Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní

Katedra: sklářských a keramických strojů Školní rok: 1986/87

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Petra K u č e r u

obor 23-21-8 Stroje a zařízení pro chemický, potravinářský a spotřební průmysl

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Automatizace broušení piezokeramických kruhových výlisků

Zásady pro vypracování:

V současné době se provádí broušení piezokeramických kruhových výlisků v závodě Tesla Raspenava způsobem, který vykazuje nízkou produktivitu práce zejména vzhledem k nevyhovujícímu způsobu měření tloušťky broušené destičky. Úkolem diplomové práce je návrh kontinuálního způsobu měření.

Práce bude zahrnovat:

1. Podrobný rozbor současného stavu (strojní zařízení, technologie, způsob měření tloušťky destičky).
2. Alternativní návrhy možného uspořádání, které zajistí kontinuální snímání tloušťky broušených destiček.
3. Rozpracování zvolené varianty.
4. Technickoekonomické zhodnocení navrženého řešení.

LIBRARY

Rozsah grafických prací: přibližně 40 stran textu doložených potřebnými

Rozsah průvodní zprávy: výpočty a grafickou dokumentací

Seznam odborné literatury:

- Podklady n.p. Tesla Raspenava
- Firemní literatura fy TRANSAT Corp.

Vedouci diplomové práce: Doc. Ing. Vladimír Klebsa, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 1.10. 1986

Termín odevzdání diplomové práce: 11.5. 1987

L.S.

Doc. Ing. Jaroslav Belda, CSc.
Vedoucí katedry

Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc.
Děkan

V Liberci dne 1.10. 19 86

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

obor 23 - 31 - 8

Stroje a zařízení pro chemický, potravinářský

a spotřební průmysl

zaměření

Sklářské a keramické stroje

Katedra sklářských a keramických strojů

Automatizace broušení piezokeramických kruhových výlisků

Petr Kučera

DP 124/67

Vedoucí práce: Doc.ing. Vladimír Klebsa CSc, VŠST Liberec

Konzultant: s. Milan Kobrle, Tesla Rožnava

Rozsah práce a příloh:

počet stran ..48..

počet obrázků ..30..

počet výkresů ..10..

počet tabulek ..3..

počet příloh ..0..

Datum: 11.5.1967

Seznam použitých zkratek

U - napětí	/kV/
f_s - kmitočet sériový	/Hz/
f_p - kmitočet paralelní	/Hz/
Δf - kmitočtové pásmo	/Hz/
f_r - kmitočet rezonanční	/MHz/
f_t - kmitočet referenční	/MHz/
f - ohnisková vzdálenost	/mm/
p_o, p, p_1 - tlak	/MPa/
Δp - rozdíl tlaků	/MPa/
p_d - převod	
K - konstanta	
$\varkappa$ - konstanta	
γ , γ_1, γ_2 - součinitel kontrakce	
n_{21}, n_{51} - otáčky	/min /
b, b_1, b_2 - šířka	/mm/
t, t_1, t_2 - tloušťka	/mm, um/
h, H, v - výška	/mm/
D, D_1, D_2 - průměr	/mm/
a, b, l, L - délka	/mm/
x - vzdálenost	/mm/
Δx - rozdíl vzdáleností	/mm/
S, S_1, S_2 - plocha	/mm^2 /
α - úhel	/ ° /

OBSAH

Úvod 6

1. Rozbor současného stavu 8

1.1 Technologie výroby mezifrekvenčních filtrů 8

1.2 Operace broušení 11

1.2.1 Technologie broušení a způsob měření tloušťky 11

1.2.2 Sortiment broušených polotovarů 13

1.2.3 Planetová bruska UP 333 14

1.2.4 Hodnocení současného stavu 18

2. Možnosti měření délek 20

2.1 Měřidla s převodem pákovým 20

2.2 Měřidla s převodem pružinovým 21

2.3 Měřicí přístroje s převodem ozubenými koly a ozubenými segmenty 21

2.4 Přístroje s převodem mechanicko-optickým 22

2.5 Přístroje s převodem pneumatickým 23

2.6 Přístroje s převodem elektrickým 27

2.7 Měření s využitím interference 29

2.8 Hodnocení metod, měřidel a přístrojů 30

3. Varianty řešení 31

3.1 Přímé měření tloušťky v procesu broušení 31

3.2 Měření tloušťky pneumaticky 35

3.3 Výběr optimální varianty 40

4. Rozpracování zvolené varianty 44

5. Technicko-ekonomické zhodnocení 46

6. Závěr 47

Seznam literatury 48

Úvod

Obory keramického průmyslu v sobě zahrnují široký okruh specializované keramické výroby, rozmístěné prakticky po celém území naší republiky. Patří k těm několika málo odvětvím, pro jejichž rozvoj máme dobrou vlastní surovinovou základnu. Přírodní ložiska surovin pro keramickou výrobu jsou u nás poměrně bohatá a mají pro naše národní hospodářství značný význam. O této skutečnosti svědčí i jednání XVII. sjezdu Komunistické strany Československa. V dokumentu XVII. sjezdu KSČ "Hlavní směry hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1986 - 1990 s výhledem do roku 2000" se ukládá :

"Soustředit pozornost na odvětví opírajících se o vlastní surovinovou základnu. Ve výrobě skla, porcelánu, jemné keramiky a bižuterie věnovat mimořádnou pozornost modernizaci výrobní základny. Dosahovat tím vyššího zhodnocování domácích surovin."

Výroba keramiky má u nás bohatou tradici a patří mezi nejstarší výrobní obory. S rozvojem lidské společnosti a s rozvojem výrobních sil se rozvíjela i keramická výroba. Zvláště v posledním období se její rozvoj podstatně urychluje a rozšiřuje.

V rozvoji našeho národního hospodářství bude keramické výrobě připadat stále významnější role. Jen v 8. pětiletce - 1986-1990 - vzroste výroba skleářského a keramického průmyslu o 20 %. Při tom se počítá jak se zvýšením objemu vývozu těchto výrobků zejména do socialistických zemí, tak i se zvýšením dodávek pro tuzemský trh a tak dosáhnout vyššího stupně uspokojení stále rostoucích domácích potřeb.

Keramické materiály pro svoje specifické vlastnosti, jako je např. pevnost, odolnost proti otěru, odolnost proti teplotám, nízká tepelná a elektrická vodivost, protichemická odolnost a některé další, jsou vyhledávanými a v nejednom případě i nenahraditelnými a nenahraditelnými. Pro tyto specifické vlastnosti

jsou keramické materiály ve značném rozsahu používány v oblasti výroby a přenosu elektrické energie, jsou nepostradatelnými při výrobě v elektrotechnickém a elektronickém průmyslu. V těchto oborech, které jsou významnými nositeli vědecko-technického pokroku, budou keramické materiály bezpochyby nabývat stále více na svém významu.

Jedním z výrobců elektroteramiky v severočeském kraji je závod koncernového podniku Tesla Hradec Králové v Raspenavě. Tento závod vyrábí keramické výrobky s piezoelektrickými vlastnostmi, tzv. rezonátory. Výroba rezonátorů probíhá v několika operacích, které se často provádějí na zastaralém strojním zařízení s vysokou pracností. Jednou z operací přípravy polotovarů je broušení. Vykazuje nízkou produktivitu práce i kvalitu výbrusů. Zlepšením dosavadního stavu se zabývá tato diplomová práce.

1. Rozbor současného stavu

Tato kapitola bude obsahovat:
- popis technologie výroby mezifrekvenčních filtrů
- popis operace broušení

1.1 Technologie výroby mezifrekvenčních filtrů

V závodě Tesla Rasnenava se vyrábí součástky pro elektroniku. Významnou část produkce tvoří tzv. rezonátory. Jde o keramické výrobky mající piezoelektrické vlastnosti /mechanickou deformací vzniká na některých krystalických látkách elektřina a naopak takový krystal vložený do elektrického pole se deformuje, mění svůj tvar/. Tyto rezonátory se pomocí kontaktů spojí, vloží se do krytu a expedují se jako mezifrekvenční filtry.

Výchozí surovinou pro výrobu jsou hmoty pod označením PKM 13 a PKM 15. Složení těchto hmot je následující :

PKM 13 - oxid olovnatý /PbO/
oxid titaničitý /TiO_2/
oxid zirkoničitý /ZrO_2/
oxid niobičný /Nb_2O_5/
oxid hořečnatý /MgO/
oxid manganičitý /MnO_2/

PKM 15 - složení je podobné, ale místo oxidu hořečnatého je
oxid kadmnatý /CdO/

Nejvýznamnější složkou je oxid olovnatý, kterého je v obou hmotách přibližně 60 %.

Příprava hmot PKM se neprovádí v Tesle Rasnenava a zahrnuje tyto operace :

- navažování
- mletí za mokra
- odželezování
- odvodňování
- sušení

- drcení
- kalcinace
- zepracování pojiva
- předlisování
- skladování

Vlastní výrobu můžeme rozdělit do tří etap :

A/ Výroba polotovarů
B/ Výroba rezonátorů
C/ Sestavení filtrů

A/ Výroba polotovarů /označení SA 432 65, 66, 67 /

Přivezená hmota PKM se lisuje na lise Kovopol tlakem 60 až 70 MPa. Jedná se o suché lisování; vlhkost hmoty je 3 %. Výlisky se narovnají do pouzder a prosypou se hmotou stejného složení. Každé pouzdro má dvě části: vnitřní /žárobetonové/ a vnější /K 11/. Vejde se do něho cca 4 000 ks výlisků. Pouzdra /3 - 1/ se vloží do komorové pece KPT 3 a provede se výpal. Teplota výpalu je 1 200 - 1 300°C podle složení výlisku s přesností ± 10°C. Výdrž na maximální teplotě asi jednu hodinu. Výpalky se očistí od zásypové hmoty, roztřídí se a brousí se na planetové brusce UP 333 na požadovanou tloušťku. Obroušené polotovary se opláchnou vodou a osuší. Veškerých nečistot se zbaví vyprášením v ultrazvukové myčce UP 356.

