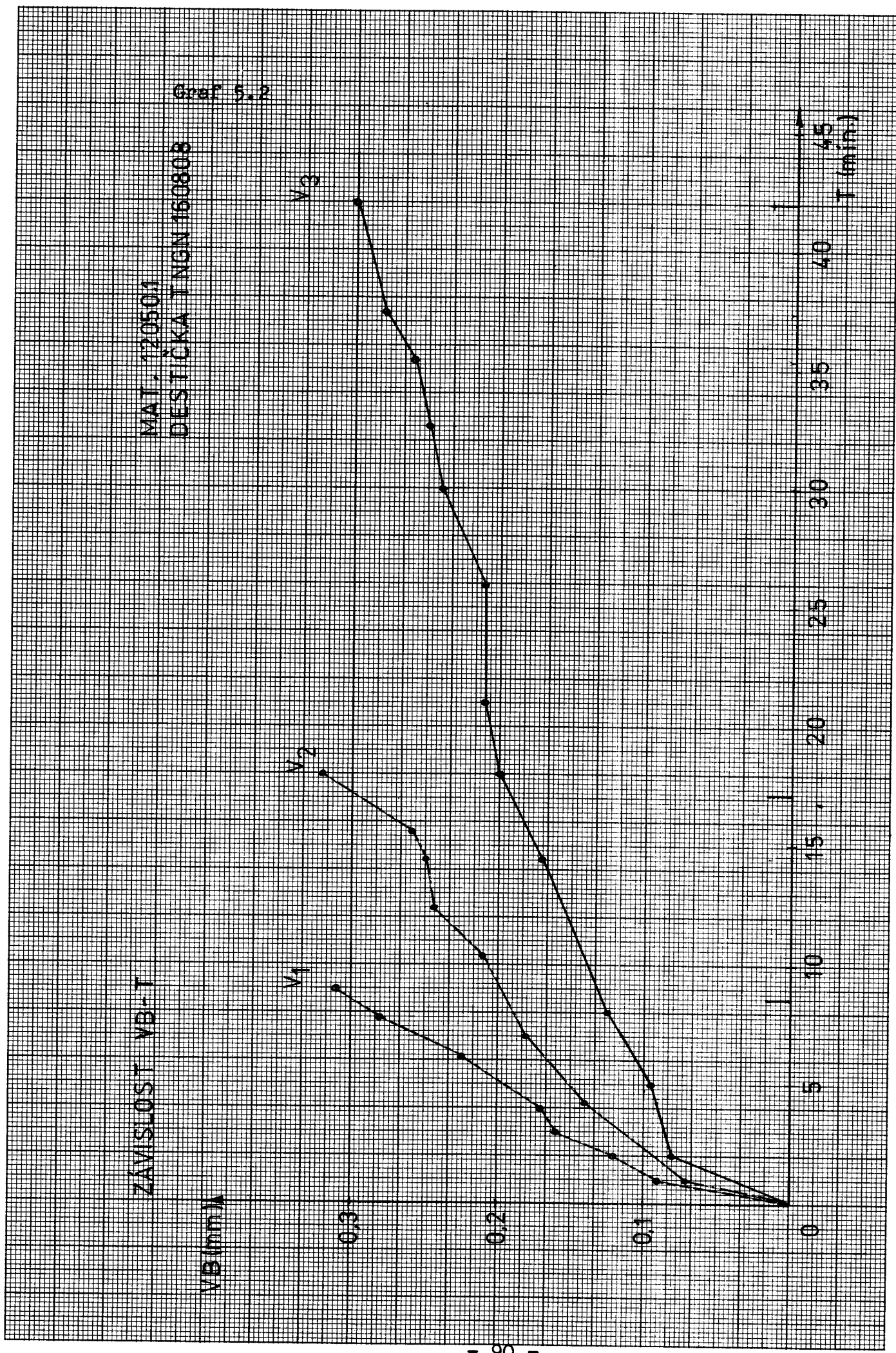
VB (mm)

T (min)

V₃

V₂

V₁



ZÁVISLOST VB-T

MAT 422420
DESTICKA SNGN 120812
Str 5.3

VB (mm)

V₁ V₂ V₃

T (min)

