

Vysoká škola: **strojná a textilní**  
**v Liberci**  
Fakulta: **strojná**

Katedra: **obrábění a montáže**  
Školní rok: **1980/81**

## DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro **Alfréda Běhměra**  
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: **Ověřovací zkoušky hrubovacíh fréz n.p. Náradí**

Pokyny pro vypracování:

- 1/ Politicko-hospodářský význam diplomního zadání
- 2/ Proveďte srovnání frézovacích hlav n.p. Náradí  
Děčín s úhly  $K_r = 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$
- 3/ Na základě technologických úvah a provedení  
praktických zkoušek navrhněte doporučení
- 4/ Proveďte návrh metodiky zkoušek optimalizace  
konstrukce frézovacích hlav

VYSOKÁ ŠKOLA  
LIBEREC  
PSC 431 17

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah průvodní zprávy: **asi 50 stran**

Seznam odborné literatury: **Kvapil, R.; Menčík, J.: Hrubovací frézovací hlavy.  
VZ. VŠST Liberec 1980**

**Demjanovič, J.: Hrubovací frézovací hlavy**

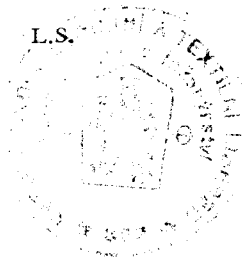
**DP - ST - VŠST Liberec 1980**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Robert Kvapil, CSc**

Konsultanti: **Ing. Jaroslav Menčík, CSc**

Datum zadání diplomového úkolu: **6. 10. 1980**

Termín odevzdání diplomové práce: **22. 5. 1981**



**Doc. Ing. Vojtěch Dráb, CSc**

*Vedoucí katedry*

**Doc. RNDr. Bohuslav Stríž, CSc**

*Děkan*

v **Liberci** dne **6. 10.** 19 **80**

-----Místopřísežné prohlášení:-----

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

V Liberci, dne 22.5.1981

*Alfred Böhm*

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

OVĚŘOVACÍ ZKOUŠKY HRUBOVACÍCH FRÉZ N. P. NÁŘADÍ

Autor: Alfréd Böhmerl

Vedoucí práce: Ing. Robert Kvapil CSc. VŠST Liberec

Konzultant: Ing. Jaroslav Menčík CSc. VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh:

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| Počet stran.....                     | 56    |
| Počet příloh a tabulek.....          | 0, 20 |
| Počet obrázků.....                   | 18    |
| Počet výkresů.....                   | 0     |
| Počet modelů nebo jiných příloh..... | 0     |

DT:

Dne 22.5.1981

|        |                                                                           |           |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.     | POLITICKO - HOSPODÁŘSKÝ VÝZNAM.....                                       | 6         |
| 2.     | POPIS HRUBOVACÍCH FRÉZ.....                                               | 9         |
| 2.1.   | Návrh metodiky zkoušek optimalizace konstrukce<br>frézovacích hlav.....   | 11        |
| 3.     | ROZBOR KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ.....                                           | 13        |
| 3.1.   | Břitová destička.....                                                     | 13        |
| 3.1.1. | Řezné síly při obrábění.....                                              | 13        |
| 3.1.2. | Působení sil na destičku.....                                             | 15        |
| 3.1.3. | Vyhodnocení zkoušek z kapitoly 3.1.2. ....                                | 16        |
| 3.2.   | Diferenciální šroub.....                                                  | 18        |
| 3.2.1. | Pevnostní kontrola.....                                                   | 19        |
| 3.2.2. | Vliv teploty na silové poměry v upínacím systému....                      | 21        |
| 3.2.3. | Návrh nových diferenciálních šroubů.....                                  | 24        |
| 3.3.   | Upínací klín.....                                                         | 25        |
| 3.3.1. | Rozklad sil působících na klín .....                                      | 25        |
| 3.3.2. | Kontrola tlaků na klín.....                                               | 27        |
| 3.4.   | Seřizovací kolík.....                                                     | 27        |
| 3.5.   | Těleso frézovací hlavy.....                                               | 28        |
| 4.     | ZKOUŠKY FRÉZY PŘI TEPLOTNÍM ZATÍŽENÍ:.....                                | 30        |
| 4.1.   | Tabulky.....                                                              | 34        |
| 4.2.   | Zpracování výsledků měření.....                                           | 39        |
| 4.3.   | Vyhodnocení výsledků měření.....                                          | <b>46</b> |
| 5.     | POZNATKY Z TEORETICKÉHO ROZBORU KONSTRUKCE A Z<br>PROVOZNÍCH ZKOUŠEK..... | 48        |
| 5.1.   | Vyhodnocení odchodu třísky.....                                           | 48        |
| 5.2.   | Zhodnocení výzkumu optimální geometrie.....                               | 48        |
| 5.3.   | Poznatky týkající se jednotlivých členů frézovací<br>hlavy.....           | 50        |

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 5.3.1. Břitová destička.....             | 50 |
| 5.3.2. Upínací klín.....                 | 51 |
| 5.3.3. Kuželový kolík.....               | 51 |
| 5.3.4. Těleso frézovací hlavy.....       | 51 |
| 6. ZÁVĚR - NÁVRH DOPORUČENÍ.....         | 53 |
| 6.1. Upínací systém.....                 | 53 |
| 6.2. Geometrie břitu.....                | 53 |
| 6.3. Zubová mezera.....                  | 54 |
| 6.4 Řezné podmínky.....                  | 54 |
| 7. SEZNAM LITERATURY.....                | 55 |
| 8. PROHLÁŠENÍ O AUTORSKÝCH NÁROCÍCH..... | 56 |

## 1. POLITICKO - HOSPODÁŘSKÝ VÝZNAM:

Současný světový trend rozvoje lidské společnosti je charakterizován prudkým růstem úrovně vědy a techniky. Vědecko-technická revoluce proniká do všech odvětví našeho národního hospodářství, zvláště pak do strojírenství, které se podílí na průmyslové výrobě téměř 31% a na rozvoji národního hospodářství více než 20%. Cest, kterými lze nároky a požadavky kladené na naše strojírenství zajistit, je více, ale ty hlavní, které je třeba uplatňovat, jsou v lepší organizaci práce a řízení, koncentraci a specializaci výroby, v mezinárodní integraci a hlavně v rychlém uplatňování vědy a techniky, které je aplikováno komplexní socialistickou racionalizací. Hlavním smyslem všech racionalizačních snah je dosáhnout zvýšení produktivity práce všemi vhodnými a dostupnými prostředky, odpovídajícími socialistické povaze práce v našich závodech.

Současná strojírenská výroba klade stále vyšší a vyšší požadavky na řezné nástroje. Vysoká náročnost vyplývá z potřeb národního hospodářství, které ukládá neustálý růst produkce strojírenských závodů. Takové úkoly lze splnit pouze za využití všech rezerv, které ještě výroba a její organizace skýtá.

Je zřejmé, že všechny tyto okolnosti či požadavky se více nebo méně odrážejí v nástroji, jako styčném bodě mezi strojem a obrobkem. A tak se nástroj dostává do popředí zájmu a jsou na něj kladeny požadavky přesnosti, spolehlivosti, nákladovosti, výkonnosti a trvanlivosti. To je komplex náročných úkolů, které dnes nástroj musí splnit, aby obstál v tvrdých podmínkách provozu.

Každý výrobce nástrojů dnes musí ke konstrukci a výrobě nástrojů přistupovat mnohem zodpovědněji než dříve a zpravidla

se neobejde bez spojení zkušeností svých konstruktérů s výsledky vědecko výzkumných prací v oboru obrábění a projektování řezných nástrojů.

V posledních letech začíná v moderní strojírenské výrobě převládat používání nástrojů s mechanicky přidržívanými výměnnými destičkami ze slinutých karbidů, u kterých je těleso z konstrukční legované oceli a řezné destičky jsou zhotoveny z vysoce výkonného řezného materiálu, čímž dochází k úspoře drahých materiálů, např. rychlořezných ocelí. Oproti klasickým pájeným nástrojům je třeba u těles těchto moderních nástrojů, pro jejich celkovou vyšší pořizovací cenu, počítat s co nejdelší životností. Ta může být zajištěna pouze dokonalým zvládnutím oddělování třísky a jejím utvářením při obrábění a v souvislosti s tím i ideálně vyřešenou konstrukcí těchto nástrojů.

Velká pozornost v tomto oboru je v poslední době věnována hrubovacím frézovacím hlavám, které jsou také náplní této diplomové práce. Zvláštní místo zaujímají frézovací hlavy s vyměnitelnými břitovými destičkami, které se pro své ekonomické přednosti výrazným způsobem rozšířily v celém světě a dnes tvoří ve vyspělých zemích přes 80% vyráběných frézovacích nástrojů se slinutými karbidy. Z jejich rozsáhlého sortimentu byla soustředěna pozornost na hrubovací frézy s různými úhly nastavení, nejčastěji však  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  a  $75^{\circ}$ . Výsledkem jsou vysoce výkonné hrubovací frézy, umožňující pracovat při vysokých hloubkách řezu a posuvů kolem 1 mm na zub. K omezení chvění soustavy stroj - nástroj - obrobek byla s úspěchem zavedena nestejněmárná zubová rozteč u některých druhů fréz.

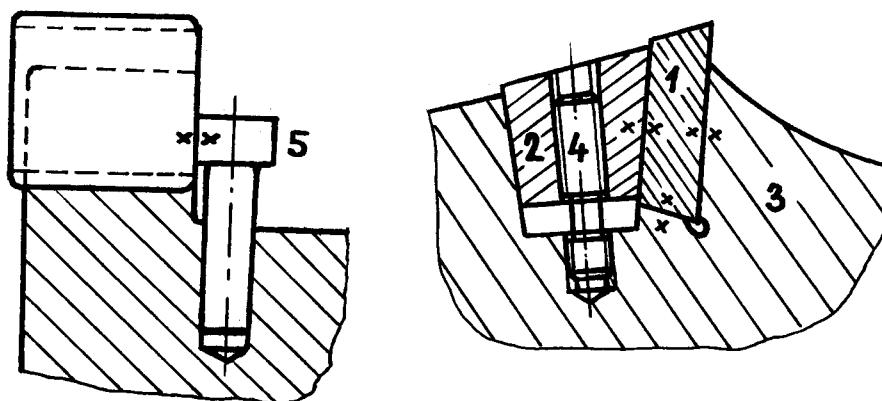
Nové frézovací nástroje jsou výhodné i z energetického hlediska. Se stoupajícím posuvem a zvětšováním průřezu třísky značně klesá měrný řezný odpor a tím dochází i ke značným úsporám elek-

trické energie, potřebné k odebrání stejné hmotnosti materiálu, což je nesporně velký ekonomický přínos.

