

Vysoká škola: strojní a textilní
v Liberci

Katedra: obrábění a montáže

Fakulta: strojní

Školní rok: 1980/81

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Veroniku K r e j č í

obor 23 - 07 - 8 strojírenská technologie

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

Název tématu: Řezivost nových druhů rychlořezných ocelí
..... při odvalovacím frézování

Pokyny pro vypracování:

- 1/ Politickohospodářský význam diplomového zadání
- 2/ Současný stav použití nástrojových materiálů v oblasti frézování odvalovacími frézami
- 3/ Metodika zkoušení řezivosti ocelí při odvalovacím frézování
- 4/ Provedení zkoušek řezivosti materiálů ČSN 19 829, 19 850, 19 851 a srovnání s dosud používaným materiálem 19 855
- 5/ Vyhodnocení zkoušek i po ekonomické stránce

[Faint, illegible handwritten text]

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
ÚSTŘEDNÍ ÚŘAD
LIBEREC
P.Š. 431 17

Rozsah grafických prací: grafy, tabulky dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: asi 40 - 50 stran textu

Seznam odborné literatury: Pfauter, H.: Pfauter Wälzfräsen. Springer-Verlag, Berlin, 1976

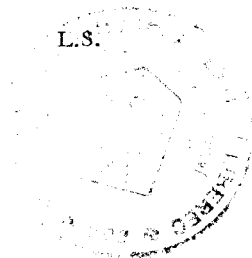
Kaisr, Z.: Optimalizace řezných podmínek při frézování odvalovacími frézami
DP - VSST Liberec 1978

Vedoucí diplomové práce: Ing. Robert Kvapil, CSc

Konsultanti: Ing. Josef Paška,
s. Šipoš, ZTS Důbnice n.Váh.

Datum zadání diplomového úkolu: 6.10.1980

Termín odevzdání diplomové práce: 22.5.1981



Doc. Ing. Vojtěch Dráb, CSc

Vedoucí katedry

Doc. RNDr Bohuslav Stříž, CSc

Děkan

V Liberci dne 6.10. 80
.....19

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní
Obor 23 - 07 - 8
Strojírenská technologie
zaměření

Obrábění a ekonomika strojírenské výroby
Katedra obrábění a montáže

Řezivost nových druhů rychlořezných ocelí při odvalovacím
frézování

DP - ST - 1687/81

Jméno autora: Veronika Krejčí
Vedoucí práce: ing. Robert Kvapil, CSc., VŠST Liberec
Konzultant: ing. Josef Paška, ZTS Dubnica nad Váhom
Konzultant: s. Milan Šipoš, ZTS Dubnica nad Váhom

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	52
Počet obrázků	9
Počet tabulek	20
Počet grafů	5

V Liberci dne 22. května 1981

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

Barbora Štejnová

Předmluva

Hlavním slánkem rozvoje ekonomiky národního hospodářství v ČSSR i možných rezerv zvýšení životní úrovně je i bude i v další pětiletce nepochybně strojírenství.

Víme, že XVI. sjezd KSČ stanovil vysoký záměr zvýšení objemu i úrovně tohoto oboru a zasedání ÚV KSČ věnované problematice strojírenství tento úkol ještě dále zpřesnilo; v 6. pětiletce se objem strojírenské výroby zvýšil zhruba o polovinu v oboru obrábění, výroby obráběcích strojů a nástrojů ještě víc.

Relativně největší objem strojírenské výroby je zabezpečován metodami obrábění. Jejich kvalitativní a kvantitativní úroveň určují vedle obráběcích strojů a zařízení, eventuelně použitých technologií i obráběcí nástroje. Jejich rychlý výzkum, vývoj a optimální konstrukce a aplikace jsou vzhledem k rychlému tempu rozvoje oboru obrábění a dalších výrobních oborů velmi nutné; z tohoto důvodu se stává i tento obor obráběcích nástrojů a nářadí významnou aplikovanou vědní disciplínou.

Optimální využití obráběcích nástrojů umožňuje kvantitativně a kvalitativně zvýšit objem i úroveň strojírenské výroby v Československu.

Obsah:

	Předmluva	
1.	Úvod	... 7
2.	Seznam použitých symbolů a zkratek	... 8
3.	Oceli pro řezné nástroje	... 9
3.1.	Požadavky na oceli pro řezné nástroje	... 9
3.2.	Tepelné zpracování ocelí	... 9
3.2.1.	Žíhání	... 10
3.2.2.	Kalení	... 10
3.2.3.	Popouštění	... 10
3.3.	Rychlořezné oceli	... 12
3.4.	Vliv legujících prvků na vlastnosti rychlořezných ocelí	... 12
4.	Vhodné typy rychlořezných ocelí používaných na nástroje při odvalovacím frézování a jejich vlastnosti	... 13
4.1.	Vlastnosti uvedených rychlořezných ocelí	... 14
4.2.	Nové progresivní rychlořezné oceli 19 850, 19 851, 19 829	... 16
5.	Slinuté karbidy	... 18
5.1.	Vícerozsahové druhy slinutých karbidů	... 18
6.	Metodika zkoušení řezivosti rychlořezných ocelí při odvalovacím frézování	... 19
6.1.	Názvosloví	... 20
6.2.	Závislost trvanlivosti na řezných podmínkách	... 21
6.3.	Zkoušky trvanlivosti	... 22
6.3.1.	Dlouhodobé zkoušky trvanlivosti	... 22
6.3.2.	Krátkodobé zkoušky trvanlivosti	... 23
7.	Návrh metodiky zkoušení řezivosti vícebřitých nástrojů	... 26
7.1.	Optimální trvanlivost	... 27
7.2.	Výpočet strojního času	... 27
7.3.	Optimální krokování odvalovacích fréz	... 28
8.	Technologické zkoušky	... 30
8.1.	Provedení zkoušek	... 30
8.2.	Měření opotřebení nástroje	... 30

8.3.	Režimy obrábění	... 32
8.4.	Tabulky naměřených hodnot	... 34
8.4.1.	Grafické zpracování měření	... 46
8.5.	Získané technické údaje a nákladové položky	... 46
8.5.1.	Ekonomické zhodnocení	... 49
9.	Závěr	... 51
	Použitá literatura	... 52

1. Úvod

S rozvojem průmyslu a nových průmyslových odvětví, který je spojen s vývojem nových, technicky náročných strojních zařízení a konstrukcí, dochází vedle už známých materiálů především k uplatňování a rozšiřování nových, speciálních kovových materiálů, s vysokými mechanickými, fyzikálními a dalšími vlastnostmi. Avšak tyto materiály se většinou vyznačují zhoršenou obrobitelností.

Jedním z řezných materiálů, který se uplatňuje při obrábění i v této oblasti materiálů, jsou rychlořezné oceli. Vývoj rychlořezných ocelí zaznamenal celosvětově značný pokrok. V průběhu posledních let došlo k velmi významným kvalitativním změnám československých rychlořezných ocelí zavedením progresivních typů. Vhodné a ekonomické používání těchto rychlořezných ocelí pro jednotlivé druhy obráběcích nástrojů bude směřovat k dosahování jejich vyšší výkonnosti a životnosti a tím i současně k dosažení materiálových úspor a úspor na legurách, které se musí zajišťovat dovozem ze zahraničí.

2. Seznam použitých symbolů a zkratk

T	trvanlivost nástroje
T_{opt}	optimální trvanlivost nástroje
v	řezná rychlost
c_T, c_V	konstatny charakterizující podmínky obrábění
m	koefficient udávající citlivost nástroje na změnu řezné rychlosti
s	posuv
h	hloubka řezu
VB	opotřebení hřbetu zubu frézy
VB_K	kritérium opotřebení
N_{c_j}	vlastní náklady výroby /jednicové/
ts	strojní čas
M_s	mzdový hodinový tarif dělníka v obrobně
R_s	režie dílny
M_o	mzdový hodinový tarif dělníka v ostřírně
t_{102}	čas na výměnu a seřízení nástroje
t_o	čas na ostření nástroje
n_o	počet ostření
N_c	cena nástroje
x	počet dokončených kusů
D_f	průměr frézy
P_s	užitečný příkon motoru stroje
l _o	délka obrobku
Lř	řezná délka frézy
k	délka kroku
l	celkový pracovní rozsah frézy
s_{min}	minimální posuv dosažitelný na frézce
s_{max}	maximální posuv dosažitelný na frézce
n_{min}	minimální otáčky dosažitelné na frézce
n_{max}	maximální otáčky dosažitelné na frézce
l_t	délka upínacího trnu
m_n	normálový modul
N	náklady na dobu životnosti
N_j	jednicové náklady na dobu životnosti
Ž	životnost nástroje

3. Oceli pro řezné nástroje

3.1. Požadavky na oceli pro řezné nástroje

Pro výrobu řezných nástrojů se používají nástrojové oceli rychlořezné a legované oceli, v některých případech ojediněle i oceli uhlíkové.

Od ocelí určených na výrobu řezného nástroje vyžadujeme především:

- odolnost proti opotřebení,
- odolnost proti popouštění,
- houževnatost,
- tvrdost,
- tvrdost za tepla.

Při přerušovaném obrábění a zároveň namáhání se požadavky na houževnatost ještě dále zvyšují. Z těchto požadavků vyplývá fázové a chemické složení ocelí pro jednotlivé druhy řezných nástrojů a podmínky pro jejich použití.

3.2. Tepelné zpracování ocelí

Potřebných vlastností ocelí se dosahuje nejen přísadovými prvky, ale i různými způsoby tepelného zpracování. U nástrojových ocelí pro řezné nástroje se vyžaduje především co nejlepší řezivost při zachování i ostatních důležitých fyzikálních, mechanických a technologických vlastností. Tepelné zpracování umožňuje ohřevem a ochlazováním změnit strukturu a tím i mechanické vlastnosti ocelí.

Základní způsoby tepelného zpracování lze rozdělit do tří hlavních skupin:

1. Žihání
2. Kalení
3. Popouštění

3.2.1. Žihání

Žiháním rozumíme ohřev na určitou teplotu, výdrž na této teplotě, a následující, tak pomalé ochlazování, že se všechny přeměny ukončí a ocel po vychladnutí je ve stavu rovnovážném. Žiháme tehdy, když chceme ocel zbavit pnutí, dosáhnout co největší rovnoměrnosti struktury.

3.2.2. Kalení

Kalení je jedním z nejvýznamnějších způsobů tepelného zpracování nástrojových ocelí.

Při kalení se nástroj ohřeje na teploty přeměny. U ocelí podeutektoidních je to teplota nad A_{c3} , u ocelí nadeutektoidních teplota A_{c1} . Teploty kalení volíme blízko nad teplotami přeměn. U většiny ocelí pro řezné nástroje bývají v rozsahu od 720°C do 850°C , některé více legované ocele se kalí z teplot mezi 820°C až 1000°C .

Po ohřevu a dokonalém přehřátí následuje rychlé ochlazování. Ochlazuje se v oleji, ve vodě, nebo na vzduchu. Vznikne nová nestabilní struktura, která se nazývá martenzit. Je hlavní a podstatnou částí kalených ocelí. Zakalený materiál je velmi tvrdý, ale křehký. Proto se jeho houževnatost zlepšuje popouštěním.

3.2.3. Popouštění

Kalený nástroj se ohřeje na teplotu do A_{c1} a po výdrži na této teplotě následuje ochlazování. Účelem popouštění je vyvolat takové strukturální změny, které umožňují snížení vysokých vnitřních pnutí vzniklých v nástrojích při kalení. Rychlořezné oceli se popouštějí při teplotách 525°C až 625°C .

Údaje o tepelném zpracování a tvrdosti zkoušených rychlořezných ocelí

Tabulka č. 1

Označení RC	Tepelné zpracování			Tvrdost HRC
	Žíhací teploty °C	Kalicí teploty °C	Popouštěcí teploty °C	
19 855	800 - 840	1 290	570	63 - 65
		- 1/	- 1/	
		1 320	590	
		- 2/	- 2/	
19 829	770 - 810	1 210	540	67
		- 1/	- 1/	
		1 240	560	
		- 2/	- 2/	
19 850	780 - 820	1 220	560	66 - 67
		- 1/	- 1/	
		1 250	580	
		- 2/	- 2/	
19 851	770 - 810	1 210	540	67
		- 1/	- 1/	
		1 240	560	
		- 2/	- 2/	

Poznámka:

1/ tvarově jednoduché nástroje, hrubovací

2/ tvarově složité nástroje, nástroje dokončovací

Rychlořezná ocel 19 850 a 19 851 popouštět 4x.