0.3

0.2

0.1

0

5

10

15

20

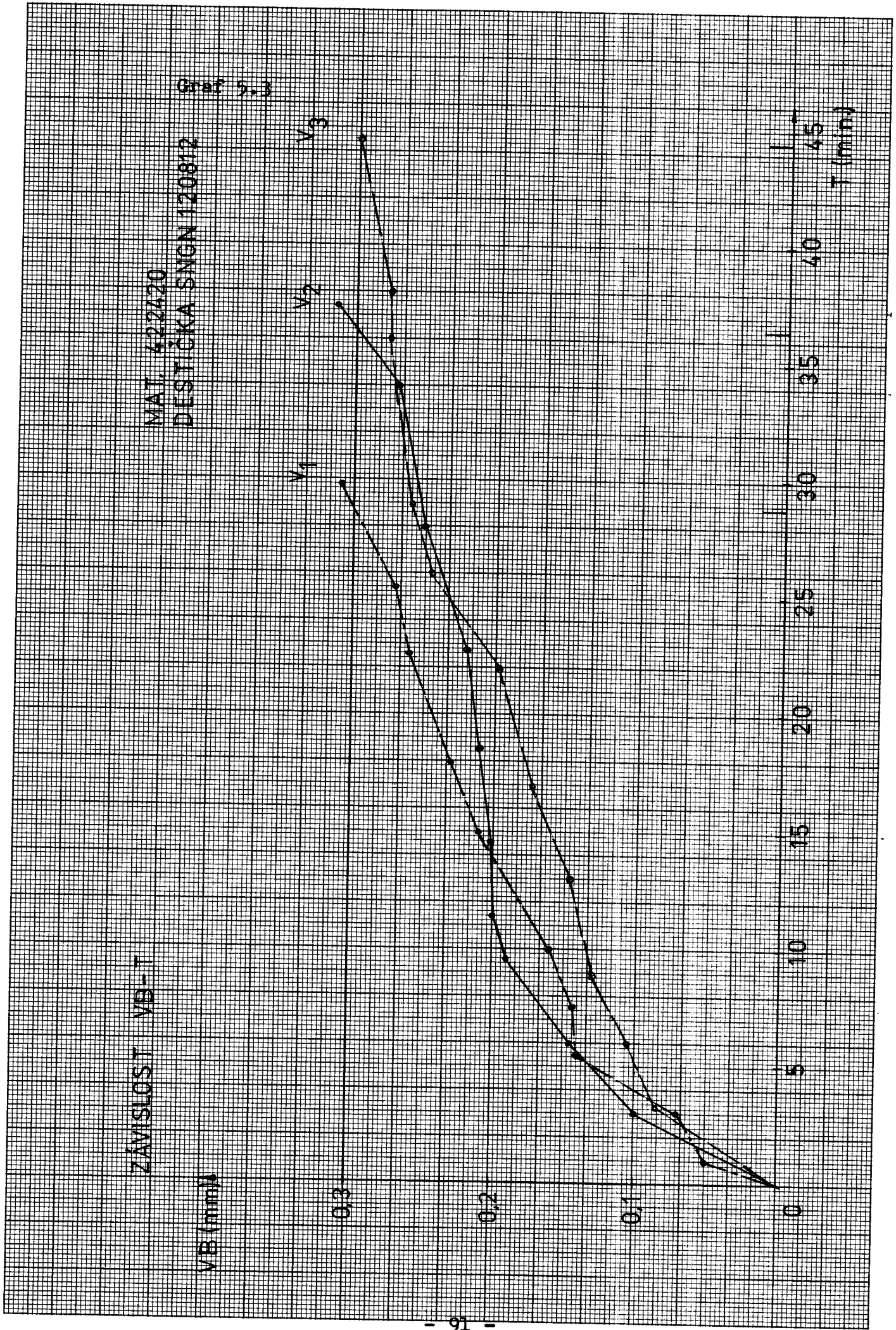
25

30

35

40

45

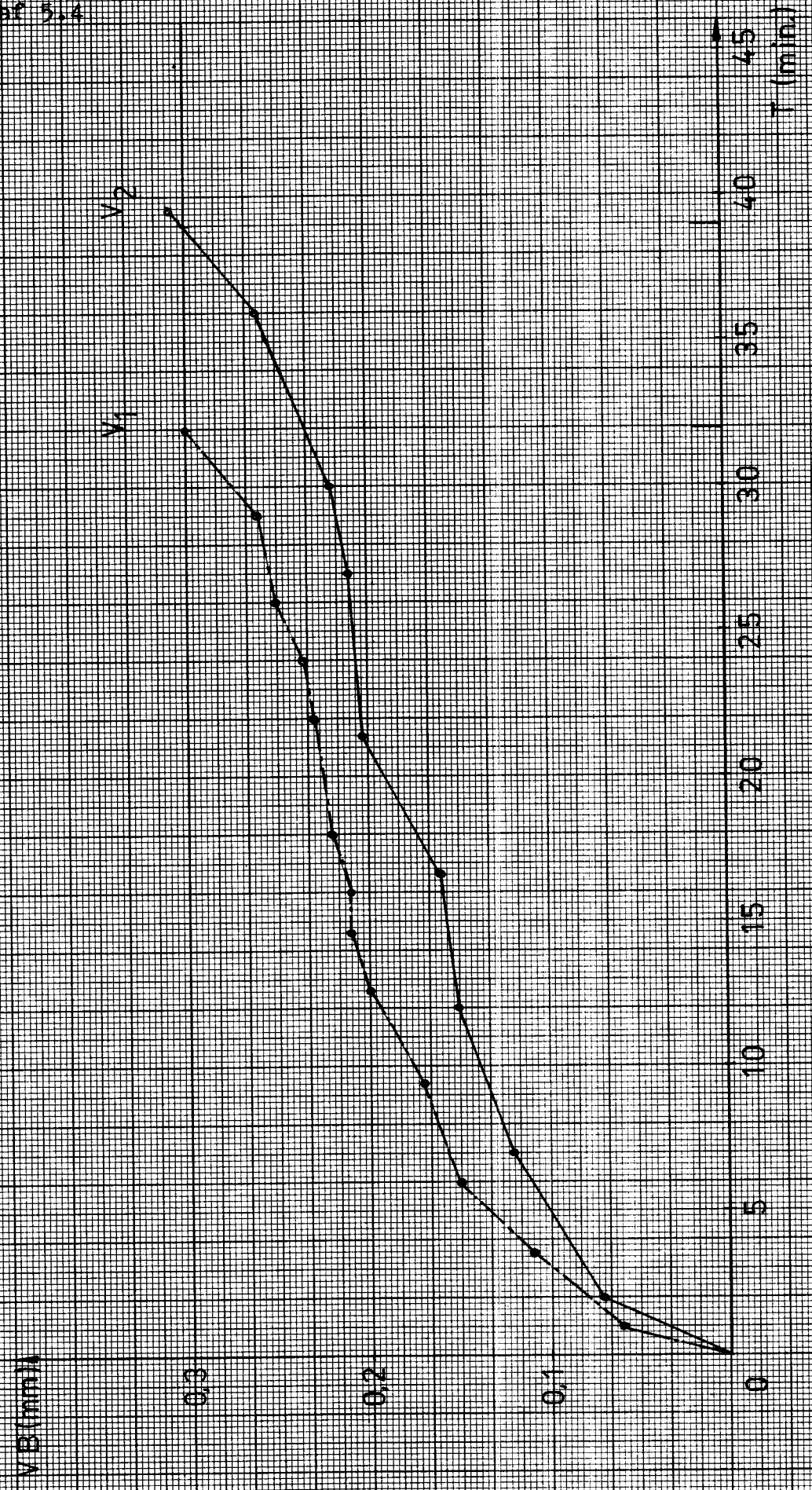


W

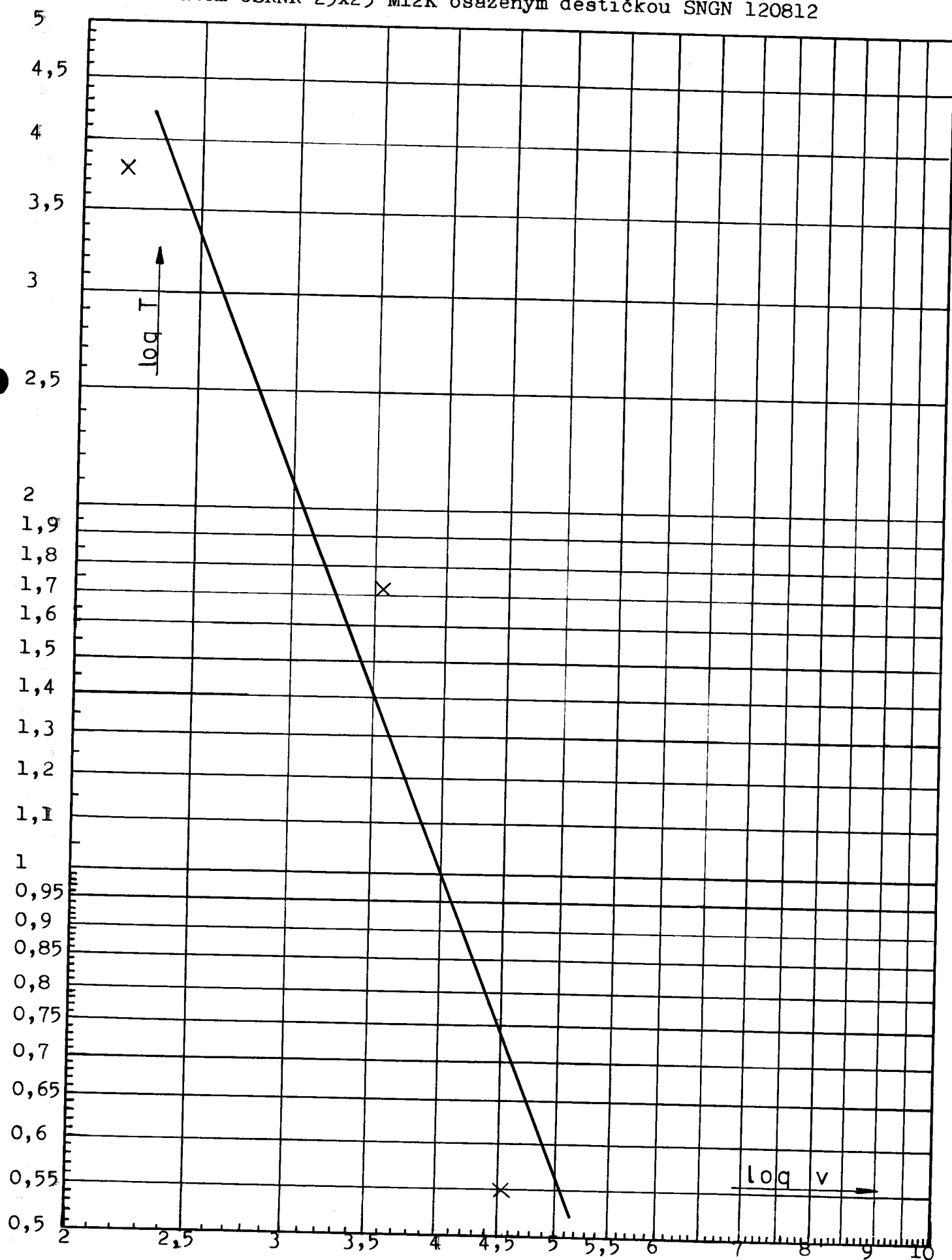
MAT. 422420
DEŠTIČKA INGN 160808

