

اندازه گیری

چشم انداز

تمامی مهندسين (بدون توجه به اینکه در چه شاخه ای کار می کنند) پیوسته با مسائل اندازه گیری روبرو هستند .
مسائلی نظیر اندازه گیری جرم ، نیرو ، دما ، مقدار یک جریان الکتریکی ، طول ، زاویه و غیره و یا مسائلی مربوط به
اثرات جمعی از آنها . نتایج این قبیل اندازه گیری ها خط مشیی را به مهندس نشان می دهد و اطلاعاتی را فراهم می
کند که می توان بر اساس آنها تصمیم گرفت .

این قبیل اندازه گیری ها بخشی از علم متالوژی را شکل می دهد به خصوص مربوط به مهندسان مکانیک یا
مهندسان تولید می شوند چرا که با اندازه گیری طول و زوایا ارتباطند .

در این بین طول یکی از اجزاء مهم اندازه گیری است و با کاربرد خاصی از اندازه گیری خطی می توان اندازه گیری
زاویه را نیز انجام داد.

در حقیقت مقصود از اندازه گیری حصول وسیله ای است برای کمک به تصمیم گیری هر چه بهتر. البته باید گفت
که اندازه گیری تا زمانی بر اساس دقت قابل قبولی نباشد یک اندازه گیری کامل نخواهد بود. اگر چه هیچ اندازه
گیری دقیقی نیست اما ذکر دقت در اندازه گیری به ابعاد اندازه گیری بسیار مفید است. می دانیم عضو لاینفک اندازه
گیری است و گریزی از آن نیست ولی به حد اقل رساندن آن ممکن است. در این جا مثالی آورده می شود: فرض
کنید که یک اپراتور در اختیار دارید و اندازه اسمی آن 30 mm است. آیا بیان اندازهٔ اپراتور به تنهایی کافی است؟
حال اطلاعات زیر را در نظر می گیریم:

(a) : خطای اندازه گیری شده در راپراتور -0.0002mm است.

(b) : و دقت آن $-0.0004\text{ mm} +$ است.

حال هر کسی از این راپراتور استفاده کند اطلاعات کاملی در اختیار دارد و د جهت اندازه گیری دقیق تر یاری
اوست.

گاهی اوقات دقت اندازه گیری بالا نیست و می توان از خطا چشم پوشی کرد مثلاً فرض کنید از یک راپراتور (بلوک
اندازه گیری) برای اندازه گیری خط مبنای یک ورنیه که فقط 0.02 mm دقت دارد استفاده شود. در اینجا خطا
قابل چشم پوشی است چرا که مقدار آن ناچیز است حالا اگر از همین راپراتور برای تنظیم یک کمپراتور (مقیاسه

گر) که درجه بندی آن تا 0.001 mm را نشان می دهد استفاده شود مقدار خطا مهم بوده و باید در نظر گرفته شود. با ترتیب دقت اندازه گیری راپراتور دقت کمپراتور، کل دقت اندازه گیری حاصل می شود. در انتها باید گفت این فصل مرجعی خواهد شد برای مطالب بعدی کتاب .

۱-۲ انواع خطاها

معمولاً در هر اندازه گیری دو نوع خطا می توان تشخیص داد. یک نوع آنهایی می باشند که با دقت بیشتر در کار می توان حذفشان کرد و نوع دیگر که عضو لاینفک اندازه گیری می باشد و به عبارت دیگر نمی توان آنها را به صفر رساند.

۱-۲-۱) خطاهایی که می توان آنها را حذف کرد (آنها را به صفر رساند)

الف) خطاهای ناشی از غلط خواندن:

مثلاً یک میکرومتر به مقدار $5/28$ را نشان می دهد $5/78$ یا $6/28$ خوانده می شود.

ب) خطاهای محاسباتی.

