

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **Filip Jan**obor **23-07-8**

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: **Porovnání dlouhodobé zkoušky řezivosti
s krátkodobými zkouškami**

Zásady pro vypracování:

1. Řezivost nástrojů a její stanovování
2. Výběr vhodných krátkodobých zkoušek
3. Provedení zkoušek a jejich vyhodnocení
4. Porovnání zkoušek a závěry

V 22/89 S

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

Řezivost - zkouška

KOM/OM

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 60 stran textu

Seznam odborné literatury:

Gabriel, V. - Bukač, K.: Vypracování návrhu normy metodiky zkoušení
řezivosti jednobřitých nástrojů. /Výzkumná zpráva/.

VŠST Liberec 1974

Hubený, P.: Zkrácené funkční zkoušky keramických břitových
destiček. /Diplomová práce/ VŠST Liberec 1981

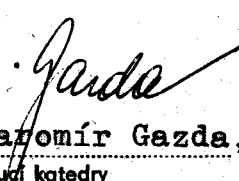
Vedoucí diplomové práce: Ing. Vladimír Gabriel

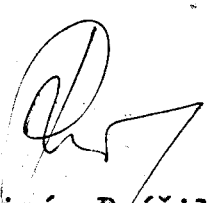
Konzultant: Ing. Gabriel

Datum zadání diplomové práce: 30. 9. 1987

Termín odevzdání diplomové práce: 10. 5. 1988

L.S.


Doc. Ing. Jarmír Gazda, CSc.
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.
Děkan

v Liberci dne 30. 9. 1987

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
nositelka řádu práce

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

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

POROVNÁNÍ DLOUHODOBÉ ZKOUŠKY ŘEZIVOSTI S KRÁT-
KODOBÝMI ZKOUŠKAMI

KOM - OM - 512

Jan FILIP

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Gabriel, VŠST Liberec

Konzultant: Ing. Vladimír Gabriel, VŠST Liberec

Počet stran : 54
Počet tabulek : 18
Počet obrázků : 14
z toho fotografií: 3
Počet výkresů : -
Počet modelů ne-
bo jiných příloh : -

20. prosince 1988

M Í S T O P Ř Í S E Ž N Ě P R O H L Á Š E N Í

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

V Liberci dne 20. prosince 1988

Jan Filip

<u>OBSAH</u>	str.
1. Úvod	1
1.1 Politicko-hospodářský význam diplomového zadání	1
2. Nástrojové materiály	3
2.1 Stanovení řezivosti nástrojových materiálů	3
2.2 Rychlořezné oceli	3
2.2.1 Vlastnosti rychlořezných ocelí	3
2.2.2 Chemické složení rychlořezných ocelí	4
2.2.3 Rozdělení rychlořezných ocelí podle výkonnosti	5
2.2.4 Vliv tepelného zpracování na vlastnosti rychlořezných ocelí	7
2.3 Slinuté karbidy	8
2.3.1 Rozdělení slinutých karbidů podle generací	9
3. Řezivost	11
3.1 Opotřebení břitu	11
3.1.1 Abrazivní otěr	11
3.1.2 Adhézní otěr	12
3.1.3 Difúzní otěr	13
3.1.4 Chemický otěr	14
3.1.5 Plastická deformace	14
3.2 Intenzita opotřebení	18
3.3 Řezivost nástroje	20
3.3.1 Hodnocení řezivosti	22
3.3.2 Vliv obrobiteľnosti materiálu na řezivost nástroje	23
3.3.3 Relativní řezivost	25
4. Zkoušky řezivosti	26
4.1 Dlouhodobá zkouška řezivosti	26

4.2 Krátkodobá zkouška podle Andonova	29
4.3 Některé další zkoušky řezivosti	32
4.3.1 Krátkodobá zkouška při sníženém kritériu o- tupení	32
4.3.2 Mikrozkouška VŮ OSO	33
4.3.3 Krátkodobá zkouška obrobitelnosti při podél- ném soustružení, se sníženou mírou opotřebení	33
4.3.4 Krátkodobá zkouška podle Besprozvanného	34
4.3.5 Krátkodobá zkouška obrobitelnosti příčným soustružením	34
4.3.6 Krátkodobá zkouška obrobitelnosti při podél- ném soustružení s řezným nástrojem o nižší řezivosti	35
5. Praktická část	37
5.1 Obráběcí stroj	37
5.2 Zařízení na měření opotřebení a času obrábění	38
5.3 Dlouhodobá zkouška - naměřené hodnoty pro rychlořez- nou ocel	40
5.4 Vyhodnocení naměřených hodnot a stanovení T - v závislosti pro rychlořeznou ocel	43
5.5 Dlouhodobá zkouška - naměřené hodnoty pro slinutý karbid	44
5.6 Vyhodnocení naměřených hodnot a stanovení T - v závislosti pro slinutý karbid	46
5.7 Krátkodobá zkouška podle Andonova - rychlořezná ocel	47
5.8 Krátkodobá zkouška podle Andonova - slinutý karbid	49
5.9 Zhodnocení výsledků	51
6. Závěr	54

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

- $^{\circ}\text{C}$ - stupeň Celsia
- HV - tvrdost podle Vickerse
- HRC - tvrdost podle Rockwella
- VB - opotřebení na hřbetě
- KT - hloubka výmolu na čele
- KB - šířka výmolu
- KM - vzdálenost největší hloubky výmolu od původního ostří
- VC - opotřebení hřbetu na poloměru zaoblení špičky
- VB_{max} - největší šířka opotřebení na hřbetě
- K - relativní řezivost
- s - posuv
- h - hloubka řezu
- φ - koeficient odstupňování otáček
- č.m. - číslo měření
- v - řezná rychlost
- m, c_v, c_T - konstanty Taylorova vztahu
- D - průměr obrobku
- b_0, b_1 - koeficienty regresní rovnice
- r - korelační koeficient

1. ÚVOD

1.1 Politicko-hospodářský význam diplomového zadání

Současné období rozvoje československého národního hospodářství je etapou rozvoje vědecko-technické revoluce, vyznačující se automatizací, robotizací, chemizací, vývojem nových materiálů a hmot, spojených s využitím netradičních surovin a postupů. Zabezpečení dalšího rozvoje národního hospodářství souvisí se:

- 1/ zvyšováním produktivity práce
- 2/ snižováním výrobní spotřeby materiálu
- 3/ urychleným zaváděním nejnovějších vědeckých poznatků do výroby
- 4/ zkvalitněním a prohloubením závislosti "výzkum - výroba - užití - spotřeba"

Tyto požadavky sledují i Hlavní směry hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR schválené XVII. sjezdem KSČ.

V 8. pětiletce je jedním z nejdůležitějších úkolů v oblasti strojítenství snižování spotřeby surovin. To předpokládá urychlený vývoj nových materiálů a technologií.

Požadavek ekonomického obrábění na moderních obráběcích strojích, zejména na číslícově řízených strojích, vede k intenzifikaci řezných podmínek a tím ke zkrácení hodnot hospodárné trvanlivosti řezných nástrojů na úroveň 10 - 30 minut. Ve svých důsledcích vede tento požadavek jednak k podstatnému zvýšení spotřeby vyměnitelných břitových destiček všech nástrojových materiálů.

Tento trend ve vývoji optimálních řezných podmínek vyvolává nové požadavky na nástrojové materiály. Převládajícím je požadavek větší odolnosti proti otěru, provozní spolehlivosti, ale také trvanlivosti a řezivosti.

Právě v závislosti na vývoji nástrojových materiálů je nutné spolehlivě a rychle stanovit a utřídit vlastnosti i těchto materiálů vzhledem k řezným podmínkám. Proto je v plné šíři využíváno řady zkoušek řezivosti, které by v konečném efektu měly poskytnout ucelený přehled o jednotlivých nástrojových materiálech.

Cílem diplomové práce je objektivní porovnání dlouhodobé zkoušky řezivosti s krátkodobými zkouškami. Dále se zamyslet nad rychlostí a přesností stanovení řezivosti a zpracování a vyhodnocení praktického provedení několika zkoušek.

Jako nástrojové materiály byly vybrány břitové destičky z rychlořezné oceli a ze slinutého karbidu.

V praktické části diplomové práce byly prováděny tyto zkoušky: dlouhodobá zkouška podélným soustružením a krátkodobá zkouška podle Andonova.⁽¹⁾

2. NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY

2.1 Stanovení řezivosti nástrojových materiálů

Stanovení řezivosti nástrojových materiálů je důležitým prvkem pro hodnocení jejich vlastností, podmiňujících jejich praktické využití. V současné době jsou nejčastěji používanými nástrojovými materiály rychlořezné oceli a slinuté karbidy.

2.2 Rychlořezné oceli

Rychlořezné oceli tvoří samostatnou skupinu nástrojových legovaných ocelí a patří mezi nejpoužívanější materiály pro výkonné řezné nástroje. Liší se od ostatních legovaných nástrojových ocelí:

- 1/ druhem přísadových prvků
- 2/ množstvím přísadových prvků
- 3/ svými vlastnostmi
- 4/ tepelným zpracováním

Jsou to bohatě legované oceli, které dostali název podle toho, že jimi můžeme obrábět kovy vysokými řeznými rychlostmi, značně vyššími, než při použití ostatních druhů oceli.

Hlavními přísadovými prvky jsou: wolfram, molybden, vanad, chrom, kobalt.

2.2.1 Vlastnosti rychlořezných ocelí

Potřebných vlastností u jednotlivých typů rychlořezných ocelí se dosahuje nejen vhodně voleným obsahem legovaných prv-

ků, ale také tepelným zpracováním.

Charakteristickými vlastnostmi rychlořezných ocelí jsou:

- velká odolnost proti popouštění
- velká tvrdost za tepla i za studena
- velká odolnost proti opotřebení

Další neméně důležitou vlastností je, že vlastnosti získané tepelným zpracováním, si zachovávají i za zvýšených teplot a při tepelném namáhání břitů nástrojů, popřípadě se tyto vlastnosti jen velmi málo mění.

2.2.2 Chemické složení rychlořezných ocelí

Rychlořezné oceli jsou vysokolegované nástrojové oceli a patří k ledeburitickým typům nástrojových ocelí.

Jako legované prvky se kromě obvyklých obsahů manganu a křemíků vyskytují:

- chrom
- wolfram

a v menším množství:

- molybden
- vanad
- kobalt

Kromě kobaltu jde vesměs o karbidotvarné prvky, které zmenšují rozpustnost uhlíku v železe.

Kovové prvky spolu s uhlíkem vytvářejí různé druhy speciálních karbidů typu $M_{23}C_6$, M_6C , M_2C a MC . Karbidy jsou nejtvrdší strukturní složkou rychlořezných ocelí.

V karbidu převládající legovací prvek určuje pak typ karbidu. Nejstabilnější z nich /nad teplotu cca 1 150°C/ jsou karbidy typu MC a M_6C .

Tvoření karbidů typu MC podporuje především vanad, karbidy typu M_6C wolfram a křemík, molybden, uhlík a v omezené míře i vanad; podporují tvoření karbidů typu M_2C . Na odolnost proti popouštění a na tvrdost za tepla působí příznivě:

- chróm
- molybden
- wolfram
- vanad

přičemž účinek chrómu je ze všech legovacích karbidotvorných prvků nejmenší.

