

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Činčánek Novák

obor 43 - 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: Vliv řezných podmínek a geometrie nástroje na účlo, teploty a stav povrchu při soustružení eliptického tělesa.

Zásady pro vypracování:

1. Popisem techniku obrábění litinových eliptik
2. Vliv obrábění na charakter povrchu
3. Detailní měření sil, teplot, armosti a měkčovrnosti
4. Výsledky měření a jejich vyhodnocení
5. Závěr

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÁ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 6
PSČ 461 17

Rozsah grafických prací: 100 obrázků

Rozsah průvodní zprávy: 30 - 40 stran, 5000

Seznam odborné literatury:

- Galimov, I. G.: Izmeneniye soobsheniya v karnupovnykh i karnupovnykh
sistemakh. M.: Nauka, 1977.
Galimov, I. G.: Khimicheskaya fizika i fizika povrchov i lyubimyye
i t. d., 1977.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vladimír Galimov

Asistent: Ing. Vladimír Galimov

Datum zadání diplomové práce: 01. 2. 1988

Termín odevzdání diplomové práce: 01. 2. 1988

L. S.

Doc. Ing. Vladimír Galimov, CSc.,
vedoucí katedry

Doc. Ing. Jan Galimov, CSc.,
Dekan

V _____ dne _____ 19__

Rozsah grafických prací: 32e podle

Rozsah průvodní zprávy: 30 - včetně: 30

Seznam odborné literatury:

Uprádko, J. G.: Účtování součástí ve lékárnách (1964),
střední, vyšší odborné školy, Praha 1971

Škorpová, J.: Účtování materiálů s velkou pomalostí v lékárnách,
1971, Praha 1971

Vedoucí diplomové práce: Ing. Václav Gabriel

Komisař: Ing. Václav Gabriel

Datum zadání diplomové práce: 04. 04. 1986

Termín odevzdání diplomové práce: 03. 04. 1986

L. S.

Doc. Ing. Jaroslav Gazda, CSc.
Vedoucí katedry

Doc. Ing. Jaroslav Gazda, CSc.
Děkan

V _____ dne 20. 4. 1986

Vysoká škola strojní a textilní LIBEREC
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

VLIV ŘEZNÝCH PODMÍNEK A GEOMETRIE NÁSTROJE NA SÍLY, TEPLOTY
A STAV POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ SLITIN TITANU.

KOM - OM - 400

NOVÁK Jindřich

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Gabriel /KOM VŠST/

Konzultant: Ing. Vladimír Gabriel /KOM VŠST/

Rozsah práce a příloh:

počet stran: 63

počet příloh

a tabulek: 19

počet obrázků: 15

počet výkresů: -

počet modelů

nebo jiných příloh: 11

Datum: 23. května 1986

Místopřísežné prohlášení :

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

.....*Novák Jindřich*.....

V Liberci dne 23. 5. 1986

ANOTACE:

Novák Jindřich:

VLIV ŘEZNÝCH PODMÍNEK A GEOMETRIE NÁSTROJE NA SÍLY, TEPLOTY
A STAV POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ SLITIN TITANU.

VŠST Liberec, katedra obrábění a montáže
23. 5. 1986

Diplomová práce KOM - OM - 400

stran:	63	graří:	11
tabulek:	19	modelí:	-
obrázki:	15	výkresí:	-

V práci jsou uvedeny výsledky měření řezných sil, teplot a drsnosti povrchu při soustružení titanové slitiny VT 6. Soustružení bylo provedeno pravým přímým uběrákem 25x25, IN 223850.2 s vyměnitelnou destičkou H 10 SPGN 120308 za podmínek:

řezná rychlost:	$v=22,3 \text{ až } 60,3 \text{ m.min}^{-1}$
hloubka řezu:	$h=0,2 \text{ až } 2,0 \text{ mm}$
posuv:	$s=0,051 \text{ až } 0,24 \text{ mm.ot}^{-1}$

Výsledky jsou uvedeny v tabulkách a zpracovány graficky.

OBSAH

Anotace	4
Obsah	5
Seznam příloh	7
1. Úvod	9
2. Problematika obrábění titanových slitin	10
2.1. Charakteristika titanu	10
2.2. Vliv přísad na strukturu a vlastnosti titanu	10
2.3. Titanové slitiny	11
2.3.1. Složení titanových slitin a jejich struktura	11
2.3.2. Vlastnosti titanových slitin	12
2.3.2.1. Mechanické a fyzikální vlastnosti	12
2.3.3. Titanové slitiny vyráběné v ČSSR	13
2.4. Obrobitelnost titanových slitin	13
2.5. Technologické podmínky pro obrábění titanových slitin	15
2.6. Mechanismus řezání titanu a jeho slitin	15
2.6.1. Tvorba třísky	16
2.7. Nástrojové materiály a nástroje pro obrábění titanových slitin	17
2.7.1. Nástrojové oceli vhodné pro obrábění titanu	18
2.7.2. Doporučené slituté karbidy pro obrábění titanu	19
2.7.3. Diamanty pro obrábění titanu	19
2.7.4. Doporučená geometrie nástrojů pro obrábění titanových slitin	20
2.8. Chladicí a řezné kapaliny vhodné pro titan a slitiny	21
3. Soustružení titanu a jeho slitin	22
3.1. Soustružení povrchové vrstvy výkovků a odlitků	22
3.2. Řezné podmínky pro soustružení	23
3.3. Zásady bezpečnosti při soustružení titanových slitin	24
4. Vliv obrábění na charakter obrobeného povrchu	24
4.1. Deformace obrobeného povrchu	24
4.2. Kvalita povrchu soustružených titanových slitin	25
5. Metodika měření sil, teplot, drsnosti a mikrotvrdosti při soustružení	25
5.1. Měření řezných sil	25
5.1.1. Nepřímé měření řezných sil	25
5.1.2. Přímé měření řezných sil	25
5.1.2.1. Universální soustružnický dynamometr	25
5.2. Měření teplot při soustružení	26
5.3. Měření drsnosti povrchu	26

5.4.	Měření mikrotvrdosti zpevněné vrstvy	30
6.	Příprava a výsledky měření	31
6.1.	Příprava pracoviště, pomůcky a měřicí přístroje použité při měření	31
6.2.	Tabulky naměřených hodnot, grafické zpracování a zhod- nocení měření	37
7.	Závěr	62
	Seznam použité literatury	63

Seznam zkratek a symbolů.

b	tloušťka třísky /mm/
c	měrné teplo /J.kg ⁻¹ .K ⁻¹ /
DIA	zkr. diamant
F _c	složka výsledné řezné síly ve směru řezné rychlosti /N/
F _f	složka výsledné řezné síly ve směru rychlosti posuvu /N/
F _p	složka výsledné řezné síly ve směru rychlosti pří- suvu /N/
h	hloubka řezu /mm/
HB	tvrdost podle Brinella
HRA	tvrdost podle Rockwella
HRC	tvrdost podle Rockwella
HV	tvrdost podle Vickerse
KNB	zkr. kubický nitrid boru
KV	součinitel obrobitelnosti
K _v	opravný koeficient pro řeznou rychlost
P	výkon /W/
R _a	střední úchylka nerovnosti / m/
R _{max}	maximální výška nerovnosti / m/
r _ε	poloměr ostří /mm/
S	posuv /mm.ot ⁻¹ /
SK	slinutý karbid
SPID	zkr. soustavy stroj - nástroj - obrobek
v _c	řezná rychlost /m.min ⁻¹ /
de	součinitel délkové roztažnosti /K ⁻¹ /
α _o , α _n , α _p	nástrojový úhel hřbetu ortogonální, normálový a zad- ní
β _o , β _n , β _p	nástrojový úhel břitu ortogonální, normálový a zad- ní
γ _o , γ _n , γ _p	nástrojový úhel čela ortogonální, normálový a zadní
σ	tažnost /%/
ε _r	nástrojový úhel špičky
κ _r	nástrojový úhel nastavení
κ _r '	nástrojový úhel zotavení vedlejšího ostří
λ	tepelná vodivost /W.m ⁻¹ .K ⁻¹ /
λ _s	nástrojový úhel sklonu ostří
ρ	hustota /kg.m ⁻³ /

$\sigma_{0.2}$ smluvní mez v tahu /MPa/
 σ_0 mez pevnosti v ohybu /MPa/
 σ_{pd} mez pevnosti v tlaku /MPa/
 σ_{pt} mez pevnosti v tahu /MPa/
 ψ kontrakce %/

Úvod:

Potřeby národního hospodářství ČSSR, zejména ve výstavbě energetických reaktorů, elektrárenských bloků s nejvyššími jednotkovými výkony, zařízení pro průmysl zpracování ropy, petrochemie a základních organických výrob, v dopravě, ale i zařízení pro potravinářský průmysl aj., vyžadují ve stále větší míře konstrukční materiály se špičkovými užitnými vlastnostmi, tj. materiály s vysokými pevnostními parametry, špičkovými fyzikálními, chemickými a jinými vlastnostmi. Požadavky spolehlivosti a dlouhé životnosti výrobků, stejně jako požadavky na snižování hmotnosti konstrukcí si postupně přímo i nepřímo vynucují vývoj a používání nových materiálů s mnohdy kvalitně odlišnými vlastnostmi, než jaké mají materiály dnešní. Jedním z těchto nových, progresivních materiálů je právě titan.

Titan jako konstrukční materiál byl zaveden do průmyslové výroby teprve v 60. letech tohoto století. Prudký rozvoj jeho využití, zejména v letectví a raketové technice, přinesl s sebou i rozsáhlý výzkum nejrůznějších typů jeho slitin. Stále se rozšiřují možnosti použití titanu, čistého v chemickém průmyslu, jeho slitin pak ve strojírenství. Tyto možnosti jsou však podmíněny možnostmi technologického zpracování titanu, které s sebou přináší řadu obtíží, zvláště při obrábění. I když současný vývoj technologie předchází na beztržkové způsoby zpracování jako tváření, přesné lití a jiné výrobní metody, převažuje i nadále obrábění, zejména v kusové výrobě, která je např. typická pro energetické a chemické strojírenství.

Všechny titanové slitiny se vyznačují nízkou měrnou hmotností a velmi příznivými hodnotami měrných pevností. Nevýhodou je poměrně vysoká cena. Nejsou to sice žádné "zázračné" slitiny, ale vydo- byly si své technicky zdůvodněné místo mezi důležitými konstrukčními materiály.

2. Problematika obrábění titanových slitin

Titan a jeho slitiny v současnosti nachází stále více uplatnění jako materiál na vysoce pevné a lehké konstrukce. I když jeho mechanické vlastnosti jsou všeobecně známé, nebyla dosud věnována dostatečná pozornost studiu jeho technol. vlastností. Mezi nimi má významné místo obrobitelnost. Titan se z hlediska tvoření a tvarování třísky a ostatních charakteristik řezání chová odlišně od jiných běžných konstrukčních materiálů. To je způsobeno zejména jeho fyzikálními a chemickými vlastnostmi.

2.1. Charakteristika titanu

Titan, jako kov skupiny T, zaujímá v přírodě 4 místo v množství hned za hliníkem, železem a molybdenem. Patří mezi těžkoobrobitelné kovy, teplota tavení je 1660°C /teplota vypařování $T_{\text{vyp}} = 3260^{\circ}\text{C}$ /, hustota čistého titanu $\rho = 4,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ /8/. Čistý titan patří svou pevností do skupiny kovů střední pevnosti. Široké uplatnění má méně čistý, tzv. technický titan, který obsahuje příměsy, zejména O_2 , Al, H_2 , C, Si, Fe, W aj.

V porovnání s jinými kovy má titan velmi malou tepelnou vodivost. V /6/ se uvádí tyto hodnoty pro titan a jeho slitiny:

tepelná vodivost při 20°C : ... $\lambda = 17,74 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

souč.délkové roztažnosti: $\alpha_t = 12,8 + 8,8 \cdot 10^{-6} / \text{K}^{-1}$

/hodnoty pro rozsah teplot 273-1255 K/

měrné teplo: $c = 544 + 502 / \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Zvláštností titanu je velký koeficient tření s jakýmkoli materiálem. Tato jeho vlastnost způsobuje problémy při jeho obrábění, zvláště pak při řezání závitů, vrtání malých otvorů a broušení. Další vlastností, pro kterou je titan používán je také jeho vysoká korozivzdornost.

Titan je prvek s alotropickou přeměnou. Má dvě alotropické modifikace. Za nízkých teplot je stabilní fáze α , má hexagonální mřížku s parametry $a = 2,95 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; $c = 4,68 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. Při 882°C dochází k alotropické přeměně, vytváří se fáze β s kubickou prostorově centrovanou mřížkou s parametrem $a = 3,283 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ /4/.

2.2. Vliv přísad na strukturu a vlastnosti titanu

Při výrobě technického titanu se přidávají do jeho slitin různé legury. Titan je schopen utvářet sloučeniny se všemi prvky periodické soustavy. V současnosti je titan legován zejména prvky: Al, Cr, V, Nb, Mn, Ta, Cu, Fe, Si, Sn, Mo aj. Všechny uvedené prvky tvoří s titanem tvrdé substituční roztoky. Hliník rozšiřuje a tím i stabilizuje

oblast α , všechny ostatní prvky stabilizují oblast β . Příměsy jako kyslík, dusík, vodík a uhlík utvářejí s titanem tvrdé kysličníky, nitridy ap., zvyšují pevnost titanu, ale snižují jeho plastičnost. Vodík navíc silně snižuje jeho houževnatost, ale zvyšuje vrubovou citlivost. Obsah vodíku v titanu nesmí přesahovat 0,02 % /dle (3)/.

2.3. Titanové slitiny

2.3.1. Složení titanových slitin a jejich struktura

Pro užití v konstrukci se využívají slitiny titanu, protože mají vyšší mechanické vlastnosti než čistý titan. Protože však titan patří mezi "mladé kovy", nemá zatím tolik slitin, jako třeba železo či hliník. Struktura titanových slitin může obsahovat čistou α -fázi, čistou β -fázi, směs obou fází, eutektoid, chemické sloučeniny aj. Slitiny typu α jsou všeobecně dobře svařitelné a technologicky zpracovatelné, určité těžkosti jsou při jejich tepelném zpracování. Slitiny s nestabilní β -fází se dají disperzně vytvrzovat. Největší množství slitin zahrnuje typ slitin se smíšenou strukturou $\alpha + \beta$. Jejich vlastnosti se dají regulovat tepelným zpracováním, mají dobré mechanické vlastnosti i při vyšších teplotách. V poslední době se začíná intenzivně aplikovat termomechanické zpracování, které zvyšuje mechanické vlastnosti až o 30 %.

Legury, uplatňující se v současných titanových slitinách, zabezpečují potřebnou strukturu i vlastnosti a stabilitu slitiny při jeho využití. Přidávají se prvky rozpouštějící se v tuhém roztoku a zvyšující jeho pevnost při normálních i vysokých teplotách. Tím se ovšem snižuje jeho plastičnost. Zvláště v případech, kdy legura s titanem nemá úplnou rozpustnost a tvoří s ním chemické sloučeniny. Hlavně železo a chrom silně snižují plastičnost titanových slitin. Jejich vliv se zvyšuje se zvyšujícím se obsahem, kdy tvoří intermediální fáze. Přiměřeně působí na velikost zvýšení pevnosti a snížení plastičnosti titanových slitin i cín a vanad. Hliník zvyšuje pevnost bez současného snížení plastičnosti a zároveň zvyšuje odolnost proti tečení titanových slitin. Při určitém obsahu prvků stabilizujících β -fázi zvyšuje hliník i žárupevnost, žáruvzdornost a pružnost při normálních i vysokých teplotách. Chrom, stejně jako hliník, zvyšuje pevnost a žárupevnost titanových slitin. Molybden značně zvyšuje trvanlivost titanových slitin, legovaných Al. Vanad uzpůsobuje titanové slitiny k tepelnému zpracování.

Legování titanových slitin deficitním cínem a vanadem je ohrani-

čeno jejich cenou. Výhodný je neefektivní mangan, jeví se jako efektivní, nesnižuje plastičnost a technologičnost slitin. Při užívání titanových slitin zvyšuje jejich stabilitu měď. Výzkumem bylo prokázáno, že legování titanových slitin borem, vápníkem a také zinkem s borem vede k zjemnění zrna β -fáze a současně ke zlepšení technologických a mechanických vlastností těchto slitin.

2.3.2. Vlastnosti titanových slitin

Na vlastnosti titanových slitin má vedle legur rozhodující vliv i jejich struktura. Slitiny s α -strukturou jsou dostatečně pevné do teploty 650°C, dobře se svařují, nekřehnou při tepelném zpracování. Slitiny se strukturou $\alpha+\beta$ mají dvakrát větší pevnost ve srovnání s čistým titánem, a vyhovující plastičnost. Jdou lépe kovát a válcovat než slitiny α či β . Pevnost slitin se strukturou $\alpha+\beta$ se značně zvyšuje tepelným zpracováním. Slitiny se strukturou β mají vysokou pevnost do teploty 540°C, která se tepelným zpracováním nezlepšuje. K nedostatku těchto slitin patří vysoký obsah deficitních legur.

Různá sledování ukázaly, že se zvyšováním legur od čistého titanu až k pětikomponentům či více složitým tvrdým slitinám se zvyšuje pevnost slitin, ale úměrně k tomu klesá jejich plastičnost.

2.3.2.1. Mechanické a fyzikální vlastnosti

Charakteristické pro titanové slitiny je snižování pevnosti se zvyšující se teplotou a přitom minimální změna plastičnosti. Např. u slitiny VT8, která je nejžárupevnější z řady slitin VT se mez pevnosti mění od 111 do 65 MPa /dle /3//.

V tab. 1 jsou uvedeny mechanické vlastnosti titanu a některých jeho slitin:

Slitina	$\sigma_{0.2}$ /MPa/	σ_{pt} /MPa/	δ / % /	ψ / % /	HRC (HB)
Ti 99,5	25	34	30	55	(120)
Ti 99,0	60	67	20	40	(265)
TiAl15Sn2,5	82	88	16	40	36
TiAl18Mo1V1	96	102	15	28	35
TiAl6V4-žíhaný	94	101	14	30	36
-vytvrzený	112	119	10	25	41
TiAl7Mo4	105	112	16	22	40
TiV13Cr11Al13	122	130	8	-	40

Tab. 1. Mechanické vlastnosti Ti a vybraných slitin /6/.

Titanové slitiny mají vesměs špatnou tepelnou vodivost, špatné tření a otěr. Titanové slitiny mají také nízký koeficient délkové roztažnosti.