این نوع خطا معمولاً به هنگام جمع کردن اعداد پیش می آید. مثلاً برای جمع کردن یک ستون از اعداد دو راه وجود دارد یا از بالا، اعداد را با هم جمع کنیم یا از پایین ستون شروع به جمع زدن می کنیم که در هر دو صورت باید جوابها بر هم منطبق باشند در بسیاری مواقع این قبیل خطاها (همچنین خطاهای ناشی از غلط خواندن) نتایج دور از انتظاری به دست می آیند و با تکرار اندازه گیری آشکار می شود. البته همیشه با تکرار ایرادها مشخص نمی شود تنها راه جلوگیری از پیشامد چنین خطاهایی دقت و توجه به جزئیات است.

ج) خطاهای محوری :

این نوع خطاها زمانی اتفاق می افتد که وسیله اندازه گیری با قطعه کار در راستای صحیح قرار نداشته باشند که معمولاً بین اندازه واقعی یعنی D و مقدار غیر حقیقی یعنی M یک رابطه مثلثاتی برقرار خواهد بود. (شکل ۱-۱) با توجه به شکل، صفحه مدرج با قطعه کار زاویه θ می سازد بنابراین (۱-۱) $D = M \cdot \cos \theta$ در حالت دیگری همین نوع خطا در اثر نا راستایی بین امتداد خط دید و درجه بندی دستگاه اندازه گیری پدید می آیند.

اکثر اندازه گیری ها کم و بیش متأثر از شرایط محیطی در آن نانجام می شوند هستند و مهمترین عامل نیز دماست و هم دمای محیط چندان سودمند نخواهد بود بنابراین باید سعی کرد خود جسم نیز دمای ثابت و حتی الامکان دمای محیط دمای محیط اندازه گیری را داشته باشد. دست زدن به وسیله اندازه گیری خود می تواند دمای وسیله را تغییر داده از دقت آن بکاهد.

بنابراین بهتر است که در طول مدت اندازه گیری کلیه وسایل روی یک سطح چوبی یا پلاستیکی قرار داده شوند، همچنین تا آنجا که امکان دارد وسیله اندازه گیری دارای دسته عایق باشد.

وقتی که درباره اندازه گیری ، بحث می شود باید دو نکته مهم را مورد توجه قرار داد :

(۱) اندازه گیری مستقیم: قطعه مستقیماً به وسیله ابزار اندازه گیری ، اندازه گرفته می شود. در این حالت تأثیر حاصل از به کار بردن یک دمای غیر استاندارد تولید یک خطای نسبی می کند.

$$E = \text{خط} = l.a.(t - t_s) \quad (1-2)$$

L: طول واقعی (اندازه گرفته شده در دمای استاندارد

X: ضریب انبساط طولی قطعه

$t - t_s$: میزان انحراف دما از دمای استاندارد

(۲) اندازه گیری غیر مستقیم (نسبی یا مقایسه ای):

اگر فرض کنیم که دو قطعه داریم که ضریب انبساطی طولی آنها به ترتیب X_1 و X_2 باشند.

آنگاه خطای ناشی از کاربرد دمای غیر استاندارد عبارت است از.

$$E = l.(x_1 - x_2).(t - t_s)$$

در صورتیکه مقادیر x_1 و x_2 کوچک باشند و میزان خطا کوچک می شود.

با توجه به مطالب فوق واضح است که اندازه گیری مستقیم هم دما بودن تمامی اجزاء سیستم اندازه گیری مهم بوده بهتر است که تا حد امکان نزدیک به دمای استاندارد باشد.

در بعضی از وسائل اندازه گیری علاوه بر ، عوامل دیگر نظیر میزان رطوبت هوا، فشار هوا، میزان دی اکسید کربن و... قادر به تغییر دقت اندازه گیری می باشند. پس باید در تمام طول اندازه گیری عوامل فوق ثبت شده و بعد از اندازه گیری آنها تغییر ایجاد می کنند می توان به تداخل سنجها اشاره کرد.

ه) خطاهای ناشی از تغییر شکل کشسان :

هر شیء کشسان برای تحمل نیرویی بر آن وارد می شود تغییر شکل می دهد به بزرگی این تغییر شکل وابسته به بزرگی نیرو، بزرگی سطح تماس و خواص مکانیکی مواد در حال تماس دارد. پس باید مراقب بود تا میزان بار یا فشار اندازه گیری به هنگام استفاده از روش اندازه گیری. مقایسه ای (یعنی اندازه گیری با کمپراتورها) ثابت باشند.