Odolnost proti opotřebení ovlivňuje nejvíce vanad, který vytváří velmi tvrdé a stabilní karbidy typu VC. Vysoký obsah vanadu však značně zhoršuje tvářivost oceli, obrobitelnost a obrobitelnost broušením.

2.2.3 Rozdělení rychlořezných ocelí podle výkonnosti

Rychlořezné oceli rozdělujeme podle výkonnosti do tří skupin:

- I. - rychlořezné oceli vysocevýkonné
- II. - rychlořezné oceli výkonné
- III. - rychlořezné oceli pro běžné výkony

Do skupiny vysocevýkonných rychlořezných ocelí byly zařazeny oceli s koeficientem řezivosti $K > 1,3$.

Skupina výkonných rychlořezných ocelí obsahuje oceli s koe-

ficientem řezivosti v rozmezí $1 < K < 1,3$.

Rychlořezné oceli pro běžné výkony jsou oceli s koeficientem řezivosti $K < 1$.

Koeficient řezivosti je poměr řezných rychlostí V_{60} dané rychlořezné oceli a etalované rychlořezné oceli 19802. Přehled rozdělení rychlořezných ocelí pro obrábění kovů dle výkonnosti je uveden v tabulce č. 1.

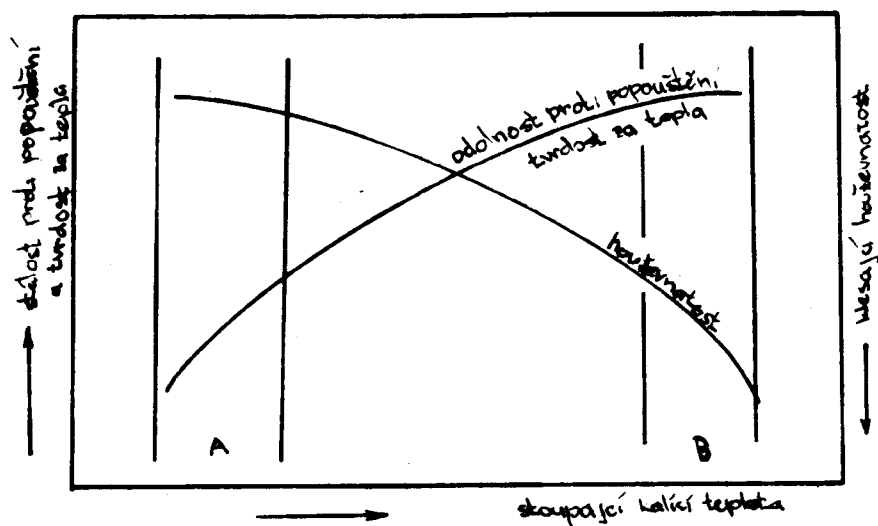
Skupina RO podle výkonnosti	Rychlořezné oceli
I. vysoce výkonné	19 850
	19 851
	19 852
	19 855
	19 856
	19 857
	19 858
	19 861
II. výkonné	19 802
	19 810
	19 829
	19 830
III, pro běžné výkony	19 820
	19 824

Tab. č. 1. Rozdělení ocelí podle výkonnosti

2.2.4 Vliv tepelného zpracování na vlastnosti rychlořezných ocelí

Tepelné zpracování rychlořezných ocelí ovlivňuje tvrdost výsledné struktury. Při tzv. podkalení /příliš nízká teplota/ nenastane potřebné rozpouštění karbidů a při popouštění se pak nedosáhne oblasti sekundární tvrdosti. Vyšší kalicí teplotou tedy dosáhneme lepší odolnosti proti popouštění a tvrdosti za tepla.

Mechanické vlastnosti závislé na tepelném zpracování ilustruje závislost stálosti proti popouštění, tvrdosti za tepla a houževnatosti na kalicí teplotě u různých druhů nástrojů. (2)



Obr. č. 1. Závislost mechanických vlastností na tepelném zpracování / A - jednobřité nástroje; B - jednoduché a kruhové nástroje /

2.3 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy, tvrdé slitiny vyráběné způsoby práškové metalurgie, jsou pro třískové obrábění ve strojírenství používány přibližně od roku 1930.

Hlavními složkami těchto slitin při obrábění materiálů s drolivou třískou jsou: - karbid wolframu

- kobalt

Při obrábění materiálů dávajících souvislou třísku /oceli/ je zapotřebí, aby část karbidu wolframu byla nahrazena přídatnými karbidy s kubickou mřížkou, zejména karbidem titaničitým a karbidem tantalu, které vytvářejí s karbidem wolframu tuhý roztok.

Vysokota vitelné sloučeniny WC, TiC, TaC jsou nositeli tvrdosti a otěruvzdornosti, pojící fáze - tuhý roztok wolframu a uhlíku v kobaltu. Zajišťuje potřebnou houževnatost slinutých karbidů. Je zřejmé, že obě zmíněné vlastnosti, tj. tvrdost a houževnatost mají protichůdný průběh.

Složení slitin WC - TiC - TaC - Co, používaných v průmyslu, může být velmi různé; změna poměru uvedených složek umožňuje připravit slitiny, které svými vlastnostmi co nejvíce odpovídají dané praktické aplikaci a potřebám.

Úspěšné použití karbidu titaničitého jako jedné z hlavních složek slinutých karbidů pro obrábění ocelí bylo dáno jeho vysokou chemickou stabilitou, zejména odolností vůči slitinám železa a vůči oxidaci. Tyto příznivé vlastnosti se mnohem výrazněji projeví, když byl karbid titaničitý nanesen na řezné destičky ze slinutých karbidů ve formě tuhého souvislého povlaku. Při obrábění běžných druhů ocelí je otěr řezného nástroje ze slinutých karbidů z největší

části způsoben chemickými reakcemi mezi nástrojem a obrobkem.

Za intenzivních řezných podmínek dosahuje teplota bříty až 1.000°C ; odebíraná tříska je během kontaktu s řezným břitkem ve vysoce aktivním stavu a je schopna rozpouštět řadu prvků, ze slinutého karbidu především:

- uhlík,
- kobalt,
- wolfram.

Tuhý roztok karbidů /Ti, Ta, WC/ s kubickou mřížkou je proti rozpouštění za uvedených podmínek mnohem odolnější. Postupně se jako otěruvzdorné povlaky na slinutých karbidech uplatnily i další vysokotavitelné sloučeniny. Jako příklad lze uvést nitrid titanitý /TiN/. (3)

2.3.1. Rozdělení slinutých karbidů podle generací

Postupný vývoj povlakovaných břitových destiček ze slinutého karbidu vedl k jejich neustálému zdokonalování, takže v současné době sami výrobci rozlišují čtyři generace těchto řezných materiálů. Postupné zvyšování kvality a výkonnosti destiček od jedné generace ke druhé bylo dosahováno střídavě zlepšením vlastností povlaku nebo podkladového slinutého karbidu, jak dokumentuje tabulka č. 2:

Druh destiček	Představitel u firmy Sandvik-Coromat	Povlak	Zlepšení proti předchozí generaci
nepovlakované	S 4	-	-
1. generace	GC 125	TiC	povlak TiC
2. generace	GC 1025	TiC	odstranění - fáze z povrchu podkladového SK, změna složení SK
3. generace	GC 015	TiC+Al ₂ O ₃	povlak TiC+Al ₂ O ₃
4. generace	GC 415	TiC+Al ₂ O ₃ +TiN	nový podkladový SK odolný proti plastické deformaci

Tabulka č. 2 Výkonnost a kvalita povlakovaných destiček podle generací (9)

3. ŘEZIVOST

3. 1 Opotřebení břitu

Při obrábění působí na břit nástroje složitý systém fyzikálních a chemických procesů. Přitom dochází k opotřebování a otupování břitu. Opotřebení břitů způsobují extrémní podmínky při řezání. Hlavními příčinami jsou vysoké tlaky / 1.500 - 1.200 MPa/ a teploty /800 - 1.200°C/ v místech intenzivního suchého tření, kde do styku přicházejí stále nové povrchy.

Procesy, které způsobují opotřebení břitu, jsou:

- 1/ otěr - abrazivní,
 - adhézní,
 - difúzní,
 - chemický;
- 2/ plastická deformace,
- 3/ křehký lom.

3.1.1 Abrazivní otěr

Jde o otěr tvrdších částí obrobku o břit; je podmíněný vzájemným vnikáním výstupků obou materiálů - tvrdší částičky jednoho tělesa vyryjí do druhého tělesa rýhu. Vzájemné vnikání je možné vysvětlit drsností povrchu anizotropií materiálů. Ani jeden materiál není absolutně izotropní.

Z hlediska vzájemného vnikání výstupků obou materiálů má rozhodující úlohu mikrotvrdost malých objemů materiálů. Jestliže v obráběném materiálu jsou částičky, jejichž mikrotvrdost v podmínkách obrábění je větší než mikrotvrdost některých komponentů řezného materiálu při teplotě obrábění, částičky obráběného materiálu vnikají do řezného materiálu a odebírají z něho nepatrné částičky. Tvrdá zrna řezného materiálu se

postupně vymílají a uvolňují. Jejich výstupky se ulomí nebo se vytrhne celé zrno. Tvrdé zrno zatlačené do odcházející třísky, může vyvinout velmi intenzivní brusný účinek na řezný klín.

Intenzita vnikání částeczek a vzájemného brusného účinku závisí i na tvaru výstupků. Jestliže je malá hloubka vnikání výstupků obráběného materiálu do řezného materiálu, dochází k plastickému deformování povrchu řezného klínu. Plastickým deformováním se zvyšuje tvrdost a křehkost povrchové vrstvy a snižuje se pevnost vazby mezi povrchovou vrstvou a hlouběji položeným materiálem. Soudržnost částeczek povrchové vrstvy řezného materiálu směrem do hloubky klesá. Z hlediska molekulárního působení je tento jev nevýhodný, protože je příčinou zvýšeného opotřebení řezného klínu hloubkovým vytrháváním částeczek řezného materiálu.

3.1.2 Adhézní otěr

Vlivem bodového charakteru dotyku kovových povrchů jsou tlaky v místech skutečného dotyku velmi vysoké i při malých zatíženích. Obnažují se čisté kovové povrchy a mezi oběma tělesy vzniká kovová vazba. Při porušení této kovové vazby porušením povrchu, se na protilehlém tělese zachytí částecčky o rozměrech blížících se rozměrům atomů. Při zvýšení tvrdosti těles, se přenos kovů zmenšuje, ale úplně se neodstraní.

Adhézní působení probíhá v procesu obrábění velmi intenzivně, protože se dostávají do styku kovově čisté povrchy obráběného a řezného materiálu. Na povrchu řezného klínu vznikají jamky. Jejich příčinou je vytrhnutí částeczek řezného ma-

terialu odchazející třískou. V oblasti nárustku se jamky vyskytují jen ojediněle, protože relativní pohyb mezi řezným materiálem a obráběným materiálem se vyskytuje jen po porušení nárustku.

Projevuje se i brusný účinek nárustku. Ztrhávané části nárustku odřezávají z řezného klínu velké objemy. Na čele za nárustkem a na hřbetě pod nárustkem vznikají rovnoběžně s pohybem třísky rýhy.