## 2. POPIS HRUBOVACÍCH FRÉZ:

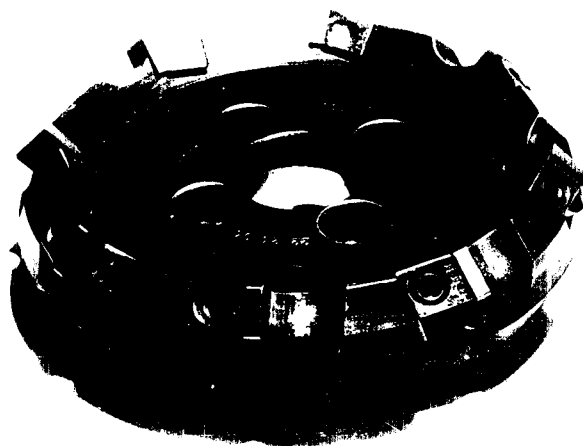
Hrubovací frézovací hlavy - výrobky n. p. Nářadí Děčín -  
- jsou určeny k frézování rovinných ploch velkými úběry.

Frézovací hlava sestává z tělesa robustní konstrukce, ve kterém jsou mechanicky upevněny čtvercové břitové destičky / viz obr. 1. a fotografie fréz na obr. 2., 3., 4. /. Břitová destička 1. je upnuta klínem 2. v drážce tělesa frézy 3. K vyvození upínací síly je použito diferenciálního šroubu s jemným závitem 4. Upnutí břitové destičky je provedeno podle zásad upínání hranolovitého tělesa, tj. upínací prvky působí na čtyři ze šesti ploch / na obr. 1. jsou označené křížkem /. Destička je upínacím klínem sevřena tak, že třecí síla je v rovnováze s působící řeznou silou. Proti případnému posunutí břitové destičky náhodnou silou, působící podél drážky je destička jištěna kolíkem s excentrickou hlavou 5., který slouží též k prvotnímu seřízení destičky na požadovaný rozměr. K přenosu krouticího momentu na frézovací hlavu jsou určeny dvě drážky na čele nástroje, do kterých přijdou unášecí kameny. K uchycení na trn, případně na vřeteno stroje, jsou frézy opatřeny čtyřmi otvory pro šrouby se zapuštěnou hlavou.



Obr. 1.

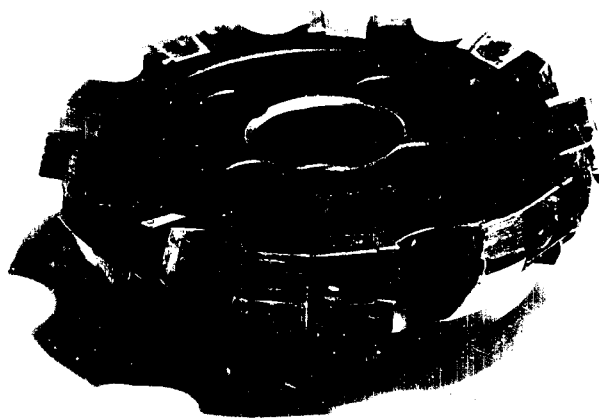
Společným znakem všech tří hrubovacích fréz je průměr frézy 160 mm a malý počet břitů / 8 /, což umožňuje dostatečně dimenzovat drážku pro odchod třísek.



Obr. 2. Fotografie frézy  $\varnothing$  160 mm, PN 22 2454,  $K_r = 45^\circ$ ,  
břitová destička SNEN 15 04 12.



Obr. 3. Fotografie frézy  $\varnothing$  160 mm, PN 22 24,  $K_r = 60^\circ$ ,  
břitová destička SPUN 15 04 12.



Obr. 4. Fotografie frézy  $\varnothing 160$  mm, PN 22 2445,  $K_r = 75^\circ$ ,  
břitová destička SPUN 15 04 12.

#### 2.1. Návrh metodiky zkoušek optimalizace konstrukce frézovacích hlav:

Úkolem měření je posoudit konstrukci hrubovacích fréz. K tomu je zapotřebí učinit provozní zkoušky, které by objektivně zjistily, jaká fréza je pro proces hrubování nejvýhodnější. Z rozboru konstrukčních prvků a z výsledků získaných měřením vyplývá návod řešení optimalizace frézovacích hlav.

Především je měření potřeba provádět za podmínek odpovídajícím účelu a podmínkám použití. Pro zkoušky je zapotřebí mít alespoň jednu frézku dostatečného výkonu, která by nebyla zapojena do výrobního procesu. Na stroji z výroby, jehož činnost je vázána na plnění výrobních úkolů, nelze dosti dobře soustavně a přesně zjišťovat výsledky potřebné pro výzkum, ale pouze pro ori-

entační zkoušky. Z jejich výsledků pak není možno učinit dostatečně spolehlivé závěry.

Protože geometrie fréz je dána, vyplývá z toho, že návrh postupu jejich zkoušení bude vycházet ze změny řezných podmínek:

- řezné rychlosti
- posuvu na zub
- hloubky řezu
- frézované šířky

#### Řezné podmínky pro zadané frézy:

řezná rychlost  $v_c = 80$  / m/min. /

hloubka řezu  $t = 5, 8$ , případně 10 až 12 / mm /

Postupně pro jednotlivé hloubky řezu měnit posuv na zub  $s_z = 0,08, 0,16, 0,32, 0,40, 0,80, 1,20, 1,56$  / mm /, a frézovat alespoň dva materiály s různou třídou obrobitelnosti / např. 12050.1 - 13 b, 16420.1 - 12 b /, tak aby byly v záběru nejméně dva zuby.

Při frézování by bylo vhodné sledovat fotografováním odchod třísek. Poněvadž při hrubování vzniká poměrně velké množství třísek můžeme pak s příslušných fotografií vyhodnotit tvorbu a odchod třísky a zda nedochází k vymílání zubové mezery při daných řezných podmínkách.

### 3. ROZBOR KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ:

#### 3.1. Břitová destička:

Frézovací hlavy jsou osazeny břitovými destičkami ze slinutého karbidu takto:

fréza - PN 22 2454,  $K_r = 45^\circ$ , destičkami SNEN 15 04 12

fréza - PN 22 24,  $K_r = 60^\circ$ , destičkami SPUN 15 04 12

fréza - PN 22 2445,  $K_r = 75^\circ$ , destičkami SPUN 15 04 12

Pro zkoušky frézy při teplotním zatížení / kapitola 4. / jsou použity destičky typu KRUPP - TTR 20.



Obr. 5. Břitová destička

#### 3.1.1. Řezné síly při obrábění:

Pro získání podkladů o působení řezných sil na břitovou destičku byly na VŠST pro jednotlivé frézovací hlavy měřeny síly při frézování.

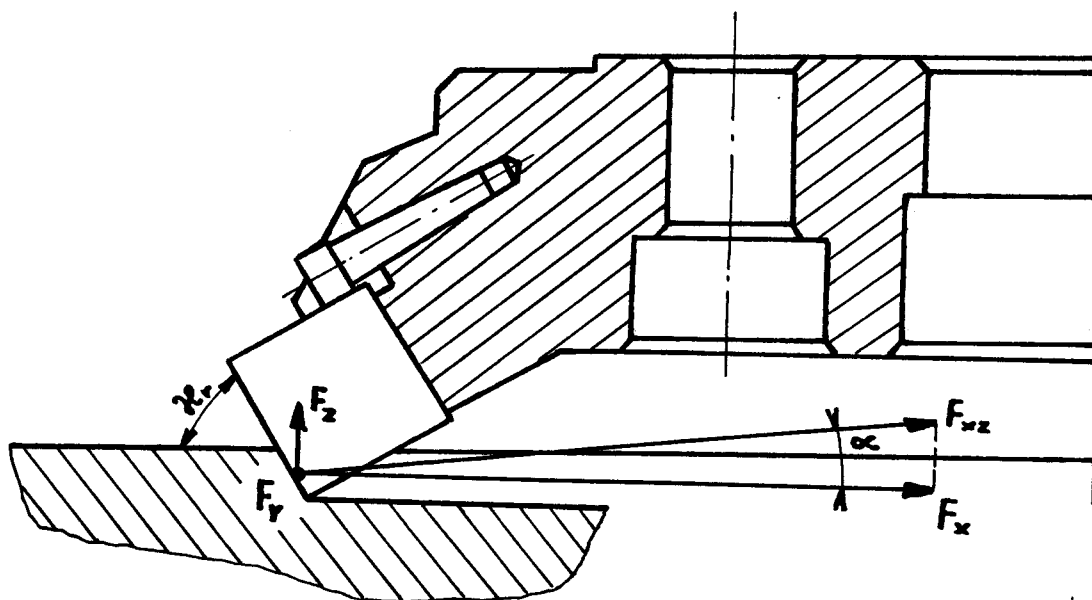
Zkoušky bylo nutno uspořádat tak, aby nebyla překročena dovolená zatížení použitého dynamometru. Proto byla měření prováděna při frézování jedním zubem a při mírnějších řezných podmínkách. Tyto byly následující:

řezná rychlost  $v_c = 90,5$  / m/min. /

hloubka řezu  $t = 2, 4, 6$  / mm /

posuv na zub  $s_z = 0,22, 0,31, 0,44$  / mm /

Do tabulek byly shrnuty hodnoty sil v okamžiku, kdy vektor řezné rychlosti byl kolmý k vektoru posuvu, tzn. v okamžiku, kdy byl největší okamžitý průřez třísky a složka řezné síly  $F_y$ . Směry vznikajících sil  $F_x$ ,  $F_y$  a  $F_z$  jsou vyznačeny na obr. 6.



Obr. 6.

V následující tabulce jsou uvedeny odhadnuté střední hodnoty sil  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  pro řeznou rychlost  $v_c = 80$  / m/min. /, hloubku řezu  $t = 10$  / mm / a posuv na zub  $s_z = 1$  / mm /.

S ohledem na to, že se jedná o výsledky extrapolace a s ohledem na průběhy naměřených hodnot je nutno počítat s tím, že za ideál-

ních podmínek se od hodnot uvedených v tabulce může síla  $F_z$  lišit o  $\pm 10\%$ , síla  $F_x$  o  $\pm 20\%$  a síla  $F_y$  až o  $\pm 30\%$ . Z tohoto důvodu je v tabulce uvedeno pravděpodobné rozmezí podílu sil  $F_z/F_x$  a úhlu  $\alpha$  jejich výslednice / obr. 6. /. Všechna měření byla konána s bezvadnými břitovými destičkami. Vyštípnutí břitu má za následek vzrůst řezných sil, zejména složek  $F_x$  a  $F_z$  a proto je třeba považovat hodnoty v tabulce spíše za informativní.

