

Vysoká škola strojnícka a textilná v L i b e r c i
nositeľka Radu práce

Fakulta strojnícka

Katedra obrábania a montáže

obor 23 - 07 - 8 - strojárenská technológia

zameranie: obrábanie a montáž

KONTROLA OBRABANYCH PLOVROHOV MODULACNOU
LASEROVOU TECHNIKOU

KOM - OM - 565

Peter Wagner

Vedúci práce: Ing. RNDr. Lubomír Sodonka CSc.

Počet strán: 62

Počet príloh: 10

Počet tabuliek: 3

Počet obrázkov: 49

Dátum: 10. mája 1988

Vysoká škola: Strojní a textilní

Fakulta: strojní

Katedra: obrábění a montáže

Školní rok: 1987/88

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Petra Wagnera

obor 23 - 07 - 8

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

Název tématu: Kontrola obráběných povrchů modulační laserovou technikou

Zásady pro vypracování:

1. Shrňte poznatky o metodách kontroly obráběných povrchů se zvláštním zřetelem na optické metody
2. Proveďte návrh a konstrukci využití modulační laserové techniky k měření kvality obráběných válcových povrchů
3. Výkresovou dokumentaci zadejte do dílen VŠST
4. Vyrobené části vyzkoušejte a proměřte několik válcových vzorků
5. Ověřte funkci a přesnost drsnosti měřených válcových povrchů na elektrodynamickém snímači Hommel tester.

V 329/88 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

Pravidla - kontrola - Pravidla - Pravidla

Kom/om

62.2.11.11

Rozsah grafických prací: dle potřeby zadání

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran textu

Seznam odborné literatury:

Hanzl, J.: Kandidátská disertační práce, VŠST, 1985

Ali-Kara-Fallah.: Diplomová práce VŠST Liberec 1985

Sodomka, L.: Strojářská ročenka, Bratislava, Alfa 1984

Sodomka, L.; Govindaraj, M.: Strojírenství 33, 1983, č. 8

Govindaraj, M.: Kandidátská práce VŠST Liberec 1982

Sodomka, L.: JMO 1982 č. 1

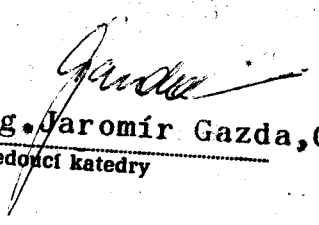
Sando, T et al.: IEEE J. Quantum Electronics QE-31967 No. 11

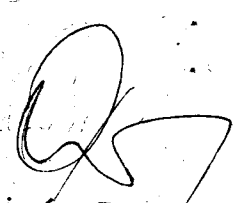
Vedoucí diplomové práce: RNDr. Lubomír Sodomka, CSc. - VŠST Liberec

Datum zadání diplomové práce: 30.9.1987

Termín odevzdání diplomové práce: 10.5.1988




Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.
Vedoucí katedry

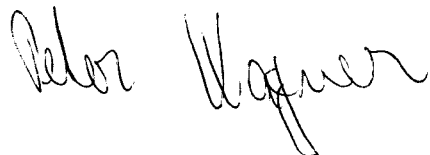

Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.
Děkan

v Liberci dne 30.9. 10 87

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

V Liberci dňa 10. mája 1988

Peter W a g n e r

A handwritten signature in cursive script, appearing to read 'Peter Wagner', written below the printed name.

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce s. RNDr. Lubomírovi Sodomkovi CSc., za poskytnutie cenných rád a pomoc pri riešení problémov, za odborné vedenie a pripomienky, ktoré mi pomohli pri spracovaní zadanej témy.

O b s a h

	str.
Miestoprísahažné prehlásenie	3
Obsah	4
Podakovanie	6
Úvod	7
1.0.0. Akosť povrchu	10
1.1.0. Drsnosť povrchu	11
1.1.1. Systém strednej čiary M	13
1.1.2. Systém obalovej čiary E	14
1.1.3. Metóda matematických rozdielov	15
2.0.0. Prístroje a metódy na kontrolu drsnosti obrábaných povrchov	19
2.0.1. Kvalitatívne a subjektívne porovnávanie drsnosti povrchu	19
2.1.0. Porovnávacie mikroskopy	19
2.2.0. Kvantitatívne-číselné vyhodnotenie drsnosti povrchu	20
2.3.0. Prístroje s prevodom mechanickým	20
2.4.0. Prístroje s prevodom mechanicko-optickým	21
2.5.0. Prístroje elektromechanické	21
2.6.0. Prístroje mechanicko-pneumatické	23
2.7.0. Prístroje optické	24
2.7.1. Metóda svetelného rezu	24
2.7.2. Metóda interferenčná	25
2.7.3. Elektrónový mikroskop	30
3.0.0. Laserová technika	31
3.1.0. Podstata teórie optických modulačných metód	31
4.0.0. Vlastné riešenie	35
4.1.0. Návrh metódy merania	35

4.2.0. Návrh a konštrukcia zariadenia	36
4.3.0. Použité prístroje na hodnotenie kvality obrábaných valcových povrchov	39
4.4.0. Jednofrekvenčný He - Ne laser LA 1000	40
4.4.1. Hlavica laseru typ LA 120	41
4.4.2. Elektronická časť laseru typ LA 110	41
4.5.0. Lineárny zosilovač Tesla NAZ 417	43
4.6.0. VN zdroj NETZGERÄT Pho 1 /Carl Zeiss Jena/	43
4.7.0. Súradnicový zapisovač BAK 5T	44
4.8.0. Laserové meracie zariadenie na meranie kmitania súčastí textilných strojov	44
4.9.0. Skúšobné vzorky	47
5.0.0. Postup merania	48
5.0.1. Skrátený prehľad nastavenia prístrojov pri meraní	49
6.0.0. Namerané hodnoty	51
7.0.0. Zhodnotenie merania	59
Záver	61
Použitá literatúra	62

Ú v o d

XVII. zjazd KSČ vytýčil program ďalšieho dynamického rozvoja našej socialistickej spoločnosti. Komunistická strana Československa sleduje dosiahnutie ďalšieho zvýšenia životnej úrovne a upevnenie sociálnych istôt, vytváranie podmienok pre uspokojovanie nových, kvalitatívne vyšších potrieb občanov, pre harmonický rozvoj osobnosti a prehlbovanie socialistického spôsobu života.

Uspokojovanie rastúcich potrieb národného hospodárstva a zvyšovanie efektívnosti výroby v 8. päťročnici bude rozhodujúcim spôsobom určované rozvojom priemyselnej výroby, ktorá sa má do roku 1990 zvýšiť o 15 až 18 %.

Prvoradú pozornosť v rozvoji priemyselnej výroby je nutné venovať štruktúre výroby a jej efektívnemu využitiu.

Vychádzajúc z Hlavných smerov hospodárskeho a sociálneho rozvoja ČSSR na roky 1986 - 1990, výhľadove až do roku 2000, budú sa národné podniky podieľať na plnení záverov XVII. zjazdu KSČ konkrétnymi úlohami, zameranými predovšetkým na oblasť elektronizácie, komplexnej mechanizácie a automatizácie, rozvoj jadrovej energetiky, rozvoj výroby nových druhov materiálov, rozvoj a využitie biotechnológií ako aj tvorbu a ochranu životného prostredia a zavádzanie progresívnych technológií umožňujúcich zvýšenie produktivity práce, pokles materiálovej a energetickej náročnosti výroby a zlepšovanie pracovných podmienok.

Rozvoj strojárstva ako nositeľa vedeckotechnického rozvoja vo všetkých odvetviach národného hospodárstva a hlavného exportného odvetvia zamerať na vytvorenie základných podmienok pre podstatné zvyšovanie technickej úrovne výroby na základe realizácie najmodernejších výsledkov vedeckotechnického rozvoja/od zadania po realizáciu/, inováciu stro-

jov s cieľom získania parametrov svetovej úrovne, zavádzanie progresívnych technológií zabezpečujúcich zvyšovanie efektívnosti, znižovanie spotreby materiálov a energie, rozvoj komplexnej mechanizácie a automatizácie, elektronizácie strojov a prípravu podmienok pre rozvoj strojov novej generácie.

Tieto úlohy kladú veľké nároky na strojné vybavenie podnikov. Preto je rozhodujúce venovať veľkú pozornosť kvalite jednotlivých súčiastok, z ktorých sa moderné stroje skladajú. Toto sa dá dosiahnuť novými progresívnymi metódami merania, ktoré využívajú modulačnú laserovú techniku. Preto sa do popredia stále viac a viac tlačí otázka presného merania kvality obrobených povrchov. Dôležitou technologickou otázkou je kontrola výrobkov počas výroby a na konci výrobného procesu/priebežná a výstupná kontrola/.

Kontrola polotovarov a hotových súčiastok má dvojaký účel. Kontrolujeme jednak tvar, rozmery a mikrogeometriu funkčných povrchov, jednak stav materiálu a akosti povrchovej vrstvy funkčných plôch, či zodpovedajú funkčným požiadavkám.

Obidva druhy kontroly sa od seba značne odlišujú nielen metódami merania, ale aj požiadavkami na odborné vedomosti kontrolóra.

Základnou disciplínou pri kontrole rozmerov a akosti povrchu/rovinnosti, drsnosti, kruhovitosti, valcovitosti/ je strojárska metrológia.

Moja diplomová práca sa zaoberá navrhnutím a konštrukciou zariadenia, ktoré využíva modulačnú laserovú techniku k meraniu kvality obrábaných valcových povrchov.

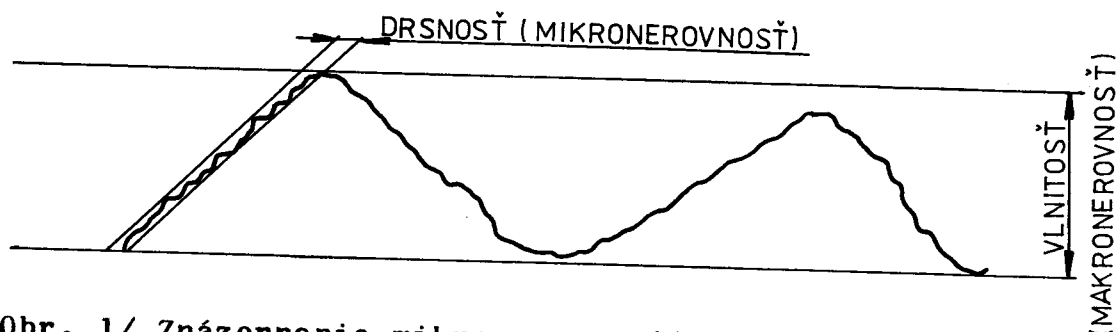
V ďalšej časti sú zhrnuté poznatky o metódach kontroly obrábaných povrchov so zreteľom na optické metódy, ďalej je urobený návrh konštrukcie na meranie kvality obrábaných val-

cových povrchov pomocou modulačnej laserovej techniky a nakoniec sú prevedené výsledky merania drsnosti meraných válcových povrchov na elektrodynamickom snímači Hommel tester.

1.0.0. Akosť povrchu /1, 3/

Zvyšovanie výkonnosti, spoľahlivosti a životnosti strojov kladie zvýšené požiadavky na kvalitu výroby a to ako z hľadiska rozmerovej presnosti, tak i z hľadiska kvality obrobenej plochy. Akosť obrobeneho povrchu v presnom strojárstve je dôležitým činiteľom, lebo má vplyv na presnosť a trvanlivosť stroja. Hrubší a nerovnomerne obrobený povrch sa pri chode stroja časom vyhladí, čím vzniká nežiadúca vôľa medzi jednotlivými strojovými súčiastkami, stroj tak stráca presnosť a stáva sa hlučnejším.

Pri posudzovaní akosti povrchu strojových súčiastok treba rozlišovať druh, vlnitosť/rovinnosť/ a drsnosť povrchu.



Obr. 1/ Znáznornenie mikronerovnosti a makronerovnosti povrchu

Druh povrchu v podstate môže byť:

- a/ neopracovaný - súčiastky odliate, kované, lisované, valcované a pod.
- b/ opracovaný - súčiastky s povrchom pilovaným, sústruženým, hobľovaným, frézovaným, škrabaným, lapovaným a pod.

Vlnitosť povrchu sú nepravideľnosti povrchu/obr.1/, ktoré nie sú zapríčinené len obrábacím nástrojom, ale spoločným

pôsobením sústavy stroj - nástroj - obrobok. Vlnitosť posudzujeme podľa toho, ako sa v celom jej rozsahu dodržiaval presný geometrický tvar plochy. Neobrobený povrch, alebo len ručne obrobený povrch je obyčajne vlnitý. Bežným obrábaním sa dosiahne povrch s malou vlnitosťou. Dokonalý rovnomerný povrch sa získa len veľmi presnou strojovou výrobou, prípadne dodatočným ručným prilícovaním - škrabaním.

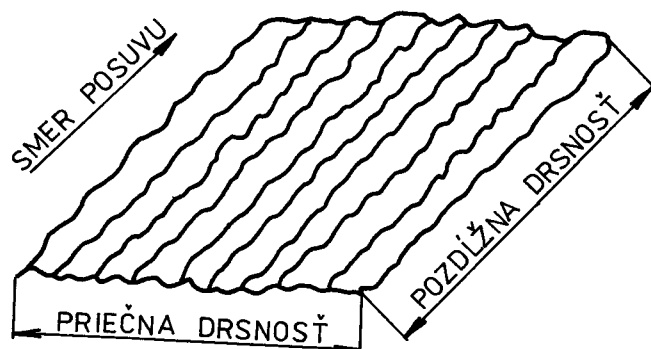
Drsnosť povrchu posudzujeme podľa tvaru, vzhľadu a hĺbky stôp, ktoré zostanú na povrchu súčiastky po nástroji pri obrábaní. Drsný povrch, napr. po hrubovacom noži, má hmatateľné a dobre viditeľné stopy po nástroji. Hladký povrch, napr. po hladiacom noži, stopy po nástroji má len málo viditeľné. Dokonale hladký povrch, napr. po jemnom brúsení, nemá viditeľné stopy po nástroji, ich tvar možno vidieť pod lupou. Drsnosť povrchu je teda daná stopami, ktoré na obrobenej ploche necháva nástroj. Označuje sa ako mikrogeometrická nerovnosť. Naproti tomu vlnitosť je vlastne odchylka od pravidelného geometrického tvaru opracovanej plochy, podobne ako vdtosť, vydutosť, alebo iné zakrivenie rovinatej plochy, a nazýva sa makrogeometrická nerovnosť.

1.1.0. Drsnosť povrchu /5/

Drsnosťou povrchu sa rozumie stupeň jeho priblíženia k povrchu dokonale hladkému.

Drsnosť povrchu/mikrogeometrická nerovnosť/ je súhrn nerovností skutočného povrchu s roztečou menšou než je zodpovedajúca medzná rozteč nerovnosti.

Drsnosť povrchu nie je vo všetkých smeroch plôch rovnaká a preto rozlišujeme drsnosť pozdĺžnu /v smere rezu/ a priečnu /kolmú na smer rezu/. Najčastejšie sa zisťuje len priečna drsnosť, ktorá závisí predovšetkým od tvaru rezného hrotu nástroja a od jeho posuvu vzhľadom na súčiastku.



Obr. 2/ Znázornenie priečnej a pozdĺžnej drsnosti

Drsnosti povrchu môžu byť merané ako úchyľky zisteného profilu od vztiahnutej čiary v medziach stanoveného úseku.

Drsnosť povrchu je daná stopami, ktoré na obrobenej ploche zanecháva nástroj. Veľkosť a druh tejto nerovnosti je určený spôsobom obrábania, fyzikálnymi vlastnosťami obrábaného materiálu, plasticitou deformáciou materiálu, trením chrbta noža po obrobenej ploche, tuhosťou nástroja, kvalitou a tvarom hrotu, veľkosťou zaoblenia špičky noža, reznými podmienkami, hlavne však veľkosťou reznej rýchlosti.

Drsnosť nemá väčšinou u dokončovacích operácií určitý smer, tak ako to býva u operácií, ktoré majú stály smer rezného pohybu a posuvu /sústruženie, frézovanie, hobľovanie, brúsenie/.

Vadami povrchu nazývame náhodné nepravidelnosti nerovnosti povrchu. Môžu to byť buď rysky, hrbolky, trhlinky, jamky a pod., ktoré vznikli vadou materiálu alebo jeho štruktúrou, alebo náhodným poškodením.

Pri meraní drsnosti povrchu sa vychádza z rovinných rezov povrchom. Tu je definovaných niekoľko geometrických kritérií pre hodnotenie drsnosti povrchu.

Geometrický profil je rez geometrickým povrchom rovinnou vhodne položenou k tomuto povrchu.

Skutočný profil je rez skutočným povrchom rovinou vhodne položenou k jeho geometrickému povrchu.

Zistený profil je rez zobrazeným povrchom rovinou vhodne položenou k jeho geometrickému povrchu.

Vzťažná čiara je čiara, ktorá je základňou pre vyhodnocovanie zisteného profilu a ku ktorej sa vzťahujú číselné odchylky tohto profilu.

Rozostup nerovností je vzdialenosť nerovností zisteného profilu.

Dĺžka meraného profilu L je najmenšia dĺžka úseku zisteného profilu, potrebná pre stanovenie charakteristických číselných hodnôt drsnosti povrchu.

Číselné hodnoty parametrov drsnosti považujeme za statické údaje namerané od základni, jednoznačne stanovené dohodou. Boli navrhnuté tri základné systémy:

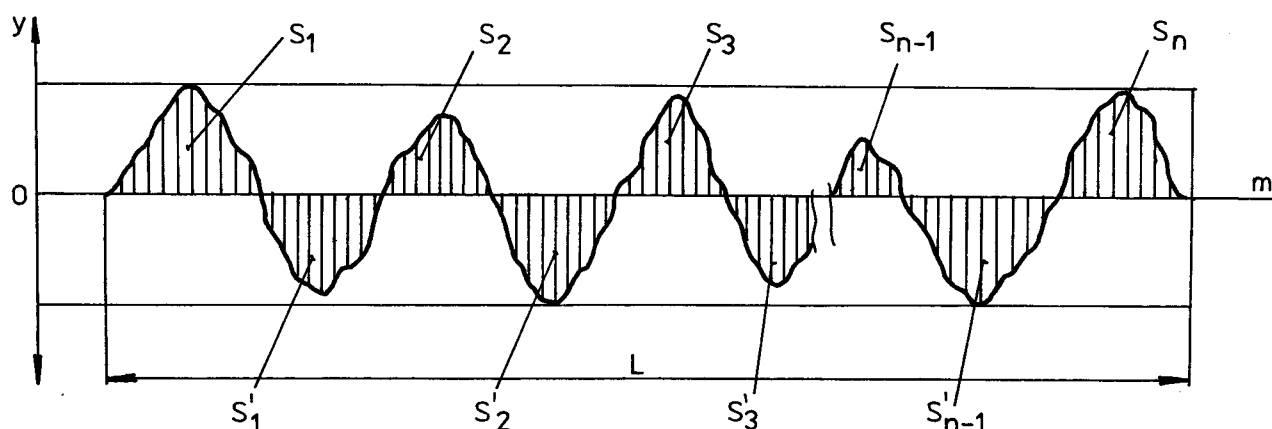
- 1/ systém strednej čiary - M
- 2/ systém obalovej čiary - E
- 3/ metóda matematických rozdielov.