Podstatnou úlohu při adhézním opotřebení nástroje má zachování tvrdosti řezného materiálu za působení vysokých teplot. Jestliže v povrchových vrstvách nástroje probíhají strukturální změny, které vyvolávají snížení pevnosti, intenzita opotřebení prudce vzrůstá. Jestliže kinetická pevnost povrchových vrstev obráběného materiálu klesá rychleji než tvrdost řezného materiálu, intenzita opotřebení klesá. Tímto je možné vysvětlit, že mezi řeznou rychlostí a intenzitou opotřebení není jednoznačný vztah.

3.1.3 Difúzní otěr

Jestliže zvětšujeme teplotu obrábění zvyšováním řezné rychlosti, mění se charakter procesů, probíhajících na styčných plochách. Vysoká teplota a velké plastické deformace umožňují chemické působení řezného a obráběného materiálu.

Při vysokých teplotách obrábění se povrchové vrstvy porušují zejména difúzí. Vzniká vzájemné rozpouštění a chemická reakce komponentů povrchů a chemická reakce povrchu řezného klínu s prostředím - oxidace.

Nejaktivnějšími prvky jsou železo a kobalt / 600 - 900°C/, wolfram / 900 - 950°C / a titan / nad 1 050°C /.

Při malých řezných rychlostech a velkých teplotách obrábění, je rychlost pronikání železa do spékaného karbidu větší, než rychlost porušení povrchu karbidu difúzí. Vzniká křehká povrchová vrstva, která se při obrábění mechanicky porušuje.

Při vysokých řezných rychlostech a nižších teplotách obráběného materiálu převládá difuze komponentů spékaného karbidu a obráběné oceli.

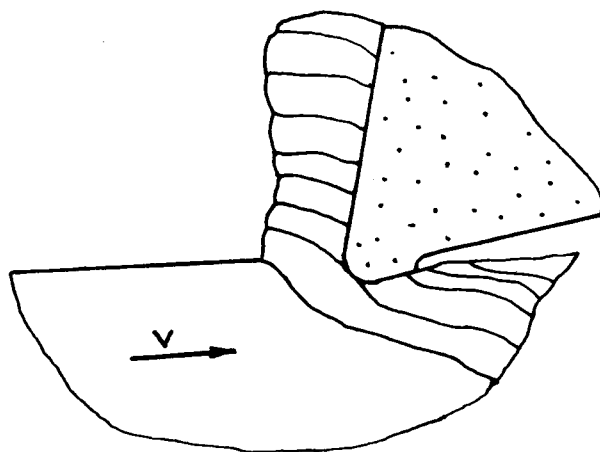
3.1.4 Chemický otěr

Vzniká defektní vrstva na stykových místech břitu, tvořená oxidy. Tyto chemické sloučeniny vznikají působením vzdušného kyslíku a řezného prostředí na nástroj. Intenzita oxidace závisí na teplotě, s jejímž růstem se podstatně zvyšuje intenzita opotřebení rychlořezné oceli. Naopak s přívodem kyslíku se zmenšuje intenzita opotřebení rychlořezné oceli. (10)

3.1.5 Plastická deformace

Opotřebení plastickou deformací nastává převážně při tepelném a všestrannětlakovém přetížení břitu. Tím jsou tenké povrchové vrstvy uvedeny do plastického stavu a posléze k "odtoku" materiálu nástroje ve směru pohybu plochy řezu. /viz obrázek č. 2. na následující straně /

Při překročení pevnosti v ohybu nástrojového materiálu-

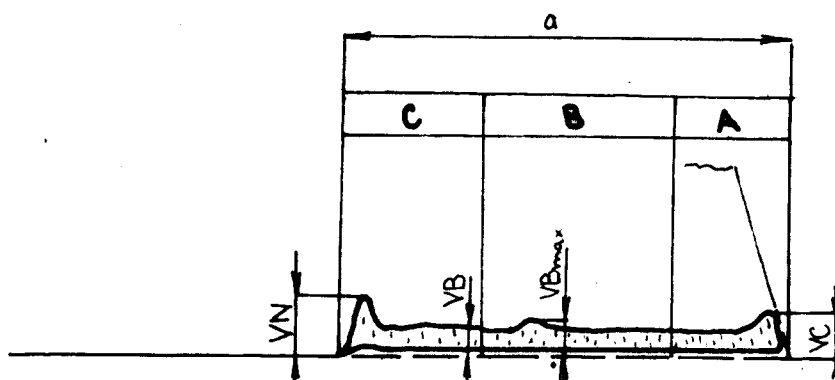


Obr. č. 2. Princip plastického opotřebení

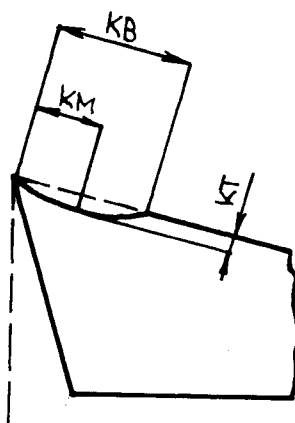
lu dochází k porušení břitu křehkým lomem. Dochází k němu při obrábění příliš velkých průřezů odřezávané vrstvy, při přerušovaném řezu, jako důsledek silového a teplotního rázu a při prudkém stoupnutí měrného řezného odporu, jestliže obráběný materiál obsahuje tvrdý vměstek. Křehkým porušením mikročástic v blízkosti ostří vznikne nerovná lomová plocha.

Opotřebení vzniká zároveň na čele a na hřbetě nástroje. Výchozí tvar břitu naostřeného nástroje se mění:

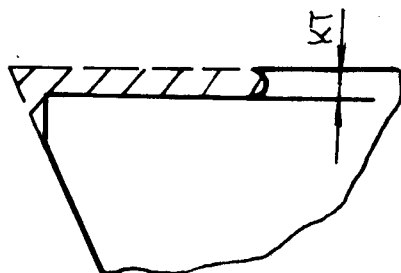
- otěrem materiálu břitu na hřbetě /viz obrázek č. 3 a /
- úběrem materiálu na čele ve formě žlábků / viz obrázek č. 3 b /
- úběrem materiálu na čele ve formě stupínku / viz obrázek č. 3 c /
- křehkým lomem mikročástic v těsné blízkosti ostří a zaoblení ostří plastickou deformací jeho materiálu



Obr. č. 3a Opotřebení břitu otěrem materiálu břitu na hřbetě



Obr. č. 3b Opotřebení břitu úběrem materiálu na čele ve formě
žlábků



Obr. č. 3c Opotřebení břitu úběrem materiálu na čele ve formě stupínku

Význam jednotlivých symbolů /rozměry uvedeny v mm/

KT - hloubka výmolu na čele

KB - šířka výmolu měřená od původního ostří

KM - vzdálenost největší hloubky výmolu od původního ostří

KL - vzdálenost hrany žlábků od nově vytvořeného ostří

VB - střední šířka opotřebení na hřbetě měřená od původního ostří v oblasti B

VC - opotřebení hřbetu na ploměru zaoblení špičky

VN - maximální opotřebení hřbetu v oblasti C

VB_{max} - největší šířka opotřebení na hřbetě v oblasti B

a - celková délka opotřebení na hřbetě

A - délka opotřebení zakřivené části hřbetu u špičky

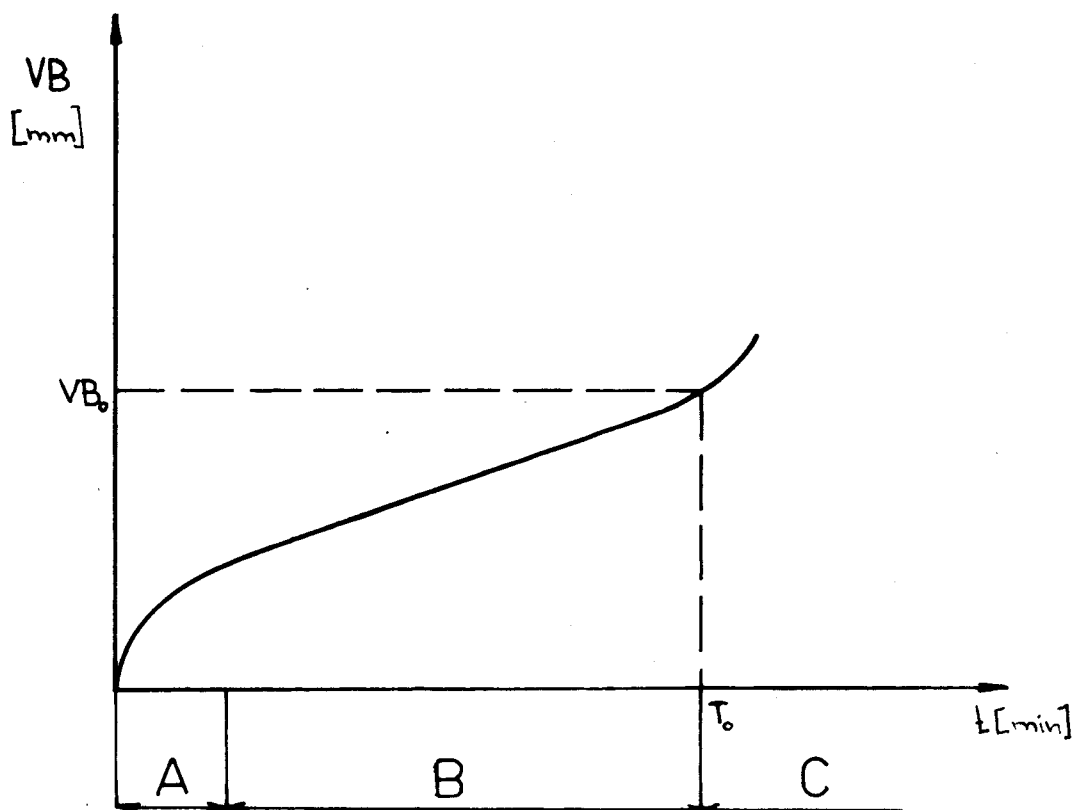
B - délka opotřebení přímé částice hřbetu kde se provádí měření VB

C - délka opotřebení, která se nazahrnuje do měření VB; platí

$$C = -\frac{a}{4} \quad (4)$$

3.2 Intenzita opotřebení

Intenzita opotřebení vyjadřuje graf závislosti opotřebení břitu na čase, po který se obrábí. Na grafu závislosti šířky opotřebení na hřbetě VB na čase obrábění můžeme zřetelně odlišit tři části. / viz. obrázek č. 4 /



Obr. č. 4. Závislost šířky opotřebení na hřbetě VB na čase

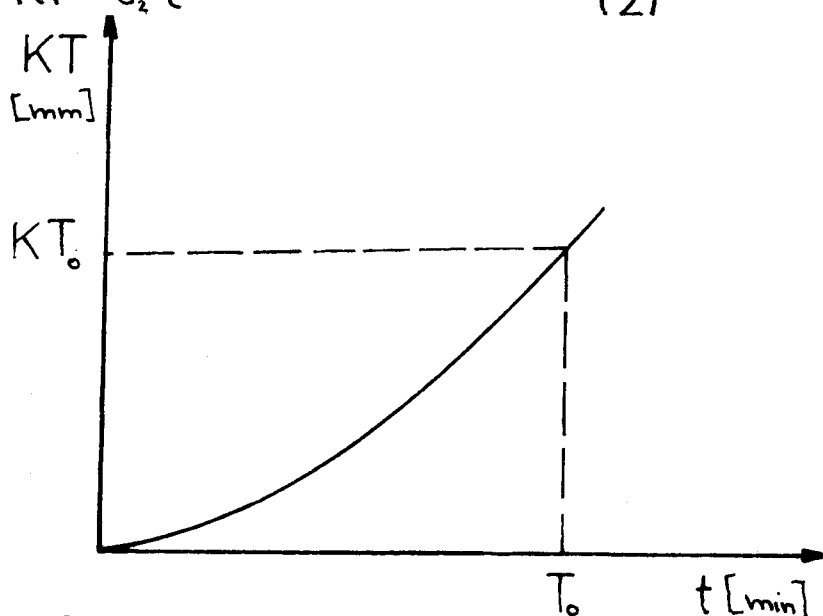
Zpočátku dochází k prudkému vzrůstu opotřebení vlivem malé stykové plochy a z toho plynoucího velkého měření tlaku / oblast A /. Při dalším obrábění se intenzita otupování zpomalí a rovnoměrně vzrůstá, protože došlo k ustálení poměrů na hřbetě nástroje / oblast B /. V oblasti C opotřebení vzrůstá vlivem zeslabení nástroje při obrábění a nástroj může být v krátkém čase porušen.