Graf 5.4

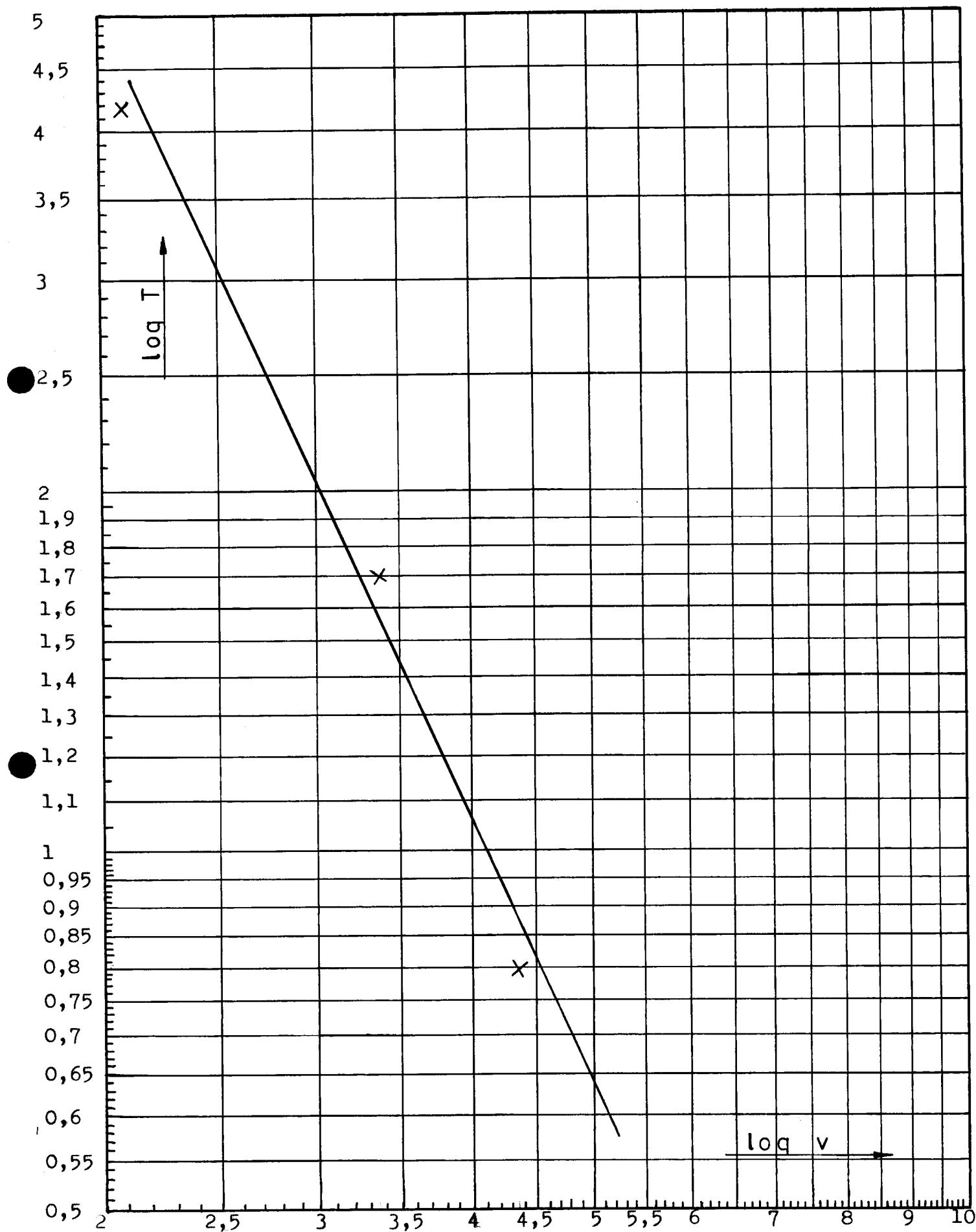
ZÁVISLOST VB-T



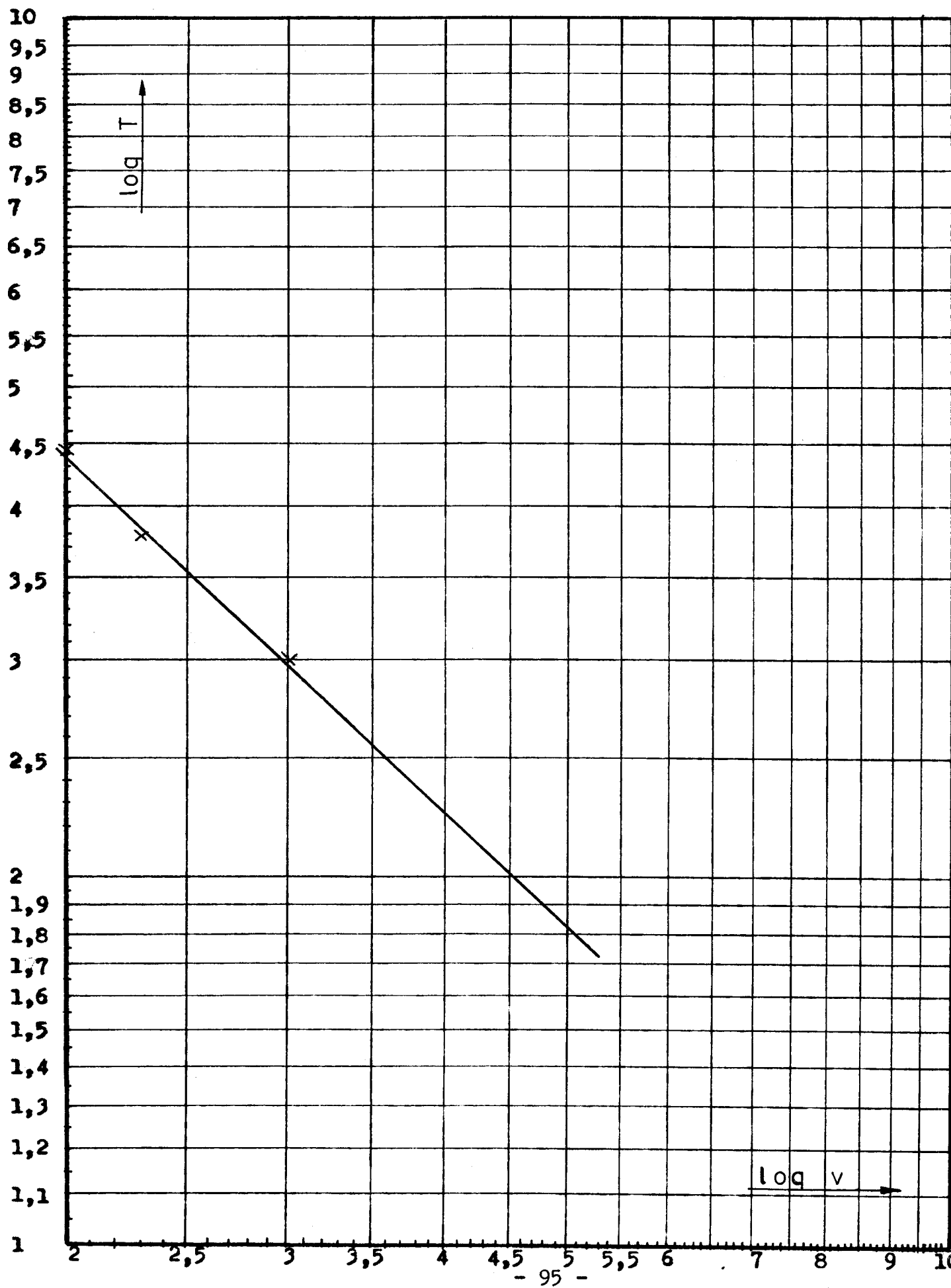
Graf č. 5.5 T - v závislost pro obrábění oceli 12050.1 nožovým