1.1.1. Systém strednej čiary M

U tohoto systému sa vychádza zo vzťažnej čiary, ktorá musí spĺňať tieto požiadavky:

- a/ v dĺžke medzného rozostupu má tvar geometrického profilu, t.j. priamky, kružnice, evolventy a pod. podľa tvaru plochy,
- b/ rozdeľuje zistený profil tak, že súčty plôch obmedzených strednou čiarou a profilom boli nad i pod čiarou rovnaké /obr. 3/.

Musí platiť:
$$\sum_1^n S_i = \sum_1^n S'_i$$



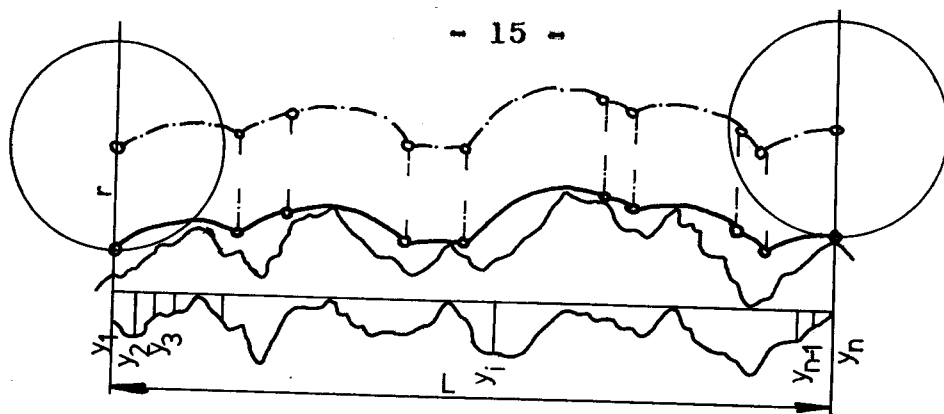
Obr. 3/ Stredná čiara profilu m

1.1.2. Systém obalovej čiary E

Tu je základňou merania obalová čiara, ktorá sa dotýka profilu a je posunutá kolmo k ideálnemu profilu o hodnotu r od geometrického miesta stredu kružníc o polomere r , odvalujúcom sa po zobrazenom povrchu /obr. 4/. Základňa sa stanoví optickými metódami alebo na automatických prístrojoch s dotykom s polomerom $r = 25 \text{ mm}$. Vlastný profil rezu povrchom získame dotykom o polomere zakrivenia $v_\mu \text{ m}$. Grafický záznam efektívneho profilu systému E má v kolmých súradniciach zobrazenú základňu ako priamku /os x / a všetky odchylky nerovnosti v osi y sú potom záporné, čo je treba považovať za dohodnuté vyjadrenie. Podľa tejto metódy sa vyjadruje stredná výška nerovnosti vzorcom

$$R_p = \frac{1}{L} \int y \cdot dx$$

čo sú stredné výšky priehlbín /index p priehlbina/



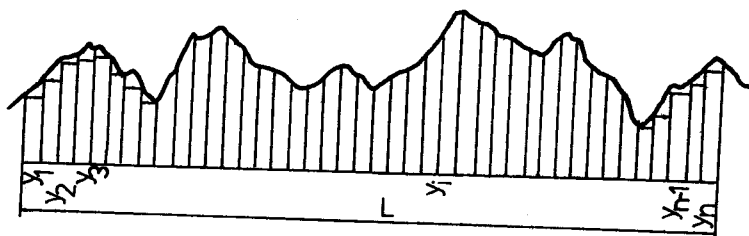
Obr. 4/ Systém obalovej čiary E

1.1.3. Metóda matematických rozdielov

Stredné hodnoty drsnosti povrchu sú u tejto metódy určované z matematických rozdielov dĺžok dvoch susedných y súradníc, meraných od ľubovoľne položenej rovnobežky s ideálnym profilom /obr. 5/.

$$\sigma y_1 = y_2 - y_1$$

$$\sigma y_2 = y_3 - y_2$$

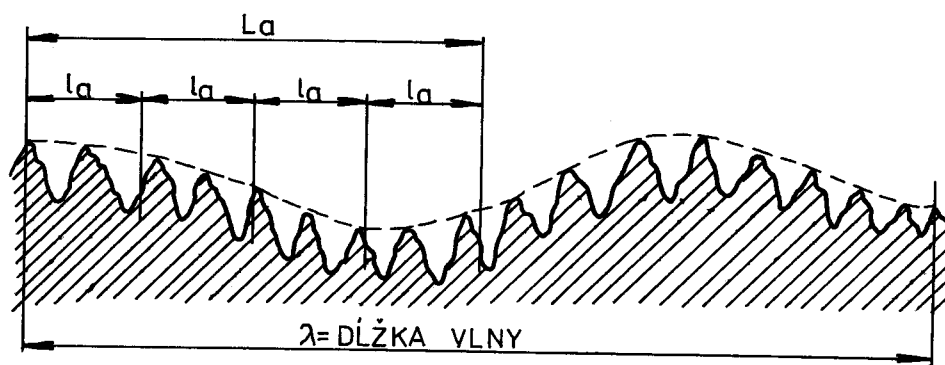


Obr. 5/ Metóda matematických rozdielov

Veľkosť rozdielov je zároveň presnejším kritériom medzi vlnitosťou a drsnosťou povrchu: pre vlnitosť platí $\sigma y \approx 0$, pre drsnosť $\sigma y > 0$, stredná aritmetická výška = $\frac{\sum \sigma y_i}{2(n-1)}$,

Systém strednej čiary - systém M bol navrhnutý podľa návrhu doporučenia ISO/TC 57 z roku 1957 a je obsiahnutý i v našej norme ČSN 014450. V tejto norme sú definované i ďalšie základné pojmy potrebné pre určenie drsnosti povrchu.

Medzná rozteč nerovnosti "l" je to najväčšia rozteč nerovností, väčšinou sa volí tak, aby pri určovaní drsnosti povrchu neboli stanovené hodnoty drsnosti ovplyvnené nerovnosťou povrchu s väčšou roztečou /obr. 6/. Na obrázku je výškové zväčšenie profilu mnohonásobne väčšie než pozdĺžne. Na jemne sústruženej ploche s povrchom s dĺžkou vlny nameria prístroj, ktorý je nastavený na medznú rozteč nerovnosti "la" hodnotu drsnosti s vylúčením vlnitosti. Preto musí byť pre správnu charakteristiku povrchu dĺžka meraného úseku "La" dlhá niekoľko medzných roztečí "la".



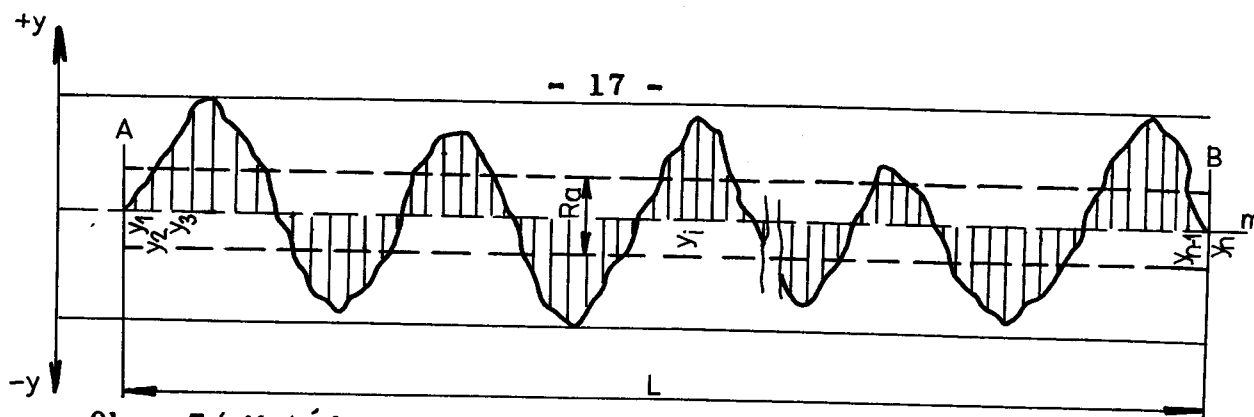
Obr. 6/ Metóda medznej rozteče nerovnosti

Stredná aritmetická úchylka od strednej čiary profilu R_a , je to stredná hodnota vzdialenosti bodov zisteného profilu $/y_1, y_2, \dots, y_n/$ od jeho strednej čiary /obr.7/.

Matematické určenie strednej aritmetickej úchylky R_a je daná vzťahom:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_A^B y dx$$
$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

Úchylky od strednej čiary sa sčítajú bez ohľadu na znamienko.

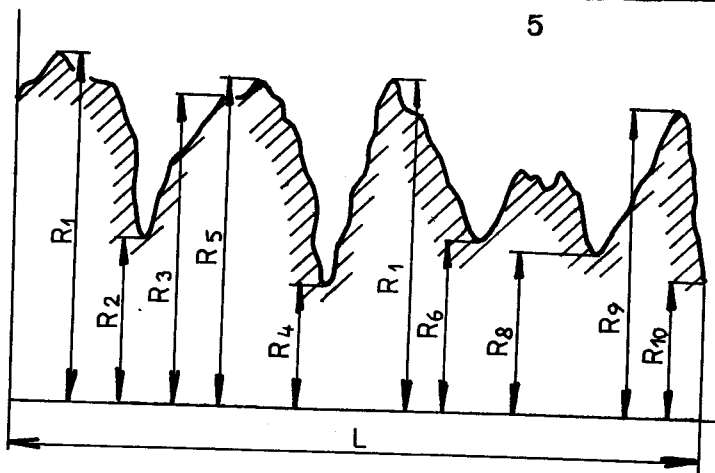


Obr. 7/ Metóda zisťovania strednej aritmetickej úchylky R_a
 P - zobrazený profil
 L - dĺžka meraného úseku
 m - stredná čiara

Výška nerovnosti R_z - je to stredná hodnota vzdialenosti medzi piatimi najvyššími bodmi výstupkov a piatimi najnižšími bodmi priehlbín zisteného profilu v dĺžke meraného úseku. R_z sa meria od čiar rovnobežnej so strednou čiarou profilu /obr. 8/.

Výška nerovnosti sa potom určuje:

$$R_z = \frac{R_1 + R_3 + \dots + R_9}{5} - \frac{R_2 + R_4 + \dots + R_{10}}{5}$$



Obr. 8/ Určovanie výšky nerovnosti R_z

Pre R_a a R_z je daný približný vzťah:

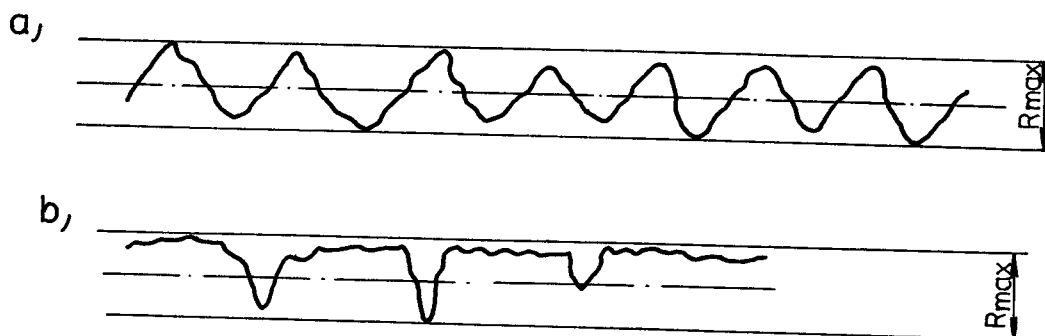
$$R_z = 4,5 \cdot R_a^{0,97}$$

Najčastejšie používaný vzťah býva: $R_z : R_a = 4$

Maximálna výška nerovnosti Rmax.

Je to vzdialenosť medzi dvoma čiarami, ktoré sú rovnobežné so strednou čiarou. Jedna z týchto čiar prechádza vrcholom najväčšieho výstupku a druhá najnižším bodom priehlbiny zisťovaného profilu v dĺžke meraného úseku.

Typickým príkladom, kde je jasne vidieť Rmax. je sústružený alebo hobľovaný povrch /obr. 9/.



Obr. 9/ Maximálna výška nerovnosti Rmax.

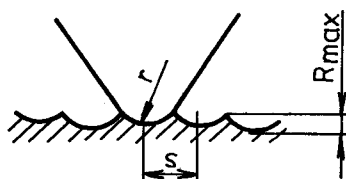
a/ trieskové obrábanie

b/ po brúsení

Pri sústružení alebo hobľovaní je to pravidelne opakovaný profil špičky noža. Jednotlivé stopy sú od seba vzdialené o veľkosť posuvu "s". Hĺbka stôp je úmerná veľkosti posuvu a nepriamo úmerná polomeru zaoblenia špičky noža "r" /obr.9a/ a je určená rovnicou

$$R_{max} \approx \frac{s^2}{8r}$$

Hodnota Rmax sa nedá previesť na hodnotu Ra alebo Rz.



Obr. 9a/.

2.0.0. Prístroje a metódy na kontrolu drsnosti obrábaných povrchov /5/

Drsnosť sa dá určovať priamym alebo nepriamym meraním profilu zvláštnymi prístrojmi. Spôsoby používané k určeniu drsnosti môžeme si rozdeliť do skupín:

- a/ kvalitatívne a subjektívne; je to porovnávanie drsnosti so vzorovými súčiastkami, alebo vzorkovnicami na základe subjektívneho vnímania bez akéhokoľvek číselného vyhodnotenia,
- b/ kvantitatívne; to je číselné vyhodnotenie drsnosti povrchu v určitých parametroch podľa noriem alebo podľa použitých meracích prístrojov $/Ra, Rz, R_{max}./$.

2.0.1. Kvalitatívne a subjektívne porovnávanie drsnosti povrchu /4, 5/

Najčastejšie sa porovnáva skúmaný povrch so vzorkovnicami drsnosti povrchu.

Vzorkovnice drsnosti povrchu sú kolekcie vzorkov s povrchmi zhotovenými jednotlivými výrobnými spôsobmi, u ktorých hodnoty drsnosti Ra zodpovedajú hodnotám praktickej rady stupňov drsnosti.

Vlastná kontrola sa vykonáva často ľudskými zmyslami - zrakom alebo hmatom. Cvičený hmat kontrolóra môže rozlíšiť až $0,1 \mu m$ rozdielu hodnôt Ra . U hodnôt Ra menších ako $0,1 \mu m$ nie je už hmatové porovnanie spoľahlivé. Pre presnejšie porovnanie vzorkov so súčiastkou sa používajú optické zariadenia - lupy a mikroskopy.

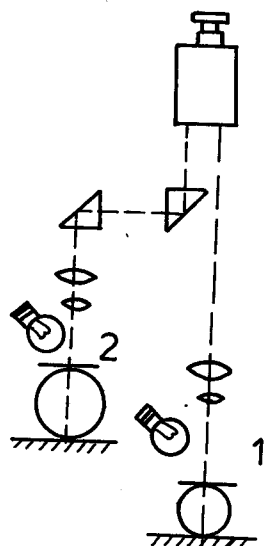
2.1.0.

Najčastejšie sa používajú porovnávacie mikroskopy.

Skladajú sa z dvojitej samostatnej optiky. V zornom

poli vidíme obidve plochy súčasne - plochu porovnávanú a plochu o známej hodnote drsnosti /etalon/.

V prístroji sú dva objektívy 1 a 2 /obr. 10/, ktoré sú zaostrené na povrch vzorku a meranej súčasti. Zväčšenie môže byť 10 až 200 krát.



Obr. 10/ Schématické znázornenie porovnávacieho mikroskopu

2.2.0. Kvantitatívne - číselné vyhodnotenie drsnosti povrchu /4, 5/

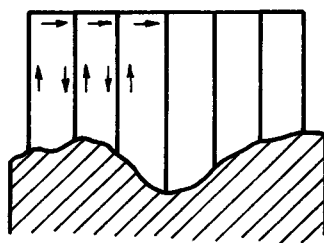
V dnešnej dobe tvoria prístroje tejto skupiny široký obor. Môžeme si ich rozdeliť na skupiny podľa použitých princípov.

2.3.0. Prístroje s prevodom mechanickým /4, 5/

Jedným z najstarších prístrojov bol prístroj vyrábaný podľa profesora Woxena.

U tohto prístroja sa používa zvislej pohyblivej ihly, ktorá sa pod malým tlakom dotýka meranej plochy. Výšková poloha sa meria mikrokátorom s delením $0,1\mu\text{m}$. Ihla sa nadvihne v kolmom smere a posunie sa o 5 až $10\mu\text{m}$ na jednu stra-

nu, potom sa spustí na povrch meranej súčasti /obr. 11/
a toto sa niekoľkokrát opakuje. Namerané hodnoty sa zazna-
menávajú do súradnicovej sústavy a spojením nameraných bo-
dov sa získa profilová krivka.



Obr. 11/.

2.4.0. Prístroje s prevodom mechanicko-optickým /4, 5/

U tohto systému sa premeriavanie povrchu vykonáva ako u čisto mechanického zariadenia meracím dotykom, prevod ale býva pákový a optický. Oproti predošlému prístroju popísanému v kapitole 2.3.0. kde sa veľkosť zdvihu dotyku mení podľa povrchu, má tento prístroj zdvih dotyku stále rovnaký a jeho veľkosť býva asi $1,5 \mu\text{m}$. Snímací hrot je upevnený v čape, ktorý kmitá pomocou elektrického zariadenia v cievke magnetu, alebo sa kmitanie spôsobuje mechanickým palcom. Počet zdvihov býva 500 až 1000 Hz. Na konci čapu je malé otočné zrkadielko, pomocou ktorého dopadajúci svetelný lúč sa odráža naspäť na matnicu alebo film.

2.5.0. Prístroje elektromechanické /4, 5/

Tieto prístroje sa dnes radia medzi najdokonalejšie prístroje na meranie drsnosti povrchu. Ich prednosťou je: presnosť, vysoká citlivosť, univerzálnosť pri použití, po-

merne jednoduchá obsluha, možnosť merať priamo stredné hodnoty drsnosti. Dokážu nakresliť profilovú krivku v určitom merítku a meranie je pomerne rýchle.

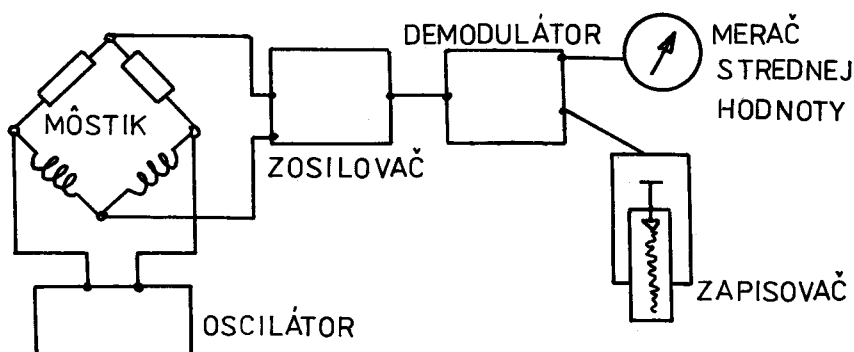
Všetky elektromechanické prístroje sú založené na rovnakom princípe: kmitanie snímacieho hrotu posúvajúceho sa po obrobenom povrchu sa prevádza na zmenu elektrickej energie, ktorú zisťujeme. Zmena mechanickej veličiny na elektrickú umožňuje jednoduché opracovanie podľa potreby využitia iných elektrických zariadení.