B/ Výroba rezonátorů /czn. SF 684 13, 14, 15 /

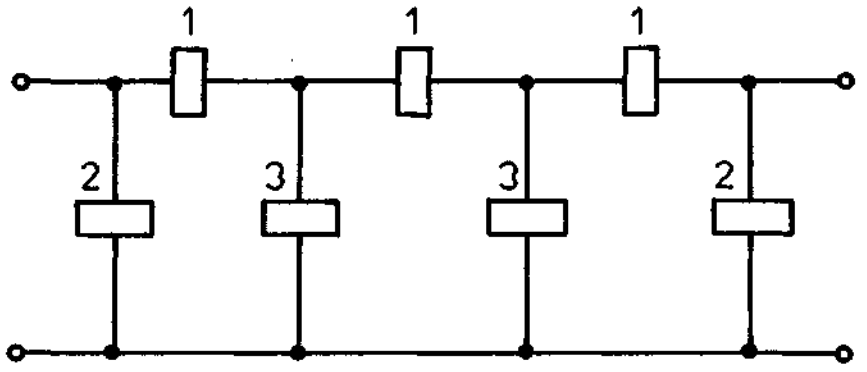
První operací je pokovení. Provádí se většinou vakuovým napařováním v několika vrstvách /hliníkové, niklová, zlatá - poslední vrstva/. Pokovené polotovary se stmelí /po 10-ti až 20-ti/ ve válečky a brousí se na kulato na beztroté brusce BPZ 60. Po rozetmelení, vyprání a vysušení se polotovary vloží do polarizačního zařízení mezi dvě elektrody /napětí U = 2,5 kV na milimetr/. Dojde k polarizaci na určitý rozdíl sériového respektive paralelního kmitočtu a polotovar = rezonátor získal piezoelektrické vlastnosti. Následuje operace, která se

nazývá technologické stárnutí /provádí se kvůli změn vlastností s časem/. Rezonátor se nechá ležet asi týden v sušárně za teploty 100°C. Další týden rezonátor "stárne" za normální teploty. Protože platí, že rezonátory mají různé kmitočty, provádí se jejich úprava obrušováním po obvodě. Obrušováním se zvyšuje kmitočet. Následuje opětné umělé technologické stárnutí. Dále se rezonátory rozměřují do paletek

- podle sériového kmitočtu /f_s/ a paralelního kmitočtu /f_p/ po 50 Hz
- podle kmitočtového pásma $\Delta f = f_s - f_p \doteq 465$ Hz

C/ Sestavení vlastního mezifrekvenčního filtru /obr. SK 854 15, 15a /

Nejprve se podle klíče vybírají rezonátory a spojují tak, aby křivka na osciloskopu /tzv. charakterograf/ odpovídala daným požadavkům. Jedná se tedy o elektrické sestavení filtru - viz obr. 1.



1... SF 684 13
2... SF 684 14
3... SF 684 15

Obr. 1 Elektrické zapojení filtru.

Dále se provede mechanické sestavení filtru. Rezonátory se propojí na pevno /pájením/ a vloží se do krytu. Následným měřením se zjišťuje zda mezifrekvenční filtr odpovídá požadovaným parametrům. Pokud ano, kryt se zaletuje a výrobek je hotov.

1.2 Operace broušení

Broušení keramických výpalků je jednou z operací zpracování polotovarů. Následuje po lisování a výpalu.

Budu se zabývat popisem broušení z hlediska technologie, měření tloušťky, sortimentu broušených polotovarů, strojního zařízení. Na závěr bude hodnocení současného stavu broušení.

1.2.1 Technologie broušení a způsob měření tloušťky

Používané zařízení, přípravky, pomůcky:
- planetová bruska UP 333
- unášecí planetky
- stopky
- sítko
- zásobníky
- utěrka
- štětec
- mikrometr /nebo číselníkový úchylkoměr/

Používaný materiál:
- brusivo siliciumkarbid /SiC/
- glycerin technický
- olej K8
- buničitá vata
- voda užitková

Technologický postup:

Brusné plochy obou brusných desek /kotoučů/ se důkladně očistí a osuší. Potom se přeleští čistým hadrem lehce nasáklým olejem K8 a na spodní brusnou desku se položí 5 planetek /satelitů/. Planetky nesmějí mít poškozené ozubení, otřepy na zubech nebo v otvorech pro unášení broušených předmětů. Jejich tloušťka musí být 0,8 až 0,9 konečné tloušťky výbrusu. Do otvorů planetek se založí výpalky, které musí být o 1 mm menší než průměr otvoru. Osazují se všechny otvory v planet-

kách. V případě nutnosti se mohou některé středově symetricky vynechat. Roztečné kružnice otvorů v planetových maskách se volí tak, aby vložené keramické výpalky v nich přejížděly přes okraje brousících desek o 1/5 až 1/10 průměru výpalku. Vzdálenost mezi otvory planetové mesky je asi 4 - 8 mm. Při zakládání keramických výpalků do otvorů planetek nesmí dojít k tomu, aby výpalek zůstal částečně ležet na planetce.

Na činné plochy brusných desek se štětcem nanese brusná suspenze. Její složení je následující: 200 dílů glycerinu, 125 dílů brusiva, 105 dílů vody. Dále se opatrně přiloží horní brusná deska a na ní se umístí závaží /1-2 po 1,5 kg/. Deska se zajistí závorou proti otáčení. Spustí se motor náhonu planetek. Do otvorů v horní desce se během broušení přidává brusná směs podle potřeby. Klínovitost se vyrovnává v průběhu broušení překlápěním výpalků.

Vlastní broušení lze rozdělit do tří fází:

1/ Broušení cca 2 minuty. Účelem je zarovnání původně nestejně tlustých výpalků. Po těchto 2 minutách se stroj zastaví. Vyjme se 5 kusů /po jednom z každé planetky/, vloží se do sítka a opláchnou se pod tekoucí vodou. Po otření utěrkou se změří jejich tloušťka mikrometrem nebo setinovým úchylkoměrem.

2/ Zapnou se stopky a provádí se další broušení. Po určité době se stroj opět zastaví. Zase se vyjme asi 5 kusů a proměří se jako v předešlém bodě. Z času na stopkách a z úbytku broušeného materiálu se vypočte rychlost broušení /úbytek materiálu za jednotku času/. Z rychlosti broušení a z tloušťky, kterou je nutno ještě odbrousit, snadno zjistíme dobu dobroušení.

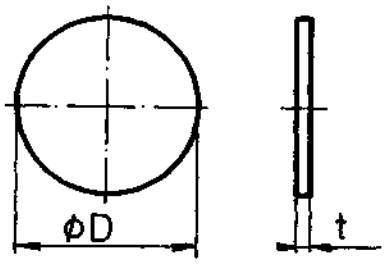
3/ Provede se dobroušení po vypočtený čas.

Pokud tloušťka keramických výbrusů vyhovuje platné výkresové dokumentaci, provede se jejich opláchnutí ve vodě a vysušení buničitou vatou. Pak následuje další výrobní operace.

1.2.2 Sortiment broušených polotovarů

Jedná se v podstatě o 2 typy polotovarů-výpalků.

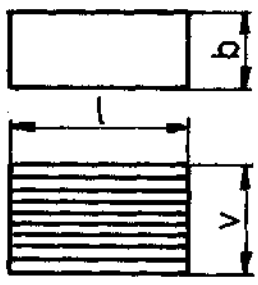
a/ Výpalek kruhovitého tvaru - o různém průměru D, broušený z tloušťky t_1 na tloušťku t_2 - obr.2.



Obr.2 Výpalek kruhovitého tvaru.

průměr D /mm/	tloušťka t /mm/: po výpalu t_1	po obroušení t_2
6,2 ± 0,3	0,8 + 0,3	0,47 ± 0,01
		0,3 ± 0,01
	1,5 + 0,3	1,1 ± 0,01
5,4 ± 0,3	0,9 + 0,2	0,8 ± 0,01

b/ Výpalek obdélníkového tvaru. Těchto asi 20 stmelených se brousí ze šířky b_1 na šířku b_2 - obr.3.



Obr.3 Výpalky obdélníkového tvaru.

délka l /mm/	výška v /mm/	šířka b /mm/ po výpalu b_1	po obroušení b_2
29 ± 1	20 + 1	5,5 ± 0,4	4,45 ± 0,03

1.2.3 Planetová bruska UP 333 /3/

Účel a použití stroje:

Oboustranná bruska - typ UP 333 - je určena k oboustrannému broušení plochých předmětů, zvláště desek z polovodičových materiálů /Ge, Si/. Účelem broušení /lepování/ je dosažení vysoké planparalelity, hladkosti povrchu; při dodržení žádané tloušťky.

Technická data:

Základní rozměry:	půdorys 500 x 700 /mm/
	výška 1550 mm
	hmotnost cca 150 kg
Elektrický proud:	220 V 50 Hz
	příkon 0,2 kVA
Elektrický motor pohonu brousícího zařízení:	J3H 54V 220V 90
	1390 ot./min.
Rozměry broušených desek:	
- maximální průměr	50 mm
- tloušťka	0,1 až 20 mm

Tabulka I. Počet broušených desek v jedné operaci /při pěti vodících planžetách/ vzhledem k jejich průměru.

Pro rozsah průměrů /mm/	Počet kusů
Ø 22 - Ø 50	5
Ø 18 - Ø 22	15
Ø 18 a menší	20 a více

Výkon stroje: závisí na materiálu broušených desek, rychlosti broušení, přítlačné síle a druhu brusiva.

Přesnost stroje:

Dosažitelná minimální úchylka od planparalelity 1 µm.

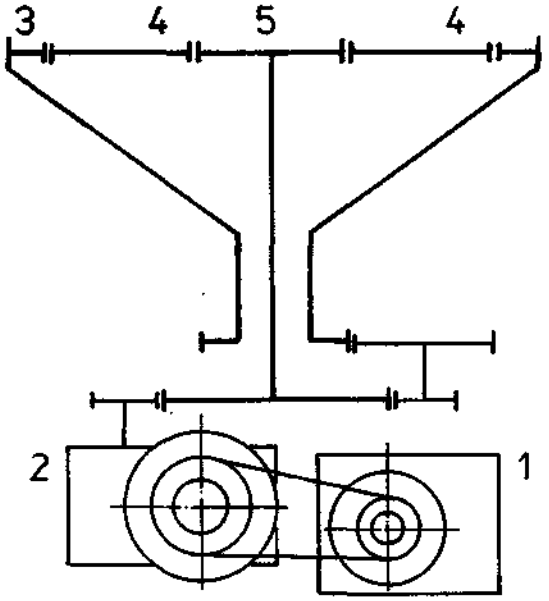
Dosažitelná tloušťka s tolerancí 1 µm.
Mezních hodnot přesnosti lze dosáhnout pouze při plném respektování provozních předpisů.

Brousící síla: je dána hmotností horní desky a připojených dílů. Brousící sílu lze zvětšit přídavnými závažími, která se umísťují na horní brusnou desku.

Hmotnost horní desky z litiny: 2,3 kg

Schéma převodů:

Kinematické schéma je na obr.4.



1...motor
2...šneková převodovka
3...korunové kolo
4...satelity
5...centrální kolo

Obr.4 Kinematické schéma převodů.

Rychlostní stupeň /I, II, III/ se volí na třístupňových řemenicích motoru a šnekové převodovky. Hodnoty otáček pastorku i korunového kola a celkového převodu jsou v tabulce II, kde značí:

- n_{21} ... otáčky hnacího pastorku pohánějícího vodící planetky
- n_{51} ... otáčky korunového kola pohánějícího vodící planetky.

Tabulka II. Otáčky a celkový převod stroje.

Otáčky [min^{-1}]			Celkový převod	
	n_{21}	n_{51}		
I	30	45,9	I	46,4
II	45	68,8	II	30,9
III	65	99,5	III	21,4

Popis stroje:

Brousící stroj se skládá ze tří vzájemně demontovatelných celků:

- vlastního brusného zařízení s pohonem
- podstavce s odpadní nádobou
- konzoly.