Sloučeniny titanu jsou vesměs velmi korozivzdorné. V obecných podmínkách získáme dobrou korozivzdornost v mnohých agresivních sférách, která převyšuje korozivzdornost oceli. Korozivzdornost titanu při jeho chemické aktivitě lze vysvětlit vytvořením ochranné kysličnickové vrstvičky, která pak titan dále chrání.

2.3.3. Titanové slitiny vyráběné v ČSSR

Titanové slitiny se vyrábějí buď tavením nebo práškovou metalurgií. Slitiny vyráběné tavením v obloukových pecích se označují dle /3/ VT. Mají stejnorodější složení a vlastnosti než slitiny získávané práškovou metalurgií. Tyto slitiny se označují IMP.

V ČSSR se vyrábí titanové slitiny v Poldi SONP Kladno v sortimentě: Poldi T 110 (VT 3-1)

Poldi T 90 (VT-6), ve světě označení Ti6Al4V
Obě slitiny jsou se strukturou $\alpha + \beta$.

2.4. Obrobitelnost titanových slitin

Souhrnný vliv fyzikálních a mechanických vlastností, struktury i chemického složení kovů a slitin na průběh a výsledky třískového opracování označujeme pojmem obrobitelnost.

Obrobitelnost lze obecně posuzovat z mnoha hledisek. V praxi mají největší význam tato hlediska:

1. Vliv materiálu obrobku na intenzitu opotřebení břitu nástroje a na teplotu při obrábění. Tento vliv určuje velikost řezné rychlosti a zahrnuje se tedy do pojmu obrobitelnost podle řezné rychlosti.
2. Vliv materiálu obrobku na proces tvoření třísky a to z hlediska řezných sil nebo z hlediska utváření oddělovaných třísek. Tento vliv se označuje jako obrobitelnost podle řezného odporu nebo podle utváření třísky.
3. Vliv materiálu obrobku na vytváření nových povrchů na obrobku a na jejich jakost. Tento vliv zahrnujeme do pojmu obrobitelnost podle drsnosti povrchu.

Obrobitelnost můžeme však posuzovat i z jiných hledisek, jako z hlediska vzniku nárůstků, otřepů aj. V praxi se však nejvíce posuzuje obrobitelnost podle řezné rychlosti. Vyjadřuje se buď přímo řeznou rychlostí v_T , odpovídající určité zvolené trvanlivosti T ,

nebo častěji tzv. součinitelem obrobitelnosti, který je dán poměrem řezných rychlostí základního a etalonového materiálu

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

Důležitým kritériem obrobitelnosti při soustružení je obrobitelnost podle utváření třísky. Zde je měřítkem objemový součinitel, který je dán poměrem objemu volně uložených třísek k objemu odebraného materiálu a tzv. součinitel přechování. Ten je určen poměrem teoretické délky třísky ke skutečné délce třísky nebo poměrem tloušťky třísky k tloušťce teoretické.

Obrobitelnost materiálu ovlivňuje řada činitelů, z nichž nejdůležitější jsou:

- fyzikální /mechanické/ vlastnosti,
- chemické složení,
- způsob výroby,
- mikrostruktura materiálu.

Tyto činitele působí zejména na intenzitu otupování břitu řezného nástroje a na teplotu při obrábění, na utváření třísky a velikost řezných sil i na drsnost obrobeného povrchu.

Pro titanové slitiny je charakteristická nízká obrobitelnost. Základní vliv na obrobitelnost titanových slitin má obsah rozpuštěného kyslíku a dusíku. Např. dle /3/ změna obsahu kyslíku z 0,66 % na 0,32% zlepšila obrobitelnost 3 krát. Příměsy kyslíku a dusíku dělají slitiny křehké.

Titan a titanové slitiny mají velkou afinitu k uhlíku v rychlořezných ocelích i k TiC ve slinutých karbidech, a to zejména ke slinutým karbidům řady P, dále pak i k řezné keramice. Tvoří nárůstky na břitu nástroje a odvádí špatně teplo vznikající při obrábění. Tím způsobuje velké tepelné namáhání břitu nástroje, což se projevuje ve zhoršené obrobitelnosti.

Technicky čistý titan je při vhodném druhu řezného materiálu a vhodné geometrii, popř. při intenzivním chlazení dobře obrobitelný. Přísadové prvky však obrobitelnost velmi zhoršují. Slitiny titanu s obsahem přes 0,2 % C jsou prakticky neobrobitelné.

Titanové slitiny často mívají na povrchu kysličníky, nitridy či karbidy s vysokými abrazivními účinky, což způsobuje zkrácení trvanlivosti řezných nástrojů. Vysoká chemická aktivita titanu také způsobuje rychlé opotřebení řezné části nástroje.

Jednou ze základních charakteristik obrobitelnosti titanových slitin je mez pevnosti. Z tohoto hlediska dělíme titanové slitiny do 2 základních skupin.

1. slitiny s nízkou či střední pevností

2. slitiny s vysokou pevností

Obecně lze říci, že se zvyšující se pevností klesá obrobitelnost.

Dle /1/ lze zařadit slitinu Titan 45 do třídy obrobitelnosti 9b pro soustružení; Titan 110 do třídy obrobitelnosti 4b. Zařazení do skupin je jen směrné, hutě, ocelárny a slévárny obrobitelnost materiálu nezaručují. V sériové výrobě se proto doporučuje ověřit skutečnou obrobitelnost vlastními zkouškami.

2.5. Technologické podmínky pro obrábění titanových slitin

Titan a jeho slitiny patří mezi těžkoobrobitelné materiály, pro které je třeba volit tuhé obráběcí stroje v dobrém technickém stavu s vymezenými vůlemi posuvových mechanismů, saní, suportů a ložisek vřetena. Je třeba se co nejvíce vyvarovat ručních posuvů, stroje musí být vybaveny strojními posuvy. Doporučuje se volit stroje větších velikostí, než je obvyklé pro obrábění běžných konstrukčních materiálů. Výkon motoru obráběcího stroje musí odpovídat zvoleným řezným podmínkám, zejména při hrubování.

Upnutí nástrojů a obrobků musí zaručit dostatečnou tuhost celé soustavy stroj-nástroj-obrobek /SPID/. Nedostatečná tuhost soustavy SPID způsobuje jak chvění, tak i nesprávný geometrický tvar obrobku, dále urychlené opotřebení nebo poškození břitu nástroje. Při obrábění materiálů, které mají schopnost zpevňování /což se u titanu projevuje zvláště výrazně/ nedostatečná tuhost vůbec znemožňuje další obrábění.

Nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami mohou být použity, je-li zajištěna dostatečná tuhost nástroje a naprosto tuhé upnutí břitových destiček.

Břity nástrojů musí být odborně a pečlivě ostřeny. Při ostření rychlořezných nástrojů nesmí být břity popuštěny /vyhřáty/. Doporučuje se dokončování ostření břitů brousícími kotouči z kubického nitridu bóru /KNB/. Břity destiček ze slinutého karbidu /SK/ musí být lapovány diamantovými /DIA/ brousícími kotouči. Přípustné opotřebení břitů volíme zpravidla poloviční než při obrábění běžných konstrukčních materiálů.

2. 6. Mechanismus řezání titanu a jeho slitin

Při obrábění titanových slitin se většina nástrojových materiálů poměrně rychle opotřebovává i při malých řezných rychlostech. To je způsobeno zejména velkým koeficientem tření mezi titanovou třískou a čelem nože, což vede k adhezivnímu spojení třísky a nože, dále pak je to způsobeno nízkou tepelnou vodivostí titanu, což se projevuje vysokou koncentrací tepla v úzké oblasti v blízkosti řezné hrany nože. Teplota na řezné hraně nástroje je až 1200°C /dle /6//.

Při obrábění titanových slitin vzniká typická segmentová /člankovitá/ tříska. Segmentace titanových třísek souvisí s nestabilitou procesu řezání, která je podmíněna vzájemným spolupůsobením dvou mechanismů a to:

- zvyšování pevnosti třísky deformačním zpevněním,
- snižováním pevnosti třísky ohřevem

Špatná tepelná vodivost způsobuje vytváření pásů koncentrovaného smyku. Na čele nože vzniká střídavé zbrždění třísky způsobené adhezivním spojením. Adiabatický smyk vzniká při obrábění titanových slitin při mnohem nižších rychlostech než např. při obrábění ocelí.

2. 6. 1. Tvorba třísky

Pro tvorbu titanových segmentových třísek jsou charakteristická dvě stadia.

V prvním stadiu můžeme pozorovat plastickou nestabilitu, která vede k lokalizaci deformace podél plochy smyku. Plocha smyku začíná na řezné hraně nástroje, nejprve je orientována ve směru vektoru řezné rychlosti a pak se odklání nahoru, kde se protíná s obráběnou plochou. Smykové porušení třísky se projevuje na její vnější straně ve formě trhlin a na vnitřní straně ve formě silně deformovaných pásů.

Ve druhém stadiu vzniká tzv. půlklín, tj. sklonění strany segmentu třísky, orientované k obráběnému materiálu. Půlklín vzniká v důsledku přemísťování nože. Z tohoto důvodu bude hloubka třísky přibližně rovna hloubce odřezávané vrstvy.

Pro tvěření titanových třísek je charakteristický periodický vznik pásů koncentrovaného smyku s mimořádně velkou poměrnou deformací. Ta je doprovázena smykovým porušením materiálu v důsledku plastické nehomogenity. S velkou pravděpodobností je proces deformace v tomto úzkém pásmu adiabatickým skluzem.

Všechny tyto jevy mají výrazný vliv na intenzitu opotřebení, proto je potřeba je regulovat. Je např. možno vyvolat vzájemný pohyb

mezi nástrojem a třískou použitím kmitání nástroje. Dále např. snížení koeficientu tření mezi nástrojem a třískou se dá řešit použitím vhodných řezných kapalin, nástrojů na bázi KNB či DIA. Jednou z možností je i předehřev obráběné plochy, čímž je možno zabezpečit vznik plynnulé třísky. Podrobněji o tom pojednává /1/.

2. 7. Nástrojové materiály a nástroje pro obrábění titanových slitin

Při obrábění titanových slitin dochází k vysokému mechanickému a tepelnému namáhání nástroje a břitů. Břit je také namáhán plastickou deformací a periodickým oddělováním nárůstků při obrábění. Vzhledem k vysokému koeficientu tření titanu dochází také k intenzivnímu otěru na čele nástroje.

Proto nástroje na obrábění titanových slitin musí vyhovovat vysokým požadavkům na pevnost, tuhost a schopnost odvádět zvýšené množství tepla. Břit nástroje musí být vysoce otěruvzdorný za vysokých tlaků i teplot v oblasti řezání, musí být houževnatý a tvrdý za vyšších teplot a odolný proti mechanickým a teplotním rázům.

Řezné materiály se rozdělují na

- nástrojové oceli: uhlíkové,
slitinové,
slitinové rychlořezné,
- slinuté karbidy
- nekovové řezné materiály: řezná keramika
Kubický nitrid bóru
diamant

Řezný materiál	Tvrdost HV	σ_{p} /MPa/	σ_{c} /MPa/	Teplotní odolnost /°C/
Rychlořezná ocel	750 až 800	2500 až 3500*	200 až 3000*	560 až 620
Slinutý karbid	1300 až 2000	4000 až 5600*	300 až 2200*	1100 až 1200
Řezná keramiky	2000 až 2400	3500 až 4000	450 až 600	1600 až 1800
Směsná řezn.keram.	2800 až 3000	4500	400 až 700	1300
Kubický nitrid bóru	4500	4000	600	1500
Diamant	7000	3000	300	320 až 720

* U nově vyvíjených i vyšší

Tab. 2. Základní vlastnosti řezných materiálů /1/

Ne všechny řezné materiály jsou však vhodné pro obrábění titanových slitin. Proto v další části bude uveden jen přehled materiálů doporučených dle /1/.

2. 7. 1. Nástrojové oceli vhodné pro obrábění titanu

Pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů se používají jen rychlořezné oceli výkonné a vysocevýkonné. Používají se zejména tam, kde druh nástroje či povaha operace nedovolí použít nástroje se slinutým karbidem. Dále se používají zejména tehdy, když musíme obrábět nižší, pro slinuté karbidy podkritickou, řeznou rychlostí.

Pro obrábění titanu se kromě některých vyráběných rychlořezných ocelí jeví jako perspektivní vyvíjené tzv. supertvrdé rychlořezné oceli. Tyto oceli mají zvýšený obsah uhlíku /prakticky až na 1,4%/ a různě vysoké procento přísady vanadu, dosahují tvrdosti až 70 HRC. Dosahují zvýšené odlonosti proti opotřebení, zvýšené tvrdosti za tepla i trvanlivosti. Jejich nevýhodou je náročnější tepelné zpracování, obtížně se brousí. Jako velmi perspektivní se jeví i výroba rychlořezných ocelí při využití práškové metalurgie, která se zkušebně uplatňuje i v ČSSR.

Označení ČSN a Poldi	Str. obsah hlavních přísad %	Doporučené použití
19851 Maximum Special 45	C - 1,4 Cr- 4,2 W - 7,0 Mo- 3,8 V - 1,85 Co- 5,0	Nejnáročnější nástroje /soustružnické nože, frézy, vrtáky, výstružníky, záhlubníky, závitníky/ pro obrábění materiálů nejvyšších pevností a mat. se silně abrazivním účinkem v případech, kdy není možno nástroje ze SK použít.
19857 MKG	C - 0,95 Cr- 4,2 W -10,25 V- 2,35 Co- 9,75	Velmi namáhané obráběcí nástroje /soustružnické nože hrubovací, hoblovací a obrážecí nože, frézy aj./ k obrábění zvláště obtížně obrobitelných materiálů
19852 Maximum Speicál 75 Mo	C - 0,85 Cr -4,2 W - 6,25 Mo- 5,0 V - 1,85 Co- 4,75	značně namáhané nástroje /tvarové nože, odvalovací frézy, obrážecí nože na ozubení, závitníky ap./ při požadavku na vyšší houževnatost. Pro velké řezné rychlosti i pro silně přerušovaný řez.
19856 Maximum Speciál 556	C - 0,95 Cr- 4,2 W -10,25 V - 2,35 Co- 5,0	Velmi namáhané obráběcí nástroje /soustružnické nože, frézy, vrtáky, závitové nástroje, odvalovací frézy aj./ pro velmi výkonné obrábění těžkoobrobitelných materiálů

Tab. 3 Doporučené rychlořezné oceli pro obrábění titanu /dle /1//

2.7.2. Doporučené slinuté karbidy pro obrábění titanu

Základní vlastností slinutých karbidů je jejich vysoká tvrdost /až 91 HRA/ a velká odolnost proti otěru i při teplotách 700 až 1000°C. Slinuté karbidy též dobře odolávají namáhání tlakem, jejich pevnost v tlaku je 4000 až 5000 MPa, mají však poměrně malou pevnost v ohybu /max. 2200 MPa/. Pro volbu optimálního druhu slinutého karbidu je rozhodující zejména charakter namáhání břitu nástroje, tj. nejen mechanicky, ale hlavně na otěr.

Označení SK dle ISO	Pracovní podmínky	Některé firemní SK					
		Diadur	Harthů	Pobedit	Widia	Seco	Sandvik
K 10	soustružení, frézování, vrtání, vystružování, protahování aj.	H1 H2 H10	HG110 H615	VKGM VK4 VK6	TH10 TH05	H13 SU41	H1P 6C1025 6C310
M 10	soustružení, při středních až vysokých rezných rychlostech a malých až stř. průřezích třísky	U1	HU10	-	AT10 AT15	SU41	R1P
M 20	soustružení, frézování při střed. rezných rychlostech a středních průřezích třísky	U2	HU10	-	AT15 AT20	SU41 S	H20 GC135 GC315
M 30	soustružení, frézování, hoblování při střed. rezných rychlostech a středních až velkých průřezích třísky	U3	HU30	-	-	-	S6

Tab. 4. Výběr slinutých karbidů pro obrábění titanu /dle /1//

2.7.3. Diamanty pro obrábění titanu

V současnosti se při obrábění titanových slitin stále více používají diamantové materiály. Diamanty, ať už přírodní nebo syntetické, jsou nejtvrdší ze všech dosud známých látek. Přírodní diamanty mají různé vlastnosti v různých směrech krystalických os, naproti tomu vlastnosti syntetických diamantů jsou konstantní. Při používání diamantových materiálů je limitní jejich křehkost, za normálních teplot je chemicky netečný, při vyšších teplotách chemicky reaguje s kyslíkem, železem aj.

Diamantové nástroje se vesměs používají jako brusivo. Jako nástroje s definovaným břitem se používají jen pro jemné obrábění a to soustružení a frézování.

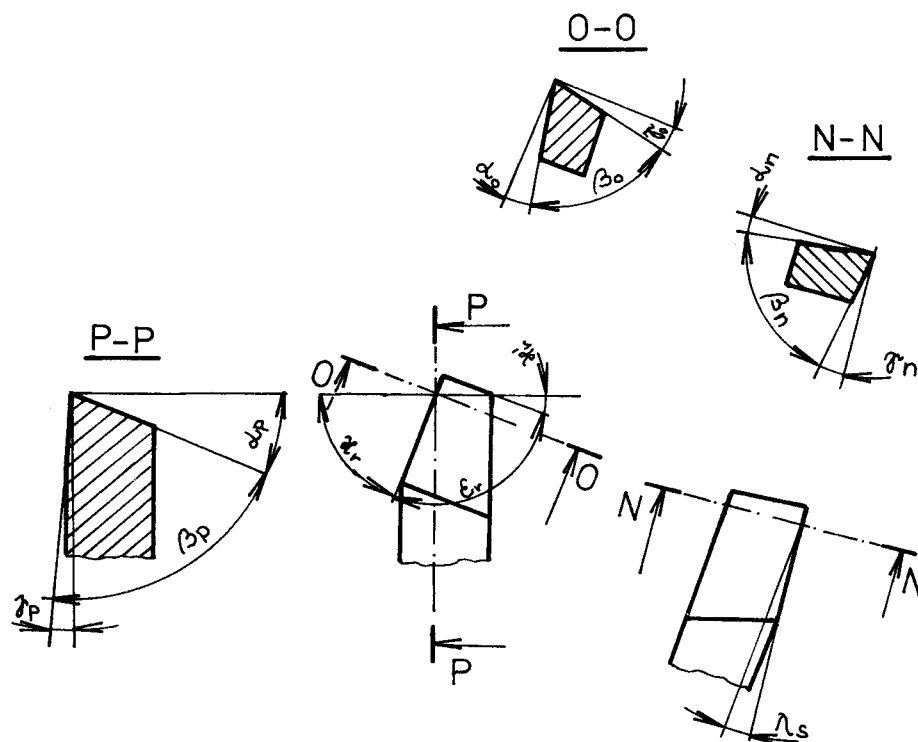
Syntetické materiály na bázi diamantu - BALLAS, KARBONADO, COM-PAX a MEGADIAMOND se vyrábí sťlačováním zrn syntetického diamantu za vysokého tlaku /7000 MPa/ a teplot do 2000°C.