Podľa usporiadania a vybavenia prístrojov rozdeľujeme elektromechanické prístroje na profilometre a profilografy.

Profilometre sa najčastejšie používajú pri meraní v dielňach, merajú priamo strednú hodnotu drsnosti R_a .

Profilografy sa používajú najčastejšie pri laboratórnom meraní, kedy potrebujeme grafický záznam priebehu profilového rezu. Základná schéma usporiadania elektrického prístroja pre meranie drsnosti povrchu je na obr. 12.

Úlohou snímača je meniť mechanicke veličiny na elektrické. Elektrické impulzy sa v zosilovači zosilnia na hodnoty potrebné k ovládaniu zapisovača alebo indikátora.



Obr. 12/ Blokova schéma elektrického prístroja na meranie drsnosti povrchu

Medzi hlavné súčasti prístrojov patrí snímač. Snímač sa posú-

va po povrchu. Podľa toho aké je elektrické prevedenie snímača sa prístroje delia na:

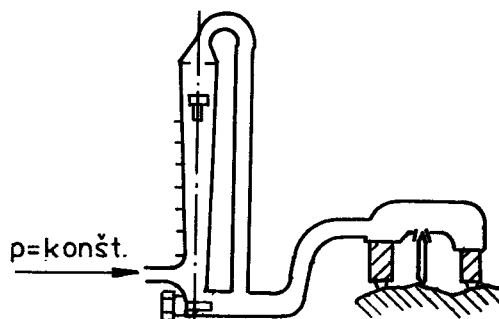
- a/ elektromagnetické
- b/ elektrodynamické
- c/ piezoelektrické
- d/ elektroindukčné

Snímače typu a/ b/ c/ sú generátorové, pohyb hrotu riadi určitý elektrický systém, čo vyvoláva vznik elektrického napätia na výstupných vodičoch. U typu d/ je podľa postavenia hrotu ovplyvňovaný elektrický obvod okamžitou veľkosťou indukčnosti.

2.6.0. Prístroje mechanicko-pneumatické /4, 5/

Na tomto princípe sa zisťuje drsnosť snímacou hlavicom s dotykom. Schéma prístroja je na obr. 13.

Snímacia hlavica je vedená po povrchu určitou rýchlosťou. V hlavici je pomocou plochých pružín uchytенý merací dotyk. Vrchná časť dotyku je kuželovitá a takto vytvára ventil. Pohybom dotyku po povrchu sa ventil podľa nerovnosti otvára alebo uzatvára a tým sa mení prietokové množstvo vzduchu v tryske, ktorého hodnotu odčítame na rotametre.



Obr. 13/ Prístroj mechanicko-pneumatický

2.7.0. Prístroje optické /4, 5/

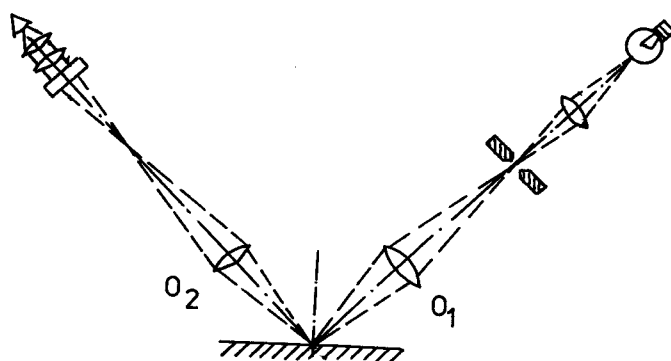
U prístrojov tohoto druhu sa premeriavanie povrchu nevykonáva dotykovým hrotom, ale tu sa sledujú nerovnosti povrchu svetelným lúčom. Je to čisto optický spôsob, je využívaný u prístrojov, u ktorých sa využíva metóda svetelného rezu, alebo metóda interferencie svetla. Meria sa R_z a R_{max} .

2.7.1.

Medzi najstaršie a najpoužívanéjšie prístroje pracujúce na optickom princípe patria prístroje, ktoré pracujú na základe metódy svetelného rezu /4, 5/.

Týmito prístrojmi sa meria R_{max} v rozsahu od 0,30 do 0,75 μ m. Hranica merania menších nerovností je daná rozlišovacou schopnosťou používanej optiky.

Prístroj sa skladá zo stojana so stolom. Na ramene stojana sa pohybuje rameno s nastaviteľným mikroskopom. Schéma mikroskopu je na obr. 14.



Obr. 14/ Schéma mikroskopu pracujúceho na základe metódy svetelného rezu

Svetelný lúč vychádzajúci z osvetlovacej lampky L a po

zmenšení šošovkou prechádza štrbinou S, odtiaľ cez objektív O_1 . Tým sa osvetľuje povrch a tento sa pozoruje meracím mikroskopom, ktorý sa skladá z objektívu O_2 a okuláru s mikrometrickou skrutkou. Objektívy O_1 a O_2 majú rovnaké vlastnosti. Osvetľovacie zariadenie a merací mikroskop musia byť na seba kolmé.

Na prístrojoch sa meria R_{max} tak, že sa nastaví posúvateľná ryska na vrchnú časť profilovej krivky vzniknutej svetelným rezom. Odčíta sa hodnota nastavenia na bubienku mikrometrického okulára. Potom sa ryska posunie na spodnú časť profilovej krivky a znova sa odčíta hodnota z bubienku. Rozdiel odčítaných hodnôt vynásobený konštantou podľa použitého objektívu nám udáva R_{max} povrchu v μm .

2.7.2. Metóda interferenčná /4, 5/

Táto metóda sa používa na zisťovanie povrchov veľmi jemno opracovaných. Musí sa však použiť príslušné zväčšenie, aby sa drsnosť objavila. Najčastejšie sa používa zväčšenie 80 až 500 krát. Podmienkou je, že interferenčné svetlo bude blízko pozorovanej plochy a vzniknuté interferenčné pružky budú ostro zobrazené.

Prístroje, ktorými získame interferenčné pružky a ktoré nám slúžia k pozorovaniu a meraniu veľmi malých drsností nazývame interferenčné mikroskopy.

Tieto mikroskopy sa rozdeľujú do dvoch hlavných skupín:
a/ interferenčné mikroskopy vyrábajúce interferenciu reálnym/skutočným/klinom;

Tieto majú veľmi jednoduchú konštrukciu. Sklenená doštička sa položí na skúšaný povrch a vytvorí tak medzi spodnou hranou doštičky a povrchom meranej súčasti reálny vzdušný klin. Nechajú sa dopadať koherentné lúče a vznik-

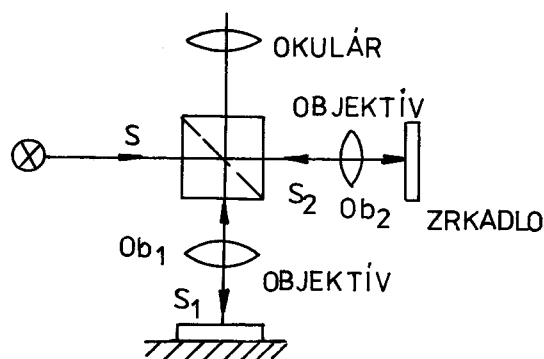
ne interferencia rovnakej šírky na vrchnej strane klinu. Tento spôsob nemá ale veľké využitie.

b/ interferenčné mikroskopy, kde získavame interferenciu zdanlivým klinom;

U týchto prístrojov sa zdanlivý klin získa buď deliacou doštičkou, alebo deliacim hranolom. Deliaci hranol sa dáva pred alebo za objektív. Podľa usporiadania hranola a objektívov rozoznávame dva typy interferenčných mikroskopov, ktoré využívajú interferenciu zdanlivým klinom.

Najväčšie použitie dosiahol interferenčný mikroskop zostrojený podľa návrhu akad. Linnika /obr. 15/.

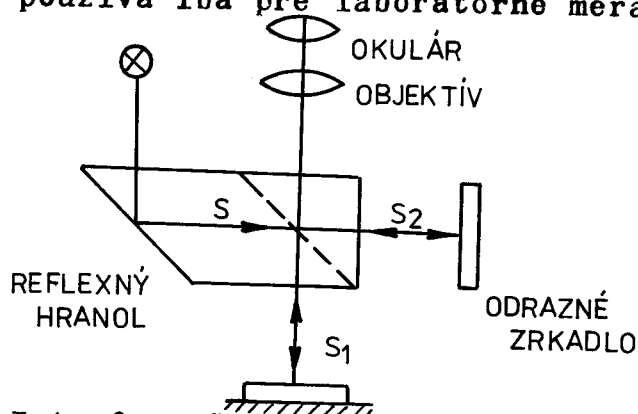
Podľa tohto spôsobu ide lúč svetla na polopriechodné zrkadlo vytvorené v sklenenom hranole, kde sa rozdeľuje na dva lúče. Jeden lúč S_1 ide na povrch meranej súčasti, od ktorej sa odráža naspäť. Druhý lúč S_2 sa odrazí od zrkadla. Oba lúče sa spojujú v deliacej ploche a idú do okuláru mikroskopu. Medzi skleneným hranolom a meraným povrchom je objektív O_{b1} , medzi skleneným hranolom a zrkadlom je objektív O_{b2} . Toto usporiadanie dovoľuje veľmi veľké zväčšenie, ale kladie veľké požiadavky na úplne zhodné parametre oboch objektívov.



Obr. 15/ Interferenčný mikroskop akad. Linnika

Druhý typ je interferenčný mikroskop podľa Kruga a Laua. Schéma tohoto mikroskopu je na obr. 16. Medzi objektívom a meraným povrchom sa nachádza systém delenia svetelného lúča.

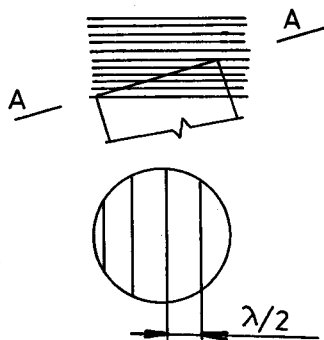
Tento sa skladá z reflexného hranolu, ktorý je delený a tvorí polopriechodné zrkadlo. Zo zdroja vychádzajúce svetlo je rozdelené v deliacej ploche na dva svetelné lúče S_1 a S_2 , z ktorých jeden ide na meraný povrch a druhý na odrazové zrkadlo. Obidva svetelné lúče idú po spojení v ploche delenia objektívom mikroskopu do okuláru. Tento druh mikroskopu sa používa iba pre laboratórne merania.



Obr. 16/ Interferenčný mikroskop podľa Kruga a Laua

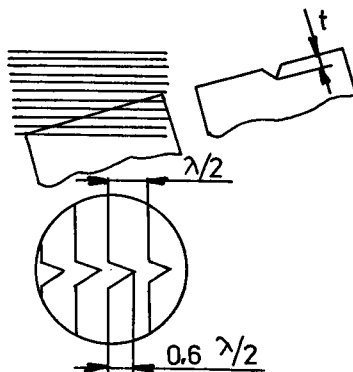
Vyhodnotenie interferogramu /4, 5/

Ideálne rovné plochy ukazujú rovnomerne rovnobežné pružky /obr. 17/.



Obr. 17/ Zobrazenie ideálnej rovinnej plochy

Ak je na povrchu ryha, tak sa prejaví na interferenčnom obraze vychýlením prúžku v tomto mieste. Interferenčný obraz ryhy na ideálnej ploche je schématicky naznačený na obr. 18.



Obr. 18

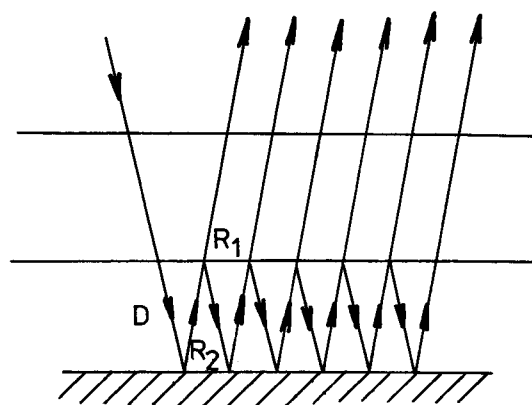
Vzdialenosť interferenčných prúžkov zodpovedá zmene klinovej vrstvy $\lambda/2$ pri kolmom dopade svetla a veľmi malom uhle klinu δ . Ak poznáme vychýlenie prúžkov p ako zlomok vzdialenosti prúžkov l a ak ho vynásobíme polovičnou vlnovou dĺžkou použitého svetla dostaneme hĺbku ryhy R_{max} .

Aby sme dostali čo najostrejšie prúžky používame viaclúčovú interferenciu.

Viaclúčová interferencia je umožnená niekoľkonásobným odrazom lúčov na veľmi tenkých klinoch, alebo rovnobežných rovinných doštičkách. Viaclúčová interferencia je možná iba na reálnych klinoch. Pri viaclúčovej interferencii sa od vrchnej strany klinu odráža len niekoľko málo percent dopadajúceho svetla. Vrchná strana klinu musí byť polopriechodne postriebrená sklenená plocha.

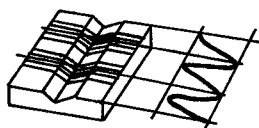
Na obr. 19. je vidieť, že v protiklade k dvojlúčovej interferencii kde interferujú dva lúče, interferuje tu viac lúčov. Na obrázku R_1 je reflexná schopnosť polopriepustnej vrstvy, D je priepustnosť tejto vrstvy, R_2 je reflexná schop-

nosť nepriepustnej vrstvy.

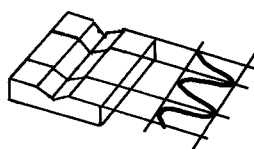


Obr. 19/ Znázornenie viaclúčovej interferencie

Rozdelenie intenzity u dvojlúčovej interferencie je naznačené na obr. 20, kde je vidieť, že oproti obr. 21 kde je rozdelenie intenzity viaclúčovej interferencie, je viditeľný dosť veľký rozdiel.



Obr. 20/ Rozdelenie intenzity u dvojlúčovej interferencie



Obr. 21/ Rozdelenie intenzity u viaclúčovej interferencie

2.7.3. Elektronový mikroskop

Ak chceme merať ešte jemnejšie nerovnosti, ktoré nie je možné zmerať interferenčným mikroskopom dajú sa zmerať elektrónkovým mikroskopom. Tento mikroskop má väčšinou zväčšenie 8 000 až 150 000 násobné.

Väčšinou sa prevádza pri meraní povrchu plastický otisk povrchu, napr. saponovým lakom. Pre zvýšenie kontrastu sa blana s otiskom pod určitým uhlom kovovo katodicky popráša.

3.0.0. Laserová technika

Pri navrhovaní a konštrukcii metódy sme využili niektoré doteraz už známe a vyskúšané metódy.

Využili sme špeciálnych vlastností laseru, vysoký stupeň koherencie a polarizácie, monochromatickosti, vysokú smerovateľnosť a veľkú intenzitu.

Laserová modulačná metóda využíva monotónneho rozloženia intenzity od kraja do stredu prierezu lúča, kvalizínárnu závislosť žiarenia na priereze zväzku lúča Gaussového typu.

V strede najviac lineárnej časti sa volí pracovný bod metódy. Posúvaním pracovného bodu v lineárnej časti intenzity v priereze zväzku, clonením alebo odrazom zväzku sa dosiahne kmitajúcim systémom modulácie laserového zväzku okamžitými výchylkami kmitajúceho telesa /6/.

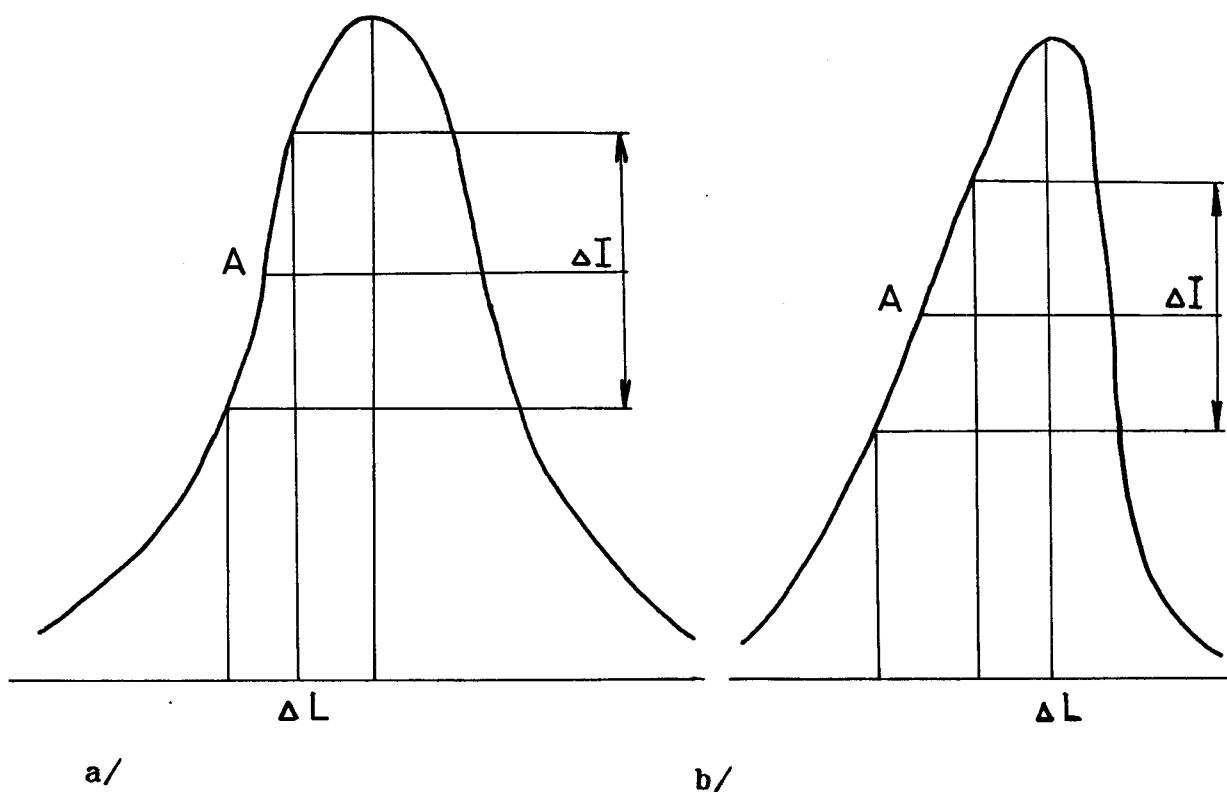
Pretože modulácia laserového lúča sa dá dosiahnuť clonením, ale aj odrazom, môžeme rozdeliť modulačnú laserovú metódu na:

- a/ metódu tangenciálnu
- b/ metódu reflexnú.

3.1.0. Podstata teórie optických modulačných metód

U modulačných metód merania kmitajúcich predmetov sa využíva rovnobežnosti lúča v zväzku laserového žiarenia a jeho smerovej amplitúdy.

