

Vysoká škola:

Fakulta:

Katedra:

Školní rok:

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro

obor

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:

Pokyny pro vypracování:

a/ ...

b/ ...

c/ ...

d/ ...

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XVII, sešit 24 ze
dne 31.8.1962 §17 aut. z. č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Rozsah grafických laboratorních prací: Konstruktční sestava upravné jednotky

Rozsah průvodní zprávy: 10 stran strojopisu formátu A4

Seznam odborné literatury:

Výkresové dokumentace a originál jednotky Kovostav Žamberk

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Jaroslav Chlupát, JSc

Konsultanti: Ing. Janovský, Kovostav Žamberk

Datum zahájení diplomové práce: 10. 10. 1970

Datum odevzdání diplomové práce: 20. 1. 1971

L. S.


Doc. Ing. Jaroslav Chlupát, JSc

Vedoucí katedry


Doc. Ing. Jaroslav Chlupát, JSc

Děkan

v Žamberku

dne 9. 10.

70
10

V Š S T L I B E R E C

Fakulta strojnícka

Odbor 23 - 34 - 8

Výrobné stroje a zariadenia

zameranie

textilné stroje

Katedra textilných strojov a teórie mechanizmov

Dynamika krutného zariadenia SZ

Dušan Z a b á k

Vedúci práce : Doc. Ing. Charvát, CSc VŠST Liberec

Konzultant : Ing. Dunovský Elitex Žamberk

Rozsah práce :

Počet strán 50
Počet príloh a tabuliek 6
Počet odrážkov 16
Počet výkresov 1
Počet modelov, alebo iných príloh -

Dátum: 25.5.1979

Miestoprísažne prehlasujem, že som diplomovú prácu
vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

V Liberci, dňa 25.5.1979

Darim Zlatý

O B S A H :

	strana
1.0. Úvod.....	7
1.1. Popis tvarovacieho stroja TK 600	8
1.2. Prehľad historického vývoja krutných ústrojov pre nepravý zákrut udeľovaný krutným kolíkom	9
1.3. Porovnanie krutných ústrojov svetových výrobcov	13
2.0. Krutné ústroje tvarovacích strojov TK 600	15
2.1. Operné kotúče krutných ústrojov	15
2.2. Valivé uloženie kotúčov	19
2.3. Krutné trubky	20
2.4. Prídržné magnety	22
3.0. Krutné ústroje ako trecí prevod	23
4.0. Silové pomery v krutnom ústroji	25
5.0. Sklzy v krutnom ústroji	31
5.1. Meranie a výpočet sklzov	32
5.2. Vyhodnotenie zistených sklzov	35
6.0. Meranie kruhovitosti operných kotúčov	35
6.1. Zhodnotenie merania kruhovitosti	40
7.0. Doba rozbehu krutného ústroja	41
8.0. Návrhy na zlepšenie funkcie krutnej jednotky ..	46
9.0. Záver	48
10.0. Použitá literatúra	49

Použit é označenie :

d	priemer odvaľovacej časti krutnej trubky	/ mm /
D	priemer odvaľovacej časti operného kotúča	/ mm /
e	rameno valivého odporu	/ mm /
e_1	vzdialenosť ós	/ mm /
F	sila (medzi dvomi členmi)	/ N /
F_N	normálová	/ N /
F_T	tečná	/ N /
F_c	odstredivá	/ N /
i	prevodový pomer	/ - /
I	moment zotrvačnosti	/ kg m ² /
I_{red}	redukovaný moment zotrvačnosti	/ kg m ² /
l	dĺžka	/ mm /
m	hmotnosť	/ kg /
M	moment odporu (medzi dvomi členmi)	/ Nm /
M_H	hnací moment	/ Nm /
M_{vo}	moment valivého odporu	/ Nm /
n	otáčky	/ 1/mm /
P	príkon	/ W /
r	polomer odvaľovacej časti krutnej trubky	/ mm /
R	polomer odvaľovacej časti operného kotúča	/ mm /
t	čas	/ s /
t_r	doba rozbehu	/ s /
v	rýchlosť	/ m s ⁻¹ /
v_o	obvodová rýchlosť	/ m s ⁻¹ /
ε	uhlové zrýchlenie	/ s ⁻² /

α	uhol medzi spojnicou os krutnej trubky a operného kotúča a spojnicou os operných kotúčov	/ ° /
μ	súčiniteľ klzného trenia	/ - /
ξ	pomerný sklz	/ - /
γ	uhol natočenia	/ - /
ρ	merná hmotnosť	/kg m ⁻³ /
ω	uhlová rýchlosť	/ s ⁻¹ /
Δ	odchýľka	/ m /

I n d e x y :

- 1 hnací operný kotúč
- 2 krutná trubka
- 3 hnany operný kotúč
- 4 rám

1.0. Ú V O D

Prudký rozvoj výroby syntetických vlákien si vynucuje i rozvoj strojného zariadenia pre ich nasledovné spracovanie. To sa však nedá zaistiť iba kvantitatívnym rozvojom týchto odvetví, ale predovšetkým rozvojom kvalitatívnym, t.j. výrobou strojov s vyššími produkčnými parametrami a združujúcimi niektoré skôr oddelené operácie.

Dôležitým spôsobom spracovania syntetických vlákien je ich tvarovanie.

Zvláštne postavenie medzi používanými spôsobmi tvarovania syntetických vlákien má tvarovanie nepravým zákrutom pomocou krutného kolíka. Tento spôsob tvarovania je vhodný pre výrobu objemových vlákien veľkej šírky variácií vlastností. Stroje pre tvarovanie nepravým zákrutom týmto nepretržitým procesom sa začali vyrábať a používať až po 2.svetovej vojne a ich konštrukčný vývoj a zvyšovanie výkonov nie je zďaleka na konci.

V Československu sa problematikou tvarovania syntetických vlákien zaoberá Elitex, koncernový podnik, ktorý v súčasnej dobe vyrába stroj pre kontinuálne dĺženie a tvarovanie nekonečných viacejvláknenných polyamidových, polyesterových a polypropylénových materiálov typu TK 600, ktorý vychádza v podstate z vývojovej rady strojov TK, ako aplikácia poznatkov o prevádzke strojov v tvarovacom procese a aplikácia teoretických a experimentálnych štúdií o podmienkach tvarovania vlákien.

1.1. Popis tvarovacieho stroja TK 600.

Stroj TK 600 je obojstranný o 192, alebo 48 pracovných miestach / skrátený /. Po oboch stranách pracovného stojana je umiestnená cievočnica pre prekladanie materiálu. Na jednom konci pracovného stojana je umiestnená skriňa pohonu, slúžiaca pre pohon pohybových častí stroja, na druhom skriňa elektro, ktorá obsahuje ovládacie a regulačné prvky stroja. Prekladané cievky sú uložené v cievočnici, ktorá je trojetážová. Vlákno je vedené z predlohy podlážkou cez strihané zariadenie, podávacie valce galetami, do fixačných blokov elektricky vyhrievaných. Vlákno ďalej prechádza umeľou chladiacou zónou. Nepravý zákrut udeľuje vláknu krutné ústroje. Ztvarované vlákno je ďalej vedené cez čidlo pretrhu, odťahové valce s galetami sú navíjané na koncové cievky, umiestnené vo dvoch etážach pred fixačnými blokmi. Navádzanie vlákna do fixačných blokov je prevádzané vzduchom. Na ztvarované vlákno je možné nanášať preparačnú emulziu.

Jedným z najdôležitejších uzlov tvarovacích strojov typu TK sú krutné ústroje. Krutné ústroje je zariadenie, ktoré slúži k tomu, aby udeľovalo krutnej trubke / v ktororej je umiestnený krutný kolík / potrebné otáčky - radové stotisíce otáčok za minútu. Okolo kolíka je omotané tvarované vlákno, ktoré je skrucované za súčasného, postupného pohybu.

1.2. Prehľad historického vývoja krutných ústrojov pre nepravý zákrut udeľovaný krutným kolíkom

Vývoj krutných ústrojov, keď neprihliadame k menej dôležitým konštrukčným variantám, môžeme rozdeliť do niekoľko základných stupňov, podľa spôsobu uloženia krutnej trubky :

- priame valivé uloženie krutnej trubky
- nepriame valivé uloženie krutnej trubky
 - s mechanickým pridržovaním krutnej trubky
 - s magnetickým pridržovaním krutnej trubky
 - ku dvojici operných kotúčov
 - k jednému opernému kotúču

Pri priamom valivom uložení krutnej trubky je valivé uloženie tvorené špeciálnym dvojradovým guľčkovým ložiskom / tzv. vretenom /, ktorého vnútorný krúžok priamo tvorí s hriadeľom jedinú súčasť. Pri tomto krutnom ústroji je hriadeľ vretena dutý a je súčasne krutnou trubkou, ktorou prechádza vlákno. Na jednom z koncov hriadeľa je umiestnený udeľovač zákrutu, okolo ktorého je omotané tvarované vlákno. Udeľovač zákrutu je tvorený napríklad priečnym kolíkom z drôtu. Postupom doby a najmä u ďalších variant krutných ústrojov je takmer jediným používaným udeľovačom zákrutu safírový priečny kolík, tvaru diabolo. Pohon hriadeľa vretena je uskutočnený prítlakom k nekonečnému remeňu. Tento spôsob pohonu zostal dodnes zachovaný.

Priamym valivým uložением krutnej trubky sa dosiahlo výkonu

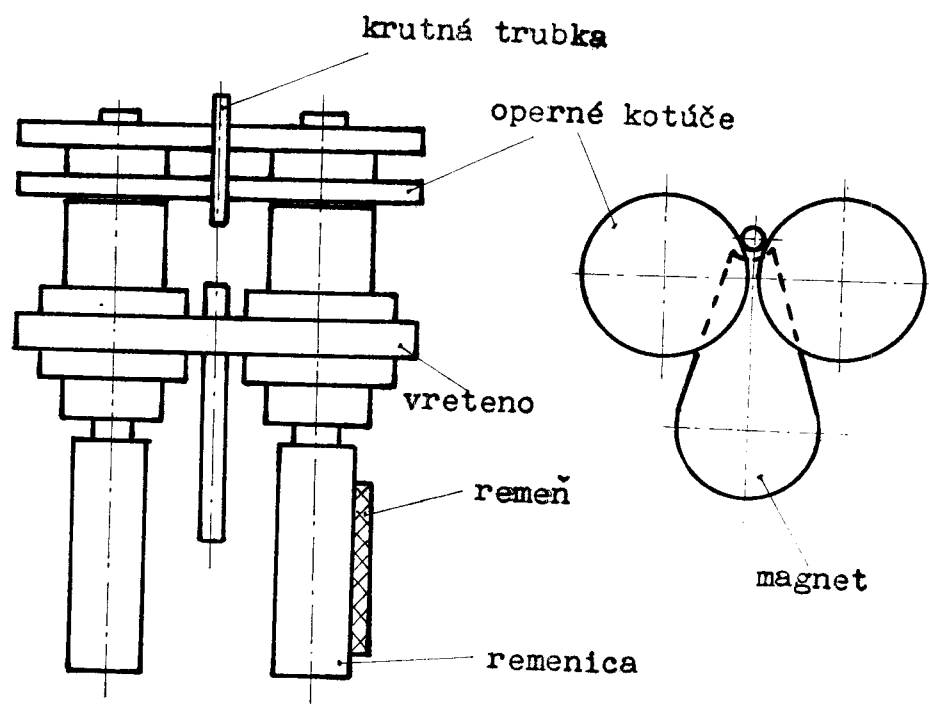
/ ten je daný výškou pracovných otáčok krutnej trubky / maximálnych otáčok 80 000 1/min. V súvislosti s krutným ústrojom uloženým na valivých ložiskách je nutné sa zmieniť o tom, že sa používalo tiež priameho klzného uloženia krutnej trubky, pri ktorom sa dosahovalo otáčok trubky až do 500 000 1/min.