Rychlořezná ocel 19 829 - popouštět 3x.

Rychlořezná ocel 19 855 - popouštět 3x - 4x.

3.3. Rychlořezné oceli

Tvoří samostatnou skupinu vysoce legovaných nástrojových ocelí. Používají se k výrobě výkonných a vysoce výkonných řezných nástrojů. V porovnání s ostatními nástrojovými oceli mají v zakaleném a popuštěném stavu vysokou tvrdost, řezivost, velkou odolnost proti otěru a hlavně odolnost proti popouštění. Vysokou tvrdost si zachovávají i při teplotách okolo 600 ° C. Hlavními přísadovými prvky jsou: wolfram, vanad, molybden, kobalt a chrom.

3.4. Vliv legujících prvků na vlastnosti rychlořezných ocelí

Vhodně voleným obsahem jednotlivých přísadových prvků, jejich kombinací a poměrem se dosahuje různých vlastností jednotlivých typů rychlořezných ocelí.

Na odolnost proti popouštění a tvrdost za tepla působí velmi účinně kobalt. Kobalt umožňuje zvýšení kalických teplot a tím i rozpuštění vyššího podílu karbidu. Dalším významným legujícím prvkem v rychlořezných ocelích je vanad. Tvoří velmi tvrdé karbidy, které působí příznivě na zvýšení odolnosti proti opotřebení a tvrdosti. Proto rychlořezné oceli s vysokým nebo s vyšším obsahem vanadu se vyznačují především vysokou odolností proti opotřebení a při současném legování kobaltem také vysokou odolností proti popouštění a tvrdosti za tepla.

Na druhé straně však vysoký obsah vanadu značně zhoršuje jejich obrobitelnost. Přísadou molybdenu se zvyšuje houževnatost rychlořezných ocelí.

Komplexně legované Mo - W - V - Co rychlořezné oceli se vyznačují vysokou odolností proti opotřebení při dostatečně vysoké houževnatosti. Požadované vlastnosti rychlořezných ocelí jsou závislé i na podmínkách jejich tepelného zpracování.

Nejlepších řezných vlastností se docílí jenom při vzájemné optimální kombinaci chemického složení a tepelného zpracování.

4. Vhodné typy rychlořezných ocelí používaných na nástroje při odvalovacím frézování a jejich vlastnosti

Paletu současných a perspektivních typů rychlořezných ocelí na řezné nástroje při odvalovacím frézování tvoří tyto konstituční skupiny:

1. vysoce výkonné rychlořezné oceli s 10 % Co
2. vysoce výkonné rychlořezné oceli s 5 % Co
3. výkonné rychlořezné oceli.

Typy jednotlivých rychlořezných ocelí patřící do jednotlivých skupin jsou uvedeny v tabulkách 2, 3, 4.

Tabulka č. 2 - Vysoce výkonné RO s 10 % Co

Označení RO dle normy	Skupina RO dle legování	Chemické složení v %					
		C	Cr	W	Mo	V	Co
19 857	W - Co se zvýšeným V	0,95	4,2	10,25	0,50	2,35	9,75
19 859	18 % W	0,65	4,2	18,0	-	1,75	9,5
19 860	18 % W	0,75	4,2	18,0	0,7	1,6	9,5
19 861	Mo-W-V-Co	1,25	4,2	10,25	3,9	3,35	10,75

Tabulka č. 3 - Vysoce výkonné RO s 5 % Co

Označení RO dle normy	Skupina RO dle legování	Chemické složení v %					
		C	Cr	W	Mo	V	Co
19 852	Mo-W-Co	0,85	4,2	6,25	5,0	1,85	4,75
19 855	18 % W	0,7	4,2	18,0	-	1,5	4,8
19 856	W - CO se zvýšeným V	0,95	4,2	10,25	0,50	2,35	5,0

Tabulka č. 4 - Výkonné rychlořezné oceli

Označení RO dle normy	Skupina RO dle legování	Chemické složení v %					
		C	Cr	W	Mo	V	Co
19 811	12 % W se zvýšeným V	0,85	4,2	12,0	0,5	2,55	-
19 802	10 % W se zvýšeným V	0,85	4,2	10,25	0,5	2,35	-
19 830		0,85	4,2	6,3	5,0	1,85	-

4.1. Vlastnosti uvedených rychlořezných ocelí

Z výkonných rychlořezných ocelí pro odvalovací frézy jsou vhodné i dvě wolframové rychlořezné oceli se středním obsahem wolframu a zvýšeným obsahem vanadu 19 802 a 19 811. Mají sice nižší houževnatost v porovnání s výkonnou wolfram-molybdenovou rychlořeznou ocelí 19 830, avšak vzhledem ke zvýšenému obsahu vanadu jsou odolnější proti opotřebení. Odolnost proti popouštění je u těchto ocelí střední.

Pro obrábění materiálů o vysokých pevnostech pro vyšší řezné rychlosti a v případech, kde už nedostačují výkonné rychlořezné oceli, uplatňuje se vysoce výkonná wolframmolybdenkobaltová rychlořezná ocel 19 852 s vyšší houževnatostí a další 5 %ní kobaltové rychlořezné oceli na bázi wolframu 19 856 a 19 855. Zvláště rychlořezná ocel 19 856, která vzhledem ke zvýšenému obsahu vanadu a uhlíku má vyšší odolnost proti opotřebení, je vhodná pro odvalovací frézy celistvé i skládané.

Při obrábění materiálů o vysokých pevnostech s ubíráním třísek větších průřezů jsou značně tepelně namáhané břity nástroje. Pro tyto podmínky se osvědčily rychlořezné oceli s 10 % kobaltu s velmi vysokou odolností proti popouštění a vysokou tvrdostí za tepla. Jsou to rychlořezné oceli 19 857, 19 859, 19 860. Při současném požadavku na vysokou či velmi vysokou odolnost proti opotřebení je vhodná rychlořezná ocel 19 861.

Tabulka č. 5

Porovnání rychlořezných ocelí podle odolnosti proti popouštění, houževnatosti a odolnosti proti opotřebení

Označení RO	Odolnost proti popouštění				Houževnatost				Odolnost proti opotřebení			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
19 802		■				■				■		
19 811		■				■				■		
19 830		■						■		■		
19 852				■			■			■		
19 855				■		■			■			
19 856				■	■						■	
19 857				■	■						■	
19 859				■	■				■			
19 860				■	■				■			
19 861				■	■						■	

Stupně: 1 - nižší
 2 - střední
 3 - vyšší
 4 - vysoký/á/

Tabulka č. 6

Porovnání rychlořezných ocelí podle obrobiteľnosti a obrusiteľnosti

Označení RO	Obrobiteľnosť			Obrusiteľnosť		
	1	2	3	1	2	3
19 802	■			■		
19 811		■		■		
19 830	■			■		
19 852		■		■		
19 855		■		■		
19 856		■			■	
19 857		■			■	
19 859		■		■		
19 860		■			■	
19 861			■			■

Obrobitelnost - stupně: 1. velmi dobrý/á/
 2. dobrý/á/
 3. zhoršený/á/

Obrusitelnost - stupně: 1. dobrý/á/
 2. zhoršený/á/
 3. obtížný/á/

4.2. Nové progresivní rychlořezné oceli
 19 850, 19 851, 19 829

Potřeba vysoce výkonných rychlořezných ocelí s vyšším obsahem C a sníženým poměrem V : C tzv. "Super-tvrдых" typů, jakož i vysoce výkonných a výkonných rychlořezných ocelí se zvýšeným obsahem C, které by se při optimální kombinaci legujících prvků vyznačovaly i některými zlepšenými vlastnostmi, což by mělo vést ke zvýšení výkonnosti a životnosti obráběcích nástrojů, byla důvodem zabývat se těmito typy rychlořezných ocelí.

Uvedené nové progresivní rychlořezné oceli, které patří k moderním rychlořezným ocelím a kterých chemické složení je uvedeno v tabulce č. 7, posunuly náš sortiment rychlořezných ocelí ke světové špičce.

Tabulka č. 7

Chemické složení nových progresivních rychlořezných ocelí

Označení RO Poldi	PN - SONP	Chemické složení v %					
		C	Cr	W	Mo	V	Co
Maximum MOC	19 850	0,5	4,2	6,25	5,0	2,1	8,0
Maximum Sp. 45	19 851	1,1	4,2	7,0	3,8	1,85	5,0
Maximum Sp.Mo 5H	19 829	1,03	4,2	6,25	5,0	1,85	-

Poldi Maximum MCC /PN 19 850/

Tato ocel patří do skupiny vysoce výkonných optimálně legovaných kobaltových rychlořezných ocelí, vyznačuje se vysokou tvrdostí za tepla a stálostí ostří za zvýšených teplot. Je dostatečně houževnatá a málo náchylná na nalepování třísky při obrábění. Ocel je obtížně tvařitelná za tepla.

Poldi Maximum Speciál 45 /PN 19 851/

Tato ocel patří mezi špičku vysoce výkonných rychlořezných ocelí, vyznačuje se velmi vysokou tvrdostí za studena i za tepla, odolností proti opotřebení, dostatečnou houževnatostí a velmi malou náchylností k nalepování třísky při obrábění. Má relativně dobrou obrusitelnost.

Poldi Maximum Speciál Mo 5H /PN 19 829/

Tato ocel tvoří přechod mezi výkonnou a vysoce výkonnou rychlořeznou ocelí, vyznačuje se velmi vysokou tvrdostí, odolností proti opotřebení, dostatečnou houževnatostí a malou náchylností k nalepování třísky při obrábění. Má relativně dobrou obrusitelnost.

Vývoj rychlořezných ocelí dosáhl z celosvětového pohledu velmi značného pokroku. Také u nás došlo v tomto směru v průběhu posledních let k velmi významným kvalitativním změnám a zlepšení. Uvedené nové progresivní rychlořezné oceli, které se vyznačují zlepšenými parametry některých vlastností, včetně výkonnosti, kvalitativně rozšiřují dále především skupinu vysoce výkonných rychlořezných ocelí a tím i aplikace pro výkonné obráběcí nástroje. Zavedení těchto rychlořezných ocelí bude další významnou etapou kvalitativních úprav v rámci programované inovace, která také současně předpokládá vyřazení zastaralých a neefektivních rychlořezných ocelí.

5. Slinuté karbidy

Kromě uvedených rychlořezných ocelí se v procesu obrábění odvalovacími frézami používají na výrobu břitových destiček řezných nástrojů slinuté karbidy. Jsou to řezné materiály vyrobené práškovou metalurgií. Základní surovinou pro výrobu slinutých karbidů je karbid wolframu, karbid titanu, karbid tantalu a kobalt, který slouží jako pojivo. Výlisky z práškových karbidů a kobaltu se provedou slinutím na pevné těleso. Stupeň řezivosti jednotlivých slinutých karbidů závisí na jejich chemickém složení.

Slinuté karbidy se dělí do tří skupin dle ISO:

1. P - obsahuje 8 druhů slinutých karbidů
2. M - obsahuje 5 druhů slinutých karbidů
3. K - obsahuje 6 druhů slinutých karbidů

Na výrobu řezných destiček pro odvalovací frézy se používají slinuté karbidy S3, S4, S5 ze skupiny P, U1, U2 ze skupiny M.

5.1. Vícerozsahové druhy slinutých karbidů

V oblasti slinutých karbidů pro třískové obrábění je už několik let snaha vyvinout tzv. vícerozsahový slinutý karbid, tedy řezný materiál určený pro obrábění v několika skupinách dle ISO. Jejich zavedení znamená snížení sortimentu u výrobců, usnadnění orientace při volbě vhodného druhu slinutého karbidu a snížení nároků na skladovací plochy pro obráběcí nástroje u spotřebitelů. Kromě toho dovoluují lepší řezné vlastnosti vícerozsahových slinutých karbidů zvýšit řezné parametry při obrábění a tím i výkony.