Na obrázku č. 5 je závislost hloubky výmolu na čele KT na čase. Průběh opotřebení je zcela jiný. Výmol se zpočátku jen zvolna zvětšuje, později je jeho vzrůst prudký až k případnému poškození vylomením břitů.

Matematicky lze výše uvedené závislosti popsat experimentálně odvozenými vztahy.

$$VB = c_1 \cdot t^{x_1} \quad (1)$$

$$KT = c_2 \cdot t^{x_2} \quad (2)$$



Obr. č. 5 Závislost hloubky výmolu na čele KT na čase

Hodnoty exponentů jsou závislé na řezné rychlosti, neboť s její rostoucí velikostí se mění poloha přímk v obou grafech. Vliv ostatních řezných podmínek se zpravidla vyjadřuje nepřímo pomocí tzv. řezné rychlosti při konstantní trvanlivosti v_T .

Experimentálně byl pak stanoven vztah:

$$v_T = \frac{C_v}{h^{x_v} \cdot s^{y_v}} \quad (3)$$

3.3 Řezivost nástroje

Pojmem řezivost nástroje označujeme souhrn jeho vlastností, které komplexně ovlivňují jeho výkon, tj. dosahovanou velikost úběru. Řezivost řezného materiálu zahrnuje nejen materiálové vlastnosti břitu, ale je vázána i na technologické podmínky obrábění.

Od řezného materiálu požadujeme:

- o 5 až 6 HRC vyšší tvrdost než u materiálu obráběného
- dostatečnou odolnost proti opotřebení i za vyšších teplot
- vyhovující pevnost u tlaku a v ohybu
- dostatečnou tepelnou vodivost

Při obrábění musíme dále brát v úvahu průřez třísky, řeznou rychlost, geometrii břitu, řezné prostředí, apod. Žádný řezný materiál nesplňuje všechny žádané podmínky, ale

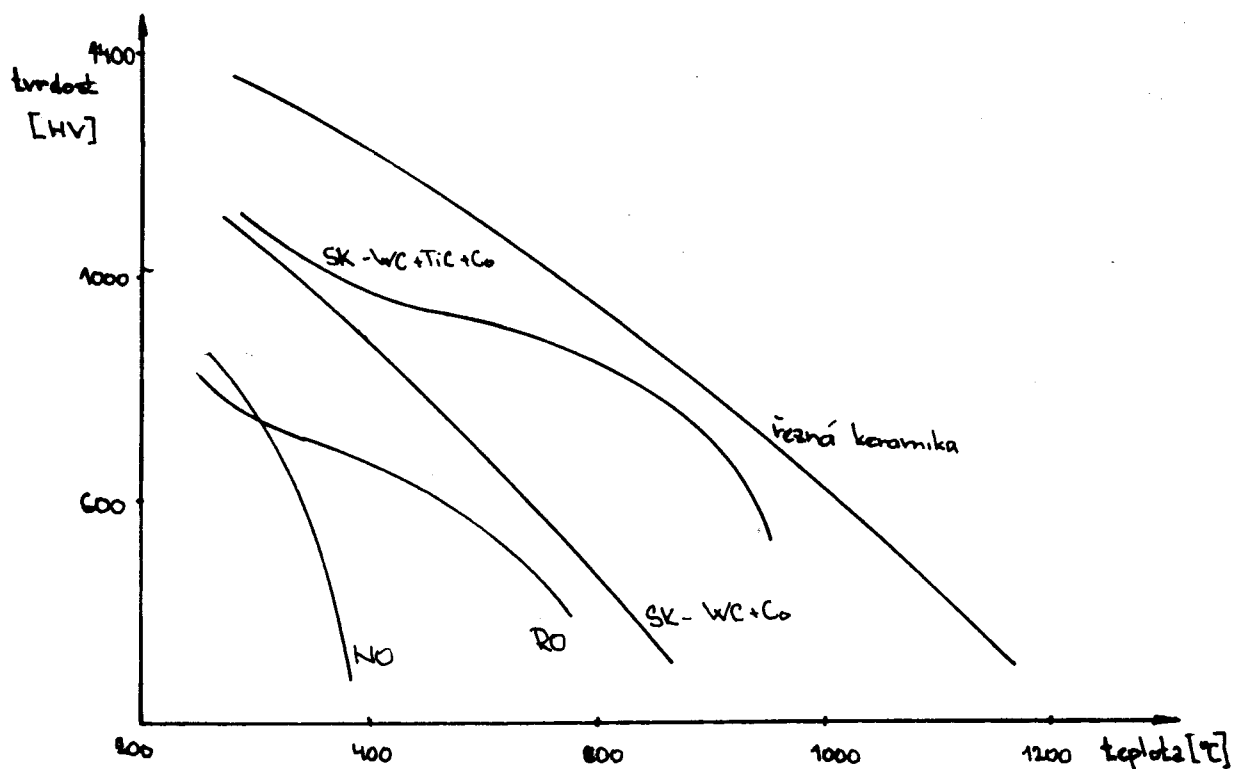
je nutno volit kompromis. Proto byl definován pojem řezivost jako souhrnná vlastnost nástrojových materiálů určující jejich schopnost ekonomicky a technicky dobře obrábět.

Kritérium řezivosti je v převážné míře intenzita otupování břitu při konkrétních, pokud možno optimálních řezných podmínkách, tj. jeho odolnost proti tepelnému a mechanickému poškození v místě jeho ostří.

Základními vlastnostmi, které určují stupeň řezivosti jsou:

- tvrdost a její závislost na teplotě
- houževnatost, popř. pevnost ohybu
- do určité míry i tepelná vodivost a jeho afinita k materiálu obrobku

Na obrázku č. 6. je graf závislosti tvrdosti různých řezných materiálů na teplotě.



Obr. č. 6. Graf závislosti tvrdosti různých materiálů na teplotě

SK - slinutý karbid
RO - rychlořezná ocel
NO - nástrojová ocel

3.3.1 Hodnocení řezivosti

Pro hodnocení stupně řezivosti dosud neexistuje obecně platné kritérium, ani obecně platná metoda experimentálního stanovení. Při stanovování řezivosti nástroje vycházíme z Taylorova vztahu mezi trvanlivostí nástroje a řeznou rychlostí za určitých řezných podmínek:

$$T = \frac{C_T}{v_T^m} \quad (4)$$

nebo:

$$v_T = \frac{C_v}{T^{\frac{1}{m}}} \quad (5)$$

Smluvně je řezivost nástroje charakterizována konstantami m a C_T , nebo C_v z uvedeného vztahu a řeznou rychlostí v_T .

Rychlost v_T je řezná rychlost, která odpovídá smluvní trvanlivosti T / tzv. absolutní řezivost /. Tato trvanlivost se volí blízká T_{opt} .

Pro určení řezivosti je nutné zjistit závislost trvanlivosti nástroje na řezných podmínkách. Trvanlivost je definována jako doba, po kterou může nástroj hospodárně pracovat až do otupění.

Metody měření otupění:

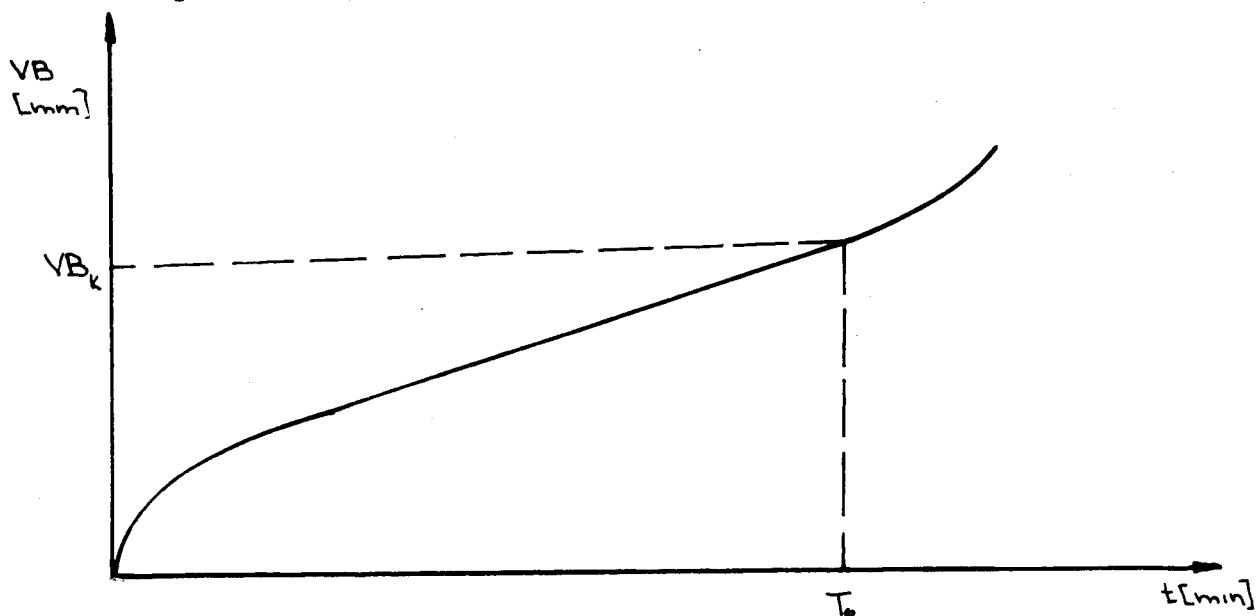
- Měření lineárních rozměrů opotřebovaných ploch řezné části nástroje
- Určení objemu opotřebovaného materiálu břitu

- Určení hmotnosti úbytku nástroje vlivem opotřebení.

V praxi se však používá pouze první metoda. Zpravidla se měří hodnota VB a hloubka výmolu KT . Optimální trvanlivost je omezena počátkem obrábění a okamžikem, kdy VB dosáhne optimální šířky otupení VB_k / viz obrázek č. 7./

Hodnota VB_k je tzv. kritérium otupení nástroje. Velikost otupení mohou určovat i technologické podmínky práce, např. požadovaná přesnost obrábění, nebo drsnost obrobňého povrchu.

Protože není možné v praxi stanovit pro všechny podmínky obrábění optimální opotřebení, bere se jako kritérium opotřebení VB_k určitá smluvní hodnota, předem určená pro určitý materiál nástroje a obrobku.