Hlavní funkční částí je brusné zařízení s náhonem. Náhon je proveden elektrickým motorem s třístupňovou řemenicí. Klínovým řemenem je pohyb přenášen na typizovanou šnekovou převodovku a z ní ozubenými šelními koly s šikmým ozubením na vnitřní hnací hřídel a přes předlohu na vřeteno brusného zařízení, uložené na kuličkových ložiskách. Na hřídeli je umístěn pastorek, který je centrálním kolem planetového mechanismu, vyvozujícího lapovací pohyb. Planetový mechanismus se skládá z korunového kola, hnaného vřetenem a pěti vodících planžetových kotoučů /satelitů/, které jsou vodícími maskami pro broušené desky. Tyto jsou takto vedeny mezi dolní a horní brusnou deskou po cykloidálních drahách.

Horní deska je centrována a proti otáčení zajištěna závorou. Dolní deska je připevněna na prstenci, jejž je možno vertikálně vysouvat pomocí tří ozubů klouzajících na třech šikmých ozubech základny. Vysouvání se děje pomocí odtlačovacího imbusu. Vysouváním se mění výška roviny záběru planžet v korunovém kole a hnacím pastorku a zajišťuje se tak rovnoměrné opotřebování ozubených kol a využití celé výšky kol.

Brusná suspenze je dodávána do otvorů horní desky štětcem v určitých intervalech. Opotřebené brusivo stéká spolu s odbroušeným materiálem do odpadní nádoby.

Vybrané provozní předpisy:

Parametry přesnosti lze zaručit při dodržení níže uvedených podmínek.

Umístění stroje: v čistém, bezprašném prostředí /přípustné rozměry nečistot ve vzduchu menší než jmenovitý rozměr zrn použitého brusiva/.

Teplota vzduchu: stálá s tolerancí ± 2°C.

Obsluha musí být odborně školena, musí přísně dodržovat technologickou kázeň výroby.

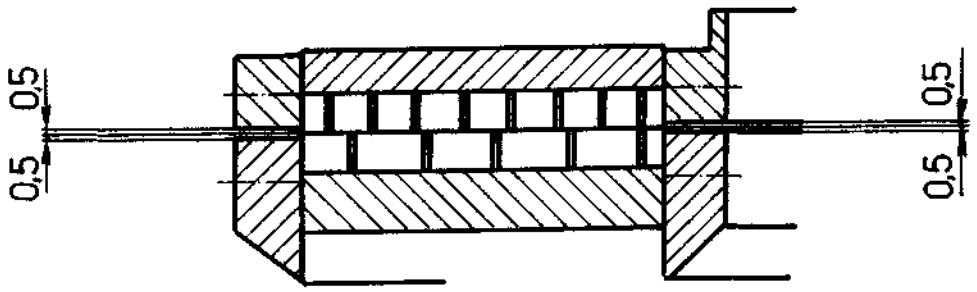
Při jednosměnném provozu stroje je nutno v každé směně orovnávat brusné desky cca 20 minut pomocí orovnávacích kotoučů za přívodu brusiva.

Otvory do planžet pro broušené desky se provádějí lisováním. Otvory nechť jsou provedeny tak, aby broušené desky přejížděly při broušení přes okraj brusných desek, aby se tedy opotřebovávaly rovnoměrně.

Dosažení předepsaných parametrů broušených desek lze předpokládat pokud předchozí operace je provedena s dostatečnou přesností. Nemá být většího rozdílu v tloušťce vkládaných desek. Rozhodně však nesmí být rozdíl mezi nejtlustší deskou a tloušťkou planžety větší než tloušťka nejtenší desky. Při broušení by se totiž taková deska vysunula z otvoru planžety a rozdrtila by se.

Rozdíl mezi tloušťkou desek a tloušťkou planžety má být co nejmenší, rozhodně však menší než 30 % tloušťky desky.

Při použití drážkovaných desek je nutno seřídit vzájemný přesah mezi obvodovými prstenci a brusnými deskami. Vzájemný přesah určuje rychlost odtékání brusiva z prostoru mezi deskami a tím ovlivňuje i rychlost a jakost broušení. Běžné seřízení přesahu je 0,5 mm - obr.5.



Obr. 5 Seřízení prstenců brusných desek.

1.2.4 Hodnocení současného stavu

Současný způsob broušení na planetové brusce nevyhovuje, a to zejména z těchto důvodů:

a/ Nízká produktivita práce /pohybuje se okolo 200 - 300 kusů za hodinu, podle druhu broušeného výpalku/. Je způsobena zejména měřením tloušťky broušeného polotovaru. Tímto měřením totiž vznikají velké časové ztráty a celá doba operace broušení se prodlužuje. Ztrátový čas vzniká konkrétně takto: zastavení stroje, vyjmutí výpalků, jejich opláchnutí a vysušení, změření tloušťky mikrometrem, vložení do stroje, spuštění stroje. To vše se v průběhu každého broušení 2krát opakuje. Dochází tak k situaci, že vlastní broušení je časově kratší než měření tloušťky /včetně pomocných úkonů/.

b/ Nízká kvalita výbrusů a související zmetkovitost 12 %, když povolená je do 3 %. Jedním z důvodů je zase způsob měření tloušťky. Obsluha planetového stroje se ne vždy "trefí" při dobrušování do požadované tolerance, která je dle výkresové dokumentace povolená v rozmezí 0,01 mm.

c/ Strojní zařízení - planetová bruska typ UP 330 - je značně zastaralé /stáří více než 20 let/ a neodpovídá svými parametry současným moderním bruskám.

Všechny tyto nedostatky lze řešit podle mého názoru dvěmi cestami:

1/ Výměna brusky UP 332 za novější - vyrábí se planetové brusky sovětské, bulharské, západoněmecké, japonské i jiné.

2/ Návrh kontinuálního způsobu měření tloušťky výpalků s vysokou přesností, který by zvýšil produktivitu práce odstraněním ztrátového času a částečně snížil zmetkovitost a požadavky na zkušenost obsluhy. To je náplní diplomové práce.

2. Možnosti měření délek /1/

Rozměry součástí navrhujeme podle jejich funkce, účelu a konstrukce. Z hlediska funkce a účelu předepisujeme přesnost daných rozměrů. Podle přesnosti musíme volit také měřící zařízení a způsob kontroly.

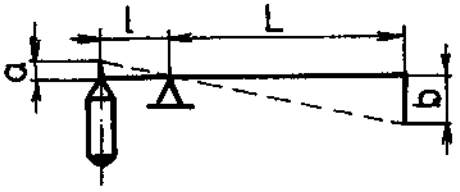
Pro keramické polotovary broušené na planetové brusce UP 333 je požadována přesnost s tolerancí 0,01 milimetru.

Rozborem měřidel a přístrojů s požadovanou přesností se zabývá tato kapitola.

2.1 Měřidla s převodem pákovým

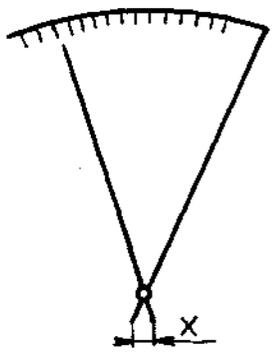
Měřící dotek se dotýká kratšího ramene dvouramenné páky a její další rameno ukazuje se zvětšením tento pohyb na stupnici. Poměr velkého a malého ramene nazýváme převodovým číslem přístroje /zvětšením/. Podle obr. 6 můžeme psát

$$\text{převod} \quad p_d = \frac{b}{a} = \frac{L}{l}$$



Obr. 6 Princip měřidla s pákovým převodem.

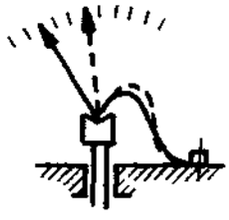
Tento jednoduchý princip je na obr.7 u ručičkového čtyřnoměru. Nevýhodou tohoto přístroje je uložení pák na válcových čepech, které musí být vyrobeny s určitou vůlí. Tato nevýhoda je odstraněna u přístrojů s uložením pák na břitech.



Obr.7 Ručičkový dutinoměr - princip.

2.2 Měřidla s převodem pružinovým

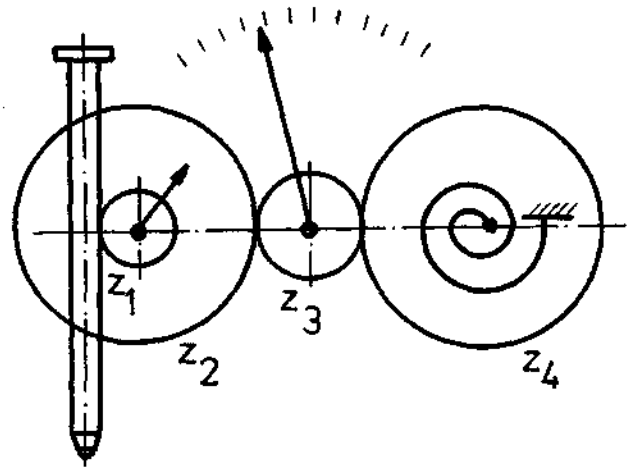
Velmi jednoduché a přitom s velkým převodovým číslem jsou přístroje založené na deformaci pružin. Princip je patrný z obr.8.



Obr.8 Princip měřidla s pružinovým převodem.

2.3 Měřící přístroje s převodem ozubenými koly a ozubenými segmenty

Velmi rozšířená jsou měřidla - číselníkové úchylkoměry - která mají převod realizován ozubenými koly. Schéma je naznačeno na obr.9. Na tyčce měřícího doteku je ozubený hřeben nebo závit, do kterého zapadá pastorek z_1. Na ose pastorku je nasazeno kolo z_2 a malá ručka, která ukazuje počet celých otáček velké ručky. Velká ručka je na společné ose s kolem z_3, které zabírá jak s kolem z_2 tak s kolem z_4. S kolem z_4 je spojena spirálová pružina, která slouží k vymezení vůlí v převodech. Převody jsou voleny tak, aby při zdvihu o 1 mm se otočila velká ručka o 360°. Obvod je dělen na 100 dílků, tedy jeden dílek odpovídá zdvihu doteku o 0,01 mm.

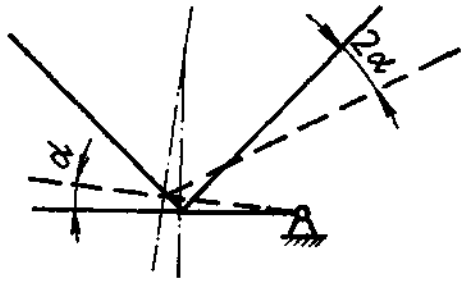


Obr.9 Číselníkový úchylkoměr - princip.

Když má tyčka měřícího dotyku závit - vlastně šnek zabírající s kolem z_1 , můžeme tyčkou otáčet a tím nastavit i polohu ruček do výchozí nulové polohy. Úchylkoměrům v tomto provedení říkáme úchylkoměry se stavitelnou ručkou. Když je na tyčce hřeben musíme nulu nastavovat pootočením stupnice tak, aby nula přišla pod ručku ve výchozí poloze a tyto označujeme jako úchylkoměry se stavitelnou stupnicí.