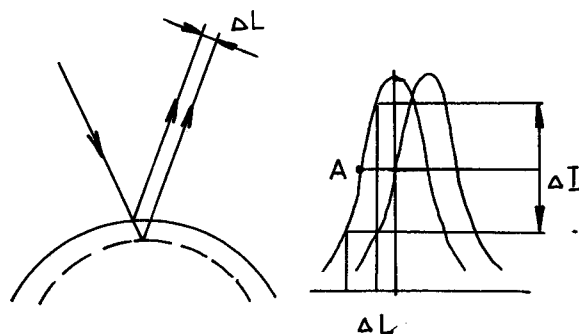
Pretože intenzita prierezu stopy laserového žiarenia je nemonotónnou funkciou, ktorá je pre módy TEM₀₀ symetrická gaussovského typu /obr. 22a/ a pre vyššie módy nesy-metrická /obr. 22b/, môžeme preto využiť týchto monotónnych častí kriviek pre meranie vybrácií.



Obr. 22/ Zmena v polohe na profile laserového zväzku Δl vedie ku zmene intenzity ΔI v symetrickom, alebo nesymetrickom móde.

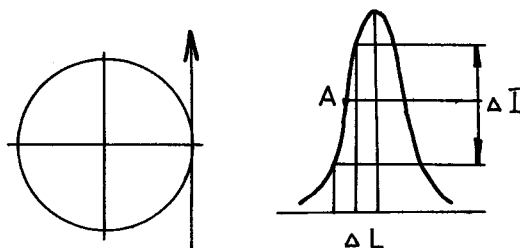
Ak zoberieme z monotónnych častí kriviek /obr. 22 a/ a /obr. 22 b/ také časti, ktoré sú približne lineárne, môžeme zmeny v polohe Δl na krivkách obr. 22 a,b, previesť na zmeny intenzity ΔI . K meraniu vybrácií rotujúceho telesa je možné použiť reflexného a tangenciálneho usporiadania /obr. 23 a 24/.

U reflexnej metódy menia krivky intenzity polohu s polohou odrazeného povrchu a za štrbinou umiestnenou v odrazenom svetle dochádza k jeho modulácii /obr. 23/.



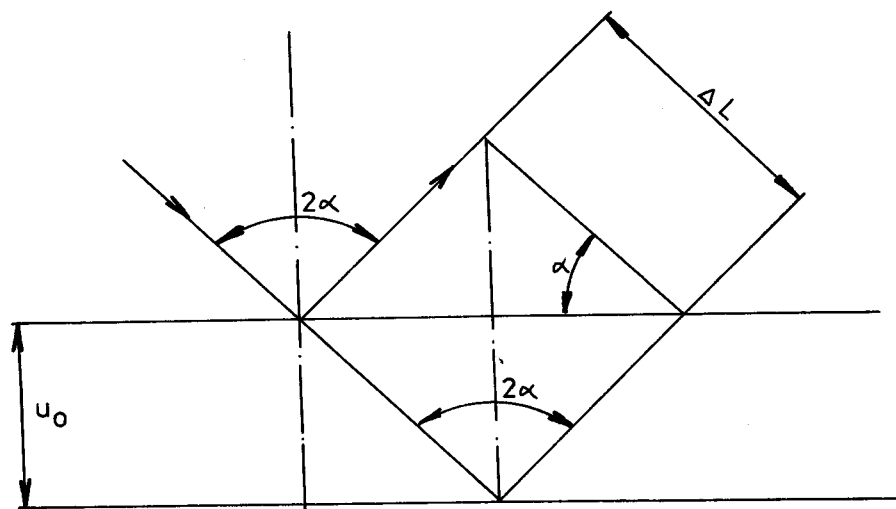
Obr. 23/ Reflexné usporiadanie modulačnej laserovej techniky

Na rozdiel od reflexnej techniky sa u tangenciálnej metódy prevádza modulácia intenzity laserového žiarenia clonením vybrújúceho otáčavého sa systému /obr. 24/.



Obr. 24/ Tangenciálne usporiadanie laserovej modulačnej techniky

Vzťah medzi okamžitou výchylkou vybrácii $\mu(t)$ a zmenou v polohe odrazených lúčov ΔL , vyplýva vzťah medzi amplitúdou μ_0 a zmenou vzdialenosti ΔL , ktorý má tvar ako je uvedené na obr. 25.



Obr. 25/ Odvodenie vzťahu amplitúdy kmitu a zmeny polohy na laserovom zväzku

$$\Delta L = 2u_0 \sin \alpha$$

$$u_0 = \Delta L / 2 \sin \alpha \quad /1/$$

Ak je priebeh vybrácií harmonický, potom okamžitá výchylka $u(t)$ je v tvare

$$u(t) = u_0 \sin \omega t \quad /2/$$

po dosadení do rovníc 1 a 2 dostaneme tvar

$$u(t) = \frac{\Delta L}{2 \sin \alpha} \cdot \sin \omega t$$

Hodnoty $u(t)$, ΔL sa rovnajú $\Delta L(t)$ kmitajú harmonicky, k tomu je potrebné snímať intenzitu svetla fotodetektorom. Ten sa prevádza elektronikou na zmenu elektrického napätia alebo prúdu. Snímané napätie $U = U/I$ je funkciou intenzity svetla I a je pre používané fotodetektory, akými sú napr. kremíkové fotodiódy alebo fotonásobiče, lineárne.

4.0.0. Vlastné riešenie

Pri vlastnom riešení návrhu a konštrukcie využitia modulačnej laserovej techniky k meraniu kvality obrábaných valcových povrchov sme použili tangenciálnu metódu.

Hlavným cieľom bolo dokázať možnosť využitia laserovej modulačnej techniky, a hlavne tangenciálnej metódy modulácie intenzity laserového žiarenia, pri meraní kvality obrábaných rotačných valcových povrchov.

4.1.0. Návrh metódy merania

Celé zariadenie je navrhované s ohľadom na meranie rotujúcich valcových súčastí.

Pri návrhu metódy sme vychádzali z poznatku o modulácii intenzity laserového žiarenia clonením vybrujujúceho otáčajúceho sa systému.

Za predpokladu, že modulácia intenzity laserového žiarenia sa dá dosiahnuť clonením laserového lúča, mal by sa tento efekt dať dosiahnuť za určitých predpokladov aj u merania drsnosti povrchu.

Prvý predpoklad:

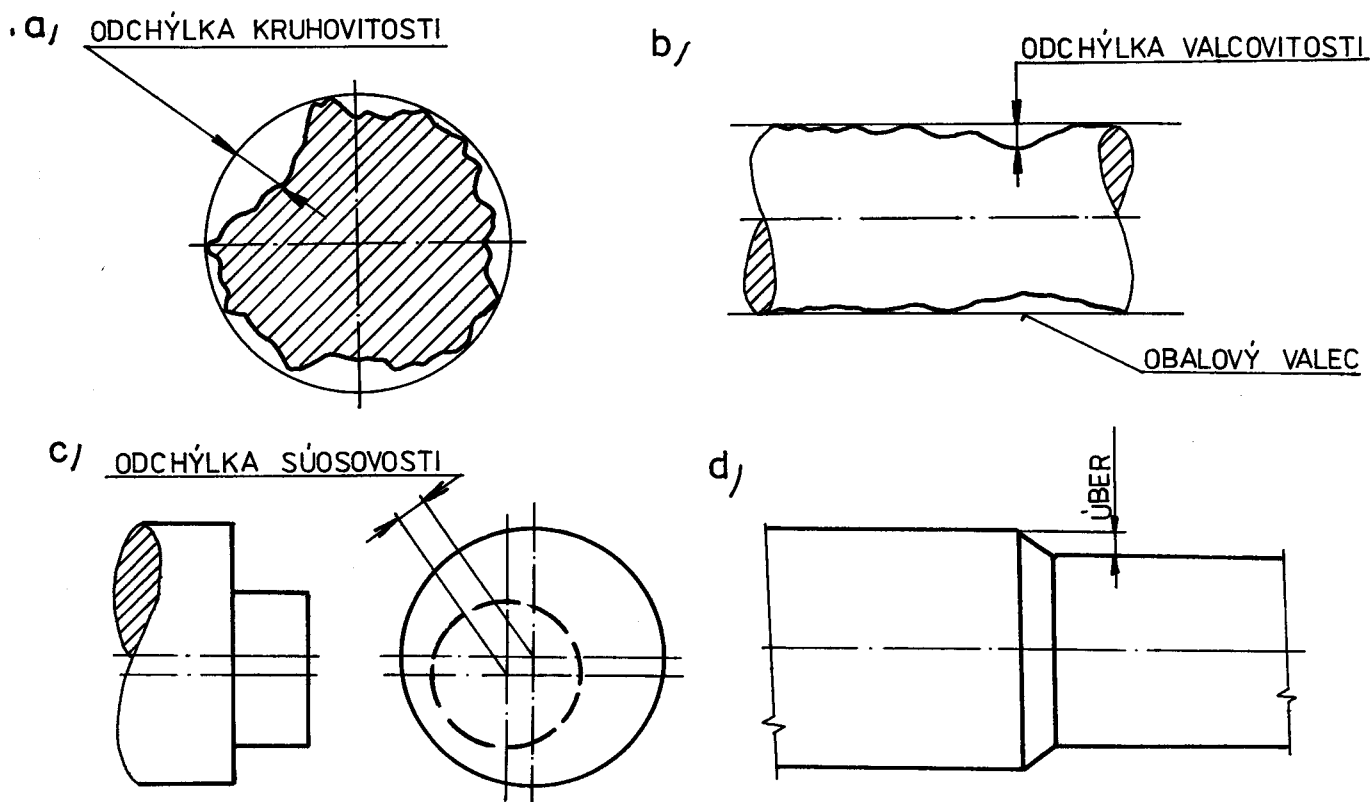
Meraným vzorkom budeme pomaly otáčať. Mikronerovnosti povrchu tohto vzorku, jeho drsnosť, nám budú cloniť laserový lúč, a tým dosiahneme moduláciu laserového lúča.

Druhý predpoklad:

Moduláciu laserového lúča dosiahneme aj v prípade kedy nám štrbinu bude prekrývať a tým modulovať laserový lúč obrobok, ktorý nebude kruhový - meranie ovality a valcovitosti /obr. 27a,b/, obrobok, ktorého os rotácie nebude totožná s osou symetrie - meranie excentricity /obr. 27 c/, da-

lej by sa dal merať úber materiálu a tým spätne riadiť chod a funkcie automatických obrábacích strojov /obr. 27d/.

Na základe týchto predpokladov bolo zostrojené a odskúšané zariadenie na meranie kvality valcových povrchov.

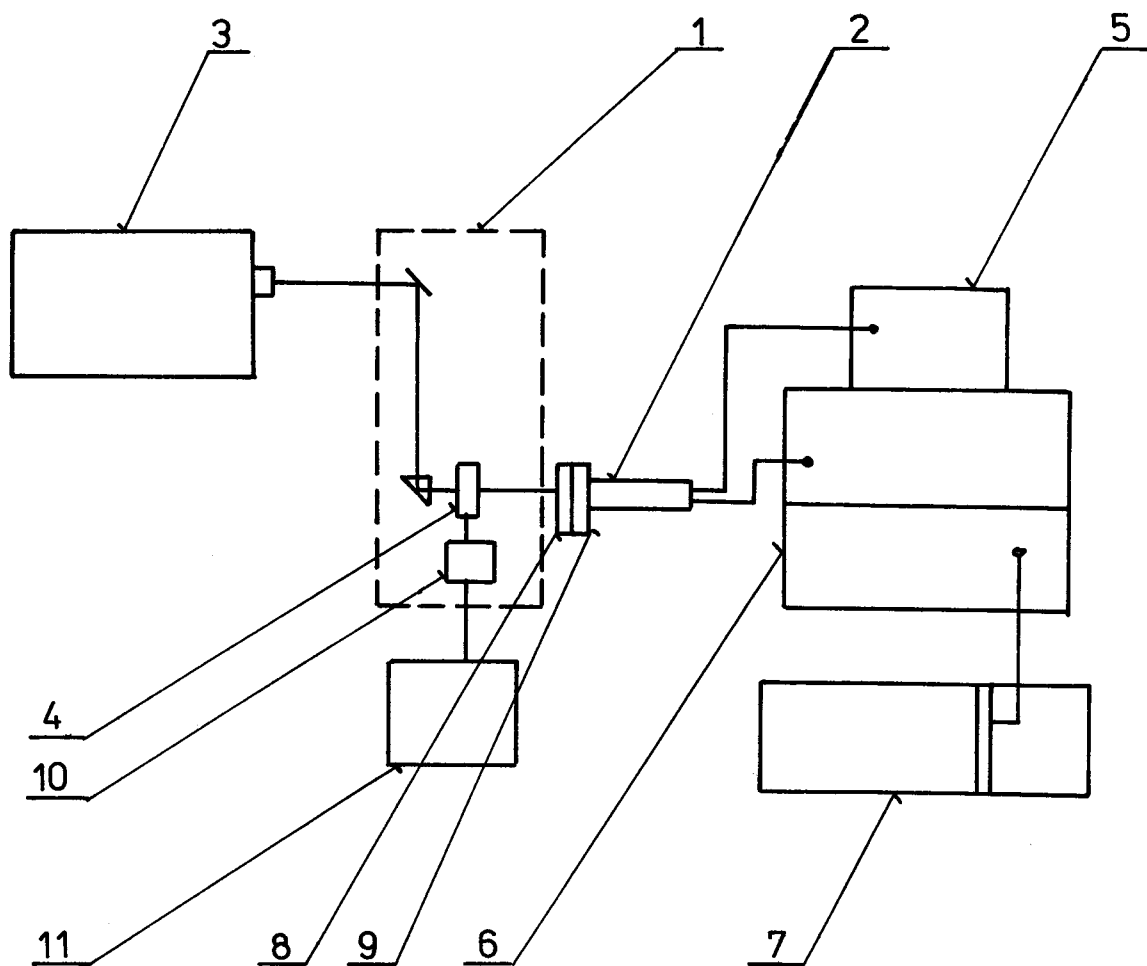


Obr. 27/ Rôzne druhy meraní, ktoré sa dajú zmerať laserovou tangenciálnou modulačnou metódou.

4.2.0. Návrh a konštrukcia zariadenia

Ako základ optickej časti zariadenia sme použili laserové meracie zariadenie k meraniu jedno, dvoj a trojosého kmitania súčastí textilných strojov, ktoré je popísané v /6/.

Ďalej bol použitý jednofrekvenčný He - Ne laser LA 1000, Lineárny zosilovač Tesla NAZ 417, VN zdroj NETZGERÄT Pho 1, fotonásobič FN ZEISSE M10 FS12, súradnicový zapisovač BAK 5T. Prístroje boli zapojené podľa obr. 28.



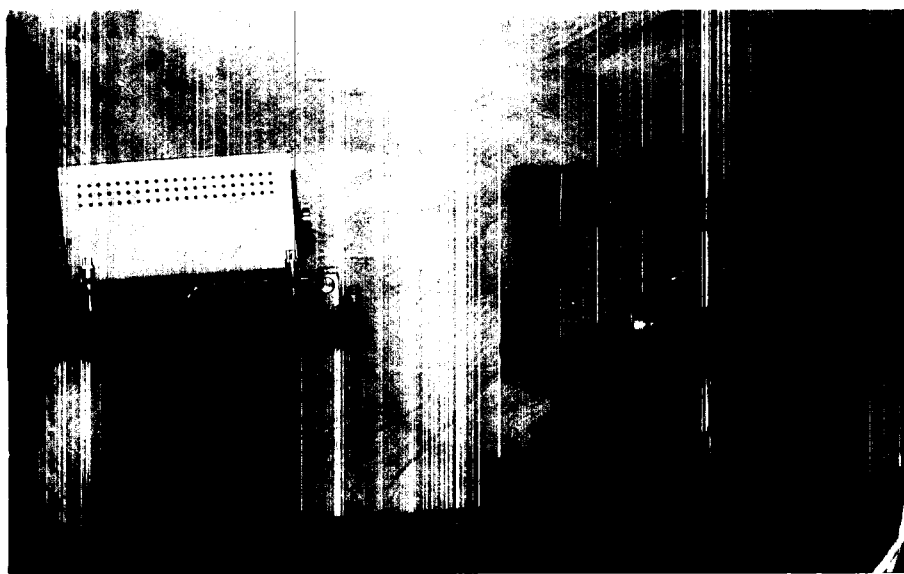
Obr. 28/ Schématické znázornenie zapojenia prístrojov

Laserový lúč išiel z laseru LA 1000 cez optickú sústavu laserového zariadenia na meranie kmitania súčiastok textilných

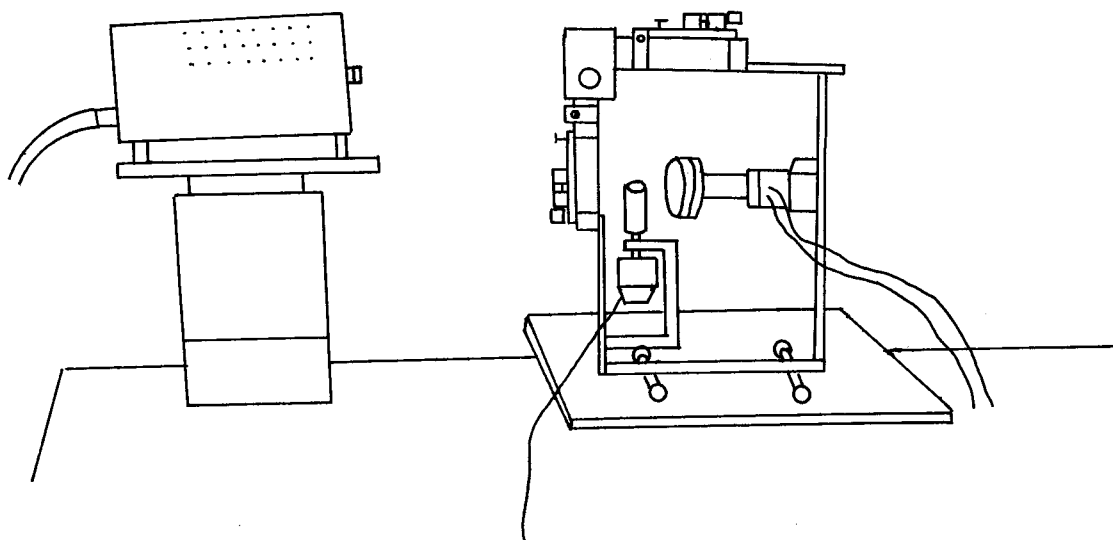
strojov /1/, vytváral dotyčnicu k meranému vzorku /4/, ktorý sa pomaly otáčal. Vzorek bol poháňaný jednosmerným elektromotorom /10/, ktorého otáčky boli regulované regulačným transformátorom /11/. Lúč ďalej prechádzal štrbinou /8/ a cez interferenčný filter 633nm /9/ prichádzal na fotonásobič /2/. Z fotonásobiča, ktorý bol napájaný z VN zdroja /5/ sa modulovaný signál viedol do lineárneho zosilovača /6/. Zo zosilovača, kde sa signál zosilil, sa viedol signál na zapisovacie zariadenie /7/.

Zariadenie na meranie kmitania súčiastok textilných strojov bolo upevnené na základovej nosnej doske vyrobenej podľa výkresu č. 1 v prílohe, skrutkami podľa výkresu č. 2.