Obr. č. 7. Kritérium otupení nástroje

3.3.2 Vliv obrobitelnosti materiálu na řezivost nástroje

Stejně jako řezivost charakterizuje řezný materiál, obrobitelnost charakterizuje obráběný materiál.

Obrobitelnost je tedy souhrn vlastností materiálu obrobku z hlediska jeho přístupnosti a použitelnosti pro ekonomickou výrobu součástí obráběním.

Materiál je lépe obrobitelný, jestliže jej lze obrábět vyšší řeznou rychlostí v_T , nebo je dosaženo delší trvanlivosti pro $v = \text{konstantě}$, když vzniknou menší řezné síly a teplota řezání, apod.

Obrobitelnost zahrnuje fyzikální vlastnosti a chemické složení obráběného materiálu, jeho mikrostrukturu a tepelné zpracování.

Z mechanických vlastností jsou to především:

- tvrdost
- pevnost
- houževnatost

tj. vlastnosti, které zvyšují intenzitu otupení. Naproti tomu s rostoucí tažností a tepelnou vodivostí obrobitelnost roste.

Chemické složení materiálu obrobku ovlivňuje nejen fyzikální vlastnosti kovu, ale působí na obrobitelnost také svým vlivem na jeho mikrostrukturu a chemickou aktivitu jednotlivých složek k materiálu nástroje.

Vliv chemického složení materiálu však nelze hodnotit obecně, ale na základě rozboru vlivu jednotlivých prvků na intenzitu otírání bříty. Obecně tedy platí: se zlepšením

obrobitelnosti materiálu se zvyšuje i řezivost.

3.3.3 Relativní řezivost

V praxi se často neurčuje přímo absolutní řezivost, ale porovnávají se řezivosti dvou nástrojových materiálů za stejných podmínek obrábění. Relativní řezivost je pak dána poměrem

$$K = \frac{v_T}{v_{T_e}} \quad (6)$$

kde v_{T_e} - řezná rychlost dosažená při zvolené trvanlivosti T , při obrábění etalonovým nástrojem

v_T - řezná rychlost dosažená při stejné trvanlivosti zkoušeným nástrojem za stejných řezných podmínek.

Rychlosti v_T a v_{T_e} se odečtou z $T - v$ diagramu pro dané řezné materiály. (5)

4. ZKOUŠKY ŘEZIVOSTI

Zkoušky řezivosti dělíme na dlouhodobé a krátkodobé. Zkoušku lze provést dvojím způsobem:

a/ stanovením absolutních hodnot řezivosti na etalonovém obráběném materiálu

b/ stanovením poměrných hodnot řezivosti na zvoleném obráběném materiálu, jehož oborbitelnost je určena etalonovým nástrojem

Etalonovým řezným materiálem byla určena výkonná wolfram - molybdenová ocel 19 830 / ČSN 41 9830 /.

Postup tepelného zpracování se neliší u etalonových nástrojů od běžného průmyslového zpracování nástrojů, až na přesné vymezení tolerancí. Je také předepsána kontrola všech důležitých operací postupu tepelného zpracování.

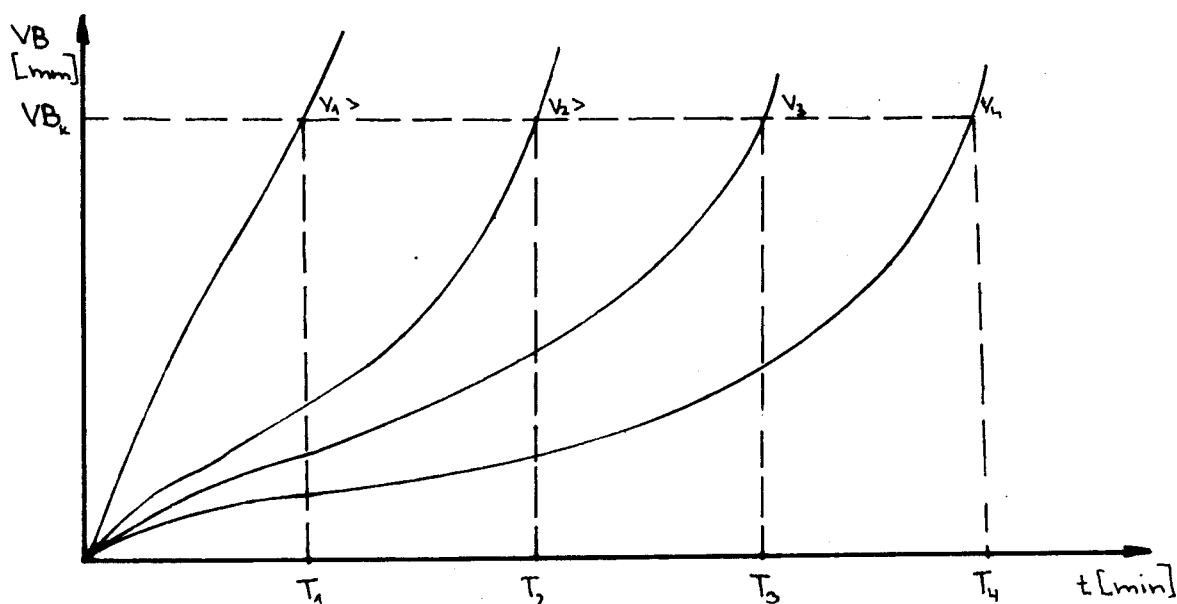
Etalonovým obráběným materiálem tvořícím plynulou třísku, je ušlechtilá uhlíková ocel 12 050.1 /ČSN 41 2050/. Způsob výroby není předepsán s výjimkou dezoxidace, jejíž způsob významně ovlivňuje hodnotu obrobitelnosti. (4)

4.1 Dlouhodobá zkouška řezivosti

Délku trvanlivosti při obrábění daného materiálu ovlivňuje nejvíce řezná rychlost. V oblasti běžně používaných řezných rychlostí trvanlivost s rostoucí rychlostí klesá. Tuto závislost lze experimentálně stanovit tzv. dlouhodobou zkouškou řezivosti.

Obrábíme určitý materiál při různých řezných rychlostech a při konstantních řezných podmínkách nástrojem ze zkoušeného materiálu.

Pro jednotlivé řezné rychlosti nakreslíme křivky opotřebení $VB = f/T$, /viz obrázek č. 8./. Čas řezání, za který dosáhne nástroj zvolené míry opotřebení VB_k , odpovídá trvanlivosti T .



Obr. č. 8. Závislost opotřebení VB na čase

Vyneseme hodnoty trvanlivostí a odpovídajících řezných rychlostí do diagramu $T - v$ a získáme závislost $T = f/v$, viz. obrázek č. 9.

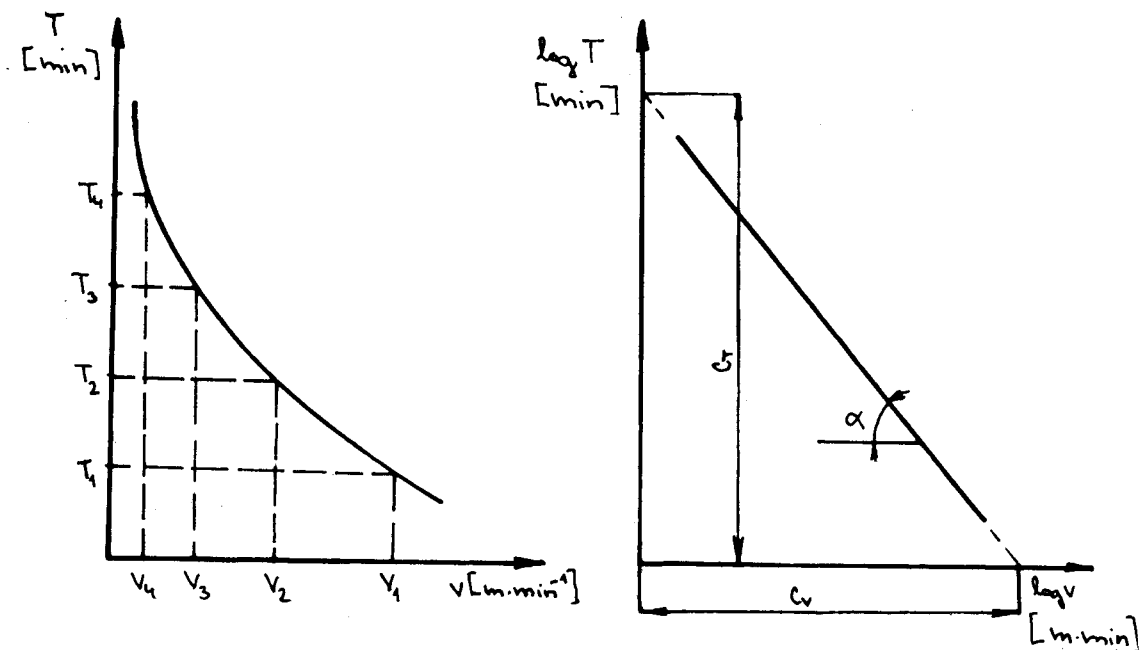
Tato křivka je v největší části rozsahu v polytropa

a lze ji matematicky vyjádřit vztahem:

$$c_T = T \cdot v^m \quad (7)$$

nebo

$$c_v = T^m \cdot v \quad , \quad m = \frac{1}{n} \quad (8)$$



Obr. č. 9. Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti

a/ v normálních souřadnicích

b/ v logaritmických souřadnicích

Logaritmováním vztahu /7/ dostaneme rovnici přímky:

$$\log c_T = \log T + m \cdot \log v \quad (9)$$

jejíž směrnice vyjadřuje velikost exponentu m /viz. obrázek č. 9./

$$t_g \propto m \quad (10)$$

Velikost exponentu m , určíme buď graficky z diagramu na obrázku č. 9., nebo výpočtem.

Pro různé řezné rychlosti při neměnných ostatních parametrech řezných podmínek platí:

$$c_T = T_1 \cdot v_1^m \quad c_T = T_2 \cdot v_2^m \quad (11)$$

dělením obou rovnic dostaneme:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{v_2^m}{v_1^m} \quad (12)$$

z toho

$$m = \frac{\log T_2 - \log T_1}{\log v_1 - \log v_2} \quad (13)$$

Hodnota konstanty c_T a c_V , lze určit výpočtem z rovnic /7/ a /8/, známe-li hodnotu m , nebo graficky z diagramu na obrázku č. 9.

Platí zde pro: $v = 1\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$,

$c_T = T$, pro $T = 1\text{min}$,

$$c_V = v \quad (5)$$

4.2 Krátkodobá zkouška podle Andonova

Metoda spočívá v přerušovaném obrábění soustružnickým nožem, vrtáky, výhrubníky, výstružníky a frézami.

Otáčky součástky nebo nástroje se mění na každém úseku geometrickou řadou s koeficientem φ /koeficient odstup-

ňování otáček obráběcího stroje/. Změna řezné rychlosti je stejná, protože průměr D je konstantní. Ostatní prvky řezných podmínek $/s, t/$ jsou také konstantní.

Na prvním úseku pracuje stroj s otáčkami n_1 , na druhém úseku s otáčkami $n_2 = n_1 \cdot \varphi$, na třetím úseku s $n_3 = n_2 \cdot \varphi^2$, na $(k+1)$ tém úseku ve vzdálenosti l , dochází k maximálnímu opotřebení, které jsme si stanovili za kritérium opotřebení.