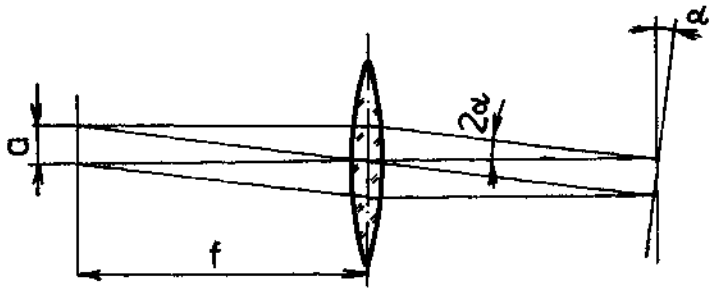
2.4 Přístroje s převodem mechanicko-optickým

U těchto přístrojů se využívá vlastností objektivu a výkyvného zrcátka. Při dopadu světelného paprsku na zrcátko se odráží paprsek tak, že úhel odrazu se rovná úhlu dopadu. Jak je vidět na obr.10 vychýlením zrcátka o úhel α vychýlí se paprsek o 2α.



Obr.10 Dopad paprsku na zrcátko.

Umístíme-li světelný zdroj do ohniska objektivu, který vytváří rovnoběžný svazek paprsků, pak můžeme odrazem v zrcátku tyto paprsky v případě, že zrcátko je kolmé na osu objektivu soustředit opět do ohniska. Vychýlením zrcátka o úhel α, jak je vidět na obr.11, soustředí se paprsky v bodě vzdáleném od ohniska o hodnotu $a = f \cdot \operatorname{tg}\alpha$, kde f = ohnisková vzdálenost.



Obr.11 Princip přístroje s převodem opticko-mechanickým.

Na tomto principu jsou založeny přístroje, které označujeme jako optimetry a optotesty.

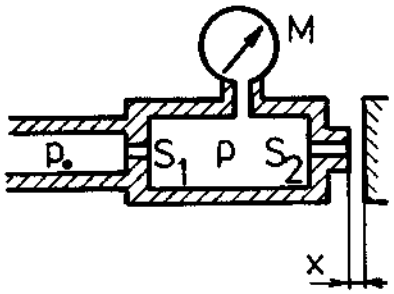
2.5 Přístroje s převodem pneumatickým

Pneumatické přístroje pracují na tom principu, že tlakový vzduch vytékající z dýzy proudí proti měřené součásti a změnou rozměru se mění mezera mezi součástí a dýzou a tedy i průtočný průřez - takto pracují přístroje bezdotykové, nebo je průtočný průřez závislý na pohybu měřícího doteku - takto pracují přístroje dotykové.

Změnou rozměru měřené součásti dochází tedy ke změně průřezu, a to se projeví buď změnou tlaku, průtočného množství nebo rychlosti proudícího média.

Přístroje pracující na změně tlaku jsou schematicky znázorněny na obr.12. Vzduch o konstantním tlaku p_0 proudí přes dýzu o průřezu S_1 do komory a pak dýzou o průřezu S_2. Tlak p v komoře měříme manometrem M. Když umístíme před dýzu S_2 ve vzdálenosti x měřenou součást, můžeme uvažovat, že vzduch proudí z komory vlastně pláštěm válce o průměru otvoru dýzy D_2 a výšce x. Změnou rozměru součásti se mění vzdálenost x a

tedy i průtočný průřez. Změna ovšem bude možná jenom dotud, než plocha pláště válce bude menší než plocha otvoru dýzy.



Obr.12 Princip přístroje pracujícího na změně tlaku.

Tedy: $$\pi \cdot D_2 \cdot x = \frac{\pi}{4} \cdot D_2$$

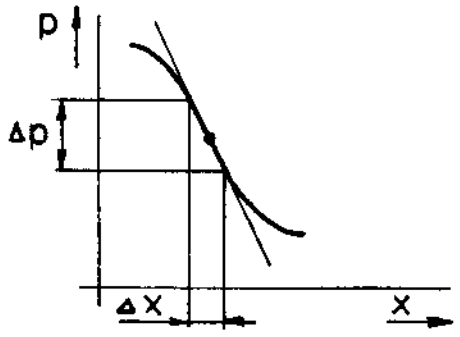
můžeme tedy měřit jenom do $$x = \frac{1}{4} D_2 .$$

Vlivem kontrakce v dýze a mezeře bude skutečný průřez proti vypočtenému τ krát menší. /τ = součinitel kontrakce/.

Tlak v komoře je závislý na poměru průřezů S_1 a S_2

$$p = \frac{p}{1 + \left(\frac{\tau_1 S_2}{\tau_2 S_1}\right)^2}$$

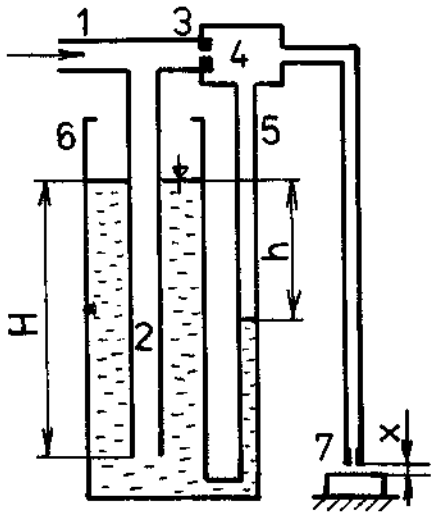
Průběh tlaku p na vzdálenosti x je naznačen na obr.13.



Obr.13 Závislost tlaku p na vzdálenosti x.

Přístroje pracující na změně tlaku můžeme rozdělit na nízkotlaké a vysokotlaké.

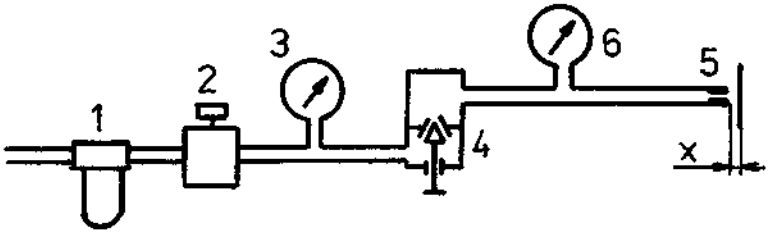
Známým představitelem nízkotlakých přístrojů je přístroj SOLEX, jehož schéma je na obr. 14. Je to zařízení s regulátorem tlaku a vodním manometrem. Tlakový vzduch je přiváděn trubkou 1, která je částí 2 ponořena do vody ve skleněném válci na



Obr. 14 Přístroj SOLEX.

hloubku H. Bude tedy v trubce tlak rovný výšce H vodního sloupce /bývá 500 nebo 1000 mm/. Vzduch o tomto konstantním tlaku pak proudí tryskou 3 do komory 4, která je spojena se skleněnou trubicí 5. Tato tvoří vlastně vodní manometr, kterým měříme tlak v komoře, a to rozdílem hladin ve válci 6 a v trubici 5. Z komory 4 je vzduch veden k měřící trysce 7.

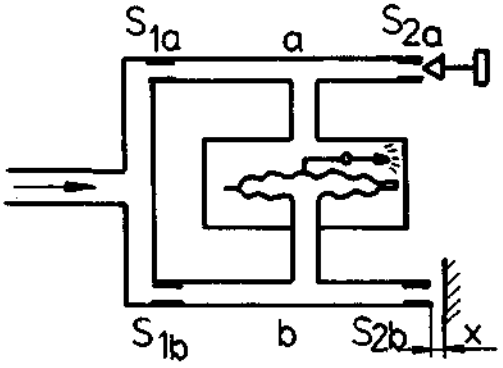
Vysokotlaké měřící přístroje pracují s tlakem 0,1 - 0,3 MPa. Zjednodušené schéma je na obr. 15. Vzduch o vstupním tlaku asi



Obr. 15 Vysokotlaký přístroj - princip.

0,4 MPa je veden přes filtr 1 do regulátoru tlaku 2, který udržuje předepsaný konstantní tlak, jehož velikost kontrolujeme manometrem 3. Vzduch pak dále proudí přes stavitelnou dýzu 4 do měřící dýzy 5. Tlak mezi stavitelnou a měřící dýzou udává měřící manometr 6.

Aby se vyloučil vliv změny atmosférického tlaku, používají se přístroje s diferenciálním zapojením. Schéma je na obr.16.

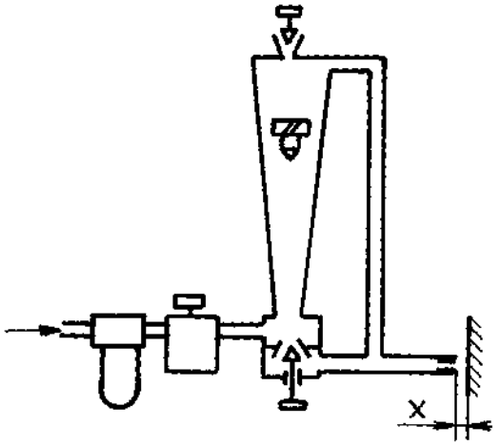


Obr.16 Přístroj s diferenciálním zapojením.

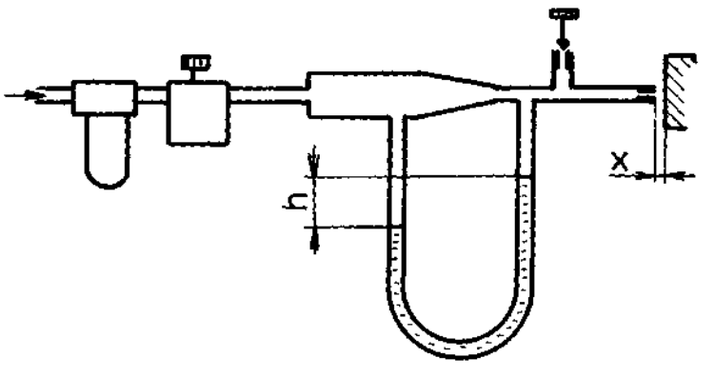
Vzduch o konstantním tlaku p_i proudí přes trysku S_{1a} do větve a, z které pak srovnávací tryskou S_{2a} do ovzduší. Tryskou S_{1b} proudí vzduch o stejném tlaku p_i do větve b a do měřící trysky S_{2b}. Rozdíl tlaku ve větvi a a b se snímá diferenciálním manometrem.

Přístroje založené na změně průtokového množství jsou obvykle provedeny tak, že vzduch proudí k měřící trysce přes skleněnou kuželovitou trubici, ve které se volně pohybuje "plováček" z lehkého kovu, který je nadnášen proudícím vzduchem. Plováček se ustálí v takové výšce, aby mezera mezi plovákem a trubicí odpovídala potřebnému průtočnému průřezu pro množství vzduchu protékající měřící tryskou. Schéma přístroje tohoto typu je na obr.17.

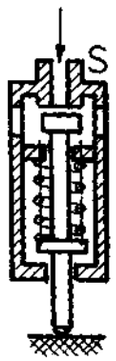
Přístroje pracující na změně rychlosti proudícího vzduchu jsou založeny na principu Venturiho trubice jak je naznačeno na obr.18. Proto jsou někdy tyto přístroje označovány jako Ventometry.



Obr.17 Přístroj založený na změně průtokového [illegible]



Obr.18 Ventometr.



Obr.19 [illegible]

Dosud popsané přístroje pracovaly bezdotykově, tj. [illegible] proudil z měřicí trysky přímo na měřený předmět.