Ďalší konštrukčný vývoj ústrojov viedol k nepriamemu uloženiu krutnej trubky. Najprv sa objavili konštrukcie s mechanickým prítlakom trubky k operným kotúčom. Nevýhodou tohto typu je najmä to, že trubka pri svojom odvaľovaní uvádza do pohybu dvojicu operných kotúčov a že osové vedenie trubky musí byť klzné medzi nákrúžkom trubky a operným kotúčom. Najvyššie výkony týchto krutných ústrojov sú až do otáčok 250 000 1/min.

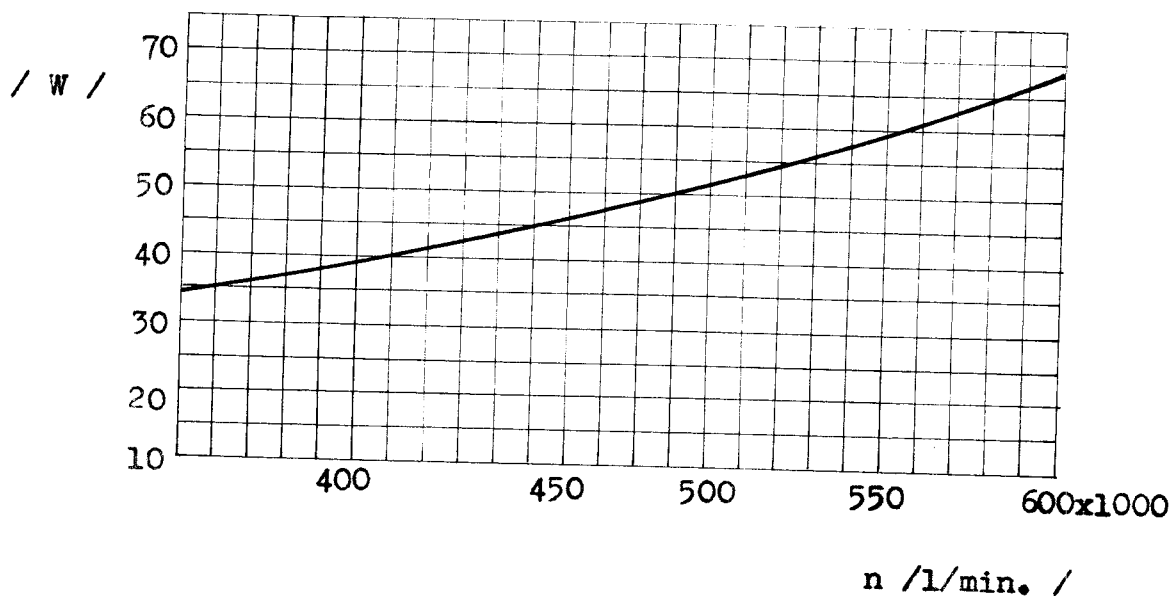
V súčasnej dobe vyrábaných tvarovacích strojov sa prevažne používajú ústroje s magnetickým pridržovaním krutnej trubky k operným kotúčom. Používajú sa dva typy týchto ústrojov a to s dvoma alebo iba s jedným operným kotúčom. Väčšinou sa používajú dvojkotúčové ústroje, napríklad firmy : Elitex /ČSSR/, FAG /NSR/, Heberlein /Švajčiarsko/.

Dvojkotúčové ústroje /obr.1/ sú výrobne menej náročné, i keď ich nevýhodou je väčší príkon, lebo sa trubkou roztáča i druhé vreteno / operný kotúč/.

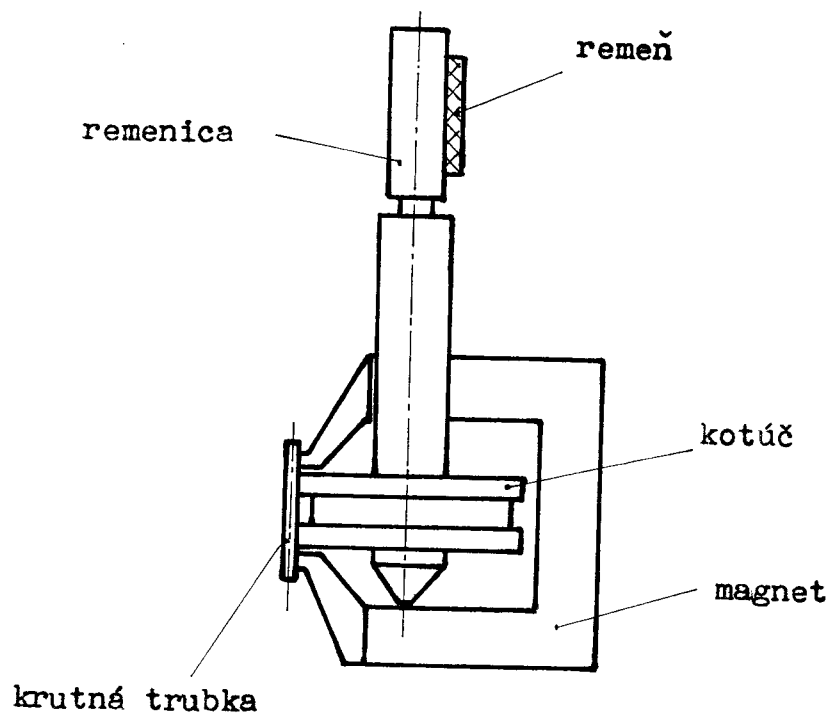
Pri jednokotúčových ústrojoch /obr.3/ je krutná trubka pridržovaná vo svojej polohe iba magnetickými silami permanentného magnetu. Takéto ústroje je výrobne náročnejšie, ale pretože má iba jediné vreteno, má nižší príkon než dvojko-



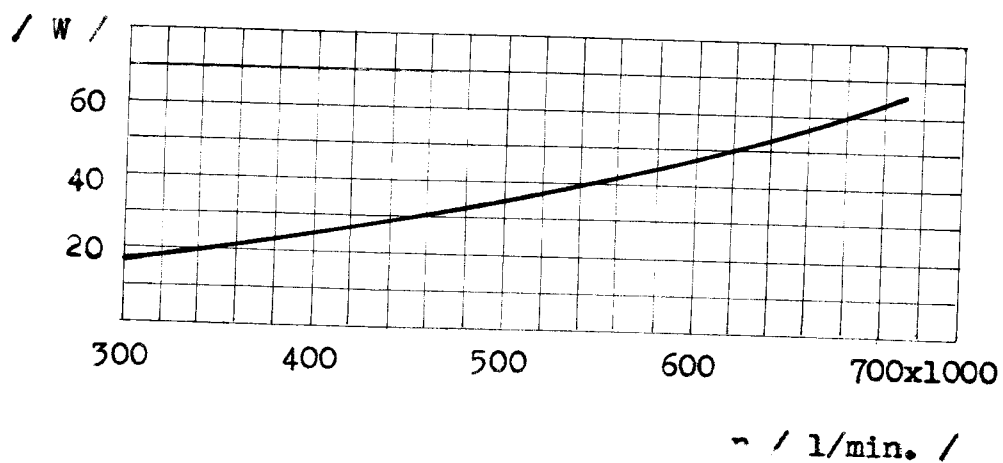
Obr. 1 dvojkotúčové ústroje



Obr. 2 Príkion dvojkotúčového ústroja v závislosti na otáčkach



Obr. 3 jednokotúčové ústroje



Obr. 4 Príkony jednokotúčového ústroja závislosti na "n"

túčové. Príkony ústrojov s magnetickým pridržovaním závislosti na otáčkach krutnej trubky sú vynesené v obr. 2, 4.

Súčasné tvarovacie stroje pracujú s otáčkami krutnej trubky približne do 800 000 1/min. a to ako s dvojkotúčovými, tak i s jednokotúčovými ústrojmi.

Na výstave ITMA 75 boli predvádzané podobné krutné ústroje / dvojkotúčové /, v mechanickom chode pri otáčkach 900 000 1/min. /firma FAG/ a pri otáčkach 1 000 000 1/min. firma Heberlein /. Toto však neznamená, že existujú stroje, ktoré by mohli pri týchto otáčkach tvarovať.

1.3. Porovnanie krutných ústrojov svetových výrobcov

Medzi najvýznamnejších svetových výrobcov krutných ústrojov patria firmy FAG /NSR/ a Heberlein /Švajčiarsko /. Ich krutné ústroje sú podobné ako i československé krutné ústroje. Najväčšie rozdiely ovplyvňujúce otáčky krutnej trubky, sú práve v odvaľovacích priemeroch krutnej trubky. V tabuľke 1 sú uvedené odvaľovacie priemery krutných trubiek jednotlivých výrobcov.

Výrobca	Odvaľovací priemer trubky/ mm /		
Elton /ČSSR/	ø 2,5	ø 3,15	
FAG /NSR/	ø 1,58	ø 2,11	ø 2,53
Heberlein /Švaj./	ø 2,0		

Tab. 1 / odvaľovacie ø krutných trubiek /.

Firma FAG používa kruté trubky s najmenším odvaľovacím priemerom 1,58 mm. S týmito trúbkami dosahuje otáčky krutej trubky až 800 000 1/min. /12 /, bez toho aby sa zvyšovali otáčky vretena prítlačného kotúča. Zmenšuje sa iba prevodový pomer medzi prítlačným kotúčom a trúbkou až na $i = 1 : 24$.

Firma Heberlein používa krutnú trúbku s najmenším odvaľovacím priemerom 2,0 mm. Otáčky krutej trubky dosahujúce 800 000 1/min. /12 / sú dosiahnuté prevodovým pomerom 1:20. V tomto prípade sa zvyšujú otáčky vretena prítlačného kotúča .

V ČSSR vo Výskumnom ústave pre valivé ložiská v Brne bolo vyvinuté kruté ústroje KU 10. V tomto krutom ústroji sú použité kruté trubky firmy FAG o odvaľovacom priemere 1,58 mm, ktoré tiež dosahujú otáčky 800 000 1/min. / 1 /.

2.0. Krutné ústroje tvarovacích strojov TK 600

Na tvarovacích strojoch typu TK 600 sa používa krutné ústroje 6300/P 5. Toto krutné zariadenie je dvojkotúčové s magnetickým pridržovaním nepriamo valivo uloženej krutnej trubky.