Elektromotor bol prichytený k zariadeniu nosnou doskou podľa výkresu č. 3. Základová doska bola priskrutkovaná na vedenie podľa výkresu č. 4, ktorým bolo možné celé zariadenie pripevniť na optickú lavicu laseru LA 1000. Usporiadanie laseru a meracieho zariadenia na optickej lavici je vidieť zo schématického náčrtku obr. 29 a z fotografie č. 1.



fotografia č. 1/ Usporiadanie laseru LA 1000 a optického zariadenia na meranie kvality obrábaných valcových povrchov.

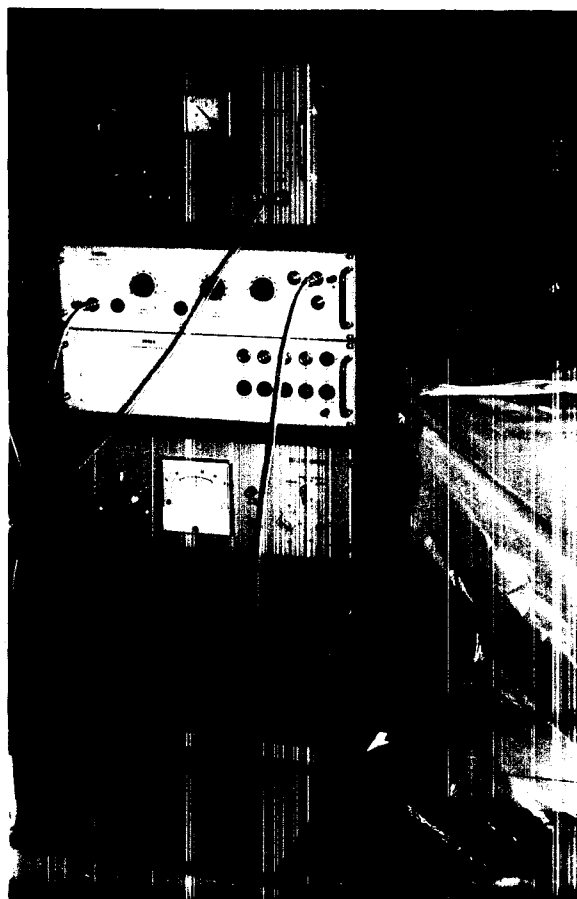


Obr. 29/ Schématické znázornenie usporiadania laseru LA 1000 a meracieho zariadenia na optickej lavici laseru LA 1000.

4.3.0. Použité prístroje na hodnotenie kvality obrábaných valcových povrchov

Ako je vidieť z fotografie č. 2 pri vyhodnocovaní kvality obrábaných valcových povrchov bolo použitých niekoľko prístrojov:

- VN zdroj NETZGERÄT Pho 1, Lineárny zosilovač Tesla NAZ 417, He - Ne laser LA 1000 a súradnicový zapisovač BAK 5T. V tomto usporiadaní sú názorne vidieť i na fotografii č. 2.



fotografia č. 2/ Usporiadanie prístrojov pri meraní kvality
obrábaných valcových povrchov.

4.4.0. Jednofrekvenčný He - Ne Laser LA 1000

Jednofrekvenčný He - Ne laser LA 1000 je stabilný zdroj svetelného žiarenia s vysokou časovou a priestorovou koherenciou, žiariaci na jedinom pozdĺžnom a priečnom kmitavom móde vlnovej dĺžky $0,63299141 \mu\text{m}$. Laser LA 1000 je zostavený z dvoch samostatných dielov, z laserovej hlavice typ LA 120 a elektronickej časti typ LA 110. Obidva diely sú pri funkcii medzi sebou prepojené dvoma káblami.

4.4.1. Hlavica laseru typ LA 120

Hlavica laseru obsahuje výbojovú trubicu naplnenú aktívnym zosilujúcim médiom /zmes plynov He - Ne/, ktorá pôsobí ako zosilovač optického žiarenia. Výbojová trubica je umiestnená v optickom rezonátore, ktorý je vytvorený dielektrickými zrkadlami. Optický rezonátor predstavuje spätnoväzobný člen laserového oscilátoru. Celá konštrukcia optického rezonátoru je z invaru a nevyžaduje žiadne dolaďovanie. Invarové teleso rezonátoru s výbojovou trubicou a dielektrickými zrkadlami je uložené v termostate. Jedno z dielektrických zrkadiel je upevnené v piezoelektrickom krúžku, ktorého rozmery sa dajú meniť priloženým napätím a tým sa udržuje konštantná dĺžka.

Termostatom, ktorý je tvorený výhrevným telesom, termistorom a zadávacími odpormi, je udržiavaná konštantná teplota celého zariadenia po celú pracovnú dobu.

V hlavici laseru sú tiež umiestnené topné odpory, ktoré sú pripojené len po dobu, kedy je výboj laserovej trubice vypnutý a nahrádzajú tak vyžarovanie trubice. Týmto je umožnené rýchle vyrovnanie teploty rezonátoru pri zapnutí výboja vo výbojovej trubici a skrátenie doby potrebnej k ustáleniu tepelných pomerov pred použitím. Schéma hlavice laseru LA 120 je na obr. 30.

4.4.2. Elektronická časť laseru typ LA 110

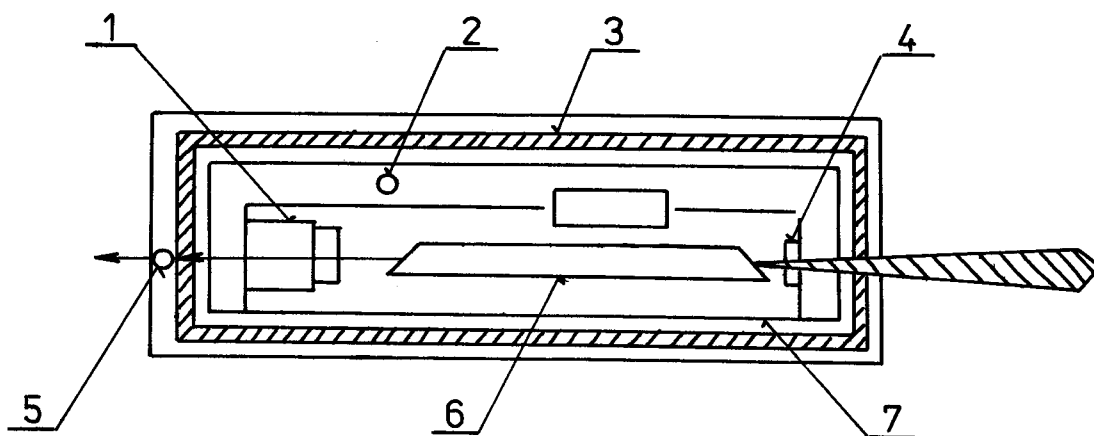
Druhou časťou laseru LA 1000 je elektronická časť, ktorá je zdrojom napätia a signálu zaistujúceho správny chod oboch jednotiek ako celku.

Elektronická časť obsahuje vysokonapäťový prúdovo-stabilizovaný zdroj pre napájanie výbojovej trubice s vysokou stabilitou a malým rušivým napätím. Za pomoci tohto zdroja

sa v trubici vytvára výboj, ktorý vybudí atómy aktívneho plynu na vyššie energetické hladiny. Vznik inverzie v obsadení hladín je prvým predpokladom pre funkciu laserového oscilátoru. Elektromagnetické pole pôsobiace vo vnútri optického rezonátoru stimuluje prechody ďalších a ďalších atómov. Výsledkom je, že sa v rezonátore ustáli intenzita žiarenia, ktorého časť vychádza polopriepustným zrkadlom ako výstupný lúč laseru.

Obvody termostaticizácie kontinuálne udržujú teplotu rezonátoru na konštantnej teplote pomocou termistoru. Súčasne zaisťujú modelovanie tepelného poľa v hlavici laseru i pri vypnutej výbojovej trubici.

Servosystém riadi dĺžku rezonátoru elektrostriekne piezokeramickým krúžkom, na ktorom je uchytané jedno zrkadlo tak, že frekvencia je nastavená na stred emisnej línie izotopov neonu Ne^{20} . Kontrolné a signálne obvody umožňujú rýchlu kontrolu všetkých dôležitých častí zariadení. Ide o výkon laseru, prúd výbojovej trubice, pracovný hod prúdového stabilizátoru, ohrev odchýlky teploty rezonátoru a odchýlky servosystému. Popis zapojenia a ovládania laseru LA 1000 je popísaný v /8/.



Obr. 30/ Schéma hlavice laseru LA 120

- Legenda: 1. - Piezoelement
2. - Termistor
3. - Termostat
4. - Držiak so zrkadlom
5. - Fotodetektor
6. - Výbojová trubica
7. - Teleso rezonátoru

4.5.0. Lineárny zosilovač Tesla NAZ 417

Ide o elektrónkový lineárny zosilovač so stabilizovaným zdrojom na napätie 220 V, 170 V, 150 V, 50 V, ktoré sú potrebné na napájanie žhavenia elektrónok v zosilovači. Lineárny zosilovač sa ovláda veľmi jednoducho. Sieťovým vypínačom sa zapína stabilizovaný zdroj a tým i lineárny zosilovač. Na ovládacej doske lineárneho zosilovača sú tri otočné viacpolohové prepínače a dva jednoduché prepínače. Prvým prepínačom sa prepína vstup, podľa toho, či máme kladný alebo záporný signál. Druhý jednoduchý prepínač slúži na hrubé prepínanie zisku zosilovača buď 40 alebo 60 dB. Jeden z viacpolohových prepínačov slúži na jemné prepínanie zisku zosilovača v dB. Druhé dva prepínače slúžia k regulácii charakteristiky zosilovaného signálu. Jedným sa nastavuje deriváčna konštanta $\nu_{\mu D}$ a druhým integračná konštanta $\nu_{\mu I}$.

4.6.0. VN zdroj NETZGERÄT Pho 1 /Carl Zeiss Jena/

Ide o elektrónkový vysokonapäťový zdroj, na ktorom sa dá napätie regulovať v rozsahu 600 až 2 000 V s výstupným prúdom maximálne 1 mA.

Napájanie fotonásobiča je zapojené do konektoru s označením *Meßkopf* $R_{\lambda} \approx 2,7 \text{ M}\Omega$

Ovládanie VN zdroja je jednoduché. Najprv zapneme sieťový vypínač, potom nastavíme otočným viacpolohovým prepínačom požadovanú hodnotu napätia, ktorú odčítame na V metri. Nakoniec zapneme vypínač vysokého napätia.

4.7.0. Súradnicový zapisovač BAK 5T

Súradnicový zapisovač BAK 5T je moderný plošný zapisovač, určený pre trvalý záznam priebehu napätia v dvoch navzájom kolmých súradniciach. Zápis sa prevádza na papier ľubovoľného formátu do veľkosti 300 x 420 mm. Zapisovač je skonštruovaný stavebníkovým spôsobom. Dajú sa použiť rôzne výmenné jednotky, ktoré sa pripájajú ako vstupné obvody k servomechanizmu. Systém výmenných jednotiek umožňuje dopĺňať vstup každej súradnice nezávisle na druhej súradnici vhodnými obvodmi podľa druhu použitia. V našom prípade sme použili namiesto zosilovača súradnice X časovú základňu TB 1. Týmto usporiadaním sme dosiahli, že zapisovač zaznamenával merané veličiny v závislosti na čase. Podrobný popis zapisovača a návod k obsluhu je v Technickom popise/7/.

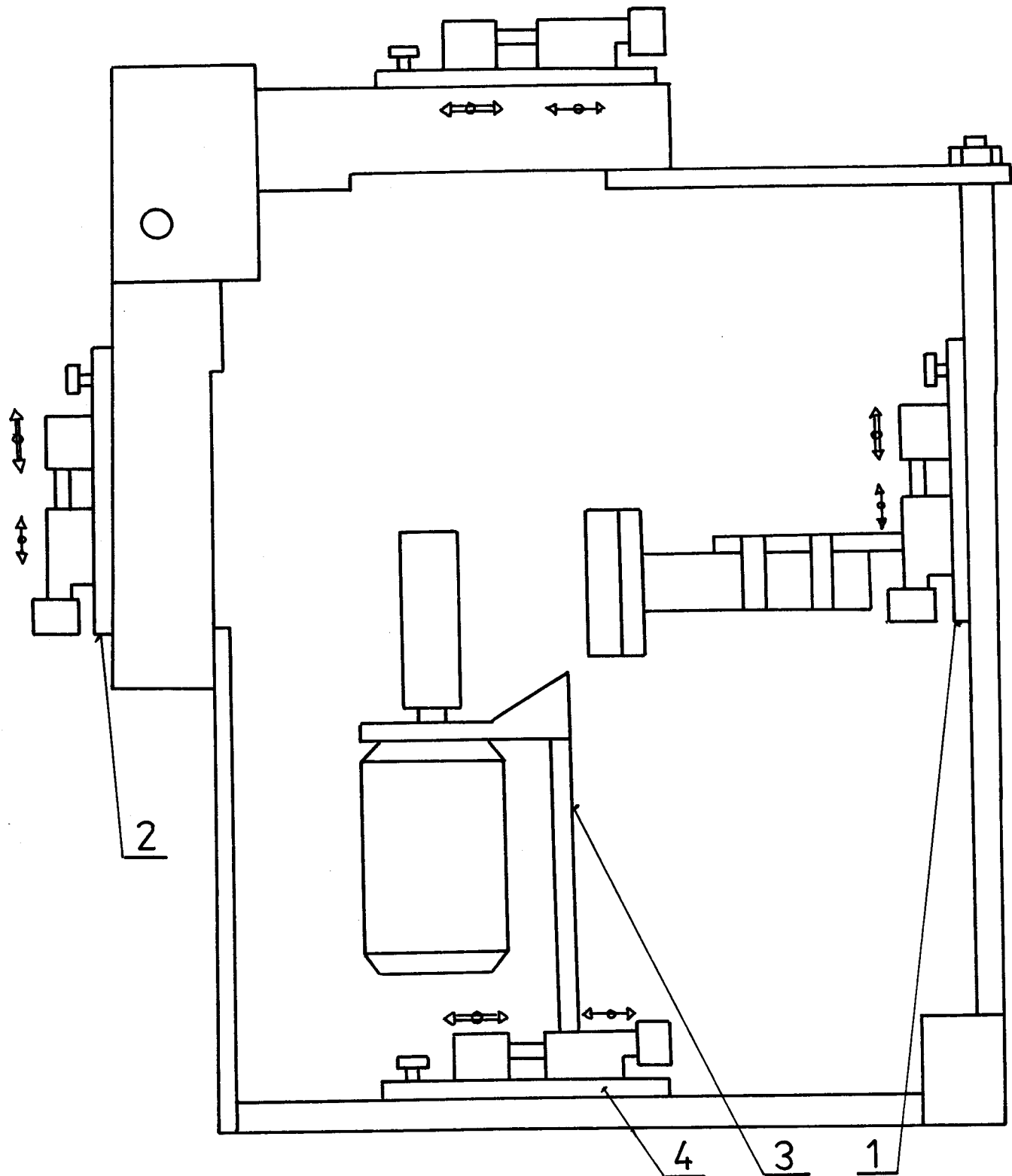
4.8.0. Laserové meracie zariadenie na meranie kmitania súčastí textilných strojov

Ako základ celej sústavy zariadení použitých pri meraní sme použili laserové meracie zariadenie na meranie kmitania súčastí textilných strojov. Toto zariadenie je podrobne popísané v /6/. Zjednodušený náčrt zariadenia je na obr. 31. Laserový lúč vchádzal do hlavice zariadenia, v ktorom bolo umiestnené zrkadlo sklonené pod uhlom 45° . Laserový lúč sa zo zrkadla odrážal na povrch kolmého hranola, kde

sa odráža na jeho uhlopriečkovom povrchu o 90° . Odtiaľ je lúč vedený v horizontálnom smere na skúmaný vzorok. Meranie vyžaduje dotyčnicový dotyk lúča so vzorkom. Dotyčnicový dotyk sa zaistuje posuvom motorku so vzorkom na nosnej doske č. 3. Táto doska s motorom je pripevnená na špeciálnom suporte č. 4, na ktorom sa dá nastavovať vzdialenosť vzorku od fotonásobiča. Hranol, v ktorom sa lúč láme o 90° je prilepený na držiaku, ktorý je pripevnený tiež na špeciálnom suporte č. 2, ktorý má hrubý a jemný posuv. Fotonásobič je pripevnený na obdobnom suporte č. 1. Týmto zariadením môžeme premeriavať kvalitu povrchu vzorku v rôznych miestach vzorku.

Pred fotonásobičom je v špeciálnej prírube zabudovaný interferenčný filter 633 , ktorý prepúšťa iba svetlo z He - Ne laseru, takže môžeme meranie prevádzať za denného svetla.

Príruba je s posuvnou štrbinou a bola vyrobená podľa výkresu č. 5.



Obr. 31/ Zjednodušený náčres optického zariadenia
použíteho pri meraní

4.9.0. Skúšobné vzorky

Vzorky boli vyrobené z ocele 11368 podľa výkresu č. 6. Každá vzorka bola vyrobená s povrchom rôznej drsnosti. Drsnosť bola meraná na prístroji HOMMEL TESTER a je v tab.č. 1.

Tab.č. 1

Vzorok	Drsnosť		Spôsob výroby povrchu
	Ra	Rmax	
1	0,47	2,8	Brúsenie
2	3,6	18,0	Jemné sústruženie
3	7,5	35,0	Sústruženie
4	28,0	115,0	Hrubé sústruženie
5	32,0	125,0	Hrubovanie



Fotografia č. 3/ Vzorky použité k meraniu

5.0.0. Postup merania

Meranie sa vykonávalo na Katedre Fyziky v laboratóriu Ing. RNDr. Lubomíra Sodomku CSc. Optické zariadenie a laser boli pripevnené na optickej lavici laseru LA 1000. Zapojenie prístrojov a celého zariadenia je názorne vidieť v kapitole 4.2.0. na obr. č. 28 a 29 a fotografiách č. 1 a 2.

Aby meranie netrvalo dlho je dobré zapnúť laser ako prvý, pretože potrebuje dosť dlhý čas na termostatizáciu. Podrobný popis spustenia laseru, podľa ktorého sa musíme bezpodmienečne riadiť je popísaný v /8/. Napájanie fotonásobiča pripojíme na VN zdroj NETZGERÄT Pho 1 do konektoru, s označením Messkopf.

Na VN zdroji nastavíme napätie viacpolohovým prepínačom 1400 V. Výstup z fotonásobiča pripojíme na lineárny zosilovač NAZ 417. Pri meraní sa najlepšie osvedčilo nastavenie jednotlivých funkcií zosilovača takto: prepínač derivačnej konštanty na $50\mu\text{A}$, zisk hrubo 60 dB, zisk jemno 14 dB, integračná konštanta $5\mu\text{A}$, vstup na mínus. Výstup zo zosilovača sme zapojili do súradnicového zapisovača BAK 5T, na vstup zosilovača X-ovej súradnice. Namiesto zosilovača Y-ovej súradnice použili sme časovú základňu TB 1. Jednosmerný motor sme pripojili cez usmerňovač v mostíkovom zapojení na regulačný transformátor. Po spustení laseru najskôr musíme nastaviť optické zariadenie do takej polohy, aby laserový lúč dopadal do stredu zrkadla a odrážal sa na povrch kolmého hranola.