Ve strojírenství se nejvíce používají syntetické polykristaly diamantu typu KARBONADO, které převyšuje ostatní nástrojové materiály v modulu pružnosti více než 2x, tvrdostí 3 až 5 krát, tepelnou vodivostí 5 - 6 krát a tyto vlastnosti vyhovují i těsně do vysokých teplot /dle /7/ /.

2.7.4. Doporučená geometrie nástrojů pro obrábění titanových slitin

Na nástroje pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů jsou kladeny určité požadavky a to:

- dostatečná pevnost řezného klínu
- klidný průběh řezání bez chvění
- maximální trvanlivost nástroje při minimálním opotřebení
- minimální spotřeba energie a výhodný poměr složek řezných sil
- technologické požadavky na přesnost a jakost obroběného povrchu



Obr. 1. Základní geometrie nástrojů

Protože téma diplomové práce je zaměřeno na soustružení titanových slitin, bude v dalším používáno jen údajů pro soustružnické nože

a soustružení vůbec.

Řezný materiál	α_0	β_0	γ	λ_s
Nože se slinutým karbidem	4 až 6	74 až 76	10	* 0 až -4
Rychlořezné nože	8	66 až 74	8 až 16	0 až -4
Nože s břitem s DIA	**	84	**	**

* - pro přerušovaný řez možno volit až -10°

** - Nástroje s DIA se dodávají jako nože či nožové vložky. Pro Ti se používají s úhlem $\beta_0 = 84^\circ$

Tab. 5. Doporučená geometrie nožů pro obrábění titanových slitin

Úhel nastavení		Použití
α_r	α'_r	
45	45	Pro hrubování při větších průřezech třísky, při přerušovaném řezu, proměnlivé hloubce třísky, při soustružení lící kůry, okují, nálibků, pod.
70	20	Pro běžné hrubování a soustružení vnějších i vnitřních povrchů načisto
90	15	Pro hrubování a soustružení osazených hřídelů a děr načisto, málo tuhých hřídelů načisto

Tab. 6. Doporučené úhly nastavení /dle /1//

Pro rychlořezné nože se doporučuje dle /3/ brousit radius na noži $r_e = 1 \text{ mm}$. Negativní úhel čela pro soustružení titanových slitin není vhodný. Nedoporučují se též používat povlakové destičky. Příklady zapochovacího a upichovacího nože s DIA břitem je možno najít v /1/.

2.8. Chladičí a řezné kapaliny vhodné pro titan a slitiny

Při obrábění titanových slitin dochází vzhledem k malé tepelné vodivosti k vysokým teplotám řezání. Část vyvinutého tepla odvádí nástroj, část přechází do okolí, menší část do obrobku a třísek, větší část pak musí odvádět řezná kapalina. Kromě chladičího účinku má řezná kapalina i funkci mazací, účinek řezací a působení proti adhezi, omezuje vznik nárůstků a má i čistící účinek spojený s odvo-

dem třísek z místa řezu.

Pro titan a titanové slitiny se doporučují zejména: Akvol /2 až 2,5 %/, emulze z emulgačních olejů T nebo z emulgačního tuku, KATOL PP+B2 /3:1/ a KALOREX 100. Podrobněji o problematice pojednává /1/.

3. Soustružení titanu a jeho slitin

Pro titan a jeho slitiny je charakteristická nízká obrobitelnost. Soustružení však činí ze všech operací poměrně nejméně potíží. Řezné materiály pro soustružnické nože se volí dle tab. /3/ a /4/. Stále více nachází uplatnění i syntetický diamant, a to zejména na jemné soustružení. Přednostně se však používají nože se slinutým karbidem. Na destičkách se neostří negativní úhel čela. Pro soustružení titanových slitin se nedoporučují řezná keramika ani kubický nitrid bóru.

Geometrii volíme dle tab. /5/ a /6/ a vhodnou volbou geometrie se snažíme zabezpečit dle možností co největší zónu kontaktu s odřezávanou vrstvou. Toho lze dosáhnout volbou optimálního úhlu čela či zvětšeným radiusem nože.

Doporučuje se obrábět s přiměřeně malými řeznými rychlostmi a dle možnosti velkými posuvy. Pro lepší ochlazování nástroje a zvětšení jeho trvanlivosti při obrábění chladíme řeznou kapalinou obsahující přísady síry a chloru, s dodáváním kapaliny pod velkým tlakem.

Jednou ze základních podmínek pro obrábění titanových slitin je také vysoká tuhost soustavy SPID.

3.1. Soustružení povrchové vrstvy výkovků a odlitků

Titan je velmi aktivní chemický prvek. V procesu výroby výkovků či odlitků za podmínek vysokých teplot vzniká reakcí titanu s plyny obsaženými ve vzduchu povrchová vrstvička odlišných fyzikálně-mechanických vlastností, zejména se zvýšenou tvrdostí, sníženou plastičností, se zvýšenou křehkostí a změněnou strukturou.

Povrchová defektní vrstvička se obvykle odstraňuje soustružením či frézováním. Tyto operace jsou spojeny s největšími potížemi. Místo styku nástroje a třísky se v důsledku vysoké tvrdosti vrstvičky, převyšující tvrdost základního materiálu, zmenšuje. Zvyšuje se charakter opotřebení nástrojů na čele i na hřbetě, je možno pozorovat vydroleniny na řezné hraně nástroje. Před vlastním mechanickým opracováním se proto obvykle provádí otryskávání polotovarů pískem pro odstranění okují a chemické opracování, které ulehčuje následné me-

chanické opracování neobrobených ploch polotovarů. Chemické opracování - leptání - se provádí při teplotách 20 - 30°C v leptadle o složení: 16 % kyseliny dusičné, 5 % kyseliny fluorovodíkové a zbytek 79 % vody. Po získání kovově čistého lesku se leptání ukončí a obrobek se vymývá ve vodě. Předběžným otryskáváním či leptáním se dá dosáhnout až trojnásobně trvanlivosti nástroje.

3.2. Řezné podmínky pro soustružení

Veličiny omezující velikost strojního času při obrábění lze souhrnně označit jako řezné podmínky. Jsou to řezná rychlost, posuv a hloubka řezu.

Řezná rychlost v je vlastně obvodová rychlost na povrchu součásti, na němž pracuje nástroje a je dána vztahem

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ /m} \cdot \text{min}^{-1} \text{/}$$

kde D /mm/ je soustružený průměr a n /min⁻¹/ jsou otáčky obrobku. Dle /1/ se doporučuje volit řeznou rychlost pro soustružení titanových slitin $v_c = 35$ až 55 /m.min⁻¹/ (podle /3/ až 70 /m.Min⁻¹/). Hodnoty jsou vhodné pro nože s destičkami s SK.

Vliv na velikost řezné rychlosti má i procentuelní obsah hliníku a kyslíku v titanových slitinách, což lze vyjádřit koeficientem dle tab. /7/.

% Al	4	5	6	7
k_v'	1,00	0,87	0,78	0,72
% O ₂	0,3	0,4	0,5	0,6
k_v'	1,0	0,64	0,43	0,32

Tab. 7. Opravné koeficienty na řeznou rychlost / k_v' /

Posuv, tj. pohyb nástroje do záběru se označuje s /mm.ot⁻¹/ a pro soustružení titanových slitin je doporučováno dle /3/ volit $s = 0,1$ až $0,2$ /mm.ot⁻¹/ . Protože u titanových slitin dochází ke zpěvnění obrobeného povrchu, je minimální posuv limitován požadavkem minimální tloušťky b , která musí být větší než $0,1$ mm. Pro výpočet tloušťky třísky z posuvu lez užít vztah:

$$b = s \cdot \sin \alpha_r$$

kde α_r je úhel nastavení.

Hloubka řezu h /mm/ je většinou dána maximálním výkonem stroje,

požadavkem na kvalitu obrobeného povrchu i na trvanlivost nástroje. Pro dokončovací práce se volí hloubka řezu $h = 0,1$ až 1 mm .

3. 3. Zásady bezpečnosti při soustružení titanových slitin

Jelikož se titan vyznačuje vysokou chemickou aktivitou, je třeba dodržovat při jeho opracovávání určité bezpečnostní předpisy. Titan se lehce slučuje s kyslíkem, s kyslíčníky železa a s dusíkem, v jehož atmosféře hoří. Pro tenkou třísku se teplota hoření ve vzduchu pohybuje mezi 700 až 800°C , pro prachovou mezi 300 až 600°C , přičemž u prachu titanu je i nebezpečí výbuchu. To lze vysvětlit tím, že titan rozkládá vodní páry a vylučující se vodík představuje spolu s kyslíkem z okolního vzduchu výbušnou směs. Titanový prášek je též škodlivý pro lidský organismus.

Vzhledem k bezpečnostním požárním předpisům se doporučuje pracovat s řeznou rychlostí menší než $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, s posuvem menším než $0,66 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ a též opotřebení na hřbetě nože by mělo být menší než 1 mm . Pro hasení případného požáru by na pracovišti měly být bedny s pískem.

4. Vliv obrábění na charakter obrobeného povrchu

4.1. Deformace obrobeného povrchu

V důsledku relativního pohybu nástroje proti obrobku vznikají deformace nejen v odřezané vrstvě materiálu, ale též na obrobené ploše a řezu. Deformace povrchové vrstvy je způsobena zejména nedokonalým tvarem řezné hrany nástroje, ostří nástroje, ostří nástroje totiž není ideální přímka, ale zpravidla část válcové plochy o poloměru 5 až $20 \mu\text{m}$. V důsledku toho působí mezi hřbetem nástroje a obrobenou plochou určitá síla, která vyvolává při pohybu nástroje určité napětí a plastickou deformaci v povrchových vrstvách obrobené plochy. Tato plastická deformace probíhá při teplotě značně nižší, než je teplota rekrytalizační, z čehož plyne, že efekt zpevnění převažuje nad zotavením. Vzniklá zpevněná povrchová vrstva má vyšší mechanické vlastnosti než základní materiál. Proto se jako míra zpevnění nejčastěji užívá mikrotvrdosti povrchové vrstvy.

Hloubka a intenzita zpevnění závisí na vlastnostech obráběného materiálu a na podmínkách deformace, tj. na řezných podmínkách a na geometrických parametrech nástroje. Zvyšováním řezné rychlosti se hloubka a intenzita zpevnění zmenšuje, naopak se zvyšováním posuvu se zvyšuje. Roste-li úhel hřbetu α_0 , klesá intenzita a hloubka zpevnění, oproti tomu zvětšování úhlu β_0 a γ_0 a poloměru ostří r_0 má za následek

zvýšení mikrotvrdosti povrchové vrstvy obrobku. Větší zpevnění obrobene-
né plochy je i při soustružení otupeným nástrojem.

Zpevnění povrchové vrstvy obrobene plochy má značný vliv na povr-
chové vlastnosti obrobku. Mikrotvrdost je v povrchové vrstvě různě
rozložena, což je spjato s vlastnostmi povrchové vrstvy. Vysoce zpev-
něná vrstva, soudržná se základním materiálem, zvyšuje odolnost sou-
části opotřebení a proti korozi.

4. 2. Kvalita povrchu soustružených titanových slitin

Na čistotu a drsnost povrchu součástí z titanových slitin jsou
kladeny vysoké nároky, protože jsou citlivé na koncentraci napětí a
vruby snižují jejich pevnost.

Na výslednou kvalitu obrobeneho povrchu mají vliv jak řezné pod-
mínky, tak i geometrie nástroje. Při používání nožů s destičkami s SK
je vhodné docilovat vysokou jakost povrchu na řezných břitech. K zís-
kání povrchu s minimální drsností je vhodné pracovat s vyššími řezný-
mi rychlostmi, $v = 50 - 70 \text{ m/min}$, dále s malými posuvy, $s = 0,1 - 0,2$
mm a hloubkou řezu $h = 0,1 - 1,0 \text{ mm}$.

Velký vliv na drsnost povrchu má i nárůstek. Spolu se vznikem
nárůstku mění se i geometrie nástroje a zvětšuje se tloušťka odřezá-
vané vrstvy. Při periodickém rozrušování nárůstku jeho část ulpívá na
obrobene ploše s tím se zhoršuje drsnost obrobku. Stálé vznikání ná-
růstku a jeho následné rozrušení může vést též k rozkmitání soustavy
SPID, což má za následek nejen zhoršení povrchu obrobku, ale i větší
otupení nástroje a větší namáhání soustavy SPID. Dostatečně tuhá sous-
tava SPID je tedy dalším předpokladem získání kvalitního obrobeneho
povrchu.

Velmi vysoké kvality povrchu v širokém rozsahu režimů soustružení
načisto se dosahuje při soustružení titanových slitin diamantovými ma-
teriály. Dle [7] jsou doporučovány, pro získání optimální drsnosti
 $R_a = 0,4 \div 0,5 \mu\text{m}$ / řezné podmínky: $v = 80 \text{ až } 90 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $s = 0,05 \div$
 $0,07 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$, $h = 0,2 \text{ až } 0,4 \text{ mm}$.

5. Metodika měření sil, teplot, drsnosti a mikrotvrdosti při soustruže- ní

5.1. Měření řezných sil

5.1.1. Nepřímé měření řezných sil

Velikost řezných sil vyvolaných procesem řezání, je v podstatě

možno určit buď měřením přímým nebo nepřímým.

Při měření nepřímém měříme výkon nebo krouticí moment na vřetení obráběcího stroje a z toho pak vypočteme hlavní složku řezné síly. Celkový výkon je dán vztahem:

$$P = P_c + P_f + P_p \quad /W/$$

kde P_c ... výkon potřebný pro hlavní řezných pohyb

P_f ... výkon potřebný pro posuv

P_p ... výkon potřebný pro přísuv

z dalšího vztahu

$$P = F \cdot v_e \quad /W/$$

kde F ... výsledná řezná síla

v_e ... výsledná řezná rychlost

lze rozepsáním dostat vztah pro jednotlivé složky řezné síly

$$P = F_c \cdot v_c + F_f \cdot v_f + F_p \cdot v_p \quad /W/$$

kde F_c, F_f, F_p ... složky výsledné řezné síly

v_c řezná rychlost

v_f rychlost posuvu

v_p rychlost přísuvu

Pro neznámé složky řezné síly pak platí vztah pro $\alpha_r = 45^\circ$

$$F_c : F_f : F_p = 1 : 0,25 : 0,4$$

Při výpočtech můžeme složky $F_f \cdot v_f$ a $F_p \cdot v_p$ z předešlého vztahu rovny nule a pak získáme hledanou velikost řezné síly ze vztahu:

$$F_c = \frac{P}{v_c} \quad /N/$$

Potřebnou velikost výkonu určíme jako rozdíl příkonu P_1 a "výkonu na prázdno" P_0 .

$$P = P_1 - P_0 \quad /W/$$

5.1.2. Přímé měření řezných sil

Všeobecně je však měření řezných sil nepřímým způsobem nepřesné. Používá se ho pouze v průmyslové praxi. Chceme-li dosáhnout přesnějších výsledků, provádíme měření přímým způsobem a to dynamometry.

Princip měření řezných sil dynamometry je založen buď na měření deformace nástroje nebo častěji na měření deformací měrných elementů spojených s nástrojem. Deformace při tom musí být uměrný zatěžující síle a nesmí překročit mez pružnosti.

Pro měření řezných sil lze užit dynamometry buď mechanické, hydraulické, pneumatické či elektrické. Dle konstrukčního provedení hodnotíme dynamometry z několika hledisek jako např.

- rozsah měření, určený minimální a maximální silou, kterou lze daným dynamometrem změřit. Zvyšování rozsahu snižuje citlivost dynamometru
- přesnost měření, která je dána vztahem:

$$\Delta_r = \frac{\Delta_m - \Delta_s}{\Delta_s}$$

kde Δ_r relativní nepřesnost,

Δ_m naměřená hodnota,

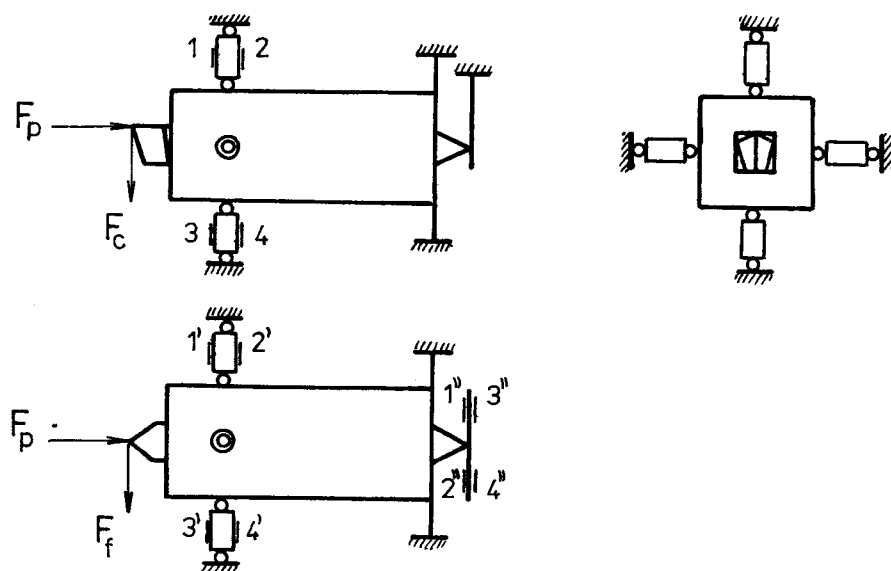
Δ_s skutečná hodnota.

Dosahuje se přesnosti 1 až 10 % s požadavkem přesnosti měřícího přístroje v mezích 0,2 až 3 %.

- stabilita a způsob cejchování, tj. požadavek, aby se neměnila tuhost a citlivost dynamometru s časem a požadavek na jednoduché cejchovací zařízení
- citlivost a setrvačnost měřícího zařízení. V zásadě požadujeme co nejcitlivější zařízení s co nejmenší setrvačností.
- statická a dynamická tuhost, aby dynamometr neovlivnil výsledky měření

5.1.2.1. Universální soustružnický dynamometr

Pro měření velikosti řezných sil při soustružení titanových slitin bude použit universální soustružnický dynamometr zkonstruovaný na VŠST v Liberci, jehož konstrukční uspořádání je schematicky znázorněno na obr. 2.



