

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

9.1. ANALIZA GREŠAKA IZRADE ZUPČANIKA

Zupčanik je komplikovan mašinski deo, koji iziskuje visoki nivo obrade i kontrole. Zupčanici se izrađuju livenjem, valjanjem ili obradom skidanjem strugotine. Kod izrade zupčanika skidanjem strugotine primenjuje se:

- direktna metoda obrade profilisanim alatom i
- indirektna metoda obrade odvalnim kotrljanjem.

Greške koje nastaju pri obradi, korišćenjem bilo koje od ovih dveju metoda, utiču na otpornost zupčanika na habanje, na buku koju proizvode u radu, na prenos snage i pojavu oscilacija. Pošto je, kako je rečeno, zupčanik komplikovan deo, ima i više izvora grešaka, koje mogu negativno da utiču na njegov kvalitet. Tako greške mogu nastati usled netačnosti orudja za proizvodnju (alata, mašine, tehnoloških pribora i trnova) ali i neispravno postavljenog i centriranog alata ili obradka, zatim greške u izradi tela zupčanika, kao i neispravne tehnologije u pogledu određivanja bazne površine ili redosleda operacija i drugo.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

U praksi se, obično, utvrdi koja mera netačnosti je dozvoljena, da bi se postigle dovoljno dobre osobine zupčanika za upotrebu. Vrste grešaka i dozvoljena odstupanja sistematizovana su standardima ISO, DIN, GOST, JUS itd.

Propisi o tačnosti i kvalitetu zupčanika, koji su izrađeni 1967. godine u obliku ISO-Standard 1328 (Paraliel Invoiuete Geors), Tehnički komitet za zupčanike je poslao članicama na razmatranje pa je nakon izmena i dopuna usvojen 1975. godine.

Standardi JUS-a koji se odnose na problematiku zupčanika su:

- JUS M.C1.011 - Opšte definicije zupčanika
- JUS M.C1.012-019 - Definicije cilindričnih, koničnih i hiperbooidnih zupčastih parova
- JUS M.C1.030-036 - Definicije odstupanja i dozvoljene tolerancije
- JUS M.C1.039 - Podaci na crtežima

Standardni DIN-a koji se odnose na zupčanike: DIN 3960, DIN 3961, DIN 3963, DIN 3965 i DIN 3971.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

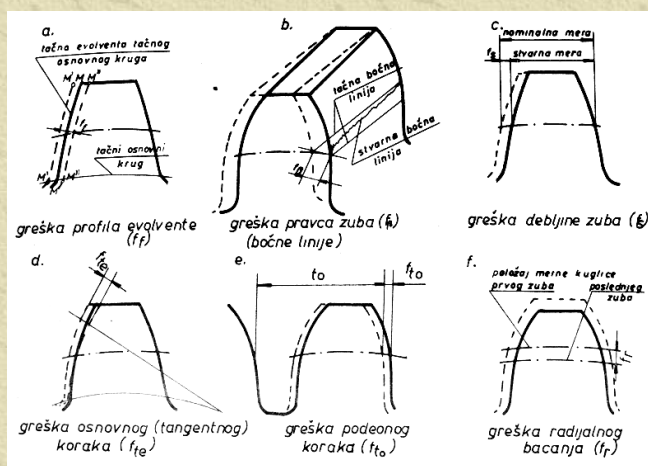
Kontrola zupčanika može da se sprovede kao:

- funkcionalna (kompleksna)
- pojedinačna (diferencijalna).

Funkcionalna kontrola obuhvata kontrolu međusobnog rada zupčanika sprežanjem, traga nošenja i buke.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Pojedinačna kontrola može da se sprovede kao kontrola (slika): profila zuba - evolvente (a), bočne linije zuba (nagiba zavojne linije 3) (b), debljine zuba i mere preko više zuba (c), osnovnog i tangentsnog koraka (d,e), centričnosti i aksijalnosti (radijalno bacanje) (e), i međusobnog položaja osa zupčanika.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Savremena kontrola daje prednost kontroli sprezanjem, jer omogućava dobijanje informacija i upotrebljivosti zupčanika, a ne o pojedinačnim greškama. Kontrola pojedinačnih grešaka ne daje uvek željene rezultate, jer se u radu zupčanika pojedinačne greške mogu medjusobno kompenzirati. Na taj način bi zupčanik koji bi u radu bio upotrebljiv, mogao biti odstranjen.

Kompletna kontrola pojedinačnih odstupanja vrši se, međutim, kod vrlo preciznih zupčanika, zatim kod prvog komada pri izradi serije, kao i pri proveri u toku tehnološkog procesa, metodom uzorka. Ovakva kontrola se koristi, takodje, i u istraživačkom radu, kada se želi otkriti uz-rok velikih odstupanja, koji se javljaju pri uobičajenoj kontroli medjusobnog rada zupčanika.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Zupčanici su svrstani u 12 kategorija po tačnosti. Za sve tolerancije je predviđeno po 12 kvaliteta, izuzev za tolerancije osnog rastojanja, za koje je predviđeno 6 kvaliteta.

Oznaka načina kontrole i tolerancije zupčanika sastoji se iz slovnih i brojčanih oznaka. Kontrola sprezanjem označava se slovnom oznakom (S), odnosno kontrola preko jednog boka zuba tangencijalna metoda sa (S'), a preko dva boka profila radijalna metoda sa (S''). Pojedinačna kontrola označava se slovom (E).

Oznaka za pojedinačnu kontrolu zupčanika, ako je na primer, kvalitet zupčanika 6, tolerancijsko polje mere preko više zubaca db, a kvalitet osnog rastojanja 3, imala bi oblik:

E.6 db 3 JUS M.C1.031.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

9.2. MERENJE KINEMATSKE (ZBIRNE) GREŠKE ZUPČANIKA

Merenje zbirne greške je, ustvari, kontrola medjusobnog rada zupčanika, odnosno kontrola sprezanjem. Kao što je prikazano, na jednom zupčanicu se može napraviti veliki broj pojedinačnih grešaka koje se specijalnim instrumentima i uređajima mogu izmeriti. Međutim, ovo bi bio vrlo skup postupak, tako da se ovako izuzetno visok zahtev kontrole postavlja samo za vrlo precizne delove, dok se za normalnu proizvodnju, kontrola pojedinačnih vrednosti ograničava na nekoliko najvažnijih. Odluka, koje će se veličine kontrolisati, zavisi, naime, od zahteva koji se postavljaju pred radni deo.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Uz pojedinačnu kontrolu se vrlo često ipak, koristi i kompleksna kontrola zupčanika, koja omogućuje dobru ocenu kvaliteta ozubljenja i rada para zupčanika.

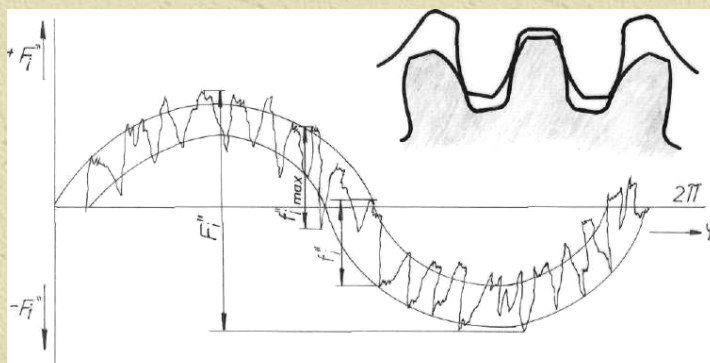
Kontrola sprezanjem se vrši:

- radijalnom metodom (preko dva boka profila zuba) i
- tangencijalnom metodom (preko jednog boka profila).

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

9.2.1. METODA I UREĐAJI ZA KONTROLU ZUPČANIKA PREKO DVA BOKA PROFILA ZUBA (RADIJALNA METODA)

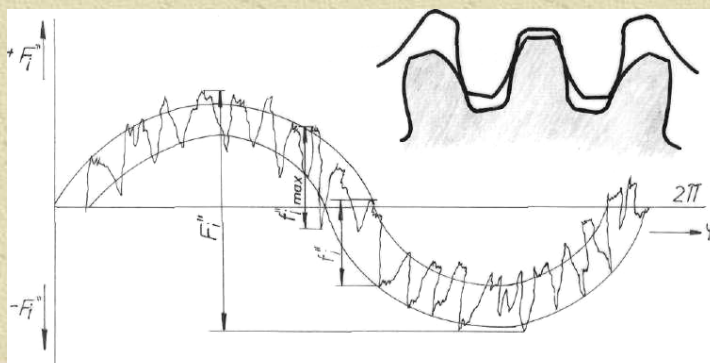
Kod ove metode dva zupčanika se dovode u zahvat bez bočnog zazora, tako da se levi i desni bokovi zuba dodiruju (slika), što se postiže elastičnim radijalnim pritiskivanjem jednog zupčanika u odnosu na drugi, stalnom silom.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