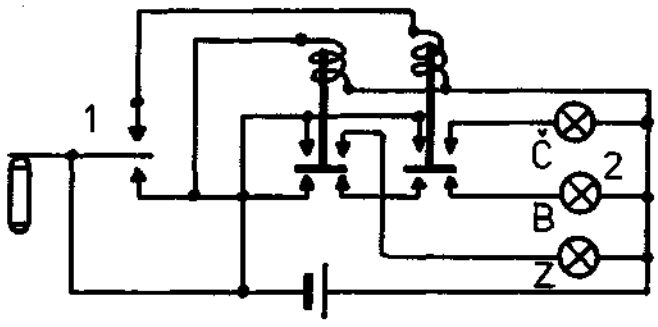
Při měření dotykovém se používá tzv. [illegible], u kterého měřicí dotek při pohybu změnou polohy zvětšuje nebo zmenšuje průtočný průřez na trysce 3, obr.17.

2.6 Přístroje s převodem elektrickým

Měřicí přístroje elektrické pracují na principu změny [illegible] odporu, odporu, kapacity a podobně.

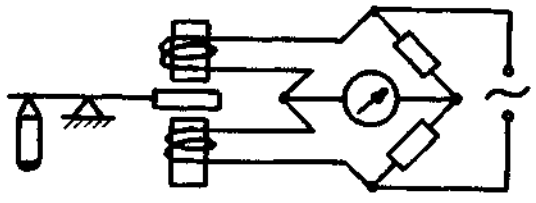
Nejjednodušší jsou přístroje elektrokontaktní, u kterých se měřicím dotekem ovládají kontakty 1 tak, že se rozpojují se obvodu žárovky 2. Při střední poloze kontaktu svítí žárovka [illegible],

při horní poloze zelená a při dolní červená. Schéma elektrického zapojení je na obr.20



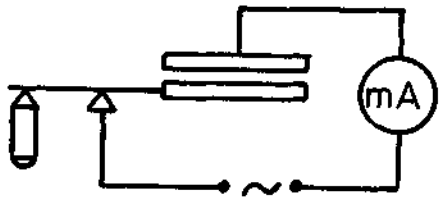
Obr.20 Princip zapojení elektrokontaktního přístroje.

Dalším typem přístrojů s převodem elektrickým jsou přístroje induktivní. Pohyb měřícího doteku se přenáší na jádra cívek, nebo na kotvu a mění se tím indukčnost cívek. Schematické zapojení je naznačeno na obr.21.



Obr.21 Princip zapojení induktivního přístroje.

Někteří výrobci měřících zařízení vyrábí přístroje s převodem kapacitním. Pohybem měřícího doteku se mění vzdálenost desek kondenzátoru a tím i jeho kapacita. Zapojení je na obr.22.

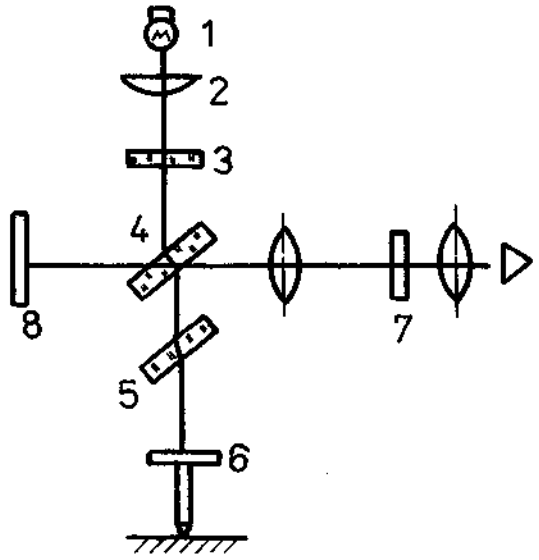


Obr.22 Princip zapojení kapacitního přístroje.

2.7 Měření s využitím interference

K velmi přesnému měření délek můžeme využít interference světla, tj. schopnosti světelných vln vzájemně se skládat. Interference nastává tehdy, setkají-li se v témže bodě několik periodických kmitů, které mají stejné periody a konstantní, na čase nezávislé fázové rozdíly. Pro zajištění interference musíme použít světlo vycházející z téhož světelného zdroje rozdělené na dvě světelné vlny. Rozdělíme-li světelný paprsek např. odrazem a lomem na dva, můžeme každý vést jinou cestou, tedy různě dlouhou dráhou, než je zase spojíme. Do místa spojení mohou vlny přijít fázově posunuty. Když uvažujeme světlo jako vlnění je tedy interference zvláštní případ skládání periodických pohybů.

Měřící přístroje založené na principu interference jsou označovány jako interferenční komparátor. Tyto pracují buď bezdotykově, kdy paprsky dopadají přímo na měřenou plochu, nebo s dotekem spojeným se zrcátkem jak je znázorněno na obr.23.



Obr.23 Interferenční komparátor.

Paprsek ze zdroje 1 prochází přes kondenzor 2 a filtr 3 na destičku 4, kde se dělí. Část jde dále přes kompenzační

destičku 5 na zrcátko ovládané měřícím dotekem 6. Paprsek se odrazí a vrací zpět. Druhá část paprsku z destičky 4 jde na zrcátko 8, kde se také odrazí a jde zpět. Oba paprsky po odražení spojí, interferují a pozorujeme je na destičce se stupnicí 7. Skloněním zrcátka 8 kolem vodorovné nebo svislé osy můžeme měnit šířku a polohu interferenčních proužků.

2.8 Hodnocení metod, měřidel a přístrojů

Při hodnocení uvedených metod, měřidel a přístrojů musíme brát v úvahu zejména jejich přesnost a způsob použití.

Přesnost použitého měřícího zařízení by měla být 10 krát větší než tolerance měřeného objektu.

Měřící zařízení bude určeno k měření tloušťky keramických výpalků /resp. vzdálenosti horní a dolní brusné desky/ u planetové brusky UP 333.

Další požadavky na měřidlo:

- možnost kontinuálního snímání rozměrů
- bezdotykové /případně dotykové/
- nízká cena
- co nejméně zásahů do brousícího stroje při instalaci měřidla

Tyto požadavky nejvíce splňují přístroje pneumatické, jejichž výhody jsou následující:

- přesnost až 0,1 μm
- nízká cena
- jednoduchá konstrukce
- hygienická nezávadnost
- nezávislost údajů měřiče na chemickém složení měřeného objektu
- umožňují plynulé sledování tloušťkových změn
- ve spojení s pneumaticko-elektrickým převodníkem umožňují signalizaci překročení mezních tolerancí

Ostatní měřidla a přístroje splňují výše uvedené požadavky v menší míře.

3. Varianty řešení

Uvádím dvě varianty měření tloušťky keramických polotovarů na planetové brusce UP 333.

a/ Přímé měření tloušťky.
b/ Měření tloušťky pneumaticky.

3.1 Přímé měření tloušťky v procesu broušení /4/

Přímé měření tlouštěk destiček během broušení zvyšuje přesnost měření.

Obvyklá měřidla tlouštěk pro sledování tloušťky součástek v planetových bruskách jsou vhodná pro mnoho aplikací v polovodičovém a elektronickém průmyslu. Tato měřidla neměří opracovávané kusy během broušení přímo, ale spočívají na měření vzdálenosti mezi povrchy brusného stroje. Výsledkem je, že měření tloušťky během broušení je ovlivněno odlišným použitím brusné suspenze a opotřebováním horní a dolní brusné desky.

Automatický sledovač broušení /ALC - vyrobený Transet Corporation/ překonává tyto potíže tak, že elektronicky přímo měří opracovávané kusy během broušení.

Sledovač byl vyvinut před několika roky pro broušení piezoelektrických látek. Byl užit pro automatické sledování tloušťky s tolerancí pod 0,05 µm. V roce 1983 byla zavedena nová varianta /model ALC-S/ pro broušení látek jiných než křemen.

Metoda měření je založena na piezoelektrickém jevu délky. Piezoelektrická látka jako je křemen mění své rozměry, jestliže působíme na její povrch elektrickým signálem. Odezva je největší silná, jestliže je kmitočet signálu totožný s mechanickým rezonančním kmitočtem dané části. Tento rezonanční kmitočet lze elektricky měřit a je známou funkcí rozměru. Pro použití na broušení nepiezoelektrických látek je třeba malý křemenný kontrolní disk, který je zabrušován společně s opracovávanými kusy.

3. Varianty řešení

Uvádím dvě varianty měření tloušťky keramických polotovarů na planetové brusce UP 333.

a/ Přímé měření tloušťky.
b/ Měření tloušťky pneumaticky.

3.1 Přímé měření tloušťky v procesu broušení /4/

Přímé měření tloušťek destiček během broušení zvyšuje přesnost měření.

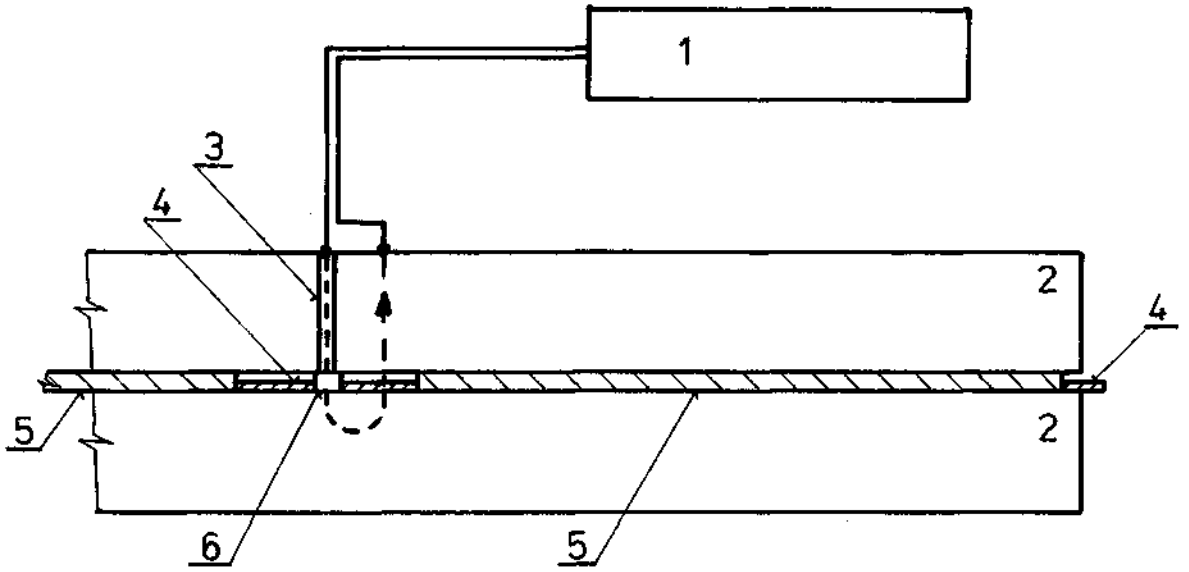
Obvyklá měřidla tloušťek pro sledování tloušťky součástek v planetových bruskách jsou vhodná pro mnoho aplikací v polovodičovém a elektronickém průmyslu. Tato měřidla neměří opracovávané kusy během broušení přímo, ale spočívají na měření vzdálenosti mezi povrchy brusného stroje. Výsledkem je, že měření tloušťky během broušení je ovlivněno odlišným použitím brusné suspenze a opotřebováním horní a dolní brusné desky.

