

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

A P L I K A C E B Ř I T O V Ý C H D E S T I Č E K
D E S A L P R O S O R T I M E N T V Ý R O B K Ů
K S K K O M O Ř A N Y

KOM-OM-206

Petr D O L E J Š

vedoucí práce: Ing. Robert K v a p i l, CSc
KOM VŠST Liberec

konzultant: Ing. Vladimír G a b r i e l
KOM VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh

počet stran		86
počet příloh a tabulek		35
počet obrázků		13
počet výkresů		0
počet modelů, jiných příloh		3

Datum: 25.5.1984

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní
Katedra: obrábění a montáže Školní rok: 1983/84

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro P e t r a D O L E J Š E
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: Aplikace břitvových destiček DESAL pro sortiment
výrobků KSK Komořany

Zásady pro vypracování:

1. Studium vlastností nástrojových materiálů
2. Výběr součástkové základny a hlediska pro použití keramického materiálu na NC strojích v podmínkách Krušnohorských strojíren Komořany
3. Provedení ověřovacích zkoušek a stanovení optimálních řezných podmínek na bybraném představiteli
4. Ekonomické zhodnocení navrženého řešení

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní řádk. zkoušky č.j. 31
727/62-83/2 ze dne 13. července
1962 Věstník MŠK XVIII, část 24 ze
dne 31.8.1962 510-1-8017/72-55.

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

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 50 až 60 stran textu

Seznam odborné literatury:

Hubený, P.: Zkrácené funkční zkoušky keramických břitových destiček.

(Diplomová práce) VŠST Liberec 1981

Rataj, I.: Ověřovací zkoušky nožů s řeznou keramikou. (diplomová práce) VŠST Liberec 1983.

Matěna, L.: Využití keramických břitových destiček pro soustružení na NC strojích. (Diplomová práce) VŠST Liberec 1981

Vedoucí diplomové práce: Ing. Robert K v a p í l, CSc

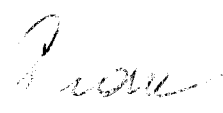
Konzultant: Ing. Vladimír Gabriel

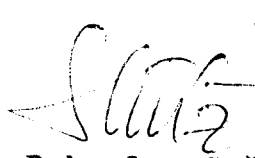
Datum zadání diplomové práce: 30.9.1983

Termín odevzdání diplomové práce: 25.5.1984

L.S.




Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc
Vedoucí katedry


Doc. RNDr. Bohuslav Stříž, CSc
Děkan

v Liberci dne 20. září 1983

PROHLÁŠENÍ

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

V Liberci dne 25. 5. 1984

Petr Dolejš
Petr D o l e j š

O B S A H

	str.
1. Ú V O D	7
2. S T U D I U M V L A S T N O S T Í N Á - S T R O J O V Ý C H M A T E R I Á L Ů	9
2.1 Základní druhy řezné keramiky	9
2.2 Fyzikálně mechanické a technologické vlastnosti řezné keramiky	9
2.3 Oblasti použití řezné keramiky	13
2.4 Řezná keramika v ČSSR	16
2.4.1 Současná situace ve výrobě čs. řezné kera- miky	16
2.4.2 Mechanické, tepelné a chemické vlastnosti DISAL 100	17
2.5 Možné způsoby výroby řezné keramiky	18
2.6 Technologie výroby keramických řezných destiček v n.p. Dias Turnov	19
2.6.1 Základní suroviny	19
2.6.2 Příprava hmoty	20
2.6.3 Tažení polotovarů	21
2.6.4 Sušení a přežah	21
2.6.5 Výpal	21
2.6.6 Konečné opracování polotovarů řezných destiček	22
2.7 Plánovaný vývoj výroby řezných destiček DISAL	25
2.8 Geometrie břitu keramických destiček	26
2.8.1 Geometrie a řezné parametry	26
2.8.2 Úpravy ostří keramických destiček	28
2.8.3 Vliv fazetky na utváření třísky	29

2.9	Směrné hodnoty řezných parametrů	30
2.9.1	Řezné podmínky doporučené VÚOSO pro soustružení litiny řeznou keramikou DISAL	30
2.9.2	Řezné podmínky doporučené VÚOSO pro soustružení oceli řeznou keramikou DISAL	32
2.9.3	Směrnice pro volbu posuvu	33
2.9.4	Vliv řezné rychlosti na utváření třísky	34
3.	V Ý B Ě R S O U Č Á S T K O V Ě Z Á - K L A D N Y A H L E D I S K A P R O P O U Ž I T Í K E R A M I C K Ě - H O M A T E R I Á L U N A N C S T R O J Í C H V P O D M Í N K Á C H K R U Š N O H O R S K Ý C H S T R O J Í - R E N K O M O Ř A N Y	36
3.1	Vývoj NC techniky	36
3.2	Hlediska pro použití řezné keramiky	38
3.3	Současná situace ve využití NC strojů	39
3.4	Rozbor nápravy lokomotivy	41
4.	P R O V E D E N Í O V Ě Ř O V A C Í C H Z K O U Š E K A S T A N O V E N Í O P T I M Á L N Í C H Ř E Z N Ý C H P O D M Í N E K N A V Y B R A N Ě M P Ř E D S T A V I T E L I	45
4.1	Dlouhodobé zkoušky řezivosti	45
4.1.1	Použitá zařízení a pomůcky	45
4.1.2	Řezné podmínky	45
4.1.3	Postup při dlouhodobé zkoušce řezivosti	47
4.1.4	Vlastní měření	49
4.1.5	Vyhodnocení dlouhodobých zkoušek řezivosti	61
4.1.6	Rozbor výsledků	63

4.2	Racionální plánování a vyhodnocování experimentů	65
4.2.1	Použitá zařízení a pomůcky	65
4.2.2	Postup při Racionálním plánování a vyhodnocování experimentů	65
4.2.3	Vyhodnocování ortogonálních plánů	68
4.2.4	Naměřené hodnoty	68
4.2.5	Výpočet racionálního plánování a vyhodnocování experimentu	69
4.2.6	Rozbor výsledků a zhodnocení	71
5.	E K O N O M I C K É Z H O D N O C E N Í N A V R Ž E N Ě H O Ř E Š E N Í	72
5.1	Ekonomická hlediska při zavádění řezné keramiky	72
5.2	Zavedení československé řezné keramiky	73
5.3	Ekonomické důsledky, vyplývající ze zavedení řezné keramiky při obrábění lokomotivní nápravy	74
5.3.1	Postup při vyhodnocování nákladů	74
5.3.2	Výpočet nákladů	76
5.3.3	Nákladově optimální trvanlivost	80
6.	Z Á V Ě R	83
7.	S E Z N A M P O U Ž I T É L I T E R A - T U R Y	85

S E Z N A M P O U Ž I T Ý C H Z K R A T E K

A S Y M B O L Ů

$T_{\max}$	- max. rozdíl teplot	HB	- tvrdost mat.
λ	- tepelná vodivost	HV	- tvrdost mat.
R_m	- pevnost mat. v tahu	SK	- slin. karbid
α	- koef. tepel. roztaž.	RO	- rychloř. ocel
E	- modul pružnosti v tahu	V	- opotřebení
T	- trvanlivost	K	- konst. opotř.
v	- řezná rychlost	W	- kluzná dráha
C_T	- konstanta	H	- tvrdost
m	- exponent	B	- teplot. součin.
h	- hloubka řezu	T	- abs. teplota
s	- posuv	H_0	- tvrd. při 0°K
α	- úhel nastavení ostří	R_a	- drsnost povrchu
λ_s	- úhel sklonu ostří	p	- předčelí
ϵ	- úhel špičky		
r_ϵ	- poloměr špičky		
s_z	- posuv na zub		
VB	- opotř. hřbetu		
VC	- šíř. opotř. špičky		
VN	- šíř. vrubu na hřeb.		
$VB_{\max}$	- max. šíř. opotř. hřeb.		
KB	- šířka výmolu		
KM	- vzdál. stř. vým. od ostří		
KT	- hloubka výmolu		
T_i	- naměřená hodnota		
T_{oi}	- vypočtená hodnota		
S_0	- resid. součet čtverců		
S	- odhad směr. odchylek		
n	- počet měření		

1. Ú V O D

Ve strategii našeho hospodářského rozvoje má klíčovou úlohu strojírenství. Povinností strojírenství je na kvalitativně vyšší úrovni zabezpečovat výstavbu, obnovu a modernizaci výrobně technické základny našeho hospodářství, významně přispět k rychlému růstu společenské produktivity práce i k uspokojování potřeb obyvatelstva strojírenským spotřebním zbožím.

Proto klademe takový důraz na to, aby strojírenství přizpůsobilo strukturu a proporce výroby novým potřebám, podstatně zvýšilo technickoekonomickou úroveň vyráběných strojů a zařízení na základě soudobé vědy a techniky, aby řešilo vleklý problém nedostatku náhradních dílů, opravárenských kapacit a servisu, které jsou předmětem časté a oprávněné kritiky.

Úkoly vypracované vedením strany a konkretizované na XVI. sjezdu KSČ formou zprávy " O směrech hospodářského a politického vývoje ČSSR na léta 1981 - 1985 ", lze rozdělit do dvou stěžejních oblastí. První z nich vyplývá z členství naší země v Radě vzájemné hospodářské pomoci. Jde zejména o plnění úkolů a povinností našeho strojírenství v rámci této organizace, především pak mezinárodních dohod o kooperaci a specializaci výroby s členskými státy RVHP. Druhou oblastí je vývoz a výměna zboží, tzn. vytváření potřebných podmínek pro stabilizaci a přírůstek pracovníků, urychlování technické rekonstrukce a modernizace strojírenské výrobní základny především v podnicích, kde se realizují exportní a rozvojové programy.

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 náročných světových trzích.

Podle odhadu představuje podíl obrábění v průmyslově vyspělých zemích asi 5 % národního důchodu. Má-li se podle rozvojových koncepcí strojírenské výrobní základny do roku 1990 zdvojnásobit bez nárůstu pracovních sil, je nutno zabezpečovat potřebné zdroje už nyní.

S rostoucími požadavky na soustavné zvyšování produktivity práce při obrábění klasických konstrukčních i speciálních těžkoobrobitelných materiálů jsou kladeny stále vyšší nároky na trvanlivost a výkonnost řezných nástrojů. Jedním z vysoce progresivních řezných materiálů je řezná keramika.

Poprvé v historii se keramické řezné materiály objevily na počátku našeho století v Německu, ještě před zavedením SK. Patenty byly vydány v Anglii / r. 1912 / a Německu / r. 1913 /. Velkého rozmachu doznala řezná keramika až kolem roku 1960. Vývoj keramických řezných destiček přinesl řadu výhod oproti dřívějším nástrojovým materiálům. Destičky jsou tvrdší a odolnější proti opotřebení a zachovávají si své vlastnosti i za vysokých teplot. K rozvoji řezné keramiky nemalou měrou přispělo zvyšování cen a nedostupnost legujících prvků nutných při výrobě rychlořezných ocelí a slinutých karbidů.

Nyní je využití řezné keramiky v třískovém obrábění ve světě asi 8 %. Podle současných prognóz je předpoklad nasazení řezné keramiky v příštích deseti letech až 30 % z objemu veškerého třískového obrábění, proto je velmi důležité tento světový trend zachytit i u nás.

2. STUDIUM VLASTNOSTÍ NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ

2.1 Základní druhy řezné keramiky

Vyráběné keramické řezné materiály dělíme do dvou skupin:

- čistá keramika - čisté oxidy / $99,7\% \text{ Al}_2\text{O}_3$ /
- směsná keramika - kovové oxidy / Al_2O_3 + příměsi kovů /
- karbidové oxidy / Al_2O_3 + příměsi karbidů /

Složením řezné keramiky jsou dány rozdíly v jejich hustotě a tvrdosti. Řezné destičky z čistého korundu mají vyšší tvrdost za vyšších teplot. Řezné destičky ze směsné keramiky mají proti tomu lepší odolnost proti opotřebení a proti tepelným šokům. Princip legování Al_2O_3 karbidem titanu je v tom, že TiC má vyšší tepelnou vodivost a kompozice tak lépe snáší tepelné rázy.

Mezi jiné přísady, které se směšují s Al_2O_3 je možno zařadit kysličníky hořčíku, chromu, niklu a zirkonu, nitríd a borid titanu.

2.2 Fyzikálně mechanické a technologické vlastnosti řezné keramiky

Keramický řezný materiál na bázi Al_2O_3 se vyznačuje velkou tvrdostí ve srovnání s jinými řeznými materiály, takže keramické destičky se při teplotách kolem 1000°C jen neznatelně prohýbají. Keramický řezný materiál si také zachovává svoji tvrdost a dostatečnou pevnost proti lomu a vzdornost proti opotřebení při značně vyšších teplotách než slinuté karbidy. Keramický materiál dovoluje větší teplotní namáhání břitu, takže může být použit při značně

větších řezných rychlostech než jiné řezné materiály.

Nevýhodou keramického materiálu je velice malá stálost proti teplotním změnám. Např. náhlá změna teploty o 200°C způsobuje rozrušení čistého oxidu. Značného zlepšení se dosahuje použitím příměsí TiC nebo WC.

Tvrдост

Nejdůležitější vlastnost nástrojového materiálu je tvrdost. Vzhledem k tomu, že není dosud jednoznačně definována, byla zvolena jako nejvýhodnější metoda pro měření tvrdosti keramických destiček metoda podle Vickerse, podle níž má být tvrdost:

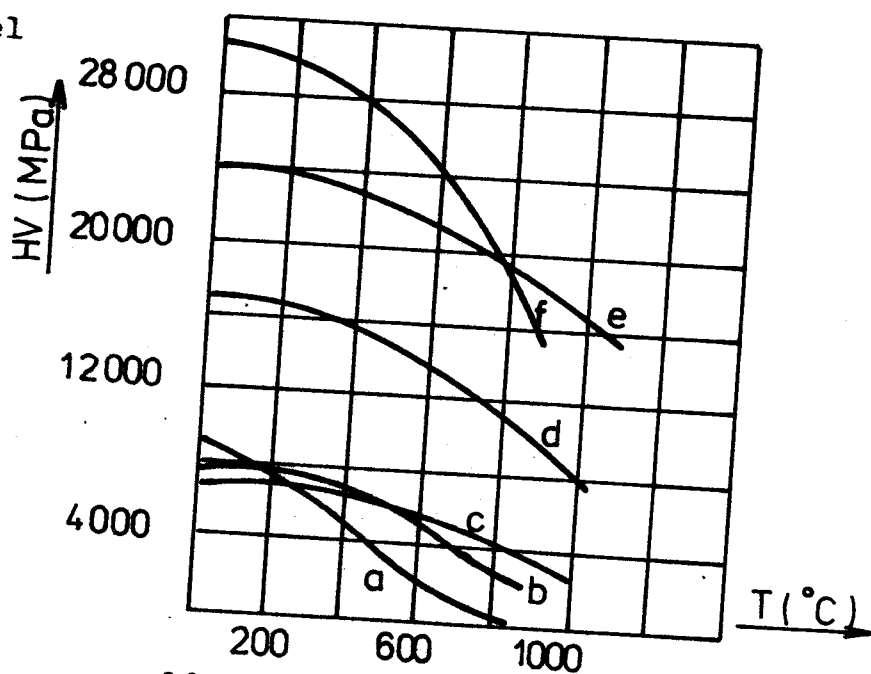
čistě keramiky 23 000 - 24 000 MPa

směsné keramiky 28 000 - 30 000 MPa

Hodnota tvrdosti se může lišit podle toho, byla-li tvrdost měřena na povrchu vzorku nebo ve středu vzorku. Ve srovnání s jinými řeznými materiály drží keramika tvrdost i za vysokých teplot.

Diagram č. 1 Průběh tvrdosti u nástrojových materiálu

- a - uhlíková ocel
- b - rychlořezná ocel
- c - stellit
- d - slinutý karbid
- e - čistá keramika
- f - směsná keramika



Odolnost proti opotřebení

V obecné rovnici opotřebení vzájemně reagujících kovů

$$V = \frac{K \cdot N \cdot W}{H}$$

V - opotřebení

K - konstanta opotřebení

W - kluzná dráha

H - tvrdost měkčího materiálu.

nevystupuje explicitně vliv teploty na kluzných plochách. Protože se používá materiálů vysoce odolných proti opotřebení při velkých silách a vysokých rychlostech a proto i vysokých teplotách na kluzných plochách, nemůže u nich být zanedbána změna tvrdosti měkčího materiálu s teplotou. Vliv teploty se dá vystihnout exponenciálním číslem

$$V = \frac{K \cdot N \cdot W}{H_0} \cdot \exp / - BT /$$

B - teplotní součinitel
tvrdosti

T - absolutní teplota

H₀ - tvrdost při 0°K

Podle předchozích rovnic je opotřebení úměrné podílu normální síly a tvrdosti, tedy skutečné ploše styku. Pokud se týká natavení mezi mikrozrným korundem a kovem, je pro vznik natavení nutno překročit určitou teplotu charakteristickou pro každou dvojici materiálů - teplotu adheze T₀, takže pro korundové materiály má rovnice tvar:

$$V = \frac{K \cdot N \cdot W}{H_0} \cdot \exp / B / T - T_0 //$$

Velmi dobrá odolnost proti opotřebení při tření oceli pro Al_2O_3 je vyjádřena hodnotou $K - 5 \cdot 10^{-7}$.

Pevnost v tlaku

Keramický materiál se vyznačuje vysokou pevností v tlaku. Nejvyšší hodnota je až 3 000 MPa. Výhodou je značná nezávislost na teplotě. Při 500°C tato hodnota klesá asi na polovinu, při $1\,100^\circ \text{C}$ asi o $1/3$ pevnosti v tlaku při pokojové teplotě.

Pevnost v ohybu

Je jedním z limitujících faktorů při použití řezné keramiky. Vývojem technologie výroby a výrobou směsné keramiky se hranice ohybové pevnosti posunula k hodnotě 650/700/ MPa.