Pro odvalovací frézování návrh předpokládá tři druhy slinutých karbidů - S20, S30, S45 ze skupiny P, a ze skupiny M jeden slinutý karbid - U20.

6. Metodika zkoušení řezivosti rychlořezných ocelí při odvalovacím frézování

Cílem návrhu metodiky zkoušení řezivosti je sjednotit podmínky zkoušek řezných nástrojů z rychlořezných ocelí a zajistit tak vzájemnou srovnatelnost a aplikovatelnost dosažených výsledků. Jednotná metodika umožní objektivní hodnocení jakosti řezných nástrojů u výrobců i u spotřebitelů. Na základě řady dosažených výsledků bude možné hodnotit velikost vlivu jednotlivých činitelů na řezivost a stanovit její absolutní hodnoty pro jednotlivé typy rychlořezných ocelí.

Každý druh řezného nástroje vyžaduje vlastní metodiku zkoušek, které postup závisí na nástroji, kinematice jeho pohybu a způsobu obrábění. Organizací ISO byla vypracována metodika zkoušení řezivosti jednobřitých řezných nástrojů. Navržená metodika a podmínky obrábění vycházejí z dlouhodobé zkoušky podélným soustružením. Norma vypracovaná ISO obsahuje:

- a/ kontrolu jakosti /chemického složení, tepelného zpracování, broušení/ jednobřitých nástrojů z rychlořezných ocelí pro zkoušky řezivosti a trvanlivosti;
- b/ porovnání řezivosti a trvanlivosti jednobřitých nástrojů pomocí etalonového řezného materiálu;
- c/ etalonový nástrojový materiál;
- d/ etalonový obráběný materiál;
- e/ vlastní řezný nástroj;
- f/ obráběcí stroj;
- g/ podmínky zkoušek;
- h/ popis vlastní zkoušky;
- i/ vyhodnocení dosažených výsledků.

6.1. Názvosloví

Řezivost

Řezivost nástroje vyjadřuje jeho schopnost produktivně obrábět. Mění se s obráběným materiálem, řezným prostředím, druhem nástroje, stroje, řeznými podmínkami. Číselně je řezivost vyjádřena hodnotou řezné rychlosti v_{60} tj. rychlosti, při které je trvanlivost břitů při stanovených podmínkách obrábění 60 minut.

Poměrná /relativní/ řezivost

Vyjadřuje podíl řezivosti vzájemně porovnávaných nástrojů. Její hodnota je určena poměrem řezných rychlostí zkoušeného a etalonového řezného nástroje.

$$k_r = \frac{v_T}{v_{Te}}$$

kde: v_T . . . řezná rychlost dosažená při stejné trvanlivosti zkoušeným nástrojem za zcela stejných řezných podmínek

v_{Te} . . . řezná rychlost dosažená při zvolené trvanlivosti T při obrábění původním nástrojem.

Trvanlivost břitu nástroje

je doba práce nástroje mezi dvěma ostřeni do smluvního kritéria otupení.

Kritériem otupení

nástroje z rychlořezné oceli je zvolená velikost opotřebení břitových ploch, nebo jeho úplné otupení.

Poměrná /relativní/ trvanlivost

nástroje vyjadruje podíl trvanlivosti vzájemně porovnávaných nástrojů. Její hodnota je určena poměrem trvanlivosti zkoušeného a etalonového řezného nástroje při stejných kritériích otupení.

6.2. Závislost trvanlivosti na řezných podmínkách

Na trvanlivosti břitu nástroje mají vliv kromě materiálu obrobku, materiálu řezného nástroje a způsobu obrábění, zejména řezné podmínky. Z řezných podmínek má největší vliv na trvanlivost řezná rychlost; v oblasti běžně používaných řezných rychlostí trvanlivost s rostoucí rychlostí klesá. Posuv má na trvanlivost nástrojů obdobný vliv jako řezná rychlost. S rostoucím posuvem trvanlivost klesá. Z řezných podmínek má nejmenší vliv na trvanlivost nástroje hloubka odebírané vrstvy. S rostoucí hloubkou trvanlivost nástroje nepatrně klesá.

Při zjišťování řezivosti řezného materiálu se vychází z funkční závislosti mezi trvanlivostí a řeznými podmínkami

$$T = f / v, s, h/ \quad T = f / v/.$$

Tato funkční závislost je vyjádřena klasickou Taylorovou rovnicí

$$T \cdot v^m = c_T \quad /1/$$

nebo

$$T \frac{1}{m} = c_v \quad /2/$$

kde: m . . . koeficient udávající citlivost nástroje na změnu řezné rychlosti,

c_v, c_T konstanty

c_T . . . hodnota T pro $v = 1$ m/min.

c_v . . . hodnota v pro $T = 1$ minuta.

6. 3. Zkoušky trvanlivosti

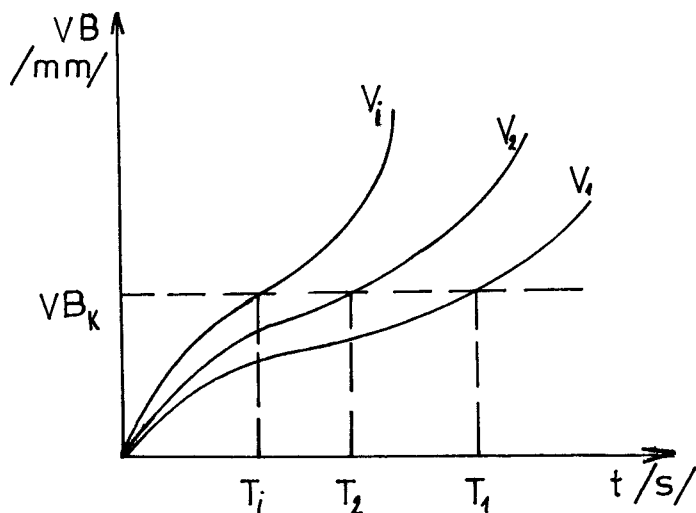
Závislost trvanlivosti na řezných podmínkách zjišťujeme experimentálně, tzv. zkouškami trvanlivosti. Rozeznáváme dva typy těchto zkoušek:

1. dlouhodobé zkoušky
2. krátkodobé zkoušky.

6.3.1. Dlouhodobé zkoušky trvanlivosti

Postup při dlouhodobé zkoušce

1. Určíme časový průběh opotřebení břitu nástroje $VB = f /t/$ /charakteristická křivka opotřebení/ pro několik různých řezných rychlostí, kterými obrábíme určitý materiál, nástrojem určité geometrie a z určitého druhu řezného materiálu při zachování konstantního posuvu a hloubky řezu. /Obr. 1/.



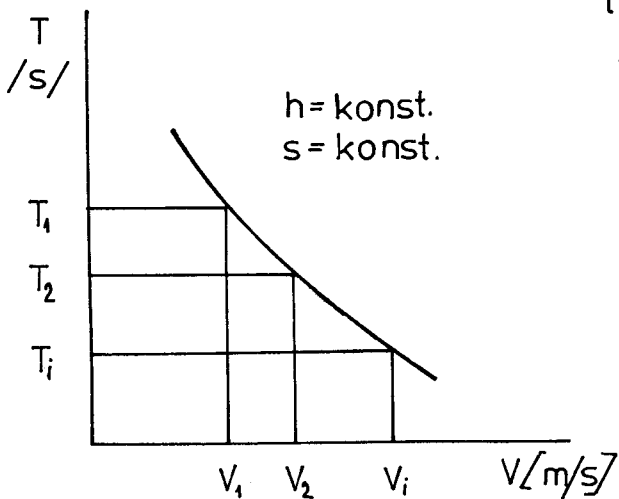
$s = \text{konst.}$

$V_3 > V_2 > V_1$

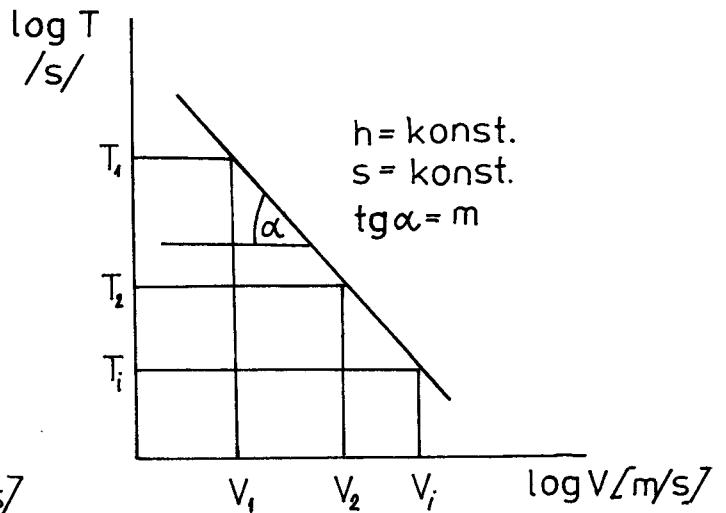
Obr. 1.

2. Zvolíme kritérium opotřebení VB_k a z charakteristických křivek opotřebení odčítáme hodnoty trvanlivosti T_1 až T_i příslušné jednotlivým řezným rychlostem.
3. Hodnoty trvanlivosti příslušné jednotlivým řezným rychlostem vyneseme do diagramu $T = f /v/$, obdržíme grafické vyjádření trvanlivosti na řezné rychlosti. Tato závislost se v kartézských souřadnicích $T - v$ zobrazí jako exponenciální křivka /obr. 2/, v logaritmických souřadnicích $\log T - \log v$ jako přímka /obr. 3/ s rovnicí

$$\log T = \log c_T - m \log v \quad /3/$$



Obr. 2



Obr. 3

4. Vyhodnotíme příslušné konstanty c_V , c_T a exponent m .
Odlogaritmováním rovnice /3/ dostaneme vztah /1/, /2/

$$m = \frac{\log T_1 - \log T_2}{\log v_2 - \log v_1} = \frac{\log \frac{T_1}{T_2}}{\log \frac{v_2}{v_1}} \quad /4/$$

Pro stanovení funkční závislosti $T = f /s/$ jsou určeny vztahy

$$\log T' = \log c_T' - m' \log s \quad /5/$$

$$m' = \frac{\log T_1' - \log T_2'}{\log s_2 - \log s_1} = \frac{\log \frac{T_1'}{T_2'}}{\log \frac{s_2}{s_1}} \quad /6/$$

6.3.2. Krátkodobé zkoušky trvanlivosti

Snaha po snížení časové a materiálové náročnosti dlouhodobých zkoušek vedla k vypracování různých krátkodobých zkoušek, umožňujících podstatně rychlejší určení trvanlivostních závislostí, ovšem za cenu snížené přesnosti.

Krátkodobého charakteru může být dosaženo v podstatě dvěma způsoby:

1. Zvýšením řezné rychlosti - použité řezné rychlosti jsou vyšší než běžně používané. Obráběním za těchto zостřených podmínek se dosáhne snížení trvanlivosti a tím i krátkodobosti zkoušky.
2. Snížením míry opotřebení - obrábí se za běžných podmínek, avšak míra opotřebení břitu je volena nižší než odpovídající nebo doporučená hodnota, např. $VB = 0,1$ mm. Tím se dosáhne opět snížení trvanlivosti a krátkodobého charakteru zkoušky.

Krátkodobá zkouška Besprozvaného

Metoda stanovení grafu $T - v$ podle Besprozvaného spočívá ve zkouškách při několika konstantních řezných rychlostech za jinak stálých řezných podmínek. Měří se opotřebení a sestrojí se grafy $VB = f / t$. Jenom pro jeden případ řezné rychlosti se sestrojí graf $VB = f / t$ až po otupení nástroje, v ostatních případech stačí, aby se křivka $VB = f / t$ získala jen s určitou neúplnou fází normálního opotřebení. Z experimentálně získaných údajů se určí závislost

$$v = c_1 \left(\frac{VB}{t} \right)^\omega \quad /7/$$

a závislost

$$T = \frac{c_2}{\frac{VB}{t}} \quad /8/$$

kde VB/t je intenzita normálního opotřebení, určená z části charakteristické křivky opotřebení.

$$\frac{VB}{t} = \frac{VB_K}{T} \quad /9/$$

kde VB_K je opotřebení vzaté za kritérium otupení, uvažujeme $VB_K = \text{konstanta}$.