držákem CSRNR 25x25 M12K osazeným destičkou SNGN 120812



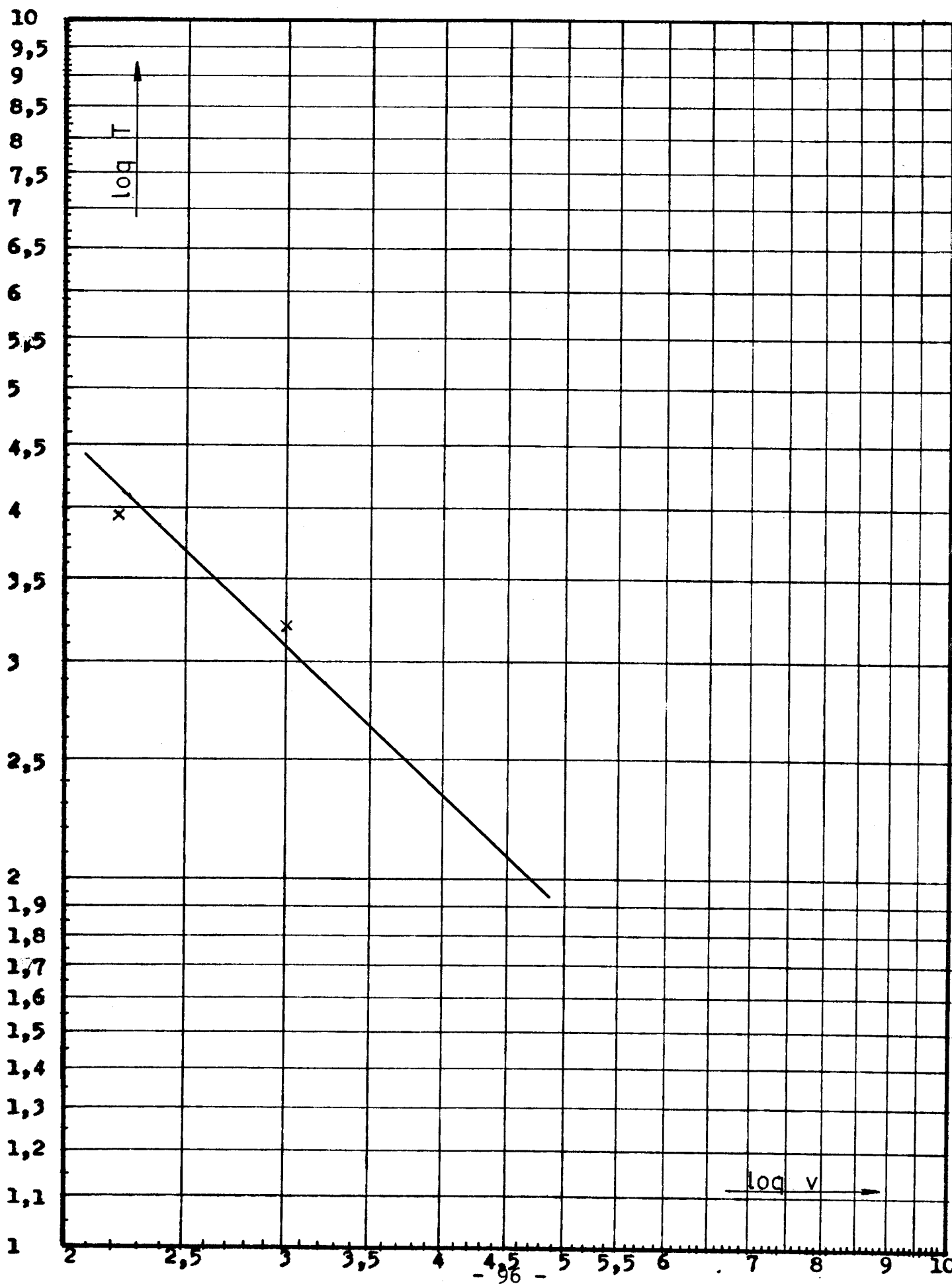
Graf č. 5.6 T - v závislost pro obrábění oceli 12050.1 nožovým dr-
žákem CTG NR 25x25 M16K osazeným destičkou TNGN 160808