Odolnost proti náhlým změnám teploty

Je dalším limitujícím faktorem pro použití řezné keramiky

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

λ - tepelná vodivost

R_m - pevnost v tahu

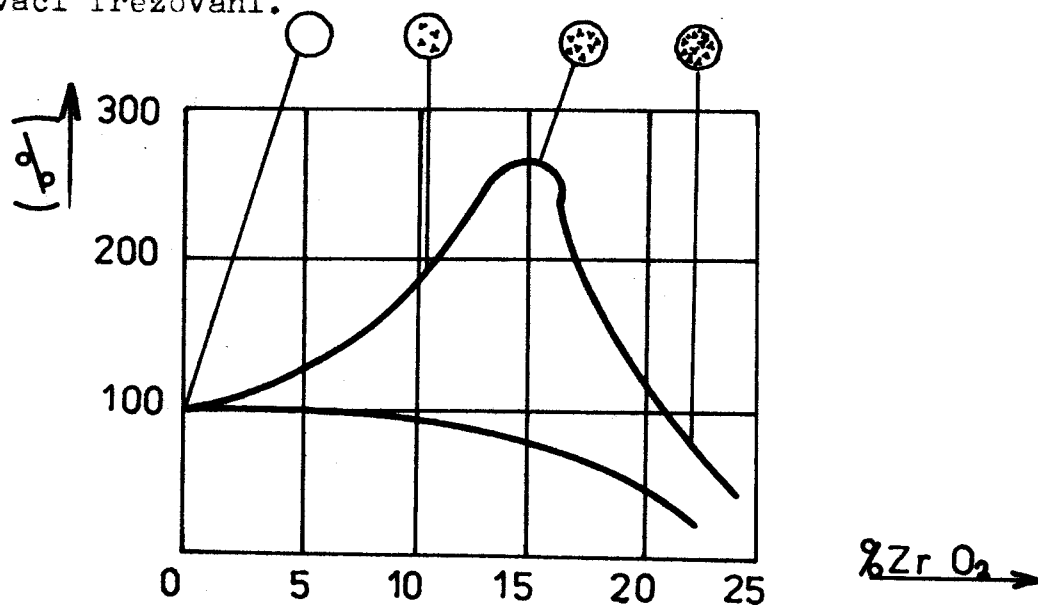
α - koeficient tepelné roztažnosti

E - modul pružnosti

Keramické řezné materiály mají v porovnání se slinutými karbidy tepelnou vodivost 10 - 40 x 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.

Houževnatost

Houževnatost řezné keramiky lze zvýšit přísadou ZrO_2 . Přidáním ZrO_2 do základního materiálu kysličníku hlinitého se podstatně změní rychlost šíření trhlin. Houževnatost se dá zvýšit o více než 100 %. Počáteční použití klasické řezné keramiky se rozšíří o hrubovací a dokončovací frézování.



Obr. č. 1 Závislost pevnosti a houževnatosti na přísadě ZrO_2

2.3 Oblasti použití řezné keramiky

Svémi fyzikálně mechanickými vlastnostmi, především tvrdostí a tím, že si tvrdost udržují i za vysokých teplot, jsou keramické řezné materiály předurčeny pro obrábění za vysokých rychlostí a obrábění tvrdých materiálů. To platí jak pro hrubování, tak pro dokončovací operace. Dosud běžně užívané řezné rychlosti při obrábění řeznou keramikou se pohybují od $300 - 600 \text{ m min}^{-1}$. Výrobci keramických řezných destiček ovšem udávají použitelnost v některých případech až 1500 m min^{-1} .

Vedle obrábění vysokými řeznými rychlostmi má také

velký význam možnost obrábění velmi tvrdých materiálů
řeznou keramikou. Např. v n.p. Škoda Plzeň byly provedeny
zkoušky řezivosti československé keramiky DISAL 100.

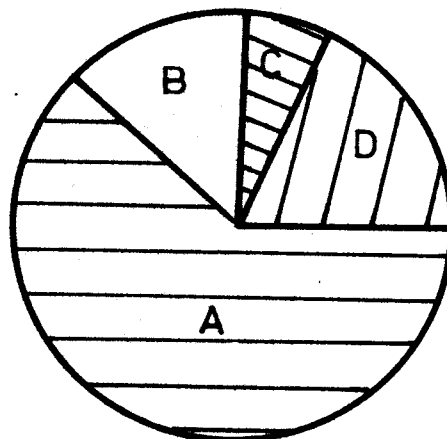
Při těchto zkouškách byl obráběn i materiál 19 436 . 4,
který je podle normativů obrobitelný jen broušením. Při řez-
né rychlosti 46 m min^{-1} , $h = 1 \text{ mm}$, $s = 0,1 \text{ mm ot}^{-1}$ se trvan-
livost pohybovala okolo 30 minut. Je nutno poznamenat, že
se jednalo ještě o staré destičky se šestihraným otvorem,
které byly horší kvality. Naopak se tato řezná keramika uká-
zala nevhodná při obrábění ocelí houževnatých. Při soustru-
žení ocelí 25 CH 1 MP a zejména 10 CH 11 N20 T3R docháze-
lo k vyštípnutí řezné hrany již po několika minutách.

Materiály doporučené VÚSTE pro obrábění čistou řeznou
keramikou:

- cementační oceli
- oceli k zušlechtění
- oceli na valivá ložiska
- rychlořezné oceli
- šedá litina
- tvárná litina

Obr. č. 2 Oblasti použití řezné keramiky

- A - šedá litina
- B - tvrzená litina a
jiné tvrdé slitiny
- C - tvrzené oceli
- D - cementační,
zušlechtěné



Z obr. č. 2 lze rozpoznat, že největší oblast použití řezné keramiky je při soustružení šedé litiny. Nutno ještě podotknout, že v poslední době řezná keramika získává stále více na významu při frézování.

Řezná keramika se používá především pro operace soustružení a to jak pro dokončování, tak i pro hrubování. Je možno dosahovat hloubek řezu až 8 mm a posuvů až 1 mm ot⁻¹. Soustružit je možno jak přímé úseky, tak i složitější tvary např. kopírovacím způsobem. Vyrábí se i keramické destičky, jimiž je možno zapichovacím způsobem soustružit drážky, zápichy, klínové drážky a pod. V poslední době se řezná keramika používá stále více také pro operace frézování. To umožnil především vývoj směsné keramiky, která dovoluje přerušovaný řez. Jemným a velmi jemným frézováním lze nahradit broušení.

Při obrábění řeznou keramikou je nutno věnovat uspořádání pracovního průběhu daleko více pozornosti než při obrábění slinutými karbidy. Velké množství druhů a jakostí slinutých karbidů dává možnost přizpůsobování se obráběné součástce a stroji. Zcela jiné jsou však poměry při soustružení řeznou keramikou neboť k dispozici je pouze určitá kvalita řezné keramiky s určitou geometrií.

V budoucnu se předpokládá, že z celkových 100 % obráběcích operací by asi tak 5 - 8 % mělo být prováděno řeznou keramikou. Nad tuto hranici 8 % se budeme dostávat jen velmi těžko, jelikož charakter některých operací a vlastností současných druhů řezné keramiky tuto možnost zavedení vylučují.

2.4 Řezná keramika v ČSSR

2.4.1 Současná situace ve výrobě čs. řezné keramiky

V Československu se výrobou keramických břitových destiček zabývá n.p. Dias Turnov. Sériově se zde vyrábí břitové destičky z čisté keramiky DISAL 100, která má složení 99,7 % Al_2O_3 a 0,3 % MgO . Tato čistá, bílá keramika je určena pro obrábění ocele i litiny. Obrábět je možno jak na čisto, tak i jako hrabovací operace. Zatím se břitové destičky vyrábí ve tvaru čtverce, trojúhelníku, kruhu a kosočtverce, přičemž většina výroby připadá na destičky čtvercové.

Vzhledem k některým nedostatkům čisté keramiky je nutno neustále vyvíjet nové keramické materiály. N.p. Dias Turnov vyrobil již menší sérii břitových destiček z nového materiálu, který je označován SOK 1 - 6. Jedná se o tzv. polosměsnou oxidovou keramiku. Základem tohoto materiálu je Al_2O_3 . Jako příměsi jsou zde použity oxidy chromu, cobaltu a niklu do 1 % hmotnostního obsahu.

Složení ukazuje tabulka č. 1

Tab. č. 1 Složení oxidové keramiky

Materiál	Oxidy prvků	Barva
SOK 1	Cr + Co	tmavě modrá
SOK 2	Cr + Co	světle modrá
SOK 3	Cr + Ni	hnědozelená
SOK 4	Cr + Ni	hnědá
SOK 5	Cr + Co + Ni	zelená
SOK 6	Cr + Co + Ni	šedozelená

Základní přísadou je zde kysličník chromu. Druhá přísada

se do hmoty vnaší v různých fázích výroby a v různých sloučeninách. Tím dojde k rozdílnému zabarvení destiček.

Ve vývoji je i československá směsná keramika přibližného složení 98 % Al_2O_3 , 1,7 % TiC , 0,3 % MgO .

V současné době se v n.p. Dias Turnov vyrábí řezné destičky z materiálu dodaného americkou firmou ABCDA. Zároveň se zkouší výroba destiček z materiálu dovezeného z PLR. V obou případech se jedná o čistou keramiku.

2.4.2 Mechanické, tepelné a chemické vlastnosti DISAL 100

a/ Objemová hmotnost ... 3,7 - 3,95 /g.cm⁻³/

Pozn.: tento rozptyl měrné hmotnosti má velmi nepříznivý vliv na mechanické vlastnosti zejména na rozptyl v trvanlivosti.

b/ Tvrdost - při 20°C	...	24 000 HV
600°C	...	22 000 HV
800°C	...	20 000 HV
1 000°C	...	18 000 HV
1 100°C	...	18 000 HV

c/ Pevnost v tlaku

při 80°C	...	3 000 MPa
500°C	...	1 500 MPa
1 100°C	...	1 000 MPa

d/ Pevnost v tahu

při 20°C	...	265 MPa
1 200°C	...	130 MPa / 50 % původní hodnoty /

e/ Pevnost v ohybu

při 20°C	...	min. 220 MPa
700°C	...	75 % původní hodnoty

f/ Pevnost ve stříhu ... 10 % pevnosti v tlaku

g/ Tepelná vodivost - $4,6 - 16,3 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$

Slinutý korund má při pokojové teplotě přibližně stejnou tepelnou vodivost, jako nerezavějící ocel. Hlavní odvod tepla z místa řezu / destičky / je pomocí podložky, upínky a tělesa držáku. Pokud by se u nás vyvinula vlastní směsná keramika, mohli bychom obrábět i s chladicí kapalinou. Přídatný TiC má oproti korundu lepší tepelnou vodivost, vyšší modul pružnosti, vyšší pevnost v tahu a menší součinitel tepelné roztažnosti. Tímto se zlepší odolnost proti náhlým změnám teploty / tepelné šoky / ve srovnání s čistým Al_2O_3 .

2.5. Možné způsoby výroby řezné keramiky

Struktura řezné keramiky je především z korundové fáze Al_2O_3 , na jejichž hranicích je spinel $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Odolnost proti opotřebení závisí na velikosti krystalu a to tak, že větší rozměr krystalu ovlivňuje mechanické vlastnosti nepříznivě. Z teorie pevnosti křehkých krystalů vyplývá, že pevnost je nepřímo úměrná čtverci velikosti průměru zrna. Abychom dostali malé rozměry krystalů, použijeme inhibitorů růstu zrn, k nimž patří MgO . Tím vznikne spinel, který podporuje proces slinování.

a/ Technologie tažením

Do prášku Al_2O_3 se přidá takové množství pojiva, aby vznikla plastická hmota. Tato plastická hmota se protlačuje z lisovacího válce pomocí pístu nebo šneku přes dýzu / hubici /. Vytvářejí se tak protáhlé díly libovolného průřezu, které se vypálí a nařežou se na jednotlivé destičky. Velká nevýhoda této metody je to, že při rotačním šroubovém pohybu šneku vzniká i stejný obraz ve struktuře, což má podstatný vliv na mechanické vlastnosti destičky. Velkou výhodou této metody je poměrně malá náročnost výroby.

b/ Lisování suché

V tomto případě se jedná o výrobní postup, kdy prášek Al_2O_3 se smíchá s organickými pojivy, která při slinování beze zbytku vyhoří a granule se zhutní tlakem ve formách, které jsou vyrobeny z oceli nebo SK. U tohoto způsobu je výhodné použití pro slinovací automaty. Výhodou této metody je stejnoměrnost struktury a z toho důvodu rovnoměrné mechanické vlastnosti ve všech směrech.

c/ Izostatické lisování

Je variantou suchého lisování s elastickými změnami formy / pryžový vak / s rovnoměrným všestranným zhutněním v tlakové komoře. Protože odpadá tření na stěně formy, je šíření tlaku lepší. Nevýhodou této a předchozí metody je to, že prášek Al_2O_3 působí jako brusivo a po určitém čase vzniká značné opotřebení lisovací formy a tím pádem i nárůst rozměru destičky.

2.6. Technologie výroby keramických řezných destiček v n.p. Dias Turnov

2.6.1 Základní suroviny

Výchozí surovinou pro výrobu polykrystalického korundu typu DISAL 100 je Al_2O_3 . V tomto speciálním případě se jedná o tzv. startovací prášek - výrobce Spolek pro chemickou a hutní výrobu v Ústí nad Labem. Pro účely výroby se dodává Al_2O_3 od výrobce v hobcích po 50 kg. Zrnění dodávaného Al_2O_3 se pohybuje okolo 1 μm .

Kalcinace

Kysličník hlinitý ve formě startovacího prášku má krystalovou mřížku, která je pro přímé zpracování na výrobky z polykrystalického korundu nevhodná. Za účelem přeměny krystalové mřížky na potřebný tvar je nutno kysličník

před dalším zpracováním kalcinovat. Kalcinace se provádí v korundových pouzdrech a v tunelové peci se vypálí na $1\,250^{\circ}\text{C}$.

Přísady a mletí

Pro dokonalejší slinutí a snížení slinovací teploty se přidává steran hořečnatý / 2 váhové díly /. Hořčík působí jako modifikátor růstu zrn. Současně se přidá i kyselina olejová, která zlepšuje poměry při mletí kalcinátu / snižuje statický náboj a umožňuje mletí pod $1\,\mu\text{m}$ /. Tyto dva komponenty se přidávají za tepla. Nejprve se zahřeje potřebné množství kyseliny olejové a steranu hořečnatého a tento steran se rozpustí v kyselině. Dále se zahřeje část kalcinátu / asi $1/4$ potřebného množství /, na 70°C a vmíchají se přísady. Poté se tato část smíchá se zbytkem kalcinátu. Takto připravený kalcinát má malou měrnou hmotnost a při dalším zpracování by nedocházelo k velkému zlepšování a též zpracování by bylo velmi obtížné. Proto je nutné provádět mletí v kulovém mlýně. Potřebné parametry vykazuje hmota mletá 34 hodin / další mletí již nevykazuje podstatné zvýšení objemové hmotnosti /. Mletí je prováděno v kulovém mlýnku / 4 kg hmoty a 16 kg koulí /. Hmota se dále přesítuje a je dále připravena k zapracování pojiv a k dalšímu zpracování na polotovary.

2.6.2 Příprava hmoty

a/ Hnětení

Vzhledem k tvaru břitových destiček a k dalšímu strojnímu zařízení byla zvolena výroba polotovarů tažením z hmoty v plastickém stavu. Do namleté hmoty se na hnětače vmíchají pojiva a rozpracují se 30 min. hnětením. Jako pojiva se používá směs 32 váhových dílů dibutylitalátu a 68 váho-

vých dílů petroleje.

b/ Vakuování

Zpracovaná hmota se dále zpracovává na vakuovém dvoušnekovém lisu. Nejprve se odstraňuje vzduch obsažený ve hmotě dvojím protažením vakuovým lisem s nástavcem na tvoření hublů $\varnothing$ 27 mm. Tímto se současně zvýší plasticita hmoty a dosáhne se zlepšení homogenity. Takto připravená hmota je vhodná pro tažení požadovaných tvarů polotovarů.

2.6.3 Tažení polotovarů

Vlastní tažení provádíme též na vakuovém lisu pomocí tvarového ústí nasazeného na výstup lisu. Z ústí nám vycházejí profily požadovaných tvarů s přídavkem na smrštění, které nastane během slinování při výpalu. Tyto profily jsou v plastickém stavu a nelze s nimi manipulovat, pouze se přímo po vytažení nakrájejí a nechají se zaschnout volně na pracovním stole. Po zaschnutí se narovnají na desky k operaci - sušení.

2.6.4 Sušení a přežah

Tvarové profily narovnané na přežahových deskách se suší v komorové sušárně na 200 - 250° C. V komorové sušárně se odpaří převážná část zpracovaných pojiv a profily značně zkřehnou. Poté se přerovnají do komorové elektrické pece s řízeným volným vzestupem teploty nutným pro zamezení destrukcí při odpařování zbytků pojiv. Přežah se provádí na teplotu 600 - 800° C, kdy již jsou profily dostatečně pevné a umožňují manipulaci.

2.6.5 Výpal

Přežahnuté profily se upraví na délku, která je ekonomicky nejvýhodnější pro řezání na řzacích automatech.

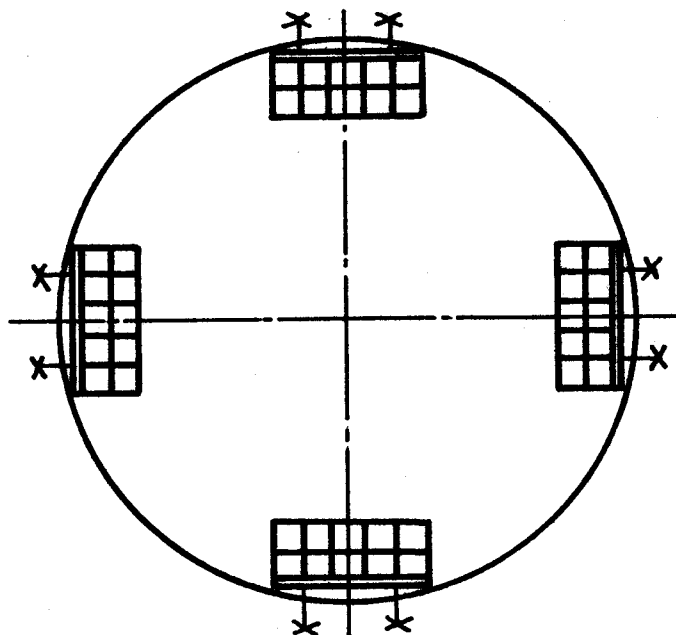
Tyto " trámečky " se narovnají do korundového pouzdra a vypálí se. Vypal se provádí v elektrické supertanthalové komorové peci na teplotu $1\,400 - 1\,500^{\circ}\text{C}$, podle druhu materiálu. Zde byla provedena změna technologie. Dříve se vypalovaly již nařezané destičky v propanbutanové zvonové peci.

Vypálené trámečky se v pobočném závodě v Sobotce nařežou diamantovými kotouči na výšku odpovídající výšce břitové destičky s přídavkem na broušení.