Řezné síly pro  $v_c = 80$  / m/min. / ,  $t = 10$  / mm / ,  
 $s_z = 1$  / mm /

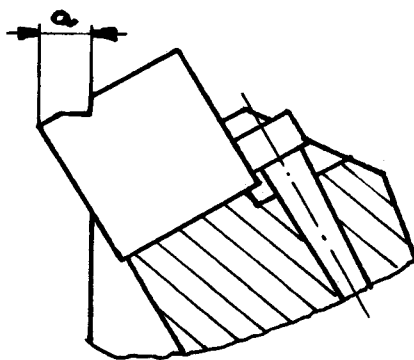
| Fréza      | $K_r$<br>/°/ | $F_x$<br>/kN/ | $F_y$<br>/kN/ | $F_z$<br>/kN/ | $F_z / F_x$ | $\alpha$ /°/ |
|------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-------------|--------------|
| PN 22 2445 | 75           | 9,5           | 11,0          | 0,6 0,06      | /0,06±0,08/ | 4 / 3÷ 5/    |
| PN 22 24   | 60           | 13,0          | 12,0          | 3,5 0,27      | /0,19±0,37/ | 15 /11±20/   |
| PN 22 2454 | 45           | 11,0          | 14,0          | 5,8 0,53      | /0,37±0,74/ | 28 /20±37/   |

### 3.1.2. Působení sil na destičku:

Cílem těchto měření bylo zjistit vliv velikosti utahovacího momentu a různých úprav upínacího klínu na spolehlivost a bezpečnost upnutí břitové destičky.

Fréza byla upnuta na stůl radiální vrtačky VR 4. Do vřetene vrtačky byl upnut siloměr a destička zatěžována tak dlouho, dokud nedošlo k jejímu pootočení. Pro přenos vyvozované síly byly do destičky vybroušeny tři zářezy ve vzdálenostech od špičky  $a = 3, 6, 8,5$  / mm / což odpovídá působistům sil při hloubkách řezu  $t = 6, 12, 17$  / mm / / viz obr. 7. /. Břitová destička byla zatěžována ve směru výslednice sil  $F_x$  a  $F_z$ , tj. ve směru přísmvu a podélného posuvu frézy do řezu pod úhlem  $\alpha = 18^\circ$ . V okamžiku, kdy se břitová destička pohnula, byla

zaznamenána velikost síly na číselníkovém úchylkoměru.



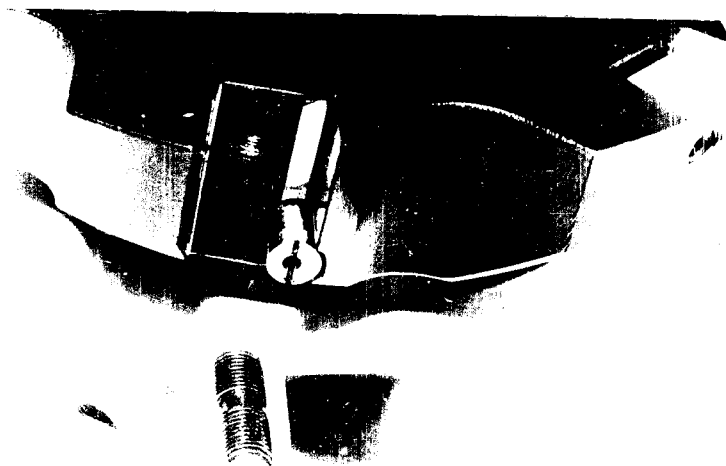
Obr. 7.

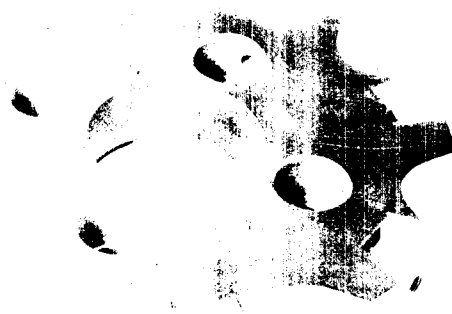
Celkem bylo provedeno pět různých zkoušek. Každá z nich se konala ve třech upínacích místech pro šest utahovacích momentů 2, 4, 6, 8, 10, 12 / Nm /. Při první zkoušce byly všechny části upínacího mechanismu odmaštěny technickým benzínem. Další čtyři měření byla prováděna při promazání jednotlivých částí a při různých úpravách upínacího klínu.

### 3.1.3. Vyhodnocení zkoušek z kapitoly 3.1.2.:

Z hodnot získaných při zkouškách vyplynulo, že na utažení břitové destičky má vliv povrchová úprava a mazání klínů a také utahovací diferenciální šroub. K pootočení břitové destičky může dojít snáze při malých hloubkách řezu a velkých posuvech, neboť pro vytlačení je potřeba větší síla na větším rameni a. Nejlépe byly utaženy destičky v případě, kdy klíny byly kadmi-ovány a šroub i klín byl promazán olejem G4. Dobré výsledky vykázal rovněž klín, který byl na styčných plochách broušený a na straně styku s tělesem frézy měl odlehčovací drážku. Ze zkoušek byla dále vyvozena a doporučena správná velikost utahovacího momentu  $8 \div 12$  / Nm / a závěr, že další povrchové úpravy klínu nevedly

ke zvýšení třecích sil, tudíž k pevnějšímu uložení břitové destičky. Další činitelé, kteří mají vliv na silové poměry v upínacím systému je teplo, vznikající při obrábění a tuhost diferenciálního šroubu. Tepelný vliv se projevuje především při delší době frézování, kdy dochází k posunutí břitových destiček. Poněvadž jsem chtěl získat představu o vlivu teploty na upínací systém a o vlivu tuhosti diferenciálního šroubu, na tento problém jsem se zaměřil. Pro přibližné zjištění skutečných poměrů, které ve fréze působením tepla vznikají jsem vybral frézu PN 22 2476 s  $K_r = 87^0$ , neboť má větší upínací systém a snadněji se s ní manipuluje při měření, což se ukázalo jako výhodné zvláště při měření za tepla.





Obr. 8. Fotografie frézy  $\varnothing$  210 mm, PN 22 2476,  $K_r = 87^\circ$

### 3.2. Diferenciální šroub:

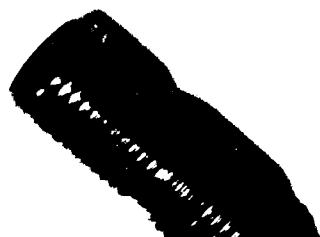
Pro utažení upínacího klínu je použit diferenciální šroub M10 x 1. Je vyroben z materiálu 15230.3, kalen a popuštěn na tvrdost  $30 \pm 10$  HRC. Utahování nebo povolování šroub



Obr. 8. Fotografie frézy Ø 210 mm, PN 22 2476,  $K_r = 87^\circ$

### 3.2. Diferenciální šroub:

Pro utažení upínacího klínu je použit diferenciální šroub M10 x 1. Je vyroben z materiálu 15230.3, kalen a popuštěn na tvrdost  $30 \pm 10$  HRC. Utahování nebo povolování šroubu se provádí vnitřním šestihranem s rozměrem klíče 5 / mm /.



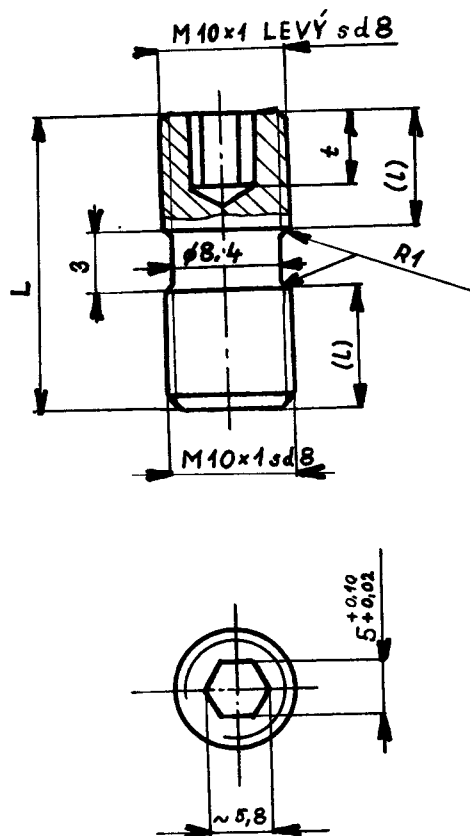
Obr. 9.  
Diferenciální  
šroub

### 3.2.1. Pevnostní kontrola:

Diferenciální šroub je zhotoven z materiálu 15230.3, který má mez kluzu v tahu  $\sigma_{kt} = 900$  / MPa /. Pro další výpočet předpokládám, že šroub je utahován kroutícím momentem maximálně  $M_k \max = 15$  / Nm /.

Použitá označení:

- $d_e$  - velký průměr závitu
- $d_s$  - střední průměr závitu
- $d_i$  - malý průměr závitu
- $d$  - průměr krčku
- $s$  - stoupání závitu
- $i$  - počet závitů / spo-
- lečných šroubu a matici /
- $f$  - koeficient tření



Obr. 10.

Hnací síla vyvozená na středním průměru závitu účinkem kroutícího utahovacího momentu:

$$F_{\max} = \frac{M_k \max}{\frac{d_s}{2}} = \frac{15}{\frac{9,35 \cdot 10^3}{2}} = 3210 \text{ / N /}$$

Maximální osová síla ve šroubu:

$$Q_{\max} = \frac{F_{\max}}{\operatorname{tg} (\beta + \gamma)}$$

$$\text{Úhel stoupání závitu } \beta = \arctg \frac{\dot{s}}{\pi \cdot d_s}$$

$$\text{Třecí úhel } \varphi = \arctg f / \text{ mezi závitem šroubu a matice } /$$

$$s = 1 / \text{ mm } / , \quad f = 0,2 / \text{ ocel na oceli, částečně namazáno } /$$

$$\beta = \arctg \frac{1}{\pi \cdot 9,35} = 1,95 / ^\circ /$$

$$\varphi = \arctg 0,2 = 11,31 / ^\circ /$$

$$Q_{\max} = \frac{3210}{\text{tg} / 1,95 + 11,31 /} = 13600 / \text{ N } /$$

Kontrola šroubu na přetržení:

V nejslabším průřezu šroubu působí tahové napětí  $\sigma$  od síly  $Q$  a smykové napětí  $\tau$  od kroutícího momentu  $M_k$ .

$$\sigma = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{13600}{\frac{\pi \cdot 8,4^2 \cdot 10^6}{4}} = 240 / \text{ MPa } /$$

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}} = \frac{15}{\frac{\pi \cdot 8,4^3 \cdot 10^9}{16}} = 124 / \text{ MPa } /$$

Redukované napětí na jednoosou napjatost:

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{240^2 + 3 \cdot 124^2} = 322 / \text{ MPa } /$$

Bezpečnost na mezi kluzu:

$$b = \frac{\sigma_{kt}}{\sigma_{\text{red}}} = \frac{900}{322} = 2,8 \text{ což vyhovuje}$$

### Kontrola šroubu na otlačení:

Tlak mezi závity šroubu a klínu:

$$p = \frac{Q}{i \cdot \pi \cdot (d_e^2 - d_i^2)} = \frac{13600}{10 \cdot \pi \cdot (10^2 - 8,92^2) \cdot 10^6} =$$
$$= 85 \text{ / MPa /}$$

Vzhledem k tomu, že šroub i klín jsou tepelně zpracovány, je tlak mezi závity vyhovující.

### Kontrola samosvornosti závitu:

Má-li být šroub samosvorný, musí platit  $\beta < \varphi$ . V našem případě / zvit M10 x 1, částečně namazaný šroub / je  $\beta = 1,95^\circ < 11,31^\circ = \varphi$ , takže utahovací diferenciální šroub je samosvorný. Rovněž by byl samosvorný v případě suchého závitu, neboť koeficient tření  $f$  a tedy i úhel  $\varphi$  by byl ještě větší.