Graf č. 5.7T - v závislost pro obrábění litiny 422420 nožovým dr-
žákem CSRNR 25x25 M12K osazeným destičkou SNGN 120812



Graf č. 5.8T - v závislost pro obrábění litiny 422420 nožový dr-
žákem CTG NR 25x25 M16K osazeným destičkou TNGN 160808



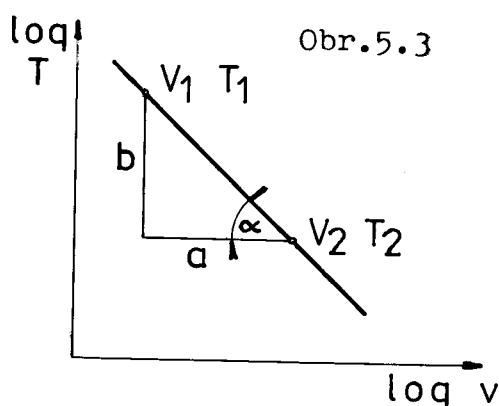
5.2.2 Vyhodnocení dlouhodobých zkoušek

Z naměřených hodnot opotřebení na hřbetě VB břitových destiček, uvedených v tab.5.1-11, bylo provedeno vyhodnocení zkoušek.

Způsoby vyhodnocování

- přibližné vyhodnocení

ze závislostí VB - T vyhodnotíme časy odpovídající VB_{krit} pro jednotlivé řezné rychlosti. Tyto hodnoty vyneseme do dvojité logaritmické sítě. Tangenta úhlu α určuje potom hodnotu exponentu m.



Obr.5.3

$$m = \frac{b}{a} = \operatorname{tg} \alpha$$

$$m = - \frac{\log T_1 - \log T_2}{\log v_1 - \log v_2}$$

$a \cdot c_T$ je konstanta, jejíž hodnota je dána teoretickou trvanlivostí při řezné rychlosti $1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Z těchto závislostí lze přibližně určit konstantu c_T a exponent m.

- vyhodnocení výpočtem

provádíme metodou nejmenších čtverců. Vycházíme z Taylo-rova vztahu

$$v \cdot T^{1/m} = c_T$$

Po zlogaritmování dostáváme

$$Y = m \cdot \log c_T = m \cdot X$$

kde $Y = \log T$

$X = \log v$

pro m pak platí

$$m = \frac{-n \sum Y_i \cdot X_i + \sum X_i \cdot \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$\log c_T = \frac{\bar{Y}}{m} + \bar{X} \quad \text{kde} \quad \bar{Y} = \frac{Y_i}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{X_i}{n}$$

T_i ... naměřená hodnota

T_{oi} ... vypočtená hodnota z rovnice regresní přímky :

$$Y = m \cdot \log c_T - m \cdot X$$

$$s_o = (T_i - T_{oi})^2$$

kde s_o je residuální součet čtverců

Pro odhad směrodatných odchylek platí $s = \frac{s_o}{n - 2}$

Vypočtené hodnoty m a c_T jsou udány v následující tabulce pro jednotlivý obráběný materiál a destičky.

Tab.5.12

Břitová destička	Obráběný materiál	m	c_T
SNGN 120812	ČSN 12050.1	2,635	921,25
TNGN 160816	ČSN 12050.1	2,050	1318,92
SNGN 120812	ČSN 422420	1,068	7016,68

Vzhledem k nedostatku zkušebnímu materiálu a jeho horší kvalitě /litina/ byly pro trojúhelníkovou destičku zvoleny pouze dvě rychlosti, jelikož jejich trvanlivost vycházela téměř shodně s trvanlivostí destiček čtvercových /při obrábění litiny 422420/.

5.2.3 Volba řezné rychlosti

Ze získaných T - v závislosti je možné pro použité břitové destičky pro příslušný obráběný materiál odečíst hodnoty trvanlivosti. Uvažujeme-li požadovanou trvanlivost cca 20 min

dostáváme směrné hodnoty řezné rychlosti:

- a/ pro obrábění oceli 12050.1 300 m . min⁻¹
- b/ pro obrábění litiny 422420 450 m . min⁻¹

5.2.4 Rozbor výsledků

Při obrábění oceli se dosahovaná trvanlivost čtvercových a trojúhelníkových řezných destiček odlišovala velmi málo, přičemž vyšší hodnota c_T byla dosažena u destičky TNGN 160816. Pro zvolenou trvanlivost 20 min. je řezná rychlost 300 m . min⁻¹ odpovídající, ale vzhledem k možnosti použít vysoké řezné rychlosti by bylo vhodné, zaměřit se při dalším vývoji keramických destiček v n.p. DIAS Turnov také na zvýšení jejich trvanlivosti.

Při obrábění šedé litiny byla trvanlivost 20 min. dosažena při rychlosti 450 m . min⁻¹. Čtvercové i trojúhelníkové destičky vykazovaly přibližně stejnou trvanlivost. Rychlost 450 m . min⁻¹ je ve srovnání s doporučenými hodnotami /Feldmühle - 500 m . min⁻¹/ dostatečná.

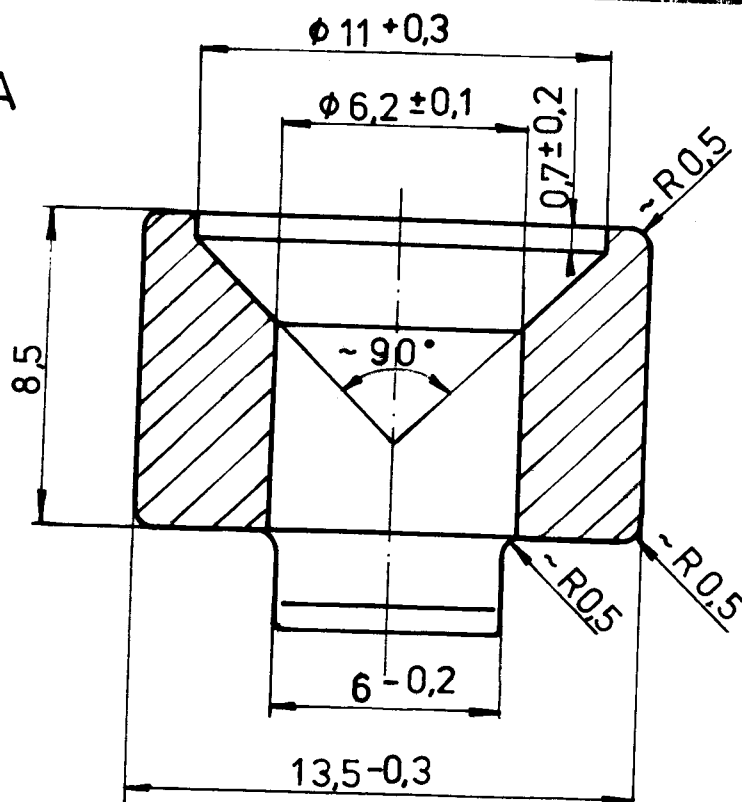
Při zkouškách nedošlo v žádném případě k lomu břitu destičky.