Další pokus již provádíme s novým řezným nástrojem a s jiným počátečním počtem otáček, který bude vyšší, než při předcházejícím měření. Postup realizace druhého pokusu, jako i dalších pokusů je stejný jako při prvním.

Použité nástroje mají stejnou geometrii a je jich tolik, kolik je pokusů.

Analýza experimentálního zařízení a navrhovaného postupu ukazuje značnou jednoduchost přípravy a možnost uskutečnění experimentu jak v laboratorních, tak i v provozních podmínkách. Metoda je univerzální z hlediska použitých druhů řezných nástrojů.

Řezná rychlost je proměnná veličina, která je v jednotlivých úsecích diskrétní hodnotou. Průměrná hodnota řezné rychlosti je ve všech úsecích konstantní. Za určitých předpokladů a pro lehčí využití dostaneme vztah:

$$(v^m)_{st} = \frac{v_1^m (\varphi - 1) \cdot \varphi^{k_1(m+1)}}{(\varphi^{m+1} - 1)(\varphi^{k_1} - 1)} \quad (14)$$

analogicky se určuje trvanlivost

$$T = \frac{l_0 (\varphi^k - 1)}{v_{m_1} \varphi^{k-1} (\varphi - 1)} + \frac{q l_0}{v_{m_1} \varphi^k} \quad (15)$$

kde $v_{n_1} = s_{n_1}$ je rychlost posunu.

Výpočet trvanlivosti je tím přesnější, čím je hodnota k_1 větší. Upravíme a dosadíme do Taylorova vztahu:

$$m_1^{\frac{m-1}{m}} \varphi^{k_1} = \left(\left(\frac{1000C}{\pi \cdot D} \right)^m \frac{(\varphi^{m+1} - 1)s}{l_0 \varphi} \right)^{\frac{1}{m}} = Q \quad (16)$$

nebo

$$k_1 = \frac{\log Q}{\log \varphi} - \frac{m-1}{m \cdot \log \varphi} \log m_1 \quad (17)$$

čímž dostaneme rovnici přímky $y = b_0 + b_1 x$, v souřadnicovém systému s vodorovnou osou $\log n_1$ a svislou k_1 .

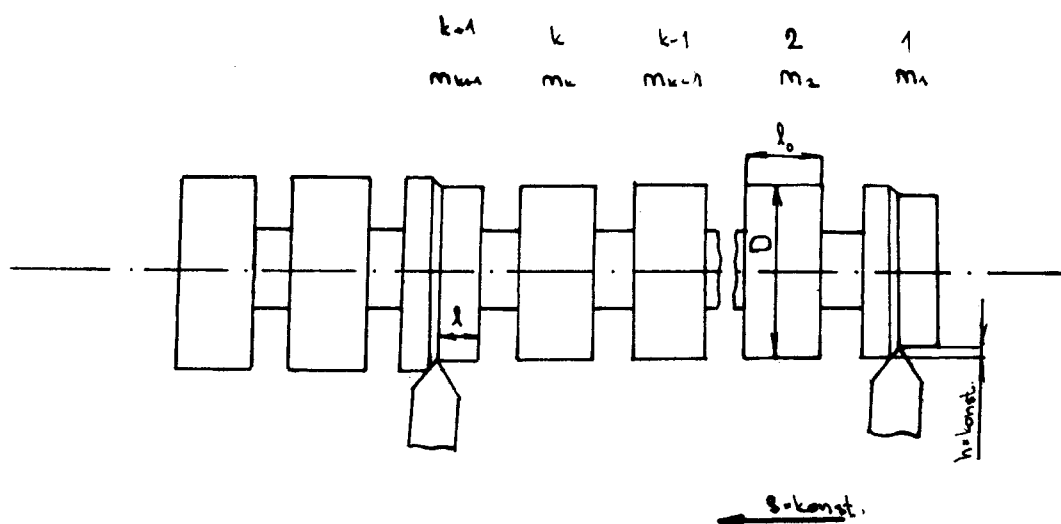
Na základě záporné hodnoty směrnice určíme hodnotu m u exponentu:

$$m = \frac{1}{1 - \lg \alpha \lg \varphi} \quad (18)$$

Konstantu C určíme pro každý nástroj zvlášť:

$$C = v_k \varphi^{k_1} \left(\frac{l_0 \varphi^{m-1}}{s_{m_1} (\varphi^{m+1} - 1)} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (19)$$

kde v_k je řezná rychlost na k - tém úseku. Konečnou hodnotu C dostaneme jako aritmetický průměr hodnot, vypočítaných pro jednotlivé nástroje. (6)



Obr. 8. 10. Schéma metody neustále rostoucích rychlostí

4.3 Některé další zkoušky řezivosti

Kromě výše uvedených zkoušek existuje celá řada dalších postupů a způsobů určování řezivosti a závislostí, které s ní souvisí.

4.3.1 Krátkodobá zkouška při smíšeném kritériu otupení

Při této krátkodobé zkoušce volíme zmenšenou hodnotu otupení za kritérium, čímž dosáhneme značné časové úspory při provádění této zkoušky. Pro slinutý karbid volíme kritériální otupení $VB_k = 0,1 - 0,3 \text{ mm}$. Ostatní parametry a postup volíme jako při normálních zkouškách.

Při používání této metody vznikají značné nepřesnosti, proto provádíme zkoušku vícekrát.

4.3.2 Mikrozkouška VÚ OSO

Tato krátkodobá zkouška zjišťuje závislost trvanlivosti na řezné rychlosti. Princip této zkoušky vychází z klasického časového průběhu křivky opotřebení. Za kritériální opotřebení bereme hodnotu $VB_k = 0,1 \text{ mm}$. Čím je ostří hladší, tím menší je hodnota počátečního opotřebení a počáteční zrychlený průběh opotřebení představuje mikrostopické výmoly ostří, které jsou tím větší, čím drsnější je řezná hrana nástrojů.

Při mikrozkoušce VÚ OSO se volí posuv $s = 0,3 \text{ mm}$, hloubka řezu $h = 1,5 \text{ mm}$. Je dána i geometrie nástroje:

Zkouška se provádí pro čtyři řezné rychlosti. Při každé řezné rychlosti se zjišťuje závislost opotřebení hřbetu na čase, přibližně do hodnoty $VB = 0,09 \text{ mm}$.

Pro tuto zkoušku se používá vzorový materiál na obrobku ČSN 12 060.1.

4.3.3 Krátkodobá zkouška obrobitelnosti při podélném soustružení, se sníženou mírou opotřebení

Kritériem pro hodnocení je řezná rychlost v_z = řezná rychlost odpovídající trvanlivosti $T = 7 \text{ min}$. pro míru opotřebení na hřbetě $VB = 0,2 \text{ mm}$.

Zkoušky se provádějí výhradně nástroji s břitovými destičkami ze slinutého karbidu. Zkouška vychází z dlouhodobé zkoušky trvanlivosti, kde krátkodobý charakter je dosažen sníženou mírou opotřebení VB .

Zkouška je provedena za podmínek běžně používaných v praxi. Předností zkoušky je:

- 1/ možnost zařazení zkoušeného materiálu do příslušné třídy materiálu
- 2/ delší čas k ohrábění proti ostatním krátkodobým zkouškám (8)

4.3.4 Krátkodobá zkouška podle Besprozvaného

Tato krátkodobá zkouška spočívá ve stanovení závislosti opotřebení VB na čase. Pokusy se provádějí tak, že jen pro první případ konstantní řezné rychlosti se sestrojí graf až po otupení nože. V ostatních případech stačí, aby se získala křivka $VB = f(t)$ jen s určitou neúplnou fází normálního opotřebení.

Z experimentálních údajů se určí

$$v = c_1 \left(\frac{VB}{t} \right)^{\omega} \quad (20)$$

$$T = \frac{c_2}{\frac{VB}{t}} \quad (21)$$

kde $\frac{VB}{t}$ je intenzita normálního opotřebení, koeficient $\omega = -\frac{1}{m}$, konstanta $c_2 = VB_k$ /kritériální opotřebení/ a konstantu c_1 lze určit z rovnice:

$$c_v = c_1^m \cdot VB_k \quad (22)$$

4.3.5 Krátkodobá zkouška obrábitelnosti příčným soustružením

Kritériem pro hodnocení obrobiteľnosti je počet otáčok obrobku / $n \cdot \text{min}^{-1}$ / o priemeru $D = 100 \text{ mm}$, pri ktorých sa pri čelnom soustružení dosáhne radiálneho otupení nože $VR = 0,3 \text{ mm}$.

Zkušební obrobek o průměru $D = 100 \text{ mm}$ s dírou $d = 10 \text{ mm}$ se čelně soustruží od středu k obvodu, postupně třemi různými otáčkami, vždy naostřeným nožem. Po dokončení každého záběru se změří dosažená velikost radiálního otupení VR .

Otáčky se volí tak, aby se nůž otupil:

- v nejmenších otáčkách: v rozmezí $VR = 0,05$ až $0,2 \text{ mm}$
- při středních otáčkách: v rozmezí $VR = 0,25$ až $0,5 \text{ mm}$
- při nejvyšších otáčkách: v rozmezí $VR = 0,55$ až 1 mm

Z takto získaných hodnot se stanoví závislost mezi radiálním opotřebením a otáčkami zkušebního obrobku.

$VR = f/n$, kterou lze vyjádřit ve tvaru:

$$VR = c_y \cdot n^y \quad (23)$$

kde: VR = radiální opotřebení nože /mm/

n = otáčky obrobku / ot . min^{-1} /

c_y = konstanta

y = konstanta

4.3.6 Krátkodobá zkouška obrobiteľnosti pri podélném soustružení s řezným nástrojem o nižší řezivosti

Kritériem pro hodnocení obrobiteľnosti je řezná rychlost, při níž se dosáhne radiálního opotřebení VR velikosti $0,2 \text{ mm}$ za 120 s .

Zkušební obrobek se soustruží řeznou rychlostí při

níž se dosáhne radiálního opotřebení a podle jeho velikosti se zvolí dvě řezné rychlosti tak, aby se při nejnižší rychlosti dosáhlo radiálního opotřebení VR menší 0,2 mm, při nejvyšší VR větší 0,2 mm.