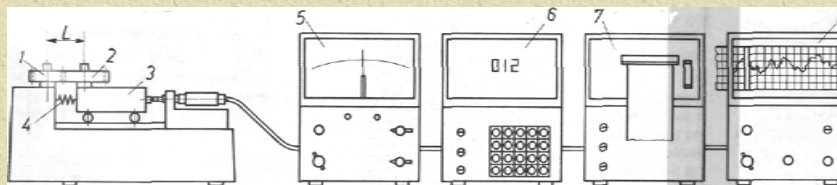
Za jedan pun obrt dobija se dijagram kao na slici, gde je:

- F_i'' - odstupanje koje predstavlja razliku najvećeg i najmanjeg osnog rastojanja u toku jednog obrta kontrolisanog zupčanika, a
- f_i'' - razlika najvećeg i najmanjeg osnog rastojanja u opsegu jednog koraka.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Jedan zupčanik se postavi na nepokretno postolje, dok se drugi zupčanik postavlja na osovinu, ugradjenu u klizaču, koji se može pomerati, tako da se promena osnog rastojanja meri i snima na dijagramu. Na slici prikazan je uprošćen jedan ovakav uređaj (C.Mahr). Pogonski sistem daje kretanje zupčaniku (1), i ono se prenosi na zupčanik (2), postavljen na trn, koji se nalazi na klizaču (3). Promena osnog rastojanja L , koja nastaje zbog postojećih pojedinačnih grešaka, prenosi se na pokazane uređaje: analogni i digitalni pokazivač (5) i (6), štampač (7) i pisač (8). Opruga (4) drži zupčanik (2) uvek priljubljen uz pogonski zupčanik.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

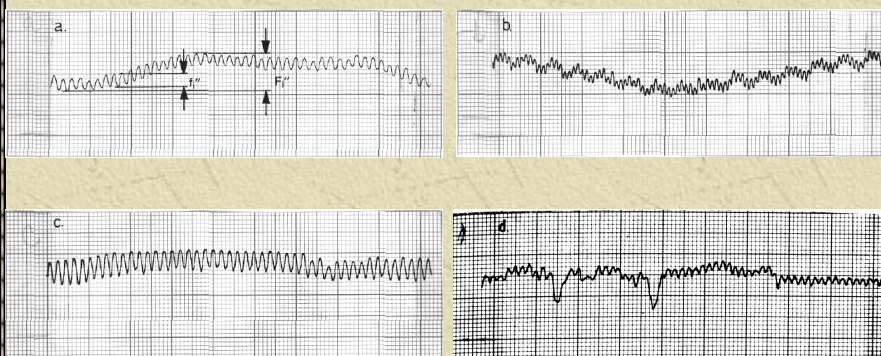
Kontrola ovim postupkom daje sumarnu grešku oba boka profila, jer su i levi i desni bok istovremeno u zahvatu. Ovo ne odgovara eksploatacionim uslovima, jer su zupčanici u radu spregnuti na konstantnom osnom rastojanju i sa zazorom, tako da se dodiruju samo desni, odnosno levi bokovi, pa bi samo kontrola preko jednog boka dala tačnu sliku rada zupčastog para. Međutim, ovaj način je ipak našao širu primenu, jer je jednostavniji, dok povećanje troškova kontrole jednoprofilnim postupkom nije u srazmeri sa povećanjem tačnosti merenja.

Merenje dvoprofilnim postupkom se može vršiti ili pomoću zupčanika spregnutog sa protivzupčanikom, sa kojim će raditi u eksploataciji, ili sa etalon-zupčanikom, koji se izradjuje sa visokom tačnošću, obično u II ili čak u I klasi kvaliteta. Drugi način je češće primenjivan. Pošto je etalon uradjen praktično bez greške, rezultat merenja nam daje grešku ispitivanog zupčanika. Cilindrični zupčanici istog modula i ugla zahvata, ali različitih broja zubaca, kontrolišu se istim etalonom. Korigovani zupčanici sa pomerenim profilom, kontrolišu se, kod manjih korekcija, sa etalonom izradjenim bez korekcije.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Snimljeni dijagrami, koji mogu biti kružni ili razvijeni, omogućuju izvođenje zaključaka o kvalitetu i osobinama ispitivanog zupčanika ili para zupčanika.

Na slici a dat je osnovni dijagram, na slici b osnovni krug ima grešku. Kriva je u obliku sinusoide. Na slici c prikazana je kriva kod koje se vidi odstupanje oblika profila zuba, a na slici d je greška u koraku.



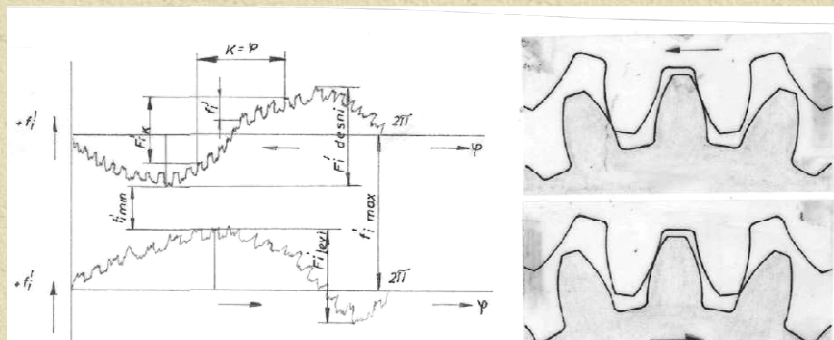
9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

9.2.2. METODA I UREĐAJI ZA KONTROLU ZUPČANIKA PREKO LEĐNOG BOKA PROFILA ZUBA (TANGENCIJALNA METODA)

Zupčanici, postavljeni na tačnom osnom rastojanju, sa zazorom, ispituju se tako da se kontroliše posebno svaki bok profila zuba. Uslovi ispitivanja odgovaraju uslovima pod kojima kasnije zupčanici rade. Osim toga, imamo sliku netačnosti svakog profila posebno. Merenje jednoprofilnom metodom zahteva izradu preciznog uređaja, komplikovanijeg i tačnijeg od dvoprofilnog. Za sve vreme ispitivanja u dodiru se nalaze radni profili, levi ili desni, u zavisnosti od smera okretanja.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Snimanjem se dobija dijagram odstupanja (slika). Odstupanja: F_i'' - predstavljaju razliku najvećeg i najmanjeg udaljenja dijagrama odstupanja od pola (apscise ose), uzimajući u obzir uvećanje uređaja za merenje, a f_i' - razliku najviše i najniže tačke dijagrama odstupanja u opsegu jednog koraka.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

J_{max}, J_{min} - maksimalni/minimalni zazor

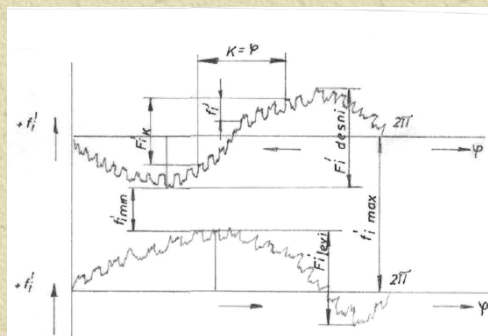
pri tome je:

$$F_i = F_p + f_t$$

gde je:

F_p - ukupna greška podele

f_t - greška evolvente (profila)



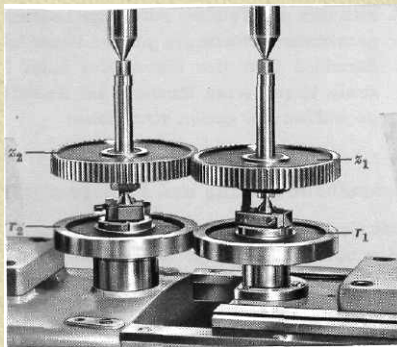
9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Za ispitivanje tangencijalnom metodom postoje dva osnovna tipa uređaja sa mehaničkim prenosima,

1. Sa frikcionim diskovima - parom krugova kotrljanja za svaki par sa drugim prenosnim odnosom i to:
 - sa konstantnim međusobnim rastojanjem i
 - sa podešivim međusobnim rastojanjem.
2. Bez krugova kotrljanja.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Na slici prikazan je prvi tip uređaja, ali sa konstantnim rastojanjem (L).

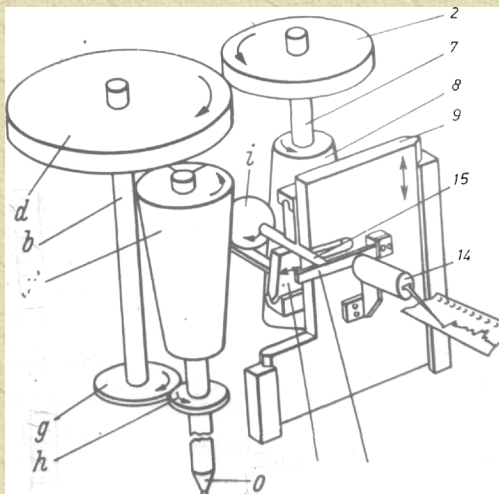


Rad para zupčanika, koji će kasni je raditi u sprezi, ili zupčanika i etalona upoređuje se sa radom tačnih frikcionih diskova, a odstupanje se prenosi na pisač. Pogonski zupčanik Z_1 , se nalazi na istoj osovini sa frikcionim diskom r_1 , pa će se disk r_2 , koji se nalazi na osovini sa gonjenim zupčanikom, obrtati sa istom ugaonom brzinom, za slučaj da je ispitivani zupčanik uradjen tačno.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Medjutim, ako zupčanici u sprezi imaju grešku ozubljenja, nastaće neujednačeno obrtno kretanje mernog predmeta, tako da dolazi do razlike ugaonih brzina izmedju njega i frikcionog točka postavljenog u istu osu. Razlika brzina se tada uvećava i registruje na pisaču.