Naměřené hodnoty m jsou v rozmezí 1 - 2,7 a jsou tedy v uspokojivé shodě s literárními údaji. Jestliže se při obrábění dodržují základní požadavky, kladené na obrábění těmito destičkami, jsou tyto provozně spolehlivé.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

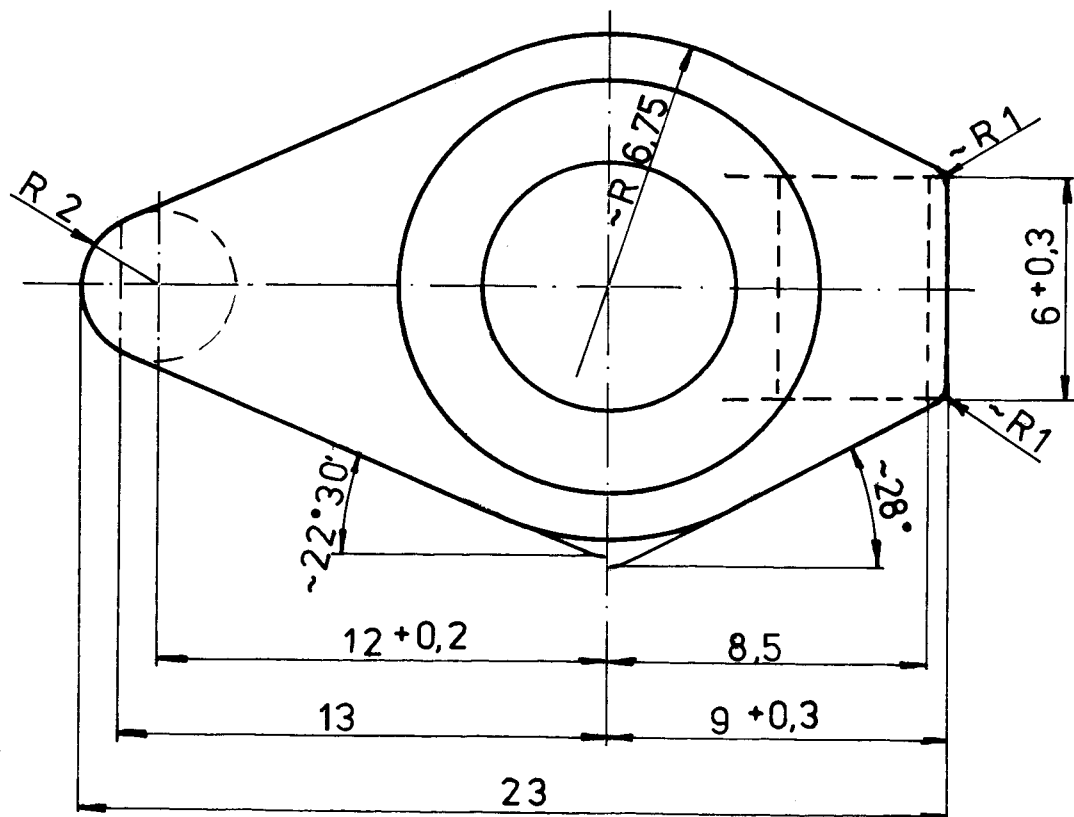
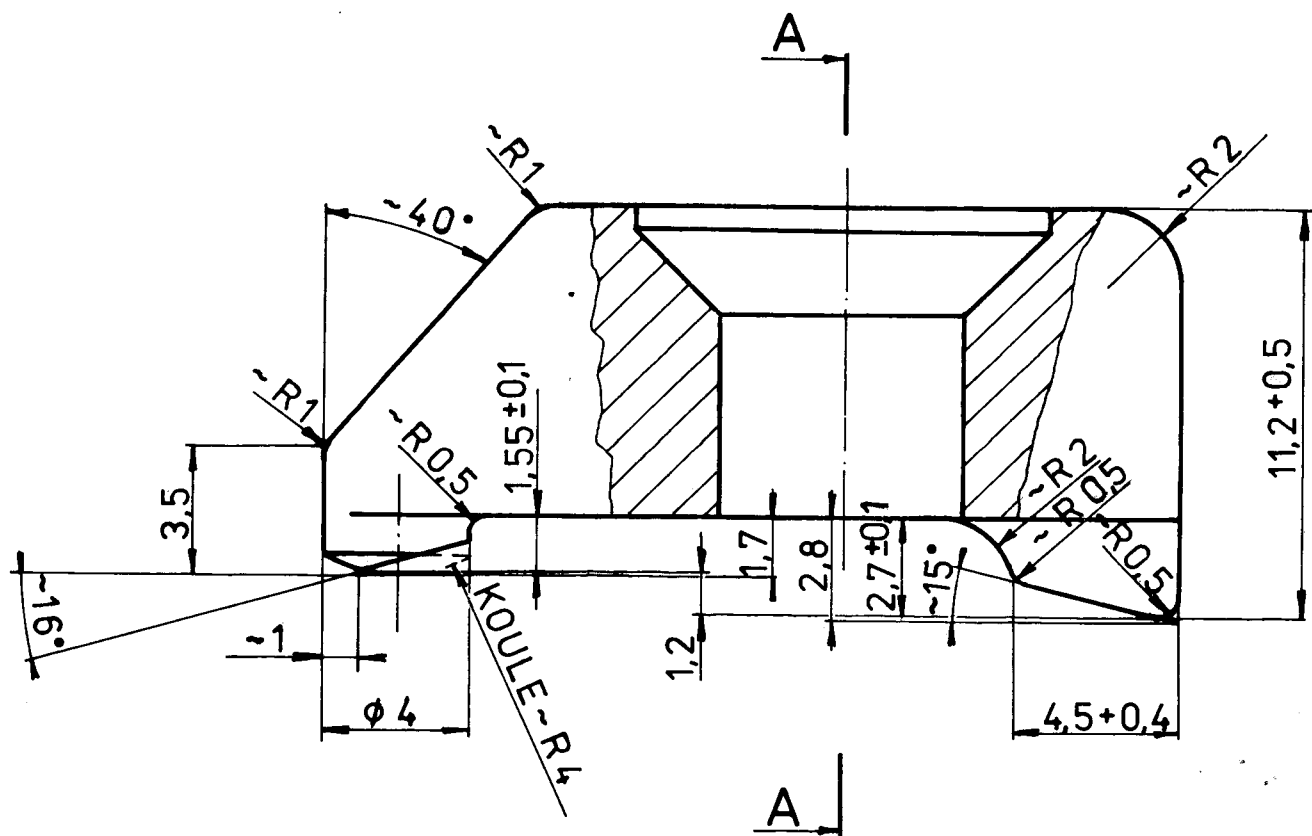
1. Přikryl Z. Teorie obrábění,
Musílková R. Praha, SNTL 1982
2. Buda J. Obrábanie keramickými destičkami,
Bratislava, SVTL 1959
3. Pošta M. Experimentální zjišťování konstant a
exponentů /zkoušky řezivosti keramických
břitových destiček/, Zpráva č.Z-49/78,
Praha, 1978
4. Pošta M. Funkční zkoušky soustružnických nožů
NAREX s keramickými břitovými destičkami
DIAS, Zpráva č.Z-54/79, Praha 1979
5. Hubený P. Zkrácené funkční zkoušky keramických
břitových destiček /diplomová práce/
VŠST-Liberec 1981
6. Gabriel V. Měření teplot v břitové destičce a držá-
Kvapilová J. ku při soustružení noži s mechanicky upí-
nanými břitovými destičkami, Zpráva VŠST
Liberec 1972
7. Křístek F. Obrábění vysokými řeznými rychlostmi,
Gabriel V. Zpráva VŠST Liberec, 1973
8. Kalousek V. Podklady pro volbu řezných podmínek pro
soustružení šedé litiny keramickými des-
tičkami DESAL, Zpráva č.541010E002/01
VÚOSO Praha 1982
9. Štajnochr L. Řešení upínání vyměnitelných břitových
destiček z řezné keramiky DISAL a výpočet
geometrie frézovacích hlav,
Zpráva č.333, ČVUT, Praha 1981
10. Štajnochr L. Směrnice pro konstrukci nástrojů s vymě-
Seidl O. nitelnými řeznými částmi,
Zpráva č.348, ČVUT, Praha 1982
11. Dworak U. Výroba a vlastnosti řezné keramiky,
firemní literatura SPK-Feldmühle, NSR
12. Feldmühle SPK - Werkzeuge, katalog firmy
Feldmühle
13. Plochinger Schneidkeramik - Tage 76,
referáte - Firemní literatura Feldmühle
14. Hatschek R.L. Special Report 733, May 1981
/speciální zpráva o vývoji keram.materiálů/