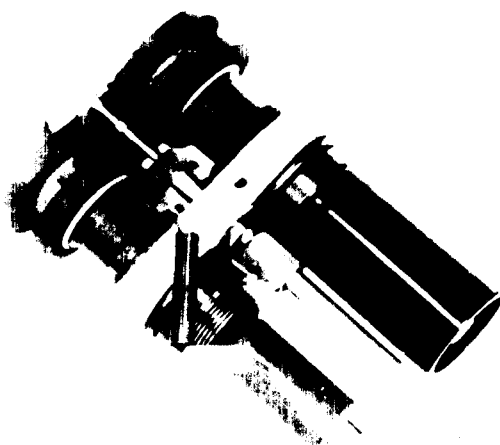
Krutné ústroje je v podstate trecím prevodovým ústrojom udeľujúcim krutnej trubke potrebné otáčky. Krutná trubka je pritom nepriamo valivo uložená na dvojici operných kotúčov / viď.fot.I/. Jeden z rotorov operných kotúčov je pritom poháňaný prostredníctvom remenice plochého remeňa. Podľa postavenia krutnej jednotky k remeňu možno prevádzať zákrut buď S, Z, alebo združovať ústroje / S - Z /.

Jadrom krutného ústroja je dvojica rotorov operných kotúčov uchytená na doske ústroja s vloženou krutnou trúbkou, ktorá je pridržovaná permanentným magnetom / ten je tiež uchytený na doske /.

Každá jednotka musí mať samozrejme i držák, ktorý nese vlastné krutné ústroje, ktoré vyvodzuje prítlak medzi remeňom a remenicou, ďalej zariadenie pre vyraďovanie a zaťažovanie do funkcie.

2.1. Operné kotúče krutných ústrojov

Jedným z dôležitých faktorov ovplyvňujúcich zvyšovanie otáčok krutnej trubky sú operné kotúče, ktoré za chodu



Fot.1 Krutné ústroje dvojkotúčové s magnetickým pridržovaním krutnej trubky

krutného ústroja podopierajú krutnú trubku, čím určujú jej polohu voči ostatným častiam ústroja. Pri vysokých obvodových rýchlostiach kotúča /až 80 m/s/, v styku s krutnou trubkou sa musí prejaviť každá tvarová nepresnosť obvodového priemeru na trubke i na kotúči.

Nehomogenita materiálu kotúča môže spôsobiť, že sa i dobre opracovaný povrch, pri roztočení na maximálne prevádzkové otáčky „zvlní“.

Tieto nepriaznivé javy spolu s tým, že vlastná poloha kotúča voči telesu ústroja je daná nie úplne presne, pretože hriadeľ vretena musí mať voči púzdra určitú vôľu, znamenajú voliť materiál kotúča tak presný, aby sa nepresnosti prevádzkové a nutné konštrukčné vykompenzovali pružnosťou kotúča. Kotúč by nemal v dôsledku odstredivých síl príliš meniť svoje rozmery, lebo narastaním jeho priemeru dochádza ku zmene polohy krutnej trubky a v krajných polohách, by sa hnací a hnaný kotúč mohli pridrieť.

Tieto dve protikladné požiadavky vyžadujú raz malý modul pružnosti, druhýkrát veľký modul pružnosti materiálu kotúčov, čo vedie ku kompromisnému riešeniu t.j. k voľbe materiálu o strednom module pružnosti. Tento problém je tiež riešený tak, že jadro kotúča sa vyrába z menej pružného materiálu, zachováva i pri vysokých otáčkach dané rozmery kotúča. Obloženie kotúča s materiálu o veľkom module pružnosti, ktorý kompenzuje nepresnosti.

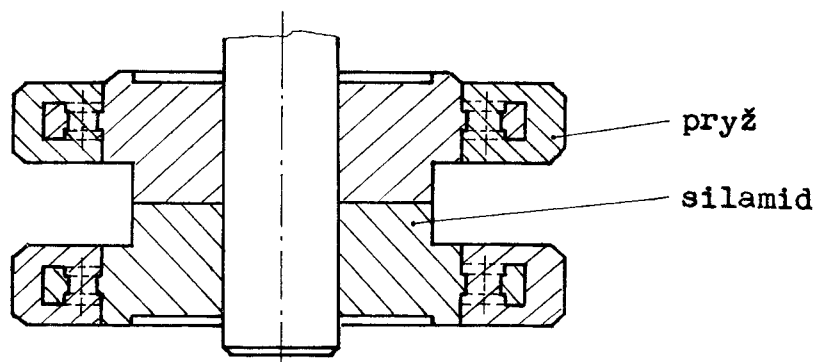
Vedľa namáhania odstredivými silami je obvodová plocha kotúča cyklicky namáhaná kontaktnými napätiami medzi trubkou a kotúčom.

Významným činiteľom ovplyvňujúcim technický život operných kotúčov je tiež vysoká teplota vznikajúca odvaľovaním krutnej trubky, prestupom tepla s krutnej trubky, ktorá sa ohrieva vírivými prúdmi, ktoré vznikajú otáčaním trubky v magnetickom poli. Teplota kotúča môže dosiahnuť 80-100 °C.

Požiadavky na vlastnosti materiálu operných kotúčov / ich obloženie / sú náročné a môžeme ich zhrnúť v tieto najdôležitejšie:

- optimálny modul pružnosti v ťahu
- čo najväčší koeficient trenia voči ocely
- odolnosť voči opotrebeniu pri odvaľovaní za sucha
- čo najväčšia medza únavovej pevnosti voči kontaktným tlakom
- stabilita mechanických vlastností do teplôt 80-100°C
- vhodné elektromagnetické vlastnosti, aby nedochádzalo k ohrevom pri otáčaní v magnetickom poli
- minimálna merná hmotnosť

Ako najvhodnejší materiál sa skúškami priamo na krutom ústroji ukázala polyuretánová pryž. Jadro kotúča býva zo silamidu /napr. polyamidu plneného skleneným vláknom /.



Obr. 5 operný kotúč

2.2. Valivé uloženie kotúčov

Operné kotúče krutných ústrojov sú uložené na dvojici guľčkových ložiskách. S vývojom krutných ústrojov sa konštrukcia valivého uloženia oparných kotúčov takmer zjednotila na použitie tzv. vretien.

Vreteno je špeciálnym dvojradovým guľčkovým ložiskom, ktorého vnútorný krúžok tvorí s hriadeľom jedinú súčasť. Vonkajší krúžok / púzdro / býva opatrený prírubou a závitom k upevneniu do telesa krutného ústroja. Na jednom konci hriadeľa je nasadená remenica a na druhom operný kotúč. Vretená sú pri výrobe namazané plastickým mazivom a predpokladá sa, že s touto prvotnou náplňou budú pracovať po celý svoj technický život, teda bez domazávania.

Rotor / hriadeľ vretena, kotúč a remenica / musí byť dynamicky podkritický, aby nedochádzalo prechodom oblastí kritických otáčok pri rozbehoch. Požiadavok podkritičnosti rotora vyvoláva automaticky nutnosť použiť čo najmenej hmotné kotúče a remenice. Dokonalé dynamické vyváženie tohoto rotoru je samozrejmosťou. Dôležitou okolnosťou je to, že operné kotúče z hľadiska svojej správnej funkcie musia byť na svojej funkčnej ploche dokončované až po nalisovaní na hriadeľ vretena.

Ďalšie použitie tvarovaných vlákien vyžaduje rovnomernosť zákrutu pri jednotlivých krutných ústrojov, preto sú nutnosťou úzke tolerancie priemerov remeníc i kotúčov, samozrejme i krutných trubiek.

2.3. Kruté trubky

Technologicky funkčnou časťou krutej trubky je krutný kolík, okolo ktorého je obtočené tvarované vlákno. Po mechanickej stránke sú funkčnými časťami hlavne povrchy stykajúce sa s opernými kotúčmi. Konštrukcia trubky je ďalej ešte tvorená nákrúžkami, ktoré sú súčasťou magnetického obvodu, ktorý pridržiava trubu ku kotúčom. Dynamické vyváženie spolu s vysokou presnosťou všetkých plôch je naprostou nevyhnutnosťou dobrej funkcie krutej trubky.

Používané konštrukčné usporiadanie trubiiek možno rozdeliť podľa umiestnenia krutného kolíka na trubky so stredovým a s koncovým kolíkom, pričom koncový kolík môže byť zasadený priamo v telese trubky, alebo v hlave trubky. Nákrúžky sú umiestnené v strednej časti krutej trubky a okrem toho, že zväčšujú styčnú plochu s pólovými nástavci, tiež umožňujú axiálne ustavenie trubky na operných kotúčoch. Trubka sa otáča veľkou frekvenciou v magnetickom poli a pretože je feromagnetická / v časti, ktorou nemusí prechádzať magnetický tok, môže byť neferomagnetická /, je intenzívne zahrievaná stratami hysterézie a vírivými prúdmi. Mechanické namáhanie trubky vzhľadom k medzi pevnosti materiálu je značné najmä odstredivými silami. Menšie je už kontaktné napätie v styku s kotúčmi.

Veľkosť odstredivej sily na krutnú trubu, ktorá je nútená odvažovať sa okolo osy neprechádzajúcou ťažiskom, pri rozvážení je možno vypočítavať podľa vzorca :

$$F_{c_2} = m_2 \cdot \Delta r_2 \cdot \omega_2^2 \quad [kg, m, s^{-1}] \quad (1)$$

Pri uvažovaní $\Delta r_2 = 0,1 \mu m$, hmotnosti trubky 1,5 g a daných otáčkach krutnej trubky, dostaneme odstredivú silu, viď. tab. 2.

$\Delta r_2 [\mu m]$	$n_2 [1/min.]$	$F_{c_2} [N]$
0,1	500 000	4,10
0,1	600 000	5,92
0,1	700 000	8,06
0,1	800 000	10,52

Tab. 2 / odstredivá sila pôsobiaca na trubku pri dynamic - kom, alebo statickom rozvážení o $\Delta r_2 = 0,1 \mu m$, v závislosti na otáčkach krutnej trubky.

Na tomto príklade vidieť, že trubka musí byť skutočne veľmi dokonale vyvážená / $\Delta r_2 < 0,1 \mu m$ /. Je treba podotknúť, že kotúče sú poddajné a preto skutočná odstredivá sila je podstatne menšia.

Základné požiadavky na materiál trubiek :

- feromagnetický materiál o vysokej pevnosti odolávajúci oteru pri teplotách do $100^\circ C$.
- materiál s takými elektromagnetickými vlastnosťami, aby nedochádzalo k nadmerným ohrevom pri otáčaní v magnetickom poli.