Obr. 2. Universální soustružnický dynamometr

Z obrázku je zřejmé rozmístění tenzometrických silových snímačů a tenzometrů.

Nožový držák je podepřen čtyřmi silovými snímači a držen pružnou ve tvaru kříže. Při namáhání se těleso může pohybovat, ale nemůže se otáčet. Tenzometrické silové snímače se skládají z válečku /dutého/, na kterém jsou nalepeny tenzometry, které v důsledku zatěžování /spjatím se změnou délky/ mění svůj odpor, dále z měděné folie a přírub, které stalčují váleček přes ocelové kuličky. Změna odporu se měří můstkem a je úměrná velikosti řezné síly. Dynamometr měří najednou všechny 3 složky řezné síly: F_p , F_f a F_c .

5. 2. Měření teplot při soustružení

Řezné materiály si uchovávají svou řezivost jen do určitých teplot. Pro rychlořezné oceli je to přibližně 600°C , pro slinutý karbid zhruba 900°C . Z tohoto důvodu je třeba sledovat velikost a průběh teplot vznikajících při soustružení titanu, protože mohou dosahovat až 1200°C .

Teploty lez měřit buďto bezdotykově, ale více se používá dotykové /konduktivní metody/. Nejvíce rozšířené jsou zejména termočlánky. Pomocí nich lze při obrábění určovat teplotu řezání a teplotní pole obrobku a nástroje. Princip termočlánku je založen na změně velikosti termoelektrické síly v závislosti na změně teploty teplého spoje termočlánku. Teplota studeného spoje je udržována konstantní, zpravidla 0°C .

Termočlánky jsou buďto přirozené, poloumělé nebo umělé. Umělé a poloumělé používáme pro měření teplotního pole třísky, nástroje a obrobku, přirozené pro určení teploty řezání.

Umělé termočlánky jsou zpravidla umístěny v místě největších teplot. Jako dvojice kovů se pro ně používají železo-kobalt, měď - kobalt, platina - rhodium platina, nikl hrom - nikl aj.

Velmi dobře se dá stanovit teplotní pole použitím termofilních vosků a barev, jimiž určíme rychle a bez poškození nástroje či obrobku celé izotermy.

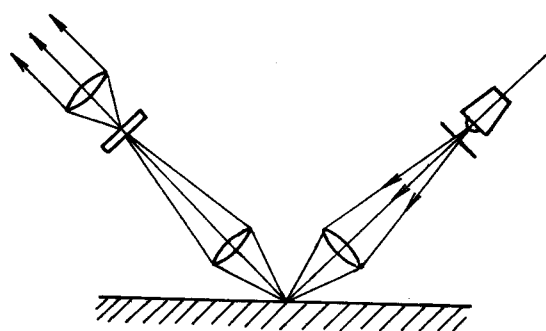
5. 3. Měření drsnosti povrchu

Jako kvantitativní ukazatel pro hodnocení drsnosti povrchu se v technické praxi užívá střední aritmetická úchylka nerovnosti R_a .

. Drsnost lze však hodnotit i kvantitativně či integrálně.

Při kvalitativním hodnocení nezískáme konkrétní hodnoty, ale obrobený povrch porovnáme s určitým etalonem zda je v určitých mezích.

Oproti tomu kvantitativní hodnocení dává konkrétní hodnotu drsnosti obrobeného povrchu. Jednou z metod měření je Metoda světelného řezu /obr. 3/. Paprsky ze světelného zdroje prochází štěrbinou, která pomocí objektivu vytváří světelnou rovinu a to se promítá pod úhlem 45° na drsný povrch. Světelnou stopu, zvlněnou dle nerovností povrchu, pozorujeme v mikroskopu, jehož osa je kolmá k rovině světelné. V okuláru pak můžeme odečíst hodnoty maximální výšky nerovností R_{max} i střední úchylku R_a . Metodou lze měřit drsnost od 0,5 do 50 .



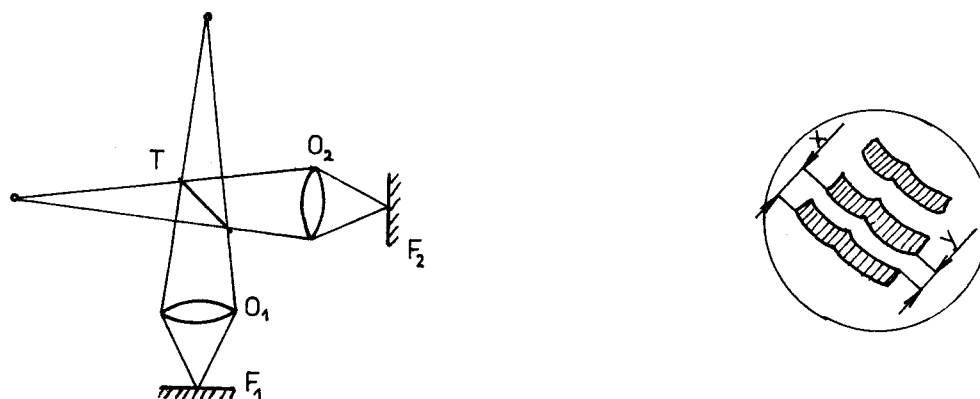
Obr. 3. Metoda světelného řezu

Jiný způsob měření drsnosti je měření dotykovými profilometry a profilografy. Profilografy registrují profil povrchu tak, že zvětšení kolmo na povrch je mnohonásobně větší než zvětšení podélné, aby profilogram nebyl příliš dlouhý. Profilometry integrují pohyb dotykového hrotu a ukazují jej na číselníkových ukazatelích jako R_a nebo R_q /střední kvadratická odchylka/. Obvykle jsou profilografy a profilometry spojeny v jeden přístroj.

Jako nejpřesnější se jeví interferenční metoda. Používá se u povrchů vyrobených dokončovacími způsoby obrábění. Používá se většinou zeleného světla / $\lambda = 0,00054 \text{ mm}$ /, které dopadá na polopropustné zrcátko /obr. 4/. Část paprsku prochází objektivem O_2 , dopadá na výkyně uložené zrcadlo F_2 a vrací se zpět k polopropustnému zrcadlu. Druhá část paprsku se odráží od zrcadla, prochází objektivem O_1 a odráží se od měřeného povrchu zpět. Na polopropustném zrcátku se pozorují proužky, vzniklé jejich interferencí. Hodnota x je rovna $1/2$ a y je maximální výška zvlněného interferenčního paprsku.

Drsnost je pak dána vztahem

$$R = \frac{y}{x} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad [\mu\text{m}]$$



Obr. 4. Schéma zapojení a pohled do okuáru při interferenční metodě

Integrálním měřením se posuzuje drsnost povrchu podle působení povrchu na určitý jev. Odlesková a fotometrická metoda posuzuje opracování povrchu podle jasnosti a intenzity odráženého světla. Kapacitní metoda zase využívá změny kapacity deskového kondenzátoru, kde zkoumaný povrch tvoří jednu část, druhá deska je z kovově lesklého materiálu a dielektrikum tvoří keramický povlak na této desce. Za zmínku stojí také metoda pneumaticko-komparační a metoda měření nosného podílu.

5.4. Měření mikrotvrdosti zpevněné vrstvy

Proměřování mikrotvrdosti na povrchu obrobené plochy a na šikmém řezu, vedeném pod úhlem asi 10° , lze stanovit hloubku a intenzitu zpevnění povrchové vrstvy, vzniklé při soustružení titanových slitin. Pro určování mikrotvrdosti musí být povrch zpracován stejně jako pro metalografický výbrus. Aby deformace při zhotovení šikmého řezu podstatně neovlivnily výsledné zpevnění proměřovaného povrchu, upravuje se povrch zpravidla elektrochemickým broušením, či chemickým leštěním.

Pro zkoušku mikrotvrdosti se používá jen vnikací metoda s diamantovým indektorem. Prakticky se používá pouze metoda Vickersova a Knoopova, avšak s o mnoho mešním zatížením. Používá se zatížení od $9,0 \cdot 10^{-3}$ do $49 \cdot 10^{-1}$ N odstupňovanou po deseti stupních. Jednou z nejpresnějších konstrukcí je u nás mikrotvrdoměr Hanemannův.

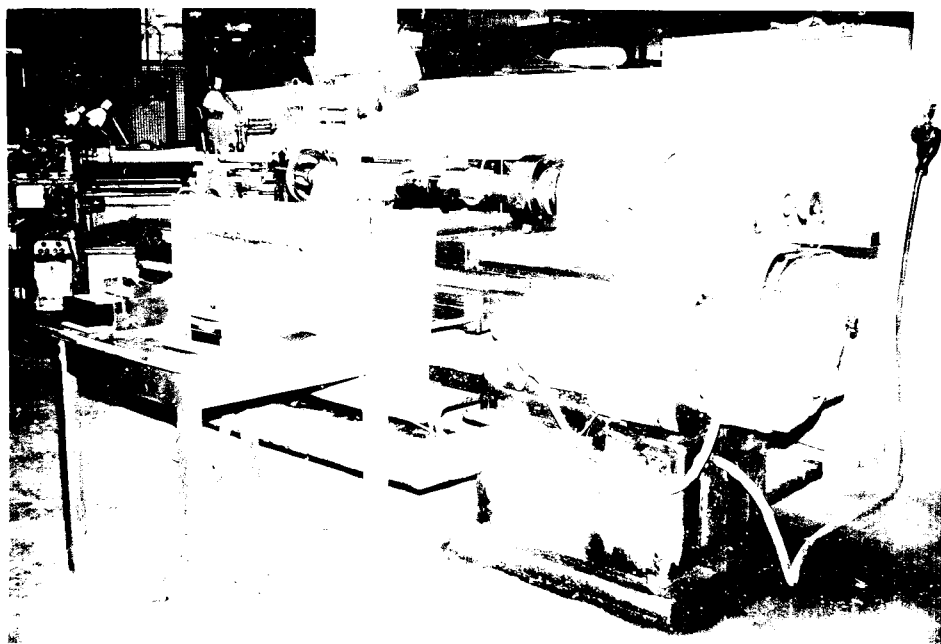
Hodnota mikrotvrdosti se značí HV a závisí od velikosti použitého

zatížení, kvality povrchu, přesnosti odečítání, rozměru vtisku ap. Proto se za hodnotou HV doplňují údaje o velikosti a čase zatížení. Dle velikosti vtlačení indektoru používáme pro měření vtisku zvětšení 200 až 400 - násobné.

6. Příprava a výsledky měření

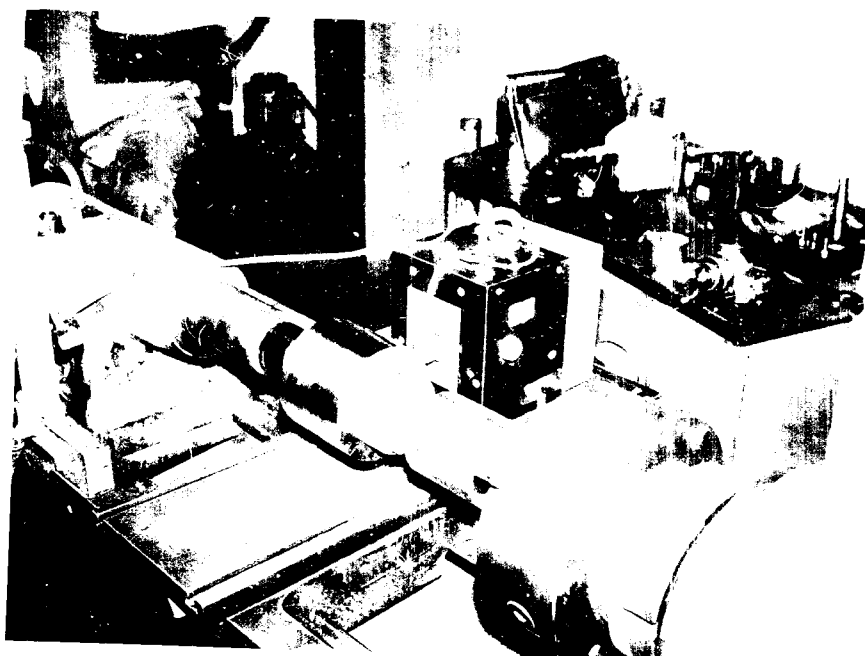
6.1. Příprava pracoviště, pomůcky a měřicí přístroje použití při měření

Měření bylo provedeno na soustruhu Su 50/1500. Při měření byly za různých řezných podmínek zaznamenány 3 složky řezné síly: F_c , F_f , F_p , dále teploty naměřené přirozeným i vestavěným termočlánkem a zároveň byla naměřena drsnost obrobeného povrchu titanu. Uspořádání pracoviště je zřejmé z obr. 4.



Obr. 5. Celkový pohled na pracoviště

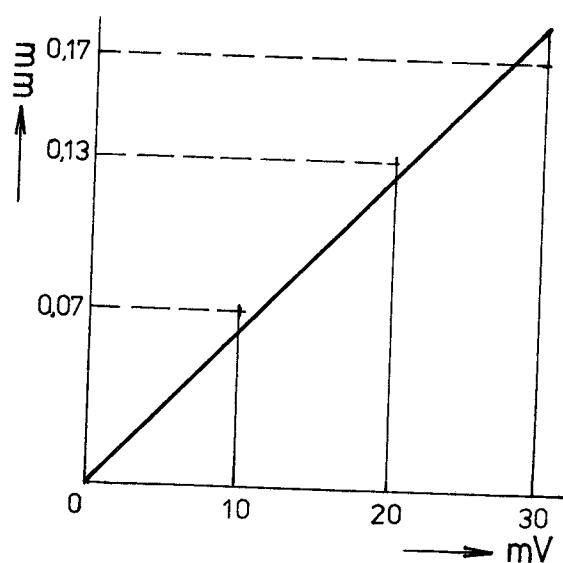
Pro snímání složek řezné síly byl použit dynamometr popsany v kap.5.1.2.1. Velikosti jednotlivých složek byly odečítány v mV z přístrojů připojených na tenzometrickou aparaturu TDA -3.



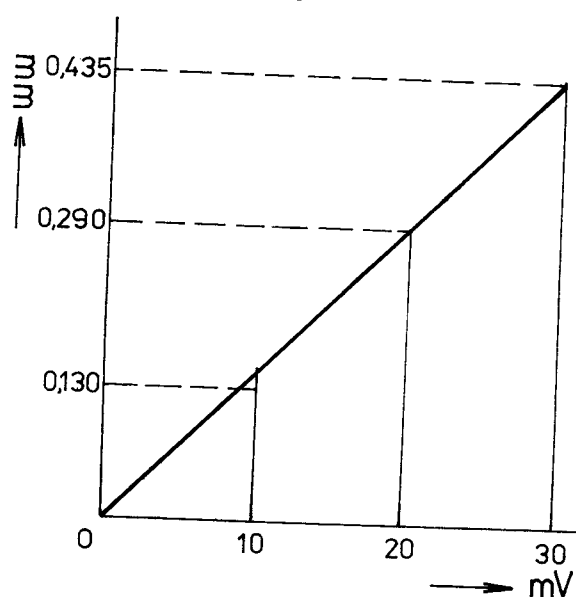
Obr. 6. Dynamometr s nástrojem

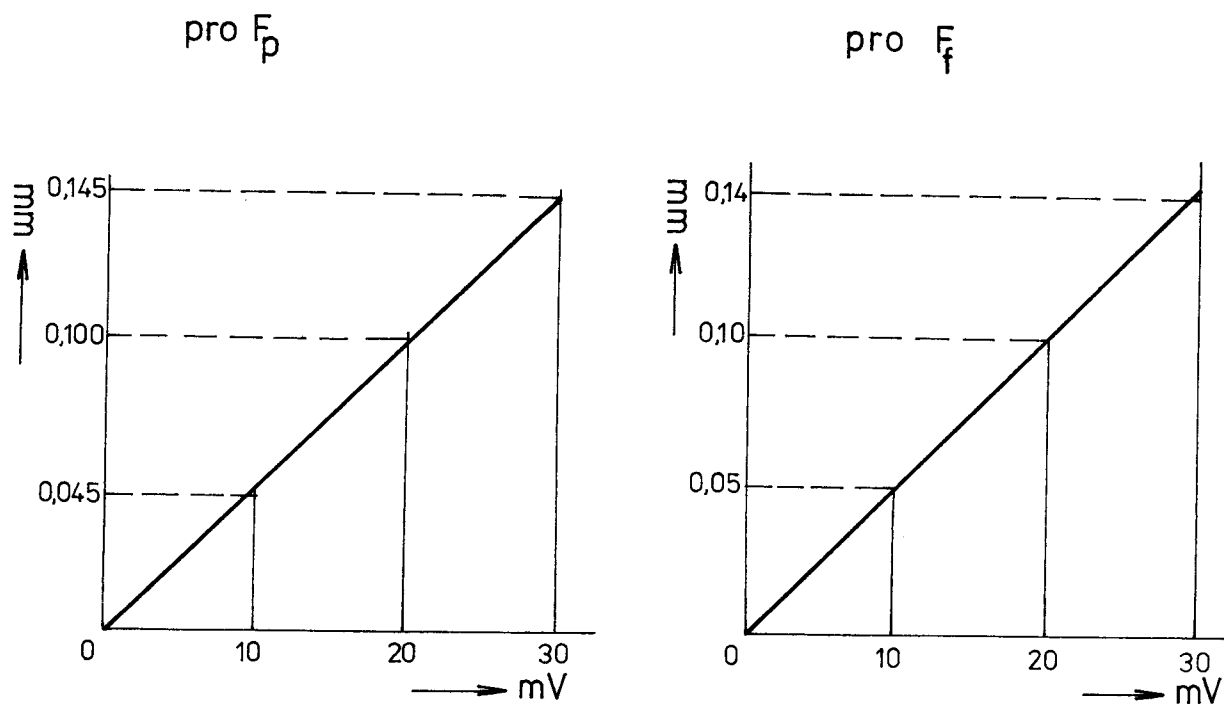
Cejchování dynamometru bylo provedeno cejchovacím třmenem s konstatnou $10 \text{ KN} \sim 1,92 \text{ mm}$. Na obr. jsou uvedeny cejchovací křivky pro jednotlivé složky řezné síly:

pro F_C ($k=0,5$)



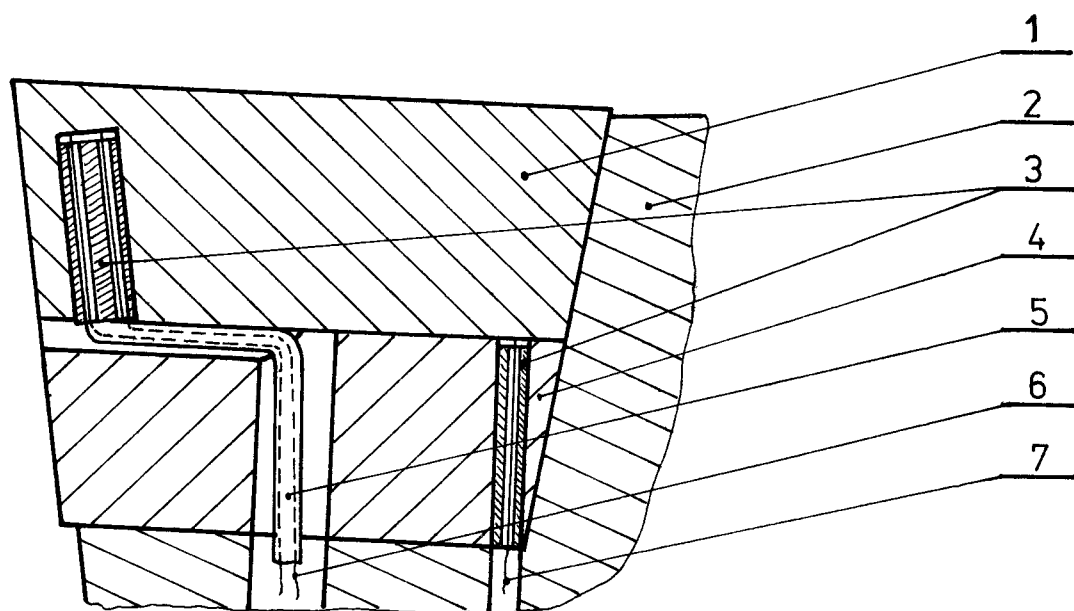
pro F_C ($k=1,25$)





Obr. 7. Cejchovací křivky složek řezné síly

Jako nástroj byl použit pravý přímý uběrák 25x25, PN 223850.2 s úhlem nastavení $\alpha_r = 75^\circ$. Vyměnitelná destička byla použita H 10 SP6N 120308 s rádiusem $r_e = 0,8$ mm. Nůž včetně destičky byl upraven pro zavedení termočlánků, jak je zřejmé z obr.8.