Pomocou suportu č. 4, na ktorom máme pripevnený motor so vzorkom si nastavíme požadovanú vzdialenosť od štrbiny pred fotonásobičom. Pri meraní sa ako najvýhodnejšia javila vzdialenosť 35 mm.

Pomocou suportu č. 2, na ktorom je pripevnený hranol,

si môžeme nastaviť ľubovoľné miesto merania. Suportom č.1 nastavíme fotonásobič tak, aby laserový lúč dopadal do stredu fotonásobiča. Nastavíme si motor so vzorkom tak, aby laserový lúč vytváral dotyčnicu ku vzorke. Jednu hranu štrbiny nastavíme rovnobežne s obalovou krivkou vzorku. Pri meraní sa najvýhodnejšie javila medzera štrbiny veľkosti 1 mm. Štrbina je vo vertikálnej polohe pre meranie drsnosti a v horizontálnej polohe pre meranie kruhovitosti a excentricity. Ďalej si nastavíme otáčky elektromotoru, pri meraní sme použili 86 ot/min. na regulačnom transformátore, zapojíme vysoké napätie do fotonásobiča 1400 V a zariadenie je pripravené k meraniu. Polohu a veľkosť štrbiny upravíme tak, aby sme na zapisovači dosiahli čo najväčšej výchylky.

5.0.1. Skrátený prehľad nastavenia prístrojov pri meraní

1. Laser LA 1000

Spustenie laseru podľa návodu k obsluhu /8/.

2. VN zdroj NETZGERÄT Pho 1

- a/ zapnúť sieťový vypínač
- b/ nastaviť otočným prepínačom napätie 1300-1400 V
- c/ zapojiť vypínač pre VN napätie

3. Lineárny zosilovač Tesla NAZ 417

- a/ nastaviť prepínač derivačnej konštanty na $50\mu s$
- b/ nastaviť prepínač zisku hrubo na 60 dB
- c/ nastaviť prepínač zisku jemno na 14 dB
- d/ nastaviť prepínač integračnej konštanty na $5\mu s$
- e/ nastaviť prepínač vstupu na mínus
- f/ zapnúť sieťový vypínač

4. Súradnicový zapisovač BAK 5T

- a/ zosilovač súradnice X - nastavenie citlivosti V/cm na hodnotu 2
- b/ časová základňa - prepínač nastavíme na hodnotu 20 mm/s
- c/ zapnúť sieťový vypínač
- d/ zapnúť vypínač elektrostatického prisávania záznamového papiera.
- e/ zapnúť servomotor
- f/ spustiť písacie pero do pracovnej polohy

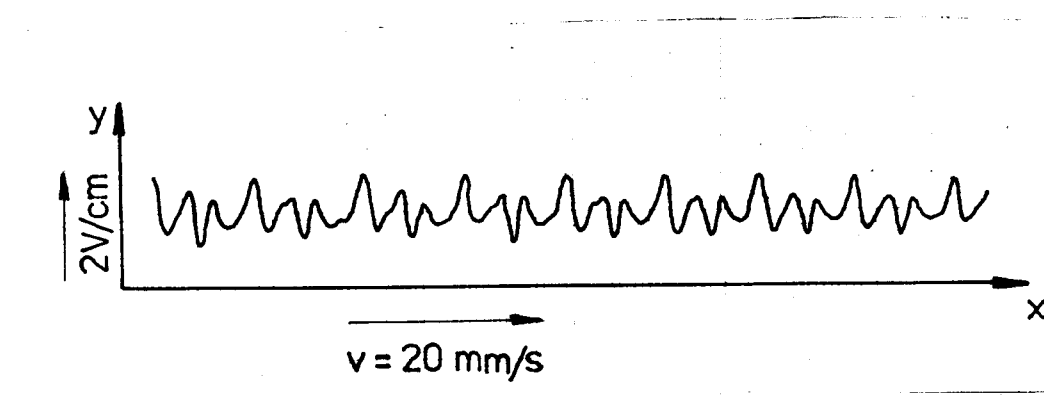
5. Jednosmerný elektromotor

Nastaviť regulačným transformátorom otáčky na 86 ot/min.

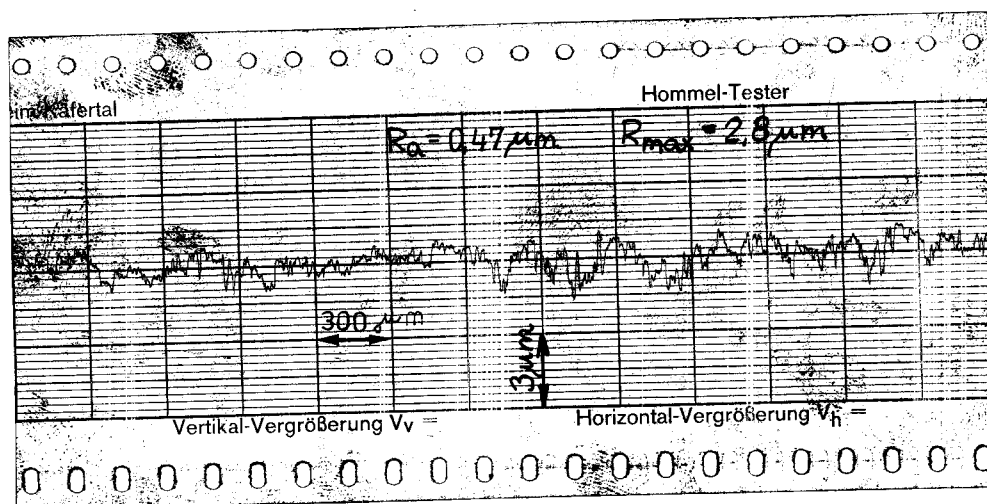
6.0.0. Namerané hodnoty

V prvom prípade, keď bola štrbina v horizontálnej polohe, merali sme nesúososť obalovej krivky vzorku s jeho osou rotácie. V druhom prípade bola štrbina vo vertikálnej polohe a merala sa drsnosť vzorku. Namerané hodnoty zaznamenával súradnicový zapisovač na milimetrový papier. Prístroje boli nastavené podľa popisu v kapitole 5.0.0.

Na vzorku č. 1 je na grafe č. 1 zaznamenaná nesúososť osi obrobku a osi rotácie. Posuv v X-ovej súradnici bol 20 mm/s. Y-ová súradnica bola nastavená na citlivosť 2 V/cm. Pri tomto nastavení ak nebude uvedené inak, prebiehali všetky merania. Drsnosť nebola modulačnou tangenciálnou metódou nameraná. Na grafe č. 2 je zaznamenaná drsnosť vzorku č. 1, ktorá bola nameraná na zariadení Hommel tester snímačom TFE 100.

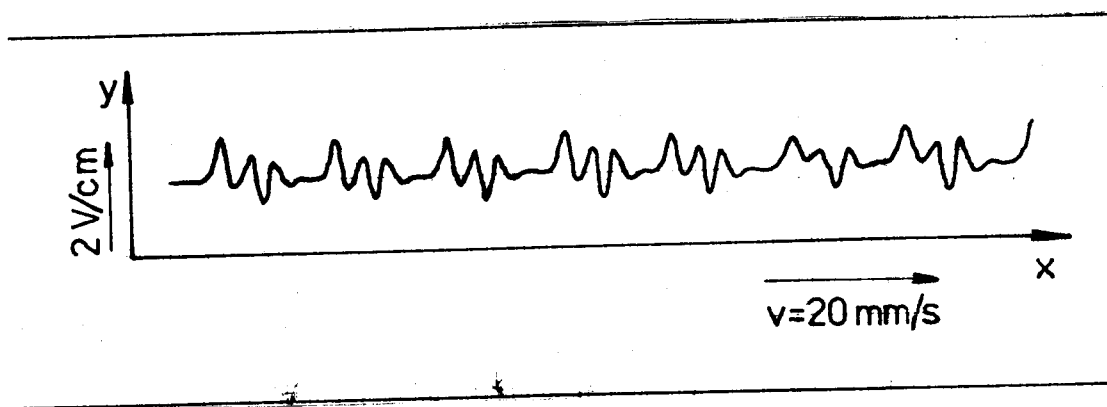


graf č. 1

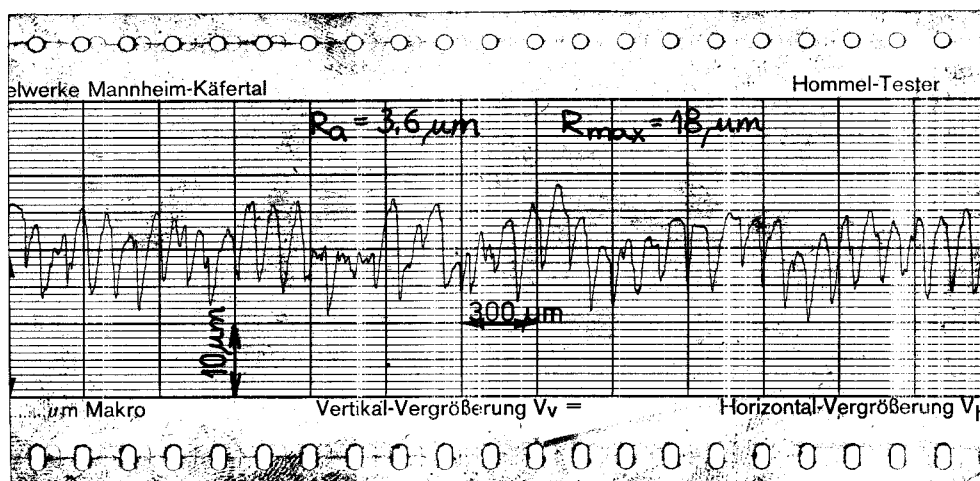


graf č. 2

Na vzorke č. 2 boli namerané obdobné hodnoty ako u vzorky č. 1. Na grafe č. 3 je znázornená nesúososť osi obrobku s osou rotácie, a na grafe č. 4 je zaznamenaná drsnosť vzorku nameraná na zariadení Hommel tester snímačom TFE 100. Modulačnou tangenciálnou metódou drsnosť obrobku nebola nameraná.

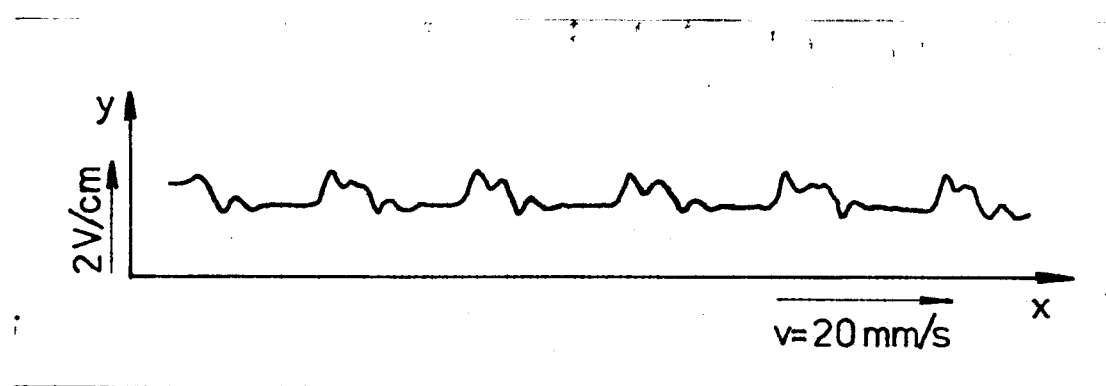


graf č. 3

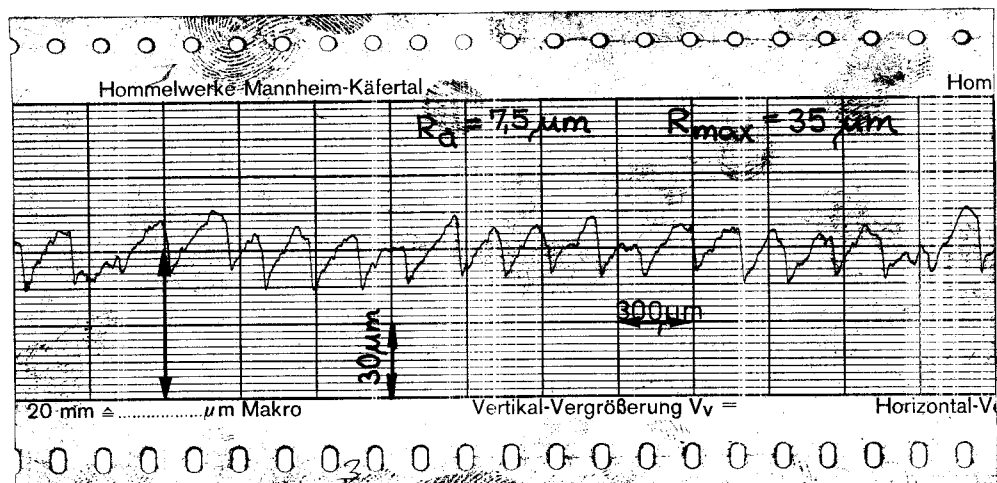


graf č. 4

Na vzorke č. 3 ako u predchádzajúcich vzoriek bola nameraná laserovou modulačnou tangenciálnou metódou iba nesúososť osi obrobku s osou rotácie, ktorá je zaznamenaná na grafe č. 5. Drsnosť vzorku bola nameraná iba zariadením Hommel testerom so snímačom TFE 100 a je znázornená na grafe č. 6.

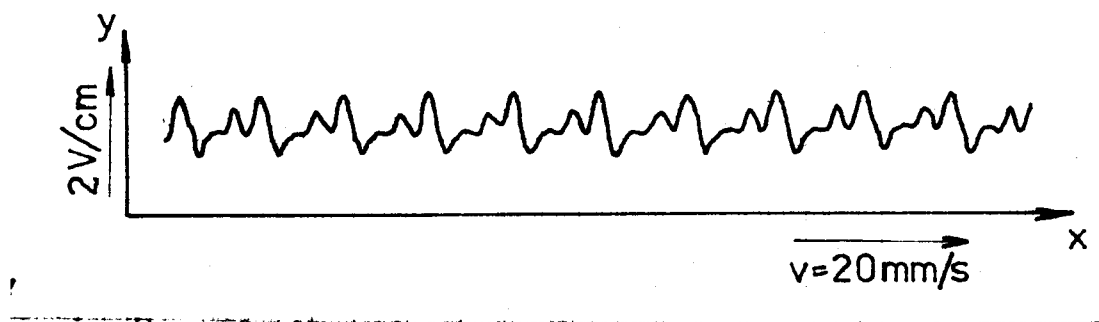


graf č. 5

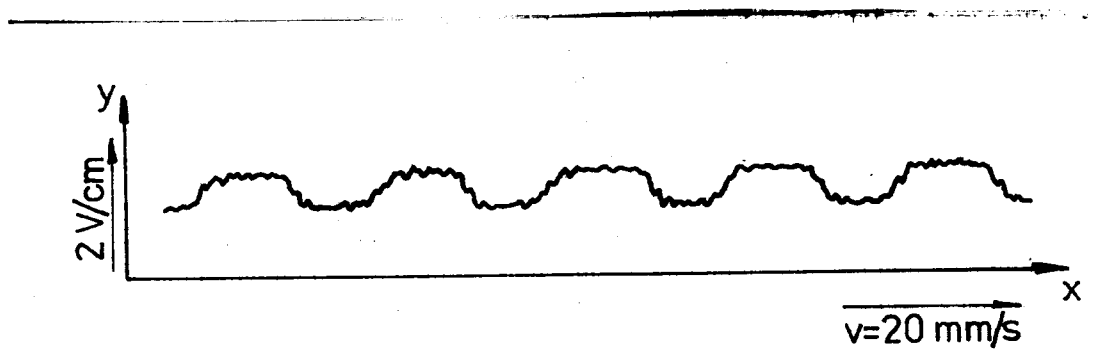


graf č. 6

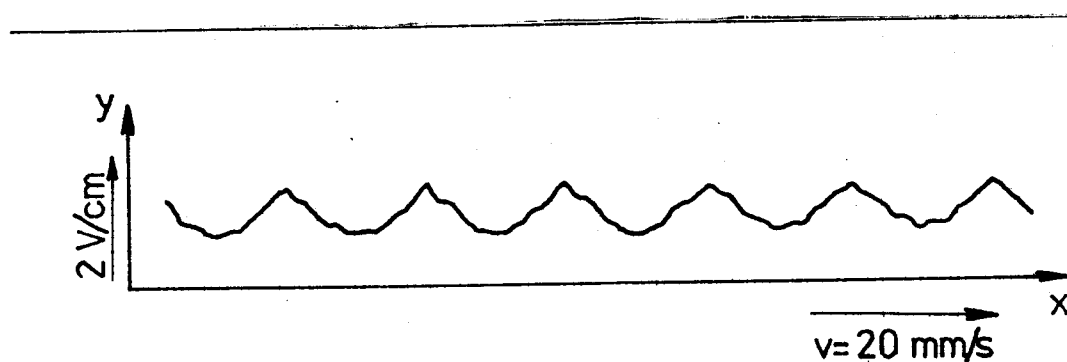
Na vzorke č. 4 bola nameraná okrem nesúososti osi obrobku s osou rotácie graf č. 7 aj drsnosť, a to drsnosť pozdĺžna /v smere rezu/, ako aj drsnosť priečna /kolmá na smer rezu/. Drsnosť pozdĺžna je znázornená na grafe č. 8. Bola nameraná tak, ako nesúososť, štrbina však bola roztvorená na 0,7 mm. Drsnosť priečna je znázornená na grafe č. 9. Táto drsnosť bola meraná tak, že štrbina bola vo vertikálnej polohe. Drsnosť meraná na Hommel testere /drsnosť priečna/ je zaznamenaná na grafe č. 10. Bola nameraná snímačom TF 300.