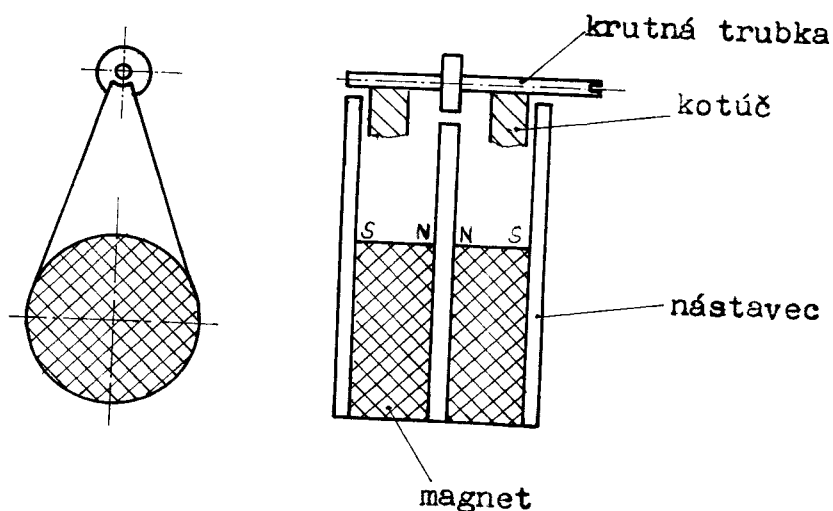
Tieto požiadavky sú protikladné, lebo materiál o vysokej pevnosti býva magneticky tvrdý. Preto je nutné pri voľbe materiálu voliť kompromis.

2.4. Prídržné magnety

Prídržné magnety spolu s opernými kotúčmi určujú polohu krutnej trubky voči ostatným častiam ústroja. Radiálna a priečna poloha trubky je prakticky určená kotúčmi, axiálna poloha trubky je však určovaná iba vzájomnou polohou nákrúžkov trubky a pólových nastavcov magnetov. Používané magnety sú permanentné.

Charakteristiku silových účinkov magnetu je možné ovplyvniť veľkosťou vzduchovej medzery medzi trúbkou a pólovými nastavcami a tiež tvarom pólových nastavcov / obr.6 /.

Toto spolu s možnosťou presného nastavenia pólových nastavcov voči operným kotúčom je najdôležitejším požiadavkom na konštrukciu magnetického obvodu .



obr.6 Prídržný magnet s pólovými nastavcami

3.0. Krutné ústroje ako trecí prevod

Pri krutných ústrojoch dochádza medzi opernými kotúčmi a krutnou trúbkou k odvaľovaniu zasucha. Súčasne sa prenáša výkon v tomto valivom styku a dochádza ku zmene otáčok, ide o prevod medzi kotúčom a trúbkou.

Prevodový pomer krutného ústroja je definovaný ako pomer medzi uhlovými natočeniami hnacieho operného kotúča a krutnej trúbky / hnanej člen /.

$$i_{12} = \frac{d\psi_1}{d\psi_2} \quad (2)$$

Pre diferenciály uhlov natočenia platí :

$$d\psi_1 = \omega_1 \cdot dt$$

$$d\psi_2 = \omega_2 \cdot dt$$

Pri odvaľovaní / bez sklzov / predpokladáme zhodné obvodové rýchlosti na oboch stýkajúcich sa členoch :

$$v_1 = \omega_1 R_1 = \omega_2 \cdot r$$

z čoho vyplýva, že

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = - \frac{r}{R_1} \quad (3)$$

Prevodovým pomerom krutného ústroja je teda pomer medzi polomermi / prípadne priemermi / odvaľovacích častí krutnej trúbky a hnacieho operného kotúča.

Vedľa vyššie uvedeného hlavného prevodového pomeru ústroja môžeme podobne definovať ešte ďalšie prevodové pomery :

$$i_{23} = \frac{\omega_2}{\omega_3} = - \frac{R_3}{r} \quad (4)$$

$$i_{13} = \frac{\omega_1}{\omega_3} = i_{12} \cdot i_{23} = \frac{R_3}{R_1} \quad (5)$$

V reálnom trecom prevode dochádza z rôznych príčin ku sklzom. Obvykle sa definuje pomerný sklz ako podiel sklzovej rýchlosti k rýchlosti hnacieho člena.

V našom prípade napríklad :

$$\xi_{12} = \frac{v_1 - v_2}{v_1} = 1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \frac{r}{R_1}$$

Skutočné kruté ústroje, ktoré najmä z dôvodov, že pri zmene zmyslu zákrutov z S na Z dochádza ku zámene hnacieho a hnaného kotúča, majú zhodné polomery / priemery / oboch operných kotúčov.

$$R_1 = R_2 = R$$

Za tohoto predpokladu a pri zavedení pomerných sklzov budú prevodové pomery nasledovné :

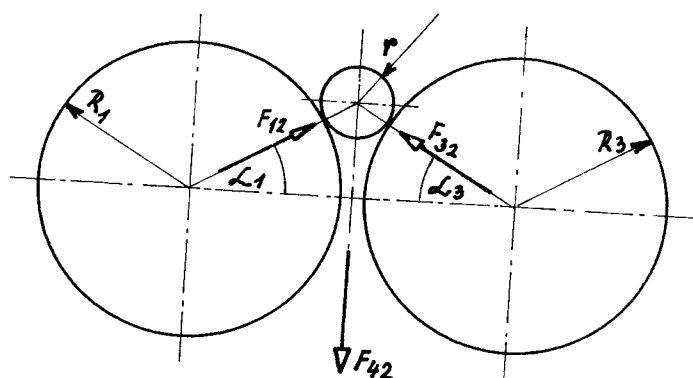
$$i_{12} = - \frac{r}{R} \cdot \frac{1}{1 - \xi_{12}} \quad (3')$$

$$i_{23} = \frac{R}{r} \cdot \frac{1}{1 - \xi_{23}} \quad (4')$$

$$i_{13} = \frac{1}{(1 - \xi_{12}) \cdot (1 - \xi_{23})} = \frac{1}{1 - \xi_{13}} \quad (5')$$

4.0. Silové pomery v krutnom ústroji

Pri rozbere silových pomerov v krutnom ústroji sa zameriame na sily pôsobiace na krutnú trubku. Najprv prevedieme rozbor síl za kľudu, so zanedbaním trenia. Schéma síl pôsobiacich na trubku je znázornená na obr. 7.



Obr. 7 Sily pôsobiace na krutnú trubku za kľudu

Sily pôsobiace na trubku môžeme považovať za rovinnú sústavu vtedy, keď zanedbáme vlastnú tiaž krutnej trubky / trubka je uložená zvisle a jej tiaž je eliminovaná prísilnou zložkou magnetického prítlaku /. Tiaž trubky je asi stotina prítláčnej sily magnetu, takže zjednodušujúci predpoklad spôsobí úplne zanedbateľnú odchýlku.

Silový rozbor prevedieme najprv obecné ($L_1 \neq L_3$), pre prípad rozdielnych polomerov operných kotúčov. Doplnujúcim predpokladom pre tento rozbor je kolmosť smeru prítláčnej

sily magnetu na spojnicu stredov operných kotúčov. Z rovnováhy síl v obr. 7 vo vodorovnom smere vyplýva

$$F_{N12} \cos \alpha_1 - F_{N32} \cos \alpha_3 = 0 \quad (6)$$

vo zvislom smere

$$-F_{42} + F_{N12} \sin \alpha_1 + F_{N32} \sin \alpha_3 = 0 \quad (7)$$

Teraz doplníme túto úvahu zjednodušením pre obvyklé, súmerné krutné ústroje ($R_1 = R_3$, $\alpha_1 = \alpha_3$). Vyžšie uvedené rovnice potom dostanú tvar :

$$F_{N12} = F_{N32} = F_N \quad (6')$$

$$-F_{42} + F_{N12} \sin \alpha + F_{N32} \sin \alpha = 0 \quad (7')$$

Veľkosť jedinej neznámej môžeme určiť priamo :

$$F_N = \frac{F_{42}}{2 \sin \alpha} \quad (8)$$

Ďalej prevedieme teoretický rozbor silových pomerov za rovnomerného pohybu s uvažovaním trenia. Pri tomto rozbere predpokladáme platnosť všetkých zjednodušení obvyklých pri teórii mechanizmov. Niektoré tieto zjednodušenia sú v našom prípade značne nepresné. Uvedieme niektoré napr. : členy mechanizmov sa považujú za absolútne tuhé telesá bez nepresnosti tvaru a vzájomnej polohy členov. Tento predpoklad je v prípade krutného ústroja veľmi obmedzený, lebo pri použití operných kotúčov z umelých hmôt sa nedá o absolútnej tuhosti vôbec hovoriť.

Podobne je to z nemennosťou trecích síl pri stálom režime práce mechanizmu, lebo v skutočnosti trecie pomery nezostávajú dlhodobe stále / zmeny v povrchových vrstvách členov a pod. /.

Pri rozbere silových pomerov v krutnom ústroji budeme uvažovať oba zmysly otáčania. Na obr. 8 sú znázornené sily v mechanizme pri „vtlačovaní“ krutnej trubky t.j. pri zákrute Z. Podobne na obr.9 sú znázornené sily v mechanizme pri „vytlačovaní“ krutnej trubky t.j. pri zákrute S.

V horných častiach oboch obrázkov sú znázornené zmysly pohybu jednotlivých členov, na dolných častiach sú znázornené sily a momenty / vektory / pôsobiace na členy 1,2 a 3, pričom pri členoch 1 a 3 sa obmedzujeme iba na zaťaženie, ktoré ovplyvňuje momentovú podmienku rovnováhy voči osy členov. To znamená, že sa obmedzujeme iba na vyriešenie rovnováhy krutnej trubky / členu 2/.

V zostavených rovniciach, kde budú rozličné znamienka, bude znamienko pre zákrut Z / zmysel otáčania, viď obr.8 / nad znamienkom pre zákrut S / zmysel otáčania, viď obr. 9/.