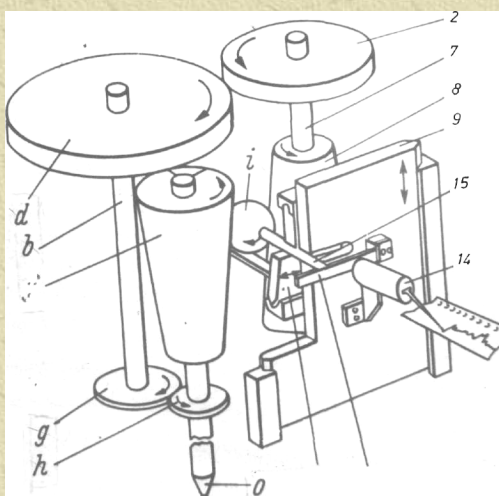
Uredjaj bez krugova kotrljanja prikazan je u dve varijante šematski prikaz jednoprofilnog uređaja za ispitivanje zupčanika "Omega" dat je na slici.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

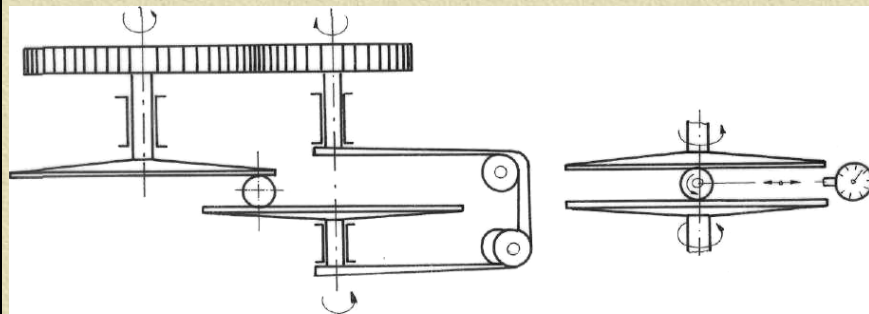
Zupčasti par (1) i (2) prenosi kretanje preko osovine (3) na konus (4) posredstvom para (5) i (6), a na konus (8) direktno preko osovine (7).

Izmedju konusa se nalazi lopta (13), koja je postavljena na visinu koja odgovara preseku konusa, na čijem obimu su obimne brzine iste. Ako su zupčanici izradjeni sa greškom, nastaće zaostajanje jednog konusa u odnosu na drugi, odnosno razlika obimne brzine levog i desnog konusa na mestu dodira sa loptom, pa će se lopta pomeriti i pokrenuti uređaj za pisanje (15) i iglu (14), tako da će se na dijagramskoj traci registrovati greška ozubljenja.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

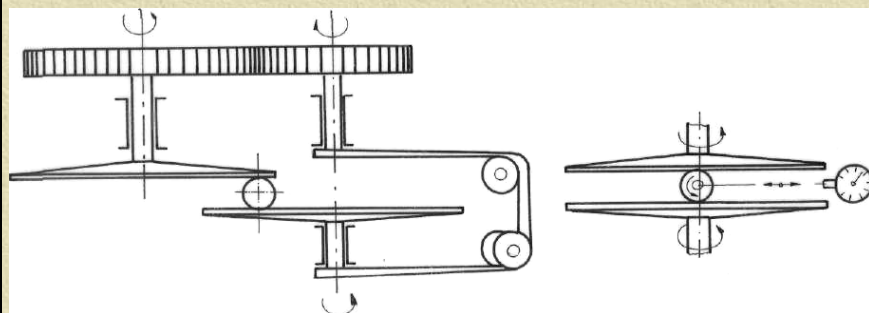
Na slici prikazana je druga varijanta uređaja za merenje zbirne greške zupčanika tangencijalnom metodom, konstrukcija prof. Kimera [6]. Sadrži: nosač sa osnovnom polukuglom (1), dve polukugle (2) tri satelita (3), nosač satelita (4) i prsten (5), čvrsto vezan za nosač satelita, koji pokazuje razlike ugaonih brzina polukugli. Za razliku od predhodno uređaja, umesto dva konusa, postoje dve ravne ploče. Između njih se nalazi kugla, kojom se beleže odstupanja od idealnog para zupčanika, odnosno meri se zbirna greška para, ili jednog zupčanika, ako se ispituje sa etalon-zupčanicom. Principijelna šema uređaja je sledeća:



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Osovine koje nose zupčanike, koje treba ispitati u zahvatu, vezane su svaka sa po jednom ravnom pločom - tanjirom, između kojih se nalazi merna kugla postavljena tačno između dve osovine u položaju gde se dodiruju kinematski krugovi, odnosno podeoni krugovi.

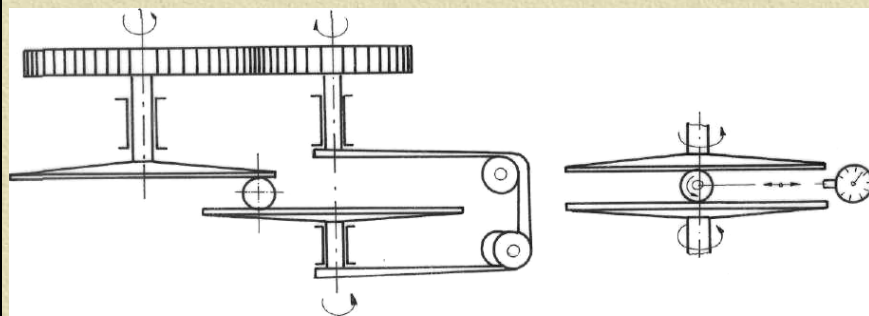
Prilikom okretanja zupčanika u zahvatu koji se ispituju, okretaće se i ploče istim ugaonim brzinama kao i zupčanici. Na mestima gde kugla dodiruje ploče, tangencijalne brzine će biti za idealno izradjene zupčanike, potpuno iste po veličini i pravcu.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Svaka nepravilnost izrade zubaca uticaće na promenu odnosa ugaonih brzina dva zupčanika u zahvatu, a time i odgovarajućih tangencijalnih brzina na krugovima kotrljanja odnosno na mestima dodira kugle sa pločama.

Da bi kugla mogla registrovati promene odnosa ugaonih brzina ili promene odnosa tangencijalnih brzina, a koje nastaju usled grešaka obrade elemenata zubaca, predložena su dva rešenja:



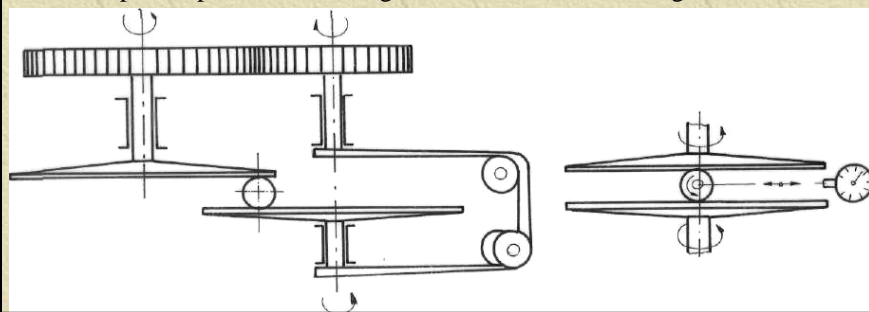
9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

1. Donjoj ploči daje se preko prenosne pantljike isti smer obrtanja kao i gornjoj ploči.

Tada će se kugla usled suprotnih smerova tangencijalnih brzina u tačkama dodira sa pločama, obrtati oko svoje horizontalne ose.

Ako obe brzine imaju istu veličinu, središte kugle se neće pomerati u prostoru, a ako su brzine različite, onda će se središte kugle pomerati u pravcu veće brzine.

Tim pomeranjem središte kugle će registrovati promenu odnosa ugaonih brzina para zupčanika i oceniti greške obrade na osnovu toga.