2.6.6 Konečné opracování polotovarů řezných destiček

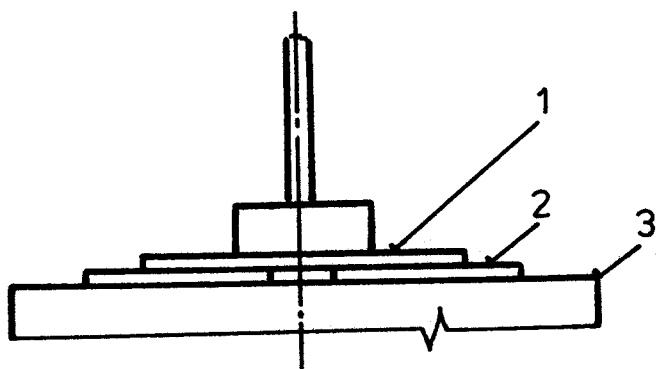
Konečné opracování probíhá v n.p. Dias Turnov. Tato výroba se radikálně změnila v lednu 1981 zakoupením a uvedením do provozu dvou brusek Wendt. Nejprve se brousí horní a spodní plocha destičky. Na hrubo rozřezané destičky se rovnají do tzv. talířů a z boku se přitáhnou šrouby.

Obr. č. 3



Jednotlivé talíře jsou specializovány pouze na jeden druh destiček. Tímto způsobem se najednou brousí 4 talíře s takto upnutými destičkami na stroji ES 3990 / výrobce n.p. Meopta Přerov /. Uspořádání broušení všech 4 talířů na stroji ES 3990 je na obr. č. 3.

Obr. č. 4



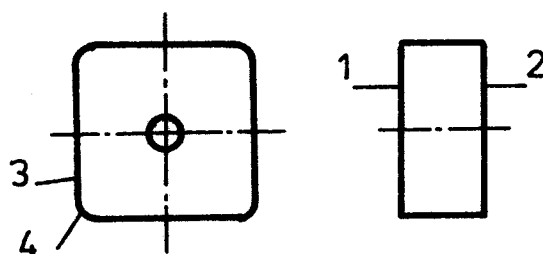
1 - diakotouč

2 - talíře s destičkami
/ 4 ks /

3 - stojan

Zde na tomto stroji je použit brousící diamantový kotouč typu DSM 63/50 o průměru $D = 420$ mm. Broušení jedné strany trvá přibližně 8 minut a celkový čas pro obroušení obou ploch / talíře je nutno otáčet / je 20 minut. V současné době se výrobní tolerance na výšku destičky pohybuje $8 + 0,05$ a $+ 0,1$. Na tomto stroji ES 3990 se opracovávají plochy 1, 2 - viz obr. č. 5

Obr. č. 5



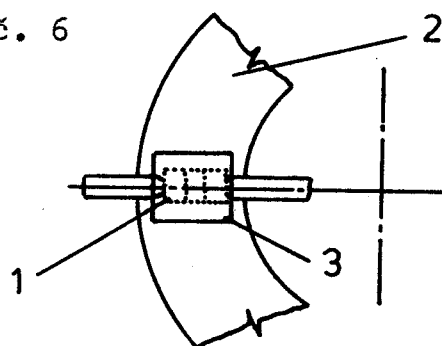
Dále je třeba vybrousit plochy 3 a 4 / rádiusy špičky a boky destiček /, které se opracovávají na stroji WENDT WCM 100/11.

Na stroji WAM 300/11 se čelním diakotoučem o průměru 350 mm a šířce mezikruží 30 mm brousí rovné úseky boku destiček a poloměry zaoblení. Na tomto stroji se brousí najednou 3 kusy destiček z důvodu omezení maximální šířkou broušení 25 mm. Stroj je řízen vačkou a opracování se provádí opět na 2 etapy. V první etapě se brousí rovné plochy a poté ve druhé etapě se celý přípravek s destičkami otočí a brousí se rádiusy zaoblení. Celkový čas obrábění pro 3

destičky jsou asi 2 minuty. Při broušení se používá honovací olej, který je dodáván spolu se strojem. Cyklus broušení probíhá zcela automaticky s možností předvolení posuvových rychlostí a přítlaků. Zvláštností je, že hlavní posuvy jsou řízeny pružinami a vedlejší posuvy hydraulikou. Toto řešení je z důvodu přesnosti nastavených hodnot.

Schéma broušení je na obr. č. 6.

Obr. č. 6

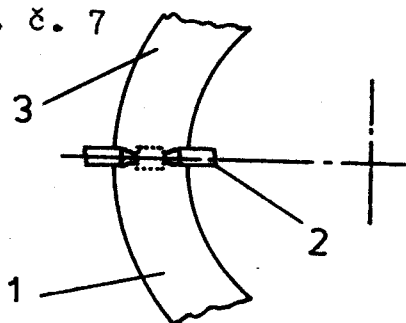


- 1 - broušení destičky
- 2 - brousící kotouč
- 3 - upínací přípravek

Jelikož je zde velký odpad od broušeného materiálu, je přímo u stroje kontinuální čištění kapaliny. Nástrojem je zde diamantový kotouč dodávaný spolu se strojem typu D 54.

Konečná fáze broušení destiček je na stroji WCM 100/11, kde se vybrušují fazetky $0,3 \times 20^\circ$. Tyto fazetky se brousí na hraně destičky vždy jednotlivě a také zcela automaticky. Pouze je nutno destičku v zásobníku dvakrát orientovat. Nástrojem je zde čelní diamantový brusný kotouč o průměru 125 mm a šířce $s = 2,5$ mm a materiálu D 15 / výroba NSR /. Pracovní kapalinou je zde zase speciální honovací olej / dodáván spolu se strojem /. Schéma broušení fazetek je na obr. č. 7

Obr. č. 7



- 1 - broušená destička
- 2 - upínací přípravek
- 3 - brousící diskotouč

Takto vyrobené destičky jsou posílány na konečnou kontrolu, kde se pod mikroskopy zkoumá kvalita břitů / výlomky na hranách / a takto zkontrolované destičky se balí do speciálních kazet z plastické hmoty / po 10 kusech /.

2.7 Plánovaný vývoj výroby řezných destiček DISAL

N.p. Dias Turnov se i nadále bude zabývat výrobou keramických řezných destiček. Nebude to v takovém množství jak bylo plánováno dříve / 1 000 000 kusů ročně /, ale plánuje se výroba 250 000 ks destiček ročně. Koncem 7. pětiletky by se měla zvýšit na 500 000 ks ročně. Výroba je omezena jednak kapacitou závodu / hlavně broušení / a jednak požadavky odbytu. Odbyt destiček je omezen nedostatečným množstvím a sortimentem držáků NAREX a také nedostatkem vhodných obráběcích strojů v našem hospodářství.

Keramické řezné destičky se budou vyrábět z následujících materiálů:

DISAL 100 - čistá keramika

DISAL 200 - oxidová keramika

DISAL 300 - směsná keramika.

Výroba směsné keramiky / $Al_2O_3 + TiC$ / je vázána na dodání lisu pro izostatické lisování z KS. Ten by měl být dodán v 1. pololetí r. 1984.

Z hlediska tvaru se nadále budou vyrábět především destičky čtvercové. Dále se budou vyrábět trojúhelníkové, kosočtvercové a kruhové destičky. Počítá se se zavedením výroby destiček větších tloušťek a formátu. I nadále zůstává v destičkách otvor, který nemá podstatnější vliv na pevnost destičky při správném upnutí. Dokonce se uvažuje o upínání destiček za otvor.

U destiček se počítá s následujícími cenovými relacemi:

Tab. č. 2

keramický materiál	cena za kus / Kčs /
DISAL 100	43,-
DISAL 200	47,50
DISAL 300	46,-

Cena je uvedena pro čtvercovou destičku, kterých se bude vyrábět nejvíce.

2.8. Geometrie břitu keramických destiček

2.8.1 Geometrie a řezné parametry

Jelikož se jedná o velice křehký materiál s relativně malou pevností v ohybu / vzhledem k ocelím / tak vytváříme vždy negativní úhel čela nástroje. Tento negativní úhel je vytvořen již nožovým držákem resp. skloněním jeho dosedacího lůžka tak, že při dosednutí destičky na podložku je zabezpečen jak vhodný negativní úhel čela, tak i negativní úhel sklonu ostří.

Hlavní úhel nastavení sklonu ostří volíme podle pevnosti materiálu, který obrábíme. Pro každý takový materiál vychází určitá optimální směrodatná tloušťka třísky a tuto tloušťku třísky zabezpečíme vhodnou volbou úhlu sklonu hlavního ostří a posuvu. Viz tab. č. 3.

Tab. č. 3 Volba posuvu v návaznosti na úhel nastavení

Úhel nastavení	Směrodatná tloušťka	Posuv
α	třísky / mm /	mm . ot ⁻¹
90°	0,35	0,35

./. pokračování tab. na str. 27

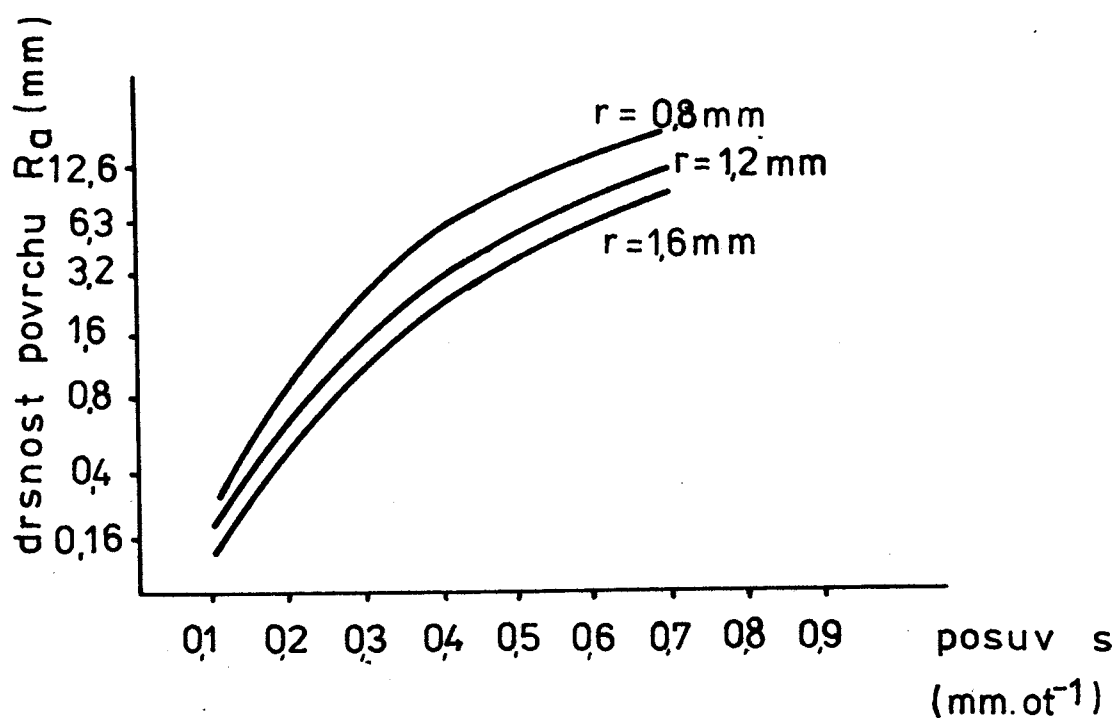
Úhel nastavení	Směrodatná tloušťka	Posuv
α	třísky / mm /	mm . ot ⁻¹
75°	0,35	0,35
60°		0,40
45°		0,50
30°		0,60

Poznámka: tyto hodnoty platí pro směrodatnou tloušťku třísky 0,35 mm.

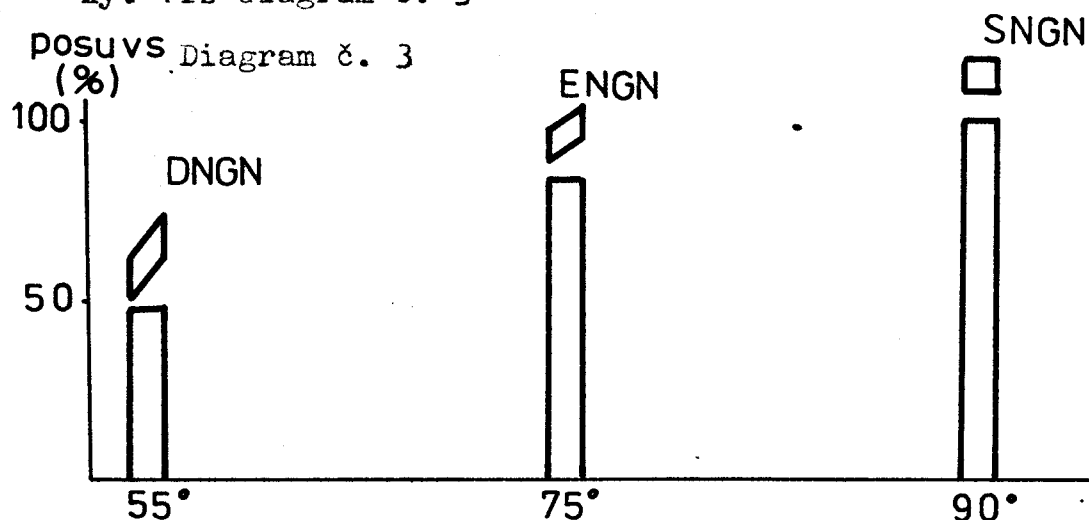
Do této kapitoly lze ještě zařadit rádius zaoblení špičky destičky, který se běžně vyrábí od 0,8 - 2,0 mm. Tento rádius má velký vliv na drsnost povrchu.

Diagram č. 2 znázorňuje vliv kombinace posuvu a poloměru zaoblení / rádius špičky / na drsnost Ra.

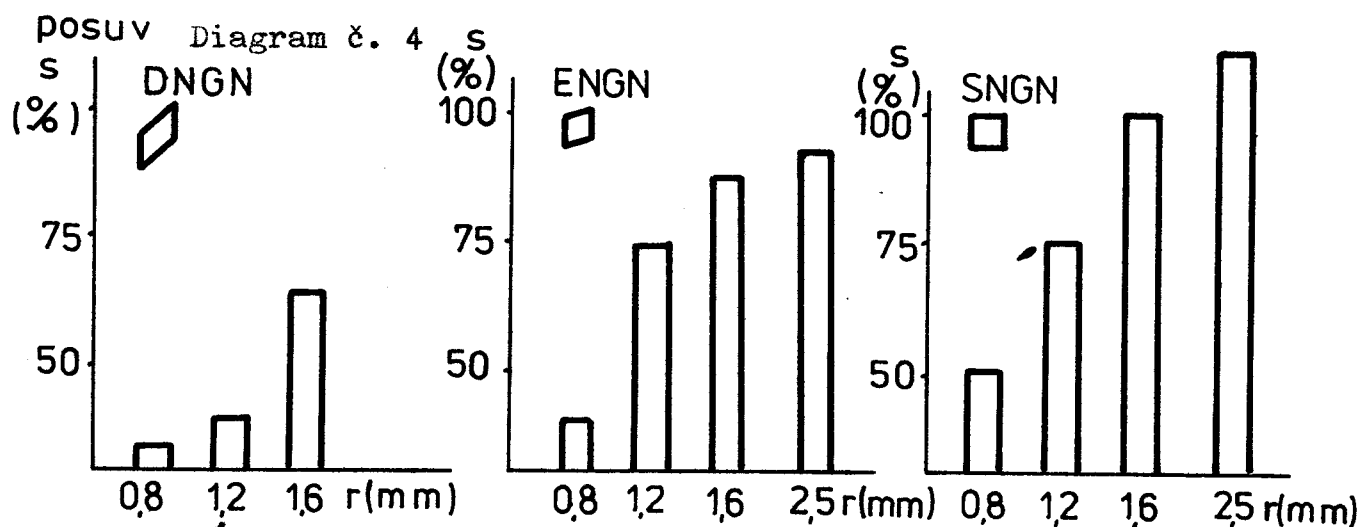
Diagram č. 2



Na velikost posuvu má vliv také tvar použité destičky. Viz diagram č. 3



Vliv poloměru zaoblení špičky destičky na posuv je v diagramu č. 4.

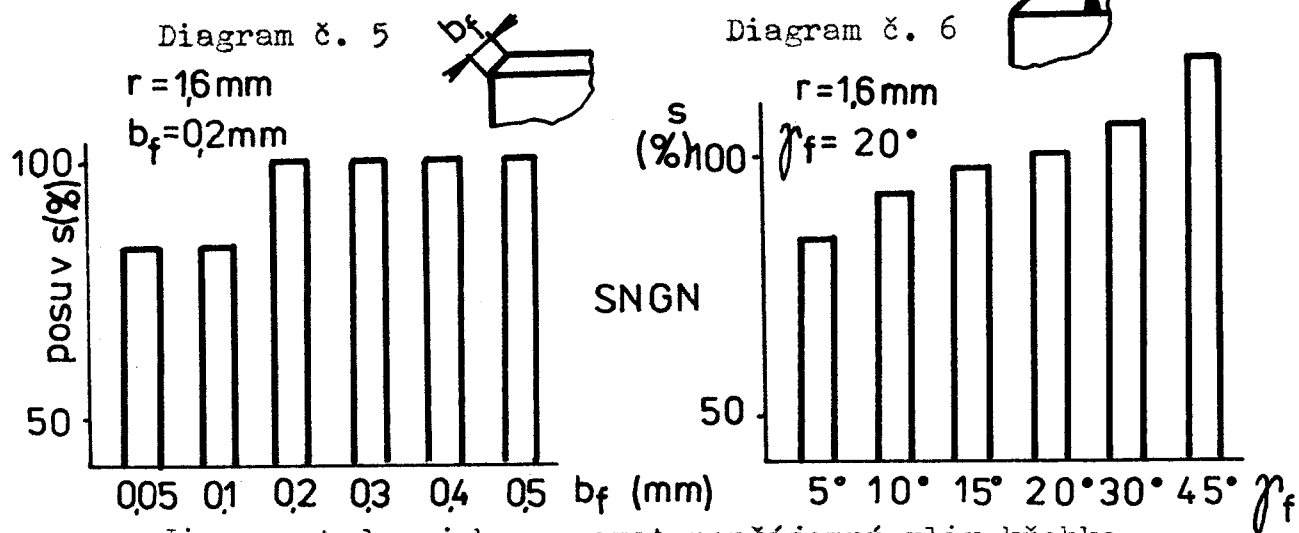


2.8.2 Úpravy ostří keramických destiček

Jelikož keramický řezný materiál je při své velké tvrdosti velmi náchylný ke vzniku trhlinek vylamováním drobných částíček s povrchu břitu, je nutné na hraně destičky vybrušovat ochranou fazetku, která zároveň tvoří záporné předčelí a podstatně snižuje možnost vzniku výlomků na břitu. Šířka předčelí p je závislá na pracovních podmínkách a pro běžné použití dodávají výrobci destičky se šířkou předčelí 0,05 - 0,4 mm / malé hodnoty platí pro velmi jemné soustružení /.