Na základě takto získaných hodnot se stanoví závislost mezi radiálním opotřebením a řeznou rychlostí, kterou lze vyjádřit ve tvaru:

$$VR = c_x \cdot v^x \quad (24)$$

kde: VR = radiální opotřebení / mm /

v = řezná rychlost / m . min⁻¹ /

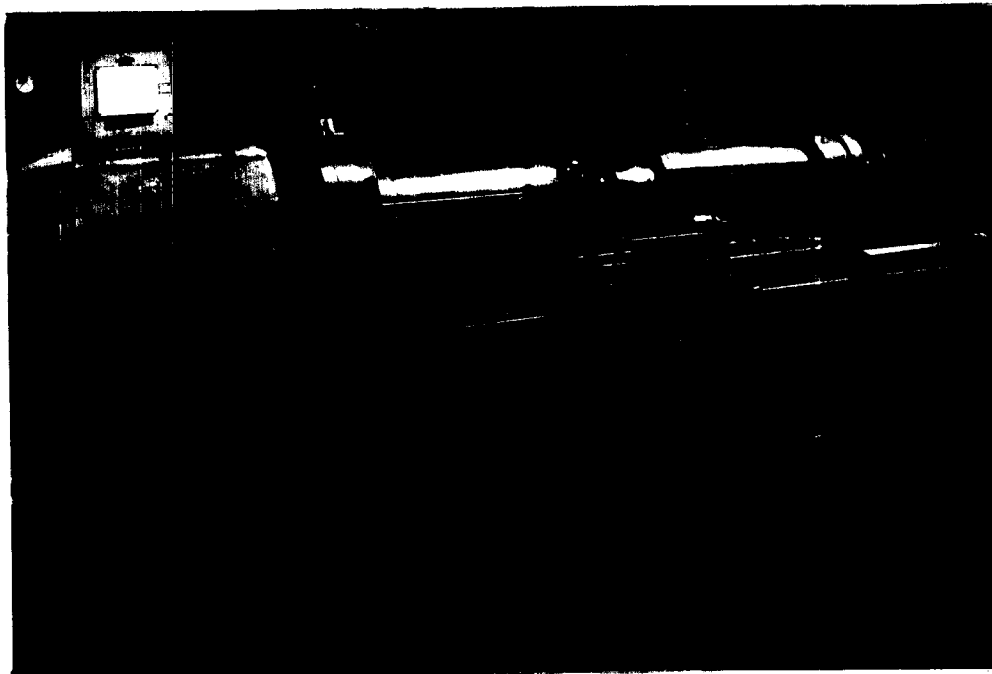
c_x = konstanta

x = konstanta (7)

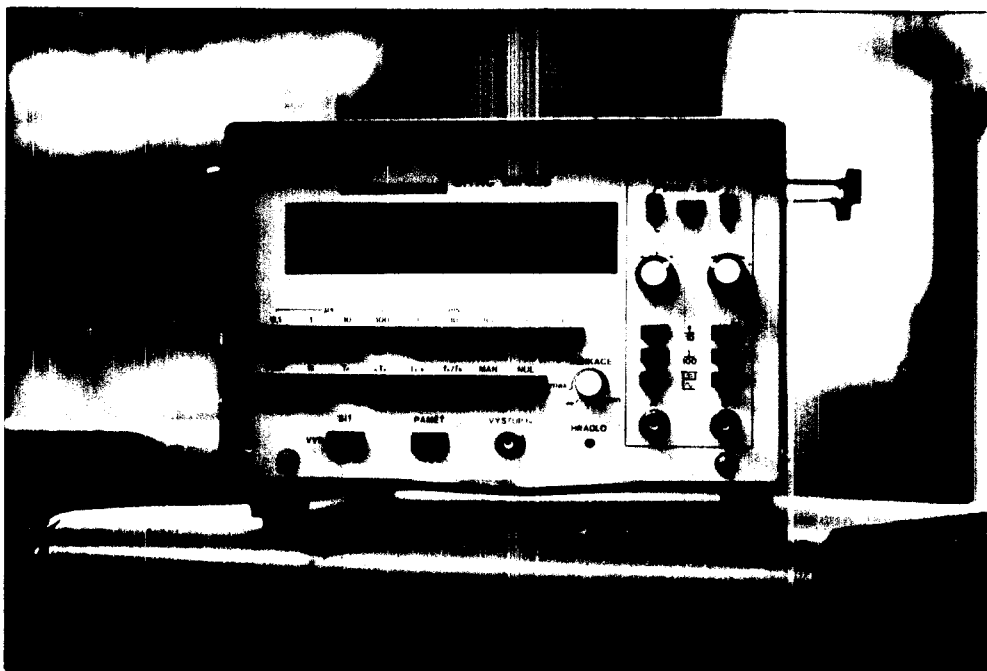
5. PRAKTICKÁ ČÁST

5.1 Obráběcí stroj

Obrábění v průběhu řezné zkoušky bylo prováděno na soustruhu SR 315 s plynulou regulací otáček. Otáčky byly průběžně nastavovány pomocí čítače TESLA BM 520.



Obr. č. 11 Obráběcí stroj s plynulou regulací otáček



Obr. č. 12 Zařízení pro měření času jedné otáčky

5.2 Zařízení na měření opotřebení a času obrábění

Pro měření velikosti opotřebení na špičce VC a šířky opotřebení hřbetu VB byl použit dílenský mikroskop CARL ZEISS-JENA s přesností odečítání 0,001 mm se zabudovaným osvětlením o výkonu 15 W.

K měření času obrábění byly použity stopky PRIM.



Obr. č. 13 Dílenský mikroskop KARL-ZEISS-JENA

5.3 Dlouhodobá zkouška - naměřené hodnoty pro rychlořez-
nou ocel

Řezné podmínky $v_c = 42 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}; h = 2\text{mm}$				
čas t/min/	VB /mm/	VB _{max} /mm/	VN /mm/	žlábek /mm/
2	0,09	0,14		0,06
5	0,18	0,25	0,31	0,12
10	0,24	0,35	0,84	0,18
čas $T = 13 \text{ min}$				

Tab. č. 3 Vzorek č. 1

Řezné podmínky $v_c = 42 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}; h = 2\text{mm}$				
čas t/min/	VB /mm/	VB _{max} /mm/	VN /mm/	žlábek /mm/
2	0,06	0,09		0,07
5	0,14	0,20	0,26	0,12
10	0,23	0,29	0,72	0,20
čas $T = 14,5 \text{ min}$				

Tab. č. 4 Vzorek č. 2

Řezné podmínky $v_c = 47 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}; h = 2 \text{ mm}$				
čas t/min/	VB /mm/	VB _{max} /mm/	VN /mm/	žlábek /mm/
2	0,04	0,06	0,29	0,06
5	0,08	0,09	0,56	0,11
10	0,18	0,24	1,02	0,14
čas T = 12,25 min				

Tab. č. 5 Vzorek č. 5

Řezné podmínky $v_c = 47 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}; h = 2 \text{ mm}$				
čas t/min/	VB /mm/	VB _{max} /mm/	VN /mm/	žlábek /mm/
2	0,06	0,08	0,35	0,08
5	0,12	0,15	0,68	0,13
10	0,21	0,25	1,15	0,15
čas T = 10,30 min				

Tab. č. 6 Vzorek č. 4

Řezné podmínky $v_c = 52 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}; h = 2 \text{ mm}$				
čas t/min/	VB /mm/	VB _{max} /mm/	VN /mm/	žlábek /mm/
2	0,02	0,03	0,36	0,11
5	0,17	0,30	1,05	0,17
čas T = 6,5 min				

Tab. č. 7 Vzorek č. 5

Řezné podmínky $v_c = 52 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}; h = 2 \text{ mm}$				
čas t/min/	VB /mm/	VB _{max} /mm/	VN /mm/	žlábek /mm/
2	0,05	0,09	0,42	0,15
čas T = 4,25 min				

Tab. č. 8 Vzorek č. 6

Řezné podmínky $v_c = 59 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}; s = 2 \text{ mm}$	
čas T = 75 s	

Tab. č. 9 Vzorek č. 7

Řezné podmínky	$v_c = 59 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}; h = 2 \text{ mm}$
čas T = 63 s	

Tab. č. 10 Vzorek č. 8

5.4 Vyhodnocení naměřených hodnot a stanovení T - v závis-
losti pro rychlořeznou ocel

a/ Lineární regresní závislost má tvar:

$$\bar{y} = b_0 + b_1 x$$

kde $\bar{y} = \log T$

$x = \log v$

č.m.	x	$\bar{y}$	x^2	y^2	$\bar{x}y$
1.	48,685	33,418	2370,235	1116,782	1626,972
2.	48,685	33,418	2370,235	1116,782	1626,972
3.	50,162	32,644	2516,320	1065,636	1637,523
4.	50,162	23,344	2516,320	544,967	1171,030
5.	51,592	24,387	2661,772	594,745	1258,203
6.	51,592	16,322	2661,772	266,409	842,092
7.	53,116	2,907	2821,386	8,452	154,426
celk.	353,997	116,441	17918,042	4713,775	8317,220

Poznámka: Hodnoty x a y jsou 30x zvětšeny

Tab. č. 11 Výpočet regresních koeficientů

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i}{n \sum_{i=1}^m x_i^2 - (\sum_{i=1}^m x_i)^2} \quad (25)$$

$$b_1 = - 6,240$$

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^m y_i}{n} - b_1 \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{n} \quad (26)$$

$$b_0 = 339,358$$

Lineární regresní rovnice:

$$\bar{y} = 339,358 - 6,240 x$$

=====

Korelační koeficient:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i}{(n \sum_{i=1}^m x_i^2 - (\sum_{i=1}^m x_i)^2)^{\frac{1}{2}} (\sum_{i=1}^m y_i^2 - (\sum_{i=1}^m y_i)^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (27)$$

$$r = - 0,908$$

=====

b/ Konstanty Taylorova vztahu

$$c_v = 62,970$$

$$m = 6,237$$

$$c_T = 2,05 \cdot 10^{11}$$

5.5 Dlouhodobá zkouška - naměřené hodnoty pro slinutý

karbid

Řezné podmínky $v_c = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}; h = 2 \text{ mm}$		
čas t/min/	VB /mm/	VN /mm/
5	0,9	0,25
10	0,25	0,57
13,8	0,3	0,7

Tab. č. 12 Vzorek č. 1

Řezné podmínky $v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}; h = 2 \text{ mm}$		
čas t/min/	VB /mm/	VN /mm/
5	0,22	0,43
8,7	0,3	0,62

Tab. č. 13 Vzorek č. 2

Řezné podmínky $v_c = 127 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}; h = 2 \text{ mm}$		
čas t/min/	VB /mm/	VN /mm/
5	0,26	0,53
7,2	0,3	0,73

Tab. č. 14 Vzorek č. 3

Řezné podmínky $v_c = 160 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}; s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}; h = 2 \text{ mm}$		
čas t/min/	VB /mm/	VN /mm/
5	0,28	0,58
6,0	0,3	0,69

Tab. č. 15 Vzorek č. 4

5.6 Vyhodnocení naměřených hodnot a stanovení T - v závislosti pro slinutý karbid

a/ Lineární regresní závislost má tvar:

$$\bar{y} = b_0 + b_1 x$$

kde $\bar{y} = \log T$

$x = \log v$

č.m.	x	y	x^2	y^2	xy
1.	57,092	21,723	3259,576	472,117	1240,209
2.	60,000	24,185	3600,000	584,993	1451,100
3.	63,114	27,572	3983,391	760,234	1740,179
4.	66,123	31,476	4372,330	990,773	2081,287
celk.	246,330	104,956	15215,298	3973,890	6512,772

Poznámka: Hodnoty x a y jsou 30x zvětšeny

Tab. č. 16 Výpočet regresních koeficientů

Výpočet regresních koeficientů:

Výpočet proveden z použitých vztahů (25) a (26) .

$$b_1 = -7,243$$

$$b_0 = 346,708$$

Lineární regresní rovnice:

$$\bar{y} = 346,708 - 7,243 x$$

=====

Korelační koeficient:

- dle vztahu (27) .