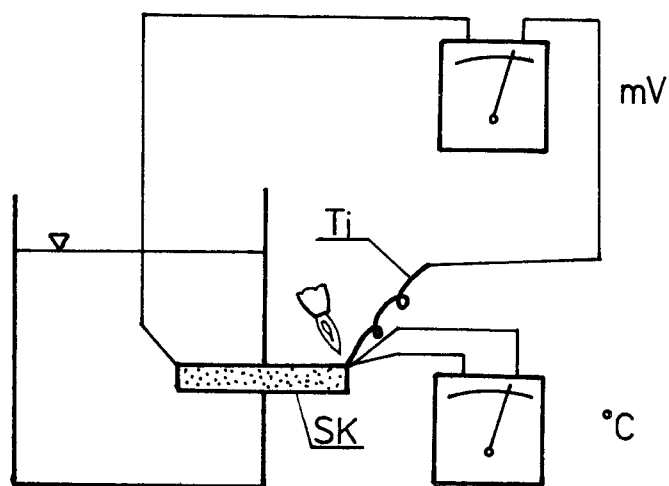


- 1...destička z SK
- 2...těleso nože
- 3...keramické kapiláry
- 4...podpěrná destička
- 5...silikonová izolace
- 6...NiCr-Ni termočlánek
- 7...vodič přirozeného termočládku

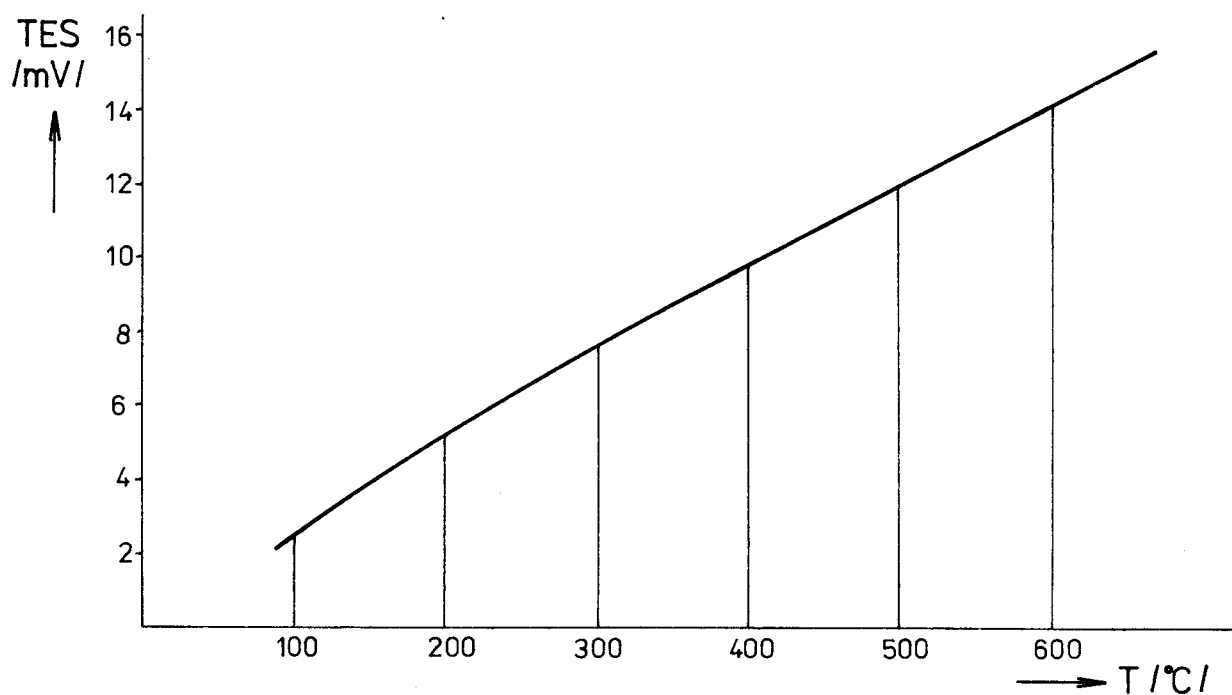
Obr.8. Úprava soustružnického nože

Pro snímání teplot byl použit NiCr-Ni termočlánek vestavěný do špičky nástroje, jehož hodnoty byly odečítány na milivoltmetru se stupnicí ocejchovanou ve $^{\circ}\text{C}$. Pro přirozený termočlánek jsme využili vznikající termoelektrické síly mezi titanem a destičkou ze SK, na které byl připojen vodič z Ni. Obrobek byl odizolován jak nevodivým upnutím v univerzálním sklíčidle, tak i odizolováním hrotu koníka, kterým byl obrobek podepřen. Pro přenos napětí z otáčejícího se obrobku byl použit rtuťový přenašeč. Pro lepší zpřístupnění byl vzorek titanové slitiny připevněn na přípravek, jak je patrné z obr.6.

Hodnoty termoelektrické síly byly odečítány na milivoltmetru. Pro ocejchování sloužila křivka dle obr.10., získaná ocejchováním na zařízení dle obr.9.

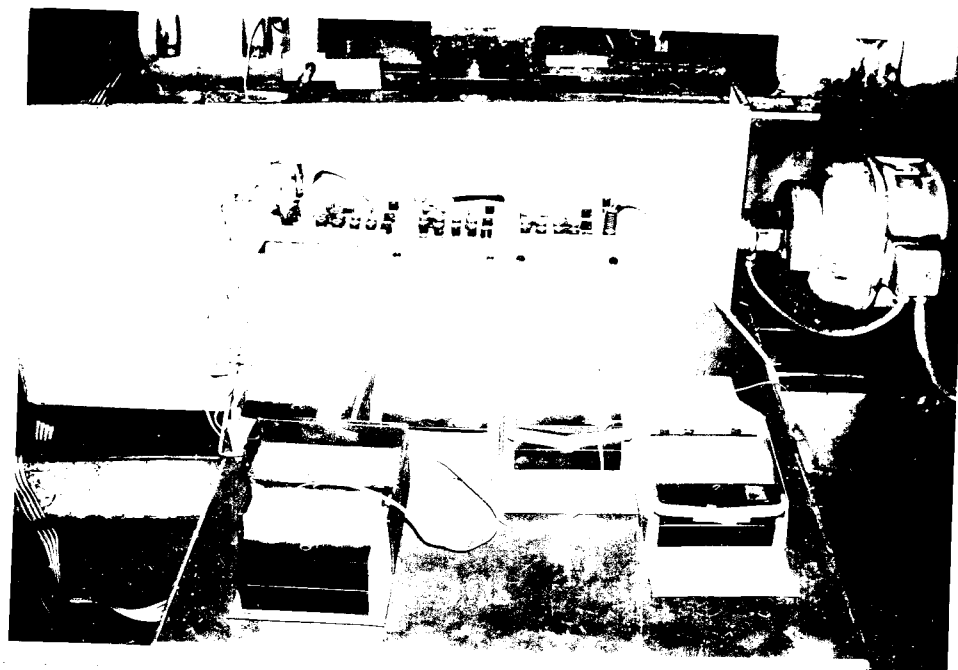


Obr. 9. Cejchování přirozeného termočlánu



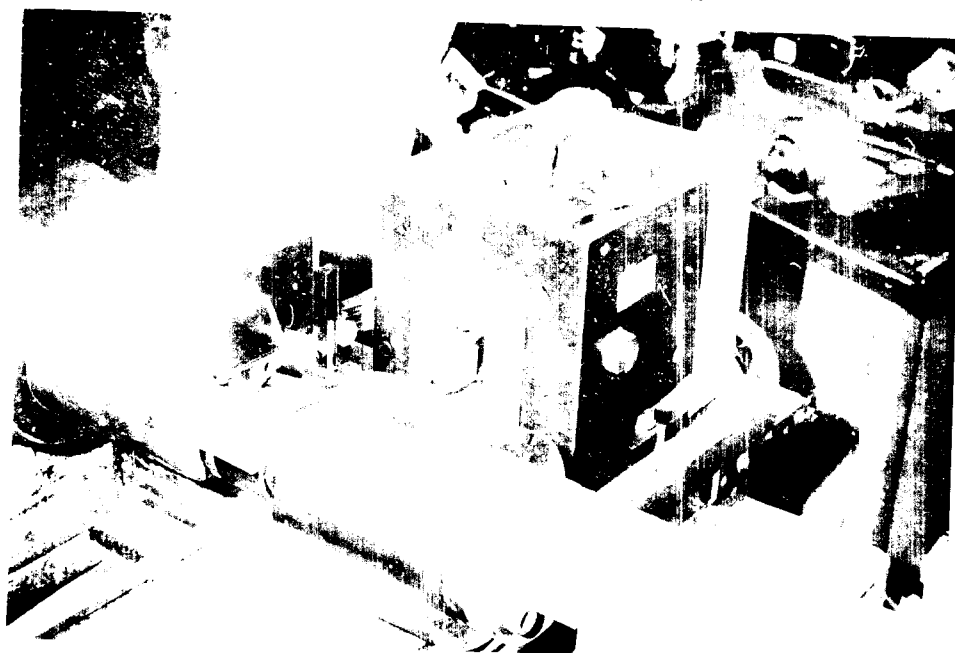
Obr.10. Cejchovací křivka pro přirozený termočlánek

Celkové uspořádání jednotlivých měřících přístrojů včetně tenzometrické aparatury TDA - 3 je na obr.11.



Obr. 11. Zapojení měřících přístrojů

Drsnost povrchu vzorku byla měřena přímo na stroji pro jednotlivé řezné podmínky drsnoměrem fy Taylor - Hoysen SURTRONIC, kde byly přímo odečítány z displaye hodnoty drsnosti R_a a R_{max}



Obr. 12. Drsnoměr SURTRONIC

6.2. Tabulky naměřených hodnot, grafické zpracování a zhodnocení měření.

Vlastní měření bylo provedeno při hloubkách řezu $h=0,2; 0,5; 1,0;$ a $2,0$ mm a posuvech $s=0,051; 0,10; 0,15; 0,20; 0,24$ mm.ot⁻¹ pro 3 velikosti řezné síly. Postupovalo se od nejnižších řezných podmínek / nejnižší hloubky řezu / k nejvyšším. Výsledky měření jsou vedeny v tabulkách 8-19 a graficky zpracovány v grafech č. 1-11. Vypočtené hodnoty pro výslednou řeznou sílu dle vztahu

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad /N/$$

a pro řezný odpor dle vztahu

$$P = \frac{F_c}{s \cdot h} \quad /MPa/$$

jsou uvedeny též v příslušných tabulkách.

Při měření vystupovala nejvýše složka řezné síly F_c , pak složka F_p a nakonec F_f . S hloubkou řezu se však začala složka F_f vyrovnávat a nakonec převýšila složku F_p . Složka F_c se s rostoucí řeznou rychlostí pro stejné posuvy a hloubky řezu zmenšovala. Obecně můžeme říct, že nedocházelo k extrémně vysokým hodnotám u žádné ze složek, s výjimkou okamžiku porušení nástroje. Řezný odpor klesal se zvyšujícím se posuvem.

Z důvodu měření teplot bylo soustružení provedeno bez přívodu chladicí kapaliny. Na vzorku nebylo pozorováno výrazné zvýšení teploty, odcházející třísky se ohřívaly jen při vyšší hloubce řezu a vyšší řezné rychlosti. Při malých řezných rychlostech byly třísky plynulé, zvyšováním řezných podmínek docházelo k typické spirálovitosti až k segmentaci odcházející třísky. Tvar třísek pro různé řezné rychlosti je patrný z obr. 13, 14 a 15.

Oproti nepatrnému zvýšení teploty obrobku docházelo k výraznému ohřívání řezného nástroje, teploty se blížily k 700°C. Teplo vznikající v procesu obrábění byl řezný nástroj schopen odvádět jen při minimální hloubce řezu. Při větších rychlostech a větších hloubkách řezu docházelo k jeho nadměrnému tepelnému namáhání. To patrně spolu s namáháním mechanickým a s otěrem vedlo k výraznému odření destičky, což se projevilo zejména nadměrným zvýšením složek řezné síly F_p a F_f . Níž se porušil poprvé při hloubce řezu $h=1,0$ mm, posuvu $s=0,24$ mm.ot⁻¹ a řezné rychlosti $v=58,5$ m.min⁻¹; podruhé při $h=2,0$ mm, $s=0,20$ mm.ot⁻¹ a $v=55,8$ m.min⁻¹.

Tab.11. $v = 24,1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $h = 0,2 \text{ mm}$

S /mm.ot/	Fc /N/	Ff /N/	Fp /N/	F /N/	P /MPa/	T _{pr} /°C/	T _{vest} /°C/	Ra /μm/	Rmax /μm/
0,05	68,36	19,81	56,96	91,16	6702,0	185	75	0,63	3,95
0,10	92,13	19,81	64,39	114,13	4606,5	230	95	0,62	4,25
0,15	133,74	24,77	64,39	150,49	4458,0	245	110	1,17	6,71
0,20	139,69	24,77	71,30	160,15	3492,3	280	120	2,12	10,08
0,24	154,55	24,74	89,16	180,14	3219,8	290	130	2,96	13,47

Tab. 12. $v = 38,7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $h = 0,2 \text{ mm}$

S /mm.ot/	Fc /N/	Ff /N/	Fp /N/	F /N/	P /MPa/	Tpř /°C/	Tvest /°C/	Ra / μm /	Rmax / μm /
0,05	68,36	22,29	59,44	93,29	6702,0	260	105	0,56	3,51
0,10	101,05	37,15	79,25	133,69	5052,5	285	120	0,63	4,34
0,15	109,97	47,06	89,16	149,19	3665,7	330	130	1,23	6,63
0,20	112,99	52,01	94,11	155,94	2823,5	370	135	2,08	10,0
0,24	115,91	54,49	104,02	165,00	2414,8	390	140	2,97	12,57

Tab. 13. $v = 60,33 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $h = 0,2 \text{ mm}$

S /mm.ot/	F _c /N/	F _f /N/	F _p /N/	F /N/	P /MPa/	T _{pž} /°C/	T _{vest} /°C/	R _a /μm/	R _{max} /μm/
0,05	56,75	24,71	56,96	83,94	5675,0	285	120	0,42	3,13
0,10	62,41	27,24	69,35	97,19	3120,5	410	140	0,60	4,70
0,15	83,22	27,24	71,82	113,25	2774	470	150	1,21	7,14
0,20	106,99	27,24	81,73	137,36	2674,8	525	160	1,97	10,43
0,24	112,94	27,24	84,21	143,49	2352,9	555	170	2,80	12,46

Tab. 14. $v = 23, 8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $h = 0,5 \text{ mm}$

S /mm.ot ⁻¹ /	F_c /N/	F_f /N/	F_p /N/	F /N/	P /MPa/	$T_{př}$ /°C/	T_{vest} /°C/	R_a / μm /	R_{max} / μm /
0,05	83,22	54,49	76,78	125,66	3328,8	245	110	0,53	3,44
0,10	130,77	61,92	86,68	168,67	2615,4	290	140	0,61	4,04
0,15	187,24	66,87	91,64	218,93	2496,5	330	160	1,14	6,22
0,20	216,96	69,35	104,02	250,40	2169,6	355	170	2,05	9,66
0,24	246,68	99,07	123,83	293,26	2055,7	375	180	2,96	12,87

Tab. 15. $v = 38,2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $h = 0,5 \text{ mm}$

S /mm.ot/	Fc /N/	Ff /N/	Fp /N/	F /N/	P /Mpa/	T _{pr} /°C/	T _{vest} /°C/	Ra /μm/	R _{max} /μm/
0,05	95,10	61,92	89,16	144,32	3804,0	335	145	0,53	4,02
0,10	139,69	79,25	101,54	190,01	2793,8	395	170	0,69	4,81
0,15	169,41	81,73	111,45	218,63	2258,8	410	180	1,20	5,44
0,20	178,32	84,21	118,88	230,26	1783,2	425	185	2,11	10,21
0,24	199,13	86,68	126,31	251,24	1659,4	445	190	2,89	12,32

Tab. 16. $v = 59,4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $h = 0,5 \text{ mm}$