Všeobecně platí, že šířka předčelí má být stejná nebo menší než je velikost posuvu. Pro obrábění na čisto velmi malými úběry je nejvhodnější šířka 0,05 mm. Při soustružení tvrdých slitin a kalených ocelí se nejlépe osvědčila šířka předčelí $p = 2$ mm se záporným úhlem čela 15° .

Např. firma SPK Feldmühle opatřuje své výrobky ochrannou fazetkou $0,2 \times 20^\circ$ a také pro jemné obrábění na čisto fazetkou $0,05 \times 20^\circ$. Zvláštní význam při obrábění reznou keramikou má tvar ochranné fazetky. Zatímco u obrábění šedé litiny a běžných ocelí má být šířka ochranné fazetky všeobecně menší, než je tloušťka třísky. Při obrábění tvrze litiny se lépe osvědčila větší šířka fazetky, např. $2 \times 15^\circ$. Takováto fazetka stabilizuje řezný klín a činí jej necitlivým proti tepelným zatížením.

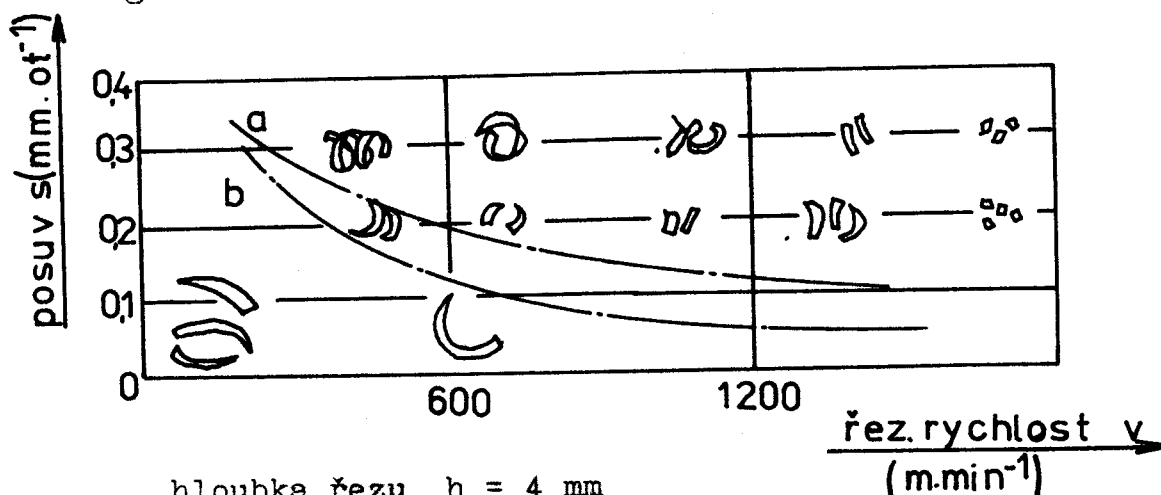


Jinou metodou jak omezovat nepříjemný vliv křehkosti je vytvoření rádiusu na řezné hraně honováním. Takový rádius nejenže přispívá ke zvýšení geometrické pevnosti, ale také omezuje výskyt mikroskopických trhlin, které se mohly objevit po broušení.

2.8.3 Vliv fazetky na utváření třísky

Důležitým problémem hlavně při automatizovaném obrábění je tvorba třísky. Proto je důležitý výzkum činitelů,

které tvorbu třísky ovlivňují. Jedním z nich je tvar a velikost ochranné fazetky. Vliv těchto parametrů ukazuje diagram č. 7



hloubka řezu $h = 4 \text{ mm}$

materiál obrobku CK 45 / 12 050 /

a - fazetka $0,2 \text{ mm} \times 20^\circ$

b - fazetka $0,3 \text{ mm} \times 30^\circ$.

Naměřené hodnoty jsou platné pro obrábění bez příložného utvařeče třísek. Výzkum byl proveden ve spolupráci SPK Feldmühle a Deimler - Benz.

2.9. Směrné hodnoty řezných parametrů

Jelikož materiály z řezné keramiky lze použít v širokém rozsahu řezných rychlostí, byly experimentálními zkouškami určeny neoptimálnější hodnoty pro dané druhy materiálů.

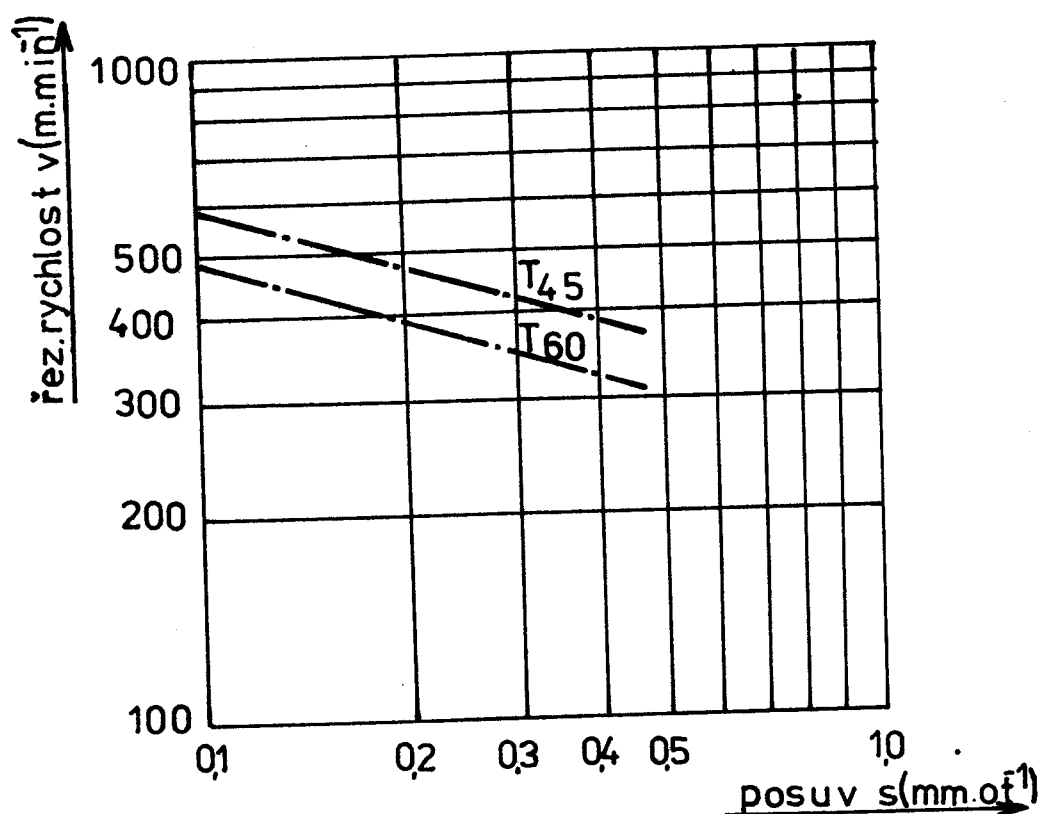
2.9.1 Řezné podmínky doporučené VÚSO pro soustružení litiny řeznou keramikou DISAL.

VÚSO uvádí směrné hodnoty řezných podmínek pro soustružení keramickými destičkami z materiálů DISAL 100. Tyto hodnoty byly stanoveny na základě zkoušek vnějším soustružením šedé litiny 42 2420 tvrdosti 200 HB. Jako kritérium opotřebení se předpokládá $VB = 0,3 \text{ mm}$.

Tabulka č. 4

Posuv s / mm ot ⁻¹ /	Řezná rychlost v / m . min ⁻¹ / pro trvanlivost	
	T = 60 min	T = 45 min
0,10	480	580
0,12	450	550
0,15	425	505
0,18	405	490
0,20	395	470
0,25	370	440
0,30	350	420

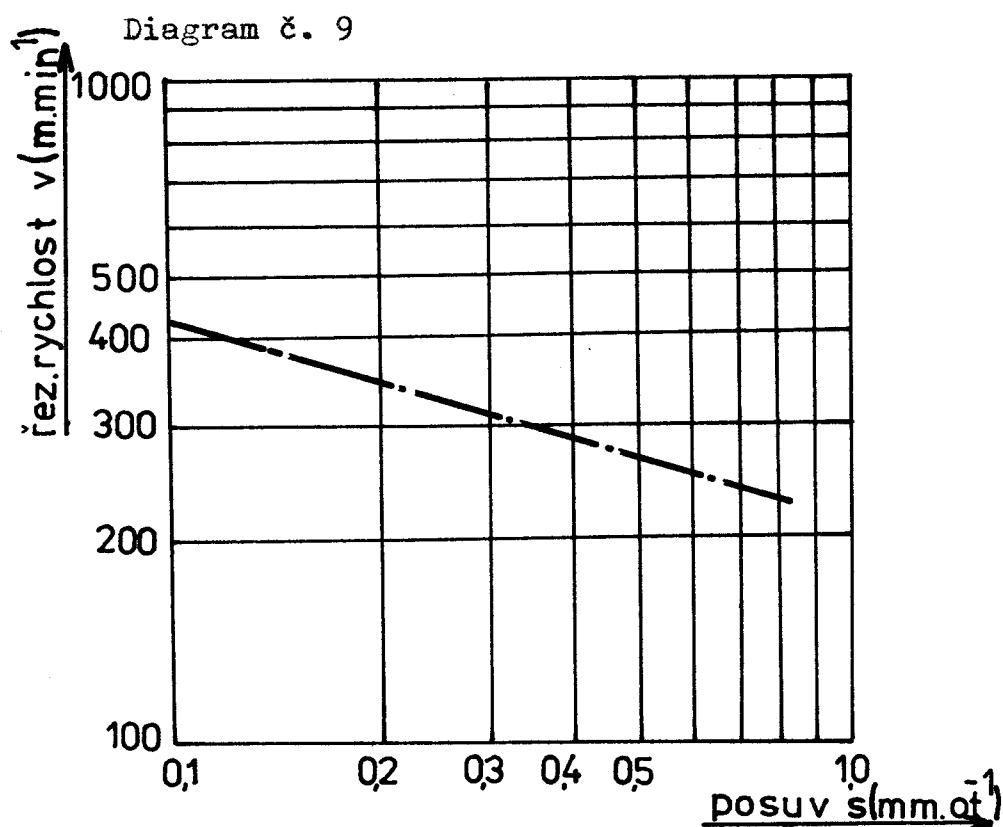
Uvedené hodnoty platí pro hloubku řezu 2 mm. Při soustružení bylo použito destiček tvaru SNGN 12 08 12. Závislost řezné rychlosti na posuvu ukazuje diagram č. 8



2.9.2 Řezné podmínky doporučené VÚOSO pro soustružení
oceli řeznou keramikou DISAL

Pro soustružení ocelí uvádí VÚOSO směrné hodnoty řez-
ných podmínek podle tabulky č. 5. Zkoušky byly provedeny
na materiálu ČSN 12 050.1.

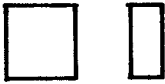
Posuv s / mm ot ⁻¹ /	Řezná rychlost v_{30} / m . min ⁻¹ /
0,10	410
0,12	390
0,15	370
0,18	350
0,20	340
0,25	320
0,30	300
0,35	290
0,375	260



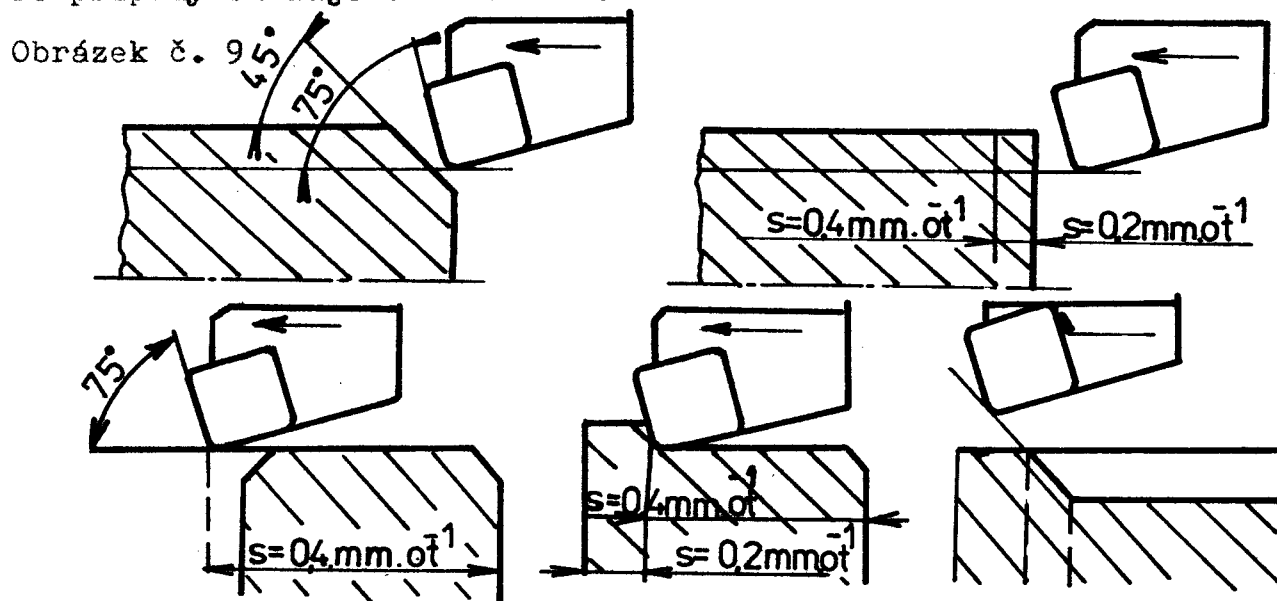
2.9.3 Směrnice pro volbu posuvu

Při hrubování by měl být posuv volen pokud možno co největší, což znamená zkrácení času záběru a tím menší ohřátí součásti a v důsledku menší specifické řezné rychlosti také lepší využití instalovaného příkonu stroje. Z obrázku č. 8 vyplývá, že posuv je závislý na geometrii řezné destičky a také na poloměru jejího zaoblení.

Obrázek č. 8 Posuvy při soustružení řeznou keramikou

Tvar destičky	0,8		1,2		1,6		2,0	r=poloměr
	0,2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	s=posuv
	X	X	X	X	X	X	X	litina ocel
	X	X	X	X	X			litina ocel
	Tvary destiček se 60°, příp. 55° nejsou vhodné pro hrubování							

Vzhledem ke křehkosti keramiky je podmínkou zvýšení trvanlivosti řezných destiček srážení hran obrobku nebo snížení posuvu při najíždění a vyjíždění z řezu. Některé případy ukazuje obrázek č. 9.



2.9.4 Vliv řezné rychlosti na utváření třísky

Ještě před několika roky se považovalo obrábění řeznou keramikou za málo perspektivní, protože se očekávaly problémy při tvorbě třísky. Při zavádění materiálu SN 80 se ukázalo, že jsou tyto problémy neopodstatněné. Naopak při společném výzkumu firem SPK Feldmühle a Deimler - Benz se ukázalo, že vysoké rychlosti jsou příznivé pro vznik krátkých třísek. Krátkých třísek lze dosáhnout i při malých hloubkách řezu a posuvech, zvýšíme-li řeznou rychlost na $1\ 000 - 1\ 500\ \text{m min}^{-1}$, a to i bez utvařečů třísek.

2.10 Frézování řeznou keramikou

Použití řezné keramiky na frézovací operace bylo dlouho omezeno. S vývojem nových materiálů, které mají odolnost proti tepelným šokům a tím umožňují přerušovaný řez, bylo možno řeznou keramikou při frézovacích operacích použít. Pro frézování jsou určeny především destičky ze směsné, černé nebo bílé keramiky s odpovídajícími vlastnostmi.

Při hrubování jsou doporučené hodnoty řezných parametrů:

$v = \text{od } 500\ \text{m min}^{-1} \text{ výše}$

$s_z = 0,25 - 0,3\ \text{mm}$

$h = 2 - 3\ \text{mm}.$

V mnohých případech je možno nahradit dokončovací broušení produktivnějším a výkonějším jemným frézováním jednozubou osazenou destičkou z keramického řezného materiálu. Využití tohoto způsobu obrábění umožňuje hrubovat i dokončovat obráběné plochy na jedno upnutí obrobku. Tím odpadnou ztrátové časy potřebné k přepínání obrobku a k jeho přemístění na další obráběcí stroj. Použitím jednozubé frézy při dokončování se sníží spotřeba břitových

destiček a tím i náklady na nástroje.

Značnou pozornost je třeba věnovat upínání obrobků. Nevhodné upnutí může být příčinou pružných deformací a jejich působení se pak po uvolnění obrobku značně zhorší rovinnost jemně odfrézované plochy. Všeobecně lze říci, že vlnitost a rovinnost frézované plochy je přímo závislá na tuhosti a přesnosti použité frézky. Hospodárnost této technologie obrábění vynikne zejména při jeho použití na NC strojích, vyvrtávacích strojích a frézkách s dostatečnou tuhostí a přesným uložením vřetena.

3. VÝBĚR SOUČÁSTKOVÉ ZÁKLADNY A HLEDISKA PRO POUŽITÍ KE- RAMICKÉHO MATERIÁLU NA NC STROJÍCH V PODMÍNKÁCH KRUŠNOHORSKÝCH STROJÍREN KOMOŘANY

3.1 Vývoj NC techniky

Zvyšování efektivnosti strojírenské výroby vyžaduje maximální využití všech vědeckotechnických poznatků a jejich účinnou aplikaci ve všech oblastech. Rychlý rozvoj v oblasti automatizace výrobních procesů a systémů vyžaduje současně i nové přístupy při řešení celé řady technologických problémů.