در بسیاری از کارخانجات برای داشتن اندازه گیری بهتر از کمپراتورها و میکرومترهای رومیزی استفاده می کنند فشار اندازه گیری و منظور از فشار بین سطوح قطعۀ مورد اندازه گیری و وسیلۀ اندازه گیری است ثابت است و اگر سطوح تماس که البته می توانند از انواع مختلف باشند صحیح تنظیم نشوند اندازه واقعی به دست نخواهد آمد. بنابراین قبل از خواندن هر گونه اندازه گیری یا هر برداشتی از اندازه و ابعاد قطعه کار، باید آن را نسبت به وسیلۀ اندازه گیری دقیقاً تنظیم نمود. فرمول زیر تغییر شکل نهایی، در اثر فشار W وارد بر قطعه ای کره ای شکل را نشان می دهد. به عبارت دیگر اگر یک کره استاندارد به شعاع استاندارد R_0 و یک قطعه اندازه گیری کره ای شکل به شعاع قابل اندازه گیری R_p داشته باشیم که هر دو تحت فشار اندازه گیری W قرار دارند تغییر در فاصله مراکز این دو کره یعنی σ ، می شود:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt[3]{\pi}} \cdot (k_1 + k_p)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_p} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1-4)$$

$$k_1 = \frac{1 - (\nu_1)^2}{E_1} * k_p = \frac{1 - (\nu_p)^2}{E_p}$$

ν_1 و ν_2 به ترتیب ضرایب پواسان برای قطعه استاندارد و قطعه کار می باشند. و E_1 و E_p نیز برای قطعه استاندارد و قطعه کار می باشند. اگر این اندازه گیری به وسیله یک کمپراتور و در دو مرحله A و B انجام شود مقدار خطای $\delta_A - \delta_B$ خواهد بود که δ_A تغییری شکل نهایی برای مرحله اول و δ_B برای مرحله دوم است. ضمناً باید مقادیر R_p, R_0, k_p, k_1 به طور جداگانه برای هر دو حالت A و B تعیین شود. نوع دیگر از تغییر این شکل کشسان وقتی اتفاق می افتد که یک جسم زیر فشار وزن خود شکم دهد و خم شود در این حالت برای خطا می توان موقعیت تکیه گاه را تغییر داد. (شکل ۱-۲)

(a) استاندارد خط و میله ی ها که شیب انتهای میله صفر است.

(b) لبه های مستقیم انتهایی مشتبۀ مرکز میله تغییر شکل می دهد.

شکل ۱-۲) موقعیت های تکیه گاهی برای حالات مختلفی از اندازه گیری (به جنبش ضمیمه مراجعه شود) در حالت اول می بینید که شیب در انتهای قطعه صفر است ولی در حالت دوم شیب در دو انتهای قطعه به همان میزان شیب در وسط قطعه است پس تغییر شکل کشسان حاصل از وزن قطعه در حالت اول کمترین تأثیر را بر طول دارد. ۱-۲-۲ خطاهایی که نمی توان آنها را حذف کرد.

هیچ اندازه گیری نمی تواند کاملاً دقیق باشد چرا که هر مقدراً عددی ثبت شده به چشم انسان بستگی دارد و انسان می تواند در هر مرحله از خواندن اشتباه کند بنابراین خواندن درجه بندی وسیله اندازه گیری به توانایی مقصدمتعددی در خواندن درجه بندی و در بعضی حالات نیز به حس لامسه مقصدی وابسته است.

الف) خطاهای ناشی از درجه بندی

اگر درجه بندی که اندازه ها از روی آن خوانده می شود دارای خطا باشد بدیهی است که خود اندازه گیری هم دارای خطا خواهد شد. اسن خطا تا حدودی با میزان سازی در جه بندی وسایل اندازه گیری مطابف استانداردهای معین طول بر طرف می شود. با این حال خطای ناشی از درجه بندی را در اندازه گیری های مقایسه ای با کوچک ترین تقسیمات کاهش می دهند.