Zložkové rovnice pre člen 2 :

$$F_{N12} \cos \alpha_1 \pm F_{T12} \sin \alpha_1 - F_{N32} \cos \alpha_3 \mp F_{T32} \sin \alpha_3 = 0 \quad (9)$$

$$-F_{42} \mp F_{T12} \cos \alpha_1 + F_{N12} \sin \alpha_1 \mp F_{T32} \cos \alpha_3 + F_{N32} \sin \alpha_3 = 0 \quad (10)$$

Momentová rovnica pre člen 2 :

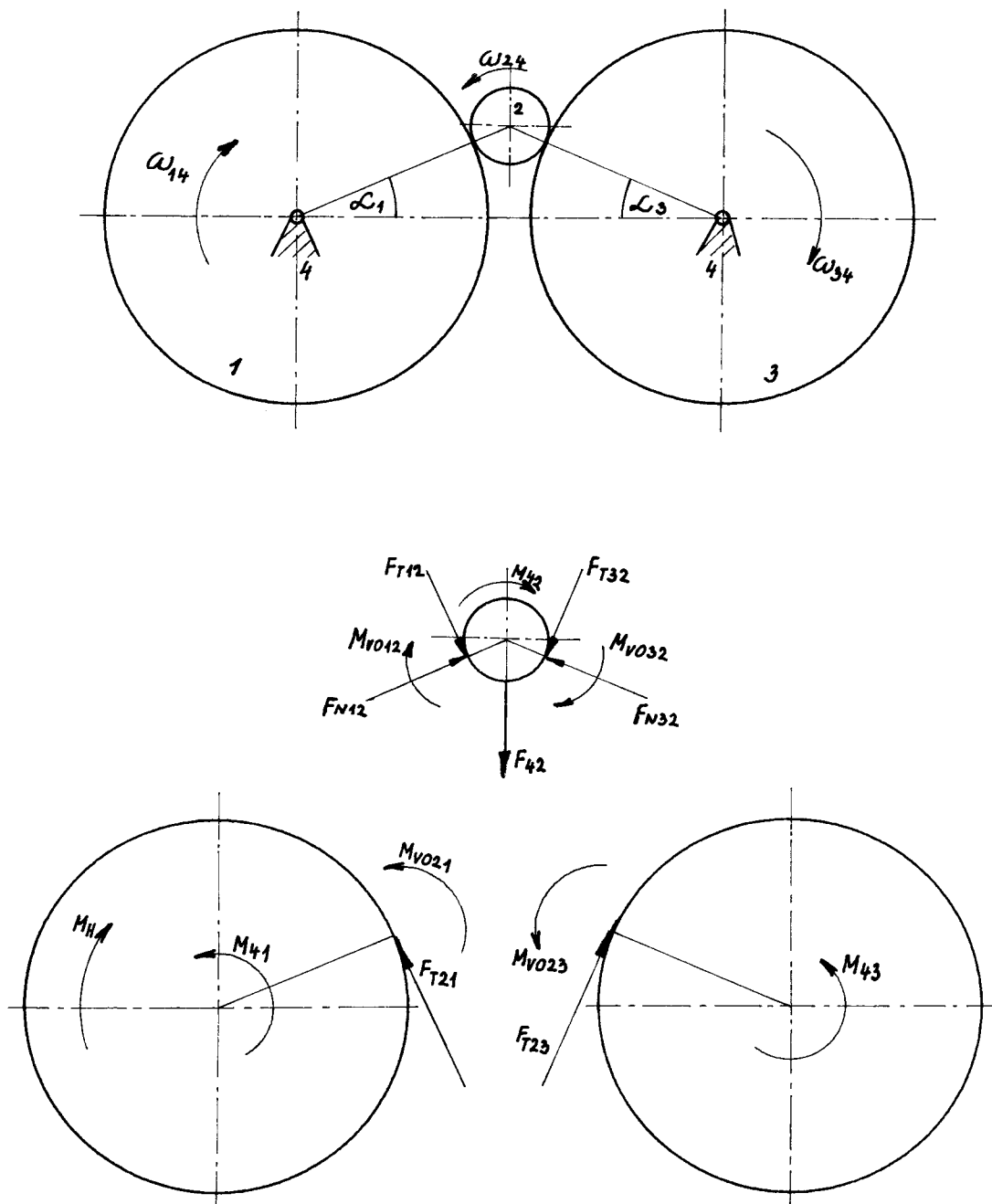
$$F_{T12} r - F_{T32} r - M_{42} - M_{v012} - M_{v032} = 0 \quad (11)$$

Trenie klzné a valivé zahrneme do sústavy rovníc pomocou podmienok pre valenie členu 2 po členoch 1 a 3 a vyjadrením momentu valivého odporu.

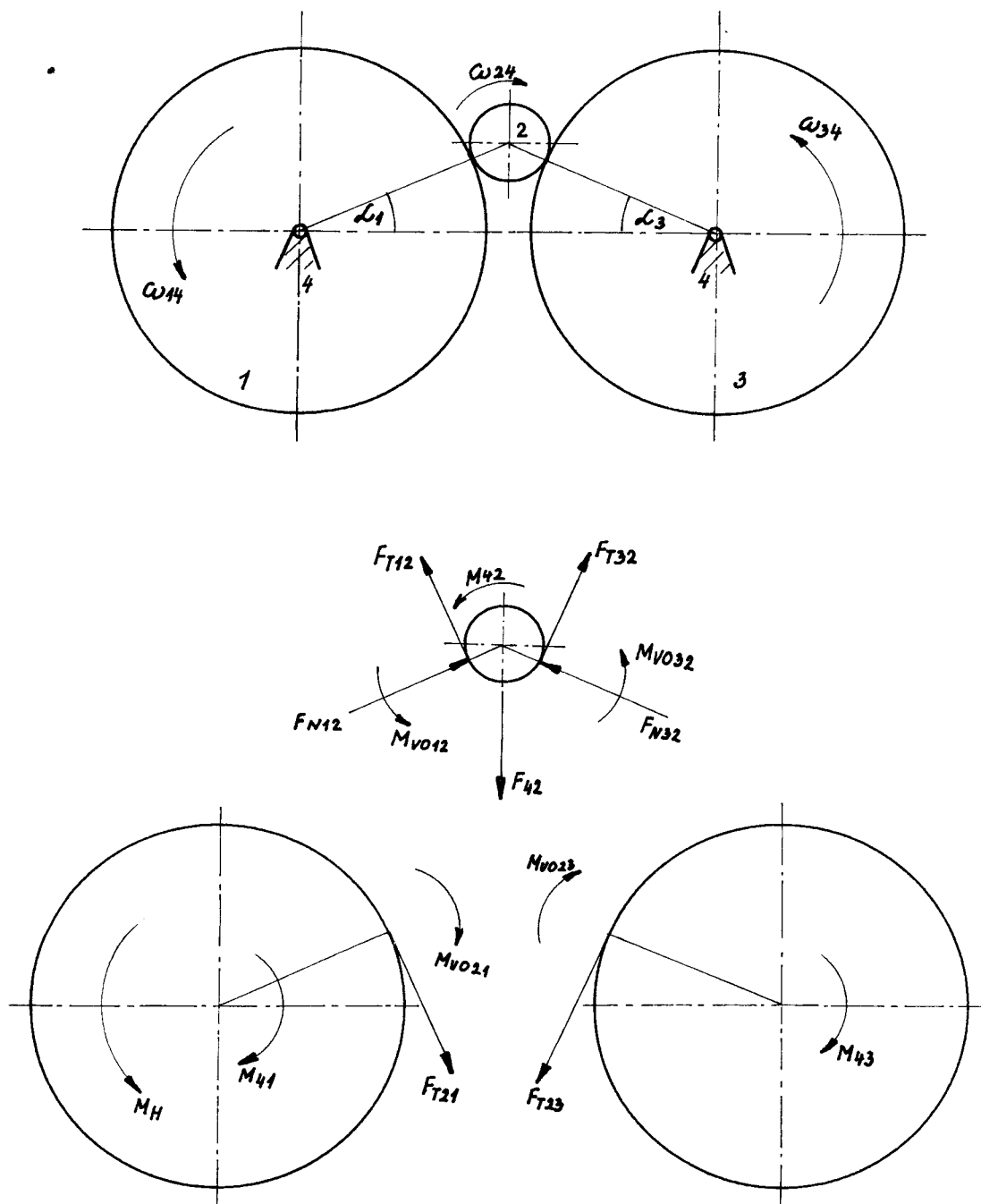
Podmienky valenia :

medzi členmi 1 a 2

$$F_{T12} \leq F_{N12} \mu_{12} \quad (12)$$



Obr. 8 Sily pôsobiace v krutnom ústroji za rovnomerného pohybu / pri zákrute Z /



Obr. 9 Sily pôsobiace v krutnom ústroji za rovnomerného pohybu / pri zákrute S /

medzi členmi 2 a 3

$$F_{T32} \leq F_{N32} \cdot \mu_{32} \quad (13)$$

Veľkosti momentov valivého odporu :

medzi členmi 1 a 2

$$M_{VO12} = F_{N12} \cdot a_{12} \quad (14)$$

medzi členmi 2 a 3

$$M_{VO32} = F_{N32} \cdot a_{32} \quad (15)$$

Momentové podmienky rovnováhy na členoch 1 a 3 sú nasledovné :

$$M_H - F_{T12} R_1 - M_{41} - M_{VO12} = 0 \quad (16)$$

$$F_{T32} R_3 - M_{VO32} - M_{43} = 0 \quad (17)$$

Po dosadení momentov valivého odporu do rovníc (11), (16) a (17), dostaneme sústavu 5-tich lineárnych rovníc. Pri uvažovaní súmernosti krutného ústroja a zhodnosti ramien valivého odporu :

$$a_1 = a_3 = a$$

$$R_1 = R_3 = R$$

$$a_{12} = a_{32} = a$$

bude sústava rovníc nasledovná :

$$F_{N12} \cdot \cos \alpha + F_{T12} \sin \alpha - F_{N32} \cos \alpha + F_{T32} \sin \alpha = 0$$

$$F_{N12} \cdot \sin \alpha + F_{T12} \cos \alpha + F_{N32} \sin \alpha + F_{T32} \cos \alpha - F_{42} = 0$$

$$-F_{N12} a + F_{T12} R - F_{N32} a - F_{T32} R - M_{42} = 0$$

$$-F_{N12} a - F_{T12} R + M_H - M_{41} = 0$$

$$-F_{N32} a + F_{T32} R - M_{43} = 0$$

Po experimentálnom zistení niektorých hodnôt ako napríklad momentov odporu, ramena valivého odporu a pod., by sme zámenou neznámych mohli danú sústavu rovníc rôzne modifikovať a tak vypočítavať hodnoty, ktoré nás zaujímajú.

5.0. Sklzy v krutnom ústroji

Mnohí vedci sa už zaoberali sklzami vo valivom styku pružných valcových telies a to ako teoreticky, tak i prakticky. Čo sa týka teoretického riešenia napätového poľa pri valení, je prevedené pre prípad, kedy sa neprekročí medza pružnosti. Závěry prác niektorých autorov napr. Fromma, Bondara / 1 / sú priamo využiteľné za určitých predpokladov pre materiály s jednoznačnými mechanickými charakteristikami / kovy /. Pre krutné ústroje, kde poznáme mechanické hodnoty operných kotúčov veľmi nepresne, sú i tak dôležité kvalitatívne závery skúmania sklzov vo valivom styku.

Fromm vo diele Berechnung des Schlupfes beim Rollen deformierbarer Scheiben dospel teoreticky / bez svojich vlastných experimentov / k záveru, že sklz pri valení dvoch kotúčov v dotykovej ploche je čo do veľkosti stály, ale že v jednotlivých častiach dotykovej plochy sa skladá z dvoch premenlivých zložiek : klzného sklzu /Gleitschlupf/ a tvarového sklzu /Formänderungsschlupf/. Dotyková plocha sa delí na časti bez klzného sklzu /Haftgebiet/ a s klzným sklzom /Gleitgebiet/.

Pri zväčšovaní prenášanej trecej tečnej sily dochádza postupne ku zväčšovaniu oblasti klzných sklzov až k totálnemu sklzu $/F_T = \mu \cdot F_N/$ v celej dotykovej ploche.