Automatický sledovač broušení /ALC - vyrobený Ehanset Corporation/ překonává tyto potíže tak, že elektronicky přímo měří opracovávané kusy během broušení.

Sledovač byl vyvinut před několika roky pro broušení piezoelektrických látek. Byl užit pro automatické sledování tloušťky s tolerancí pod 0,05 µm. V roce 1983 byla zavedena nová varianta /model ALC-S/ pro broušení látek jiných než křemen.

Metoda měření je založena na piezoelektrickém jevu délky. Piezoelektrické látka jako je křemen mění své rozměry, jestliže působíme na její povrch elektrickým signálem. Odezva je velmi silná, jestliže je kmitočet signálu totožný s mechanickým rezonančním kmitočtem dané části. Tento rezonanční kmitočet lze elektricky měřit a je známou funkcí rozměru. Pro použití na broušení nepiezoelektrických látek je třeba malý křemenný kontrolní disk, který je zabrušován společně s opracovávanými kusy.

Obr.24 znázorňuje náčrtek planetárního brousícího stroje a instalaci sledovače. Mezera mezi dvěmi brusnými deskami je



Obr.24 Připojení sledovače k brusce.
1 ... automatický sledovač ALC
2 ... brusná deska
3 ... elektroda
4 ... planetka
5 ... silikónová destička
6 ... kontrolní destička

vyplněna silikónovými destičkami, planetkami, piezoelektrickou kontrolní destičkou a brusnou suspenzí. Vloží se elektroda a izoluje se. ALC-S posílá signál, který postupuje po štírkované dráze kontrolní deskou a zpět přípojkou do kontrolní jednotky desky spojené s brusnou deskou /uzemněnou/. Proud signálu je modulován kmitočtem tloušťkové rezonance kontrolního disku. Vztah rezonančního kmitočtu kontrolního disku a jeho tloušťky je

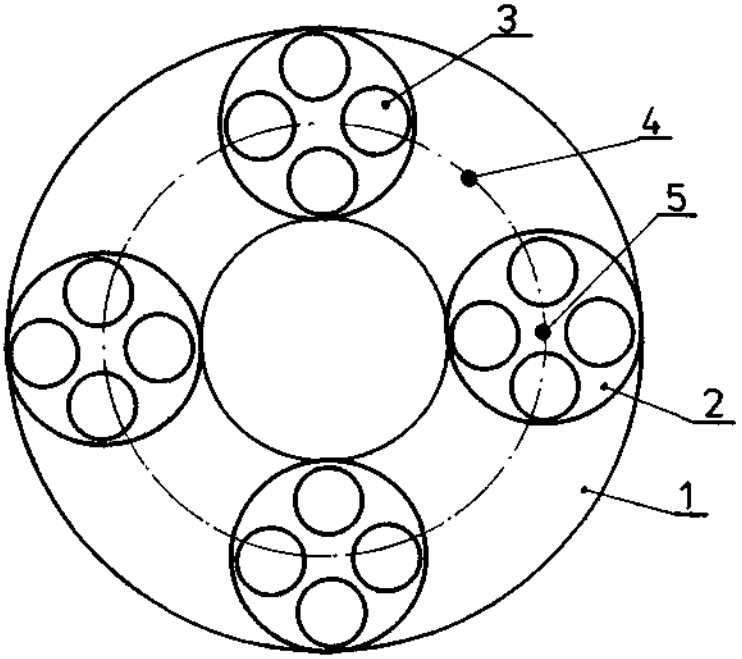
$$t = \frac{K}{f_r} ,$$

kde t ... tloušťka /µm/
f_r... rezonanční kmitočet /MHz/

$K = 1,66 \cdot 10^{-2}$ pro řez křemene.

ALC-S měří rezonanční kmitočet f_r, pro nějž může obsluha stanovit referenční kmitočet f_t. Když $f_r = f_t$, ALC-S přijde kontrolní signál, který způsobí zastavení brousícího stroje.

Nosiče se pohybují planetárním pohybem /otáčejí se kolem vlastní osy a zároveň kolem osy brusné desky/ takovým způsobem, že kontrolní deska se dotkne elektrody jednou za oběh kolem osy brusné desky - viz obr.25. V ten okamžik se změří kmitočet f_r kontrolní desky.



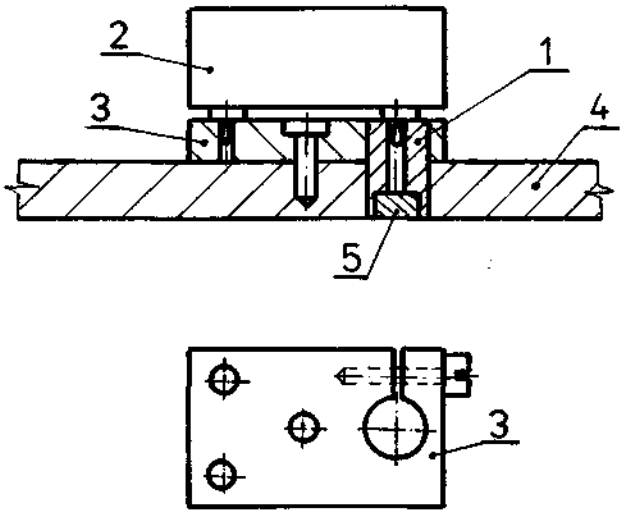
1...brusná deska
2...nosič /planetka/
3...silikónové destičke
4...elektroda
5...kontrolní destička

Obr.25 Brusná deska s nosiči.

Jestliže vložíme kontrolní destičku do každého z nosičů, můžeme pomocí ALC-S sledovat rozdíly v tloušťkách mezi skupinami destiček v různých nosičích. Tato hodnota úzce souvisí se změnou tloušťky v závislosti na celkové zátěži desek.

ALC lze snadno přizpůsobit existujícím planetovým bruskám. Do jedné z brusných desek je vyvrtán otvor, obr.26. Do něho je vložena elektroda 1 /o průměru asi 15 mm/. Elektroda je připojena k ALC prostřednictvím sondy 2 s jejího připojovacího ka-

kabelu. Sonda je zastrčena do elektrody a zapojovací desky 3. Ta udržuje elektrodu na místě. Je 6 mm silná a není jí třeba



Obr.26 Připojení sondy a elektrody k brusné desce.

pro silné brusné desky, kdy elektroda může být držena stavěcím šroubem. Zapojovací /montážní/ deska je přišroubována k brusné desce 4. Elektroda mezi keramickou vložkou 5 je umístěna v rovině s broušeným povrchem. Elektroda může být jak na horní tak i na dolní brusné desce. Pro broušení s rotujícími brusnými deskami se na desku namontuje sběrací kroužek a zapojí se mezi sondu a ALC-S.

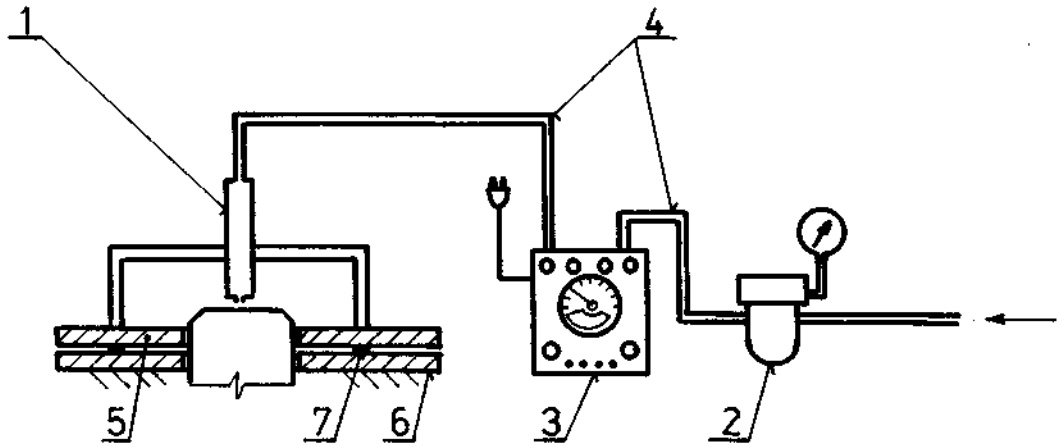
ALC-S pracuje v rozsahu 43 kHz. Je zmenšen požadavek na zručnost obsluhy a díky automatizaci a vysoké výtěžnosti se znásobuje produktivita práce; jedním ALC-S lze řídit více planetových brusek. ALC lze použít v těchto oblastech:

- broušení piezoelektrické keramiky
- broušení nepiezoelektrických látek
- leštění.

3.2 Měření tloušťky pneumaticky

Pneumatické přístroje mají ve strojírenství rozsáhlé použití. Pracují dotykově či bezdotykově. Umožňují kontinuálně měřit rozměr broušeného předmětu.

Schéma navrhovaného uspořádání je na obr.27.



Obr.27 Navrhované uspořádání k pneumatickému měření.

1...měřící tryska
2...miniaturní filtr-regulátor
3...automatický regulátor
4...vzduchové hadice
5...horní brusná deska
6...dolní brusná deska
7...broušený polotovar

Činnost miniaturního filtru-regulátoru a automatického regulátoru je popsána dále.

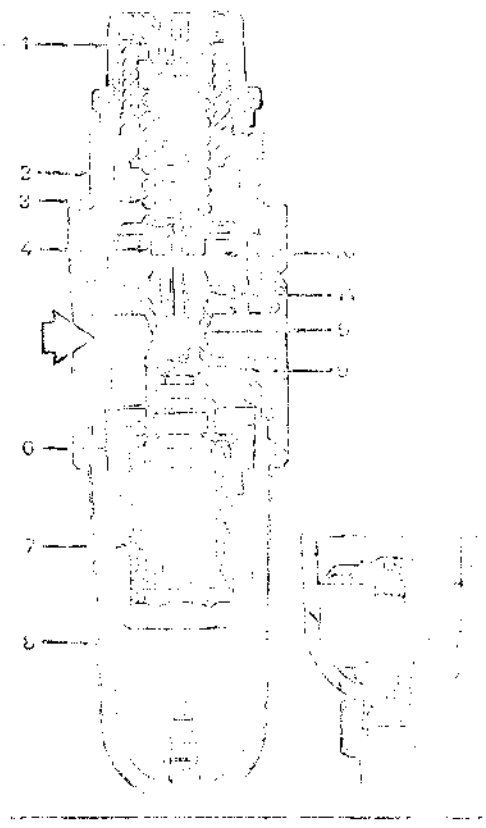
Miniaturní filtr-regulátor /6/

Filtr-regulátor vykonává dvě funkce v systému stlačeného vzduchu:

a/ odstraňuje ze stlačeného vzduchu většinu kapalin a tuhých částic

b/ udržuje výstupní tlak téměř na konstantní úrovni bez ohledu na změny ve vstupním tlaku a požadavky na průtok.