Po dosazení rovnice /9/ do rovnice /8/ dostaneme:

$$T = \frac{c_2 T}{VB_K} \quad \text{tj.} \quad c_2 = VB_K$$

Úpravou rovnice /7/ dostaneme:

$$v = c_1 \left(\frac{VB}{t} \right)^\omega = c_1 \left(\frac{c_2}{T} \right)^\omega$$

z čehož $T = c_2 \left(\frac{c_1}{v} \right) \quad /10/$

když $T = \frac{c_V}{v^m} \quad \text{potom} \quad c_V = c_2 c_1^{\frac{1}{\omega}} \quad /11/$

a $m = \frac{1}{\omega} \quad /12/$

Mikrozkouška VÚ OSO

Krátkodobá zkouška určování závislosti $T - v$.

Metodika zkoušky předpokládá soustavu závislostí $T - v$ zobrazených v logaritmické soustavě rovnoběžnými přímkami a tedy rovnost exponentů m . Pro mikrozkoušku se volí jako nejvhodnější hodnota posuvu $s = 0,3$ mm a hloubka řezu $h = 1,5$ mm. Zkouška se provádí při 4 rychlostech. Při každé rychlosti se zjišťuje závislost opotřebení hřbetu na čase přibližně do hodnoty $VB = 0,09$ mm. Zjistí se hodnoty času, odpovídající kritériu otupení $VB_K = 0,08$ mm. Tím jsou dané čtyři body závislosti trvanlivosti na řezné rychlosti, které v logaritmické síti možno interpolovat přímkou.

7. Návrh metodiky zkoušení řezivosti vícebřitých nástrojů

Zkoušení řezivosti vícebřitých nástrojů se může provést dvěma způsoby. Oba způsoby vycházejí ze stanovení charakteristické křivky opotřebení $VB = f /t/$ a z trvanlivostní závislosti na řezné rychlosti T - v pomoci dlouhodobé zkoušky trvanlivosti.

1. způsob:

Sleduje se opotřebení závislosti na čase jednoho břitu vícebřitého nástroje při různých řezných rychlostech, konstantním posuvu a hloubce řezu. Vícebřítý nástroj považujeme za soustavu jednobřítých nástrojů. Vhodným vícebřítým nástrojem je frézovací hlava s vyměnitelnými břitovými destičkami z rychlořezné oceli /čelní frézování/.

Časově by bylo měření méně náročné a přesnější vzhledem k větším rozměrům břitu nástroje v porovnání s odvalovacími frézami /modul zubů $m_n = 1 \text{ mm}/$, na kterých jsme měření opotřebení prováděli. Touto metodikou převedeme zkoušení řezivosti vícebřítých nástrojů na zkoušení řezivosti jednobřítých nástrojů.

2. způsob:

Sleduje se opotřebení všech břitů vícebřitého nástroje /odvalovací frézy/ v závislosti na čase při různých řezných rychlostech, konstantním posuvu a hloubce řezu. Pak charakteristické křivky opotřebení $VB = f /t/$ pro jednotlivé rychlosti jsou sestrojeny z průměrných hodnot tří nebo více maximálních hodnot opotřebení nástroje. Tato metodika byla použita při zkoušení řezivosti rychlořezných ocelí - 19 850, 19 851, 19 829 a rychlořezné oceli 19 855.

7.1. Optimální trvanlivost

Optimální trvanlivost T_{opt} je doba, po kterou nástroj pracuje až do stavu, při kterém je využití nástroje ze všech hledisek /ekonomických, technologických, technických/ nej-
hospodárnější.

Vlastní proces obrábění můžeme hodnotit dle různých kritérií zahrnujících určité požadavky na průběh nebo výsledek obrábění. K nejpoužívanějším kritériím patří:

- minimální náklady,
- maximální produktivita,
- maximální zisk.

Při stanovení optimální trvanlivosti odvalovacích fréz se vychází z vlastních nákladů na výrobu v závislosti na řezných podmínkách, které lze pro odvalovací frézování vyjádřit rovnicí:

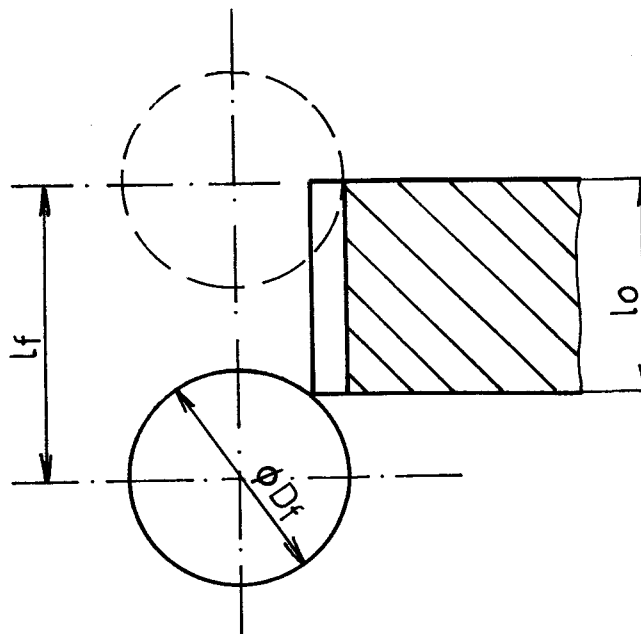
$$N_{cj} = t_s \cdot \frac{M_s / 100 + R_s /}{60 \cdot 100} + t_{102} \cdot \frac{t_s}{T} \cdot \frac{M_s / 100 + R_s /}{60 \cdot 100} +$$
$$+ t_o \cdot \frac{t_s}{T} \cdot \frac{M_o / 100 + R_o /}{60 \cdot 100} + \frac{t_s}{T} \cdot \frac{N_c}{/n_o + 1/} \quad /13/$$

Derivací rovnice /13/ dle trvanlivosti T a po úpravě získáme vztah:

$$T_{opt} = m - 1 \cdot /t_o + t_{102} + \frac{N_c \cdot 60 \cdot 100}{/n_o + 1/ \cdot M_s / 100 + R_s /} \quad /14/$$

7.2. Výpočet strojního času

Z obr. č. 4 se dá snadno vyjádřit rovnice, která nám udává dobu potřebnou k vyrobení ozubeného kola odvalovacím způsobem.



Obr. 4.

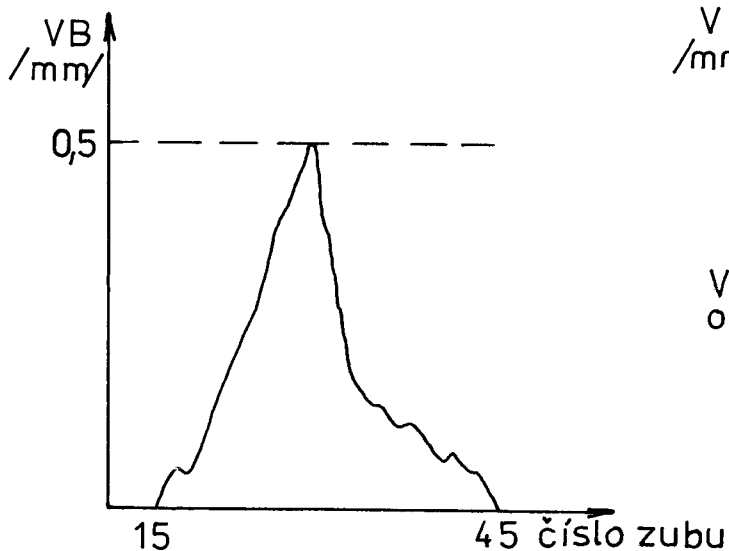
$$t_s = \frac{x \cdot l_f}{n \cdot s} \quad /15/$$

kde: t_s = strojní čas
 x = počet dokončených kusů
 n = otáčky obrobku
 s = posuv frézy /mm/ot/
 l_f = dráha frézy

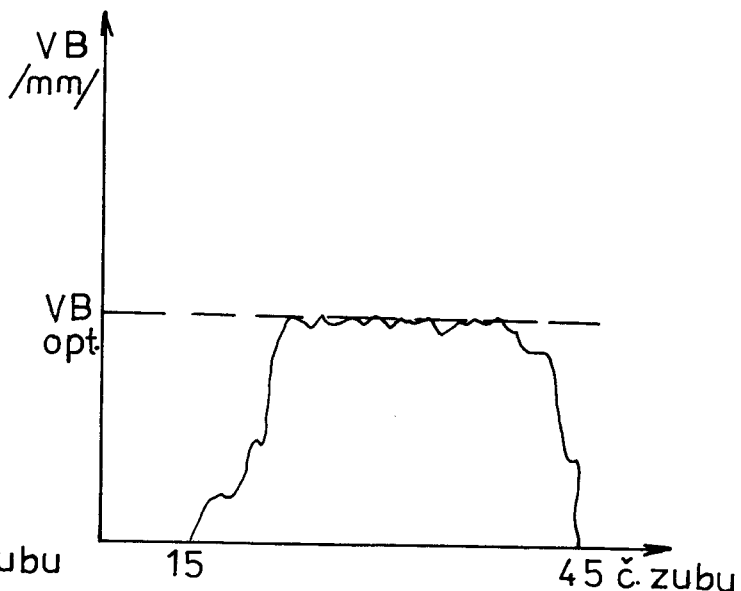
7.3. Optimální krokování odvalovacích fréz

Z rozborů vlastností záběrového kola frézy vyplývá, že jednotlivé zuby frézy odebírají při práci nestejně průřezy a nestejně délky třísek. /6/.

Tomu odpovídá i nerovnoměrné namáhání a opotřebení jednotlivých zubů fréz. Vytvoříme-li závislost opotřebení jednotlivých zubů frézy na očíslování zubů ve smyslu šroubovice /obr. 5/, zjistíme, že jenom několik zubů frézy odebírá největší průřez třísky, také jsou nejvíce opotřebeny, kdežto ostatní zuby jsou nevyužity nebo využity jen málo. Z toho důvodu se provádí axiální posuv odvalovací frézy - krokování, jehož cílem je zajištění rovnoměrného opotřebení zubů frézy po celé její délce /obr. 6/.



Obr. 5.



Obr. 6.

Toto se dosáhne tím, že všechny zuby projdou při krokování pracovním rozsahem frézy a vystřídají při práci všechna zatížení, která se v pracovním rozsahu vyskytují. Krokování se provádí tak dlouho, že i poslední zub pracovního rozsahu odvalovací frézy přijde do záběru. Při výpočtu optimálního krokování se vychází z předpokladu, že pro odvalovací frézu bylo stanoveno optimální opotřebení, které odpovídá určité optimální trvanlivosti nástroje T_{opt} . Z toho vyplývá, že optimální krokování je závislé na řezných podmínkách při obrábění.

Optimální hodnoty krokování jsou dány:

a/ počtem pracovních poloh

$$p = \frac{L_f - l}{k} \quad /16/$$

kde: p = počet pracovních poloh
 L_f = řezná délka frézy
 l = celkový pracovní rozsah frézy
 k = délka kroku

b/ optimální trvanlivostí pro jednu pracovní polohu

$$T_p = \frac{T_{opt}}{p} \quad /17/$$

Přesný výpočet optimálního krokování uvádí literatura /6/. Vzhledem k tomu, že se opotřebení rovnoměrně rozloží na téměř všechny zuby frézy, vyplývá, že krokovaná odvalovací fréza bude pracovat s mnohem vyššími optimálními reznými rychlostmi při stejné optimální trvanlivosti než nekrokovaná odvalovací fréza. Tím se zvýší podstatně produktivita práce a klesnou náklady na jednici výroby.