ب) خطاها در قرائت.

با چه دقتی می توان یک درجه بندی را خواند؟ البته این بستگی دارد به ضخامت خط کشی ها (درجات) و فاصله بین تقسیمات و ضخامت خط مینا با عقربه ای که برای خواندن بکار می روند.

برای راهنمایی بیشتر در نظر بگیرید که هر گاه عقربه یک وسیله اندازه گیری روی یکی از تقسیمات قرار بگیرد دقت خواندن مقدار عددی، 1% و هر گاه عقربه وسیله اندازه گیری بیت تقسیمات قرار گرفت مقدار دقت 2% دقت تقسیمات درجه بندی باشد .

در این صورت اگر عقربه مقدار ۳- واحد (واحد در اینجا واحد تقسیمات درجه بندی است) را نشان دهد و دقت درجه بندی (کوچک ترین مقداری را که درجه بندی نشان می دهد) $0/001\text{mm}$ باشد اندازه نسبی که عقربه نشان داده است $0/003\text{mm}$ - و دقت آن $0/0002\text{mm}$ ($2\% \times 0/001$) می شود.

لازم به ذکر است که وقتی یک کمپراتور (مقایسه گر) عمل اندازه گیری را انجام می دهد این دسته از خطاها دوبار اتفاق می افتند. یکبار در حالی که دستگاه بوسیله گیبهای مادر (اندازه گیر های مادر) تنظیم می شود و یکبار زمانی که اندازه قطعه کار از روی دستگاه قرائت میشود.

ج) خطاهای ابزار گیری :

انواع خطاهای مختلفی که در صفحات گذشته شرح داده شدند از انواع جمع شونده هستند به این معنی که در بعضی مواقع باید مقدار دیگری به عنوان حساسیت که در اثر لمس کردن ابزار یا قطعه کار پیش می آید به آنها اضافه کرد . که البته مقدار آن هم به نوع وسیله اندازه گیری که مورد استفاده قرار گرفته است بستگی دارد.

عموماً برای حذف چنین اثری (حساسیت لامسه) که کمپراتورها و مقایسه گر ها استفاده می شود استفاده می شود. در اینجا فرض می کنیم که می خواهیم قطر یک اندازه گیر توپظی ساده با قطر اسمی ۲۵mm را به دست آوریم. اندازه گیری به کمک کمپراتوری ۱ بزرگ نمایی ۵۰۰۰ که با یک راپراتور به طول اسمی ۲۵mm و با خطای معلوم $\pm 0.0001mm$ و دقت $\pm 0.0002mm$ تنظیم شده است انجام می شود. وقتی راپراتور در دستگاه قرار دارد مقدار 0 قرائت می شود و زمانی که اندازه کسر توپی ار در دستگاه قرار می دهیم مقدار ۱/۲- (از تصمیمات درجه بندی) قرائت می شود. ضمناً اثر تغییر شکل جنس هر دو از یک ماده است ضمناً ه هنگام تماس سطوح شرایط به نحوی است که تغییر در آنها بسیار جزئی است. مسئله ذیل به صورت جدولی تنظیم شده است.

میزان دقت و تعیین	مقدار قرائت شده	عنصر (عامل) خطا
$\pm 0.0002mm$	$-0.0001mm$	راپراتور
$\pm 0.0001mm$	.	مقدار قرائت شده به هنگام تنظیم
$\pm 0.0002mm$	$-0.00012mm$	مقدار قرائت شده از کمپراتور
$\pm 0.0005mm$	$-0.00013mm$	نتیجه جمع کل

بنابراین اندازه گيج(اندازه گیر) (یا در واقع قطر آن)

$$25 + (-0.0013) = 24.9987mm$$

خواهد بود اما با توجه به دقت کل به دست آمده مقدار قطر گيج بین مقادیر زیر محدود خواهد شد.

$$24.9987 - 0.0005 < \text{قطر گيج} < 24.9987 + 0.0005$$

$$24.9982mm < \text{قطر گيج} < 24.9992mm$$

۱-۳ خطاهای ترکیبی

در بسیاری از مواقع اتفاق می افتد که اندازه محاسبه شده نهایی ، تابع است از تعداد اندازه های خاص مثل a,b,c و ... که هر کدام از آنها دارای دقت $\delta_a, \delta_b, \delta_c$ و ... می باشند.