Vzduch, který vstupuje do tohoto filtru-regulátoru /obr.28/, je veden žaluziemi 6 do vířivé části. Hrubé tuhé částice a kapalina jsou hnány odstředivou silou ke stěně nádrže 8 a klesají ke dnu. Nahromaděná kapalina může být vypouštěna ručně nebo automaticky. Automatický výpusť se uvede do provozu, jestliže se objeví rychlá změna průtoku filtrem-regulátorem. Vzduch vycházející z nádrže prochází filtrovaným článkem 7, kde se zadrží většina jemnějších tuhých částic. Čistý vzduch stoupá od tohoto článku k regulačnímu ventilu 5.



Obr.28 Filtr-regulátor.

Výstupní tlak se řídí otočným kolíkem 1. Otáčením ve směru hodinových ručiček se zvyšuje výstupní tlak a otáčením proti směru hodinových se snižuje. Jestliže se knoflíkem 1 otočí zcela proti směru hodinových ručiček, nepůsobí na regulační pružinu 3 žádná síla a ventil 5 je udržován v uzavřeném stavu ventilovou pružinou 9. Otáčení knoflíkem 1 ve směru hodinových ručiček stlačuje regulační pružinu 3, která tlačí směrem dolů na vršek membrány s ventilovým kolíkem 4. Membrána s ventilovým kolíkem 4 je stlačována dolů a otvírá sedlo ventilu, které umožňuje, aby vzduch protékal filtrem-regulátorem do průtokového systému.

Výstupní tlak v průtokovém systému a snímací komoře 10 vzrůstá a působí silou na spodek membrány. Membrána s ventilovým kolíkem 4 a ventil 5 se pohybují vzhůru a stlačují regulační pružinu 3. Pohyb ustane, jestliže síly pod membránou jsou v rovnováze se silami nad membránou. Jestliže není poža-

dován průtok, nastane rovnováha sil při zavřeném ventilu 5. Jesliže je průtok požadován, nastane rovnováha sil tehdy, když se ventil otevře natolik, aby uspokojil daný požadavek, čímž je udržován žádoucí výstupní tlak.

Filtry-regulátory uvolňovacího typu.
U uvolňovacích filtrů-regulátorů může být výstupní tlak redukován, i když je systém uzavřen. Jestliže se stavěcím kolíkem 1 otočí proti směru hodinových ručiček, zmenší se síla působící na regulační pružinu 3 a tlak vzduchu ve snímací komoře 10 zdvihá membránu s ventilovým kolíkem 4. Tento pohyb vzhůru otvírá uvolňovací kanálek 11 ve ventilovém kolíku a umožňuje, aby vzduch unikl výstupní stranou filtru-regulátoru uvolňovacím kanálkem 11 a krytem 2 do ovzduší. Když výstupní tlak vzduchu klesne na nastavenou zmenšenou hodnotu, membrána se pohne směrem dolů a uzavře uvolňovací kanálek.

Membrána se stejným způsobem zdvihne jako reakce na vzrůst výstupního tlaku nad nastavenou hodnotu, čímž se umožní úniku vzduchu do ovzduší, jak je popsáno výše. Avšak průtoková kapacita uvolňovacího kanálku je omezena a v závislosti na zdroji přetlakových podmínek by mohl výstupní tlak vzrůst na hodnotu značně vyšší než je nejvyšší nastavovací hodnota regulátoru. Z těchto důvodů se nesmíme spoléhat na uvolňovací schopnost filtru-regulátoru jako na ochranu proti přetlaku.

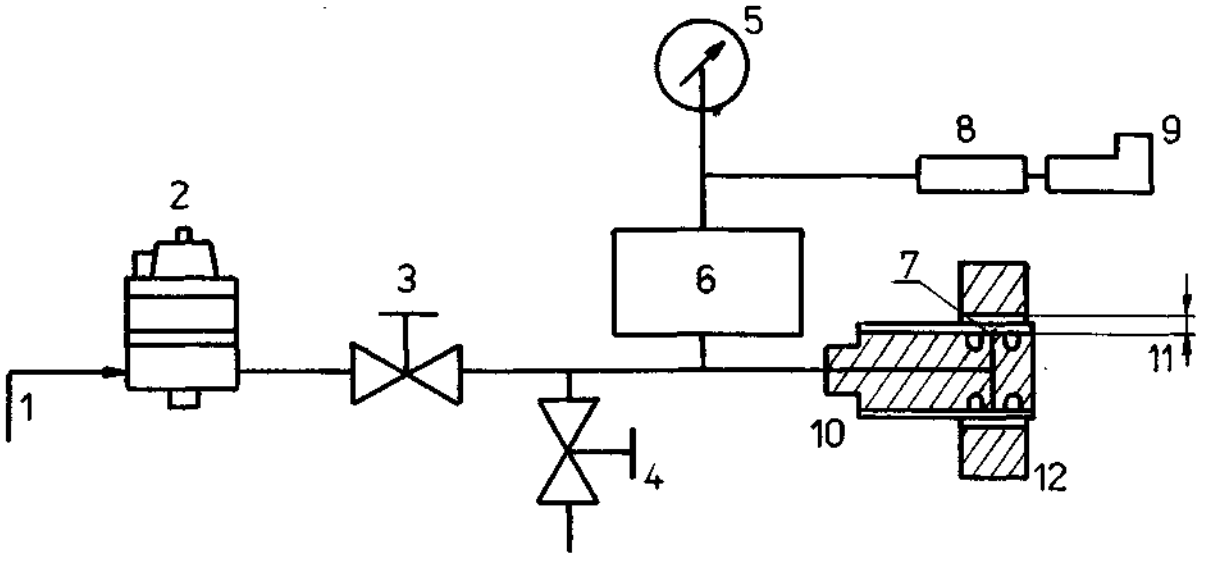
Filtry-regulátory neuvolňovacího typu.
U neuvolňovacích filtrů-regulátorů nemůže být výstupní tlak redukován, jestliže je systém uzavřen. Filtr-regulátor neuvolňovacího typu je shodný s uvolňovacím typem s tou výjimkou, že ventilový kolík není opatřen uvolňovacím kanálkem 11. Tento typ filtru-regulátoru neuvolňuje výstupní tlak vzduchu způsobem popsaným u filtrů-regulátorů uvolňovacího typu a musí být opatřen jinými prostředky uvolňování výstupního tlaku vzduchu.

Tyto filtry-regulátory jsou určeny pouze pro použití v průmyslových systémech stlačeného vzduchu. Nesmí být použity, když by tlak nebo teplota mohly být vyšší než provozní podmínky.

Automatický regulátor /5/

Automatický regulátor /model 88/ je modulární typ přístroje, kterého se používá k automatickému měření a kontrole rozměru obrobku. Regulátor se dodává jako panelová sestava nebo ve skříňce, se seřiditelným nebo fixním omezením. Regulátorů /S/ se seřiditelným omezením se užívé především u zařízení pro automatickou kontrolu. Proměnné omezení umožňuje seřizovat zvětšení. Regulátory /F/ s fixním omezením /jehlový ventil je nahrazen fixním omezením/ se používají nejméně pro ovládání strojů.

Na obr.29 je znázorněn základní okruh užívaný na modelu 88.

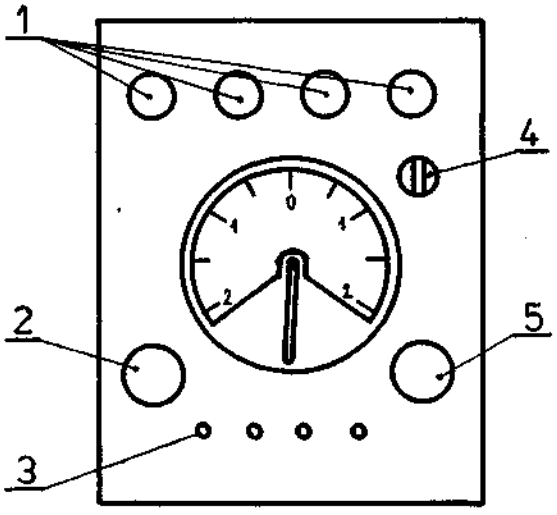


Obr.29 Základní okruh regulátoru 88.
1...přívod vzduchu
2...tlakový regulátor
3...jehlový ventil
4...nulový jehlový ventil
5...tlakoměr
6...zesilovač nebo zesilovací relé
7...tryska

8...přesné relé
9...tlakoelektrický spínač
10...válečkový kalibr /nebo jiné měřidlo/
11...válec trysky
12...obrobek nebo etalon

Přívod filtrovaného vzduchu je regulován na konstantní tlak mezi 0,4 - 1 MPa a je veden do tlakového regulátoru, který reguluje tlak pro měření na 0,3 MPa. Tlak pro měření je dávkován do měřícího okruhu speciálně konstruovaným jehlovým ventilem. Vzduch tohoto měřícího okruhu proudí tryskou do měřícího dílu a jehlového ventilu s nastavitelnou nulou. Když je díl v poloze měření, tok vzduchu je skrze měřící trysku částečně blokovaný. Toto zablokování vyvolá v měřícím okruhu zpětný tlak a je vstupem do zesilovače /nebo zesilovacího relé/. Výstup ze zesilovače se zobrazuje na tlakoměru a je vstupním tlakem do přesného relé. Toto relé je v podstatě pneumatickým spínačem, který se zavírá a otevírá podle okamžitého vstupního tlaku. Výstup přesného relé ovládá dvoupólový, přepínací tlakoelektrický spínač, kterého se používá pro indikaci nebo pro účely ovládání.

Na obr.30 je znázorněn panel ovládání automatického regulátoru 88.



1...kontrolní světla
2...knoflík na seřizování rozpětí
3...tlakový spínač
4...spínač "běh"
5...knoflík na seřizování nuly

Obr.30 Ovládací panel regulátoru.

Automatický regulétor /model 88/ má tedy v podstatě tuto funkci: při dosažení požadované tloušťky výbrusu /s tolerancí 0,01 mm/ dát signál pro obsluhu a současně vypnout brousící stroj. Signál je světelný /rozsvícení žárovky/ i zvukový.

Cejchování regulátoru pozůstává ze dvou úkonů:
- nastavení vypínacích bodů tlakoelektrického spínače
- nastavení pneumatického okruhu s použitím etalonů nebo výbrusů známých rozměrů.

Pro měření a bezchybnou funkci modelu 88 je nutné přivádět pouze suchý a čistý vzduch a pravidelně čistit měřící přípravek.

3.2 Výběr optimální varianty

Výběr optimální varianty jsem provedl metodou rozhodovaví analýzy. Ta umožňuje hodnocení z hlediska kvantifikovatelných a jinými metodami nekvantifikovatelných kritérií. Postihuje jak užitné vlastnosti, tak i rizika. Účelně spojuje přednosti empirického a exaktního rozhodování. V praxi nám pomáhá vyloučit méně vhodná řešení.