8. Technologické zkoušky

Účelem technologických zkoušek odvalovacích fréz z rychlořezných ocelí 19 850, 19 851, 19 829, konstrukce SMZ a monolitní frézy z rychlořezné oceli 19 855, bylo získání podkladů pro stanovení a porovnání řezivosti těchto materiálů a ekonomické zhodnocení skládaných a monolitních fréz.

8.1. Provedení zkoušek

Zkoušky se prováděly na dvou frézkách typu GFLV v ZTS Dubnica nad Váhom. Stroje byly zařazeny přímo ve výrobním procesu, proto na nich nebyly provedeny žádné úpravy. Vlastní průběh zkoušek se volil tak, aby ztrátové časy byly minimální a nenarušil se rytmus výroby.

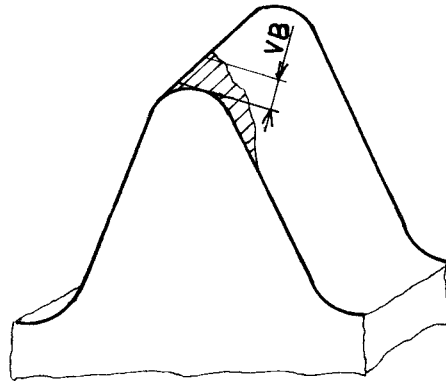
Bylo sledováno opotřebení nástroje v závislosti na čase /na počtu dokončených kusů/ při různých rezných rychlostech a konstantním posuvu. Způsob frézování byl nesousledný. V rozmezí otáček: 3 $\frac{1}{s}$ až 4,66 $\frac{1}{s}$ a posuvu: 1,69 mm/ot.

8.2. Měření opotřebení nástroje

Opotřebení břitu můžeme definovat jako ztrátu schopnosti nástroje účastnit se děl výrobního procesu.

Relativním pohybem třísky po čele a hřbetu nástroje nastává úbytek materiálu z těchto míst, která tvoří ostří a tím i deformace ostří.

U odvalovacích fréz se opotřebení projeví matnými ploškami nepravidelnéhotvaru na levém, pravém boku, na hřbetě a na čele zubu frézy. V rámci technologických zkoušek odvalovacích fréz bylo měření opotřebení zaměřeno na opotřebení hřbetu zubů odvalovací frézy /obr. 7/.



Obr. 7 - Opotřebení zubu odvalovací frézy

Vlastní měření opotřebení nástroje jsme provedli na dílenském mikroskopu. Nekrované odvalovací frézy byly vždy proměřeny po vyfrézování určitého počtu obrobků. Pro správnou orientaci měření opotřebení jednotlivých břitů je na obr. 8. a obr. 9. provedeno rozvinutí zubů frézy skládané a frézy monolitní.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1	13	25	37	49	61	73	85	97	109	121	133	145	157	169	181	193	205	217
2	2	14	26	38	50	62	74	86	98	110	122	134	146	158	170	182	194	206	218
3	3	15	27	39	51	63	75	87	99	111	123	135	147	159	171	183	195	207	219
4	4	16	28	40	52	64	76	88	100	112	124	136	148	160	172	184	196	208	220
5	5	17	29	41	53	65	77	89	101	113	125	137	149	161	173	185	197	209	221
9	9	21	33	45	57	69	81	93	105	117	129	141	153	165	177	189	201	213	225
10	10	22	34	46	58	70	82	94	106	118	130	142	154	166	178	190	202	214	226
11	11	23	35	47	59	71	83	95	107	119	131	143	155	167	179	191	203	215	227
12	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228

Obr. 8. - Rozvinutí zubů skládané frézy

číslo zubu
→

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
číslo hřebene ↓	1	15	29	43	57	71	85	99	113	127	141	155	169	183	197	211	225
	2	16	30	44	58	72	86	100	114	128	142	156	170	184	198	212	226
	3	17	31	45	59	73	87	101	115	129	143	157	171	185	199	213	227
	4	18	32	46	60	74	88	102	116	130	144	158	172	186	200	214	228
	5	19	33	47	61	75	89	103	117	131	145	159	173	187	201	215	229
	9	23	37	51	65	79	93	107	121	135	149	163	177	191	205	219	233
	10	24	38	52	66	80	94	108	122	136	150	164	178	192	206	220	234
	11	25	39	53	67	81	95	109	123	137	151	165	179	193	207	221	235
	12	26	40	54	68	82	96	110	124	138	152	166	180	194	208	222	236
	13	27	41	55	69	83	97	111	125	139	153	167	181	195	209	223	237
	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	182	196	210	224	238

Obr. 9. - Rozvinutí zubů monolitní frézy.

8.3. Režimy obrábění

Monolitní fréza Dx EFS 0192 /RO 19 855/

1. $n = 3 \text{ l/s}$
 $v = 0,66 \text{ m/s}$
 $s = 1,69 \text{ mm/ot.}$
 $D_f = 70 \text{ mm}$
 $T_1 = 6 \text{ 800 s}$
2. $n = 3,73 \text{ l/s}$
 $v = 0,82 \text{ m/s}$
 $s = 1,69 \text{ mm/ot.}$
 $D_f = 70 \text{ mm}$
 $T_2 = 5 \text{ 800 s}$
3. $n = 4,66 \text{ l/s}$
 $v = 1,025 \text{ m/s}$
 $s = 1,69 \text{ mm/ot.}$
 $D_f = 70 \text{ mm}$
 $T_3 = 2 \text{ 500 s}$

Skládaná fréza konstrukce SMZ /RO 19 850/

1. $n = 3 \text{ } 1/\text{s}$
 $v = 0,828 \text{ m/s}$
 $s = 1,69 \text{ mm/ot.}$
 $D_f = 88 \text{ mm}$
 $T_1 = 3 \text{ } 200 \text{ s}$

2. $n = 3,73 \text{ } 1/\text{s}$
 $v = 1,03 \text{ m/s}$
 $s = 1,69 \text{ mm/ot.}$
 $D_f = 88 \text{ mm}$
 $T_2 = 1 \text{ } 900 \text{ s}$

3. $n = 4,66 \text{ } 1/\text{s}$
 $v = 1,29 \text{ m/s}$
 $s = 1,69 \text{ mm/ot.}$
 $D_f = 88 \text{ mm}$
 $T_3 = 1 \text{ } 500 \text{ s}$

Skládaná fréza konstrukce SMZ /RO 19 851/

1. $n = 3 \text{ } 1/\text{s}$
 $v = 0,828 \text{ m/s}$
 $s = 1,69 \text{ mm/ot.}$
 $D_f = 88 \text{ mm}$
 $T_1 = 12 \text{ } 500 \text{ s}$

2. $n = 3,73 \text{ } 1/\text{s}$
 $v = 1,03 \text{ m/s}$
 $s = 1,69 \text{ mm/ot.}$
 $D_f = 88 \text{ mm}$
 $T_2 = 10 \text{ } 900 \text{ s}$

3. $n = 4,66 \text{ } 1/\text{s}$
 $v = 1,29 \text{ m/s}$
 $s = 1,69 \text{ mm/ot.}$
 $D_f = 88 \text{ mm}$
 $T_3 = 1 \text{ } 400 \text{ s}$

Skládaná fréza konstrukce SMZ /RO 19 829/

$$\begin{aligned} 1. \quad n &= 3 \text{ } 1/\text{s} \\ v &= 0,828 \text{ m/s} \\ s &= 1,69 \text{ mm/ot.} \\ D_f &= 88 \text{ mm} \end{aligned} \quad T_1 = 17 \ 500 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad n &= 3,73 \text{ } 1/\text{s} \\ v &= 1,03 \text{ m/s} \\ s &= 1,69 \text{ mm/ot.} \\ D_f &= 88 \text{ mm} \end{aligned} \quad T_2 = 4 \ 200 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} 3. \quad n &= 4,66 \text{ } 1/\text{s} \\ v &= 1,29 \text{ m/s} \\ s &= 1,69 \text{ mm/ot.} \\ D_f &= 88 \text{ mm} \end{aligned} \quad T_3 = 1 \ 700 \text{ s}$$

8.4. Tabulky naměřených hodnot

Hodnoty opotřebení skládaných fréz konstrukce SMZ a monolitní frézy jsou uvedeny v tabulkách na stranách 35 - 40.

Tabulka č. 8.

Doba obráb. /s/	Nástroj: RO 19 850		Řezné podm.: $n = 3,0$ 1/s				
	Obrobek: $z = 48$, $m_n = 1$ mm		$s = 1,69$ mm/ot				
Hřeben	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
6048	0,010	0,025	0,045 ^o	0,023 ^o	0,017 ^o	0,016	0,010
12096	0,012	0,030	0,087 ^o	0,065 ^o	0,054 ^o	0,018	0,042
18144	0,016	0,080	0,090 ^o	0,100 ^o	0,090 ^o	0,080	0,045
Hřeben	8.	9.	10.	11.	12.		
6048	0,006	0,003	0,005	0,006	0,011		
12096	0,018	0,009	0,008	0,008	0,027		
18144	0,045	0,017	0,010	0,010	0,029		
Poznámka: o . . . hodnoty, jejichž průměr byl vyneseno do grafu č.1							

Tabulka č. 9.

Doba obráb. /s/	Nástroj: RO 19 850		Řezné podm.: $n = 3,73$ 1/s				
	Obrobek: $z = 48$, $m_n = 1$ mm		$s = 1,69$ mm/ot				
Hřeben	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
2466	0,007	0,014	0,020 ^o	0,021 ^o	0,018 ^o	0,014	0,010
3700	0,010	0,017	0,029 ^o	0,035 ^o	0,021 ^o	0,022	0,012
8633	0,017	0,037	0,050 ^o	0,047 ^o	0,043 ^o	0,062	0,047
Hřeben	8.	9.	10.	11.	12.		
2466	0,010	0,007	0,003	0,003	0,003		
3700	0,012	0,012	0,005	0,004	0,005		
8633	0,047	0,035	0,030	0,013	0,005		
Poznámka: o . . . hodnoty, jejichž průměr byl vyneseno do grafu č.1							

Tabulka č. 10.

Doba obráb. /s/	Nástroj: RO 19 850 Řezné podm.: $n=4,66$ l/s Obrobek: $z = 48$, $m_n = 1$ mm $s=1,69$ mm/ot						
Hřeben	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
978	0,009	0,005	0,005 ^o	0,006 ^o	0,007 ^o	0,008	0,009
1956	0,013	0,006	0,012 ^o	0,010 ^o	0,013 ^o	0,005	0,011
Hřeben	8.	9.	10.	11.	12.		
978	0,010	0,060	0,006	0,007	0,007		
1956	0,012	0,070	0,008	0,008	0,008		
Poznámka: o . . . hodnoty, jejichž průměr byl vyneseno do grafu č.1							

Tabulka č. 11.

Doba obráb. /s/	Nástroj: RO 19 851 Řezné podm.: $n=3,0$ l/s Obrobek: $z = 48$, $m_n = 1$ mm $s=1,69$ mm/ot						
Hřeben	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
3025	0,003	0,003 ^o	0,004 ^o	0,005 ^o	0	0	0
9077	0,006	0,016 ^o	0,006 ^o	0,010 ^o	0,005	0,004	0,007
Hřeben	8.	9.	10.	11.	12.		
3025	0	0	0,010 ⁺	0,002	0,002		
9077	0,006	0,008	0,055 ⁺	0,130 ⁺	0,020		
Poznámka: o ... hodnoty, jejichž průměr byl vyneseno do grafu č.3 + ... poškozený zub frézy							

Tabulka č. 12.

Doba obráb. /s/	Nástroj: RO 19 851		Řezné podm.: $n=3,73$ 1/s				
	Obrobek: $z = 48, m_n = 1$ mm		$s=1,69$ mm/ot				
Hřeben	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
3522	0	0,005 ^o	0,003 ^o	0,005 ^o	0	0	0
10567	0,017	0,017 ^o	0,006 ^o	0,019 ^o	0,014	0,006	0,005
Hřeben	8.	9.	10.	11.	12.		
3522	0	0	0	0	0		
10567	0,010	0,013	0,020 ⁺	0,030 ⁺	0,030 ⁺		
Poznámka: o ... hodnoty, jejichž průměr byl vyneseno do grafu C.3 + ... poškozený zub frézy							

Tabulka č. 13.