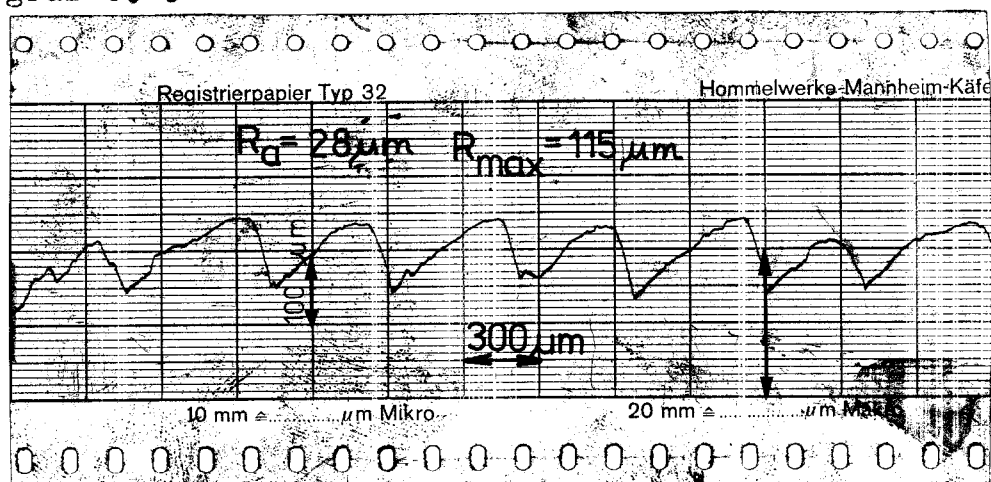
graf č. 7



graf č. 8

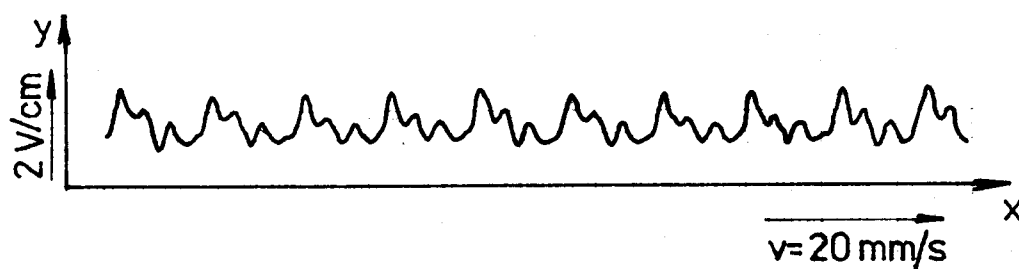


graf č. 9

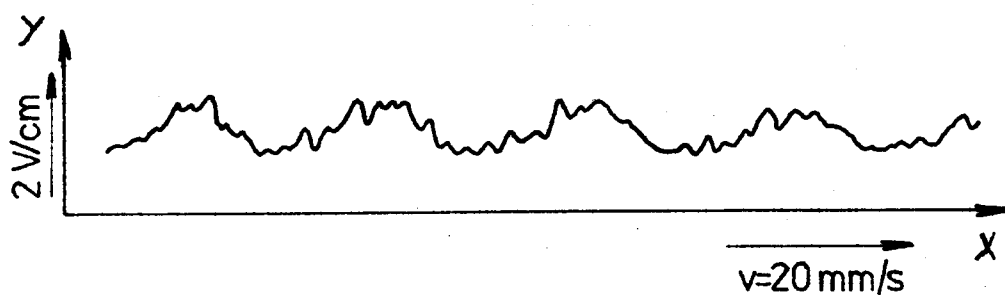


graf č. 10

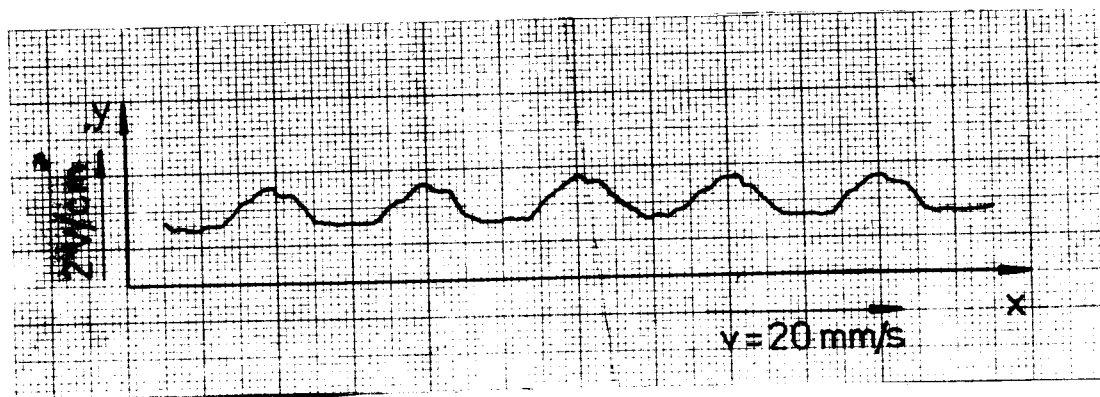
Na vzorke č. 5 sa podobne ako na vzorke č. 4 podarilo namerať vedľa nesúososti aj drsnosť, a to v pozdĺžnom i v priečnom smere. Nesúososť vzorku je zaznamenaná na grafe č. 11. Drsnosť pozdĺžna je na grafe č. 12. Drsnosť priečna je na grafe č. 13. Drsnosť meraná na Hommel testere je zaznamenaná na grafe č. 14. Bola nameraná snímačom TF 300.



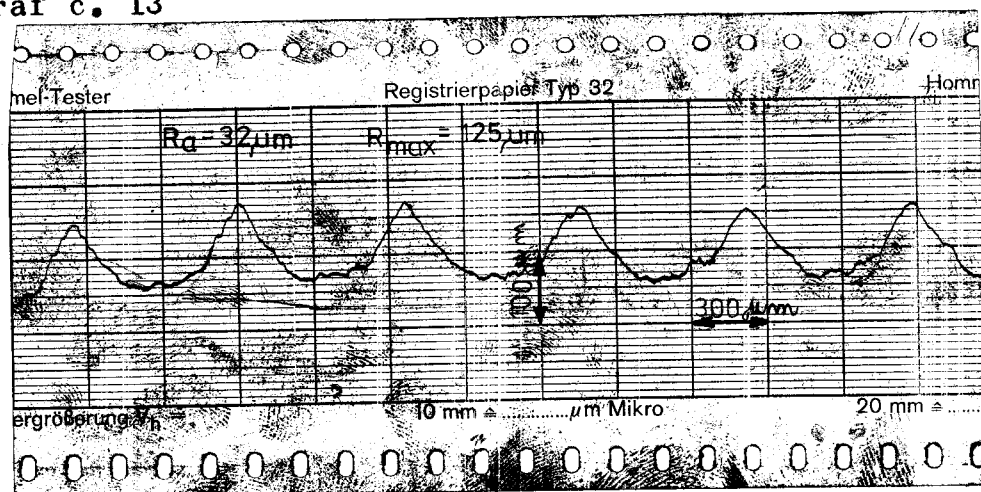
graf č. 11



graf č. 12



graf č. 13



graf č. 14

Nesúososť bola ešte meraná mechanickým úchylkomerom. Hodnoty namerané týmto spôsobom sú v tab. č. 2. Podľa týchto hodnôt sa dajú grafy nesúososti namerané laserovou technikou ociachovať.

Hodnoty zväčšení, ktoré boli použité pri meraní na zariadení Hommel tester sú uvedené v tabuľke č. 3.

Tab. č. 2

Vzorka	Odchýlka súososti mm
1	0,23
2	0,20
3	0,03
4	0,08
5	0,08

Tab. č. 3

Vzor- ka	Ra/Rmax [μ m]	poz-/verti- dĺžne/káľne zväčšenie [μ m]	drá-/cutt ha off [mm]	Použitý snímač
1	0,47/2,8	300/3	6,3/0,75	TFE-100
2	3,6/18	300/10	6,3/0,75	TFE-100
3	7,5/35	300/30	6,3/2,5	TFE-100
4	28/115	300/100	6,3/2,5	TF-300
5	32/125	300/100	6,3/2,5	TF-300

7.0.0. Zhodnotenie merania

Ako je vidieť z priložených grafov č. 1 a 3 vzorkov č. 1 a 2, amplitúdy odchýlky súososti sú približne rovnaké. Na vzorke č. 2, graf č. 3 je medzi jednotlivými rozkmitmi viditeľný výrazný rozdiel v čase trvania nulovej hodnoty signálu oproti grafu č. 1 vzorke č. 1.

Na vzorke č. 3 graf č. 5 je viditeľný ešte viac výrazný rozdiel v čase trvania nulovej hodnoty signálu ako u predchádzajúcich vzoriek, čo odpovedá i veľkosti odchýlky súososti. Drsnosť u týchto vzoriek nebola nameraná z dôvodu zastaralých a opotrebovaných prístrojov. Štrbina sa dala zovrieť maximálne na veľkosť otvoru 0,7 mm. Pri menšej medzere ako 0,7 mm sa celá optická sústava nekontrolovateľne rozkmitala. V laboratóriu je drevená podlaha a ukotvenie optickej lavice nie je pevné.

Na vzorke č. 4 graf č. 7 a na vzorke č. 5 graf č. 11 je vidieť, že veľkosť odchýlky súososti je prakticky rovnaká, zaujímavé je to, že krivky sú si celkom podobné, ale vyzerajú, akoby boli zrkadlovo oproti sebe otočené. U oboch vzoriek je vidieť na grafoch č. 8 a 12, ktoré znázorňujú pozdĺžnu drsnosť, amplitúdy nesúososti, na ktorých je táto drsnosť namodulovaná. Keďže hodnoty pozdĺžnej drsnosti na prístroji Hommel tester neboli namerané nedá sa táto drsnosť na grafoch č. 8 a 12 porovnať a ociachovať.

Na vzorkách č. 4 a 5 sa podarilo namerať priečnu drsnosť preto, lebo drsnosť hodnoty $R_a 28 \mu m$ alebo $R_a 32 \mu m$ sa porováha viac na závit, než na obrobený povrch.

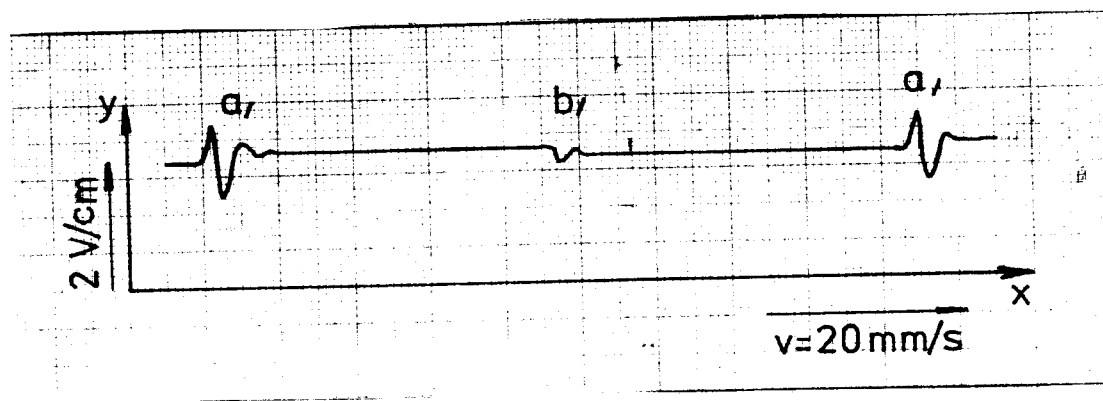
Z tohto dôvodu nemusela byť medzera štrbiny menšia než 0,7 mm a tým sa zabránilo vzniku nekontrolovateľného rozkmitania celej sústavy. Priečna drsnosť vzorku č. 4 je na grafe č. 9 a drsnosť vzorku č. 5 na grafe č. 13. Pre porovnanie je na grafe č. 10 a grafe č. 14 uvedená drsnosť vzor-

kov č. 4 a 5, ktorá bola nameraná na prístroji Hommel tester.

Z grafu č. 15 je vidieť, že fotonásobič osvetlený plným laserovým žiarením sa zahlcuje:

- a/ pri skokovej zmene intenzity žiarenia na nulovú hodnotu vznikajú parazitné impulzy,
- b/ pri skokovej zmene z nulovej hodnoty intenzity žiarenia na plný laserový tok tieto parazitné impulzy nevznikajú.

Preto by bolo vhodné pri budúcom meraní regulovanie intenzity laserového žiarenia polarizátorom. Optické zariadenie použité pri meraní je prispôsobené pre použitie polarizátora. Presný popis kde treba umiestniť polarizátor je v /6/.



graf č. 15

Z á v e r

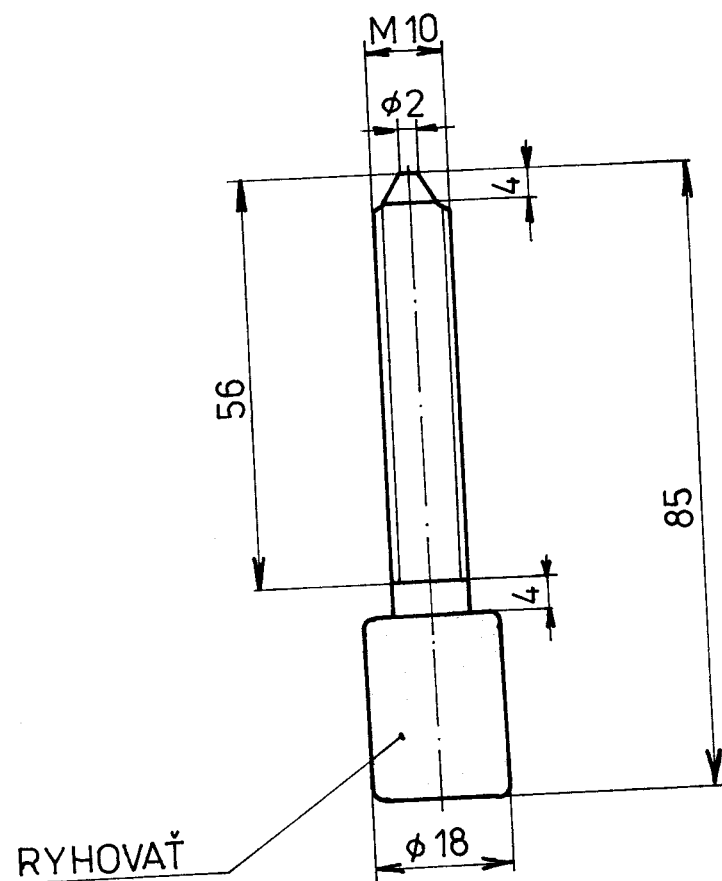
V predloženej diplomovej práci sú zhrnuté poznatky o metódach kontroly obrábaných povrchov.

V ďalších kapitolách je prevedený návrh metódy i návrh konštrukcie zariadenia, ktoré by využívalo modulačnú laserovú techniku k meraniu kvality obrábaných valcových povrchov. Zariadenie bolo odskúšané a bolo dokázané, že je schopné okrem drsnosti merať i odchýlku súososti. Meranie bolo vykonávané v laboratórnych podmienkach. Bolo zostavené experimentálne meracie pracovisko, na ktorom sa merania vykonávali.

Ak by bolo možné použitie presnejších, kvalitnejších a modernejších elektronických prístrojov, hlavne lineárneho zosilovača a ak by sa meranie vykonávalo v laboratóriu izolovanom od otrasov, dali by sa namerané hodnoty výrazne spresniť.

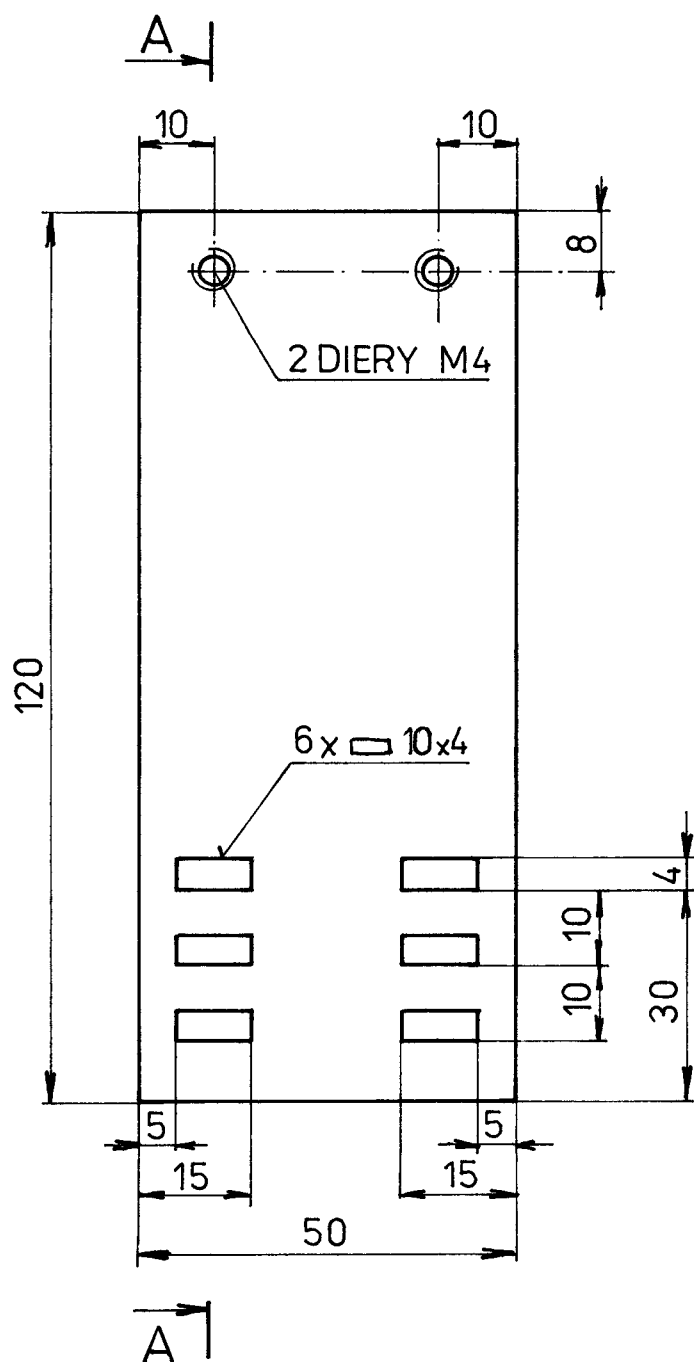
P o u ž i t á l i t e r a t ú r a

1. Dráb V. Technológia I skriptá VŠST
Liberec 1985
2. Krejčíř O. Základy strojného inžinierstva
skriptá VŠST Liberec 1981
3. Vysloužil Z. Meranie v strojárstve
Zellko J. Alfa 1973
4. Mlčoch Meradlá a meranie v strojárňach
Práca Praha 1955
5. Mlčoch Strojársenská metrológia
ČVUT 1971
6. Ali-Kara-Fallah Diplomová práca VŠST
Liberec 1985
7. Technický popis a návod k obsluhu
súradnicového zapisovača BAK 5T.
Publikácia Závodu priemyselnej automa-
tizácie Čakovice, n.p.
8. Laser LA 1000 Metra Blansko
Návod k obsluhu
9. Sodomka L. Strojársenská ročenka
Bratislava Alfa 1984
10. Sodomka L. Strojársenstvo 33 1983, č. 8
Govindaraj M.
11. Govindaraj M. Kandidátska práca VŠST Liberec 1982
12. Sodomka L. JMO 1982, č. 4
13. Sando T et al IEEEJ Quantum Electronics
QE - 31967 No. 11
14. Hanzl J. Kandidátska disertačná práca VŠST 1985

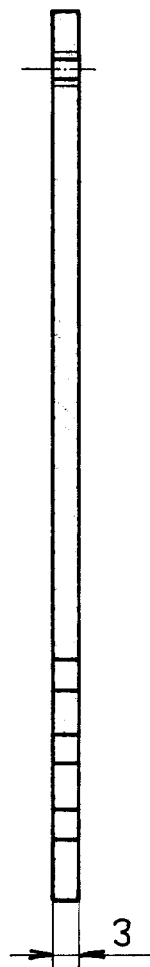


ZRAZIŤ HRANY $1,5 \times 45^\circ$

TYC		ČSN 425510	11500	$\phi 18-85$
WAGNER		Material		
1:1	WAGNER	Změna		
VŠST	SKRUTKA 2	Starý výkres		
LIBEREC		1	2	4-KOM-OM-565-00-02
		3	4	