### 3.2.2. Vliv teploty na silové poměry v upínacím systému:

Teplem, vznikajícím při obrábění, se ohřívá břitová destička i celé těleso frézy. Protože slinutý karbid má menší koeficient teplotní roztažnosti než ocel, roztáhne se břitová destička méně než těleso frézy či upínací systém / i když je tento jev částečně kompenzován tím, že průměrná teplota destičky při obrábění je vyšší než průměrná teplota upínacího systému /. Pokud by přítláčná síla mezi klínem a destičkou byla za studena nulová, vznikla by mezi klínem a destičkou při ohřátí vůle. Protože je destička uložena s určitým předpětím, vůle nevznikne, avšak zmen-

ší se toto předpětí a tedy se zmenší i síly bránící pootočení destičky.

V měřeních, která jsou uvedena v kapitole 4. jsem ohříval frézu i destičky přibližně na teplotu  $200^{\circ}\text{C}$ . Teplotní i napěťové pole je ve skutečnosti v celé uvažované oblasti velmi složité, avšak z následujícího orientačního výpočtu plyne, že teplotní účinky nelze zanedbávat.

#### Zavedené označení:

- $\alpha_{sk}$  - koeficient tepelné roztažnosti slinutého karbidu /  $5 \cdot 10^6$  /
- $\alpha_{oc}$  - koeficient tepelné roztažnosti oceli /  $11,7 \cdot 10^6$  /
- $l$  - tloušťka břitové destičky / 6,5 mm /
- $t_d$  - střední teplota destičky /  $200^{\circ}\text{C}$  /
- $t_f$  - střední teplota upínacího systému frézy /  $200^{\circ}\text{C}$  /
- $t_o$  - teplota okolí /  $20^{\circ}\text{C}$  /

Břítová destička se teplem roztáhne o

$$\begin{aligned}\Delta l_D &= l \cdot \alpha_{sk} \cdot / t_d - t_o / = 6,5 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot / 200 - 20 / = \\ &= 5,8 \cdot 10^6 \text{ / m /}\end{aligned}$$

Mezera pro destičku mezi upínacím klínem a opěrnou plochou destičky v tělese frézy se teplem zvětší o

$$\begin{aligned}\Delta l_K &= l \cdot \alpha_{oc} \cdot / t_f - t_o / = 6,5 \cdot 10^3 \cdot 11,7 \cdot 10^6 \cdot / 200 - 20 / = \\ &= 13,7 \cdot 10^6 \text{ / m /}\end{aligned}$$

Pokud by nebyla destička sevřena s předpětím vznikla by mezi ní a upínacím systémem vůle  $v$ :

$$\Delta l_K - \Delta l_D = 13,7 - 5,8 = 7,9 \text{ / mm /}$$

Předpětí upínacího systému, vyvozené pružnou deformací upínacího klínu a částí frézy, zabrání vzniku vůle. Roztažením těchto / původně stlačených / částí o hodnotu  $y$  se předpětí sníží. Budeme-li uvažovat, že tloušťka deformované oblasti / rovnající se součtu tloušťky klínu a části frézy / je přibližně  $l_K = 20 \text{ / mm /}$ , odpovídá roztažení těchto částí o hodnotu  $y$  relativní deformace

$$\epsilon = \frac{v}{l_K} = \frac{7,9}{20} \cdot \frac{10^6}{10^3} = 395 \cdot 10^6$$

Příslušné zmenšení tlaku mezi klínem a destičkou bude

$$\Delta p = E \cdot \epsilon = 2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 395 \cdot 10^6 = 83 \text{ / MPa /}$$

Při velikosti styčné plochy destičky s tělesem frézy / v místě protilehlém klínu /

$$S = b \cdot h = 16 \cdot 10^3 \cdot 7 \cdot 10^3 = 112 \cdot 10^6 \text{ / m}^2 \text{ /}$$

se celková přítlačná síla na destičku zmenší o

$$\Delta Q = \Delta p \cdot S = 83 \cdot 10^6 \cdot 112 \cdot 10^6 = 9300 \text{ / N /},$$

což představuje zhruba 30% celkové přítlačné síly.

Teplotní vlivy se zmenší, zmenšíme-li například tuhost upí-

nacího systému / aby se přítlačná síla měnila v závislosti na deformaci pomaleji /. To lze realizovat případným použitím poddajnějšího diferenciálního šroubu pro upínání destičky.

### 3.2.3. Návrh nových diferenciálních šroubů:

Pro zvýšení poddajnosti potřebuji zvětšit poměrné prodloužení  $\Delta l$  u šroubu. Pro vyvození většího předpětí je nutné určité natažení šroubu. Natažení by mělo vykompenzovat vliv roztažení ostatních elementů vlivem zvýšené teploty. Vyjdou-li ze vztahu

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot S},$$

pak z něho plyne, že ponechám-li stejný materiál šroubu, tak při neměnné síle  $F$ , lze poddajnost šroubu změnit délkou  $l$  / tj. delším dříkem / a průřezem  $S$  / tj. menším průměrem dříku  $d$  /.

Poněvadž pro původní šroub, který má průměr krčku  $d = 8,4$  / mm / vyšla bezpečnost k mezi kluzu  $b = 2,8$ , zvolil jsem průměr nového, poddajnějšího šroubu  $d = 6,8$  / mm /.

### Kontrola:

Ke kontrole byly použity stejné vztahy jako na str. 20. Výsledné hodnoty výpočtu jsou:

$$\sigma = 375 \text{ / MPa /}$$

$$\tau = 243 \text{ / MPa /}$$

$$\sigma_{\text{red}} = 564 \text{ / MPa /}$$

bezpečnost k mezi kluzu  $b = 1,6$ , což je ještě vyhovující.

Délku krčku jsem z původních 3 / mm / zvětšil na 7 / mm /.

K dispozici jsem tak měl čtyři druhy šroubů lišících se poddajností:

1.  $\emptyset 8,4 / \text{mm} /$ ,  $l = 3 / \text{mm} /$
2.  $\emptyset 8,4 / \text{mm} /$ ,  $l = 7 / \text{mm} /$
3.  $\emptyset 6,8 / \text{mm} /$ ,  $l = 3 / \text{mm} /$
4.  $\emptyset 6,8 / \text{mm} /$ ,  $l = 7 / \text{mm} /$

### 3.3. Upínací klín:

Součástí upínacího systému je upínací klín. Je vyráběn jako přesný odlitek z vysoce legované oceli 17023, funkční plochy jsou broušeny. Klín je zakalen minimálně na 47 HRC a černěn.

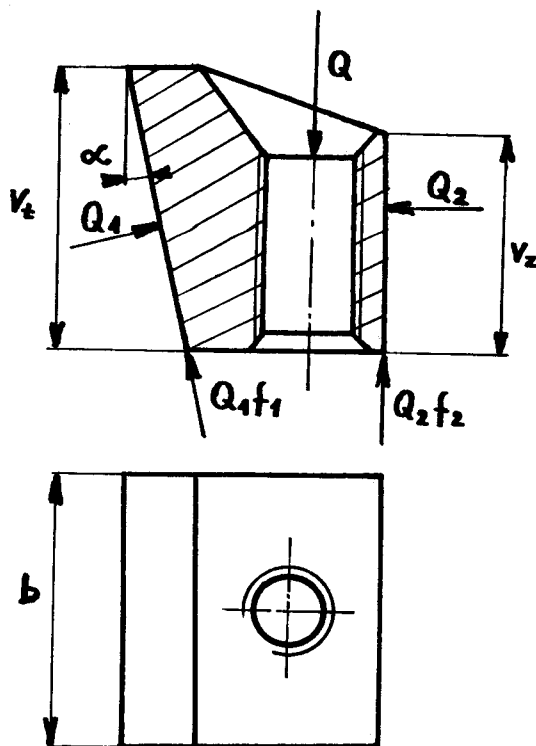


Obr. 11. Upínací klín

#### 3.3.1. Rozklad sil působících na klín:

Maximální používaná síla  $Q$  pro utahovací diferenciální šroub  $M10 \times 1$  / výpočet viz kapitola 3.2.1. / je  $Q_{\max} = 13600 / \text{N} /$ . Koeficient tření mezi klínem a břitovou destičkou předpokládáme

$f_1 = 0,08$ , koeficient tření mezi klínem a dosedací plochou v tělese frézy předpokládáme  $f_2 = 0,2$ . Úhel klínu je  $\alpha = 12^\circ$ .



Obr. 12.

Složkové rovnice:

$$\downarrow Q - Q_1 \cdot \sin \alpha - Q_1 \cdot f_1 \cdot \cos \alpha - Q_2 \cdot f_2 = 0$$

$$\leftarrow Q_2 - Q_1 \cdot \cos \alpha + Q_1 \cdot f_1 \cdot \sin \alpha = 0$$

Ze druhé rovnice vyloučíme  $Q_2$ :

$$Q_2 = Q_1 \cdot / \cos \alpha - f_1 \cdot \sin \alpha / \quad / 1 /$$

Po dosazení do první rovnice a po úpravě dostaneme

$$Q_1 = \frac{Q}{f_2 \cdot / \cos \alpha - f_1 \cdot \sin \alpha / + \sin \alpha + f_1 \cdot \cos \alpha} \quad / 2 /$$

Dosazením do obou vztahů / 1 / a / 2 / dostaneme:

$$Q_1 = \frac{13600}{0,2 \cdot / \cos 12^\circ - 0,08 \cdot \sin 12^\circ / + \sin 12^\circ + 0,08 \cdot \cos 12^\circ} = 28420 \quad / N /$$

$$Q_2 = 28420 \cdot / \cos 12^\circ - 0,08 \cdot \sin 12^\circ / = 27320 / \text{ N } /$$

### 3.3.2. Kontrola tlaků na klín:

Klíny, použité ve sledovaných frézovacích hlavách jsou různé podle toho, pracuje-li daná fréza s břitovými destičkami o délce hrany 15 / mm / nebo 25 / mm /. Protože síly  $Q_1$  a  $Q_2$ , vyvozené upínacím diferenciálním šroubem M10 x 1 budou v obou případech stejné, postačí, provedeme-li kontrolu tlaků pouze pro nepříznivější případ, tj. pro menší destičku. Pro ni je  $v_z = v_t = 13 / \text{ mm } /$ ,  $b = 13 / \text{ mm } /$ . Pro tyto hodnoty jsou tlaky:

$$p_1 = \frac{\frac{Q_1}{b \cdot v_t}}{\cos} = \frac{\frac{28420}{13 \cdot 13 \cdot 10^6}}{\cos 12^\circ} = 164 / \text{ MPa } /$$

$$p_2 = \frac{\frac{Q_2}{b \cdot v_z}}{\cos} = \frac{\frac{27320}{13 \cdot 13 \cdot 10^6}}{\cos 12^\circ} = 162 / \text{ MPa } /$$

vypočtené tlaky vyhovují.