Základní_struktura_rozhodovací_analýzy

Sestavení souboru kritérií	Sestavení souboru rizik
Párové srovnání kritérií	Párové srovnání rizik
Matice hodnocení užitnosti alternativ	Matice hodnocení rizik
Užitnost celkem v absolutním vyjádření	Rizika celkem v absolutním vyjádření
Užitnost v relativním vyjádření	Rizika v relativním vyjádření
Pořadí podle užitnosti	Pořadí podle rizik

Volba optimální varianty

Sestavení souboru kritérií

Soubor kritérií by měl zahrnovat: kritéria obecných vlastností, kritéria výrobně-technická, ekonomická, prostorové a časová kritéria.
Vybral jsem tyto kritéria: spolehlivost, přesnost měření, cena, spotřeba energie, univerzálnost a zásahy do výrobního stroje.

Párové porovnání kritérií

Z trojúhelníku párů se stanoví četnost výskytu každého z kritérií.

Matice hodnocení užitnosti alternativ

Optimu každého kritéria je přiřazeno 100 bodů ve stobodové stupnici. Pokud je jednotlivé alternativy nedosahují, byly odhadem ohodnoceny. Míra splnění kritéria je vyjádřena v %, tj. opět ve stobodové stupnici. Vynásobením prostých hodnot vahou příslušného kritéria získáme hodnotu vážené užitnosti. Suma hodnot kritérií vyjadřuje užitnou hodnotu každé alternativy. Vydělením této hodnoty maximálním počtem bodů /fiktivní alternativa splňuje všechna kritéria na 100 %/ získáme relativní vyjádření užitnosti /v %/.

Hodnocení rizik

Rizikem se rozumí pravděpodobnost výskytu nepříznivých jevů, které mohou ohrozit realizaci rozhodnutí. Jako riziko jsem vybral nepřidělení devizových prostředků. U rizik se postupuje při hodnocení stejně jako u užitnosti.

Vlastní postup volby optimální varianty je znázorněn v tabulce III. Varianta A značí měření tloušťky pneumaticky, varianta B přímé měření tloušťky pomocí přístroje ÁMC-S.

Výpočet užitnosti v rel. vyjádření je proveden takto:

$$\text{užitnost v rel. vyjádř.} = \frac{\text{užitnost v abs.vyjádř.var.A/B/.100}}{\text{užitnost v abs.vyjádř.var.X}}$$

Tabulka III. Volba optimální varianty

párové srovnání kritérií					matice užitnosti alternativ					
dílčí kritéria					X		A		B	
název	pořad. číslo	počet voleb	pořadí význ.	váha	hodnota		hodnota		hodnota	
					prostá	váž.	prostá	váž.	prostá	váž.
spolehlivost	1	5	1	6	100	600	80	480	80	480
přesnost	2	4	2	5	100	500	70	350	90	450
cena	3	3	3	4	100	400	80	320	30	120
energet.nároky	4	2	4	3	100	300	75	225	60	180
univerzálnost	5	1	5	2	100	200	60	120	80	160
zásahy do výr.stroje	6	0	6	1	100	100	75	75	75	75
užitnost v absolutním vyjádření						2100		1570		1485
užitnost v relativním vyjádření						100%		75%		70%
pořadí alternativ dle užitnosti								I.		II.
párové srovnání rizik					matice rizik alternativ					
nepříznivé jevy					X		A		B	
nepřidělení deviz	1	1	1	1	100	100	20	20	80	80
rizika v absolutním vyjádření						100		20		80
rizika v relativním vyjádření						100%		20%		80%
pořadí alternativ dle rizik								I.		II.
výsledný efekt /užitnost minus rizika/								55%		-10%
pořadí alternativ								I.		II.

1 1 1 1 2 1 2 3 1 2 3 4 4 5

$$\text{Var. A:} \quad \frac{1570 \cdot 100}{2100} = 75\ \%$$

$$\text{Var. B:} \quad \frac{1465 \cdot 100}{2100} = 70\ \%$$

Výpočet výsledného efektu:

výsledný efekt = užitnost v rel. vyjádř. var.A/B/ - riziko A/B/

Var. A: 75 - 20 = 55 %
Var. B: 70 - 80 = -10 %

Z tabulky III. a z výpočtů vyplývá, že varianta A - měření tloušťky pneumaticky - je výhodnější. V neprospěch varianty B rozhodlo především riziko nepřidělení devizových prostředků.

I přes mou veškerou objektivitu je volba optimální varianty pouze subjektivním názorem. K eliminaci subjektivního názoru by došlo účastí pracovního týmu v posuzování variant.

4. Rozpracování zvolené varianty

Rozpracování zvolené varianty - měření tloušťky pneumaticky - zahrnuje návrh držáku trysky a vlastní trysky. Požadavky na držák a trysku jsou tyto:

- výrobu jednotlivých částí držáku provést obráběním /půjde o kusovou výrobu/
- vyrobit držák z dostupných materiálů
- držák upnout k horní brusné desce
- horní brusnou desku s držákem zajistit proti otáčení
- umožnit velmi jemnou regulaci posuvu trysky
- zajistit blokování poloh trysky
- umožnit výměnu trysky.

Držák s tryskou je nakreslen na výkrese 124/87-00-00 jako sestava. Zahrnuje 26 pozic, které jsou uvedeny v kusovníku. Součásti z pozic 1 až 9 jsou nakresleny jako výrobní výkresy. Jedná se o rameno 1, desku 2, pouzdro 3, nosník 4, objímku se závitem 5, šroub 6, kryt 7, trysku 8 a destičku 9. Výkres rukojeti 10 není uveden, jedná se o běžný typ kolečka z umělé hmoty, které se používá například u ústředního topení. Otáčením rukojeti 10 se provádí jemná regulace posuvu trysky 8. Posuv je přenášen takto: Otáčením rukojeti 10 doleva se otáčí šroub 6, zabírající se závitem objímky 5, a vysouvá se směrem nahoru. Tlačí přitom na kryt 7, který je spojen 3 šrouby s půlkulovou hlavou 20 s pouzdrem 3. Pouzdro 3 je nalisováno do desky 2, ve které je šroubem 18 držena tryska 8. Pohyb se děje jak po nosníku 4, tak i po vodícím kolíku 16. Nosník 4 i kolík 16 jsou nalisovány do otvorů ramene 1. Rameno 1 je spojeno s horní brusnou deskou 11 dvěmi šrouby 17. Po vnitřním i vnějším obvodu brusné desky 11 jsou kroužky 12, 13, které mají význam při odtoku brusné suspenze.

Blokování jednotlivých poloh trysky 8 je umožněno šroubem 19. Po jeho utáhnutí nelze posouvat pouzdro 3 po nosníku 4.

Objímka 5 je nalisována do nosníku 4. Při opotřebení závitu objímky je stavěcím šroubem 22 umožněno její částečné sevření. Objímka i šroub 6 mají závit s velmi jemným stoupáním, což zaručuje posuv trysky i o setiny milimetru.

Na zúžený horní konec trysky 8 bude nasazena vzduchová hadice.

Víko 14 je součástí vlastního brusného zařízení. Je pevně spojeno s planetovým mechanismem. Na víku je připájena destička 9 ze slinutého karbidu, který má vysokou tvrdost a malou rozměrovou změnu působením vzduchu z trysky.

Držák s brusnou deskou je zajištěn proti otáčení závorou 15, jejíž tvar je zřejmý z pohledu A-A. Závora je připevněna ke konzole brusného stroje.

Materiály, které jsem použil u součástí držáku jsou vesměs oceli třídy 11 a 12, šroub je z mosazi a destička ze slinutého karbidu.

Měření tloušťky pneumaticky probíhá tímto způsobem: Broušený polotovar se pohybuje v planetových nosičích a jeho tloušťka je dána vzdáleností brusných desek. Broušením se vzdálenost zmenšuje /horní brusná deska klesá/ a zároveň se zmenšuje i vzdálenost trysky od destičky 9 /víko 14 je pevné/. Když je polotovar v předepsané tloušťce, což odpovídá určitému tlaku předem nastavenému, automatický regulátor uzavře signálem zastavit broušení. Dalším požadavkem správné činnosti měření je to, aby těžiště držáku bylo v ose trysky. Proto je nutné po vyrobení držáku provést jeho vyvážení.

Automatický regulátor a miniaturní filtr-regulátor, použité v navrhovaném uspořádání, jsou zahraniční výroby /UEL/. Jejich popis a funkci uvádím podrobně v předešlé kapitole proto, jelikož Tesla Rasperava je závodem k.p. Tesla Hradec Králové, kde systém pneumatického měření tloušťky používají při broušení křemene a jsou tu tudíž určité možnosti spolupráce.

V Československu se v současné době zařízení k pneumatickému měření tloušťky nevyrábí. Před 15-ti roky je vyráběl n.p. Comet Teplice pod označením rotametr. Vyrábí se však v NDR pod názvem AEROPAN.

5. Technicko - ekonomické zhodnocení

Technické zhodnocení:

Výhody pneumatických měřidel jsem uvedl v předešlých kapitolách, přesto je shrnu:

- vysoká přesnost měření
- bezdotykové měření
- kontinuální způsob měření
- jednoduchá konstrukce
- nízká cena
- nezávislost údaje měřiče na chemickém složení měřeného objektu
- hygienická nezávadnost
- možnost signalizace při dosažení požadovaného rozměru
- minimální zásahy do konstrukce stroje při instalaci
- vysoká spolehlivost.

Zásahem do konstrukce stroje se v tomto případě rozumí připojení držáku s tryskou k horní brusné desce.

Ekonomické zhodnocení:

Použitím pneumatického měření tloušťky dojde k:

- zvýšení produktivity práce
- snížení intenzity práce
- snížení požadavku na zkušenost obsluhy
- snížení zmetkovitosti.

Zvýšení produktivity práce nastane především zánikem jakýchkoliv ztrátových časů souvisících s předešlým způsobem měření tloušťky. Odhadem se domnívám, že produktivita práce se zdvojnásobí.

Čas získaný tím, že obsluha se po čas broušení nemusí o stroj starat lze využít např. k řízení dalšího stroje.

Náklady na jednotlivé části pneumatického obvodu nelze dost dobře vyčíslit. Filtr-regulátor a automatický regulátor je nutno zakoupit /cenu neznám/, držák s tryskou vyrobit. Náklady na držák budou jak přímé - materiálové /z rozpisky/, mzdové /odměna dělníka za práci/ -, tak nepřímé /energie .../.

6. Závěr

Úkolem mé diplomové práce byl návrh kontinuálního způsobu měření tloušťky. Zvolil jsem měření tloušťky pneumaticky. Zavedení této metody na planetové brusce UP 333 by mělo přispět ke splnění jednoho z cílů, které si klade celé naše národní hospodářství: modernizovat zastaralé výrobní zařízení za účelem zvyšování produktivity práce a kvality výrobků.

Na závěr děkuji za rady, připomínky a projevenou ochotu vedoucímu diplomové práce doc.ing.V.Klebsovi, CSc; konzultantovi s.M.Kobrlemu a také s.J.Štěpovi z Tesly Hradec Králové.

Seznam použité literatury

/1/ Dráb, V., Moc, L. : Teorie spolehlivosti a řízení jakosti. Skriptum VŠST Liberec 1983

/2/ Vávra, P. a kol. : Strojnické tabulky. SNTL Praha 1983

/3/ Prospekt n.p. Tesla Rožnov

/4/ Prospekt fimy Transat Corporation

/5/ Prospekt firmy Moore Corporation

/6/ Prospekt firmy Norgren Corporation