5.1. Meranie a výpočet sklzov

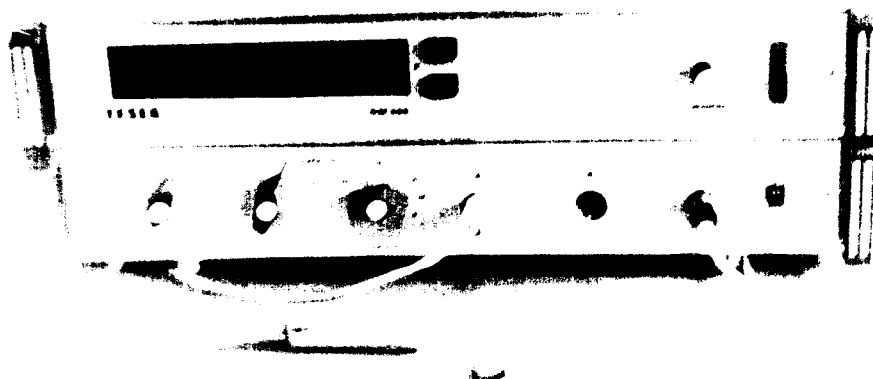
Zistenie sklzov v krutnom ústroji umožňuje predpovedať skutočné otáčky krutnej trubky a hnaného operného kotúča pri známych otáčkach hnacieho operného kotúča.

Sklzy pri rotačných členoch sa dajú najlepšie zistiť prepočtom zo zmeraných prevodových pomerov / pomerov otáčok/. Meranie otáčok bolo prevedené špeciálnym prístrojom - meričom zákrutov, prietahu, otáčok a odťahovej rýchlosti TESLA DM 500 PC 01 A - 462 v skúšobni ELITEX, k.p. závod 04 Žamberk.

Otáčky operných kotúčov boli snímané fotoelektrickým snímačom a otáčky krutnej trubky magneticko - indukčným snímačom. Merací prístroj so snímačmi otáčok je vidieť na fotografii č. 2.

Na krutnom ústroji boli postupne merané otáčky z čiel hriadeľov rotorov operných kotúčov, pričom značky pre snímanie impulzov boli vytvorené čiernou farbou. viď obr. 10.

Zmysel otáčania pri ktorom bolo meranie prevádzané / zákrut S / je naznačený tiež na obr. 10. Meranie bolo prevedené na 10-tich krutných ústrojoch .

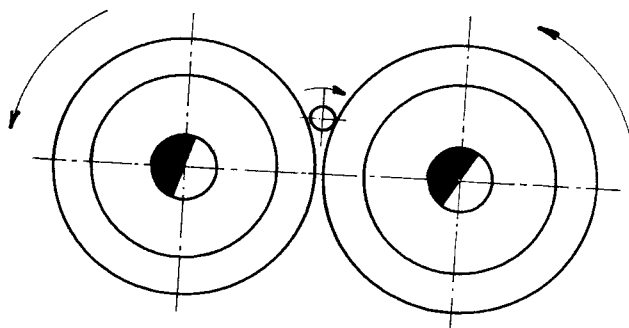


Fot. 2 Prístroj na meranie otáčok TESLA DM 500

PC OLA -462 so snímačmi otáčok

Pomerný sklz sme vypočítali ako podiel sklzovej rýchlosti k rýchlosti hnacieho člena, napr. :

$$\xi_{12} = \frac{v_1 - v_2}{v_1} = 1 - \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{r}{R}$$



Obr. 10 Zmysel otáčania a značky pre snímanie impulzov

P.č.	n_1 [1/min.]	n_2 [1/min.]	n_3 [1/min.]	ξ_{12} [%]	ξ_{23} [%]	ξ_{13} [%]
1.	38 300	38 100	549 500	4,3	-0,9	3,4
2.	38 400	38 200	549 700	6,5	1,3	7,8
3.	38 400	38 200	549 700	6,5	1,3	7,8
4.	38 400	38 200	549 650	6,6	1,4	8,0
5.	38 300	38 200	549 800	3,8	1,1	4,9
6.	38 300	38 200	550 000	2,8	0,8	3,6
7.	38 300	38 150	551 000	1,6	-2,3	-0,7
8.	38 400	38 200	548 600	8,5	3,3	11,8
9.	38 400	38 300	551 500	3,3	0,7	4,0
10.	38 400	38 200	550 900	4,4	-0,8	3,6

Tab. 3

Namerané otáčky a vypočítané sklzy

5.2. Vyhodnotenie zistených sklzov

Ako vidieť v tab. 3, niektoré sklzy sú záporné, čo je v rozpore so zákonmi trenia. Toto sa dá vysvetliť tým, že pri výpočte sklzov nebol braný ohľad na deformácie operných kotúčov odstredivými silami a kontaktnými tlakmi. Vychádzali sme zo statických rozmerov trubky a operných kotúčov.

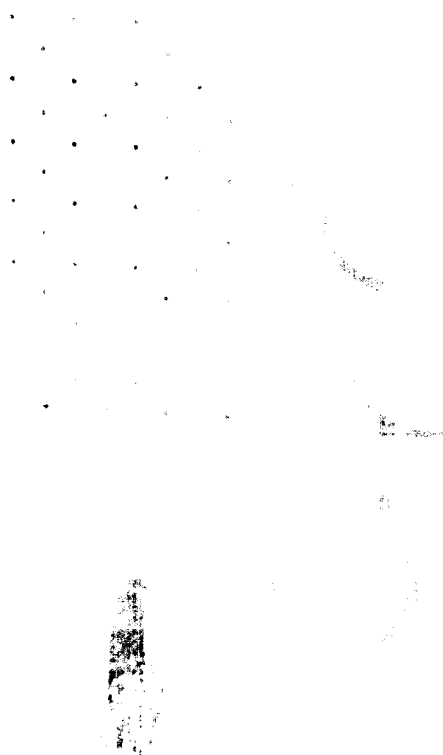
Rozdiely medzi sklzmi pri jednotlivých meraniach sú zapríčinené i rôznym opotrebením jednotlivých kotúčov. Tiež musíme počítať s určitými možnými nepresnosťami pri meraní otáčok. Z tohoto dôvodu vypočítame aritmetickým priemerom stredné pomerné sklzy, ktoré sú :

$$\bar{f}_{12} = 4,83 [\%]; \bar{f}_{23} = 0,59 [\%]; \bar{f}_{13} = 5,42 [\%];$$

Na veľkosť pomerných sklzov majú vplyv rôzne činitele. Medzi dôležité činitele patrí veľkosť prítlačnej sily magnetu, ako i geometrická presnosť / kruhovitosť / operných kotúčov.

6.0. Meranie kruhovitosti operných kotúčov

Ďalšie meranie bolo zamerané na určenie kruhovitosti operných kotúčov. K tomuto meraniu bol použitý prípravok do ktorého sa vložilo príslušné vreteno, ktoré sa ručne otáčalo a dvomi mikrometrami / SOMET ČSN 251816 / pevne upevnenými na prípravku, boli snímané povrchy operných kotúčov / viď. fot. 3 /

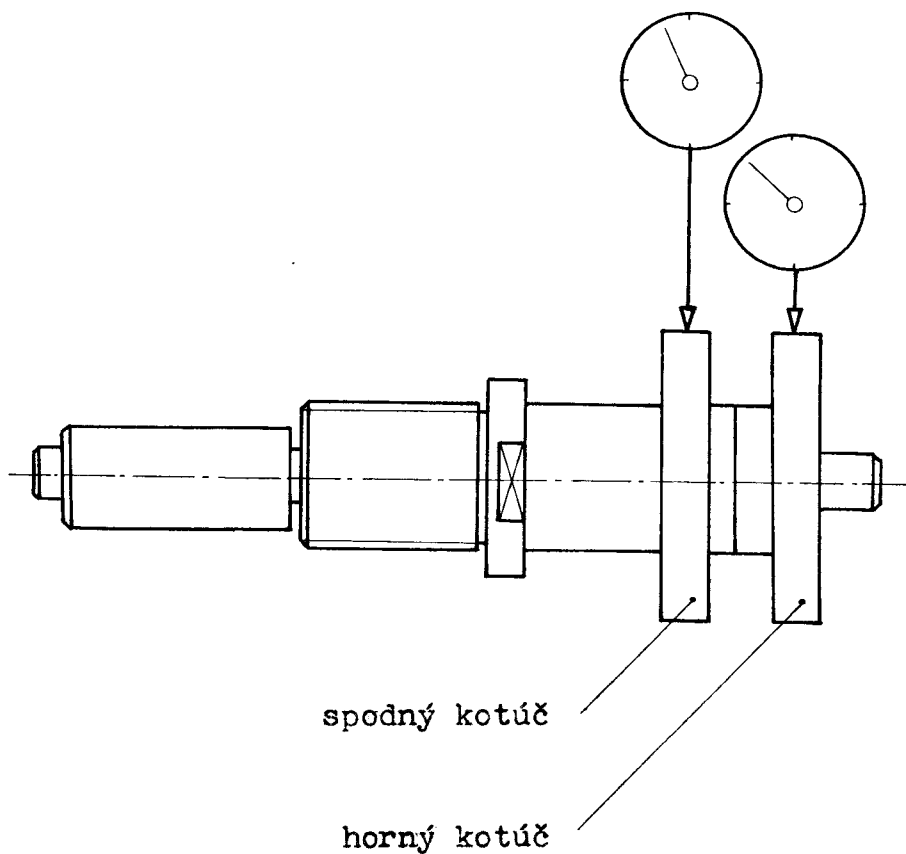


Fot. 3 Prípravok na meranie kruhovitosti operných kotúčov
s vloženým kalibrom

V obr. 11 je naznačená schéma merania s označením jednotlivých častí operného kotúča.

Meranie bolo prevedené na 10-tich vretenách ešte nepoužívaných, viď. tab. 4 a na 10-tich vretenách už používaných, viď. tab. 5.

V tabuľkách 4 a 5 sú zaznamenané maximálne a minimálne hodnoty odčítané na mikrometroch.



Obr. 11 Schéma merania kruhovitosti s označením kotúčov

p.č.	kotúč	min. hodnota	max. hodnota	rozdiel/ μm
1	horný	112	112	0
	spodný	12	13	1
2	horný	116	116	0
	spodný	10	10	0
3	horný	113	113	0
	spodný	12	12	0
4	horný	116	116	0
	spodný	20	20	0
5	horný	112	113	1
	spodný	17	17	0
6	horný	113	114	1
	spodný	11	11	0
7	horný	112	112	0
	spodný	15	15	0
8	horný	113	114	1
	spodný	10	10,5	0,5
9	horný	111	112	1
	spodný	14	14	0
10	horný	111	111	0
	spodný	9	9	0

Tab. 4 Hodnoty pri meraní kruhovitosti kotúčov

p.č.	kotúč	min.hodnota	max. hodnota	rozdiel/ μm
1	horný	142	160	18
	spodný	38	59	21
2	horný	122	133	11
	spodný	22	31	9
3	horný	137	157	20
	spodný	29	53	24
4	horný	140	156	16
	spodný	52	54	2
5	horný	149	170	21
	spodný	58	64	6
6	horný	139	159	20
	spodný	44	51	7
7	horný	123	129	6
	spodný	19	30	11
8	horný	122	126	4
	spodný	11	25	4
9	horný	128	136	8
	spodný	27	28	1
10	horný	121	135	14
	spodný	20	36	16

Tab. 5 Hodnoty pri meraní kruhovitosti kotúčov

6.1. Zhodnotenie merania kruhovitosti

Ako vidieť v tab. 4 nové, ešte nepoužívané operné kotúče sú vyrobené veľmi presne, s najväčším rozdielom hodnôt $1\text{ }\mu\text{m}$. Operné kotúče už používané, ako viď. v tab. 5 sú už značne opotrebované. Chod trubky v krutnom ústroji s takto opotrebovanými kotúčmi, by bol veľmi nekludný a najmä pri rozbehoch by krutné trubky mohli vyletovať.