در «ی صورت دقت اندازه گیری DM با dm نشان داده می شود را می توان به کمک مشتق جزئی به دست آورد.

$$d_m = \frac{\delta m}{\delta a} . S_a + \frac{\delta m}{\delta b} . S_b + \frac{\delta m}{\delta c} . S_c + \dots$$

منظور از $\frac{\delta m}{\delta a}$ (رند m به رند A) مشتق جزئی m نسبت به a است یعنی متغیرهای دیگر را در رابطه M ثابت

فرض کرده و نسبت به مشتق a می گیریم و به همین نحو برای $\frac{\delta m}{\delta c}$ و $\frac{\delta m}{\delta b}$ به عنوان مثال به مسئله ص ۱۱۰

توجه کنید که در یک اندازه گیری دقت به صورت زیر تعریف شده است :

به فرض:

$$D = L + \frac{W^2}{8L}$$

$$L = 40.0 \text{ mm}, \delta L = \pm 0.025 \text{ mm}$$

$$W = 50.0 \text{ mm}, \delta_w = \pm 0.04 \text{ mm}$$

مقدار دقت D به صورت زیر حاصل می شود.

$$dD = \pm \left[\frac{\delta D}{\delta L} \cdot \delta L + \frac{\delta D}{\delta W} \cdot \delta_w \right] = \pm \left[\left(1 - \frac{W^2}{8L^2} \right) \delta_L + \left(\frac{2W}{8L} \right) \cdot \delta_w \right] = \pm \left[\left(1 - \frac{50^2}{8 \times 40^2} \right) \times 0.025 + \left(\frac{2 \times 50}{8 \times 40} \right) \times 0.04 \right] \Rightarrow$$

$$d.D = \pm [0.024 + 0.031] \text{ mm}$$

توجه شود که در اثر ایجاد خطا در دما به اندازه $\delta_L = \pm 0.025 \text{ mm}$ ، باعث تأیری به مقدار 0.024 mm در dD

تأثیر حاصل شده است بنابراین L باید با مقدار دقت بیشتری نسبت به W تعیین تعیین شود چرا که dD شامل ۹۶

درصد δL و فقط ۳ درصد δ_w است.

۴-۱ تأثیر نتایج میانگین یا روشهای آماری

اگر یک اندازه گیری کامل را چندین بار تکرار کنیم مقادیر متفاوتی برای اندازه X به دست می آوریم (به فرض X

مقدار مورد اندازه گیری می باشد) در نتیجه می توانیم با رسم نمودارهای آماری یک فرکانس توزیع به دست آوریم.

همچنین به کمک این اطلاعات می توان میزان انحراف داده ها یعنی δ را پیدا کرد. طبق بررسی های انجام شده

۹۹/۲۸ درصد از مشاهدات بین $(\bar{X} \pm 3\delta)$ که X میانگین مشاهدات است قرار دارند پس می توان گفت که برای

کارهای عملی دقت تخمینی $\pm 3\sigma$ است.

حال اگر ما این مشاهدات را به زیر گروههای تصادفی n تایی تقسیم کنیم و برای زیر گروههای مقدار X میانگین را

بیابیم به کمک فرمولهای آماری می توانیم یک فرکانس توزیع برای مقادیر X پیدا کنیم. طبیعی است که این

روش بسیار دقیقتر از آن است که فقط به اندازه یک بار به اندازه گیری اکتفا کنیم. طبق فرمول زیر می توان مقدار انحراف داده ها را یافت:

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

σ_m : انحراف میانگین استاندارد

σ : انحراف استاندارد هر مشاهده

n : تعداد عضوهای زیر گروهها یا اندازه نمونه

لنابراین با توجه به مطالب گفته شده در مورد دقت و $\pm 2\sigma$ می توان گفت که دقت تعیین اندازه میانگین یک نمونه n تایی (n مشاهده ای) عبارت است از:

$$\pm 2\sigma_m \quad \frac{\pm 6}{\sqrt{n}}$$

جدول آماری نشان می دهد که تقریباً ۹۵ درصد از تمامی مشاهدات در محدوده $\pm (2\sigma \times \bar{X})$ که میانگین مشاهدات است قرار دارند در حدود ۶۵ درصد از مشاهدات نیز در محدوده $\pm (\sigma \times \bar{X})$ قرار دارند. حالا می توان با اطمینان اظهار کرد که مقدار دقت مشاهدات را یافته ایم برای توضیح بیشتر: فرض کنید که دقت تخمین زده شده ی: تک مشاهده $\pm \sigma$ بوده و برابر $\pm 3\sigma$ باشد. با توجه به بررسی های انجام شده این دقت برای بیش از ۹۹ درصد مشاهدات قابل اطمینان است. بطور ساده تر می گوییم که دقت $\pm \sigma$ برای بیش از ۹۹ درصد مشاهدات درست است. به روش مشابه $\pm 2\sigma = \pm \frac{2}{3}\sigma$ که این دقت برای حدوداً ۹۵ درصد از مشاهدات اعتبار دارد و

$$\pm \sigma = \pm \frac{1}{3}\delta \quad \text{بالاخره}$$

که این دقت برای حدوداً ۹۵ درصد از مشاهدات ارتباط دارد و بالاخره $\pm \sigma = \pm \frac{1}{3}\delta$ که برای ۶۵ درصد از مشاهدات قابل قبول است. اگر این مقادیر را با حد متوسط n مشاهده و ترکیب می کنیم، خواهیم داشت:

$$(محدوده اول) \quad 99 = \pm \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$(محدوده دوم) \quad 95 = \pm \frac{\frac{2}{3}\delta}{\sqrt{n}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{n}} \delta \quad (\text{محدوده سوم}) = \pm \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{n}} = 65 \text{ درصد محدوده اطمینان}$$

بنابراین به کمک فرمول های داده شده می توان انحراف استاندارد را محاسبه کرد و علاوه بر آورد مقدار دقت تعیین می توان محدوده اطمینان آن را نیز به دست آورد.

۱-۵ روشهای ترسیمی

فرض کنیم در آزمایشی دو متغیر اندازه گیری شده X و Y به دست آمده اند. برای یافتن رابطه بین آنها می توان یک منحنی از مقادیر قرائت شده را ترسیم کرد و با رسم یک خط میانگین رابطه منحنی خط میانگین رابطه منحنی را تعیین کرد به این معنی که خطها را در یک از مشاهدات به صورت میانگین در می آوریم (منظور از خط میانگین آن است که منحنی حاصل را با تقریب به صورت یک خط به نام خط میانگین در می آوریم) معولا مشاهدات به نحوی انجام می شود که منحنی حاصل یک خط راست به فرم کلی $y=ax+b$ بدست می آید که a شیب خط و b عرض مبدأ است. اگر خط میان به وسیله چشم و به صورت تخمینی انتخاب شود امکان ایجاد خطا خواهد بود. اما اگر در هر نقطه یک مستطیل رسم شود و دقت تعیین هر یک از مشاهدات مشخص شود، از آنجا که از انتهای هر مستطیل در خط اخراج می شود، دو خط قابل رسم خواهند بود که در نتیجه دو رابطه به دست می آیند.

با یان روش در حقیقت محدوده دقت رابطه منتج به دست می آید استفاده از این روش پر زحمت است و معمولاً از روشی بهتر با نام کوچکترین توان دوم (مربع) استفاده می شود.