Ve výrobě se neustále zvyšuje podíl výrobních strojů a systémů s vysokým stupněm automatizace. V oblasti velko-sériové a hromadné výroby se nástup tzv. " tvrdé " automatizace datuje již od 20. let, která však představuje pouze 25 až 30 % výrobních kapacit. Naopak převažujícím typem je výroba kusové, malo- a středněsériové, pro kterou je charakteristická velká rozmanitost technologických úloh s jejich přetržitým průběhem. Automatizace v této oblasti výroby je po úspěšném nástupu číslicově řízených obráběcích strojů / NC strojů / a aplikací výpočetní techniky předmětem systematického výzkumu. Rychlý vývoj automatizačních prostředků, zejména řídicích systémů na bázi mikroelektroniky spolu se systémy pro operační a meziperační manipulaci vytváří tak nové podmínky pro integraci jednotlivých úseků a fází výrobního procesu. Spolu s využitím výpočetní techniky v oblasti přípravy a řízení výroby povede tak vývoj od individuálního nasazení NC strojů

ke skupinové aplikaci v integrované výrobní úseky / IVÚ / a pružné výrobní systémy / PUS / až k automatizovaným výrobním závodům. Poněvadž se jedná o velmi významné inovace v modernizaci strojírenské výrobní základny, je třeba věnovat mimořádnou pozornost vytvoření podmínek pro docílení především příznivých ekonomických efektů a vysoké produktivity.

Použití NC techniky v porovnání s konvenčními obráběcími stroji umožňuje např. podle některých zahraničních údajů 3 až 4 násobně zvýšit produktivitu, snížení spotřeby materiálu o 30 až 40 %, zmetkovitosti o 20 až 30 % apod. NC technika však nemá ve výrobě pouze pozitivní účinky, ale její nasazování přináší také řadu problémů. Vysoká pořizovací cena strojů zvyšuje požadavky na jejich maximální využití a vynucuje tím i výrazné zásahy do organizace a řízení výroby. Změna organizace řízení, včetně vyloučení lidského faktoru z řízení vlastního procesu, předpokládá rovněž radikální změny v myšlení lidí a ve způsobu jejich práce, což často vytváří konfliktní situace.

Neoddělitelnou složkou procesu obrábění jsou řezné nástroje, jejichž vliv na kvalitativní a ekonomickou stránku řezného procesu naopak u NC strojů ještě vzroste. Důvodem proto není jenom snaha o maximální využití NC strojů, ale také skutečnost, že přesnost obrábění na těchto strojích nelze již jako u konvenčních strojů ovlivnit obsluhou a tudíž musí pracovat pokud možno přesně. V souvislosti s intenzifikací řezných podmínek pro obrábění na těchto automatizovaných strojích se zvýšil i požadavek na řezivost nástrojů, což si vynutilo i další vývoj v oblasti řezných materiálů. K zajištění spolehlivého automatického provozu

obráběcích strojů je však z hlediska řezného procesu důležitým požadavkem především zaručená řezivost, která by s určitou pravděpodobností zaručila dodržení optimálních hodnot trvanlivosti břitů. Tyto a další skutečnosti tak kladou zcela nové požadavky na optimalizaci výrobního procesu a tím i na optimalizaci řezných podmínek.

3.2 Hlediska pro použití řezné keramiky

a/ z pohledu stroje

- postačující otáčkový rozsah na hlavním vřetení
- dostačující výkon pohonného agregátu
- automatický pracovní chod
- bezstupňovitá změny posuvu
- dobrá ochrana proti odletujícím třískám a transport třísek
- dobré a stabilní uchycení stroje
- pohodlný přístup k nástrojům

Je zřejmé, že tyto požadavky dnes splňují především NC stroje. Tyto stroje umožňují ideální podmínky pro zavedení řezné keramiky.

b/ z pohledu nástroje

- při zpětném chodu se má břit oddálit od povrchu
- špička nástroje musí sněžovat do osy / tzn. malé vyložení nože /
- malé upínací síly destiček / čisté lůžko /
- při obrábění oceli je nutný utvařecí třísky
- destičku včas vyměnit / dodržení meze opotřebení /

c/ z pohledu obrobku

neobrábíme:

- příliš dlouhé a tenké součásti / z důvodu

- malé tuhosti /
- nesymetrické součásti / z důvodu přerušova-
ného řezu /
- obrobky s tvrdou povrchovou kůrou.

3.3. Současná situace ve využití NC strojů

Úvodem je třeba zdůraznit, že v k.p. KS Komořany se opracovává z podstatné části ocel, litina jen v malých seriích.

Na NC strojích se opracovává velmi široký sortiment součástek:

- čepy
- pouzdra
- táhla
- nápravy
- kroužky
- hřídele
- roštnice
- pístnice.

Hlavní část výroby je soustředěna především na poloautomaty vyrobené firmou NILES / NDR / a instalované v roce 1974. Jedná se o poloautomat DFS 400 NC s těmito parametry:

rozsah otáček	22,4 - 2 000 min ⁻¹
rozsah posuvů	0,16 - 1 500 mm min ⁻¹
příkon	22 kW

Tento poloautomat je uveden na fotografii č. 1

Ze sortimentu stávající součástkové základny jsem si pro další hodnocení vybral nápravy a hřídele. Do k.p. KS Komořany přicházejí ve formě výkovků. Tyto výkovky se dále soustruží na hrubo, na čisto a brousí.

3.4 Rozbor nápravy lokomotivy

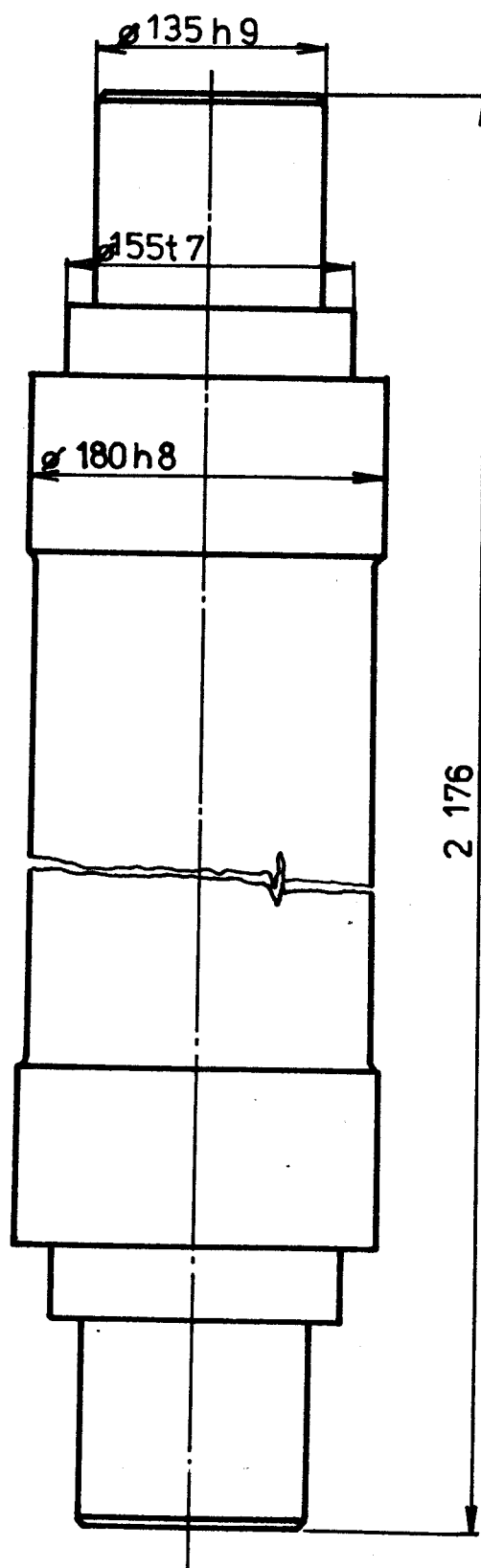
Při obrábění nápravy / viz fotografie č. 2 / délky 2 176 mm jsou v k.p. KS Komořany problémy hlavně s broušením. Průměry 135 h9, 155 t7 a 180 h8 se brousí na staré hrotové brusce firmy Kameníček vyrobené v r. 1941 / viz fotografie č. 3 /.

Fotografie č. 3



Tento stroj je již nevyhovující a jsou zde problémy s dodržováním rozměrů i drsností. Proto by zde obrábění na čisto řeznou keramikou přineslo značné výhody. Bylo nutné ověřit, zda je možné na tomto obrobku nahradit broušení soustružením řeznou keramikou. Protože se na brusce nedosahuje předepsaných drsností bude postačující soustružit s drsností do 1 μm .

Obr. č. 10 Náprava lokomotivy



Úspory, které by přineslo nahrazení broušení jsou zpracovány v ekonomickém zhodnocení v kapitole 5.3.

V současné době se při obrábění používají nože s připájenými plátky SK. Materiál obrobku je 12 032.1. Používají se malé řezné rychlosti $v = 50 - 70 \text{ m min}^{-1}$.

Zavedením řezné keramiky se rychlost zvýší až 5x, což se projeví především ve zkrácení strojního času. Obrobek musíme upínat za hroty. Vzhledem k tomu, že musíme dosáhnout vysoké přesnosti soustružíme na 1 záběr. V současné technologii se soustruží na 2 záběry. O průběhu zkoušek se zmiňuji v kap. 4.2. Lze však říci, že navrhovaná změna technologie je možná. Drsnost soustružených ploch byla cca $1 \mu\text{m}$. Také rozměry byly v očekávaných tolerancích. Potíže byly při zkouškách především s třískou. Ačkoliv byl utvařeč nastaven co nejblíže řezné hraně, tvořila se dlouhá tříska. Došlo také k namotání třísky kolem obrobku. Pravděpodobně to bylo zaviněno malým průřezem třísky. Tyto problémy by se měli co nejdříve vyřešit a nemělo by se zapomenout na odvoz třísek, protože zásobník třísek se velmi brzy zaplnil.

Potíže jsou také s držáky. U držáku CSRNR 25 x 25 M12k, který jsem používal, chvění a hluk byly nadměrné při zvyšování řezných rychlostí. Docházelo tím také ke značnému namáhání destičky.

Starosti také mají s obstaráváním držáků NAREX, používají zde levé, které nejsou. Špatná je také manipulace s příložnými utvařeči při výměně destičky. Bylo by dobré zavést utvařeče podobné jako používají např. firmy SPK nebo WIDIA, kde je možné plynulé nastavení vzdálenosti utvařeče od řezné hrany.

I přes tyto nedostatky by však nic nemělo bránit pronikání řezné keramiky. Ve své práci se zabývám především nápravou / vyrábí se jich ročně 800 - 1 000 ks /, ale výsledky bychom mohli aplikovat i pro další druhy součástí.

V literatuře nalezneme popsány případy, kde použitím KD na kritických nástrojích, t.j. nástrojích, které až dosud omezovaly další zvyšování řezných podmínek, byl podstatně zvýšen výkon celé linky.

4. P R O V E D E N Í O V Ě Ř O V A C Í C H Z K O U - Š E K A S T A N O V E N Í O P T I M Á L N Í C H Ř E Z N Ý C H P O D M Í N E K N A V Y B R A - N Ě M P Ř E D S T A V I T E L I

Pro stanovení optimálních řezných podmínek jsem zvolil pro sledovanou nápravu lokomotivy metodu Racionálního plánování a vyhodnocování experimentů. Ověřovací zkoušky jsou prováděny pomocí dlouhodobých zkoušek.

4.1. Dlouhodobé zkoušky řezivosti

4.1.1. Použitá zařízení a pomůcky

Toto měření mělo určit směrné řezné podmínky při obrábění oceli 12 050.1 a šedé litiny 42 24 20. Byly použity keramické destičky SNGN 12 08 12 výrobce n.p. DIAS Turnov, nožový držák 25 x 25 CSRNR M12k. Měření opotřebení jsem prováděl na hřbetě a to dílenským mikroskopem BK 70 x 50 firmy Carl Zeiss Jena s křížovým stolem. Opotřebení čela a hřbetu je znázorněno na obr. č. 11.

Dále bylo použito:

- zařízení na měření času - hodinky zn. Casio
- na měření průměru obrobku - posuvné měřítko SOMET
- destičky SNGN 12 08 12 / 12,7 x 12,7 x 8 mm,
r = 1,2 mm /, datum výroby 30.8.1981.

4.1.2 Řezné podmínky:

- posuv $s = 0,25 \text{ mm.ot}^{-1}$,
- hloubka řezu $h = 3 \text{ mm}$,
- kritérium opotřebení $VB = 0,3 \text{ mm}$,
- řezná rychlost - zkoušky byly prováděny na soustruhu s odstupňovanými převody, tzn., řezná rychlost kolísá v určitém malém rozmezí se změnou průměru obrobku.

Obr. č. 11 Opotřebení čela a hřbetu

VB - střední šířka plošky opotř. hřbetu

VC - šířka opotřebení špičky

VB_{max} - Max. šířka plošky opotřebení
hřbetu

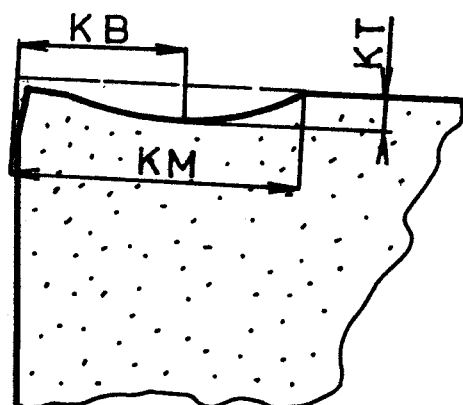
VN - šířka vrubu na hřbetě

a_r - radiální opotřebení

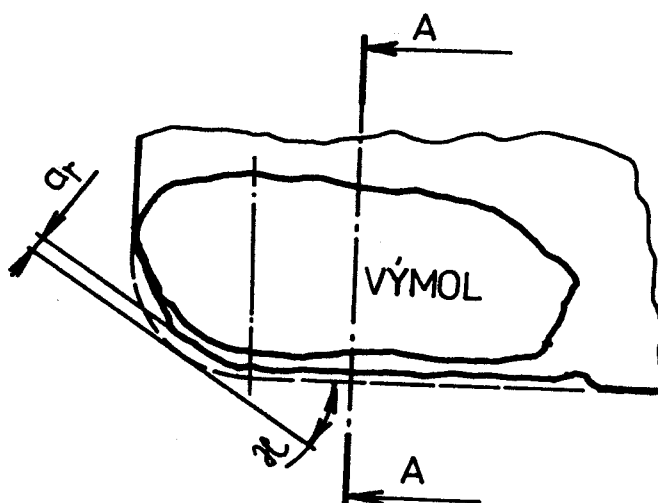
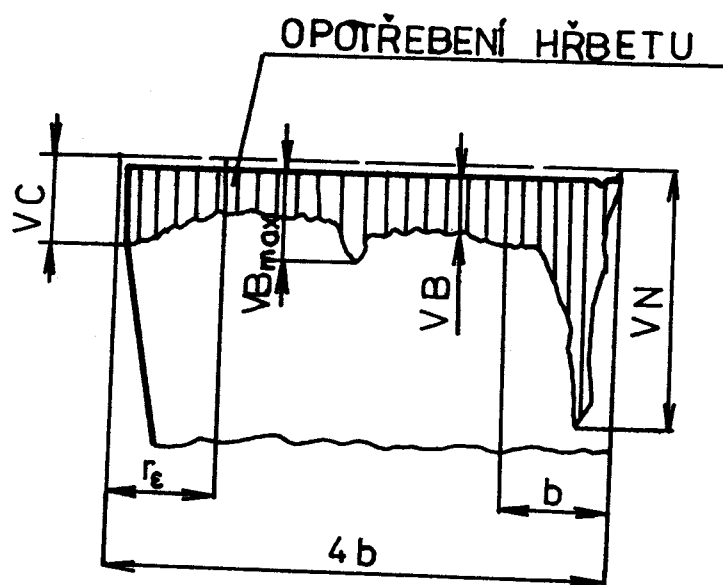
KB - šířka výmolu

KM - vzdálenost středu výmolu
od ostří

KT - hloubka výmolu



ŘEZ A - A



- střední rychlost při obrábění ocele:

$$v_1 = 424 \text{ m.min}^{-1}$$

$$v_2 = 330 \text{ m.min}^{-1}$$

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

$$v_4 = 130 \text{ m.min}^{-1}$$

- střední rychlost při obrábění litiny:

$$v_1 = 310 \text{ m.min}^{-1}$$

$$v_2 = 275 \text{ m.min}^{-1}$$

$$v_3 = 241 \text{ m.min}^{-1}$$

$$v_4 = 203 \text{ m.min}^{-1}.$$

4.1.3 Postup při dlouhodobé zkoušce řezivosti

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 se dá zjistit trvanlivost destiček DESAL

- stanoví se závislost VB - T při několika konstatních 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

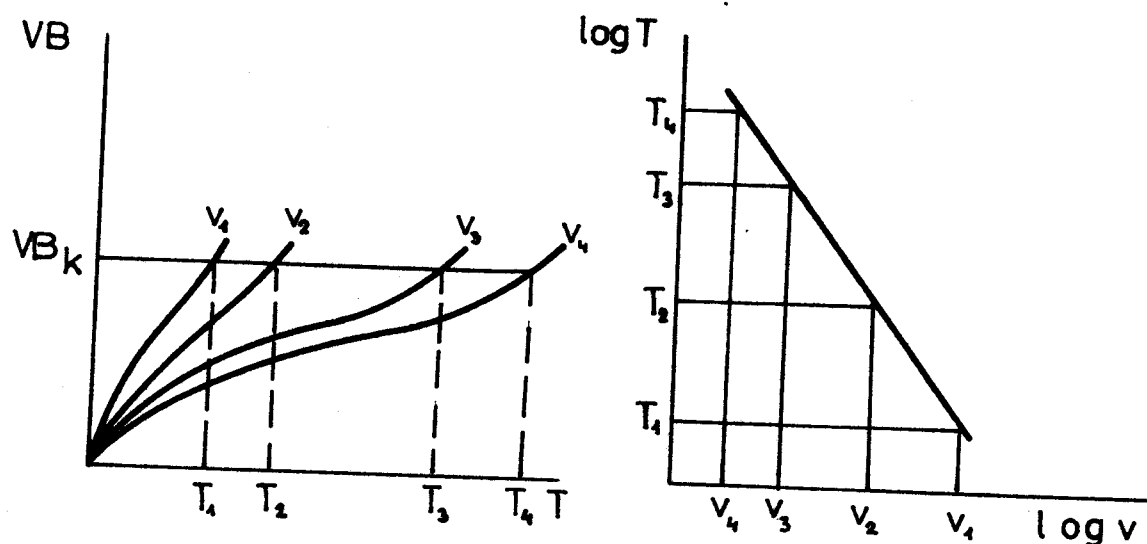
$$T = \frac{c_T}{v^m}$$

kde T - trvanlivost břitu v minutách

c_T - konstanta jejíž hodnota je dána teoretickou trvanlivostí při řezné rychlosti

$$1 \text{ m . min}^{-1}$$

Obr. č. 12 Závislosti VB - T a T - v



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 m se u keramických materiálů pohybuje v rozmezí 1 - 3.