$$r = -0,996$$

=====

b/ Konstanty Taylorova vztahu:

$$c_v = 342,830$$

$$m = 4,732$$

$$c_T = 593,781$$

5.7 Krátkodobá zkouška podle Andonova - rychlořezná ocel

řezné podmínky:

$$l_0 = 15 \text{ mm}$$

$$h = 0,2 \text{ mm}$$

$$s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$$

a/ Lineární regresní závislost:

$$\bar{y} = b_0 + b_1 x$$

kde $\bar{y} = k$; k úsek, na kterém došlo ke kritériálnímu opotřebení

$$x = \log n_1; n_1 \dots \text{otáčky / počáteční /}$$

č.m.	n	x	y	x ²	y ²	xy
1.	23,719	1,375	6,8	1,890	46,24	9,350
2.	29,666	1,472	6,3	2,167	39,69	9,275
3.	37,074	1,569	5,5	2,461	30,25	8,629
4.	46,347	1,666	4,6	2,775	21,16	7,663
5.	57,953	1,763	3,8	3,108	14,44	6,699
6.	72,224	1,859	2,6	3,459	6,76	4,835
celk.		9,705	29,6	15,863	158,54	46,454

Tab. č. 17 Výpočet regresních koeficientů

Výpočet regresních koeficientů dle vztahů (25) a (26) .

$$b_1 = -8,664$$

$$b_0 = 18,948$$

Lineární regresní rovnice:

$$\bar{y} = 18,948 - 8,664 x$$

=====

Korelační koeficient:

- dle vztahu (27)

$$r = - 0,993$$

=====

b/ Konstanty Taylorova vztahu:

$$m = \frac{1}{1 - b_1 \log \varphi} \quad (28)$$

$$C_v = \frac{Q_{99D}}{1000 \left(\frac{\varphi^{m+1} - 1}{\varphi} \right)^{\frac{1}{m}} \left(\frac{S}{b_0} \right)^{\frac{1}{m}}} \quad (29)$$

$$C_r = C_v \cdot m$$

kde dosadíme:

$$Q = 10^{b_0} \log \varphi$$

D průměr obrobku

l_o ... šířka obráběného úseku

$$m = 6,237$$

$$c_v = 65,217$$

$$c_T = 2072 \cdot 10^{11}$$

5.8 Krátkodobá zkouška podle Andonova - slinutý karbid

řezné podmínky:

$$l_o = 15 \text{ mm}$$

$$h = 0,2 \text{ mm}$$

$$s = 0,188 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$$

Koeficient odstupňování otáček $\varphi = 1,25$

a/ Lineární regresní závislost:

$$\bar{y} = b_0 + b_1 x$$

kde $\bar{y} = k$; k úsek, na kterém došlo ke kritériálnímu
opotřebení

$x = \log n_1$; n_1 počáteční otáčky

č.m.	n	x	y	x ²	y ²	xy
1.	50,0	1,698	8,1	2,886	65,61	13,753
2.	62,50	1,795	7,7	3,225	59,29	13,821
3.	78,12	1,892	7,1	3,582	50,41	13,433
4.	97,65	1,989	6,5	3,958	42,25	12,928
5.	122,67	2,086	6,0	4,353	36,00	12,408
6.	152,58	2,183	5,5	4,767	30,25	12,000
celk.		11,647	40,9	22,774	283,81	78,349

Tab. č. 18 Výpočet regresních koeficientů

Výpočet regresních koeficientů:

- výpočet dle vztahů (25) a (26).

$$b_1 = - 8,93$$

$$b_0 = 19,948$$

Lineární regresní rovnice:

$$\bar{y} = 19,948 - 8,93 x$$

=====

Korelační koeficient:

- dle vztahu (27).

$$r = - 0,979$$

=====

b/ Konstanty Taylorova vztahu:

- dle vztahů (28) a (29).

$$m = 6,9$$

$$c_v = 340,213$$

$$c_T = 2347,46$$

5.9 Zhodnocení výsledků

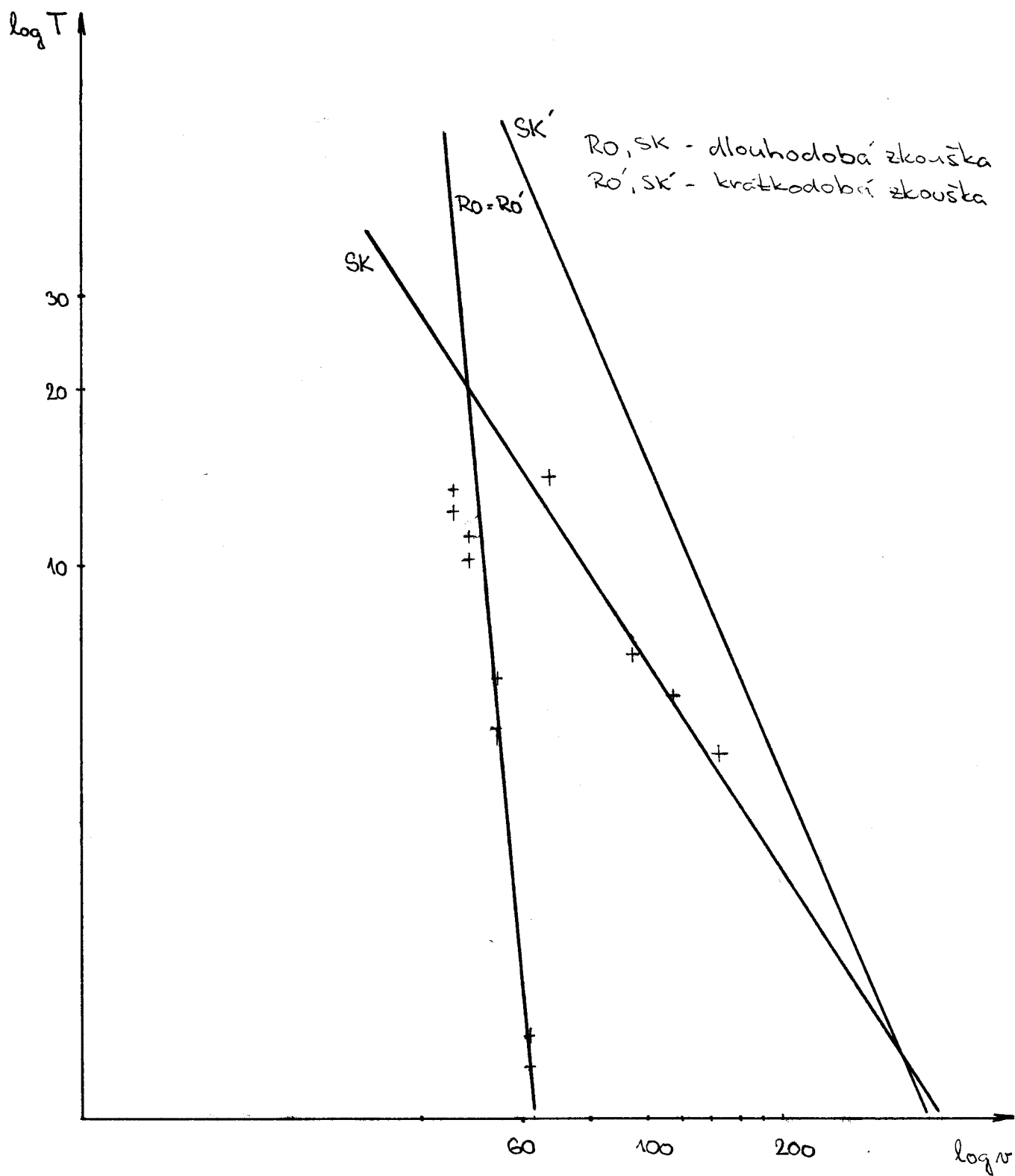
Zpracované výsledky naměřených hodnot jsou shrnuty v T - v diagramu /obr. č. 14 /. Jsou zde v přehledné formě vy-
neseny jednotlivé závislosti tak, jak byly naměřeny při dlou-
hodobé a krátkodobé zkoušce rezivosti.

Z dosažených výsledků lze konstatovat, že jako přesněj-
ší metoda stanovení rezivosti se jeví dlouhodobá zkouška. Ten-
to výsledek je v celku logický, neboť dlouhodobá zkouška pra-
cuje s více údaji než zkouška krátkodobá, což vylučuje naho-
dilé či jiné vlivy, které mohou krátkodobou zkoušku nežádou-
cím způsobem ovlivnit.

Z výše uvedeného však nevyplyvá jednoznačná preference
dlouhodobých zkoušek před krátkodobými. Nevýhodou dlouhodo-
bých zkoušek je vynaložení vyšších nákladů na jejich realiza-
ci /spotřeba materiálu, spotřeba energie, mzdové náklady/,
než na realizaci zkoušek krátkodobých. Tato skutečnost nehra-
je při rozhodování o použití metody zkoušky zanedbatelnou
rolí, o čemž svědčí snaha celého našeho národního hospodář-
ství o minimalizaci výrobních nákladů. Je proto nutné brát
v úvahu při rozhodování oba výše uvedené faktory.

Domnívám se, že provedení dlouhodobé zkoušky bude vhod-
né tehdy, budou-li se stanovovat podmínky rezivosti pro vel-
ké množství obráběného materiálu. Zde se totiž vyplatí mít
přesné údaje, které mohou určit podmínky, za nichž se bude
opotřebení nástrojů minimalizovat.

Naopak použití krátkodobé zkoušky je výhodné tehdy, jestliže se jedná o stanovení řezivosti pro menší množství obráběného materiálu, kde by poměrně vysoké náklady na provedení dlouhodobé zkoušky nebyly adekvátní a zvyšovaly by jednicové náklady.



Obr. č. 14 Výsledná T - v závislost

6. ZÁVĚR

Tématem této diplomové práce bylo porovnání dlouhodobé a krátkodobé zkoušky řezivosti. Jako nástrojové materiály byly použity břitové destičky z rychlořezné oceli a ze slinutého karbidu. Zkoušky byly prováděny na soustruhu SR 315 s plynulou regulací otáček. Bylo tedy možno spolehlivě a přesně zajistit zvolené řezné podmínky tak, aby pomocí naměřených hodnot bylo možno objektivně stanovit opotřebení břitu u jednotlivých časových intervalů. V závislosti na nich potom jednoznačně stanovit závislosti $VB = f / T /$, které byly podkladem pro zhodnocení provedených zkoušek řezivosti.

Závěrem bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Vladimíru Gabrielovi za odborné rady a připomínky k diplomové práci a s. B. Bělohoubkovi za pomoc při realizaci experimentální části práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) Sborník hlavních dokumentů XVII. sjezdu KSČ. Svoboda, Praha 1986.
- (4) DRÁB, V.: Technologie I. Skripta VŠST, Liberec 1979.
- (5) PŘÍKRYL, MUSÍLKOVÁ: Teorie obrábění. SNTL, Praha 1980.
- (8) KVASNIČKA, J.: Vypracování návrhů norem metodiky zkoušení řezivosti jednotlivých nástrojů z rychlořezných ocelí. Výzkumná zpráva. SVÚM, Praha 1970.
- (10) VINTER a kol.: Strojírenská technologie. SNTL, Praha 1981.
- (2) Časopis: Nástrojové oceli československé výroby č. 9, 10, 11. Roč. 1981.
- (3) Nástroje se slinutými karbidy. In: Příspěvek z konference o nástrojových materiálech. Dům techniky ČSVTS, Ostrava 1983.
- (9) Slinuté karbidy. In: Příspěvek z konference o nástrojích a nástrojových materiálech. Dům techniky ČSVTS, Ostrava 1983.
- (6) BÉKÉS, ANDONOV: Analýza a syntéza strojárských objektů a procesů. ALFA, Bratislava 1986.
- (7) Krátkodobé zkoušky obrobitelností: Návrh oborové normy FMTS TST Praha 1984.