### 3.4. Seřizovací kolík:

Pro ustavení polohy břitové destičky v drážce je u frézovacích hlav nové konstrukce použit kuželový kolík s excentrickou válcovou hlavou / obr. 13. /, zalisovaný do tělesa frézy. Kolík je vyroben z oceli 15260.3 a je zakalen na tvrdost 40 + 5 HRC.

Pomocí vzorové břitové destičky se otáčením excentrických hlav nastaví polohy jednotlivých kolíků tak, aby bylo dosaženo požadované házivosti / 0,05 mm /. Potom se kolíky narazí do tělesa frézy napevno.

Za normálních pracovních podmínek může tření mezi břitovou

destičkou a klínem i lůžkem zajistit stabilní polohu destičky, takže dorazový kolík slouží pouze k rychlému ustavení polohy destičky při výměně a není při obrábění zatížen.

V nepříznivém případě však třecí síly neudrží destičku v původní poloze a může dojít k jejímu opření o kolík. Toto nebezpečí je větší, obrábí-li se velkými posuvy při malé hloubce řezu.

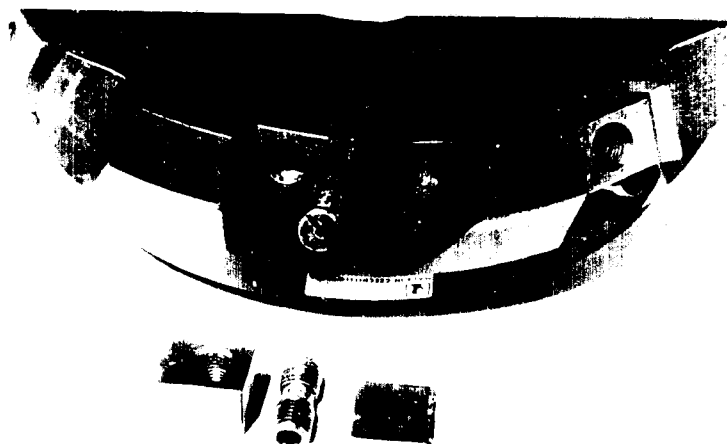


Obr. 13. Seřizovací kolík

### 3.5. Těleso frézovací hlavy:

Těleso je monolitní, robustní konstrukce. Je vyrobeno z oceli 14220. V tělese frézovací hlavy jsou zhotoveny drážky pro upnutí břitových destiček, dále je tam kuželový kolík, který slouží jako doraz břitové destičky. Kvůli zajištění přenosu kroutícího momentu jsou na zadní straně tělesa vyfrézovány drážky pro unášecí kameny. Dále jsou v tělese zhotoveny drážky pro odvod třísek. Pro ověření, zda tyto drážky plní svoji funkci, zda nedochází během obrábění k jejich ucpávání, případně zda nedochází k

tření třísek o těleso, byly uskutečněny zkoušky obrábění různých materiálů se sledováním odchodu třísky, kdy odchod třísky byl fotografován.



Obr. 14. Fotografie tělesa frézy

#### 4. ZKOUŠKY FRÉZY PŘI TEPLOTNÍM ZATÍŽENÍ:

Cílem zkoušek bylo předběžné ověření vlivu teploty na upínací systém frézy.

##### Způsob provedení zkoušky:

Za studena byl upínací diferenciální šroub dotažen pomocí momentového klíče určitým momentem. Fréza byla vložena do elektrické pícky a ohřáta na vyšší teplotu. Po ohřátí bylo momentovým klíčem zkontrolováno dotahováním, zda se změnil utahovací moment. Případná změna momentu se změřila i po vychladnutí. Byly použity tyto diferenciální šrouby: Dva původní šrouby s průměrem krčku 8,4 / mm / a délkou krčku 3 / mm /, dva šrouby o průměru 6,8 / mm / a délce krčku 3 / mm /, dva šrouby o průměru 6,8 / mm /, a délkou krčku 7 / mm /. Pro identifikaci šroubů byly jednotlivé zubové mezery označeny různým počtem zářezů. Drážka pro klín u zubové mezery č. 7 zůstala neobsazena.

Postup měření č. 1. Uvedené šrouby byly dotaženy na  $M_u = 10 / \text{Nm} /$ . Fréza ohřáta v elektrické pícce, když požadovaná teplota frézy byla  $200^{\circ}\text{C}$  a skutečně dosažená  $170^{\circ}\text{C}$ . Po vyjmutí z pícky a okamžitým upnutím do svěráku se změřil momentovým klíčem  $M_u$  tak, že se přečetla hodnota potřebná k dalšímu pootočení diferenciálního šroubu. Po skončení tohoto měření se fréza znovu vložila do pece, doohřála na  $170^{\circ}\text{C}$  a za tepla byly všechny šrouby dotaženy na  $M_u = 10 / \text{Nm} /$ . První šroub musel být nejprve povolen a teprve potom dotažen, neboť jeho  $M_u$  hodnotu  $10 / \text{Nm} /$  překročil jak je patrné z tabulky č. 1. Velikost  $M_u$  po vychladnutí je zaznamenána v tabulce č. 2. Pro představu o snížení teploty během a po měření byly zaznamenány tyto hodnoty: od vytažení frézy z pece do ukonče-

ní zkoušky proběhly 3 minuty, teplota v peci po měření 160°C, střední teplota frézy v průběhu měření 150°C.

Tab. č. 1.

| Šrouby | $M_u$ / Nm / |
|--------|--------------|
| 1      | 11           |
| 2      | 9,5          |
| 3      | 9            |
| 4      | 9            |
| 5      | 9,5          |
| 6      | 9            |

Tab. č. 2.

| Šrouby | $M_u$ / Nm / |
|--------|--------------|
| 1      | 13           |
| 2      | 13,5         |
| 3      | 12           |
| 4      | 12           |
| 5      | 12           |
| 6      | 12           |

Z výsledků měření je patrné, že  $M_u$  se změnil. Protože jsem chtěl získat další hodnoty a závislosti změny  $M_u$  na teplotě, přešel jsem k dalším měřením.

Zatěžování destiček:

Postup měření č. 2. Šrouby jsem za studena dotáhl nejprve na  $M_u = 10$  / Nm / a na  $M_u = 15$  / Nm / a změřil sílu  $F$  potřebnou na pootočení destičky. Pro toto měření jsem obsadil i sedmou drážku a požil v ní diferenciální šroub o průměru 8,4 / mm / a délce krčku 3 / mm /. Zbylé šrouby zůstaly stejné jako v měření č. 1. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 3. a č. 4.

Tab. č. 3.

| Šrouby | dílky | $F$ / kN / |
|--------|-------|------------|
| 1      | 35    | 1,153      |
| 2      | 24    | 0,791      |
| 3      | 50    | 1,647      |

Tab. č. 4.

| Šrouby | dílky | $F$ / kN / |
|--------|-------|------------|
| 1      | 48    | 1,581      |
| 2      | 31    | 1,021      |
| 3      | 78    | 2,569      |

|   |    |       |
|---|----|-------|
| 4 | 35 | 1,153 |
| 5 | 37 | 1,219 |
| 6 | 34 | 1,120 |
| 7 | 55 | 1,812 |

|   |    |       |
|---|----|-------|
| 4 | 55 | 1,812 |
| 5 | 65 | 2,141 |
| 6 | 55 | 1,812 |
| 7 | 78 | 2,569 |

Z výsledků měření je vidět, že destičky se pootáčí při různých, značně se lišících hodnotách síly, i u stejného druhu diferenciálního šroubu. Abych získal větší přehled o měřených hodnotách přešel jsem na měření č. 3.

Postup měření č. 3. Do upínacího systému frézy jsem zašrouboval 7 diferenciálních šroubů všech stejných o průměru 8,4 / mm / a šířce krčku 3 / mm /. Všechny řezné destičky jsem otřel do sucha, stejně tak i diferenciální šrouby a dosedací plochy na fréze. Šrouby jsem dotáhl na  $M_u = 15$  / Nm / a řezné destičky jsem zatěžoval za studena. Podmínky pro vytlačení destičky zůstaly stejné jako u měření č. 2. Měření jsem opakoval 3x. Výsledky jsou uvedeny v tab. č. 5.

Postup měření č. 4. Šrouby o průměru 8,4 / mm /, délce krčku 3 / mm / jsem za studena dotáhl na  $M_u = 15$  / Nm /. Frézu jsem vložil do pece a ohřál na 180°C. Za tepla jsem změřil  $M_u$  a sílu F potřebnou k pootočení destiček. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Postup měření č. 5. Šrouby o průměru 8,4 / mm /, délce krčku 3 / mm / jsem za teploty frézy 180°C dotáhl na  $M_u = 15$  / Nm /. Nejprve jsem zatěžoval první tři destičky a aby fréza příliš nevychladla nechal jsem ji doohřát 15 / min. /. Poté jsem změřil síly k pootočení u zbylých čtyř destiček. Doba potřebná pro dílčí

měření nepřekročila 2 minuty. Teplota v peci během celého měření neklesla pod  $185^{\circ}\text{C}$ . Měření jsem opakoval 3x. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Postup měření č. 6. Po ukončení měření č. 5. se fréza doohřála 15 / min. / v peci a za tepla byl nastaven  $M_u = 12$  / Nm /. Fréza se nechala vychladnout. Po vychladnutí jsem změřil sílu potřebnou k pootočení destiček a zkontroloval  $M_u$ . Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Postup měření č. 7. Je stejný jako u č. 3. Rozdíl je pouze v tom, že zde jsem použil šrouby o průměru 6,8 / mm / a délce krčku 7 / mm /. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 13.

Postup měření č. 8. Je stejný jako u č. 4. Zde jsem použil šrouby o průměru 6,8 / mm /, délka krčku 7 / mm /. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 16.

Postup měření č. 9. Je stejný jako u č. 5. Použité šrouby průměr 6,8 / mm /, délka krčku 7 / mm /. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 17.

Postup měření č. 10. Je stejný jako u č. 6. Použité šrouby průměr 6,8 / mm /, délka krčku 7 / mm /. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 20.

U všech měření jsem hodnotu  $M_u$  nastavoval momentovým klíčem. Jestliže jsem  $M_u$  kontroloval je v tabulce zapsaná hodnota potřebná k dalšímu pootočení diferenciálního šroubu.

U všech měření jsou hodnoty potřebné k pootočení řezných

destiček získány následujícím způsobem: Fréza byla upnuta upínkou na stůl vrtačky VR4 a její stálá poloha vůči zatěžovacímu hrotu vymezena dvěma dorazy posunutými po obvodě frézy o  $90^{\circ}$ . Destička v zubové drážce byla upnuta tak, aby jedna její hrana byla asi  $1 \text{ mm}$  od zajišťovacího kolíku. Jestliže by se ho dotýkala, značně by vzrostla síla potřebná k pootočení destičky. Pro daná měření mi stačilo výsledky velikostí sil pouze porovnávat.