Doba obráb. /s/	Nástroj: RO 19 851		Řezné podm.: $n=4,66$ 1/s				
	Obrobek: $z = 48, m_n = 1$ mm		$s=1,69$ mm/ot				
Hřeben	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
489	0,003	0,003 ^o	0 ^o	0,003 ^o	0,002	0	0
1764	0,019	0,017 ^o	0,021 ^o	0,020 ^o	0,024	0,017	0,009
Hřeben	8.	9.	10.	11.	12.		
489	0	0	0,003	0	0		
1764	0,006	0,011	0,011	0,018	0,024 ⁺		
Poznámka: o ... hodnoty, jejichž průměr byl vyneseno do grafu C.3 + ... poškozený zub frézy							

Tabulka č. 14.

Doba obráb. /s/	Nástroj: RO 19 855 Řezné podm.: $n=3,0$ 1/s Obrobek: $z = 45$, $m_n = 1$ mm $s=1,69$ mm/ot						
	Hřeben	1.	2.	3.	4.	5.	6.
5559	0,017	0,013	0,018	0,010	0,010	0,017	0,013 ^o
11119	0,019	0,018	0,024	0,023	0,031	0,019	0,030 ^o
16679	0,020	0,027	0,035	0,026	0,032	0,020	0,031 ^o
Hřeben	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
5559	0,013 ^o	0,012 ^o	0,012	0,017	0,006	0,011	0,014
11119	0,025 ^o	0,024 ^o	0,023	0,020	0,019	0,013	0,018
16679	0,033 ^o	0,027 ^o	0,030	0,021	0,026	0,017	0,020
Poznámka: o ... hodnoty, jejichž průměr byl vyneseno do grafu č. 4							

Tabulka č. 15.

Doba obráb. /s/	Nástroj: RO 19 855 Řezné podm.: $n=3,73$ 1/s Obrobek: $z = 45$, $m_n = 1$ mm $s=1,69$ mm/ot						
	Hřeben	1.	2.	3.	4.	5.	6.
2269	0,010	0,010	0,009	0,005	0,006	0,005	0,009 ^o
4538	0,012	0,012	0,011	0,010	0,008	0,008	0,015 ^o
9077	0,014	0,016	0,014	0,013	0,010	0,010	0,026 ^o
Hřeben	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
2269	0,004 ^o	0,005 ^o	0,006	0,005	0,004	0,002	0,005
4538	0,012 ^o	0,008 ^o	0,013	0,008	0,013	0,004	0,010
9077	0,030 ^o	0,013 ^o	0,029	0,011	0,014	0,012	0,020
Poznámka: o ... hodnoty, jejichž průměr byl vyneseno do grafu č. 4							

Tabulka č. 16.

Doba obráb. /s/	Nástroj: RO 19 855		Řezné podm.: $n=4,66$ l/s				
	Obrobek: $z = 45, m_n = 1$ mm		$s=1,69$ mm/ot				
Hřeben	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
896,7	0,010	0,008	0,005	0,004	0,005	0,005	0,008 °
1793,4	0,014	0,010	0,009	0,006	0,017	0,011	0,010 °
Hřeben	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
896,7	0,005 °	0,006 °	0,009	0,004	0,004	0,004	0,004
1793,4	0,015 °	0,008 °	0,011	0,006	0,014	0,006	0,007
Poznámka: ° ... hodnoty, jejichž průměr byl vyneseno do grafu č.4							

Tabulka č. 17.

Doba obráb. /s/	Nástroj: RO 19 829		Řezné podm.: $n=3,0$ l/s				
	Obrobek: $z = 45, m_n = 1$ mm		$s=1,69$ mm/ot				
Hřeben	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
8510	0,005	0,005	0,007	0,007	0,009	0,006	0,007 °
14183	0,006	0,011	0,008	0,008	0,010	0,008	0,011 °
19856	0,009	0,014	0,008	0,009	0,012	0,010	0,020 °
25530	0,010	0,014	0,014	0,013	0,014	0,013	0,026 °
Hřeben	8.	9.	10.	11.	12.		
8510	0,012 °	0,009 °	0,005	0,006	0,003		
14183	0,009 °	0,013 °	0,008	0,007	0,006		
19856	0,014 °	0,018 °	0,008	0,009	0,007		
25530	0,035 °	0,020 °	0,020	0,010	0,009		
Poznámka: ° ... hodnoty, jejichž průměr byl vyneseno do grafu č.2							

Tabulka č. 18

Doba obráb. /s/	Nástroj: RO 19 829		Řezné podm.: $n=3,73$ l/s				
	Obrobek: $z = 45, m_n = 1$ mm		$s=1,69$ mm/ot				
Hřeben	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
3473	0,006	0,006	0,007	0,010	0,006	0,009	0,013 °
5789	0,008	0,008	0,009	0,007	0,009	0,011	0,024 °
Hřeben	8.	9.	10.	11.	12.		
3473	0,019 °	0,008 °	0,009	0,004	0,005		
5789	0,021 °	0,013 °	0,015	0,007	0,011		

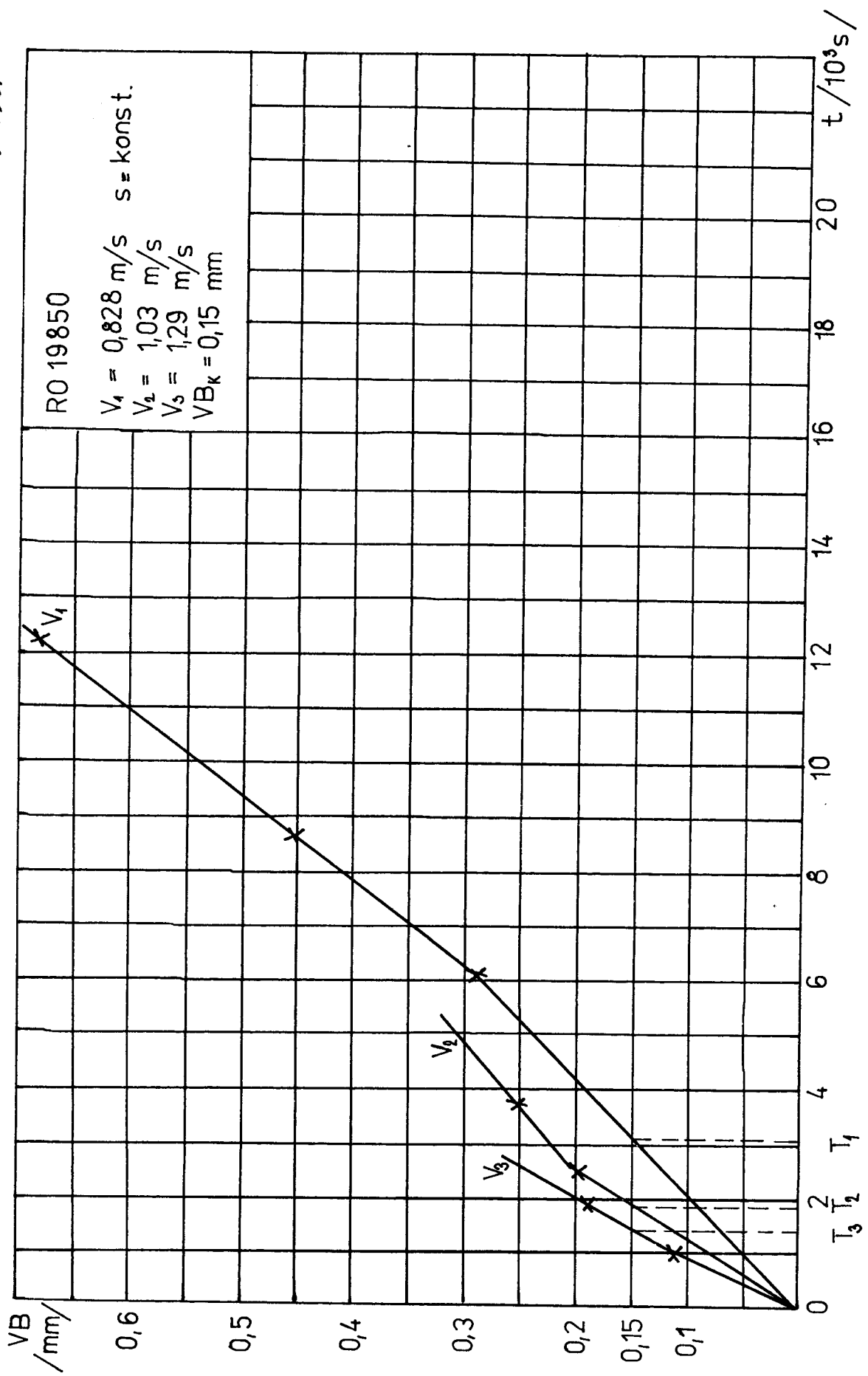
Poznámka: ° ... hodnoty, jejichž průměr byl vyneseno do grafu č.2

Tabulka č. 19

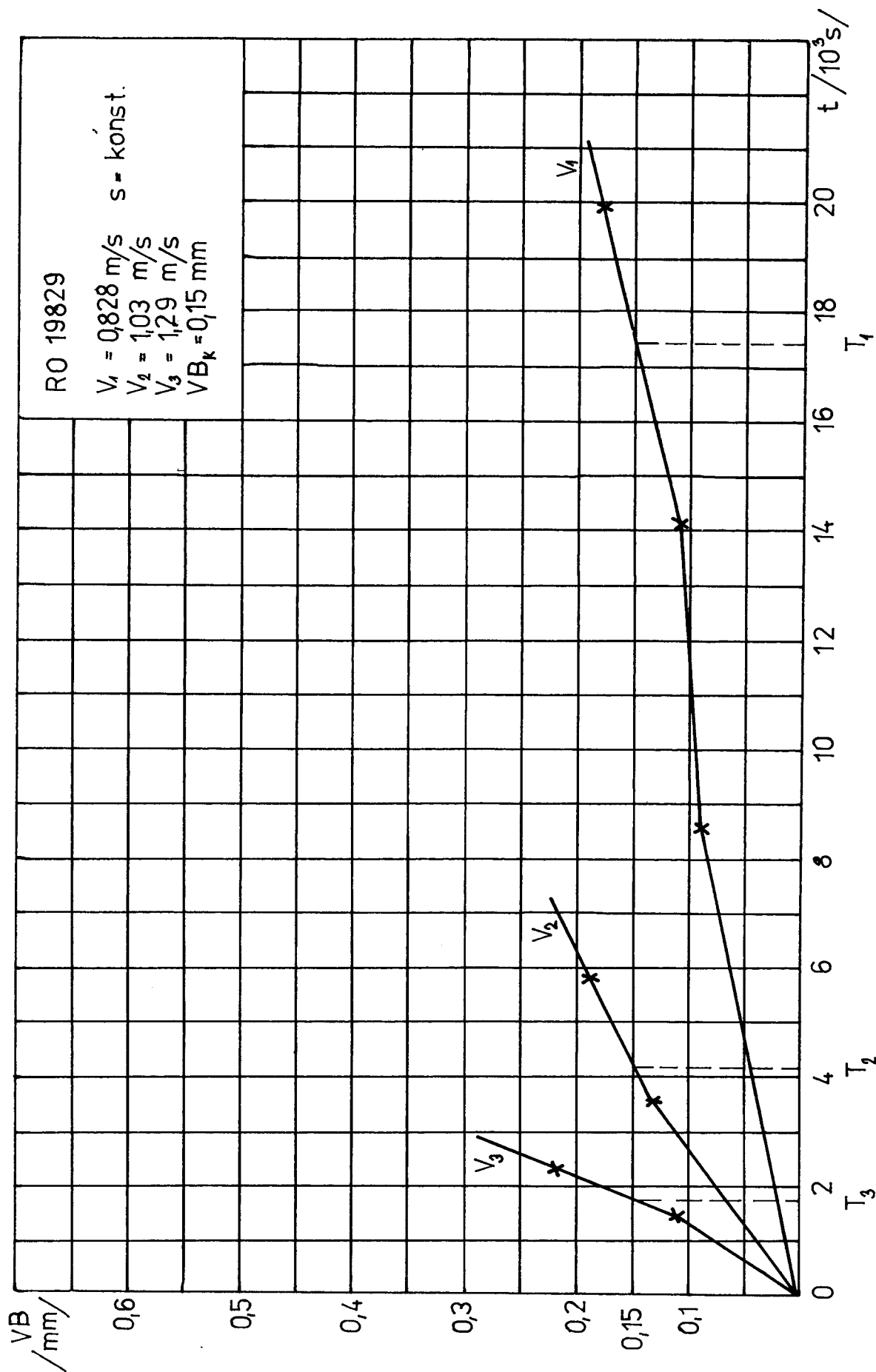
Doba obráb. /s/	Nástroj: RO 19 829		Řezné podm.: $n=4,66$ l/s				
	Obrobek: $z = 45, m_n = 1$ mm		$s=1,69$ mm/ot				
Hřeben	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1372	0,004	0,007	0,006	0,008	0,004	0,008	0,010 °
2287	0,006	0,008	0,007	0,009	0,005	0,017	0,019 °
Hřeben	8.	9.	10.	11.	12.		
1372	0,010 °	0,012 °	0,010	0,004	0,006		
2287	0,022 °	0,025 °	0,013	0,009	0,011		