۱-۵-۱ روش کوچکترین توان دوم

فرض کنیم a شیب منحنی باشد. در واقع می توان گفت که a نمونه متوسط Y است وقتی که به X نحوی معین داده شود:

$$a = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2}$$

عملاً استاده از این فرمول مستلزم محاسبات دشواری است و معمولاً از فرمول عمودی دیگری که در آن فقط از داده های اصلی و اولیه استفاده می شود و دیگر نیازی به محاسبات مقدار میانگین نیست

$$a = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad \text{استفاده می شود.}$$

بدین ترتیب بهترین مقدار برای a پیدا می شود. بهترین مقدار برای b را می توان با جایگزین کردن مقدار میانگین

$$\bar{y} = a\bar{x} + b \quad \bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad \bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

در عبارت $y = ax + b$ یافت که در اینجا:

بهتر است که جدولی طراحی کنیم و برای مقادیر x و y و X^2 و xy و مقادیر نهایی $\sum xy, \sum x^2, \sum y, \sum x$ ستون هایی در نظر گرفته مسئله را حل کنیم .

در جدول زیر مقدار x و y در جدولی مشخص شده اند مشاهده می کنید.

														totals
X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	91
Y	17	18	24	31	33	37	33	36	41	44	57	57	54	481
	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100	121	144	169	819
xy	17	36	72	124	165	222	231	288	369	440	616	684	702	3966

با توجه به مقادیر جدول و با استفاده از عبارت (۱۲-۱) داریم:

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{\sum x^2 \sum x - (\sum x)^2} = \frac{481 \times 819 - 91 \times 3966}{819 - \frac{91 \times 91}{13}} = \frac{3966 - 3267}{819 - 367} = \frac{699}{452} = 3/29$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{481}{13} = 37, \quad \bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{91}{13} = 7$$

با جایگزین کردن آنها عبارت :

$$37 = (3/29 \times 7) + b \Rightarrow b = 13/97$$

پس رابطه خط راست به صورت زیر به دست می آید:

$$y = 3/29x + 13/97$$

حال اگر ما مقادیر x را در عبارت حاصل قرار دهیم مقدار تئوری y که آن را Y در نظر می گیریم حاصل می شود در این صورت خطا در مقدار مشاهده شده (y, Y) خواهد بود این محاسبه اگر در جدول انجام شد علاوه بر ستون

های مربوط به محاسبات a و b دو ستون اضافه برای $y = ax + b$ و $y - Y$ نیاز است. در اینجا متذکر می شویم که این روش برای ارزیابی صحت و ثابت بودن نتایج آزمایش بکار رود.

۶-۱ خلاصه

خلاصه نکات اصلی این فصل به قرار زیر است:

- (۱) همه اندازه گیری ها خطا پذیر هستند.
- (۲) انحراف ایجاد شده در اندازه گیری باید برآورد شده و به عنوان دقت اندازه گیری ارائه شود.
- (۳) دقت را می توان با تکرار اندازه گیری به دفعات متعدد و تعیین مقدار میانگین بهبود بخشید.
- (۴) روشهای آماری تشخیص دقت و درجه (محدوده) اطمینان باید به کار گرفته شود.
- (۵) روشهای آماری همچنین می تواند برای تحلیل داده های آزمایش بکار می رود که معمولاً به صورت نموداری نشان داده می شود و عموماً این روش موجب سازگاری بهتر داده های حاصل از آزمایش روابط یا قوانین مشتق شده از آن می باشد.

پایان فصل اول

فصل دوم :

استفاده از امواج نوری به عنوان استانداردهای طول



۱-۱ تکامل تدریجی استاندارد طول

علم اندازه گیری در بسیاری از علوم و فنون مورد اهمیت است و در آنها نقش بسزایی دارد. از طرفی وجود واحد های اندازه گذاری عضو لاینفک علم اندازه گیری است. واحدهای اندازه گیری علاوه بر نقض مهمشان در اندازه گیری در پیشرفت تکنولوژی پیشرفت فراوانی می کنند اما برای قابل استفاده بودن این واحدها باید به آنها عمومیت داد یعنی در کل کشورها قابل درک باشند و در واقع واحدهای بین المللی شوند. در پی حصول چنین مقاصری دو سیستم اینچی و متریک ایجاد شدند که سالهای متمادی کشورهای صنعتی جهان از آنها استفاده می کردند. در سال ۱۹۶۰ به وسیله کمیته اوزان و مقادیر سیستمی تهیه شد با نام سیستم SI که مخفف (systeme international unites) است و از دو سیستم mks و mksa منشعب شده است هم اکنون در بسیاری از کشورهای صنعتی مهم استفاده می شود و بسیاری از کشورها سیستم واحدهای خود را به آن تغییر داده اند.