6,3 ✓

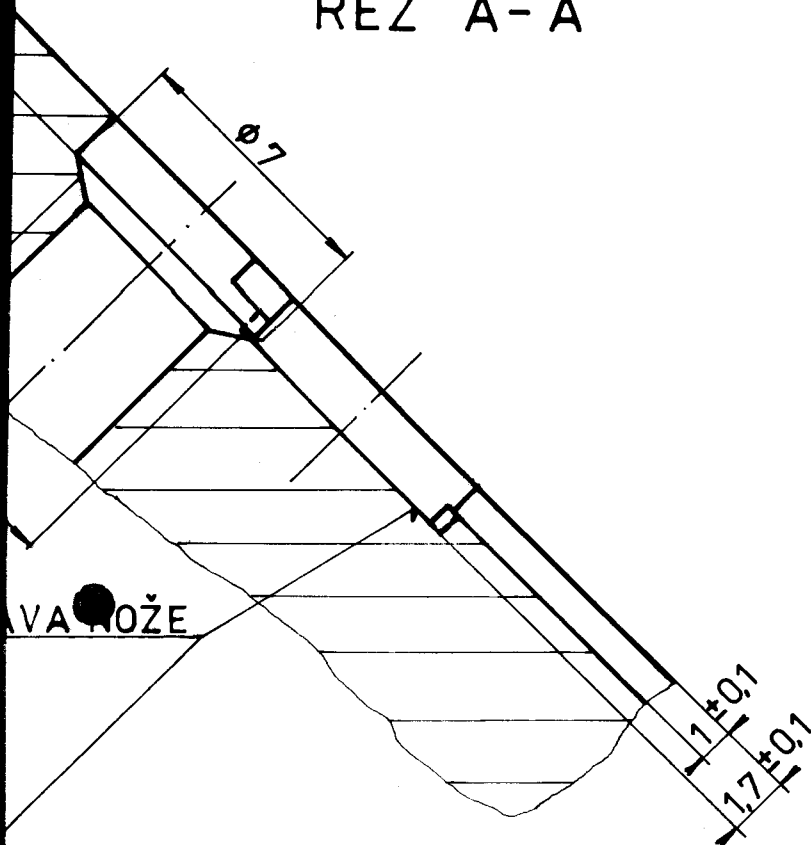


NEKÓTOVANÉ ZAOBLENÍ HRAN ~ R0,3
KALIT - POPUSTIT NA 1080 ÷ 1275 MPa
VÝCHOZÍ PODKLAD: VÝROBNÍ VÝKRES
NÁŘADÍ k.p. DĚČÍN č Tk 3288s

				15260																														
Název - Rozměr		Bulatovar		Mat. konečný		Mat. výchozí		Třída odp.		Č. váha																								
								Hr. váha		Číslo výkresu																								
										Pos.																								
IVORATAJ		Růžky		Čís. sním.		Celková čistá váha v kg 0,03																												
						<table border="1"> <tr> <td rowspan="4">Číslo sním.</td> <td colspan="4">Číslo sním.</td> <td rowspan="4">Číslo sním.</td> <td rowspan="4">Číslo sním.</td> <td rowspan="4">Číslo sním.</td> <td rowspan="4">Číslo sním.</td> <td rowspan="4">Číslo sním.</td> <td rowspan="4">Číslo sním.</td> </tr> <tr><td colspan="4"></td></tr> <tr><td colspan="4"></td></tr> <tr><td colspan="4"></td></tr> </table>						Číslo sním.	Číslo sním.				Číslo sním.	Číslo sním.	Číslo sním.	Číslo sním.	Číslo sním.	Číslo sním.												
Číslo sním.	Číslo sním.				Číslo sním.	Číslo sním.	Číslo sním.	Číslo sním.	Číslo sním.	Číslo sním.																								
27.5.1983		Čís. transp.																																
Typ		Skupina		Stav výkresu																														
Název				Nový výkres																														
PRODLOUŽENÁ UPÍNKA		3-KOM-OM-173/00-01																																
		Počet listů																																