Poznámka: ° ... hodnoty, jejichž průměr byl vyneseno do grafu č.2

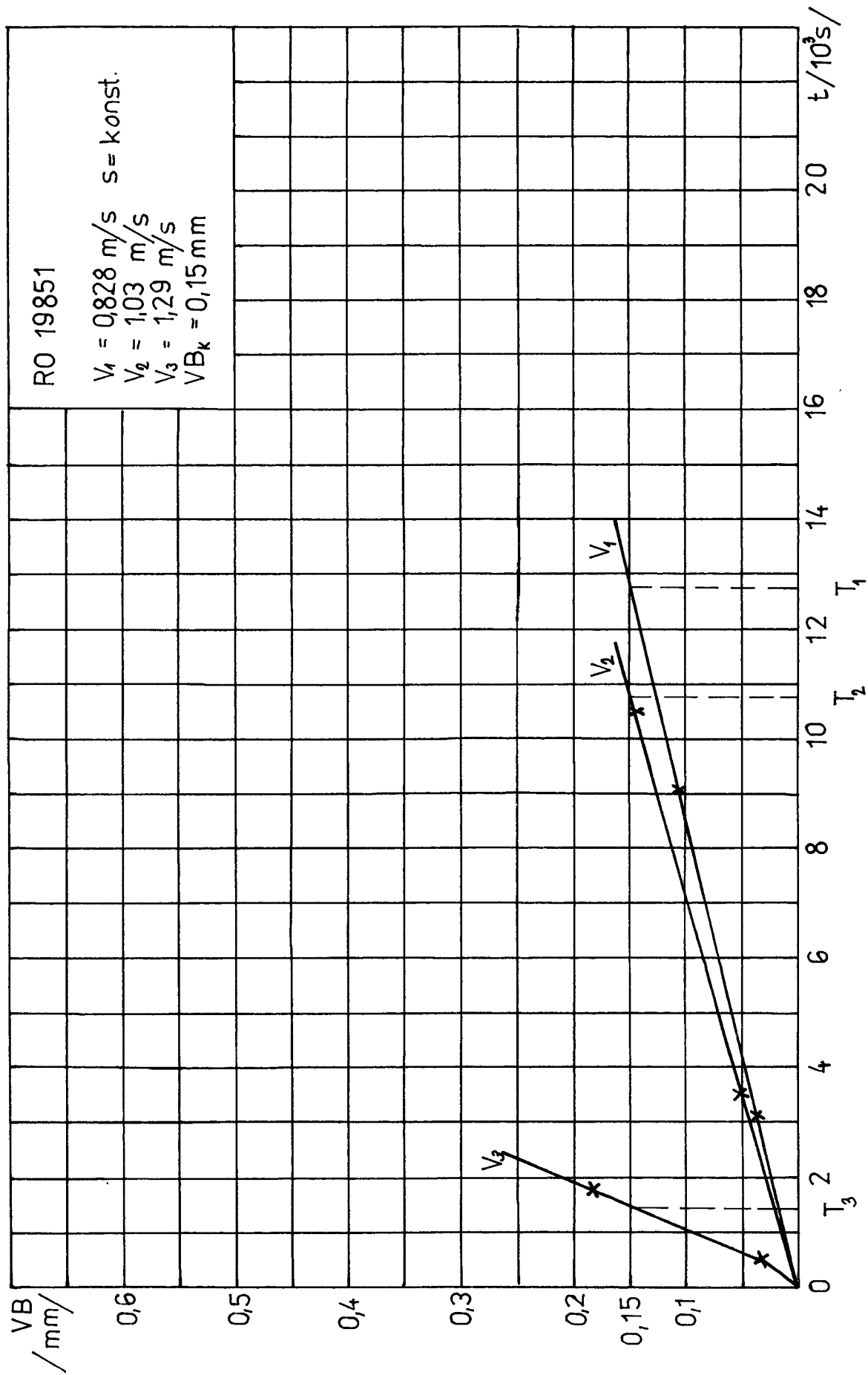
Graf č. 1: Opotřebení břitu v závislosti na řezném čase /skládaná fréza SMZ RO 19 850/



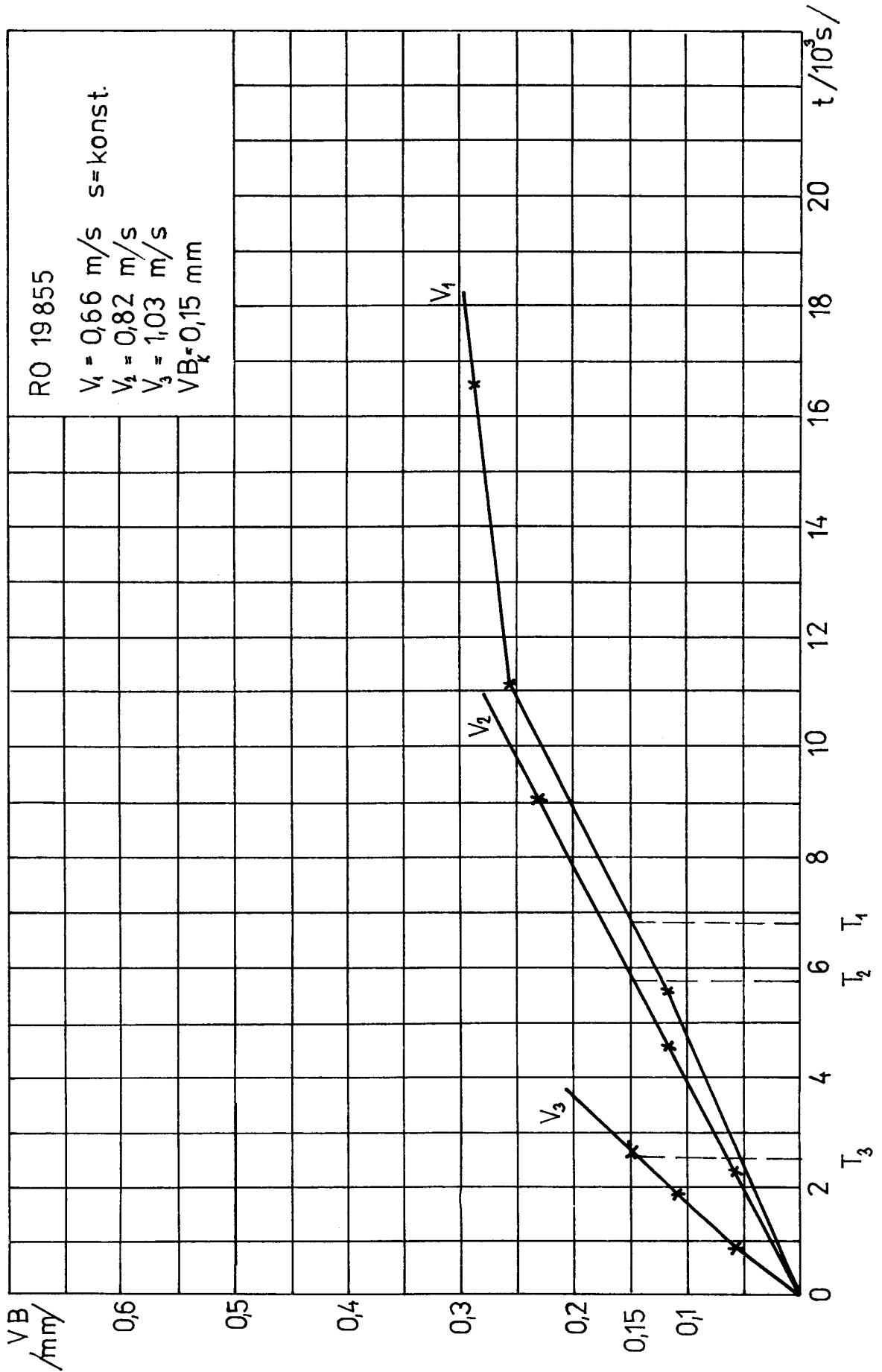
Graf č. 2: Opotřebení břitu v závislosti na řezném čase /skládané fréza SMZ RO 19 829/



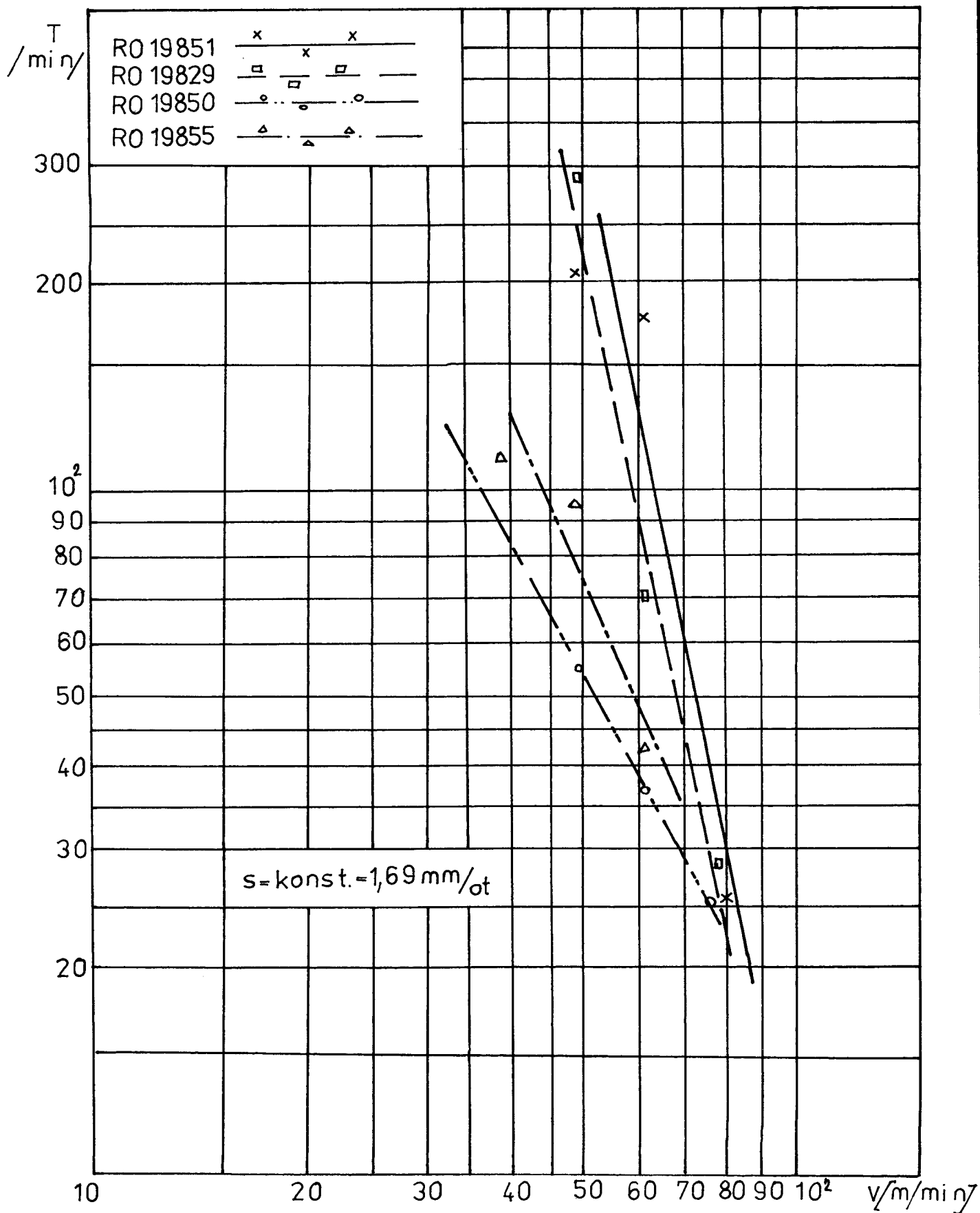
Graf č. 3: Opotřebení břitu v závislosti na řezném čase /skládaná fréza SMZ RO 19 851/



Graf č. 4: Opotřebení břitu v závislosti na řezném čase /monolitní fréza RO 19 855/



Graf č. 5: Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti



8.4.1. Grafické zpracování měření

Grafickým /viz graf č. 1 až č. 5/ a početním vyhodnocením naměřených hodnot byly získány hodnoty trvanlivosti nástroje pro různé řezné podmínky a použitím vztahů /1/, /2/, /4/ a /14/ jsme získali hodnoty optimální trvanlivosti, konstant c_T , c_V a exponentu m pro jednotlivé frézy.