O náročnosti vlastností materiálu obloženia operných kotúčov sme hovorili v časti 2.1.

Pre zvýšenie životnosti operného kotúča resp. celého vretena, a zlepšenia jeho funkčnosti by bolo správne, keby sa stanovila doba / počet pracovných hodín / po ktorej by sa operné kotúče, ich povrchové vrstvy obrúsili, alebo osústružili pri prevádzkových otáčkach. Toto opracovanie by mohlo byť iba nepatrné, čo by potom nemalo veľký vplyv na otáčky krutnej trubky a tým počet zákrutov vlákna, by sa tiež zmenšil iba nepatrne.

7.0. Doba rozbehu krutného ústroja

Pri výpočte doby rozbehu budeme vychádzať zo základnej pohybovej rovnice pre rotačný pohyb, z ktorej plynie :

$$M_{red} = I_{red} \cdot \epsilon \quad (18)$$

$$M_{red} = I_{red} \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$M_{red} \int_0^{t_r} dt = I_{red} \int_0^{\omega_1} d\omega$$

$$M_{red} t_r = I_{red} \omega_1$$

$$t_r = \frac{I_{red} \cdot \omega_1}{M_{red}} \quad (19)$$

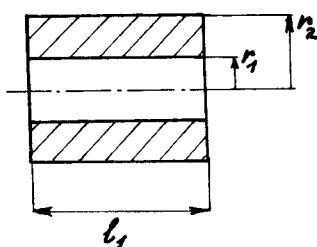
Výpočet momentu zotrvačnosti rotoru vretena operného kotúča :

Rotor bol rozdelený na jednotlivé časti, /viď. obr. 12/. Postupne boli vypočítané momenty zotrvačnosti jednotlivých častí a súčtom bol získaný celkový moment zotrvačnosti rotoru. Rozmery jednotlivých častí boli z výrobných výkresov. Pri výpočte boli zanedbané niektoré zrazenia, ktoré by výsledný moment zotrvačnosti ovplyvnili iba nepatrne,

a) moment zotrvačnosti zástriku kotúča k osy rotácie:

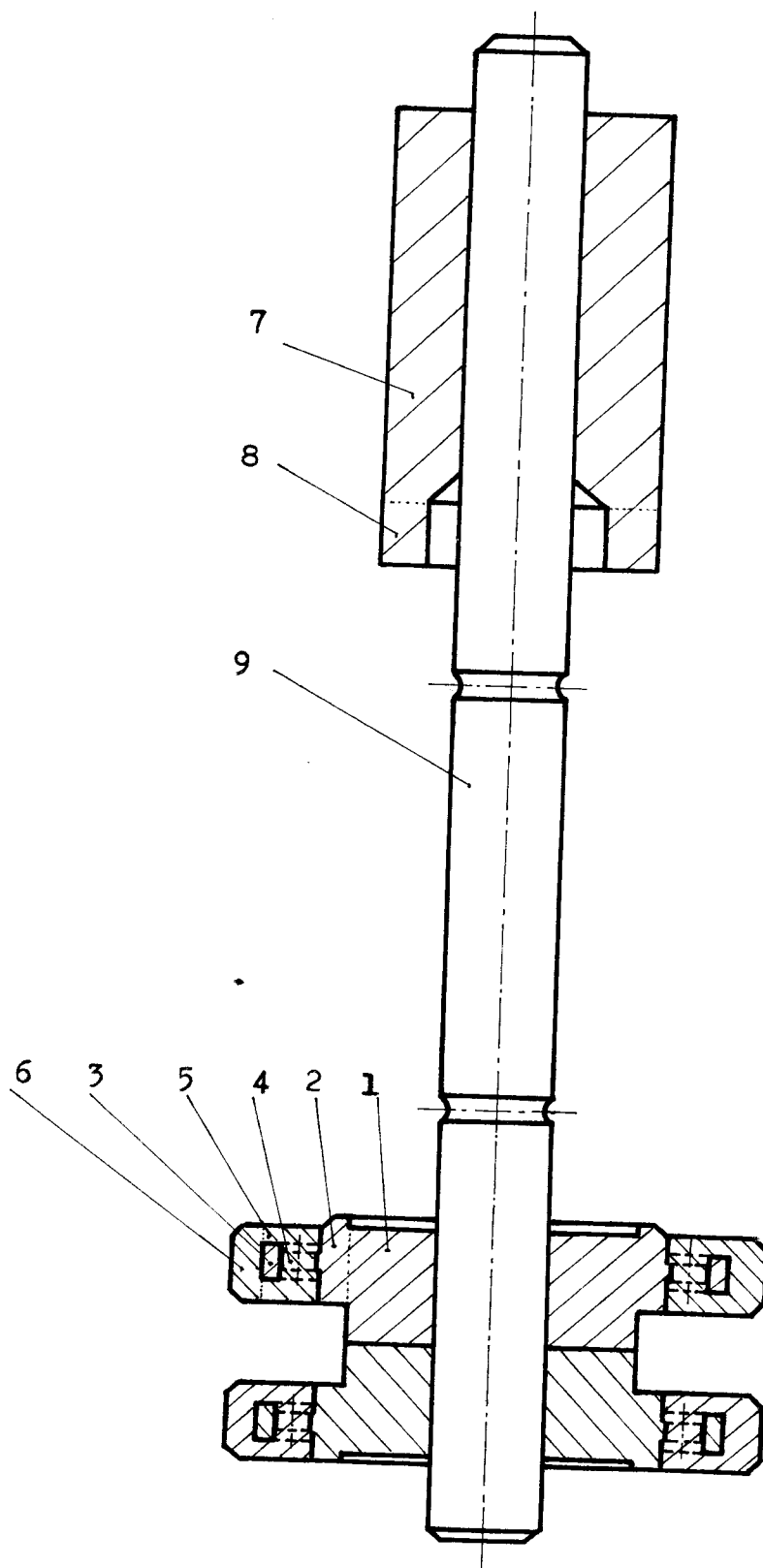
materiál : silamid / $\rho_1 = 1.350 \text{ kg/m}^3$ / .

časť 1 :



$$r_1 = 4 \text{ mm}, r_2 = 10 \text{ mm}, l_1 = 16 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{01} &= \frac{1}{2} \rho_1 l_1 (r_2^4 - r_1^4) = \\ &= \underline{3,3061 \cdot 10^{-7} [\text{kg m}^2]} \end{aligned}$$



Obr.12 Rotor vretena

/Označenie jednotlivých častí pre výpočet I_0 /

časť 2 :

$r_1 = 10 \text{ mm}$

$r_2 = 12 \text{ mm}$

$l_2 = 5 \text{ mm}$

$$(2x) I_{02} = \frac{1}{2} \pi \rho_1 l_2 (r_2^4 - r_1^4) =$$

$$= 2,2766 \cdot 10^{-7} [\text{kg m}^2]$$

časť 3 :

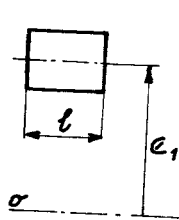
$r_1 = 12 \text{ mm}$

$r_2 = 16 \text{ mm}$

$l_3 = 2,5 \text{ mm}$

$$(2x) I_{03} = \frac{1}{2} \pi \rho_1 l_3 (r_2^4 - r_1^4) =$$

$$= 4,7501 \cdot 10^{-7} [\text{kg m}^2]$$

časť 4(-) :

$r = 1,25 \text{ mm}, l = 2,5 \text{ mm}, e = 13,5 \text{ mm}$

$I_4 = \frac{1}{2} \pi r^2 = \frac{1}{2} \pi \rho_1 \cdot l \cdot r^4 = 1,2943 \cdot 10^{-11} [\text{kg m}^2]$

$$(32x) I_{04} = I_4 + m e_1^2 = I_4 + \pi r^2 \cdot l \cdot \rho_1 \cdot e_1^2 =$$

$$= 9,7033 \cdot 10^{-8} [\text{kg m}^2]$$

b) moment zotrvačnosti obloženia operného kotúča k osy rotácii :

materiál : polyuretanová pryž RUBENA 81094 / $\rho_2 = 1280 \text{ kg/m}^3$ / .časť 4(+) :

$I_4 = \frac{1}{2} \pi \rho_2 \cdot l \cdot r^4 = 1,2272 \cdot 10^{-11} [\text{kg m}^2]$

$$(32x) I_{04} = I_4 + \pi r^2 l \rho_2 e_1^2 =$$

$$= 9,2002 \cdot 10^{-8} [\text{kg m}^2]$$

časť 5 :

$r_1 = 12 \text{ mm}$

$r_2 = 15 \text{ mm}$

$l_5 = 3,5 \text{ mm}$

$(2x) I_{05} = \frac{1}{2} \pi \rho_2 l (r_2^4 - r_1^4) =$

$= 4,2067 \cdot 10^{-7} [\text{kg m}^2]$

časť 6 :

$r_1 = 15 \text{ mm}$

$r_2 = 19 \text{ mm}$

$l_6 = 6 \text{ mm}$

$(2x) I_{06} = \frac{1}{2} \pi \rho_2 l_6 (r_2^4 - r_1^4) =$

$= 1,9229 \cdot 10^{-6} [\text{kg m}^2]$

c) moment zotrvačnosti remenice k osy rotácii :

materiál : tvrdená tkanina / $\rho_3 = 1360 \text{ kg/m}^3$ / .