ŘEZ A-A



DOTYK UPÍNKY

DETAIL ÚPRAVY PRAVÉHO NOŽE
STRANOVÉHO CTG NR 25x25M16K
VÝCHOZÍ PODKLAD: VÝROBNÍ VÝ-
KRES NÁŘADÍ k.p. DĚČÍN č.Tk 16013s

				15260						
Podst. číslo	Název - Rozměr	Podst. číslo	Mat. konečný	Mat. výchozí	Typ odč.	Č. váha	Hr.váha	Číslo výkresu	Pos.	
Podst. číslo				Celková čistá váha v kg 0.75						
Měřítko	K	IVO RATAJ	Podst.	Čle. sním.						
5:1	V.	27.5.1983	Čle. trans.							
Název				3-KOM-OM-173/00-02						
UPRAVENÉ TĚLESO NOŽE				Počet listů						

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

NAVRŽENÁ OSA UPÍNKY

Teorie obrábění, Praha, SNTL 1982

Obrábění keramickými destičkami, Bratislava, SNTL 1959

Experimentální zjišťování konstant a exponentů zkoušky řezivosti keramických břitových destiček, Zpráva č. Z-49/78, Praha 1978

Funkční zkoušky soustružnických nožů NAREX s keramickými břitovými destičkami DIAS, Zpráva č. Z-54/79, Praha 1979

Zkrácené funkční zkoušky keramických břitových destiček (diplomová práce) VŠTL-Liberec 1981

Měření teplot v břitové destičce a držáku při soustružení nůž s mechanicky upravenými břitovými destičkami, Zpráva VŠTL-Liberec 1972

Obrábění vysokými řeznými rychlostmi, Zpráva VŠTL-Liberec, 1973

Podklady pro vodu řezných podmínek pro soustružení litiny keramickými destičkami DESAT, Zpráva č. 541000E002/01 VÚOSO Praha 1982

Řešení upravení výměnitelných břitových destiček z řezné keramiky DIAS a výpočet geometrie řezacího nůže, Zpráva č. 333, ČVUT, Praha 1981

Směrnice pro konstrukci nástrojů s výměnitelnými řeznými částmi, Zpráva č. 348, ČVUT, Praha 1982

Výroba a vlastnosti řezné keramiky, Vnitřní literatura SPK-Feldmühle, NSR

Feldmühle SPK - Werkzeuge, katalog firmy Feldmühle

Floehinger Schneidwerkzeuge - Referate - Vnitřní literatura Feldmühle

Special Report 733, May 1981

14. Hasechek R.L.

1. Příkrýl Z., Musilková R.

2. Buda J.

3. Posta M.

4. Posta M.

5. Hubert P.

6. Gabriel V., Kvapilová J.

7. Krástek F., Gabriel V.

8. Kalousek V.

9. Stajnoch L.

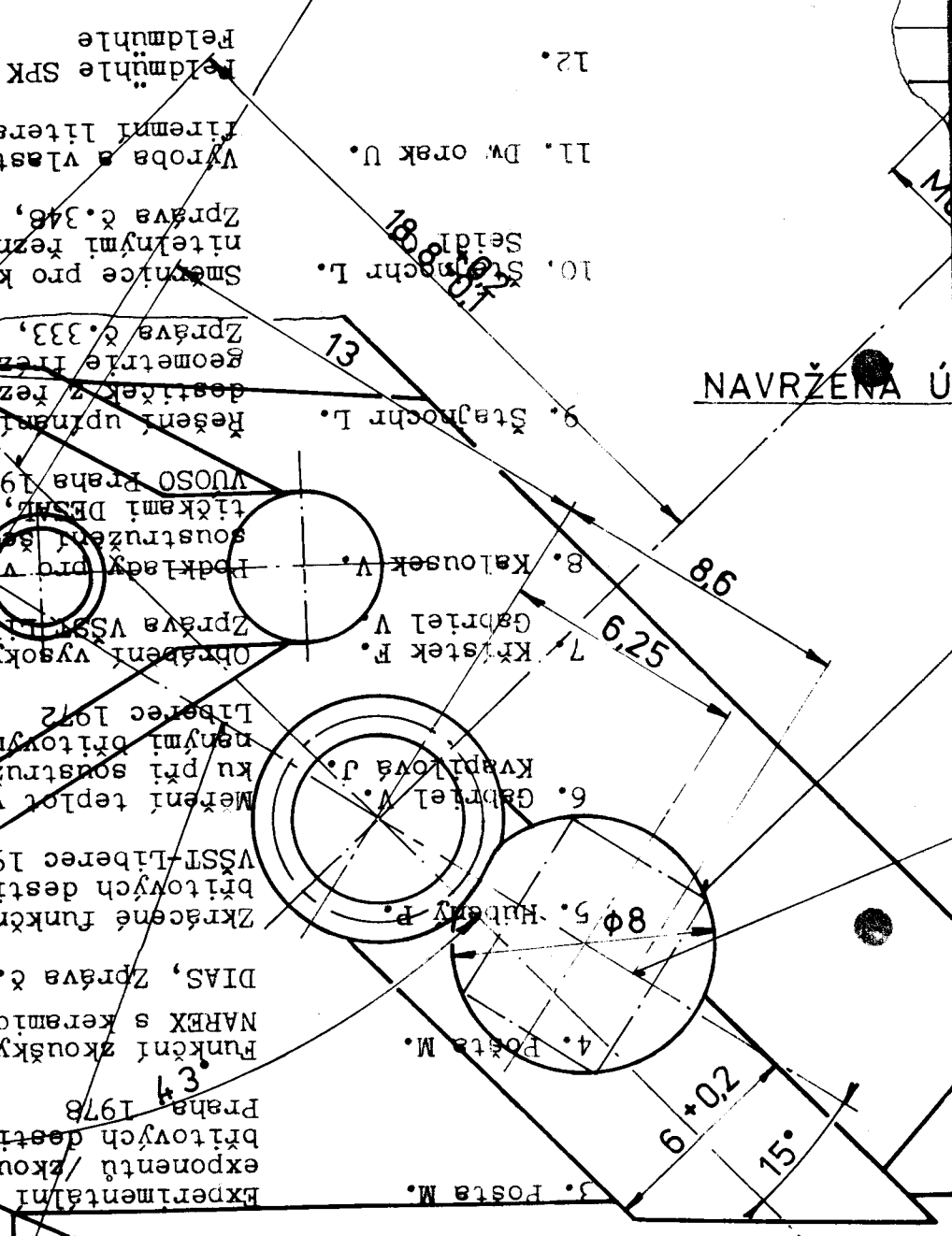
10. Seidinger L.

11. Dw orak U.

12.

STÁVAJÍCÍ OSA UPÍNKY

NAVRŽENÁ OSA



DOTYK UPÍNKY

STÁVAJÍCÍ OSA UPÍNKY

NAVRŽENÁ ÚP

NAVRŽENÁ OSA UPÍNKY

A

A

1.5

M6

0 ± 0.3

18.8 ± 0.2

13

30 ± 1

6 ± 0.1

30°

60°

43°

8.6

6.25

$\phi 8$

6 ± 0.2

15°