Upnutou řeznou destičku jsem vystavil zatížení od vřetena vrtačky přes hrot třmenového dynamometru. Hrot působil  $3 \text{ mm}$  od okraje destičky. Tato hodnota zůstala v průběhu všech měření konstantní. Zatěžování destičky probíhalo postupně, po dvou dílcích na setinovém úchylkoměru dynamometru. Kvůli vyloučení vlivu rychlosti zatěžování se vždy na dané hodnotě setrvalo  $0,5 + 1$  sekundy.

Do tabulek jsou zaznamenány maximálně dosažené hodnoty takové, kdy se destička poprvé pootočila, což se projeví tak, že na setinovém úchylkoměru ručička mírně poklesne nebo se zastaví, přestože zatížení zůstává konstantní nebo se zvyšuje. Po tomto jevu přecházím k zatěžování další destičky.

Velikosti sil  $F$  v tabulkách jsou spočítány z údaje na dynamometru, kde  $10 \text{ kN} = 3,035 \text{ mm}$ ,  $1 \text{ mm} = 3,294 \text{ kN}$  a ze setinového úchylkoměru, kde  $1 \text{ dílek} = 0,01 \text{ mm}$ .

#### 4.1. Tabulky:

č. 5.

| šr. | d  | F /kN/ | d  | F /kN/ | d  | F /kN/ | $\bar{x}$ | $s^2$ | s     | $\mu$ /kN/                |
|-----|----|--------|----|--------|----|--------|-----------|-------|-------|---------------------------|
| 1   | 36 | 1,186  | 32 | 1,054  | 36 | 1,186  | 1,142     | 0,006 | 0,077 | $1,142^{+0,089}_{-0,089}$ |
| 2   | 24 | 0,791  | 22 | 0,725  | 22 | 0,725  | 0,747     | 0,001 | 0,038 | $0,747^{+0,044}_{-0,044}$ |
| 3   | 58 | 1,911  | 58 | 1,911  | 60 | 1,976  | 1,932     | 0,001 | 0,038 | $1,932^{+0,044}_{-0,044}$ |
| 4   | 54 | 1,779  | 50 | 1,647  | 52 | 1,713  | 1,713     | 0,004 | 0,063 | $1,713^{+0,073}_{-0,073}$ |
| 5   | 44 | 1,449  | 37 | 1,219  | 42 | 1,383  | 1,351     | 0,014 | 0,118 | $1,351^{+0,137}_{-0,137}$ |
| 6   | 52 | 1,713  | 45 | 1,482  | 52 | 1,713  | 1,636     | 0,018 | 0,133 | $1,636^{+0,154}_{-0,154}$ |
| 7   | 80 | 2,635  | 64 | 2,108  | 68 | 2,240  | 2,328     | 0,075 | 0,274 | $2,328^{+0,317}_{-0,317}$ |

č. 6.

|                 |                           |                  |                          |                   |                           |
|-----------------|---------------------------|------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|
| $\bar{x}_{1+6}$ | 1,472                     | $\bar{x}_{8+13}$ | 1,340                    | $\bar{x}_{15+20}$ | 1,449                     |
| $s^2$           | 0,178                     |                  | 0,183                    |                   | 0,203                     |
| s               | 0,422                     |                  | 0,428                    |                   | 0,450                     |
| $\mu$           | $1,472^{+0,345}_{-0,345}$ |                  | $1,34^{+0,349}_{-0,349}$ |                   | $1,449^{+0,368}_{-0,368}$ |

č. 7.

|                |                           |
|----------------|---------------------------|
| $\bar{x}_{cs}$ | 1,420                     |
| $s^2$          | 0,169                     |
| s              | 0,412                     |
| $\mu_{cs}$     | $1,420^{+0,194}_{-0,194}$ |

č. 8.

| šr. | d  | F /kN / | $M_u$ /Nm/ |
|-----|----|---------|------------|
| 1   | 20 | 0,659   | 14         |
| 2   | 18 | 0,593   | 14,5       |
| 3   | 23 | 0,758   | 14         |
| 4   | 56 | 1,845   | 15         |
| 5   | 40 | 1,318   | 15         |
| 6   | 50 | 1,647   | 14         |
| 7   | 74 | 2,438   | 16         |

č. 9.

| šr. | d  | F /kN/ | d  | F / kN/ | d  | F. /kN/ | $\bar{x}$ | $s^2$ | s     | $\mu$ /kN/        |
|-----|----|--------|----|---------|----|---------|-----------|-------|-------|-------------------|
| 1   | 22 | 0,725  | 19 | 0,626   | 16 | 0,527   | 0,626     | 0,010 | 0,100 | $0,626 \pm 0,116$ |
| 2   | 19 | 0,626  | 18 | 0,593   | 20 | 0,659   | 0,626     | 0,001 | 0,033 | $0,626 \pm 0,038$ |
| 3   | 54 | 1,779  | 51 | 1,680   | 50 | 1,647   | 1,702     | 0,005 | 0,069 | $1,702 \pm 0,079$ |
| 4   | 34 | 1,120  | 38 | 1,252   | 40 | 1,318   | 1,230     | 0,010 | 0,100 | $1,230 \pm 0,116$ |
| 5   | 32 | 1,054  | 34 | 1,120   | 40 | 1,318   | 1,164     | 0,019 | 0,137 | $1,164 \pm 0,159$ |
| 6   | 40 | 1,318  | 32 | 1,054   | 35 | 1,153   | 1,175     | 0,018 | 0,133 | $1,175 \pm 0,154$ |
| 7   | 48 | 1,581  | 46 | 1,515   | 52 | 1,713   | 1,603     | 0,010 | 0,100 | $1,603 \pm 0,116$ |

č. 10.

|                 |                   |                  |                   |                   |                   |
|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $\bar{x}_{1+6}$ | 1,104             | $\bar{x}_{8+13}$ | 1,054             | $\bar{x}_{15+20}$ | 1,104             |
| $s^2$           | 0,175             |                  | 0,166             |                   | 0,184             |
| s               | 0,419             |                  | 0,408             |                   | 0,429             |
| $\mu$           | $1,104 \pm 0,342$ |                  | $1,054 \pm 0,333$ |                   | $1,104 \pm 0,350$ |

č. 11.

|                |                   |
|----------------|-------------------|
| $\bar{x}_{ct}$ | 1,087             |
| $s^2$          | 0,155             |
| s              | 0,394             |
| $\mu_{ct}$     | $1,087 \pm 0,186$ |

č. 12.

| šr. | d  | F /kN/ | $M_u$ /Nm/ |
|-----|----|--------|------------|
| 1   | 23 | 0,758  | 12         |
| 2   | 18 | 0,593  | 15         |
| 3   | 56 | 1,845  | 13         |
| 4   | 44 | 1,449  | 14         |
| 5   | 44 | 1,449  | 13         |
| 6   | 32 | 1,054  | 12         |
| 7   | 48 | 1,581  | 11         |

č. 13.

| šr. | d  | F /kN/ | d  | F /kN/ | d  | F /kN/ | $\bar{x}$ | $s^2$ | s     | $\mu$ /kN/        |
|-----|----|--------|----|--------|----|--------|-----------|-------|-------|-------------------|
| 1   | 44 | 1,449  | 42 | 1,383  | 42 | 1,383  | 1,405     | 0,001 | 0,038 | $1,405 \pm 0,044$ |
| 2   | 38 | 1,252  | 30 | 0,988  | 34 | 1,120  | 1,120     | 0,017 | 0,132 | $1,120 \pm 0,153$ |
| 3   | 58 | 1,911  | 64 | 2,108  | 66 | 2,174  | 2,064     | 0,019 | 0,137 | $2,064 \pm 0,158$ |
| 4   | 40 | 1,318  | 56 | 1,845  | 42 | 1,383  | 1,515     | 0,083 | 0,287 | $1,515 \pm 0,332$ |
| 5   | 46 | 1,515  | 44 | 1,449  | 46 | 1,515  | 1,493     | 0,001 | 0,038 | $1,493 \pm 0,044$ |
| 6   | 42 | 1,383  | 42 | 1,383  | 46 | 1,515  | 1,427     | 0,006 | 0,076 | $1,427 \pm 0,088$ |
| 7   | 70 | 2,306  | 64 | 2,108  | 68 | 2,240  | 2,218     | 0,010 | 0,100 | $2,218 \pm 0,116$ |

č. 14.

|                 |                   |                  |                   |                   |                   |
|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $\bar{x}_{1+6}$ | 1,471             | $\bar{x}_{8+13}$ | 1,526             | $\bar{x}_{15+20}$ | 1,515             |
| $s^2$           | 0,055             |                  | 0,155             |                   | 0,125             |
| s               | 0,235             |                  | 0,394             |                   | 0,354             |
| $\mu$           | $1,471 \pm 0,192$ |                  | $1,526 \pm 0,322$ |                   | $1,515 \pm 0,289$ |

č. 15.

|                |                   |
|----------------|-------------------|
| $\bar{x}_{cs}$ | 1,504             |
| $s^2$          | 0,100             |
| s              | 0,316             |
| $\mu_{cs}$     | $1,504 \pm 0,149$ |

č. 16.

| šr. | d  | F /kN/ | $M_u$ /Nm/ |
|-----|----|--------|------------|
| 1   | 24 | 0,791  | 15         |
| 2   | 32 | 1,054  | 16,5       |
| 3   | 66 | 2,174  | 16         |
| 4   | 50 | 1,647  | 17         |
| 5   | 48 | 1,581  | 17         |
| 6   | 42 | 1,383  | 17         |
| 7   | 68 | 2,240  | 14         |

č. 17.

| šr. | d  | F /kN/ | d  | F /kN/ | d  | F /kN/ | $\bar{x}$ | $s^2$ | s     | $\mu$ /kN/        |
|-----|----|--------|----|--------|----|--------|-----------|-------|-------|-------------------|
| 1   | 28 | 0,922  | 26 | 0,856  | 30 | 0,988  | 0,922     | 0,004 | 0,066 | $0,922 \pm 0,076$ |
| 2   | 22 | 0,725  | 24 | 0,791  | 26 | 0,856  | 0,791     | 0,004 | 0,066 | $0,791 \pm 0,076$ |
| 3   | 58 | 1,911  | 56 | 1,845  | 60 | 1,976  | 1,911     | 0,004 | 0,066 | $1,911 \pm 0,076$ |
| 4   | 40 | 1,318  | 42 | 1,383  | 38 | 1,252  | 1,318     | 0,004 | 0,066 | $1,318 \pm 0,076$ |
| 5   | 38 | 1,252  | 38 | 1,252  | 36 | 1,186  | 1,230     | 0,001 | 0,038 | $1,230 \pm 0,044$ |
| 6   | 34 | 1,120  | 36 | 1,186  | 34 | 1,120  | 1,142     | 0,001 | 0,038 | $1,142 \pm 0,044$ |
| 7   | 52 | 1,713  | 48 | 1,581  | 56 | 1,845  | 1,713     | 0,017 | 0,132 | $1,713 \pm 0,153$ |

č. 18.

|                 |                   |                  |                   |                   |                   |
|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $\bar{x}_{1+6}$ | 1,208             | $\bar{x}_{8+13}$ | 1,219             | $\bar{x}_{15+20}$ | 1,230             |
| $s^2$           | 0,166             |                  | 0,147             |                   | 0,154             |
| s               | 0,408             |                  | 0,384             |                   | 0,392             |
| $\mu$           | $1,208 \pm 0,333$ |                  | $1,219 \pm 0,313$ |                   | $1,230 \pm 0,320$ |

č. 19.

|                |                   |
|----------------|-------------------|
| $\bar{x}_{ct}$ | 1,219             |
| $s^2$          | 0,138             |
| s              | 0,371             |
| $\mu_{ct}$     | $1,219 \pm 0,175$ |

č. 20.

| šr. | d  | F /kN/ | $M_u$ /Nm/ |
|-----|----|--------|------------|
| 1   | 32 | 1,054  | 14         |
| 2   | 34 | 1,120  | 14         |
| 3   | 56 | 1,845  | 13         |
| 4   | 42 | 1,383  | 14         |
| 5   | 44 | 1,449  | 12         |
| 6   | 40 | 1,318  | 13         |
| 7   | 50 | 1,647  | 13,5       |

#### 4.2. Zpracování výsledků měření:

Ze získaných výsledků nelze jednoznačně určit zda-li rozdílné hodnoty sil naměřené za tepla a za studena u obou druhů šroubů mají nějaký podstatný význam, protože někdy síly značně kolísají i u stejných destiček při jednotlivých měřeních. Také mezi hodnotami sil za tepla a za studena je někdy rozdíl výrazný a někdy nulový.