4.1.4 Vlastní měření

Tab. č. 6 Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T / min /	VB / mm /
1	190	710	424	1	0,08
2	190	710	424	2 ³⁰	0,13
3	190	710	424	4	0,17
4	190	710	424	5 ³⁰	0,22
5	190	710	424	7	0,26
6	190	710	424	8	0,31

Nožový držák: CSRNR 25 x 25 M12k

Břitová destička: SNGN 12 08 12

Materiál: 12 050.1

Tab. č. 7 Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Číslo měření	D / mm /	n / l.min ⁻¹ /	v / m.min ⁻¹ /	T / min /	VB / mm /
1	190	560	334	2	0,09
2	190	560	334	4	0,013
3	190	560	334	8	0,16
4	190	560	334	13	0,21
5	184	560	324	15	0,25
6	184	560	324	17 ³⁰	0,30

Nožový držák: CSRNR 25 x 25 M12k

Břitová destička: SNGN 12 08 12

Materiál: 12 050.1

Tab. č. 8 Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T / min /	VB / mm /
1	184	355	205	4	0,09
2	184	355	205	11	0,14
3	184	355	205	25	0,17
4	178	355	199	33	0,21
5	178	355	199	44	0,24
6	172	355	192	55	0,30

Nožový držák: CSRNR 25 x 25 M12k

Břitová destička: SNGN 12 08 12

Materiál: 12 050.1

Tab. č. 9 Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Číslo měření	D /mm/	n / l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T / min /	VB / mm /
1	172	250	135	10	0,05
2	172	250	135	25	0,11
3	166	250	130	53	0,14
4	166	250	130	82	0,19
5	160	250	126	105	0,26
6	154	250	121	125	0,31

Nožový držák: CSRNR 25 x 25 M12k

Břitová destička: 3NGN 12 08 12

Materiál: 12 050.1

Diagram č. 10 Závislost VB - T

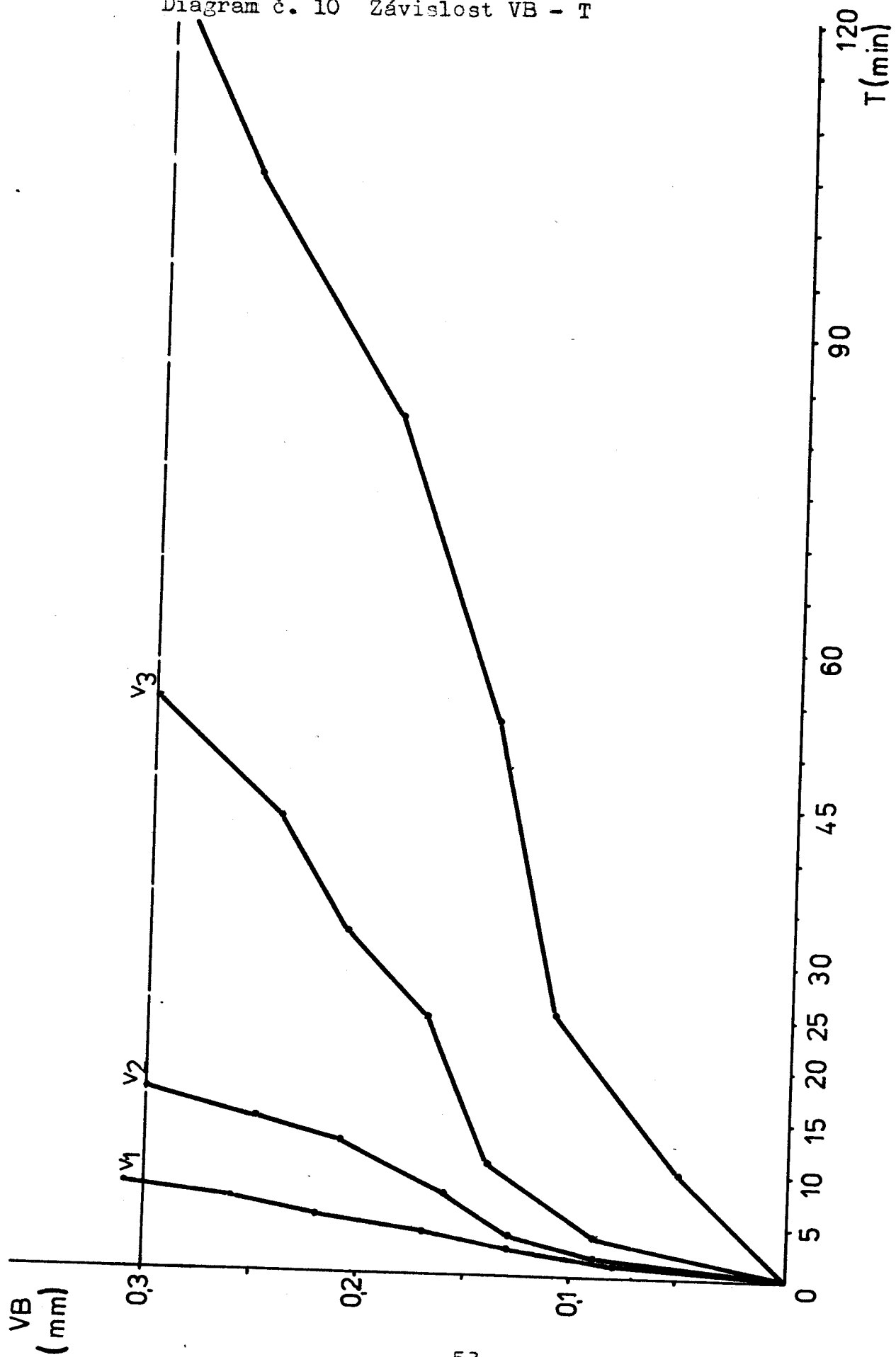
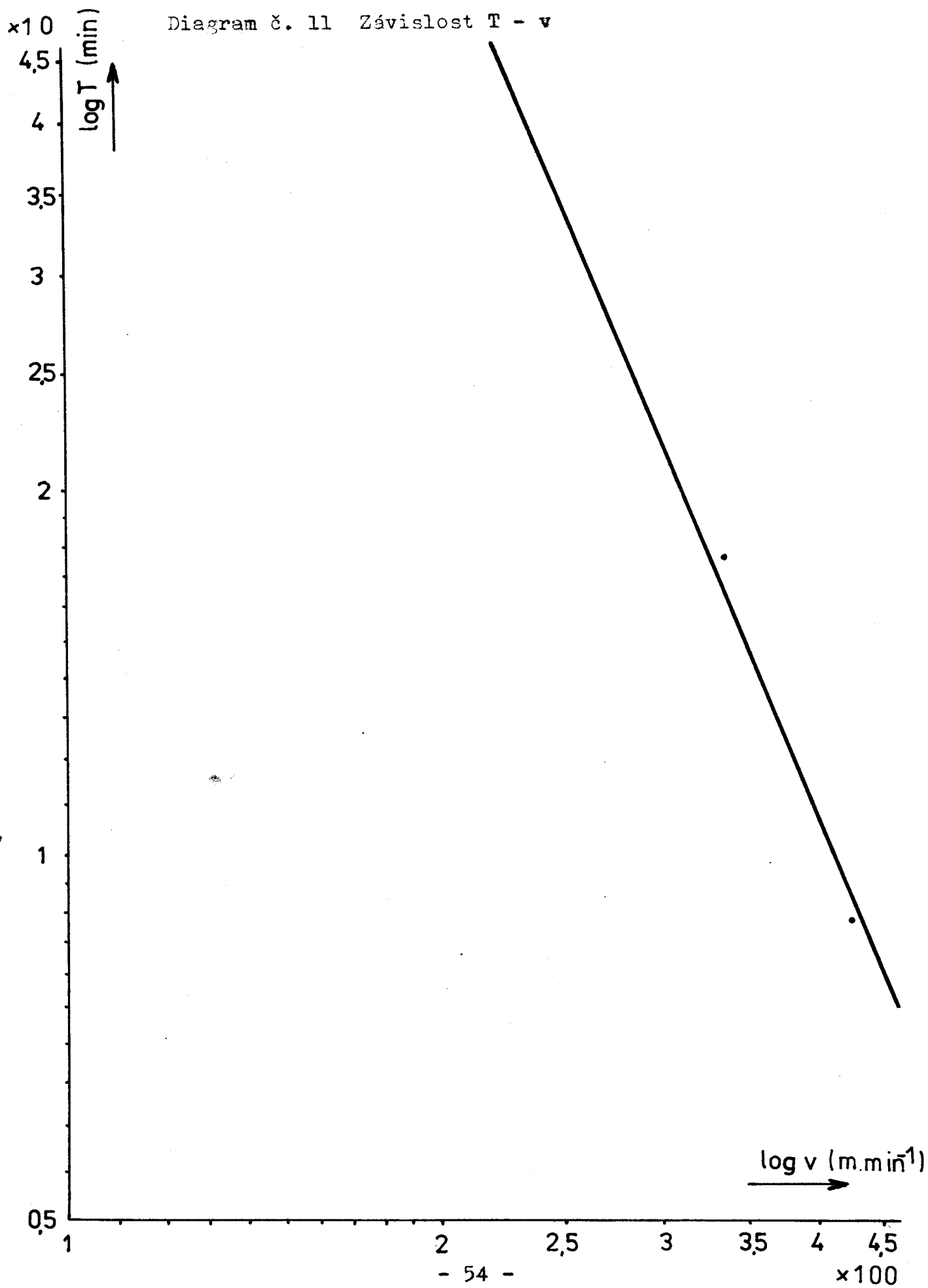


Diagram č. 11 Závislost T - v



Tab. č. 10 Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	225	450	318	2	0,06
2	225	450	318	5	0,10
3	225	450	318	10	0,16
4	219	450	310	17	0,19
5	213	450	301	25	0,23
6	207	450	292	34	0,30

Nožový držák: CSRNR 25 x 25 M12k

Břitová destička: SNGN 12 08 12

Materiál: 42 24 20

Tab. č. 11 Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm /
1	201	450	284	2	0,05
2	201	450	284	7	0,14
3	201	450	284	13	0,18
4	195	450	276	19	0,20
5	189	450	267	28 ³⁰	0,24
6	183	450	259	39	0,30

Nožový držák: CSRNR 25 x 25 M12k

Břitová destička: SNGN 12 08 12

Materiál: 42 24 20

Tab. č 12 Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Číslo měření	D /mm /	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	177	450	250	3	0,04
2	177	450	250	10	0,11
3	177	450	250	18	0,13
4	171	450	242	27	0,19
5	165	450	233	38	0,23
6	159	450	225	46	0,31

Nožový držák: CSRNR 25 x 25 M12k

Břitová destička: SNGN 12 08 12

Materiál: 42 24 20

Tab. č. 13 Naměřené hodnoty dlouhodobé zkoušky

Číslo měření	D /mm/	n /l.min ⁻¹ /	v /m.min ⁻¹ /	T /min/	VB /mm/
1	150	450	212	4	0,06
2	150	450	212	11	0,10
3	150	450	212	18 ³⁰	0,16
4	144	450	204	29	0,20
5	138	450	195	48	0,25
6	132	450	187	61	0,30

Nožový držák: CSRNR 25 x 25 M12k

Břitová destička: SNGN 12 08 12

Materiál: 42 24 20

Diagram č. 12 Závislost VB - T

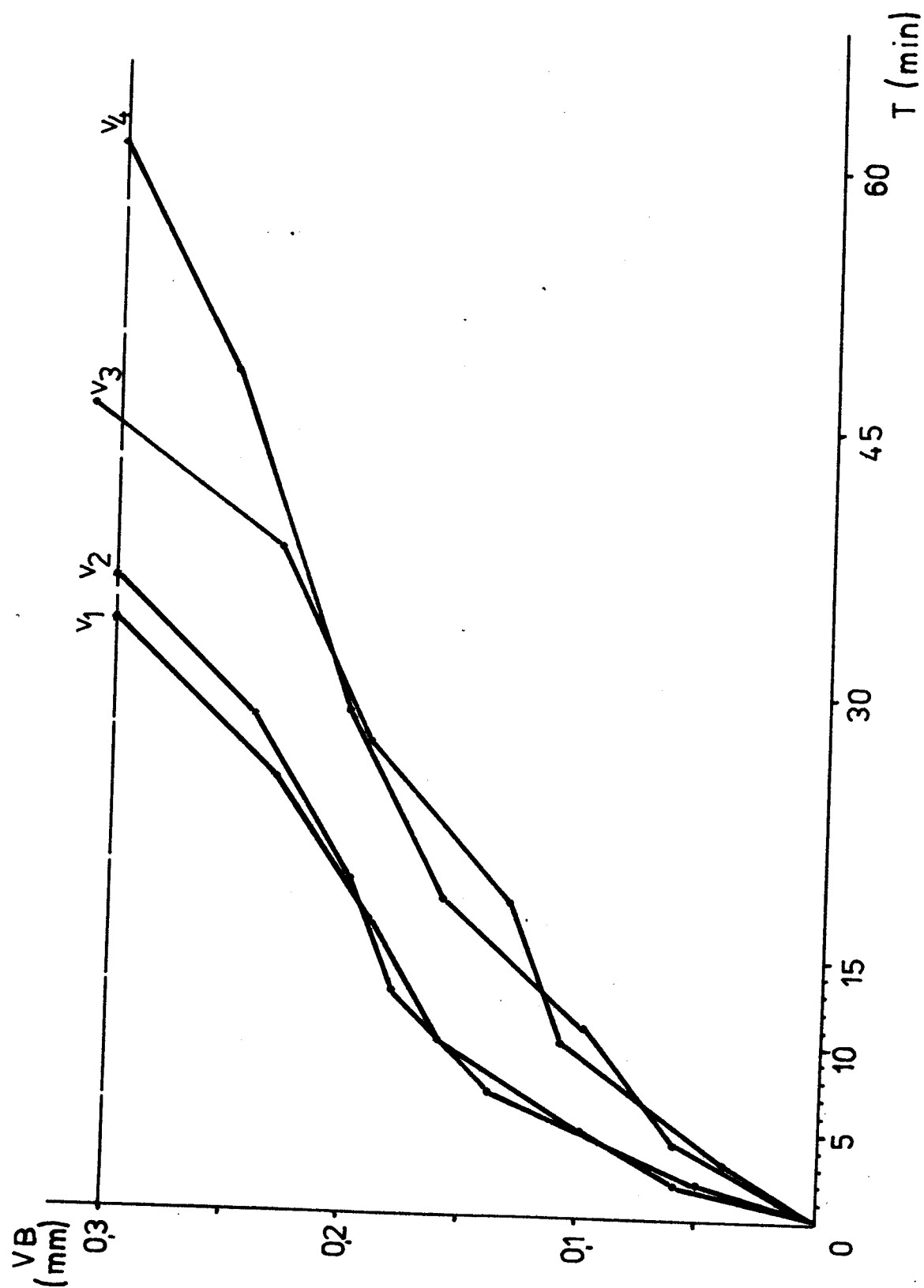
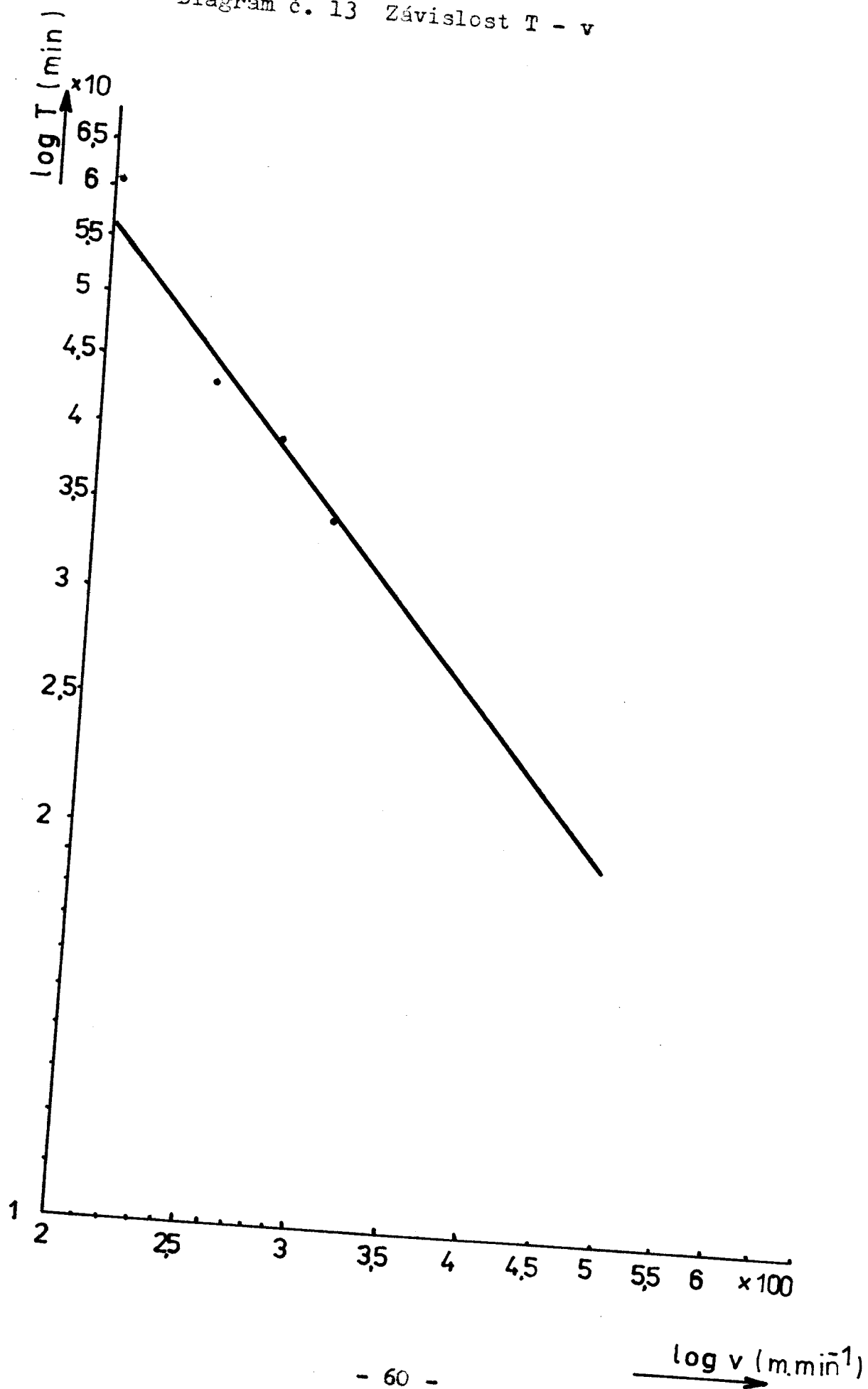


Diagram č. 13 Závislost $T - v$



4.1.5 Vyhodnocení dlouhodobých zkoušek rezivosti

Nejčastěji se používají tyto 3 metody:

- Přibližné vyhodnocení
- vyhodnocení výpočtem
- proložení závislosti $T - v$ metodou nejmenších čtverců.