Tabulka č. 20

Označení RO	m	c_T	c_V	T_{opt} /min./
19 855	2,26	$5,05 \cdot 10^5$	334,1	165,4
19 850	1,94	$1,05 \cdot 10^5$	388,3	376,9
19 851	5,19	$2,47 \cdot 10^{11}$	155,1	1 679,9
19 829	5,56	$7,54 \cdot 10^{11}$	132,1	1 828,2

8.5. Získané technické údaje a nákladové položky

Obráběcí stroj

typ	GFLV
příkon	$P_s = 8,5$ kW
maximální otáčky	$n_{max} = 9,33$ 1/s
minimální otáčky	$n_{min} = 0,75$ 1/s
maximální posuv	$s_{max} = 2,7$ mm/ot
minimální posuv	$s_{min} = 0,36$ mm/ot
délka upín. trnu	$l_t = 170$ mm

Nástroj

Pro technologické zkoušky byly k dispozici tři odvalovací frézy konstrukce SMZ a jedna monolitní fréza.

1. odvalovací fréza konstrukce SMZ

průměr frézy	$D_f = 88$ mm
normální modul	$m_n = 1$ mm
počet výměnitelných hřebenů	12
materiál hřebenů	RO 19 850
počet zubů hřeb.	19
počet ostření	$n_o = 10$

2. odvalovací fréza konstrukce SMZ

průměr frézy $D_f = 88$ mm
normální modul $m_n = 1$ mm
počet vymění-
telných hřebenů 12
materiál hřebenů RO 19 851
počet zubů hřebene 19
počet ostření $n_o = 10$

3. odvalovací fréza konstrukce SMZ

průměr frézy $D_f = 88$ mm
normální modul $m_n = 1$ mm
počet vymění-
telných hřebenů 12
materiál hřebenů RO 19 829
počet zubů hřebene 19
počet ostření $n_o = 10$

4. monolitní odvalovací fréza Dx EFS 0192

průměr frézy $D_f = 70$ mm
normální modul $m_n = 1$ mm
materiál frézy RO 19 855
počet hřebenů 14
počet zubů hřebene 17
počet ostření $n_o = 18$

Obrobek

materiál 45 CHN2MFA
pevnost v tahu = 800 - 900 MPa /žíhaný/
ozubení trojúhelníkový profil s vrcholovým
úhlem $2\alpha = 82,5^\circ$
tloušťka zubu na
roztečné kružnici = 1,5 mm
Ø hlavové kružnice: 1. kolo Ø $D_{k1} = 46,94 - 0,1$ mm
/počet zubů: $z_{21} = 45$ /
2. kolo Ø $D_{k2} = 50 - 0,1$ mm
/počet zubů: $z_{22} = 48$ /

\emptyset patní kružnice: 1. kolo: $\emptyset D_{p1} = 44,4$ mm
 2. kolo: $\emptyset D_{p2} = 47,5$ mm
 obráběná délka $l_o = 66$ mm

Nákladové položky

hodinová mzda dělníka	$M_s = 8,50$ Kčs + 20 % osobní ohodnocení + 13 % prémie
režie obrobny	$R_s = 540$ %
hodinová mzda ostříče	$M_o = 9,60$ Kčs + 20 % osobní ohodnocení + 13 % prémie
režie ostřírny	$R_o = 225$ %

1. skládaná fréza SMZ /RO 19 850/

doba potřebná na ostření	$t_o = 40$ min.
doba potřebná na výměnu nástroje	$t_{102} = 10$ min.
cena přeastření profilu nástroje	$N_1 = 200$ Kčs
cena nástroje	$N_c = 3\ 500$ Kčs
cena tělesa	$= 2\ 600$ Kčs
těleso se využije přibližně 10 krát.	

2. skládaná fréza SMZ /RO 19 851/

doba potřebná na ostření	$t_o = 40$ min.
doba potřebná na výměnu nástroje	$t_{102} = 10$ min.
cena přeastření profilu nástroje	$N_1 = 200$ Kčs
cena nástroje	$N_c = 3\ 500$ Kčs
cena tělesa	$= 2\ 600$ Kčs
těleso se využije přibližně 10 krát.	

3. skládaná fréza SMZ /RO 19 829/

doba potřebná na ostření	$t_o = 40$ min.
doba potřebná na výměnu nástroje	$t_{102} = 10$ min.
cena přeastření profilu nástroje	$N_1 = 200$ Kčs
cena nástroje	$N_c = 3\ 500$ Kčs
cena tělesa	$= 2\ 600$ Kčs
těleso se využije přibližně 10 krát.	

4. monolitní fréza Dx EFS 0192

počet přeastření frézy	$n_o = 18$
doba potřebná pro ostření	$t_o = 20 \text{ min.}$
doba potřebná na výměnu nástroje	$t_{102} = 10 \text{ min.}$
cena přeastření profilu nástroje	$N_1 = 200 \text{ Kčs}$
cena nástroje	$N_c = 1\,400 \text{ Kčs}$

8.5.1. Ekonomické zhodnocení odvalovacích fréz skládaných konstrukce SMZ z rychlořezných ocelí 19 850, 19 851, 19 829 a monolitní frézy z rychlořezné oceli 19 855

Monolitní fréza Dx EFS 0192

Náklady na dobu životnosti /N/ = cena nástroje + cena přeastření

Náklady na jednotku životnosti / N_{j1} / = $\frac{N}{\text{životnost nástroje}}$

$$N = 1\,400 + 200 = 1\,600 \text{ Kčs}$$

$$N_{j1} = \frac{1\,600 \text{ Kčs}}{3\,142,6 \text{ min.}} = 0,509 \text{ Kčs/min.}$$

$$N_{j1} = 0,00848 \text{ Kčs/s}$$

Skládaná fréza SMZ /RO 19 850/

Náklady na dobu životnosti /N/ = náklady na hřebeny + náklady na ustavení + náklady na přeastření + 0,1 ceny tělesa frézy

Náklady na jednotku životnosti = $\frac{N}{\text{životnost nástroje}}$

$$N = 900 + 10 + 200 + 260 = 1\,370 \text{ Kčs}$$

$$N_{j2} = \frac{1\,370 \text{ Kčs}}{4\,145,9 \text{ min.}} = 0,330 \text{ Kčs/min.}$$

$$N_{j2} = 0,0055 \text{ Kčs/s}$$

Skládaná fréza SMZ /RO 19 851/

$N = 1\ 370\ \text{Kčs}$

$$N_{j3} = \frac{1\ 370\ \text{Kčs}}{18\ 478,9\ \text{min.}} = 0,074\ \text{Kčs/min.}$$

$$N_{j3} = 0,0012\ \text{Kčs/s}$$

Skládaná fréza SMZ /RO 19 829/

$N = 1\ 370\ \text{Kčs}$

$$N_{j4} = \frac{1\ 370\ \text{Kčs}}{20\ 110,2\ \text{min.}} = 0,068\ \text{Kčs/min.}$$

$$N_{j4} = 0,0011\ \text{Kčs/s}$$

Porovnání monolitní frézy se skládanými frézami

$$\frac{N_{j2}}{N_{j1}} = \frac{0,330}{0,509} = 0,648 = 64,8\ \%$$

$$\frac{N_{j3}}{N_{j1}} = \frac{0,074}{0,509} = 0,145 = 14,5\ \%$$

$$\frac{N_{j4}}{N_{j1}} = \frac{0,068}{0,509} = 0,134 = 13,4\ \%$$

Odvalovací frézy, pro něž byl výpočet nákladovosti na životnost proveden, pracovaly za stejných podmínek.

Z výpočtu vyplývá:

Na odvalovací frézu konstrukce SMZ /RO 19 850/ jsou jednicové náklady 1,5 krát menší než náklady na monolitní frézu /RO 19 855/.

Na odvalovací frézu konstrukce SMZ /RO 19 851/ jsou jednicové náklady 6,9 krát menší než náklady na monolitní frézu /RO 19 855/.

Na odvalovací frézu konstrukce SMZ /RO 19 829/ jsou jednicové náklady 7,5 krát menší než náklady na monolitní frézu /RO 19 855/.

9. Závěr

Jak již bylo uvedeno v kap. 8.1. nebylo pro rozsah technologických zkoušek příznivých podmínek. Proto je třeba výsledek zkoušek z tohoto hlediska posoudit.

K uvedenému řešení je nutno dodat, že bylo prováděno přímo v provozních podmínkách. Měření nesmělo narušit chod výroby a bylo nutno vzít zřetel na okamžité kapacitní požadavky. Vzhledem k tomu nebylo možné provést více těchto časově náročných měření. Nepřesnost měření může být způsobena při nastavení frézy do pracovní polohy. Při posunutí frézy o rozteč $t = \pi \cdot m = 3,14 \cdot 1$ se dostanou do záběru jiné zuby frézy.

Závěrem děkuji ing. R. Kvapilovi, CSc., ing. J. Paškovi a s. Šipošovi za velmi cenné rady, které mi poskytovali při řešení diplomové práce.

Dále děkuji ostatním pracovníkům závodu, kteří mi s ochotou vycházeli vstříc.

Handwritten signature

Seznam použité literatury

- /1/ BÚDA, J., BÉKES, J.: Teoretické základy obrábání kovov
- /2/ KAISR, Z.: Diplomová práce 1393. FS VŠST, Liberec 1978
- /3/ PROUZOVÁ, V.: Diplomová práce 1118. FS VŠST, Liberec 1975
- /4/ LIEMERT, G. a kol.: Obrábění
- /5/ PRŮCHA, J.: Směrnice pro použití nových vysoce výkonných rychlořezných ocelí pro obráběcí nástroje na kovové materiály.
Výzkumná zpráva Z-75-3415, SVÚM Praha, 1975
- /6/ KVAPIL, R., PATRÁK, J.: Sborník vědeckých prací VŠST, Liberec 1970
- /7/ DOLEJŠ, M. a kol.: Pokrokové nástroje na ozubení
- /8/ HRUBEC, J. a kol.: Obrábění těžkoobrobitelných materiálův. Dom techniky ČSVTS Bratislava 1979
- /9/ KVASNIČKA, I.: Vypracování návrhu norem metodiky zkoušení řezivosti jednobřítých nástrojů z RO a metodika zkoušení obrobitelnosti kovových materiálů nástrojem z RO.
Výzkumná zpráva Z-70-2481. SVÚM Praha, 1970
- /10/ Kolektiv autorů: Obráběcí nástroje '80.
Dům techniky ČSVTS Ostrava, 1980