Ke zpracování výsledků jsem použil matematicko - statistické metody. Jednotlivé hodnoty síly  $F$  jsou speciálním případem hromadného jevu, tzv. jevem náhodným, protože za daných podmínek nastat může a nemusí. Konečným množstvím sledovaných hodnot je vytvořen statistický soubor. V případě měření sil  $F$  jde o náhodný výběr ze základního souboru, tedy o skupinu nezávislých náhodných výsledků, opakovaných za stejných podmínek, kdy hodnoty prakticky dosažitelné mají všechny stejnou možnost dostat se do výběru.

Charakteristiky náhodného výběru charakterizují přibližně parametry základního souboru.

$$\text{Výběrový průměr } \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

$n$  - počet měření

$x_i$  - hodnoty náhodné veličiny pojaté do náhodného výběru

$$\text{Výběrový rozptyl } s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$\text{Výběrová směrodatná odchylka } s = \sqrt{s^2}$$

$$\text{Střední hodnota } \mu = \bar{x} \pm k \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad k = 2$$

Protože výběrové charakteristiky jsou náhodné veličiny je odhad vždy zatížen chybou, jejíž velikost je nutné alespoň přibližně znát. Pro zvolenou konstantu  $k = 2$  je z 95,45% pravděpodobné, že skutečná hodnota  $x$  / tedy síly  $F$  / bude uvnitř intervalu.

Zpracované hodnoty pro šrouby o průměru 8,4 / mm / a délce krčku 3 / mm / , zatěžování za studena, jsou v tabulce č. 5, 6, 7, a pro zatěžování za tepla, v tabulce 9, 10, 11. Pro šrouby průměr 6,8 / mm / , délka krčku 7 / mm / , zatěžování za studena, jsou hodnoty v tab. č. 13, 14, 15, a za tepla v tab. č. 17, 18, 19.

Ve výběrových charakteristikách jsem nepočítal s destičkou označenou jako č. 7. , protože je jiného typu a má odlišný povrch než destičky č. 1 až 6 / typ KRUPP TTR 20 / . Pro celkovou zkoušku je tedy počet měření  $n = 18$  a pro jedno upnutí frézy  $n = 6$ . Výběrové charakteristiky jsem zpracoval i pro jednotlivé zubové drážky, kde  $n = 3$ .

K vytvoření objektivního závěru o tom, zda velikost síly, která je potřebná k pootočení destičky je závislá:

a./ na průměru a délce krčku / tuhosti šroubu /

b./ na změně teploty frézy

podrobil jsem výsledky měření testům statistické hypotézy.

Test statistické hypotézy na základě výsledků zjištěných z náhodného výběru objektivně předepisuje, zda má být ověřovaná hypotéza zamítnuta či nikoliv.

Jako testovanou hypotézu  $H_0$  jsem vzal tuto větu: " Všechny hodnoty v náhodném výběru pocházejí z jednoho základního souboru. " Test rozhoduje o tom, zda se testovaná hypotéza zamítne či nikoliv. Při zamítnutí  $H_0$  přijímám alternativní hypotézu  $H_1$ . Předem jsem si zvolil hladinu významnosti  $\alpha$  , která udává výši rizika, s jakým se  $H_0$  zamítne, přestože je správná. Pro následující čtyři testy jsem použil tyto vzorce:

Pro test výběrových rozptylů:

$$F = \frac{\max / s_1^2, s_2^2 /}{\min / s_1^2, s_2^2 /}$$

$$F > F_{\alpha/2} / n_h - 1, n_d - 1 /$$

Pro test shody středních hodnot jsou  $\sigma_1^2$  a  $\sigma_2^2$  rozptýly obou základních souborů, což má význam pro volbu dalšího postupu testování.

Testová charakteristika:

$$|t| = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Kritický obor:

$$|t| = t > / n_1 + n_2 - 2 /$$

1./ Zkoumám, zda se při změně teploty u šroubů o průměru 8,4 / mm / a délce krčku 3 / mm / projeví změna síly F potřebná k vytlačení destičky.

Za studena -  $\bar{x}_1 = 1,420$

Za tepla -  $\bar{x}_2 = 1,087$

$$s_1^2 = 0,169$$

$$s_2^2 = 0,155$$

$$n_1 = 18$$

$$n_2 = 18$$

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

$$\alpha = 0,10$$

$$F = \frac{0,169}{0,155} = 1,09$$

$$F_{0,05} / 17,17 / = 2,27$$

$F < F_{0,05}$  , protože výběrová charakteristika  $F$  nepadne do kritického oboru, lze považovat rozdíl výběrových rozptylů pouze za náhodný a skutečné rozptyly  $\sigma_1^2$  a  $\sigma_2^2$  prakticky za stejné.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha = 0,05$$

$$s = \sqrt{\frac{18-1}{18+18-2} \cdot \frac{0,169 + 0,155}{2}} = 0,402$$

$$|t| = \frac{1,420 - 1,087}{0,402 \cdot \sqrt{\frac{1}{18} + \frac{1}{18}}} = 2,48$$

$$|t| = 2,48 > t_{0,05} / 34 / = 2,03$$

2./ První test provedu pro šrouby o průměru 6,8 / mm / a délce krčku 7 / mm /.

$$\text{Za studena} - \bar{x}_1 = 1,504$$

$$s_1^2 = 0,100$$

$$n_1 = 18$$

$$\text{Za tepla} - \bar{x}_2 = 1,219$$

$$s_2^2 = 0,138$$

$$n_2 = 18$$

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

$$\alpha = 0,10$$

$$F = \frac{0,138}{0,100} = 1,38$$

$$F_{0,05} / 17,17 / = 2,27$$

$F < F_{0,05} \Rightarrow$  skutečné rozptyly  $\sigma_1^2$ ,  $\sigma_2^2$  jsou prakticky stejné.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha = 0,05$$

$$s = \sqrt{\frac{\frac{18-1}{18+18-2} \cdot 0,100 + \frac{18-1}{18+18-2} \cdot 0,138}{18+18-2}} = 0,345$$

$$|t| = \frac{|1,504 - 1,219|}{0,345 \cdot \sqrt{\frac{1}{18} + \frac{1}{18}}} = 2,48$$

$$|t| = 2,48 > t_{0,05} / 34 / = 2,03$$

Protože testové charakteristiky  $|t|$  padly do kritického oboru, zamítám  $H_0$  ve prospěch  $H_1$ , takže na velikost síly potřebné k pootočení řezných destiček se vliv teploty projevil, a to snížením této síly. Pouze v pěti případech ze sta lze předpokládat, že tento závěr není správný.

3./ V tomto testu porovnávám výsledky zatěžování za studena pro šrouby o průměru 8,4 / mm /, délce krčku 3 / mm / a šrouby o průměru 6,8 / mm / a délce krčku 7 / mm /.

$$\text{Průměr } 8,4 / \text{ mm } / - \bar{x}_1 = 1,420 \quad \text{Průměr } 6,8 / \text{ mm } / - \bar{x}_2 = 1,504$$

$$s_1^2 = 0,169$$

$$s_2^2 = 0,100$$

$$n_1 = 18$$

$$n_2 = 18$$

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

$$\alpha = 0,10$$

$$F = \frac{0,169}{0,100} = 1,69$$

$$F_{0,05} / 17,17 / = 2,27$$

$F < F_{0,05} \Rightarrow$  skutečné rozptyly  $\sigma_1^2$  a  $\sigma_2^2$  jsou prakticky stejné.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha = 0,05$$

$$s = \sqrt{\frac{1/18 - 1/18 \cdot 0,169 + 1/18 - 1/18 \cdot 0,100}{18 + 18 - 2}} = 0,367$$

$$|t| = \frac{|1,420 - 1,504|}{0,367 \cdot \sqrt{\frac{1}{18} + \frac{1}{18}}} = 0,686$$

$$|t| = 0,686 < t_{0,05} / 34 / = 2,03$$

4./ V tomto testu porovnávám výsledky pro šrouby o průměru 8,4 / mm / a délce krčku 3 / mm /, o průměru 6,8 / mm / a délce krčku 7 / mm / při zatěžování za tepla.

$$\text{Průměr } 8,4 / \text{ mm } / - \bar{x}_1 = 1,087 \quad \text{Průměr } 6,8 / \text{ mm } / - \bar{x}_2 = 1,219$$

$$s_1^2 = 0,155$$

$$s_2^2 = 0,138$$

$$n_1 = 18$$

$$n_2 = 18$$

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

$$\alpha = 0,10$$

$$F = \frac{0,155}{0,138} = 1,12$$

$$F_{0,05} / 17,17 / = 2,27$$

$F < F_{0,05} \Rightarrow$  skutečné rozptyly  $\sigma_1^2$  a  $\sigma_2^2$  jsou prakticky stejné.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha = 0,05$$

$$s = \sqrt{\frac{\frac{1}{18} \cdot 0,155 + \frac{1}{18} \cdot 0,138}{18 + 18 - 2}} = 0,383$$

$$|t| = \frac{|1,087 - 1,219|}{0,383 \cdot \sqrt{\frac{1}{18} + \frac{1}{18}}} = 1,034$$

$$|t| = 1,034 < t_{0,05} / 34 / = 2,03$$

Protože testové charakteristiky  $|t|$  nepadly do kritického oboru nelze, zamítnout v obou posledních případech hypotézu  $H_0$ . Výsledek testu neprokázal, že rozdíly naměřené u šroubů různých průměrů jsou způsobeny změnou těchto průměrů, neboť tyto rozdíly v pozorovaných hodnotách jsou vysvětlitelné náhodným kolísáním. Změna průměru šroubu a délky krčku nemá na velikost síly  $F$  potřebné pro pootočení řezné destičky za tepla ani za studena vliv. Pravděpodobnost, že tento závěr není správný se může projevit pouze u pěti šroubů ze sta.