Na vyhodnocení jsem zvolil metodu nejmenších čtverců. Při této metodě se proloží naměřenými body křivka, pro kterou platí, že součet čtverců vzdáleností těchto bodů od ní ve směru osy y je minimální. Vycházíme z Taylorova vztahu

$$v \cdot T^m = C_T$$

zlogaritmováním dostáváme

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

přičemž $Y = \log T$

$$X = \log v$$

potom pro m platí

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

n = počet měření

Konstantu C_T můžeme určit ze vztahu

$$\log C_T = \frac{\bar{Y}}{m} + \bar{X}$$

$$\text{kde } \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum Y_i$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i$$

pro odhad směrovacích odchylek platí

$$S = \frac{S_0}{n - 2}$$

$$\text{kde } S_0 = \sum (T_i - T_{oi})^2$$

a T_i - naměřená hodnota

T_{oi} - vypočtená hodnota z rovnice regresní
přímky

Výpočet je uveden v tabulce č. 14, 15 a vypočtené hodnoty v tabulce č. 16

Tab. č. 14 Výpočet pro materiál 12 050.1

Číslo měření	v_i m.min ⁻¹	T_i min	X_i /log v_i /	Y_i /log T_i /	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2
1	424	8	2,627	0,903	2,373	6,901
2	330	17 ³⁰	2,519	1,243	3,131	6,345
3	200	55	2,301	1,740	4,005	5,295
4	130	125	2,114	2,097	4,432	4,469
Σ			9,560	5,983	13,941	23,010

Tab. č. 15 Výpočet pro materiál 42 24 20

Číslo měření	v_i $m \cdot min^{-1}$	T_i min	X_i $/\log v_i$	Y_i $/\log T_i$	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2
1	310	34	2,491	1,531	3,815	6,205
2	275	39	2,440	1,591	3,881	5,954
3	241	46	2,382	1,663	3,960	5,674
4	203	61	2,308	1,785	4,119	5,327
Σ			9,621	6,570	15,777	23,156

Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 16

Tab. č. 16

Materiál	m	C_T
ČSN 12 050.1	2,218	1 160,382
ČSN 42 24 20	1,383	3 914,112

4.1.6 Rozbor výsledků

Z předcházející tabulky je zřejmé, že při obrábění keramickými destičkami dostáváme malé hodnoty exponentu m . Porovnání exponentu pro různé nástrojové materiály je uvedeno v tabulce č. 17

Tab. č. 17

nástrojový materiál	exponent m
rychlořezná ocel	8 - 10
slinuté karbidy	3 - 3,5
keramické destičky	1 - 2,5

Malá hodnota exponentu m pro keramické destičky charakterizuje jejich výhodné vlastnosti při zvyšování řezných rychlostí, t.j. jejich malou citlivost na změnu rychlosti. Vlastnosti keramických destiček umožňují použít relativně vysokých řezných rychlostí ve srovnání se slinutým karbidem, avšak současně omezují maximálně použitelný posuv.

Ze získaných T - v závislosti je možno odečítat hodnoty trvanlivostí. Např. pro trvanlivost $T = 20$ min dostáváme odpovídající rychlost:

- pro materiál 12 050.1 $v = 300 \text{ m min}^{-1}$

- pro materiál 42 24 20 $v = 480 \text{ m min}^{-1}$

V porovnání se zahraničními keramickými destičkami jsou tyto hodnoty odpovídající.

Při měření nebylo možno použít větších rychlostí z důvodu nadměrného chvění a hluku soustavy.

Při snaze o zvýšení řezné rychlosti, při obrábění ocele, byla zkoušena $v = 536 \text{ m min}^{-1}$ a po 3^{15} min došlo k rozlomení destičky.

Blíže se rozbořem Dlouhodobé zkoušky řezivosti zabývá závěr diplomové práce.

4.2 Racionální plánování a vyhodnocování experimentů

Účelem tohoto měření bylo zjistit rovnici vyjadřující vztah mezi trvanlivostí nástroje T a řeznými parametry, t.j. řeznou rychlostí, posuvem a hloubkou řezu.

4.2.1 Použitá zařízení a pomůcky

Měření bylo prováděno za stejných podmínek jako předcházející Dlouhodobá zkouška řezivosti. Byl použit poloautomat DFS 400 NC; nožový držák CSRNR 25 x 25 M12k; dílenský mikroskop EK 70 x 50; posuvné měřítko SOMET; hodiny Casio; destičky SNGN 12 08 12, datum výroby 30.8. 1981. Kriterium opotřebení jsem zvolil $VB = 0,3$ mm; řezná rychlost kolísala v určitém malém rozmezí se změnou průměru obrobku; materiál nápravy 12 032.1.

4.2.2 Postup při Racionálním plánování a vyhodnocování experimentů

Předpokladem musí být, že funkce lze komformací převést na tvar

$$Y = C_0 + C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_k X_k$$

$$C_0 = \log a_1$$

$$X_1 = \log X_1$$

$$C_1 = a_2$$

$$X_2 = \log X_2$$

$$C_2 = a_3$$

Např. závislost trvanlivosti řezného nástroje T na řezné rychlosti v , posuvu s a hloubce řezu h lze zapsat ve tvaru

$$T = a_1 v^{a_2} s^{a_3} h^{a_4}$$

kde a_1, a_2, a_3, a_4 jsou konstanty pro volené kritérium opotřebení.

Pro určení konstant $c_j / j = 1, 2, \dots, k /$
metodou nejmenších čtverců by platilo:

jsou-li dány body $y_i = x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$

$i = 1, 2, \dots, n$

a tím i

$Y_i = x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$

$i = 1, 2, \dots, n$

pro konstrukci vztahu platí

$$F / c_0, c_1, c_2, \dots, c_k / = \sum / Y_i - c_0 - c_1 x_{1i} - \\ - c_2 x_{2i} - \dots - c_k x_{ki} /^2 \rightarrow \min.$$

Po provedení parciálních derivací

$$\frac{\partial}{\partial c_j} F / c_0, c_1, c_2, \dots, c_k / = 0$$

$j = 0, 1, \dots, k$

dostaneme $k + 1$ lineárních rovnic pro $k + 1$ neznámých
 $c_0, c_1, c_2, \dots, c_k$

$$c_0 n + c_1 \sum x_{1i} + \dots + c_k \sum x_{ki} = \sum Y_i$$

$$c_0 \sum x_{1i} + c_1 \sum x_{1i}^2 + c_2 \sum x_{1i} \cdot x_{2i} + \dots +$$

$$+ c_k \sum x_{1i} \cdot x_{ki} = \sum x_{1i} \cdot Y_i$$

$$c_0 \sum x_{2i} + c_1 \sum x_{1i} \cdot x_{2i} + c_2 \sum x_{2i}^2 + \dots +$$

$$+ c_k \sum x_{2i} \cdot x_{ki} = \sum x_{2i} \cdot Y_i$$

.

.

$$c_0 \sum x_{ki} + c_1 \sum x_{1i} \cdot x_{ki} + c_2 \sum x_{2i} \cdot x_{ki} + \dots +$$

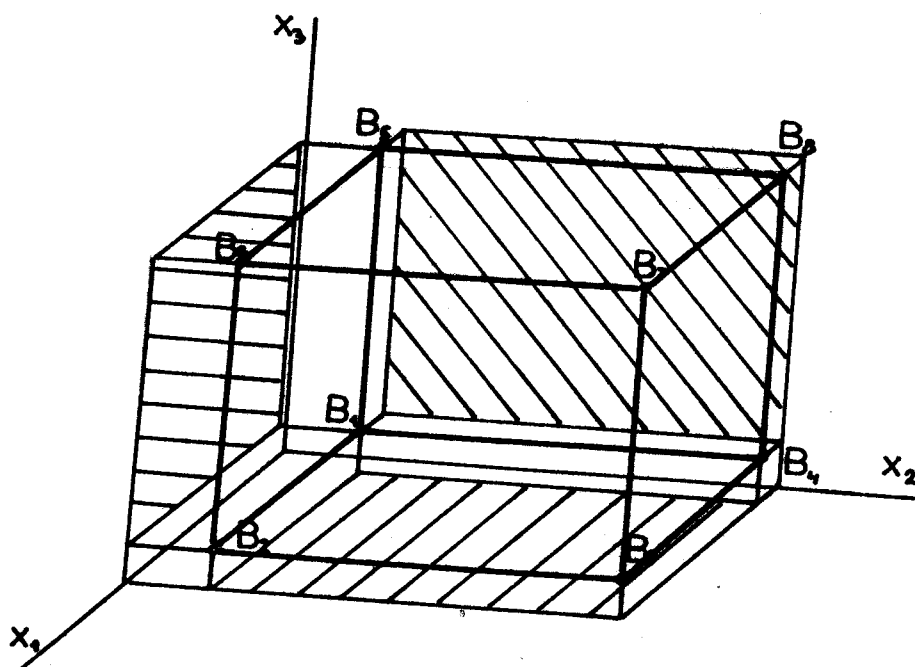
$$+ c_k \sum x_{ki}^2 = \sum x_{ki} \cdot Y_i$$

Metodou plánování experimentů se rozsah experimentu zredukuje na nejnutnější možnou míru, která však musí poskytovat výsledky experimentu v požadované přesnosti. Plán pokusů je sestaven symetrický v tzv. ortogonální plány

pro 2 nezávisle proměnné 4 - bodový nebo 9 - bodový

pro 3 nezávisle proměnné 8 - bodový nebo 27 - bodový.

Obr. č. 13 Příklad ortogonálního plánu pro 3 proměnné 8 - bodový



Úrovně pro jednotlivé faktory jsou voleny tak, aby rozdíly mezi sousedními faktory byly v logaritmickém tvaru přibližně stejné.

4.2.3 Vyhodnocování ortogonálních plánů

Provedeme transformaci X_i na X_i'' tak, aby sledované pole bylo ve všech směrech v intervalu $\langle -1; 1 \rangle$

pro $j = 1, 2, \dots, k$, bude

$$X_{ij}'' = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j} \quad \text{kde} \quad \bar{X}_j = \frac{X_{j \max} + X_{j \min}}{2}$$

$$S_j = \frac{X_{j \max} - X_{j \min}}{2}$$

tím dojde ke zjednodušení rovnic do tvaru

$$c_0'' = \frac{1}{n} \sum Y_i \quad c_2'' = \frac{1}{n} \sum x_{2i}'' Y_i$$

$$c_1'' = \frac{1}{n} \sum x_{1i}'' Y_i \quad c_k'' = \frac{1}{n} \sum x_{ki}'' Y_i$$

Parametry c_j získáme dosazením a zpětnou transformací
 $j = 0, 1, \dots, k$

$$Y = c_0'' + c_1'' x_1'' + c_2'' x_2'' + \dots +$$

$$+ c_k'' x_k'' = c_0'' + \sum c_j'' \cdot \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j}$$

$$\text{kde } c_0 = c_0'' - \sum \frac{c_j'' X_{ij}}{S_j}$$

4.2.4 Naměřené hodnoty

Dosažené trvanlivosti pro dané v , s a h jsou v tabulce č. 18.

Hodnoty jsem volil následující:

$$v = 200 - 450 \text{ m min}^{-1}$$

$$s = 0,1 - 0,3 \text{ mm ot}^{-1}$$

$$h = 1 - 3 \text{ mm}$$

Tab. č. 18 Naměřené hodnoty ortogonálního plánu

Číslo měření	T / min /	v /m min ⁻¹ /	s /mm ot ⁻¹ /	h / mm /
1	81	200	0,1	1
2	79	200	0,1	3
3	54	200	0,3	1
4	52	200	0,3	3
5	12	450	0,1	1
6	11	450	0,1	3
7	5 ³⁰	450	0,3	1
8	5	450	0,3	3

4.2.5 Výpočet racionálního plánování a vyhodnocování experimentu

$$x_{1i}'' = \frac{x_1 - 5,7038}{0,4054} \quad < 5,2983; 6,1092 >$$

$$x_{2i}'' = \frac{x_2 - / -1,7533/}{0,5493} \quad < -2,3026; -1,2040 >$$

$$x_{3i}'' = \frac{x_3 - 0,5493}{0,5493} \quad < 0; 1,0986 >$$

Pro přehlednost jsou jednotlivé faktory v tabulce

č. 19

Tab. č. 19

ČM	Y_i	x_{1i}''	x_{2i}''	x_{3i}''	$x_{1i}'' Y_i$	$x_{2i}'' Y_i$	$x_{3i}'' Y_i$
1	4,3945	- 1	- 1	- 1	- 4,3945	- 4,3945	- 4,3945
2	4,3694	- 1	- 1	1	- 4,3694	- 4,3694	4,3694
3	3,9889	- 1	1	- 1	- 3,9889	3,9889	- 3,9889
4	3,9512	- 1	1	1	- 3,9512	3,9512	3,9512
5	2,4849	1	- 1	- 1	2,4849	- 2,4849	- 2,4849
6	2,3979	1	- 1	1	2,3979	- 2,3979	2,3979
7	1,7047	1	1	- 1	1,7047	1,7047	- 1,7047
8	1,6094	1	1	1	1,6094	1,6094	1,6094
Σ	24,9009				- 8,5071	- 2,3925	- 0,2451

dosadíme do rovnice:

$$Y = \frac{\sum Y_i}{8} + \frac{\sum x_{1i}'' Y_i}{8} \cdot \frac{x_1 - \bar{x}_1}{s_1} + \frac{\sum x_{2i}'' Y_i}{8} \cdot \frac{x_2 - \bar{x}_2}{s_2} + \frac{\sum x_{3i}'' Y_i}{8} \cdot \frac{x_3 - \bar{x}_3}{s_3} =$$

$$= 3,1126 - 1,0633 \frac{X_1 - 5,7038}{0,4054} - 0,299 \frac{X_2 - /-1,7533/}{0,5493} -$$

$$- 0,0306 \frac{X_3 - 0,5493}{0,5493} = 3,1126 - 2,6228X_1 +$$

$$+ 14,9601 - 0,5443X_2 - 0,9543 - 0,0558X_3 + 0,0306 =$$

$$= 17,149 - 2,6228X_1 - 0,5443X_2 - 0,0558X_3$$

$$T = 2,8036 \cdot 10^7 \cdot v^{-2,6228} \cdot s^{-0,5443} \cdot h^{-0,0558}$$

4.2.6 Rozbor výsledků a zhodnocení

Při kontrole výsledného vztahu jsem dosadil tyto hodnoty:

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

$$s = 0,25 \text{ mm ot}^{-1}$$

$$h = 3 \text{ mm}$$

tzn. hodnoty z Dlouhodobé zkoušky řezivosti, při které vyšla trvanlivost $T = 20 \text{ min}$. V porovnání s vypočtenou trvanlivostí $T = 19 \text{ min}$ se tedy liší v přípustné míře.

Z výsledků vyplývá, že trvanlivost ovlivňují především řezná rychlost a posuv, hloubka řezu má velmi malý vliv. Je tedy možné použít metodu Racionálního plánování a vyhodnocování experimentů pouze pro 2 nezávisle proměnné a to ortogonální plán 4-bodový nebo 9-bodový.

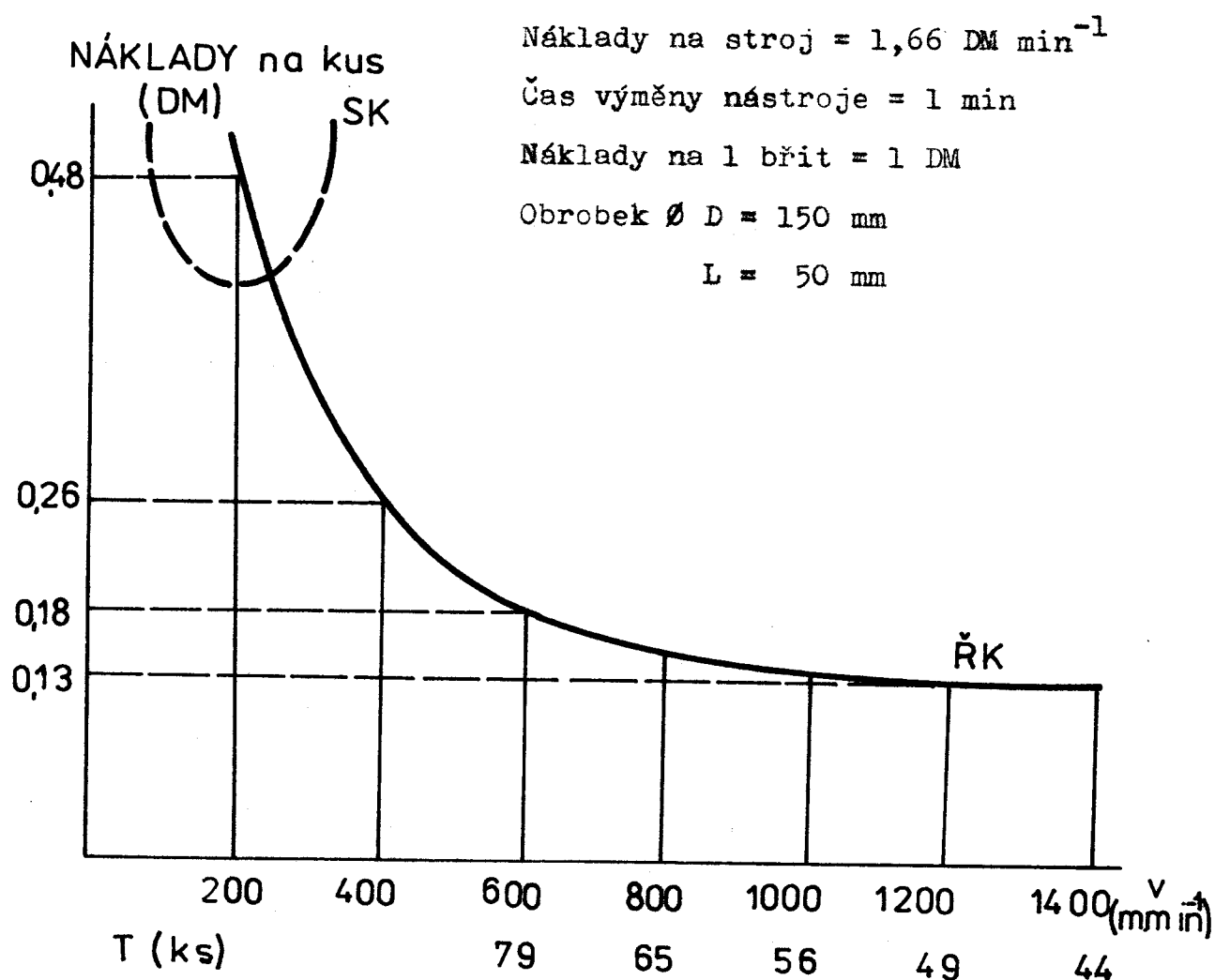
Vypočtený vztah je tedy možno použít na výpočet trvanlivosti u lokomotivních naprav, které se vyrábějí ve velkých sériích.

5. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ

5.1 Ekonomická hlediska při zavádění řezné keramiky

Ekonomické přínosy řezné keramiky lze vidět především v podstatném zkrácení strojního času. Oproti obrábění sli-
nutými karbidy lze zkrátit strojní čas 2 - 3 krát. Ve vý-
jimečných případech až 10x. To umožňuje vysoká řezná rych-
lost dosahovaná při obrábění řeznou keramikou. Optimální
řezná rychlost při soustružení běžných materiálů se udává
od 300 m min^{-1} výše.

Diagram č. 14 Náklady při obrábění



Jak je vidět z diagramu č. 14, náklady na obrábění s rostoucí řeznou rychlostí klesají až do $1\,400\text{ m min}^{-1}$. Vedle zmíněných nákladů je nutno přihlédnout k tomu, že se podstatně zvýší produktivita práce.

5.2 Zavedení československé řezné keramiky

V současné době se do Československa dováží řezná keramika, držáky a podložky na řeznou keramiku v hodnotě

Výsledky ukazuje tabulka č. 21

Tab. č. 21 Teoretické porovnání nákladů při použití různých řezných materiálů

Řezný materiál	SK S 20	SK dovoz	ŘK SPK	ŘK DISAL 100
obrobených ks za časovou jedn.	50	70	194	194
náklady na stroj / Kčs za kus /	0,76	0,76	0,28	0,28
náklady na mzdy / Kčs na kus /	0,95	0,95	0,35	0,35
náklady na nářa- dí / Kčs na kus/	0,22	0,70	0,25	0,18
náklady celkem / Kčs za kus /	1,93	2,41	0,88	0,81

5.3 Ekonomické důsledky, vyplývající ze zavedení řezné keramiky při obrábění lokomotivní nápravy

5.3.1 Postup při vyhodnocování nákladů

V této části se zabývám ekonomickým porovnáním stávajícího způsobu výroby s novým, založeným na aplikaci československé řezné keramiky. Při výpočtech jsem se řídil následujícími vztahy:

$$N_c = N_s + N_v + N_n$$

N_s - náklady na práci na stroji

N_v - náklady na výměnu obrobku a nástroje

N_n - náklady na nástroj

Jak je vidět z diagramu č. 14, náklady na obrábění s rostoucí řeznou rychlostí klesají až do 1 400 m min⁻¹. Vedle zmíněných nákladů je nutno přihlédnout k tomu, že se podstatně zvýší produktivita práce.

5.2 Zavedení československé řezné keramiky

V současné době se do Československa dováží řezná keramika, držáky a podložky na řeznou keramiku v hodnotě 1 200 000 DM za rok. Řezná keramika se dováží především od firmy SPK Feldmühle. Jedna destička stojí od 10 - 20 DM. Celkem se do ČSSR doveze asi 20 000 ks destiček za rok. Cena držáku SPK se pohybuje od 80 do 400 DM. Tyto údaje jsou za rok 1982. Cena čs. držáku Narex je cca 400 Kčs.

Tab. č. 20 Cenové porovnání československé a zahraniční řezné keramiky

Druh	DISAL 100	SN 60	SH 1
Přibližná cena za kus	43 Kčs	10,80 DM	14,90 DM

Ceny jsou uvedeny pro čtvercové destičky o délce řezné hrany 12 mm.

Zavedením řezné keramiky DISAL a nožových držáků Narex by bylo možno tento dovoz podstatně omezit. K nahrazení dovozu je ovšem třeba, aby se čs. destičky a držáky vyráběly v širším tvarovém a rozměrovém sortimentu.

Ve VÚOSO byl proveden rozbor nákladů při použití různých řezných materiálů. Řezné podmínky byly stanoveny podle normativu. Pro slinutý karbid domácí výroby byla trvanlivost určena na 30 min. U slinutých karbidů zahraniční výroby a řezné keramiky domácí i zahraniční na 40 min. Jedná se o čistě teoretický rozbor, kde náklady byly stanoveny na jeden kus.

$$N_s = t_{AS} \cdot \frac{T_{fd}}{60} / 1 + \frac{R_d}{100} / + \frac{N_{sh}}{90} /$$

t_{AS} - celkový strojní čas

T_{fd} - tarifní mzda dělníka

R_d - dílenská reжіe

N_{sh} - náklady na strojní hodinu

$$N_{sh} = \frac{C_s}{P} \cdot U \cdot C_E$$

C_s - pořizovací cena stroje

P - celkový počet hodin práce na stroji za jeho životnosti

U - součinitel údržby a oprav

C_E - náklady na energii za 1 hod. práce

$$N_v = / t_{A 101} + Z_v \cdot t_{vn} / \cdot \frac{T_{fd}}{60} / 1 + \frac{R_d}{100} / + \\ + \frac{N_{sh} - C_E}{60} /$$

$t_{A 101}$ - čas upínání obrobku

t_{vn} - čas výměny nástroje

Z_v - počet výměn nástroje za dobu t_{AS}

$$N_n = Z_v \cdot \frac{C_N - C_{Nz}}{Z_o + 1} + t_{os} \cdot \frac{T_{fo}}{60} / 1 + \frac{R_o}{100} //$$

/ pro nástroje s pájenými destičkami /

C_N - cena nástroje

C_{Nz} - zbytková cena nástroje

Z_o - počet možných ostření nástroje
 t_{os} - čas ostření nástroje
 T_{fo} - tarifní mzda ostříče
 R_o - dílenská režie ostřírny

$$N_n = Z_v \cdot \left(\frac{C_{dr} - C_{zdr}}{Z_h} + \frac{C_{de}}{Z_b} \right) /$$

/ pro nástroje s vyměnitelnými destičkami /

C_{dr} - cena držáku

C_{zdr} - zbytková cena držáku

Z_h - počet možných upnutí destičky

C_{de} - cena destičky

Z_b - počet břitů destičky

5.3.2 Výpočet nákladů

Při obrábění lokomotivních náprav se používají nože s připájenými plátky SK. Dále původní řezné podmínky jsou:

$$\begin{aligned}
 v &= 50 \text{ m min}^{-1} \\
 s &= 0,4 \text{ mm ot}^{-1} \\
 h &= 1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Obrábíme na čisto s přídatkem na broušení.

Pro výrobu keramickými destičkami jsem stanovil tyto řezné podmínky:

$$\begin{aligned}
 v &= 300 \text{ m min}^{-1} \\
 s &= 0,2 \text{ mm ot}^{-1} \\
 h &= 0,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Srážení hran a hrubování se nadále bude provádět noži s SK. Úkolem této části bude porovnat náklady stávající a nové technologie.

Náklady při soustružení na čisto SK:

$$t_{AS1} = 80 \text{ min}$$

$$T_{fd} = 9,60 \text{ Kčs hod}^{-1}$$

$$C_s = 1\,275\,000 \text{ Kčs}$$

$$P = 40\,000 \text{ hod. na rok}$$

$$C_E = 0,34 \text{ Kčs kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$$

$$N_{sh} = 30,1 \text{ Kčs hod}^{-1}$$

$$N_{sh} = \frac{1\,275\,000}{40\,000} \cdot 0,93 + 0,34$$

$$N_{sh} = 30,1 \text{ Kčs hod}^{-1}$$

$$R_d = 500 \%$$

$$N_{sl} = 80 / \frac{9,6}{60} / 1 + 5 / + \frac{30,1}{60} /$$

$$N_{sl} = 117 \text{ Kčs}$$

$$/ t_{A101} + Z_v t_{vn} / = 32'$$

$$N_{vl} = 32' \cdot / \frac{9,60}{60} / 1 + 5 / + \frac{30,1 - 0,34}{60} /$$

$$N_{vl} = 46,60 \text{ Kčs}$$

$$Z_v = 0,33$$

$$C_N = 27,50 \text{ Kčs}$$

$$C_{NZ} = 1 \text{ Kčs}$$

$$Z_o = 40$$

$$T_{fo} = 3'$$

$$R_o = 500 \%$$

$$N_{nl} = 0,33 / \frac{27,5 - 1}{41} + 3' \frac{9,6}{60} / 1 + 5 //$$

$$N_{nl} = 1,20 \text{ Kčs}$$

$$N_{cl} = N_{sl} + N_{vl} + N_{nl}$$

$$N_{cl} = 164,80 \text{ Kčs}$$

Náklady na broušení:

$$t_{AS} = 105 \text{ min}$$

$$T_{fd} = 9,60 \text{ Kčs hod}^{-1}$$

$$R_d = 500 \%$$

bruska již odepsána

náklady na opravy za 1 rok = 65 000 Kčs

$$C_E = 0,34 \text{ Kčs kW}^{-1} \text{h}^{-1}$$

$$N_{sh} = 6,90 \text{ Kčs}$$

$$P = 4 \text{ 000 hod na rok}$$

$$N_{s2} = 105 / \frac{9,6}{60} / 1 + 5 / + \frac{6,9}{60} /$$

$$N_{s2} = 112,90 \text{ Kčs}$$

$$/ t_A 101 + t_{vn} / = 32,4$$

$$N_{v2} = 32,4 / \frac{9,6}{60} / 1 + 5 / + \frac{6,9 - 0,34}{60} /$$

$$N_{v2} = 34,70 \text{ Kčs}$$

$$C_N = 615 \text{ Kčs}$$

$$Z_v = 0,0025$$

$$N_{n2} = 615 \cdot 0,0025$$

$$N_{n2} = 1,50 \text{ Kčs}$$

$$N_{c2} = N_{s2} + N_{v2} + N_{n2}$$

$$N_{c2} = 149,- \text{ Kčs}$$

Náklady při soustružení řeznou keramikou:

$$t_{AS3} = 19 \text{ min}$$

$$T_{fd} = 9,60 \text{ Kčs hod}^{-1}$$

$$U = 0,93$$

$$P = 40 \text{ 000 hod}$$

$$C_s = 1 \text{ 275 000 Kčs}$$

$$C_E = 0,34 \text{ Kčs kW}^{-1} \text{ hod}^{-1}$$

$$N_{sh} = 30,10 \text{ Kčs hod}^{-1}$$

$$R_d = 500 \%$$

$$N_{s3} = 19. / \frac{9,60}{60} / 1 + 5 / + \frac{30,10}{60} /$$

$$N_{s3} = 27,80 \text{ Kčs}$$

$$/ t_{A \text{ 101}} + Z_v t_{vn} / = 40$$

$$N_{v3} = 40 ./ \frac{9,6}{60} / 1 + 5 / + \frac{30,1 - 0,34}{60} /$$

$$N_{v3} = 58,24$$

$$C_{dr} = 600 \text{ Kčs}$$

$$C_{zdr} = 1 \text{ Kčs}$$

$$Z_b = 4$$

$$C_{de} = 50 \text{ Kčs}$$

$$Z_v = 1$$

$$N_{n3} = 1 ./ \frac{600 - 1}{109} + \frac{50}{4} /$$

$$N_{n3} = 18 \text{ Kčs}$$

$$N_{c3} = N_{s3} + N_{v3} + N_{n3}$$

$$N_{c3} = 104 \text{ Kčs}$$

Z výsledků vyplývá, že úspory nákladů zavedením řezné keramiky jsou značné. Můžeme provést srovnání:

a/ v úspoře nákladů

$$U_n = N_{c1} + N_{c2} - N_{c3}$$

$$U_n = 164,80 + 149 - 104$$

$$U_n = 209,80 \text{ Kčs}$$

b/ v úspoře času

$$U_t = t_{AS1} + t_{AS2} - t_{AS3}$$

$$U_t = 80 + 105 - 19$$

$$U_t = 166 \text{ min}$$

5.3.3 Nákladově optimální trvanlivost

Z výpočtů je zřejmé, že největší vliv na náklady mělo zvýšení řezné rychlosti a odstranění broušení.

Stále více se však vyskytuje v řadě literatur nákladově nejvýhodnější životnost T_0 , tzn., že z hlediska hospodárného obrábění nebo také z hlediska minimálních výrobních nákladů je T_0 dána vztahem:

$$T_o = \frac{N_{nT}}{N_{sm}} / m - 1 /$$

kde N_{nT} - náklady na nástroj včetně jeho výměny
vztažené na jednu trvanlivost v Kčs/ T

N_{sm} - náklady na strojní práci v Kčs/ min
/ mzda dělníka, režie a náklady na pro-
voz stroje včetně odpisů a údržby /

m - exponent z Taylorova vztahu

$$T \cdot v^m = C_T$$

Ze vztahu je zřejmé, že čím dražší je obráběcí stroj a nižší náklady na nástroj, případně čím vyšší bude jeho řezivost / menší m /, tím kratší je optimální trvanlivost. Z hlediska minimálních výrobních nákladů to vyžaduje obrábět při intenzivních řezných podmínkách, zejména při podstatně vyšších řezných rychlostech.

Intenzifikace řezných podmínek a tím i zkrácení strojních časů, klade tak i zvýšené požadavky na zaručenou kvalitu nástrojových materiálů. Vytížení NC techniky však vyžaduje současně i maximální snížení všech nezbytných prostojů.

V našem případě

$$m = 2,5$$

$$N_{nT} = 3,8 \text{ Kčs/ trvanlivost}$$

$$N_{sm} = 27,80 \text{ Kčs/ hod} = 0,46 \text{ Kčs/min}$$

$$T_o = 12,13 \text{ min}$$

Podle $T - v$ přímky je nákladově optimální řezná rychlost $v = 380 \text{ m min}^{-1}$.

Velmi často však nemůže být nákladově optimálními řeznými rychlostmi obráběno. Je třeba však připomenout, že zvýšení řezné rychlosti i pod nákladově nejvýhodnější hranici umožňuje již značné snížení výrobních nákladů.

6. Z Á V Ě R

Úkolem této diplomové práce bylo aplikovat československé keramické destičky do výroby v k.p. Krušnohorské strojírny Komořany, kde mají s keramickými řeznými materiály malé zkušenosti. Diplomová práce by měla přispět ke zvýšení poznatků o této technologii v tomto podniku, ale také k jejímu prosazení.

Při řešení tohoto úkolu jsem vycházel z dosavadních poznatků o obrábění řeznou keramikou v našich i zahraničních podnicích.

V teoretické části jsem se zabýval vlastnostmi, výrobou, geometrií a řeznými podmínkami keramických destiček.

V praktické části pak byla určena oblast jejich použití, provedeny ověřovací zkoušky a navrženy optimální řezné podmínky pro konkrétní součást, tedy lokomotivní nápravu.

Práce se skládá ze čtyř částí:

- rozboru a použití řezné keramiky
- použití keramického materiálu na NC strojích, výběr součástkové základny
- stanovení směrných řezných podmínek
- ekonomické zhodnocení.

V diplomové práci jsem dospěl k těmto závěrům:

- v k.p. Krušnohorské strojírny Komořany je nedostatek vhodných obráběcích strojů, které by splňovaly požadavky z hlediska tuhosti, řezných parametrů a výkonů
- je nedostatek keramických destiček, ale především nožových držáků

- vysoká cena destiček brání většímu využití
- vliv na využívání keramických materiálů mají malé zkušenosti a rovněž i obavy ze specifčnosti použití
- řezná keramika by měla odstranit broušení náprav a hřídelí a přinést úspory nákladů.

Jak prokázaly zkoušky je československá řezná keramika na vysoké úrovni a jsou předpoklady pro její širší uplatnění.

Závěrem této práce bych chtěl poděkovat Ing. Robertu Kvapilovi CSc za cenné rady a připomínky při vypracovávání diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat kolektivu zaměstnanců oddělení technologie k.p. Krušnohorské strojírny Komořany, kteří mi byli nápomocni při praktických měřeních.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Pošta, M.: Zpráva ze služební cesty do BLR
Nářadí Praha 1982
2. Houdek, J. - Podklady pro volbu řezných podmínek
Kalousek, I.: pro soustružení šedé litiny KD DISAL.
Výzkumná zpráva č. 3541 VÚOSO 1982
3. Houdek, J. - Podklady pro volbu řezných podmínek
Kalousek, I.: pro soustružení oceli KD DISAL.
Výzkumná zpráva č. 3680 VÚOSO 1982
4. Draský, J. - Vypracování návrhu normy metodiky
Gabriel, V. - zkoušení řezivosti jednobřitých ná-
Bukač, K.: strojů ze slinutého karbidu a metodiky
zkoušení obrobitelnosti kovových mate-
riálů nástrojem ze slinutého karbidu
VŠST Liberec 1974
5. Hubený, P.: Zkrácené funkční zkoušky keramických
břitových destiček. / Diplomová práce/
VŠST Liberec 1981
6. Rataj, I.: Ověřovací zkoušky nožů s řeznou kerami-
kou. / Diplomová práce / VŠST Liberec
1983
7. Matěna, L.: Využití keramických břitových destiček
pro soustružení na NC strojích. / Diplo-
mová práce / VŠST Liberec 1981
8. Štajnochr, L.: Využití fotoelasticimetrie pro návrh
a konstrukci řezné části nástroje.
Nástroje 1983
9. Štajnochr, L.: Některé problémy namáhání nástrojů
s vyměnitelnými břitovými destičkami.
Nástroje se slinutými karbidy 1982
10. Kasal, L.: Hodnocení řezivosti a vyměnitelnosti
řezné čisté keramiky. Strojírenská
výroba 11/82
11. Buchar, M. - Uplatnění syntetických velmi tvrdých
Jirásek, K.: materiálů ve strojírenství. Praha
1981 VÚSTE
12. Buchar, M. - Uplatnění syntetických velmi tvrdých
Jirásek, K.: materiálů ve strojírenství. Praha
1982 VÚSTE

13. Nové poznatky z racionalizace
obrábění. Dům techniky ČSVTS
Ostrava 1983
14. Nové poznatky z oblasti technologie
obrábění. Dům techniky ČSVTS
Ostrava 1982
15. Firemní materiály SPK Feldmühle,
Plochingen NSR
16. Katalog n.p. Dias Turnov, Keramické
břitové destičky
17. Firemní materiály k.p. Škoda
Plzeň