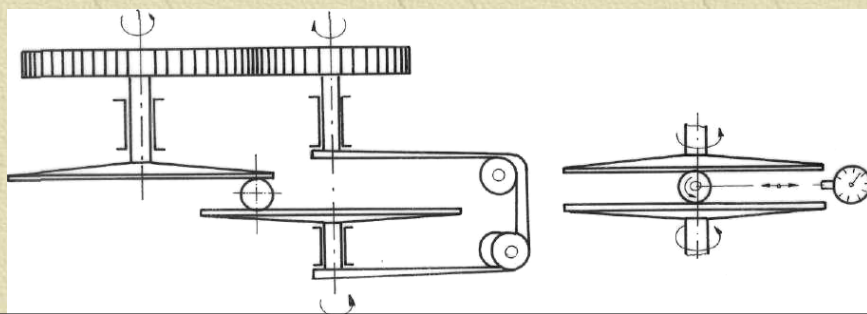


9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

2. Ploče zadržavaju iste smerove obrtaja kao i zupčanici u zahvatu (sl.9.8b), pa će tangencijalne brzine na mestima dodira kugle sa pločama imati isti smer.

Kugla se jednom kosom ravni seče na dve polukugle, koje se mogu obrtati oko jedne osovine, normalne na ravan preseka kugle.

Time će svaka polukugla biti u dodiru sa po jednom pravom pločom, i obraće se odgovarajućim ugaonim brzinama pri okretanju zupčanika u zahvatu, ali sa suprotnim smerovima obrtanja.

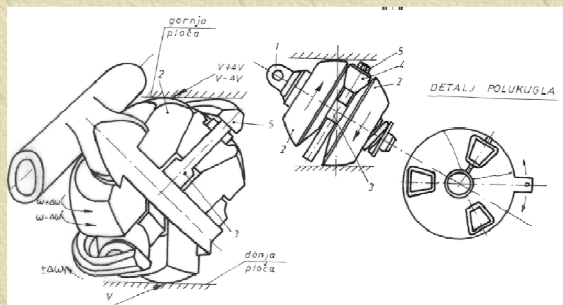


9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Da bi medjusobno povezali ugaone brzine dveju polukugli, postavljen je izmedju njih jedan konični satelit, sa osom upravnom na osu polukugli.

Osa satelita će mirovati, ili će se obrtati oko ose polukugli usled obrtanja dveju polukugli već prema tome da li su:

- ugaone brzine polukugli po veličini iste, odnosno tangencijalne brzine na mestima dodira polukugli sa ravnim pločama iste veličine, a suprotnog smera,
- ugaone brzine polukugli različite, odnosno različite tangencijalne brzine na mestu dodira zbog grešaka obrade elemenata zubaca u zahvatu.

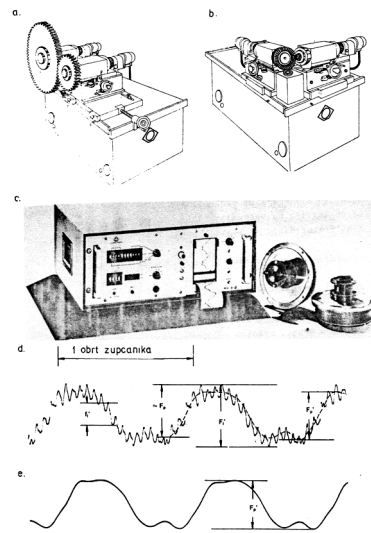


9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Firma Klingelnberg izradila je familiju uređaja, modulnog tipa, za spitivanje zupčanika jednoprofilnim postupkom (slika).

Omogućuje ispitivanje cilindričnih zupčanika sa pravim i zavojnim zubima, spoljne i unutrašnje ozubljenje (slika a), zatim koničnih zupčanika sa pravim i zavojnim zubima (slika b) i hiperboloidnih evolventnih zupčanika.

Za pokazivanje i registraciju greške razvili su elektronski uređaj PEW 01 (slika c) koji ima mogućnost i izdvojenog prikazivanja F_p' i f_p' (slike d,e). Ovakav uređaj ima mogućnost analognog i digitalnog pokazivanja kinematske greške, zapisivanja na pisaču, a ima i digitalni izlazni signal u BCD-kodu za spoljni računar, analizator ili banku podataka.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

9.3. KONTROLA EVOLVENTE PROFILA ZUBA

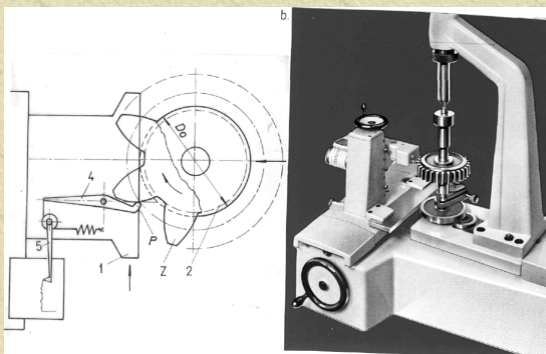
Kontrola profila zuba svodi se na kontrolu evolvente i može se vršiti uređajima, koji se dele u dve grupe: na uređaje sa stalnim i sa promenljivim osnovnim krugom. Kontrola se zasniva na upoređivanju teorijske evolvente, koju simulira uređaj, sa stvarnim profilom boka zuba zupčanika.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Uredjaj sa konstantnim osnovnim krugom

Uredjaj za kontrolu evolvente (Maag, slika leva C.Mahr, slika desna) radi na taj način, što se teorijska evolventa stvara odvalom tangente, predstavljene lenjirom (1) po osnovnom krugu, odnosno po ploči (2), izradjenoj sa prečnikom koji odgovara minimalnoj vrednosti osnovnog kruga ispitivanog zupčanika. Sa pločom se na istoj osovini nalazi ispitivani zupčanik, a sa lenjirom je povezan pipak (3), tako da centar kuglice leži tačno iznad ivice lenjira i opisuje evolventu, koja se upoređuje sa profilom boka zuba

Odstupanje od teorijske evolvente prenosi se preko dvokrake poluge (4) na pisaljku (5), koja ostavlja trag po papirnoj traci. Hartija se kreće paralelno sa vodjicama klizača. Ako je evolventa zupčanika ispravna, linija dijagrama će biti prava.



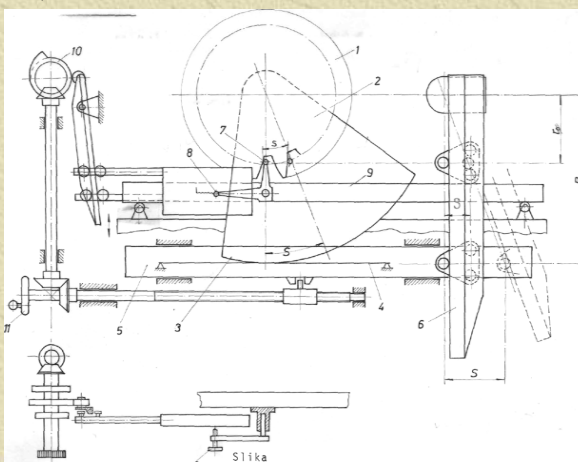
9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Urdaj sa promenjivim osnovnim krugom

Drugi tip aparata za kontrolu evolvente su oni sa kontinualno promenljivim krugom (C.Zeiss, C.Mahr i drugi). Zupčanik koji se ispituje (1) i odvalni disk (2) nalaze se na istoj osovini (slika).

Za odvalni disk vezane su dve čelične trake (3) i (4), jednim krajem, a drugim za odvalne saonice (5). Pomaci odvalnih saonica prenose se na tangencijalna kolica (9), pomoću lenjira za upravljanje (6), i to u odnosu:

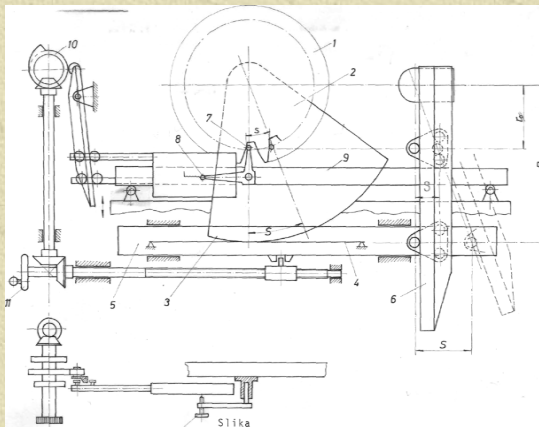
$$\frac{r_0}{R} = \frac{s}{S}$$



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

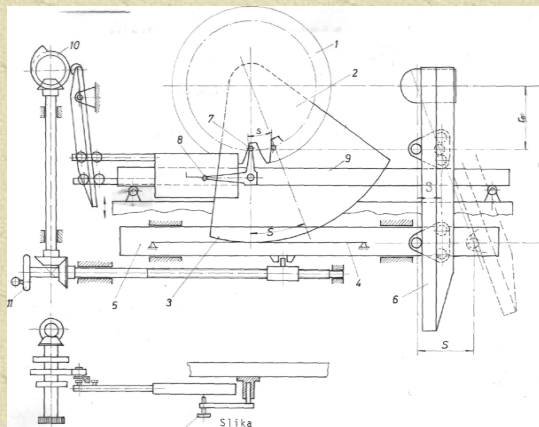
gde je:

- r - podešeni odvalni radijus
- R - poluprečnik odvalnog diska
- S - put odvalnih saonica
- s - put na odvalnom radijusu r.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Odvalna kolica se pokreću ručno pomoću točka (11), a sa njima je sinhronizovano kretanje hartije preko brega (10), na kome se ucrtava kriva dejstvom pisaljke (8). Za slučaj da se pipak (7) kreće po profilu boka zuba koji je idealno evolventan, imali bismo ucrtanu pravu liniju. Ako se dobije kriva koja nije paralelna sa ivicom kolica sa pisačem, znači da stvarni osnovni krug ne odgovara podešenoj vrednosti osnovnog kruga. Korekcijom radijusa možemo dobiti pravu liniju na dijagramu, a tada imamo mogućnost da odredimo i veličinu odstupanja stvarnog osnovnog kruga od nominalnog.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Greška poluprečnika osnovnog kruga se izračunava prema:

$$\frac{F_g}{2} = r_0 \frac{a V_b}{b V_a} \cdot 1000 [\mu\text{m}]$$

gde je:

F_g - greška osnovnog kruga u μm

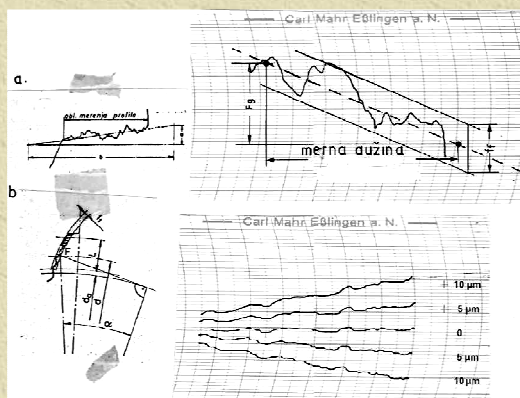
r_0 - poluprečnik osnovnog kruga mm

a/b - srednja vrednost nagiba krive

a - odstupanje vrednosti nagiba krive

b - dvalni put u mm

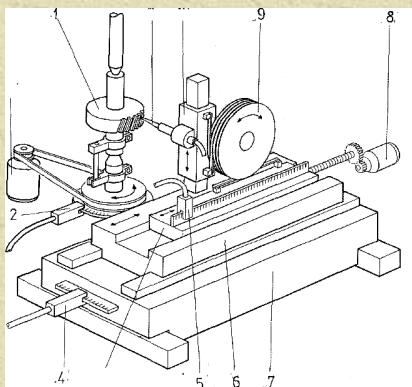
V_a, V_b - razmera za grešku i odvalni put.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Greška osnovnog kruga nastaje usled greške zahvatnog ugla ili usled ekscentričnosti osnovnog kruga.

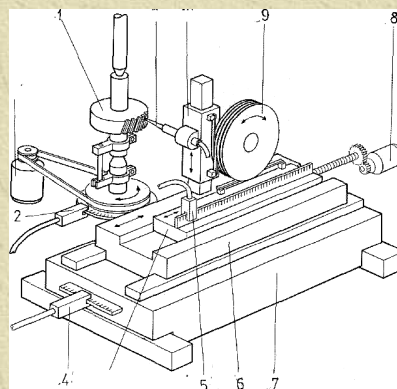
Firma C.Mahr proizvodi uređaj koji kontroliše: profil zuba, prečnik osnovnog kruga i nagib zuba zupčanika. Omogućuje kontrolu profila i nagiba zuba u jednom zahvatu, tako da se dobija znatna ušteda u vremenu, uz optimalnu tačnost. Šematski prikaz je dat na slici.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

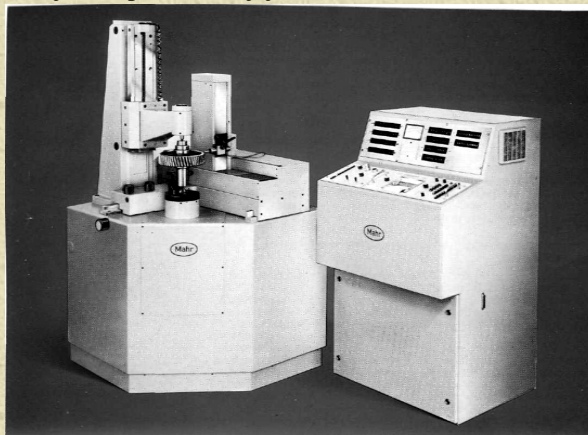
Zupčanik (1) i sistem za podešavanje ugla β (2) su čvrsto vezani. Merni pipak (3) je preko saonica (6) i mernog sistema (4) podešen na veličinu r . Odvalna kolica (6) kreću se po žljebovima saonica (7) dejstvom pogona (8), tangencijalno u odnosu na zupčanik. Ovo kretanje je vodjeno preko digitalnog računara, pošto ga je upamtio merni sistem (5). Disk (9) omogućuje odvalu, a nosač (10) kretanje pipka u vertikalnom pravcu. Pogon (11) omogućuje zakretanje zupčanika koristeći impuls koji se dobija usled predjenog puta odvalnih kolica.

Na taj način pipak (3) ima simulirano kretanje po tačnoj evolventi. Svako odstupanje, pošto se kreće po boku zuba registruje se na pokazivaču.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Na slici prikazan je kompletan uredjaj C.Mahr, 891E.



Oblast podešavanja osnovnog kruga je u dijapazonu od 0-550 mm, a najveći prečnik zupčanika koji se može ispitivati je 600 mm. Omogućuje ispitivanje zupčanika modula (0,2-20) mm, a uvećanje greške je 100x, 200x, 500x, 1000x i 2000x.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

9.4. MERENJE DEBLJINE ZUBA I MEĐUZUBLJA

Debljina zuba

Debljina zuba se meri u pojedinačnoj proizvodnji i u serijskoj pri podešavanju mašine višestrukim merilima, dok se u serijskoj proizvodnji kontrola radnih predmeta vrši tolerancijskim merilima.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

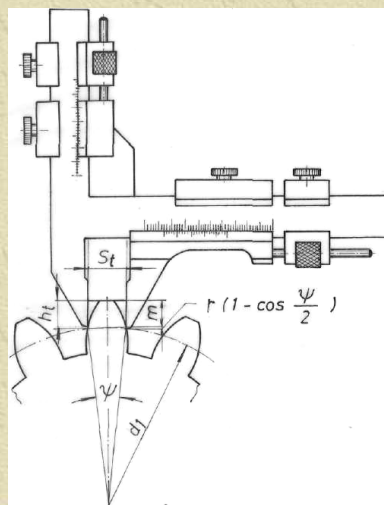
Najjednostavnije višestruko merilo za debljinu zuba je kljunasto merilo (modulno merilo) koje predstavlja ustvari , kombinaciju kljunastog merila i dubinmera. Sastoji se iz dve milimetarske skale sa nonijusom, postavljeno pod 90°.

Duža skala , horizontalna služi za merenje debljine zuba , a kraća vertikalna, za postavljanje mernih pipaka prve skale na ispravnu dubinu merenja. Ova dubina se podesi tako da pipci horizontalne skale dodiruju bokove. zuba na podeonom krugu (slika).

Dubina na koju se naslanjaju pipci:

$$ht = m + r_1 \left(1 - \cos \frac{\psi}{2}\right) \pm mx$$

$$\psi = \frac{180}{z}$$



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

gde je:

m - modul zuba

z - broj zuba

x - faktor pomeranja profila

r1 - poluprečnik podeonog kruga

Pritom će pipci meriti tetivu na podeonom krugu, a ne lučnu debljinu zuba. Mera tetive biće:

$$s_t = 2r_1 \sin \frac{\psi}{2} = mz \sin \frac{\psi}{2}$$

Obično se h_t i s_t , nalaze bez računanja u tabelama za određeni broj zuba i za modul $m = 1$ mm. Množenjem sa odgovarajućim modulom, dobiće se tražena mera.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Za kose zube meri se veličina normalno na pravac zuba, pa je:

$$h_m = m_n + r_{ln} \left(1 - \cos \frac{\psi_n}{2}\right) \pm m_n x$$

$$s_{st} = m_n z_n \sin \frac{\psi_n}{2}$$

$$r_{ln} = \frac{m_n z_n}{2} \longrightarrow z_n = \frac{z}{\cos^3 \beta}$$

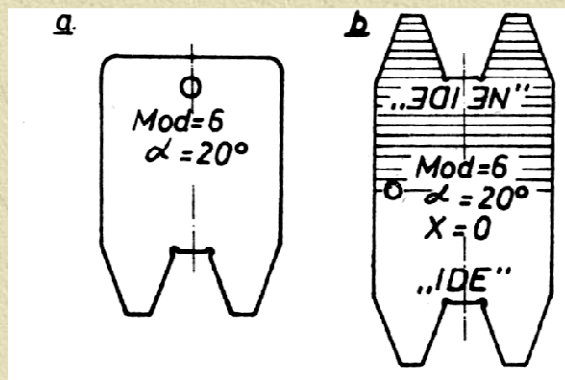
$$\psi_n = \frac{360}{2z_n} \pm 2 \frac{360x \cdot \operatorname{tg} \alpha_n}{z_n}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha \cos \beta$$

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

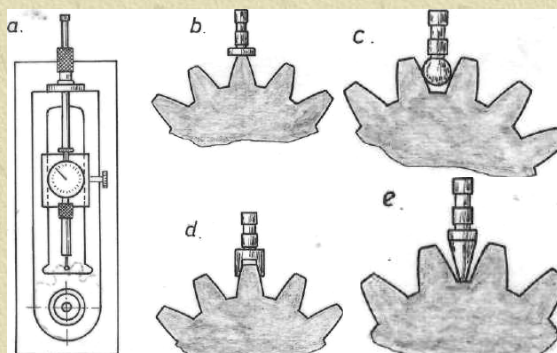
Merenje ovim merilom je tačno samo u slučaju kada je spoljni prečnik tačno izradjen i koncentričan sa podeonim prečnikom.