#### 4.3. Vyhodnocení výsledků měření:

Šroub po stránce pevnosti na tah vyhovuje. Upínací síla, vyvozená při zajištění definovaného momentu utahování je natolik dostatečná, že by nemělo dojít k povolení, resp. k posunutí břitové destičky. Protože však v praxi nebývají vždy tyto podmínky splněny, musíme připustit, že dochází k natáčení břitových destiček. Proti natáčení působí kuželový kolík s válcovou excentrickou hlavou, jehož hlavní funkcí je ale umožnit seřizování břitových destiček.

Z měření plyne, že vlivem zvýšené teploty síla, potřebná na vytlačení řezné destičky ze své původní polohy, poklesla. Použití diferenciálních šroubů o zvýšené poddajnosti však tento pokles neovlivní. Další zvyšování poddajnosti šroubu na úkor zmenšování průměru krčku je omezeno bezpečností, neboť by mohlo dojít k jeho přetržení již při samotném upínání břitové destičky doporučeným kroutícím momentem / v praxi se většinou diferenciální šroub neutahuje pomocí momentového klíče a při utahování šroubu ručním klíčem, kdy není možné přesně požadovaný moment nastavit může být hodnota 15 / Nm / překročena /.

Délku krčku také nelze stále prodlužovat, protože tlak mezi závity šroubu a klínu by byl překročen. Při jednorázovém použití to tak veliký význam nemá, ale při vícenásobném povolení a utažení dojde ke snížení životnosti a může dojít i k plastické deformaci prvního závitu a k poklesu předpětí a tím také k uvolnění šroubu i upínané břitové destičky.

Doporučuji tedy zůstat u šroubu s původním rozměrem krčku o průměru 8,4 / mm / a délce krčku 3 / mm /, protože vykazuje vyšší bezpečnost při namáhání.

Teplotní vlivy by bylo možné zmenšit jinými způsoby, např.

když část upínacího systému zhotovíme o větší tepelné roztažnosti, aby se eliminovalo menší roztažení břitové destičky. To lze realizovat tak, že zhotovíme upínací klín např. z austenitické manganové oceli.

Tuhost upínací soustavy zmenšíme, jestli-že prohloubíme výrazněji / technologickou / drážku v tělese frézy mezi dvěma sousedními dosedacími plochami břitové destičky / tím se přítláčná síla mění v závislosti na deformaci pomaleji /.  
Dále lze zmenšit tuhost upínací soustavy, zmenšíme-li šířku opěrné plochy pro destičku v tělese frézy.

## 5. POZNATKY Z TEORETICKÉHO ROZBORU KONSTRUKCE A Z PROVOZNÍCH

### ZKOUŠEK:

#### 5.1. Vyhodnocení odchodu třísky:

Ze zkoušek, které byly konány v Krušnohorských strojárnách v Komořanech a dále v nástrojárně AZNP Mladá Boleslav plyne, že odchod třísky pro obráběný materiál ocel 12050.1 a 16420.1 a pro dané frézy je vcelku uspokojivý. Třísky se tvoří převážně šroubovitě válcové / obr. 15. / nebo kuželové / obr. 16. / a odcházejí podél osy drážky. V některých případech, zpravidla při menších posuvech na zub, odchází tříška ve tvaru spirály / obr. 17. /, tříška je v mezeře deformována nárazy na řeznou plochu a plochu drážky pro odchod třísky. U této třísky je nebezpečná možnost vymílání drážky tělesa. Jiný případ utváření nastává při malých hloubkách řezu a velkých posuvech, kdy odchází tříška ve tvaru kuželové šroubovice až i s radiální tvořící čarou / obr. 18. /. Tyto třísky jsou silně napěchovány a odcházejí směrem na obráběnou plochu. Tam nepůsobí škodlivě.

Při větších hloubkách řezu je větší sklon k tvorbě třísek ve tvaru kuželových šroubovic nebo spirál. Vzniká tam tedy nebezpečí vymílání drážky. Obdobně působí i zvětšující se šířka frézování. Vliv řezných podmínek na tvar a velikost odcházející třísky lze shrnout tak, že se vzrůstající hodnotou řezné rychlosti roste průměr svitku třísky, obdobně působí i posuv na zub, avšak intenzivněji.

#### 5.2. Zhodnocení výzkumu optimální geometrie:

Z výsledků zkoušek obrábění hrubovacími frézami například

vyplývá, že je rozdíl zda fréza pracuje jedním zubem nebo je-li v záběru současně zubů více. V některých případech je obrábění jedním zubem téměř nemožné pro nadměrné nárazy na hnací mechanismus stroje. Je možné sledovat např. utváření a odchod třísky na jediném zubu, ale optimální geometrii z hlediska chvění lze sledovat jen při plném záběru celým průměrem frézy.



Obr. 15.



Obr. 16.



Obr. 17.



Obr. 18.

### 5.3. Poznátky týkající se jednotlivých členů frézovací hlavy:

#### 5.3.1. Břitová destička:

Z provedených zkoušek vyplnulo, že břitová destička

SPUN 15 04 12 je co do velikosti postačující. Při posuvech na zub  $s_z = 0,8 / \text{mm}$  / je schopna obrábět téměř na hloubku řezu rovnou délce ostří, tj.  $8 + 10 / \text{mm}$  /. Při plně zatížené destičce je působení sil natolik příznivé, že nedochází k natáčení destiček. Destička je tlačena téměř kolmo k lůžku. Nároky na příkon stroje jsou rovněž přiměřené.

#### 5.3.2. Upínací klín:

Z analýzy faktorů působících na klín / kap. 3.3. / lze vyvodit, že úhel klínu  $12^\circ$  je volen správně. Při větším úhlu než  $12^\circ$  by klesala upínací síla. Při zmenšení úhlu klínu by sice upínací síla vzrůstala, ale klín by byl samosvorný i při malých koeficientech tření. Šel by obtížně povolovat. Po stránce působících tlaků na dosedací plochy těleso klínu vyhovuje.

#### 5.3.3. Kuželový kolík:

Dimenzováním kuželového kolíku bychom se nemuseli za podmínek, kdy je třením destička dostatečně upnuta zabývat. Při extrémních podmínkách však může dojít k otočení válcové hlavy a k deformaci kolíku. Doporučujeme proto zvětšení průměru kuželové i válcové části. Navíc u válcové části její prodloužení. Prodloužovat kolík není nutné, naopak při poloze hlavy v horní polovině destičky dochází snáze ke klopení břitové destičky.

#### 5.3.4. Těleso frézovací hlavy:

Těleso frézovací hlavy je dostatečně robustní. Pro lepší usazení břitových destiček by bylo vhodné lůžko destičky, před-

stavované broušenou plochou, ve střední části vylehčit otvorem nebo zafrézováním.

U frézy  $\varnothing 160$  / mm /,  $K_r = 75^\circ$  je na stávající konstrukci malé zahloubení na čelní ploše frézy. Frézu pak nelze upnout šroubem s křížovou hlavou za otvor na trnu, jak je obvyklé u některých menších frézek. Zmenšuje to oblast použitelnosti frézovací hlavy.

Při zkoumání odchodu třísky docházelo zvláště při větších hloubkách řezu k deformaci třísky vlivem nárazů na těleso frézy. Protože se jednalo o krátkodobé zkoušky frézování, nelze provést jednoznačný závěr týkající se životnosti tělesa frézy v důsledku vymílání třískami.

## 6. ZÁVĚR - NÁVRH DOPORUČENÍ:

Z provedených zkoušek a z analýzy jednotlivých konstrukčních prvků je možno vyvodit následující závěry:

### 6.1. Upínací systém:

Teoretické rozbory poměrů v upínací soustavě i v praktické zkoušky prokázaly, že upínací systém břitových destiček pro hrubovací frézy je velmi vtipně řešen s minimálním počtem použitých prvků a je možné jej i z hlediska technologičnosti posuzovat příznivě. Vyskytující se nedostatky / např. nedostatečná přesnost klínů a poměrně hrubé tolerance u vnitřního šestihranu diferenciálního šroubu / lze zčásti přičíst určitým nepřesnostem při výrobě.

Upínací síla, vyvozená při zajištění definovaného momentu utahování je natolik dostatečná, že by nemělo dojít k posunutí břitové destičky, zvláště když proti natáčení působí kuželový kolík s válcovou excentrickou hlavou / i když jeho hlavní funkcí je umožnit seřizování břitových destiček /.

### 6.2. Geometrie břitu:

Z posouzení dosavadního výzkumu není možno jednoznačně doporučit optimální geometrii hrubovacích fréz, protože praktické provozní zkoušky neměly dostatečný rozsah, aby bylo možno jednoznačně prokázat která z fréz je nejlepší. Souvisí to i s přesným stanovením kritéria optimalizace / zda to je odchod a utváření třísky nebo dosažená teplota při obrábění a řezná síla /.

Ze zkoušených fréz nejlépe pracovala / tichý chod i při mezích podmínkách zkoušek / fréza PN 22 2445 s  $K_r = 75^\circ$  /  $\lambda_s = 7^\circ$ ,

$\gamma_f = 0^\circ$  /, což potvrdil i frézař tyto zkoušky konající.

### 6.3. Zubová mezera:

Z odchodů třísek u zkoušených typů fréz je možno usoudit, že u všech typů fréz jsou zubové mezery dostatečně dimenzovány.

### 6.4. Řezné podmínky:

Pro dostatečně tuhou soustavu SPID a pro obráběné materiály tříd obrábitelnosti 11 b + 13 b lze doporučit tyto hodnoty:

řezná rychlost: 60 + 120 / m/min. / dle druhu použitého sli-  
nutého karbidu a obráběného materiálu.

posuv na zub: pro hloubku řezu do 10 / mm /  $s_z = 0,2 + 1,2$  / mm /

hloubku řezu pro frézy s:

$$K_r = 45^\circ \dots\dots\dots t = 8 / \text{ mm } /$$

$$K_r = 60^\circ \dots\dots\dots t = 10 / \text{ mm } /$$

$$K_r = 75^\circ \dots\dots\dots t = 10 / \text{ mm } /$$

frézovaná šířka taková, aby byly v záběru minimálně dva zuby.

Závěrem bych chtěl poděkovat za pomoc a cenné rady při zpracování diplomového úkolu svému vedoucímu diplomové práce s. Ing. R. Kvapilovi CSc. a svému konzultantovi s. Ing. J. Menčíkovi CSc. Rovněž bych chtěl poděkovat s. J. Jančovi za praktické připomínky a návrhy.

7. SEZNAM LITERATURY:

- 1./ Kvapil, R.: Menčík, J.: Hrubovací frézovací hlavy.  
VZ. VŠST Liberec 1980
- 2./ Demjanovič, J.: Hrubovací frézovací hlavy. .  
DP - ST - VŠST Liberec 1980
- 3./ Černoch, S.: Strojně technická příručka      Praha 1977
- 4./ Bartoš, J.: Strojnické tabulky      Praha 1970
- 5./ Norma ČSN 01 0250: Statistické metody v průmyslové praxi.