S / mm.ot /	Fc / N /	Ff / N /	Fp / N /	F / N /	P / Mpa /	Tpř / °C /	Tvest / °C /	Ra / μm /	Rmax / μm /
0,05	77,27	56,44	86,68	129,34	3090,8	405	150	0,51	3,93
0,1	112,94	59,44	96,59	160,09	2258,8	470	170	0,63	4,49
0,15	139,69	64,39	101,54	184,31	1862,5	505	200	1,17	6,81
0,20	151,57	69,35	111,45	200,51	1515,7	535	225	1,82	9,07
0,24	157,52	81,73	120,78	219,27	1312,7	575	245	2,81	12,60

Tab. 17. $v = 23,4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $h = 1,0 \text{ mm}$

S /mm.ot ⁻¹ /	Fc /N/	Ff /N/	Fp /N/	F /N/	P /Mpa/	Tpř /°C/	Tvest /°C/	Ra /μm/	Rmax /μm/
0,05	148,60	133,74	128,79	237,81	2972,0	285	170	0,50	3,31
0,10	225,87	156,03	136,22	306,46	2258,7	335	200	0,78	5,49
0,15	285,31	173,32	158,51	369,57	1902,1	375	225	1,19	6,29
0,20	356,64	188,23	168,41	437,02	1783,2	390	245	1,99	9,72
0,24	419,06	203,09	185,75	501,36	1746,1	410	260	2,83	13,15

Tab. 18. $v = 37,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $h = 1,0 \text{ mm}$

S /mm.ot'/	Fc /N/	Ff /N/	Fp /N/	F /N/	P /MPa/	Tpř /°C/	Tvest /°C/	Ra /μm/	Rmax /μm/
0,05	145,63	183,28	151,08	278,61	2912,6	385	215	0,53	3,45
0,10	228,85	208,04	193,18	364,65	2288,5	440	250	0,68	4,65
0,15	291,26	215,47	200,61	414,13	1941,7	465	265	1,12	5,59
0,20	359,62	232,81	232,81	487,57	1798,1	505	275	1,94	9,36
0,24	425,00	235,29	235,29	539,77	1770,8	515	290	2,96	14,00

Tab. 19. $v = 58,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $h = 1,0 \text{ mm}$

S /min.ot./	Fc /N/	Ff /N/	Fp /N/	F /N/	p /Mpa/	TPř /°C/	Tvest /°C/	Ra /μm/	Rmax /μm/
0,05	184,27	183,28	141,17	295,76	3685,4	450	215	0,52	3,97
0,10	231,82	210,52	160,98	352,10	2318,2	515	255	0,78	4,78
0,15	297,20	220,43	168,41	406,55	1981,3	540	285	1,17	7,00
0,20	371,50	282,34	230,33	520,37	1857,5	605	325	1,94	10,01
0,24	došlo	k destrukci	destičky						

Tab. 20. $v = 22,3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $h = 2,0 \text{ mm}$

s /mm.ot ⁻¹ /	F_c /N/	F_f /N/	F_p /N/	F /N/	P /MPa/	$T_{př}$ /°C/	T_{vest} /°C/	R_a / μm /	R_{max} / μm /
0,05	323,37	225,85	169,28	429,26	3233,7	295	145	0,90	5,29
0,10	575,91	282,31	189,92	668,91	2879,6	355	160	1,24	7,64
0,15	634,42	328,56	205,31	743,37	2114,7	385	175	0,99	6,23
0,20	769,93	374,70	215,58	882,99	1924,8	410	185	1,51	10,61
0,24	909,31	405,50	261,78	1056,06	1956,9	435	195	2,45	14,96

Tab. 21. $v = 35,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $h = 2,0 \text{ mm}$

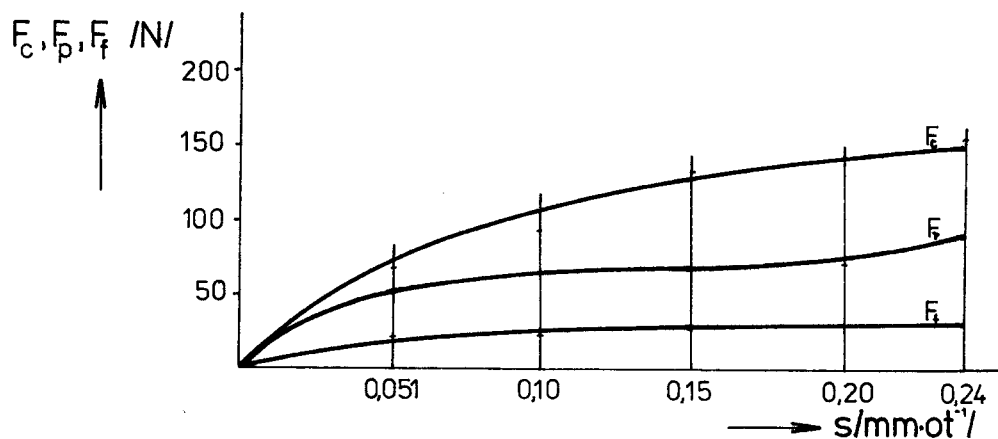
S /mm.ot ⁻¹ /	Fc /N/	Ff /N/	Fp /N/	F /N/	p /MPa/	Tpř /°C/	Tvest /°C/	Ra /μm/	Rmax /μm/
0,05	223,28	364,43	230,98	485,81	2232,8	390	225	0,83	5,56
0,10	334,92	439,29	287,44	622,71	1674,6	440	260	1,58	20,93
0,15	535,87	441,43	320,80	764,81	1786,2	480	275	0,94	5,73
0,20	818,69	459,39	402,93	1021,59	2046,7	510	305	1,46	9,92
0,24	1071,74	513,29	415,76	1258,95	2232,8	530	310	1,94	12,45

Tab. 22. $v = 55,9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $h = 2,0 \text{ mm}$

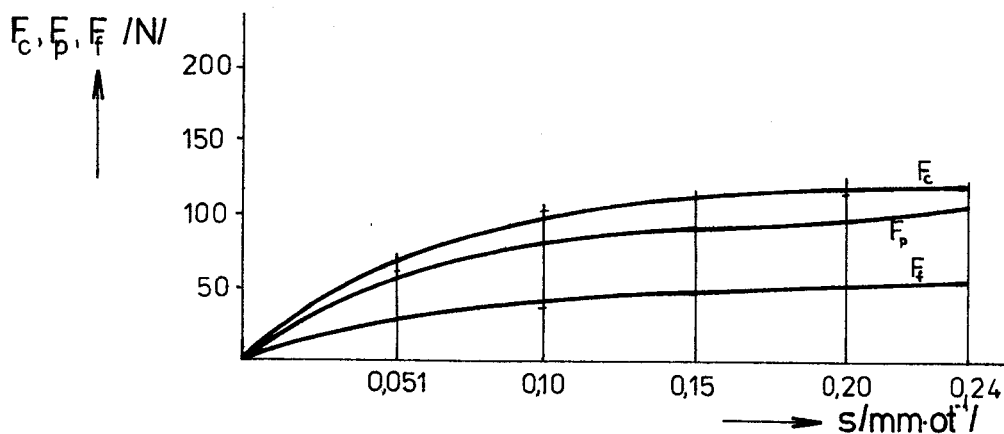
S /mm.ot ⁴ /	Fc /N/	Ft /N/	Fp /N/	F /N/	P /MPa/	Tpř /°C/	Tvest /°C/	Ra /μm/	Rmax /μm/
0,05	372,13	474,79	218,15	641,48	3721,3	480	245	0,61	4,38
0,10	811,25	526,12	338,77	1024,55	4056,3	540	290	0,89	6,40
0,15	869,84	646,74	346,77	893,58	2899,5	590	330	0,84	10,18
0,20		došlo k	destrukci	destičky					

Graf č.1.: Závislost velikostí složek řezné síly F_c, F_p, F_f na posuvu při hloubce řezu $h=0,2\text{mm}$ a řezné rychlosti:

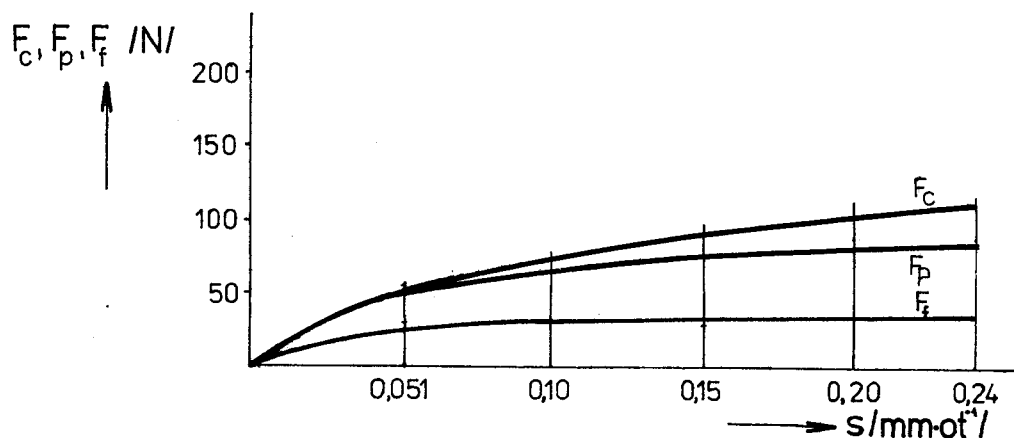
$v=24,1\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$



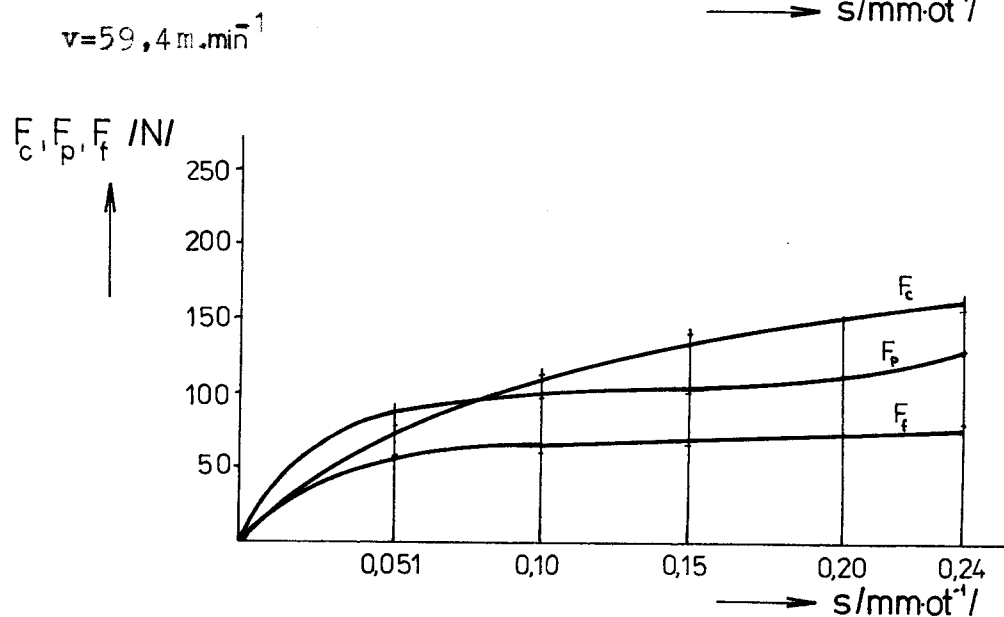
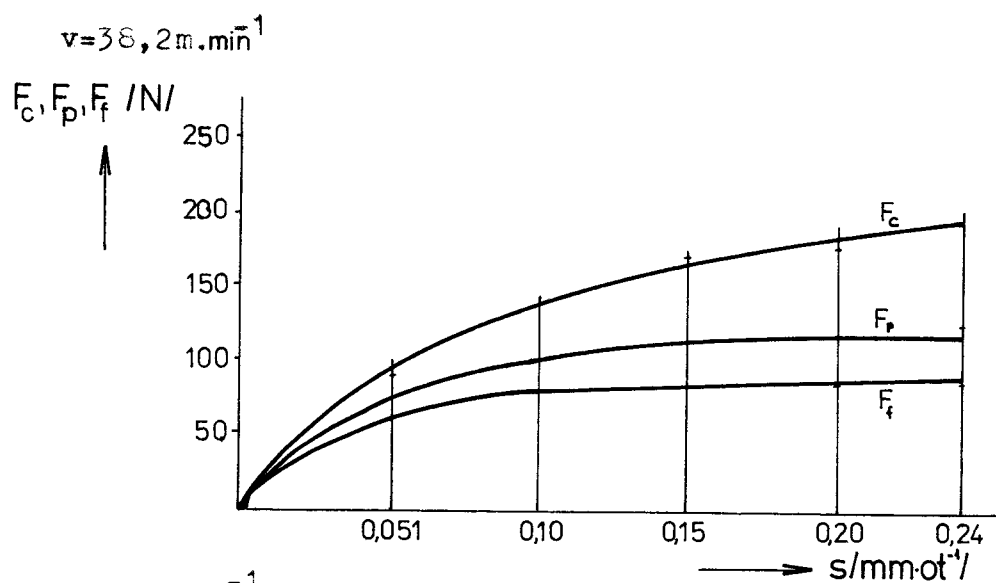
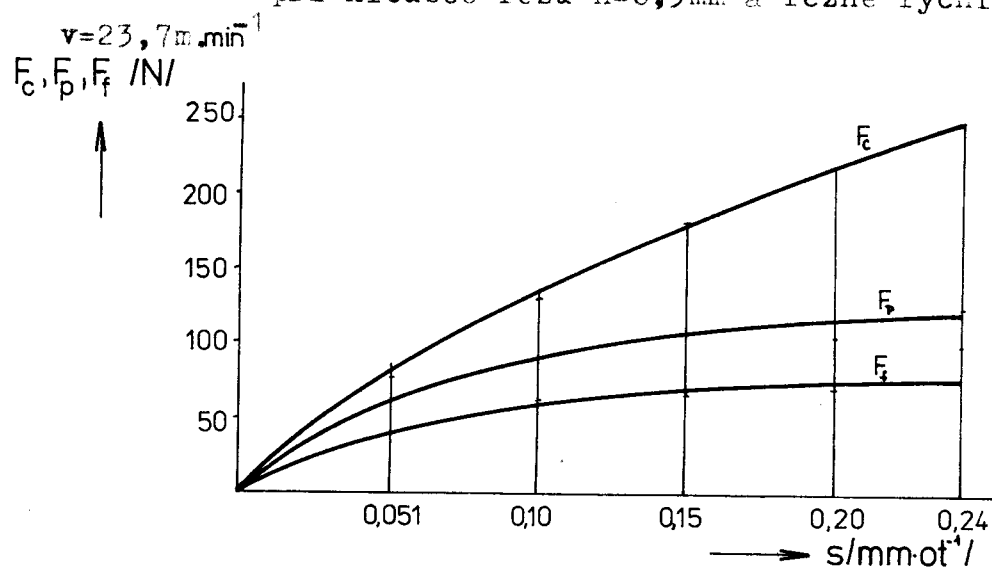
$v=38,7\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$



$v=60,3\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$

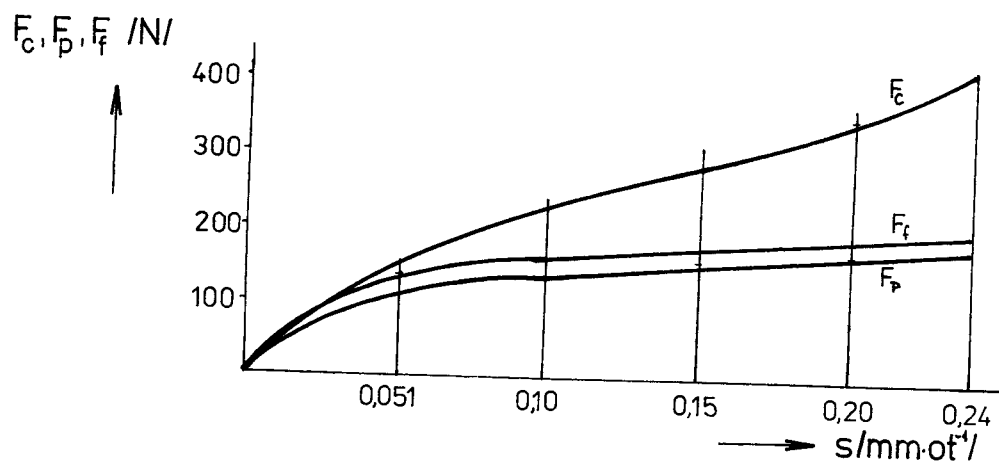


Graf č.2.: Závislost velikostí složek řezné síly F_c, F_p, F_f na posuvu při hloubce řezu $h=0,5\text{mm}$ a řezné rychlosti:

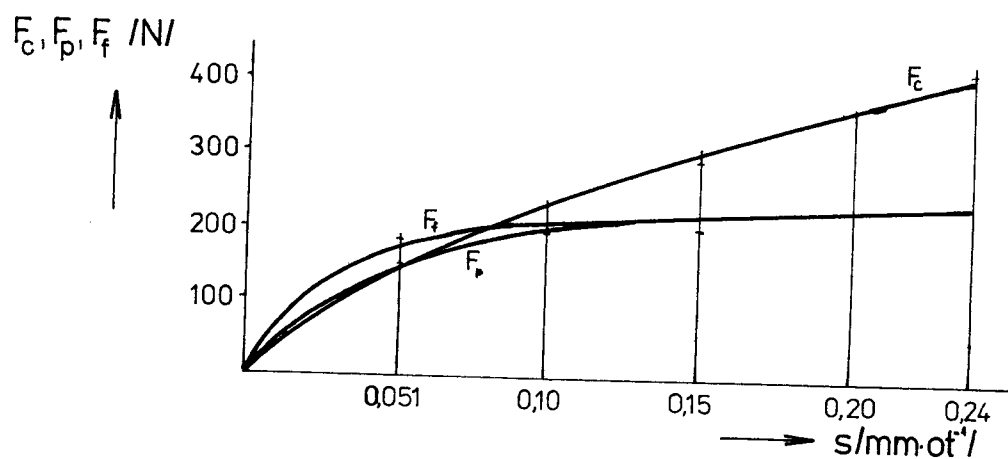


Graf č.3.: Závislost velikostí složek řezné síly F_c, F_p, F_f na posuvu při hloubce řezu $h=1,0\text{mm}$ a řezné rychlosti:

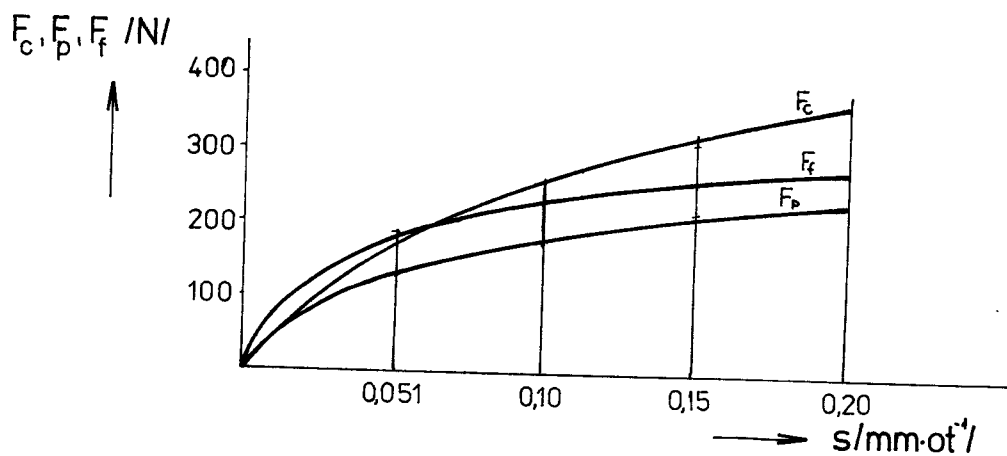
$v=23,4\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$



$v=37,6\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$

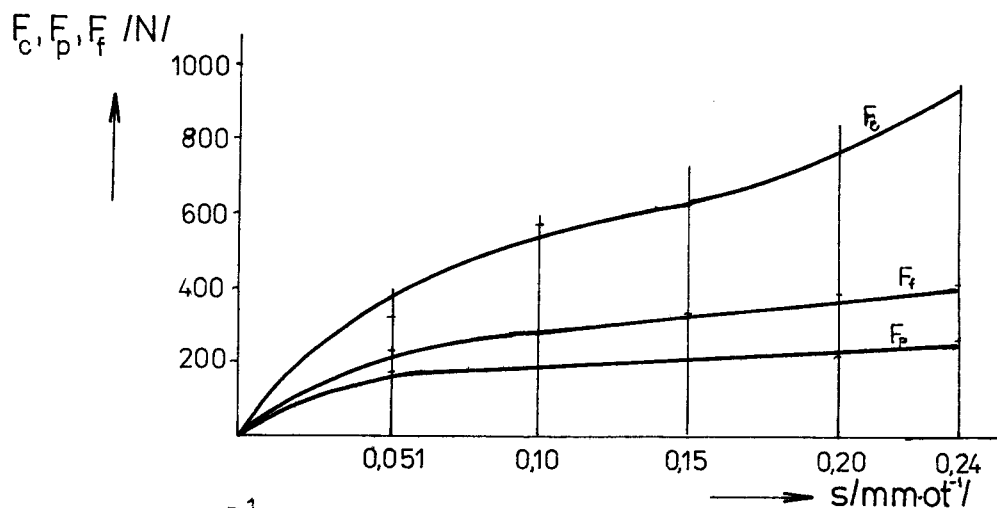


$v=58,5\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$

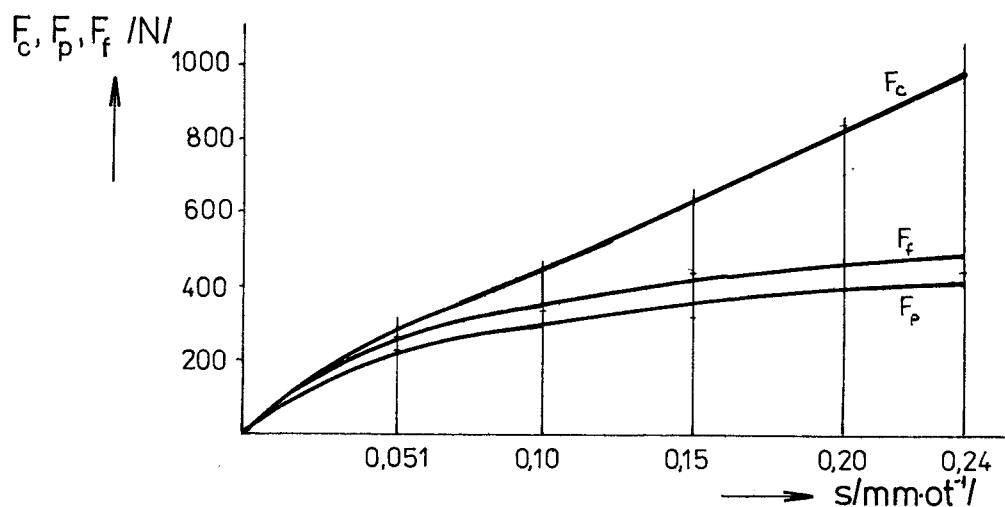


Graf č.4.: Závislost velikostí složek řezné síly F_c, F_p, F_f na posuvu při hloubce řezu $h=2,0\text{mm}$ a řezné rychlosti:

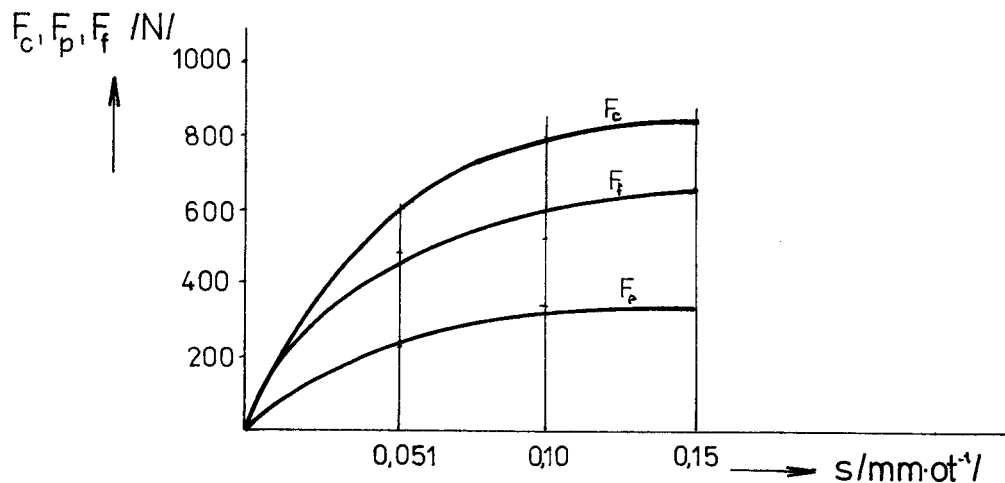
$v=22,3\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$



$v=35,9\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$

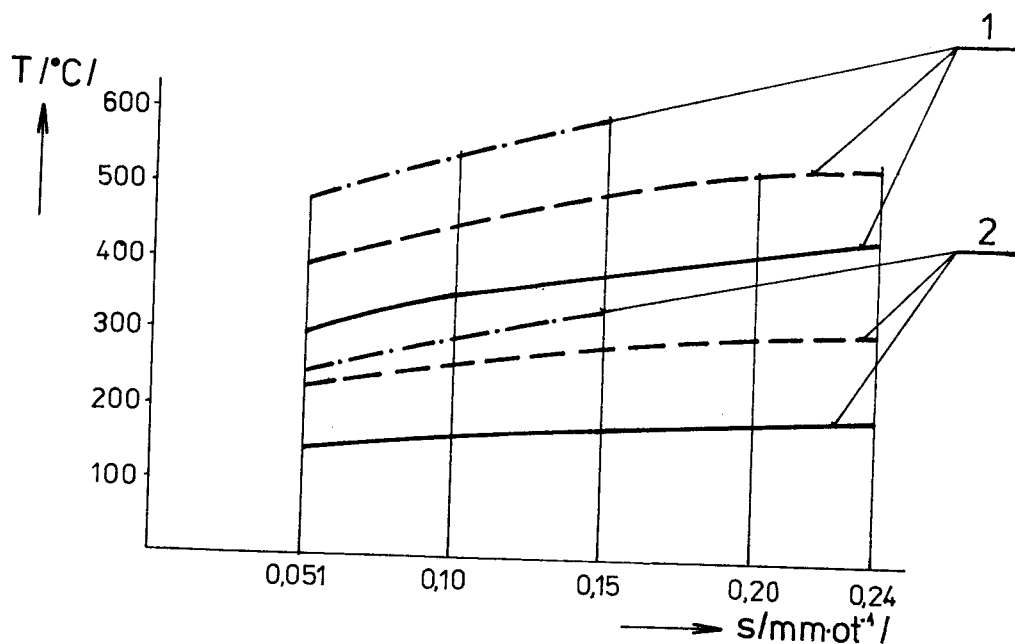


$v=55,9\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$



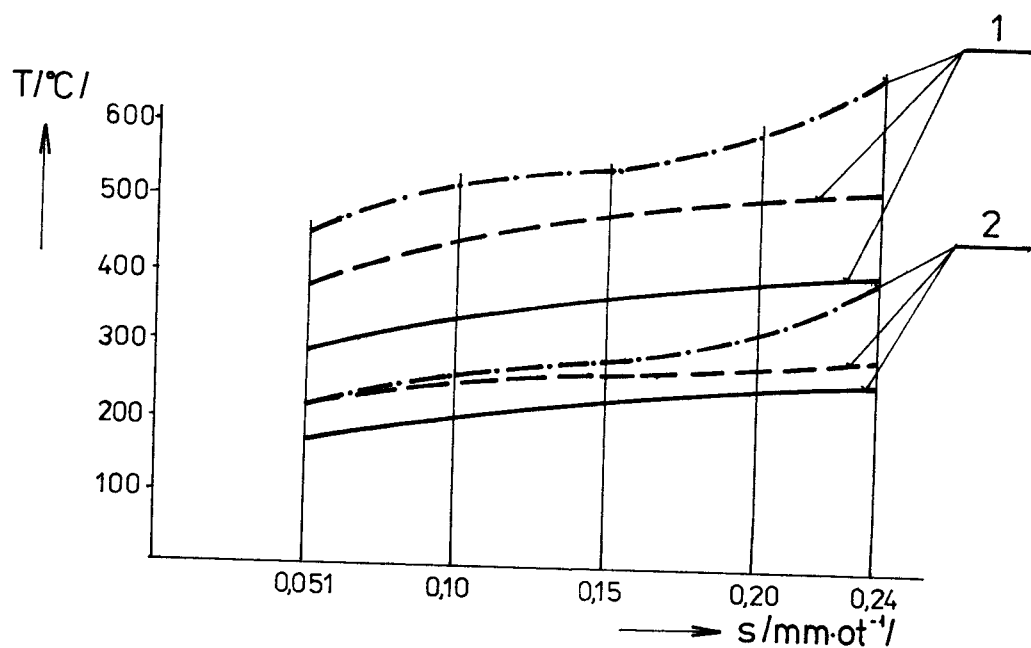
Graf č.5.: Teploty naměřené přirozeným/1/ a vestavěným/2/ termo-
článkem v závislosti na posuvu pro hloubku řezu
 $h=2,0\text{mm}$ a řezné rychlosti:

$v=22,3\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ —————
 $v=35,9\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ - - - - -
 $v=55,9\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$



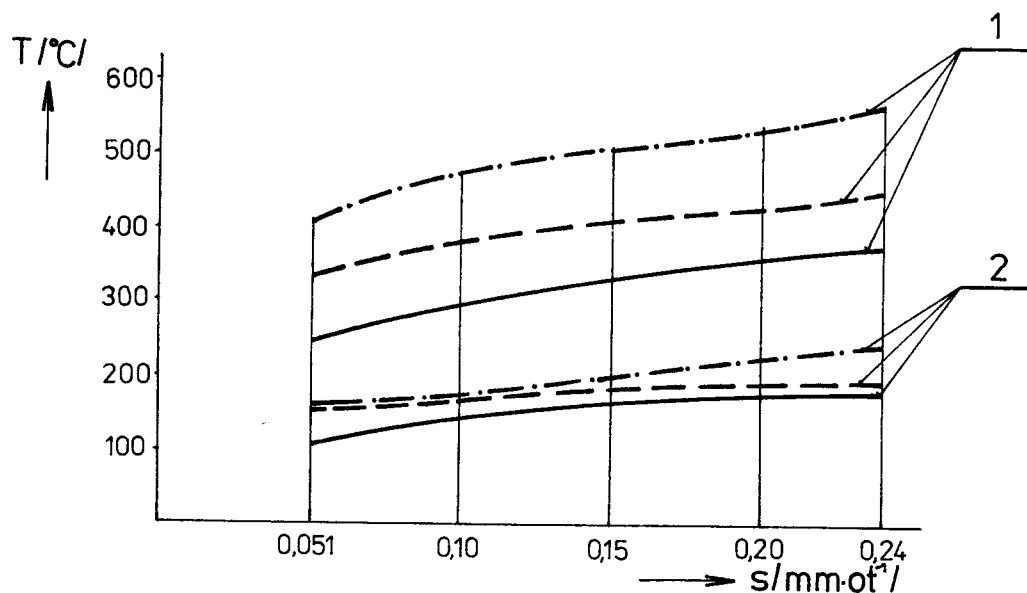
Graf č.6.: Teploty naměřené přirozeným/1/ a vestavěným/2/ termo-
článkem v závislosti na posuvu pro hloubku řezu
 $h=1,0\text{mm}$ a řezné rychlosti:

$v=23,4\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ —————
 $v=37,6\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ - - - - -
 $v=58,5\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$



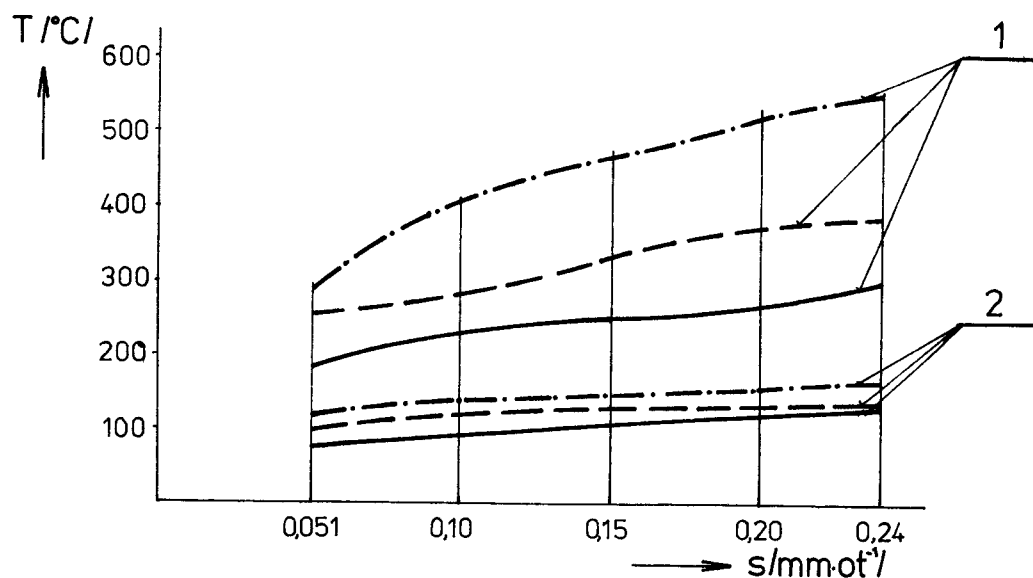
Graf č.7.: Teploty naměřené přirozeným/1/ a vestavěným/2/ termo-
článkem v závislosti na posuvu pro hloubku řezu
 $h=0,5\text{mm}$ a řezné rychlosti:

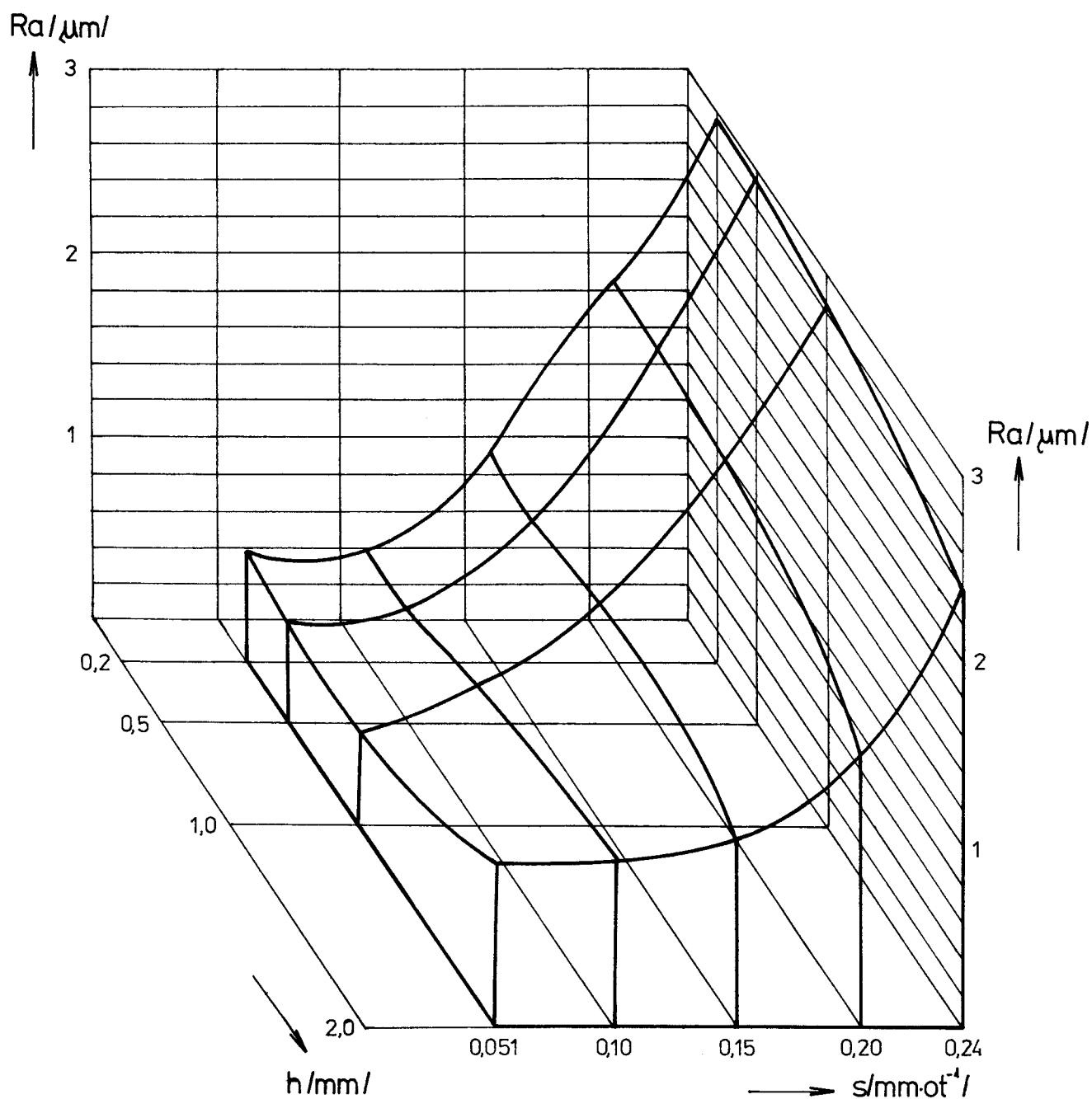
$v=23,7\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ —————
 $v=38,2\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ - - - - -
 $v=59,4\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$