Merenje jednostrukim merilom se dosta retko koristi. Izuzetno u serijskoj proizvodnji merilom kao na slici a,b.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Uporedno merenje debljine zuba i širine medjuzublja može se meriti jednostavnim uređajem (slika), gde se zupčanik postavlja na osovinu, na kojoj se može slobodno okretati pa se posle merenja svakog zuba, pipak komparatora izvuče, a merni predmet okrene za jedan zub. Pipak komparatora je izmenljiv, tako da pipkom sa ravnom površinom možetno meriti bacanje spoljnog prečnika (sl. b) sa kuglicom podeoni prečnik (sl. c), sa češljastim nastavkom debljina zuba (sl. d) i sa zašiljenim pipkom bacanje podnožnog kruga (sl. e).

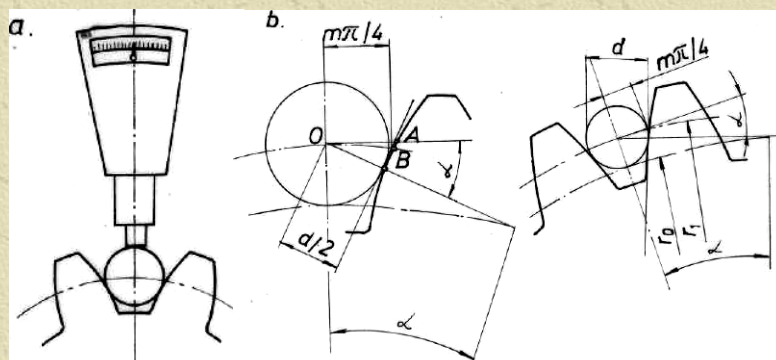


9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Širina međuzublja

Širina međuzublja se može meriti postavljanjem kalibrisanog valjčića u međuzublje, pa se komparatorom tada proverava tačnost mere (sl. 9.18). Prečnik valjčića se određuje po obrascu (slika):

$$d = \frac{m \cdot \pi \cos \alpha}{2}$$



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

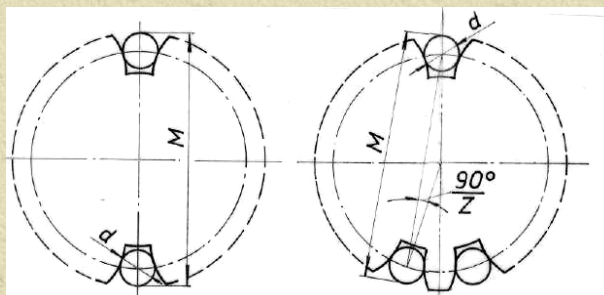
Za slučaj kada centar valjčića leži tačno na podeonom krugu. Kod cilindričnih zupčanika sa kosim zubima merenje se vrši u ravni normalnoj na pravac zuba, tako da u obrascu figuriše normalni modul m i normalni zahvatni ugao (ugao dodirnice) α_n .

Ako merenje vršimo mikrometrom, stavićemo dva valjčića i meriti veličinu M (slika). Za paran broj zuba imaćemo tada da je:

$$M = d_1 + d \quad , \text{ a za neparan}$$

$$M = d_1 \cos \frac{90^\circ}{z} + d$$

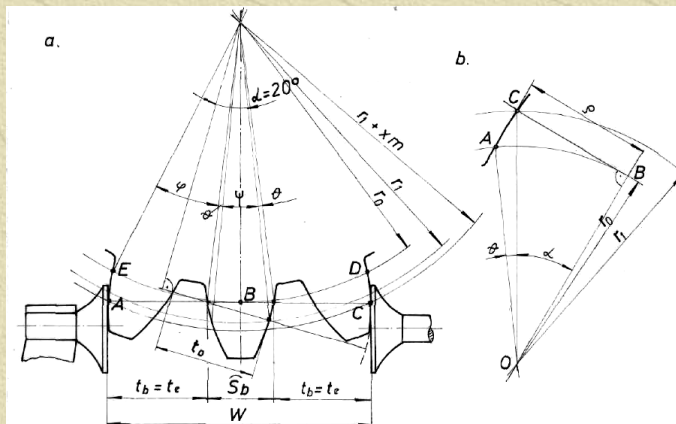
$$\alpha = \arccos \frac{d_0}{d_1}$$



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Mera preko više zuba

Ako se želi izbeći uticaj netačne obrade spoljnog prečnika zupčanika, tada se debljina meri indirektno preko razmaka više zuba. Uzima se, pritom, onaj broj zuba z' , zupčanika sa brojem zuba z , čiji su krajnji bokovi tangenti na dve paralelne linije (slika).



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Pošto se radi o evolventi

$$AB=EB \quad AC=W=ED$$

$$BC=BD$$

kako je:

$$W = (z' - 1)t_b + s_b$$

gde je:

t_b i s_b - korak i debljina zuba po osnovnom krugu

z' - obuhvaćeni broj zuba merenjem

$$W = r_0 \cdot \phi(z'-1) + r_0\psi + 2r_0\theta$$

$$\phi = \frac{2\pi}{z} \quad \psi = \frac{\pi}{z}$$

$$\rho = CB = AB = r_0 + r_0$$

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

iz $\triangle OBC$:

$$\rho = r_0 \operatorname{tg} \alpha \quad , \text{ pa je:}$$

$$\theta = \operatorname{tg} \alpha - \alpha \quad (\alpha\text{- lučni ugao})$$

$$\text{ev } \alpha = \operatorname{tg} \alpha - \operatorname{arc} \alpha$$

pošto je:

$$r_0 = r_1 \cos \alpha \quad r_1 = \frac{mz}{2}$$

biće:

$$w = m \cos \alpha \cdot |\pi(z'-0,5) + Z \operatorname{ev} \alpha|$$

za korigovane zupčanike dodaje se član:

$$\pm 2mx \sin \alpha$$

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Da bi tanjirići mikrometra dodirival i bokove zuba, tj. da bi spoljna linija AC tangirala osnovni krug prečnika d_0 i sekla podeoni krug d_1 u tačkama dodira A i C, mora biti:

$$Z' = Z \frac{2\alpha^0}{360^0}$$

obično se povećava za 0,5, pa je:

$$Z' = Z \frac{2\alpha^0}{360^0} + 0,5$$

Računska vrednost nije ceo broj, tako da se zaokružuje na prvi ceo broj, koji se sada koristi pri merenju.

Kod cilindričnih zupčanika sa zavoynim zubima

$$W_n = m_n \cos \alpha_n |\pi(Z'-0,5) + Z \operatorname{ev} \alpha \cdot s| \pm 2xm_n \sin \alpha_n|$$

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

gde je:

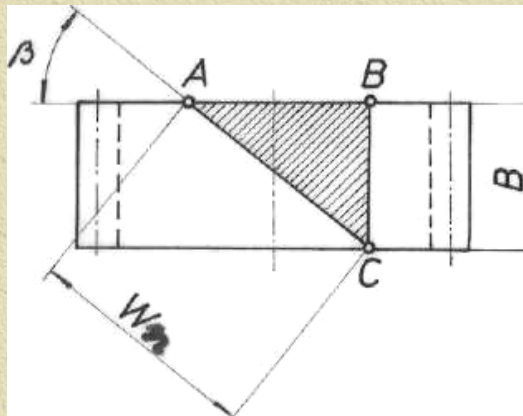
a_s - čeonu ugao dodirnice

$$\operatorname{tg} \alpha_s = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta}$$

Broj zuba u zahvatu biće tada:

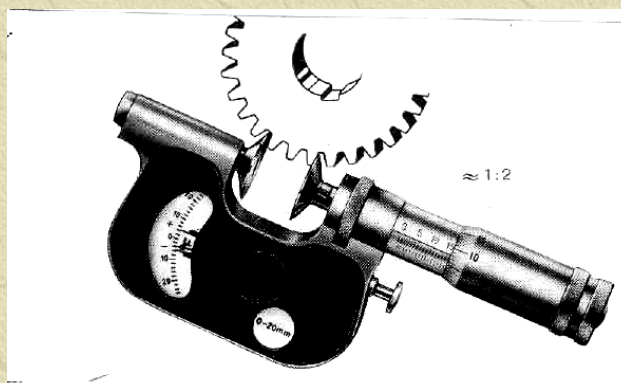
$$Z_s' = \frac{Z \alpha_s}{180} + 0,5$$

Merenje razmaka preko više zuba moguće je jedino kad je širina zupčanika $B > W \sin \beta$ (slika).