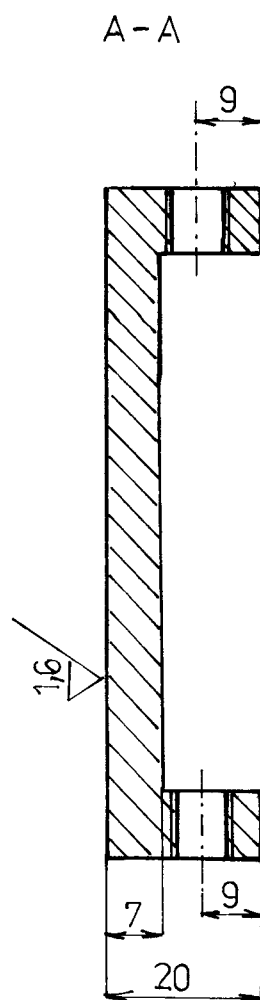
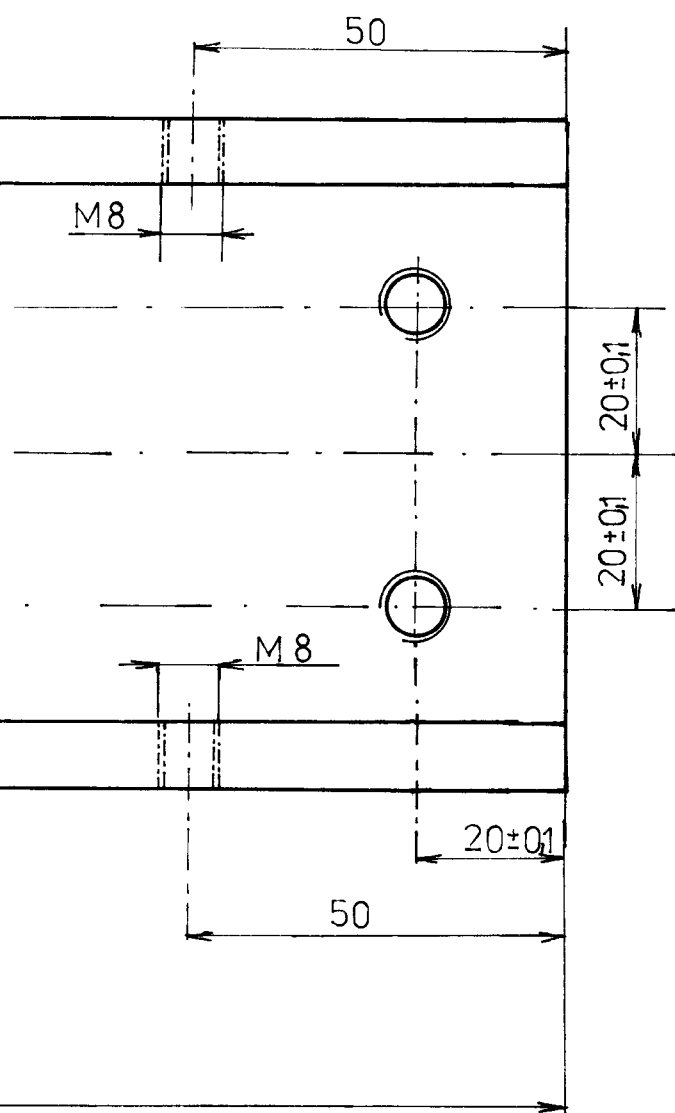


REZ A-A

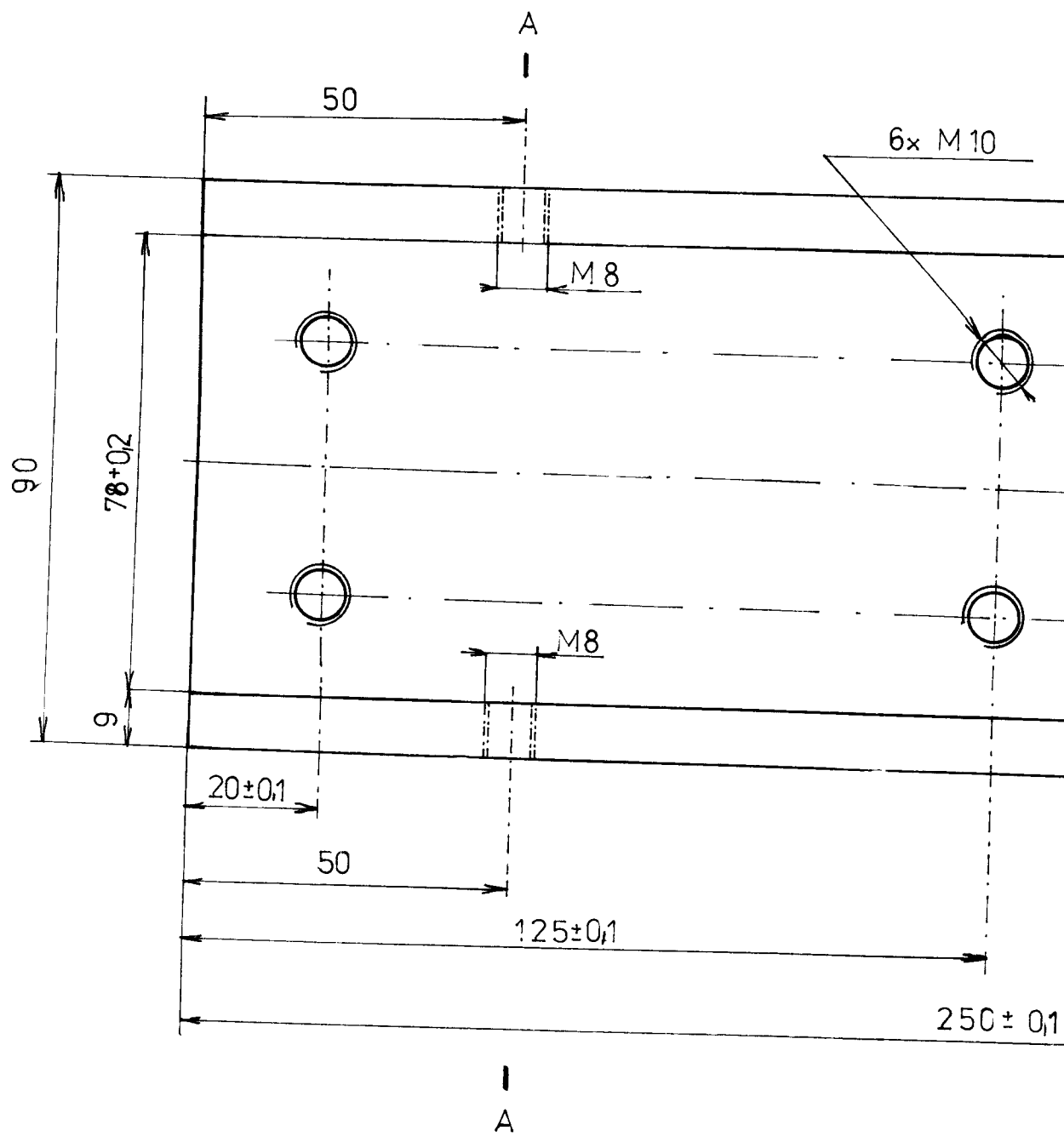


PLECH	ČSN 425 310	10 370.0	3,5 × 52 × 122
Norma	Technolog	Stary v kres	1
WAGNER		2	
1:1		3	
VŠST	NOSNÁ DOSKA	4-KOM-OM-565-00-03	
LIBEREC			

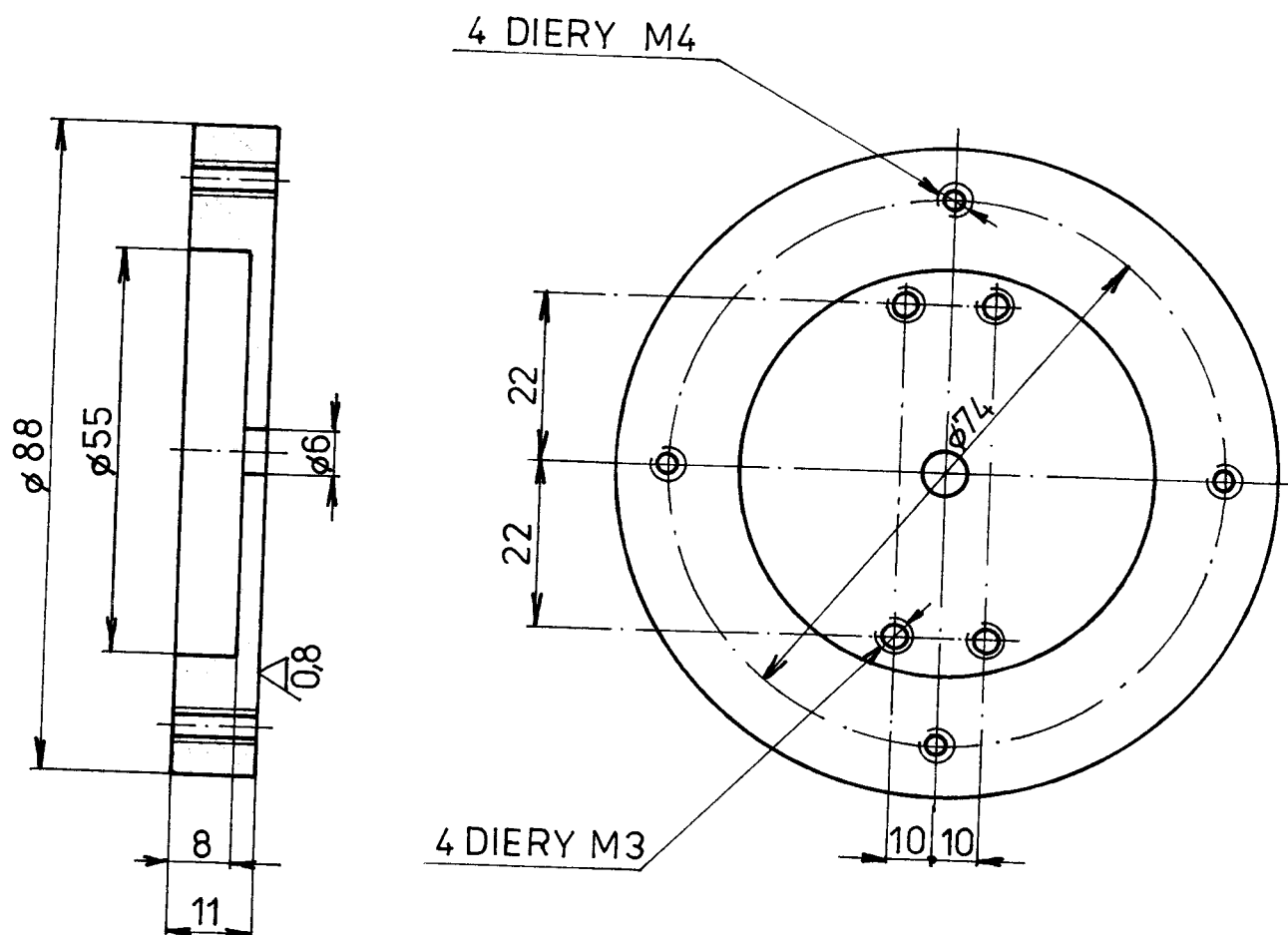
3.2 / (✓)



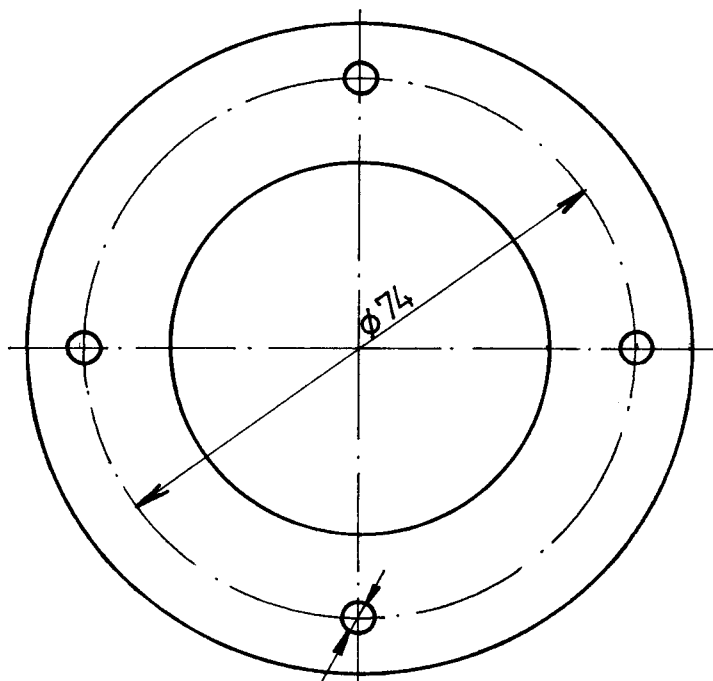
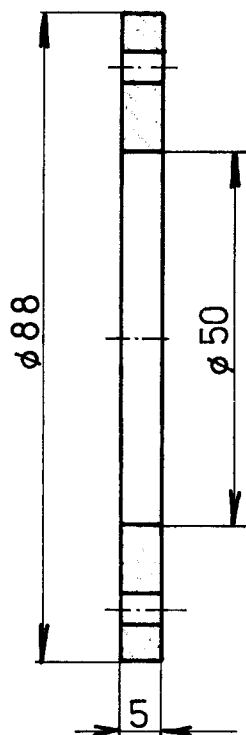
PLECH		ČSN 425310		11700	22x95x255	
Norma		Norma		Norma		
Stupeň	Meradlo	WAGNER				
	1:1					
VŠST		VEDENIE				
LIBEREC						
				3-KOM-OM-565-00-04		



1,6 (▽)

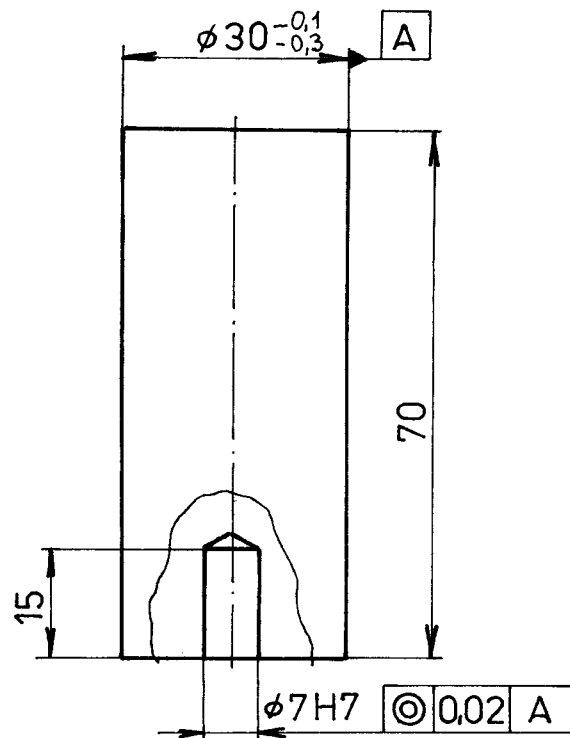


Značka		Hliník		$\varnothing 88-15$	
Stupeň		Kreslil		WAGNER	
Meradlo		Kontrola		Schválil	
1:1					
VŠST		VEKO		4-KOM-OM-565-05-01	
LIBEREC					



4 DIERY $\phi 4,2$

		HLINIK $\phi 88-7$	
Číslo části	Název - Norma		
Stupeň	Měřítko	Návrh	Stav
	1:1	WAGNER	
		Kontrola	
		Revizní	
VŠST LIBEREC	PRÍRUBA		Stav výkresu
	1	2	
	3	4	
			4-KOM-OM-565-05-02

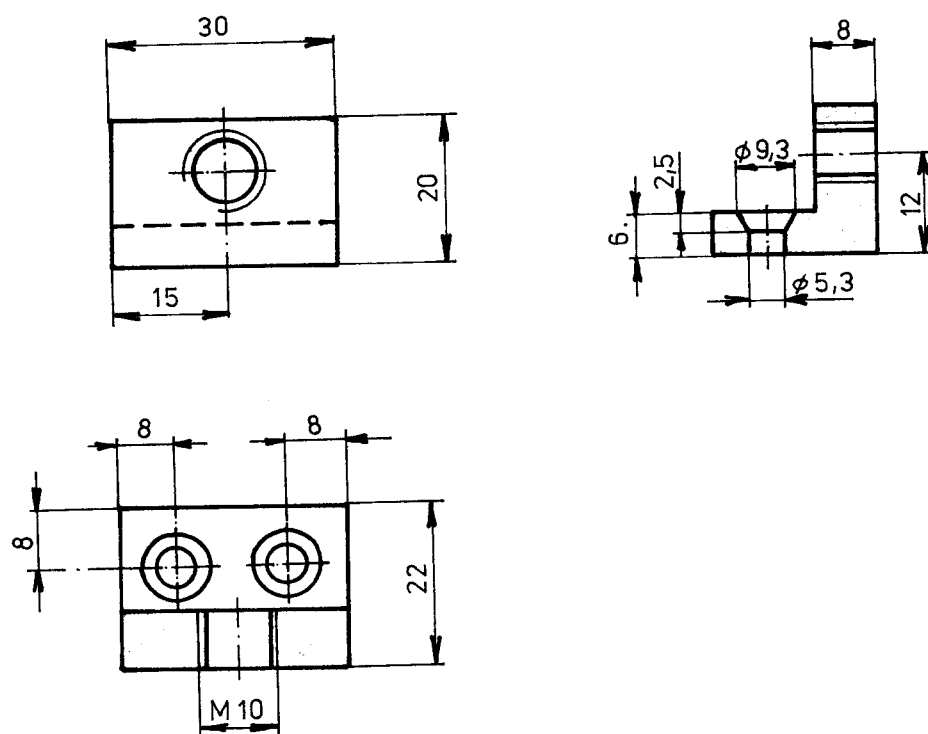


TYC	ČSN 425510	11 368	Ø 32 x 75
Číslo kresla	Podpis Norma	Číslo kresla	Číslo kresla
Stupeň zvětšení	Podpis WAGNER	Stupeň zvětšení	Stupeň zvětšení
1:1	Podpis	Stupeň zvětšení	Stupeň zvětšení
VŠST	VZORKA	Stupeň zvětšení	Stupeň zvětšení
LIBEREC	DRSNOSTI	Stupeň zvětšení	Stupeň zvětšení
		4-KOM-OM-565-00-06	



ZRAZIŤ HRANY 1x45°

TYČ	ČSN 425510	11500	Ø 15-32
Účel cena	Norma	Norma	Norma
Skupina	Meradl	Technická	
1:1	Kreslil WAGNER		
	Kontroloval		
	Schválil	Číslo	
VŠST LIBEREC	SKRUTKA 1	2	4-KOM-OM-565-00-07
		4	



TYČ		ČSN 425522		11500		30x20-22			
Číslo části	Norma - Norma			Číslo na výkres	Materiál		Přesná fyzická norma		Krubička
Stupeň	Meradilo	Technický		Změna		Datum		Kontrola	
	1:1	WAGNER							
		Kontrola							
		Schválil							
VŠST LIBEREC		ÚCHYTKA		Starý výkres		Nový výkres			
				1 2		4-KOM-OM-565-00-08			
				3 4					