časť 7 :

$$\begin{aligned} r_1 &= 4 \text{ mm} \\ r_2 &= 8,25 \text{ mm} \\ l_7 &= 27,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{07} &= \frac{1}{2} \pi \rho_3 l_7 (r_2^4 - r_1^4) = \\ &= \underline{2,5711 \cdot 10^{-7} [\text{kg m}^2]} \end{aligned}$$

časť 8 :

$$\begin{aligned} r_1 &= 5,5 \text{ mm} \\ r_2 &= 8,25 \text{ mm} \\ l_8 &= 4,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{08} &= \frac{1}{2} \pi \rho_3 l_8 (r_2^4 - r_1^4) = \\ &= \underline{3,5737 \cdot 10^{-8} [\text{kg m}^2]} \end{aligned}$$

d) moment zotrvačnosti hriadeľa k osy rotácie :

materiál : oceľ 12 050 / $\rho_4 = 7850 \text{ kg/m}^3$ / .časť 9 :

$$\begin{aligned} r &= 4,05 \text{ mm} \\ l &= 105,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$I_{09} = \frac{1}{2} \pi \rho_4 l r^4 = \underline{3,500 \cdot 10^{-7} [\text{kg m}^2]}$$

Celkový moment zotrvačnosti rotoru vretena operných kotúčov:

$$I_1 = I_{01} + I_{02} + I_{03} + I_{04} + I_{05} + I_{06} + I_{07} + I_{08} + I_{09} = \underline{4,0146 \cdot 10^{-6} [\text{kg m}^2]}$$

Výpočet momentu zotrvačnosti krutnej trubky k osy ro-tácie :

Pri výpočte momentu zotrvačnosti krutnej trubky, sme trubku rozdelili na dve časti : telo trubky /časť 1/ a hlavičku / časť 2/. Celkový moment zotrvačnosti sme dostali súčtom týchto dielčích momentov zotrvačnosti .

materiál : strieborná oceľ / $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ / .časť 1 :

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,5 \text{ mm} \\ r_2 &= 1,25 \text{ mm} \\ l_1 &= 24,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{11} &= \frac{1}{2} \pi \rho l_1 (r_2^4 - r_1^4) = \\ &= \underline{7,1868 \cdot 10^{-10} [\text{kg m}^2]} \end{aligned}$$

časť 2 :

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,85 \text{ mm} \\ r_2 &= 1,25 \text{ mm} \\ l_2 &= 2,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{12} &= \frac{1}{2} \pi \rho l_2 (r_2^4 - r_1^4) = \\ &= \underline{7,1480 \cdot 10^{-11} [\text{kg m}^2]} \end{aligned}$$

Celkový moment zotrvačnosti krutej trubky :

$$I_2 = I_{11} + I_{12} = 7,9016 \cdot 10^{-10} [\text{kg m}^2]$$

Redukovaný moment zotrvačnosti vypočítame, keď momenty zotrvačnosti jednotlivých členov budeme redukovať na hnačie hriadeľ /viď.obr.13/.

$$I_{red} = I_1 + I_2 \left(\frac{r}{R} \right)^2 + I_1' \left(\frac{r}{R} \right)^2 \left(\frac{R}{r} \right)^2 = \\ = I_1 + I_1' + I_2 \left(\frac{r}{R} \right)^2 = 8,1204 \cdot 10^{-6} [\text{kg m}^2]$$

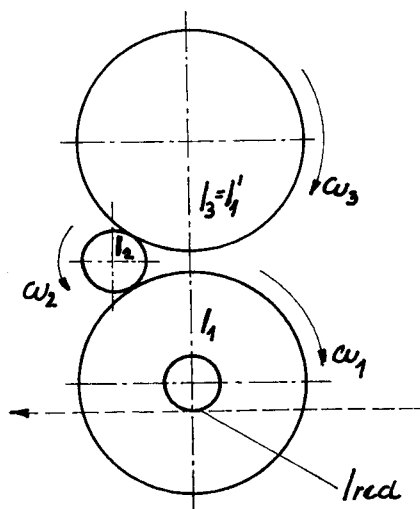
V našom prípade $M_{red} = M_H$, kde M_H vypočítame z príkonu krutného ústroja :

$$M_H = \frac{P}{\omega_1} = \frac{83,9}{40,16} = 2,21 [\text{Nm}]$$

ω_1 je aritmetický priemer z nameraných frekvencií otáčania hnacieho operného kotúča /viď.časť 5.1/.

Po dosadení do vzťahu (19) dostaneme dobu rozbehu krutného ústroja :

$$t_r = \frac{I_{red} \omega_1}{M_{red}} = 1,6855 \cdot 10^{-4} [\text{s}]$$



Obr. 13 Označenie jednotlivých momentov zotrvačnosti

8.0. Návrhy na zlepšenie funkcie krutnej jednotky

Zvýšenie otáčok krutnej trubky, čím je vlastne daný výkon krutného ústroja je možné dosiahnuť viacerými spôsobmi. Jeden zo spôsobov je miniaturizácia celého krutného ústroja. Miniaturizáciou sa dosiahne pri tej istej obvodovej rýchlosti kotúča a zhodnom prevodovom pomere zväčšenie otáčok krutnej trubky. Pritom nie sú kladené ďalšie nároky na materiál kotúčov a trubky, iba sa zväčšujú otáčky vretien. Ďalšou možnosťou, ako zvýšiť otáčky je zmena prevodového pomeru a to buď zmenšením priemeru trubky, alebo zväčšením priemeru operných kotúčov, alebo oboje súčasne. Pritom sú kladené zvýšené nároky na materiál trubky a kotúčov.

S prihliadnutím na možnosti výroby a na náročnosť vlastností materiálu operných kotúčov /viď časť 2.1/, by bolo možné zvýšiť otáčky krutnej trubky z terajších 550 000 1/min, až na 800 000 1/min., za týchto predpokladov :

- vyrobiť krutnú trubku o odvalľovacom priemere 2,0 mm, resp. 1,6 mm.
- zvýšiť tuhosť operných kotúčov, aby pri vysokých otáčkach nemenili svoj tvar
- veľká presnosť výroby, ako i opracovanie kotúčov pri prevádzkových otáčkach
- dokonalé statické i dynamické vyváženie krutnej trubky a vretien operných kotúčov

V tabuľke 6 pod p.č. 1 sú uvedené niektoré hodnoty súčasne vyrábaného krutného ústroja P 5, tvarovacieho stroja TK 600.

Otáčky hnacieho operného kotúča sú v tomto prípade získané z merania /viď. časť 5.1./, ako aritmetický priemer.

Ďalej sú v tab.6 uvedené niektoré varianty, ktorými by bolo možné zvýšiť výkon krutného ústroja .

p.čD/mm/	d/mm/	i	n_1 /l/min./	n_2 /l/min./	v_0 /m s ⁻¹ /	
1	36	2,5	14,4	38 360	552 384	72,410
2	36	2,0	18,0	40 000	722 000	75,607
3	38	2,0	19,0	38 000	722 000	75,607
4	38	2,0	19,0	40 000	760 000	79,587
5	40	2,0	20,0	38 000	760 000	79,587
6	38	1,6	23,75	38 000	902 500	75,607
7	40	1,6	25,0	40 000	1000 000	83,776

Tab.6 Možné varianty zvýšenia výkonov krutného ústroja

Konštrukčný návrh upravenej **krutnej** jednotky / viď príloha / je podobný vyrábanej krutnej jednotke. Niektoré jeho hodnoty / výkon, obvodová rýchlosť a pod./ je vidieť v tab.6 p.č.2.

Zvýšenie výkonu je dosiahnuté zväčšením prevodového pomeru $i = 18$, ktorý bol získaný použitím krutnej trubky o priemeru 2,0 mm a zvýšením otáčok vretena operného kotúča na 40 000 l / min. Zvýšenie otáčok vretena je dosiahnuté zmenšením priemeru remenice z pôvodného 16,5 mm na 15,7 mm . Zväčšenie tuhosti operných kotúčov je zabezpečené odstupňovaním priemerov operných kotúčov.

9.0. Z Á V E R

V tejto práci je zhrnutá problematika dvojkotúčového krutného ústroja s magnetickým pridržovaním nepriamo valivo uloženej krutnej trubky. Sú v nej riešené niektoré problémy iba jednotlivo. Komplexné riešenie krutného ústroja, by prekročilo rozsah a možnosti tejto práce. Vyžadovalo by radu experimentov a meraní, lebo napr. materiálové hodnoty operných kotúčov sú málo známe a vzhľadom k veľkým otáčkam kotúčov značne ovplyvňujú chod krutnej trubky. A práve v materiáloch sú najväčšie rezervy zvyšovania výkonu krutných ústrojov.

Poďakovanie

Na záver by som chcel poďakovať vedúcemu diplomovej práce Doc. Ing. Charvátovi, Csc a konzultantovi Ing. Dunovskému za cenné rady a pripomienky pri vypracovávaní diplomovej práce.

10. 0. Použitá literatúra

- / 1 / Hosnédl, V. : Prevádzkové vlastnosti krutných ústrojov pre tvarovanie umelých vlákien
Výskumná správa ZVL VÚVL
č. 1333 - VL - 76, Brno, 1976
- / 2 / Hosnédl, V. : Podmienky pre riešenie krutného ústroja tvarovacích strojov s otáčkami krutnej trubky 1 000 000 1/min.
Výskumná správa ZVL VÚVL
č. 139 - VL - 75, Brno, 1975
- / 3 / Charvát, J. : Mechanika II, Dynamika
Učebný text VŠST Liberec, 1978
- / 4 / Šrejtr, J. : Dynamika
Praha, SNLT 1958
- / 5 / Miroljubov, I.N.: Riešenie úloh z pružnosti a pevnosti
Praha, SNLT 1976
- / 6 / Remta, Krupka
Dražan a kol.: Žeriavy I. diel
Praha, SNLT 1974
- / 7 / Vrzal, B. a kol: Strojnícke tabuľky I., II.
Praha, SNLT 1972
- / 8 / Konferencia o tvarovaní syntetických vlákien na strojoch rady TK.
Ústí nad Orlicí - 25.11.-1.12.1973
Liberec, 1973

/ 9 / Špičkové textilné stroje

Dom techniky ČVTS Ústí nad Labem

Liberec, 1977

/ 10 / OTPF TK 600 Liberec, 1976

/ 11 / Uplatnenie plastov československej výroby v stro-
járstve

Dom techniky ČSVTS Praha, 1979

/ 12 / Prospektový materiál

firmy FAG / NSR /

firmy Heberlein / Švajčiarsko /

1	Držák vretien	Odliatok	424330.03	821				1
1	Nástavec držáku	Odliatok	424330.03	821				2
1	Nosič Plech 1,2	ČSN 425302.5	11 301.93	1				3
1	Kryt Plech 0,7	ČSN 425302.5	11 301.93	1				4
2	Podložka ø 30	ČSN 425302	11 301.93	1				5
3	Nástavec Plech2,	ČSN 425302.2	11.330.3	1				6
1	Podložka 12-26	ČSN 425350.2	11.370.2	1				7
1	Skrutka M6x5	ČSN 42 8511	42 3313.0	371				8
1	Trubka ø6x1-70	ČSN 42 5715	11 350.21	1				9
1	Trubka ø6x1,5-20	ČSN 42 5715	42 4201.3	1				10
1	Vodič	ČSN642153.23		-				11
2	Pryž.Podložka	ČSN622536.07		-				12
2	Kryt remenice	ČSN642102.30		-				13
1	Kryt	ČSN642102.30		-				14
2	Skrutka M4x30	ČSN02 1131						15
2	Matica M4	ČSN 02 1401						16
1	Skrutka M4x6	ČSN 02 1131						17
1	Podložka 4,1	ČSN 02 1740						18
1	Skrutka M2,5x5	ČSN 02 1155						19
1	Skrutka M3x6	ČSN 02 1131						20
1	Skrutka M6x50	ČSN 02 1143						21
1	Matica M6	ČSN 02 1401						22
1	Podložka 6,1	ČSN 02 1740						23
2	Skrutka M2x5	ČSN 02 1131						24
1	Pružina	ČSN 026030.1						25
2	Magnet	-	Ferit D330					26
2	Vreteno	KV 50						27

Labal

VŠST
LIBEREC

KRUTNÉ
ÚSTROJE S

DP-VS-25-79-400