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Razmak preko zuba meri se mikrometrom sa tanjirićima. Na slici prikazano je Zeiss-ovo merilo, koje se i zradjuje u dve veličine, za razmake od (0-20)mm i (20-45)mm. Tačnost očitavanja 0,01mm na mernom dobošu i 0,002mm na skali.

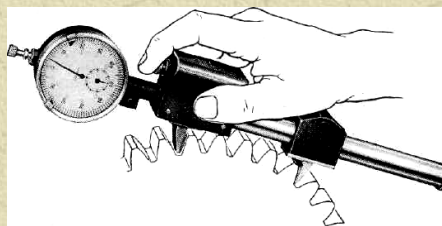
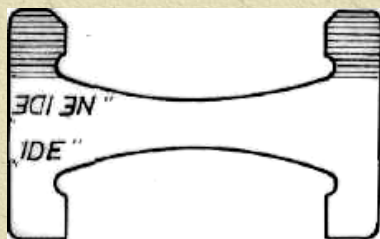


Obično se u tabelama nalazi vrednost C, izračunata za veličinu modula $m=1$ mm, pa je $W = c \cdot m$. Tabele obuhvataju oblast broja zuba od 12-155.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

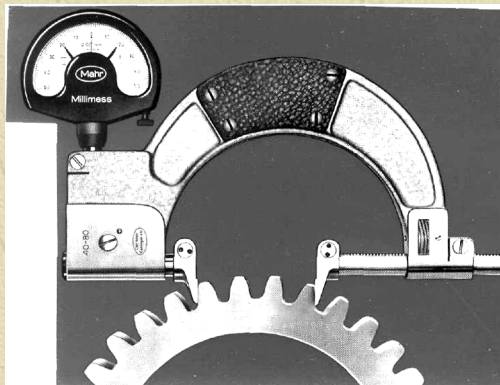
Za serijsku proizvodnju čvrsta jednostruka, tolerancijska merila imaju izgled kao na levoj slici.

Za velike zupčanike pojedinačne i serijske izrade koristi se merilo sa komparatorom (desna slika).



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Instrument za kontrolu spoljnjeg prečnika (slika) koristi se za merenje preko više zuba. Merni pipci su ojačani tvrdim metalom. Jedan pipak je nepokretan u periodu merenja, a drugi je pokretan i u vezi sa komparatorom. Skala komparatora može biti izradjena sa veličinom podeoka od 0,01 mm i 0,001 mm. Merilo se izradjuje za oblast merenja: (0-40) mm, (40-80) mm, (80-130) mm i (130-180) mm.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

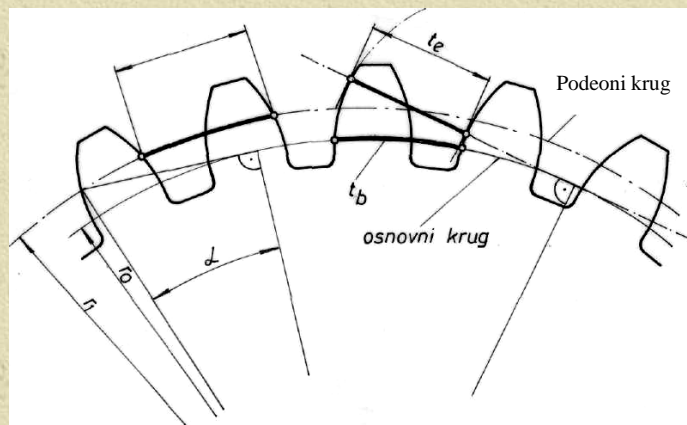
9.5. MERENJE KORAKA

Korak je najvažniji elemenat sprege dva zupčanika. Nejednak korak dovodi do neravnomernog sprezanja zupčanika, tako da nastaje u radu šum i brzo trošenje zubaca.

Na zupčaniku možemo meriti korak na osnovnom krugu (t_b) ili na podeonom krugu zupčanika (t_o).

Usled svojstva evolvenata, nastalih sa istog osnovnog kruga, da su ekvidistantne, odnosno, da evolvente predstavljaju kongruentne krive pojavljuje se osnovni korak kao najkraće rastojanje dva istoimena boka zuba. Pošto se osnovni korak (t_o) ne meri na osnovnom krugu, već po tangenti na osnovni krug, to se on naziva i tangentni korak, za razliku od podeonog koraka (t), koji se meri po podeonom krugu.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA



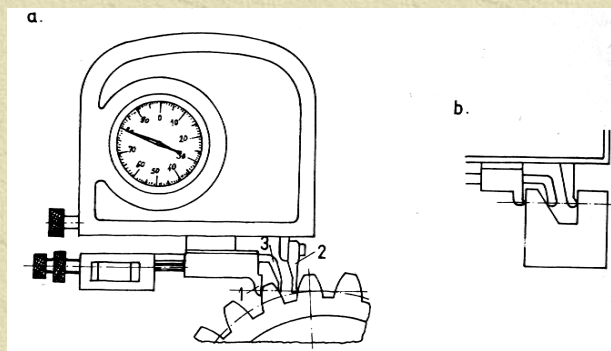
Njihova međusobna veza, data je izrazom:

$$t_b = t_a = t_o \cos \alpha = m \pi \cos \alpha$$

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Merenje tangentnog koraka

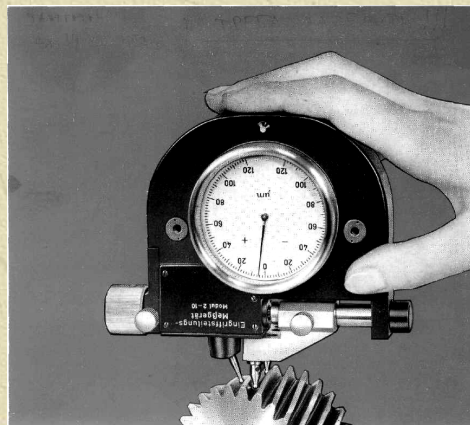
Na slici dat je izgled merila za kontrolu tangentnog koraka, firme Maag, koji se koristi za cilindrične zupčanike sa pravim i zavojnim zubima. Merilo sadrži tri pipka, od kojih je pipak (1) izradjen kao ravna ploča, tako da tangira zub. Pomerljivi pipak (2) izradjen je sa sfernom površinom. Preko dvokrake poluge deluje na komparator. Pomoćni pipak (3) služi za postavljanje instrumenata u tačan po ložaj. Podešavanje nule vrši se pomoću specijalnog držača merki.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Instrument se izradjuje u četiri veličine, za merenje koraka zupčanika modula od (0,7-2)mm, (2-5)mm, (5-10)mm i (10-18)mm. Podeok skale komparatora iznosi 0,001mm.

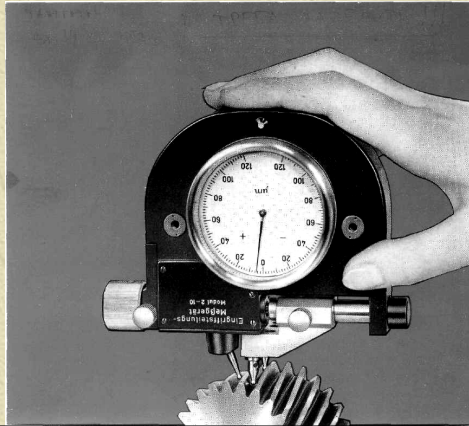
Firma Zeiss proizvodi merilo kao na slici, sa dva merna pipka, nepokretnim i pokretnim i trećim pomoćnim pipkom, koji služi za tačno postavljanje instrumenta.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Pogodan je za kontrolu koraka zupčanika kada je još na mašini, jer se drži u ruci za vreme merenja. Koristi se za module (2-10) mm.