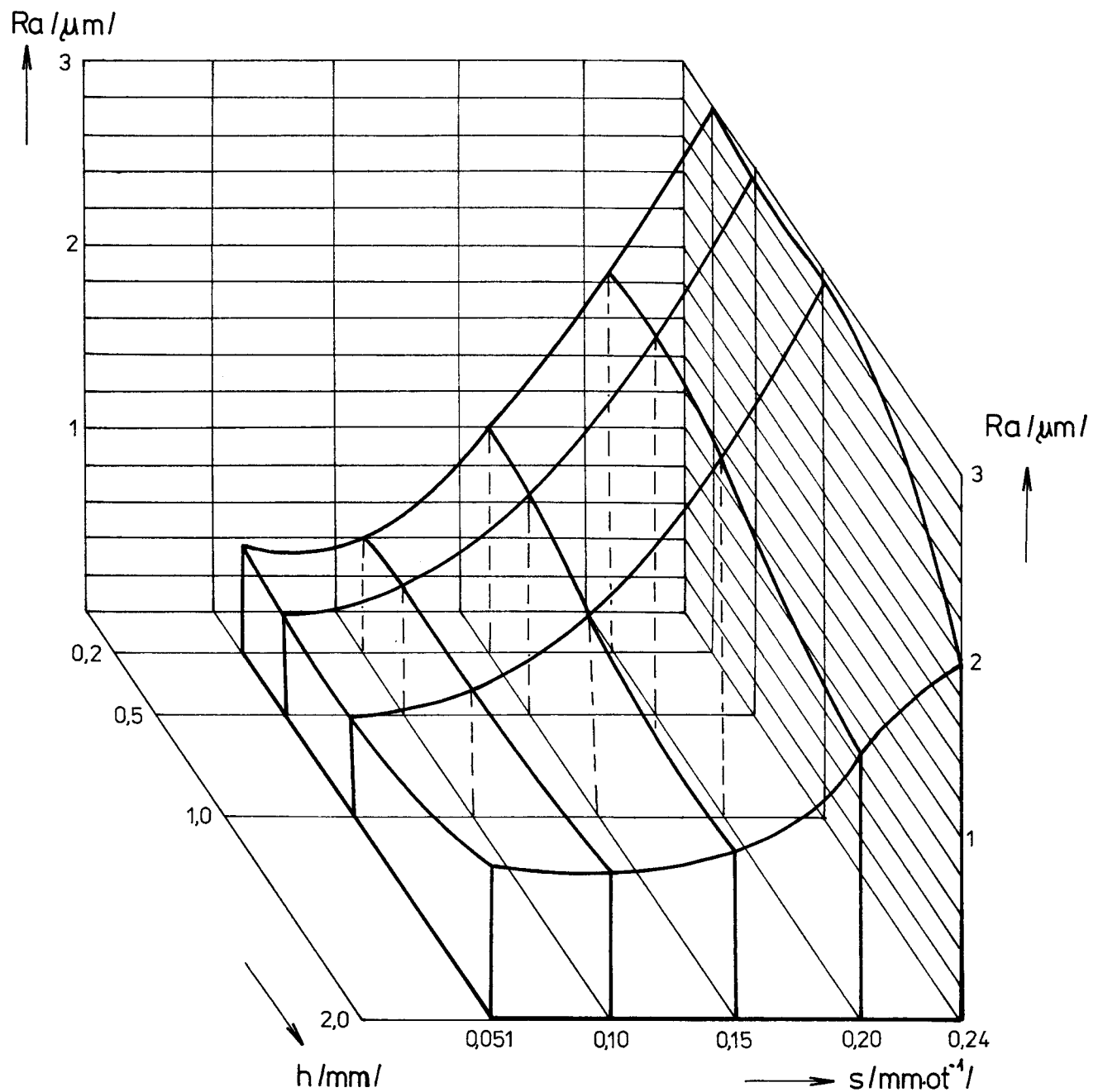
Graf č.8.: Teploty naměřené přirozeným/1/ a vestavěným/2/ termo-
článkem v závislosti na posuvu pro hloubku řezu
 $h=0,2\text{mm}$ a řezné rychlosti:

$v=24,1\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ —————
 $v=38,7\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ - - - - -
 $v=60,3\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$



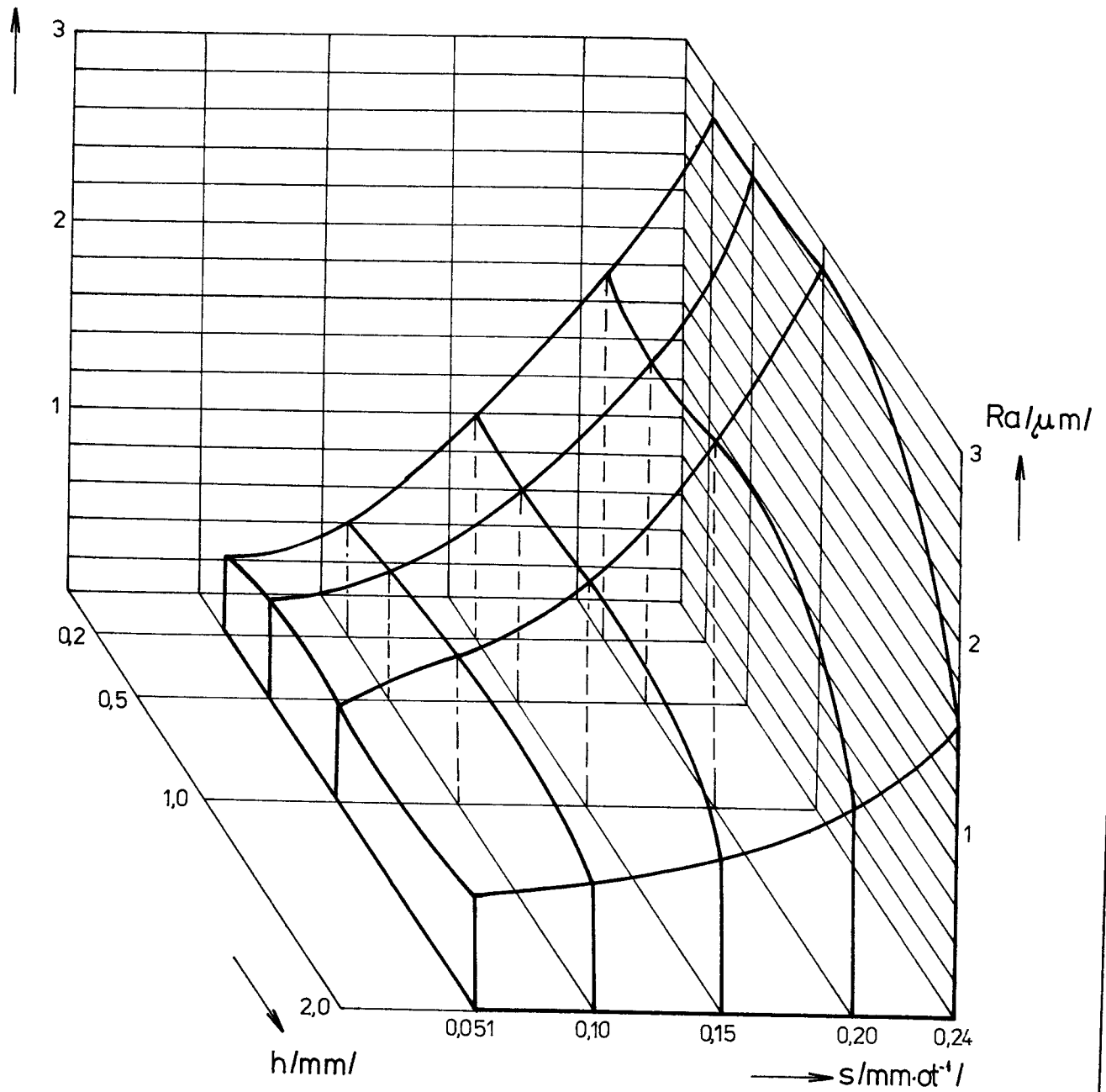


Graf č.9.: Naměřená drsnost povrchu v závislosti na posuvu a hloubce řezu pro střední řeznou rychlost $v=23,4 m \cdot min^{-1}$.



Graf č.10.: Naměřená drsnost povrchu v závislosti na posuvu a hloubce řezu pro střední řeznou rychlost $v=37,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

$Ra/\mu m/$



Graf č.11.: Naměřená drsnost povrchu v závislosti na posuvu a hloubce řezu pro střední řeznou rychlost $v=58,5 m \cdot min^{-1}$.

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

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

$h=1,0\text{ mm}$

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

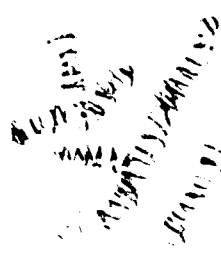
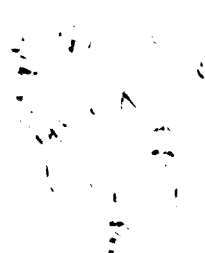
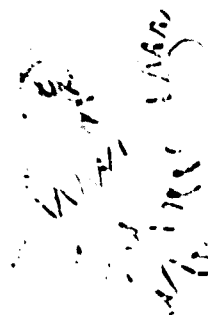
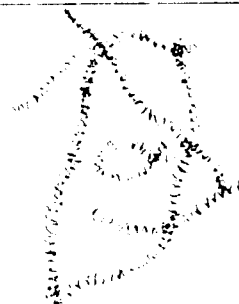
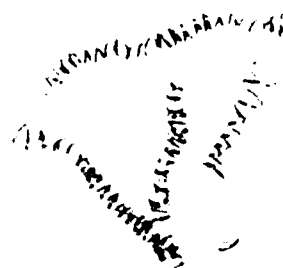
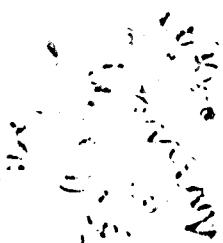
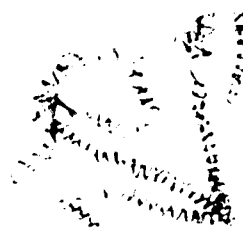
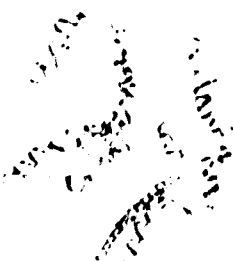
$s=0,05\text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$

$s=0,10\text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$

$s=0,15\text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$

$s=0,20\text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$

$s=0,24\text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$



$h=20\text{mm}$

$h=10\text{mm}$

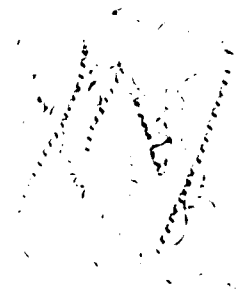
$h=5\text{mm}$

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

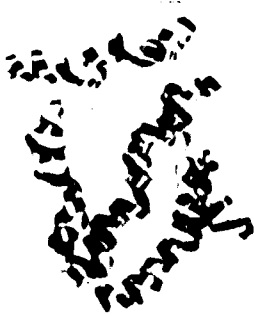
$s=0,05\text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$



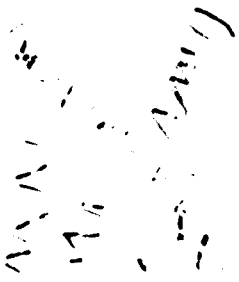
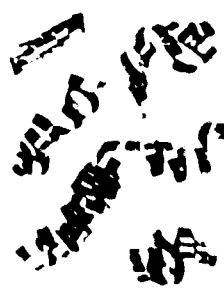
$s=0,10\text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$



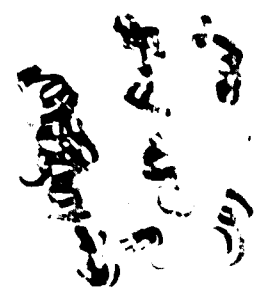
$s=0,15\text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$



$s=0,20\text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$



$s=0,24\text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$



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

$h=1,0\text{ mm}$

$h=0,5\text{ mm}$

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

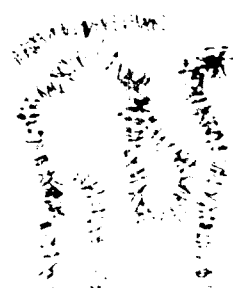
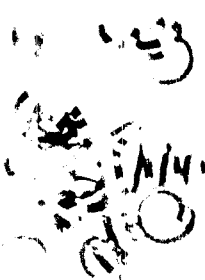
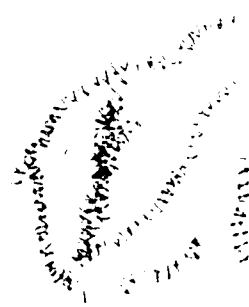
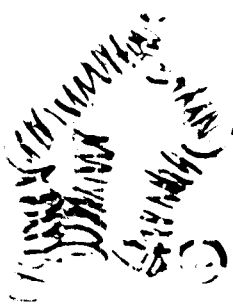
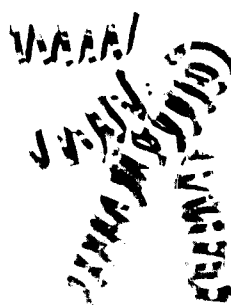
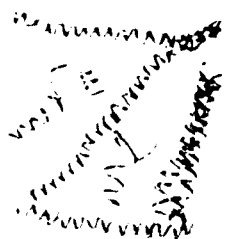
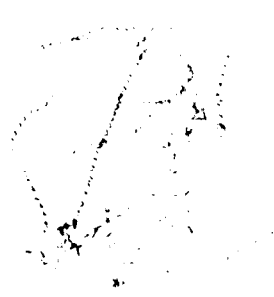
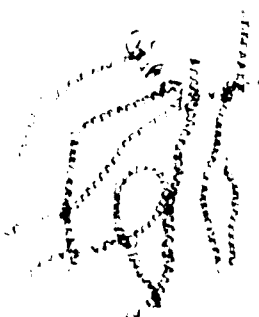
$s=0,05\text{ mm}\cdot\text{ot}^1$

$s=0,10\text{ mm}\cdot\text{ot}^1$

$s=0,15\text{ mm}\cdot\text{ot}^1$

$s=0,20\text{ mm}\cdot\text{ot}^1$

$s=0,24\text{ mm}\cdot\text{ot}^1$



Naměřená drsnost povrchu se jeví závislá pouze na velikosti posuvu, změna hloubky řezu či řezné rychlosti neměla na drsnost výrazný vliv, hodnoty se lišily jen o setiny μm .

Závěrem lze konstatovat, že při soustružení vzorku titanové slitiny se nevyskytly větší potíže. V důsledku tepelného namáhání docházelo sice k rychlému opotřebení nástroje, což by se dalo eliminovat chlazením vhodnou řeznou kapalinou. Příběh řezného pil byl normální, nedocházelo k extrémům. Při všech řezných podmínkách vznikaly kvalitní obrobene povrchy.

7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo pojednat o problematice obrábění titanových slitin, vlivu podmínek obrábění na síly, teploty a stav povrchu při soustružení titanových slitin.

Poměrně nedávné zavedení titanu a titanových slitin do výroby s sebou přináší zkoumání jeho neznámých mechanických vlastností, mezi které patří obrobitelnost spolu s možnostmi technologického zpracování. Ve své práci jsem se proto zaměřil na experimentální stanovení některých jeho vlastností.

Jako vzorek pro měření bylo použita slitina VT 6. Celkem bylo provedeno 58 měření pro různé řezné podmínky. Řezné podmínky byly voleny tak, aby pokryly v celém rozsahu doporučené hodnoty. Jako řezný materiál byl použit slinutý karbid H 10.

Věřím, že výsledky mé práce přispějí k hlubšímu poznání tohoto netradičního materiálu.

Závěrem bych chtěl poděkovat s. Ing. Vladimíru Gabrielovi za cenné rady a vedení v mé diplomové práci a dále pak všem, kteří mi vyšli vstříc při vypracovávání diplomové práce.

Seznam použité literatury:

- /1/ Mikovec, M.: Obrábění materiálu s velkou pevností a tvrdostí
SNTL, Praha 1982
- /2/ Gričenko, I.G.: Zpevnění součástí ze žárupevných titanových slitin. Mašinostrojenije, Moskva 1971
- /3/ Šibrin, A. Š.-Reznickij, L.M.: Obrábění korozivzdorných, žárupevných a titanových ocelí a slitin. Mašinostrojenije, Moskva 1964.
- /4/ Vasilko, K.: Problémy obrábění titanových slitin. 4. celostátní konference, Dom techniky ČSVTS Bratislava 1985
- /5/ Kvasnička, I. - Zima, L.: Optimalizace výběru řezných materiálů v oblasti obrábění těžkoobrobitelných materiálů. SVÚM - Praha, 4. celostátní konference. Dom techniky ČSVTS Bratislava 1985
- /6/ Sedláček, V.: Zeželezné kovy a slitiny. SNTL, Praha 1979.
- /7/ Isajevová, I. A. - Ozerová, M. A.: Kvalita povrchových vrstev při soustružení titanových slitin diamantovými nástroji. Mašinostrojenije, Moskva 1984
- /8/ Holubec, Z. a kol.: Tabulky fyzikální chemie metalurgických procesů. VŠST Liberec, 1985
- /9/ Přikryl, Z. - Musílková, R.: Teorie obrábění. SNTL Praha 1975.
- /10/ Veles, P.: Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov. SNTL, Praha 1985
- /11/ Jareš, V.: Základní zkoušky kovů a jejich teorie. ACADEMIA, Praha 1966