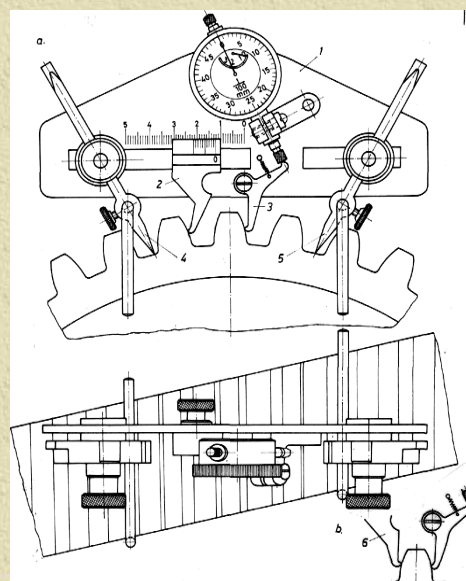
Oblast merenja iznosi $\pm 0,12\text{mm}$, a vrednost podeoka 0,002mm. Postavljanje nominalne vrednosti tangentnog koraka, odnosno podešavanje instrumenta na nulu, vrši se slogom graničnih merila, koja se stavljaju u specijalni držač.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Merenje podeonog koraka

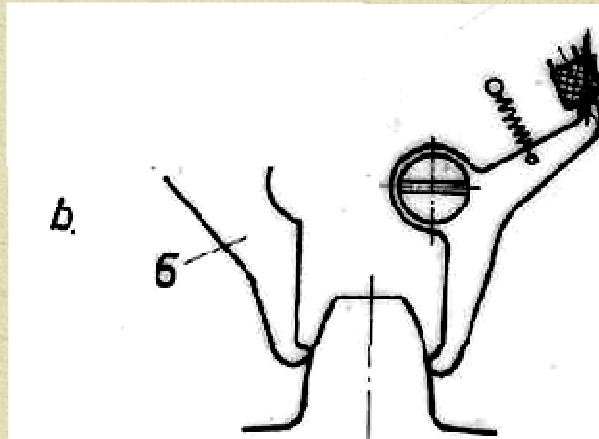
Za merenje podeonog koraka cilindričnih zupčanika sa pravim i kosim zubima, koničnih zupčanika i pužastih kola, koristi se merilo firme C. Mahr (slika). Pogodan je za merenje većih i težih zupčanika na samoj mašini. Sastoji se iz tela (1), pomičnog pipka u periodu podešavanja (2), kojim se grubo reguliše korak, ali koji je u toku merenja nepokretan, i pokretnog pipka (3), ustvari dvokrake poluge, čiji se drugi kraj naslanja na pipak komparatora. Pored ova dva merna, imamo i dva pomoćna pipka (4), i (5), koji se naslanjaju na dno medjuzublja i služe za pravilno postavljanje instrumenata.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Na donjoj projekciji vidi se način postavljanja instrumenta, kod kontrole koraka zupčanika sa kosim zubima.

Ako umesto pipka (2) stavimo pipak (6) (slika), isti instrument može služiti i za merenje debljine zuba.



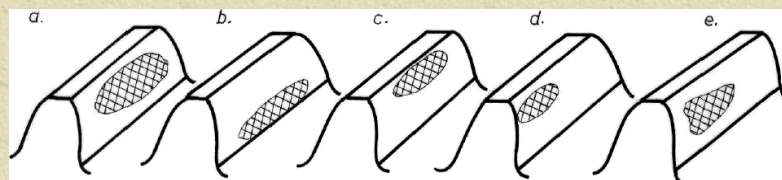
9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

9.6. KONTROLA POMOĆU TRAGA NOŠENJA

Kontrola pomoću traga vrši se na uređaju na kome se sprežu zupčanici i simulira rad kao da je u eksploataciji. Jedan iz zupčastog para, ili etalon zupčanika, premaže se bojom, koja se pri okretanju prenosi na drugi zupčanik i daje sliku nošenja, na osnovu koje donosimo sud o kvalitetu izradjenih zupčanika.

Kod izrade konusnih i spiralnih zupčanika ovo je nezamenjiv način ispitivanja prvog, probnog komada, radi tačnog postavljanja mašine i alata za ozubljenje.

Karakterističan trag nošenja za dobro uradjen zupčanik pri kazan je na slika, ovalnog oblika, na sredini zuba po dužini i visini (a).



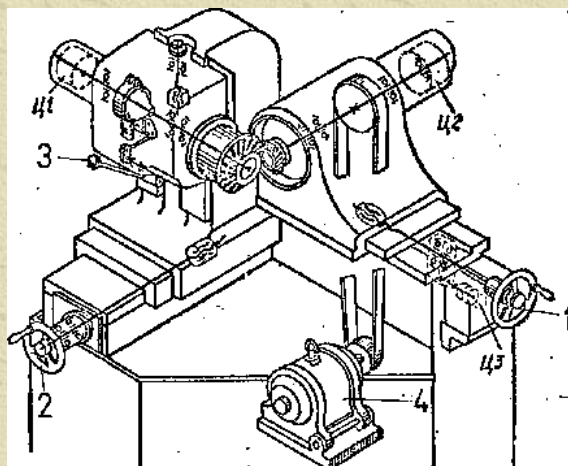
9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Pomeren, međjutim, trag nošenja govori o nepravilnostima koje su nastale u toku izrade zupčanika. Tako imamo:

- a) Kontakt u nozi zupca (b). Uzrok ovakvog traga je nesi metričnost bočnih strana zubaca, koji je izazvan nesi metričnim ili loše centriranim alatom.
- b) Kontakt (i trag nošenja) na vrhu zubaca (c). Uzrok istikao i u prethodnom slučaju.
- c) Kontakt samo u uglovima (d). Uzrok ovakvog nošenja je umanjen ili uvećan uspon zavojne linije zuba, koji je nastao kao posledica deformacije pri kaljenju, ili usled netačnog postavljanja točila pri brušenju. Pod opterećenjem ima jak šum.
- d) Trag nošenja je konusan (e). Uzrok je neparalelnost osa alata i radnog predmeta ili deformacija pri kaljenju. Stvara buku pri radu.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Uređaji za ispitivanje tragom nošenja su jednostavne konstrukcije. Na slika. prikazan je uređaj za ispitivanje konusnih zupčanika. Ručicama (1) i (2) podešava se položaj ispitivanih zupčanika, kočnicom (3) simulira se rad pod opterećenjem, a višekoračni motor (4) omogućuje pogon.



9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

9.7. KONTROLA ŠUMA ZUPČANIKA

Sve veća proizvodnja brzohodnih mašina dovodi do potrebe usavršavanja kontrole zupčanika na šum.

- Osnovni uzroci šuma pri radu zupčastih parova su:
- Netačnost koraka, profila i pravca zuba, koji izazivaju periodičan udar.
- Ekscentričnost zupčanika izaziva pulzirajući šum.
- Netačnost montaže.
- Trenje zuba u radu, koje se umnogome smanjuje dobrim podmazivanjem.
- Deformacija zuba i osovina pod opterećenjem.
- Rezonansa kućišta zupčastog prenosnika (ukoliko se pojavi).

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Karakter šuma, kao što smo videli zavisi od uzroka nastajanja, dok jačina zavisi od uslova pod kojima prenosnik radi, odnosno da li radi pod opterećenjem ili ne. Tako zupčanici pri praznom hodu mogu praviti veliku buku, a pri opterećenju sasvim malu i obratno. Ovo zavisi od uzroka zbog kojih buka nastaje. Naime, ako nastaje usled neravnomernosti podeonog koraka i prevelikog bočnog zazora, to će se pri praznom hodu čuti jaka lupa, koja će u velikoj meri nestati u radu, pod opterećenjem.

Šum, uglavnom, zavisi od kontakta zuba u radu. Dodir po sredini boka zuba, kada trag nošenja ima razvučen, elipsast oblik, smatra se najboljim i daje najmanji šum.

Specijalni uređaji za kontrolu šuma omogućuju ocenjivanje kvaliteta zupčanika prema visini, tonu i karakteru šuma koji nastaju pri radu, i to na sluh direktno ili pomoću pojačivača zvuka (1), (slika na sledećem slajdu). Njime se prekriva ispitivan zupčanik, a osluškivanje buke, se vrši tada kroz izlazni otvor. Zupčasti par, koji se ispituje postavlja se na dve paralelne osovine (2) i (3), od kojih jedna dobija kretanje od elektromotora i može dostići 2000 /min. Druga se osovina može pomeriti, tako da se omogućuje postavljanje zupčastog para na potrebno osno rastojanje, Zupčasti par se može ispitivati bez i sa opterećenjem.

9. MERENJE I KONTROLA ZUPČANIKA

Opterećenje vodećeg vretena, odnosno kočenje, vrši se pomoću kočnice sa trakom, koja se može regulisati polugom (4) Promena broja obrta se vrši pomoću elektromotora, koji je obično dvobrzinski, i izmenljivih kajišnika. Pored toga, može se na uređaju promeniti i smer obrtanja.

Metoda ocene šuma sluhom je dosta nepouzdana i iziskuje veoma izvežbanog kontrolora. Stoga se preporučuje korišćenje specijalnih merača, fonometara, čiji se mikrofon postavlja na udaljenju od 300 mm od izvora zvuka.

Danas se često u automobilskoj i avionskoj i industriji nalaze razradjeni normativi za kontrolu zupčanika na šum, gde su dozvoljene jačine šuma, izražene u decibelima, date u zavisnosti od namene i obimne brzine zupčanika. Dozvoljena jačina šuma zupčastog para obično se kreće u granicama od (65-120) decibela. Radi uporedjenja, navešću da normalan razgovor iznosi oko 60 db.