در این کتاب سیستم Si مورد استفاده قرار می گیرند و به همین دلیل واحد طول متر خواهد بود.

۱-۱-۲ تعریف متر

متر عبارت است از : $1/73 \times 10^9$ که $1/73 \times 10^9$ طول موج اشعه نارنجی رنگ (قرمز پرتقالي) ایزوتوپ کریپتون ۸۶ در خلاء است.

این تعریف است که کشورهای استفاده کننده از سیستم SI از طول ارائه داده اند. در ادامه مبحث سیستمها متذکر می شویم که هر سیستم بین المللی باید بتواند دقت مورد نیاز در اندازه گیری را برابرتامی مقاصر علمی و صنعتی تأمین کند. برای به دست آوردن دقت های مختلف برای متر، زیر واحدهایی تعریف می شود مثلاً 10^{-1} مقادیر راپراتوها و ملحقات آنها نظیر (دقت و خطا) که از آنها در استانداردهای عملی طول استفاده می شوند به قدری دقت دارند که برای کالیبره کردن آنها از اینتر فرومتری (تداخل سنجی) که بر اساس طول موج نور انجام می گیرد استفاده می شود.

۲-۲ ماهیت نور

تداخل سنجی شاخه ای از علم است که پایه تولید اشعه نور از یک منبأ نور و تجزیه آن در یک عرضی که معمولاً چشم است قرار دارد. تفاوت طول در مسیری که شعه های نور طی می کنند تا قبل از تجزیه شدن آنها مشخص کننده فاز آنهاست. این اختلاف فازها در چشم احساس می شود (به طور نوارهای تاریک و روشن) برای درک پدیده تداخل لازم است که ماهیت نور را بدانیم. برای توضیح ماهیت نور دو تئوری ارائه شده است. تئوری ذره ای و تئوری موجی تئوری ذره ای به وسیله نیوتن اظهار شد که در آن نور بصورت انتشار ذرات درخشان فرض می شود. و تأثیر این ذرات در چشم احساس (دیدن) نور را ایجاد می کند.

تئوری موجی که بوسیله تمویگنس ارائه شد فرض را بر این گذاشته بود که نور به صورت حرکت موجی است که در فضا منتشر می شود. این تئوری به طور رضایت بخشی پدیده تداخل نور را ترجیح می کند. پس نور به صورت یک موج الکترومغناطیسی به شکل سینوسی در نظر گرفته می شود.

جهت انتشار در راستای محور OX است و فاصله طی شده به وسیله یک موج در دوره تناوب (مدت زمان T) را طول موج گفته و با λ نشان می دهیم. همچنین می توان گفت که طول موج فاصله بین دو نقطه هم موقعیت مثل P و P می باشد. بیشترین دامنه تغییر a و شدت آن a^3 است. سرعت انتشار برابر با λ/T است. همچنین فرکانس نور λ/T است. برای هر نور تک رنگ مشخص، پارامتر به شرایط های محیط نظیر دما و فشار بستگی دارد. حال اگر به عنوان مثال ز پرتو نور سبز رنگ جیوه ۱۹۸ برای منبع نور تک رنگ استفاده کنیم طول موج آن $5461/10$ میکرومتر خواهد بود. در بسیاری مقاصد مهندس ط از نور سفید که متشکل است از رنگهایی که در محدوده طیف مرئی قرار می گیرند استفاده می شود و به همین علت نور سفید منبع مناسبی برای مقاصد اینترفرومتری خواهد بود.

جدول زیر مقدار تقریبی طول موج رنگهای موجود در طیف مرعی را نشان می دهد و شرح می دهد که چرا بعضی از منابع نور برای اندازه گیری طول قابل بررسی نیستند. نمی توان طول موجها ره به طور دقیق به تک تک رنگها نسبت

داد برای همین معمولا در مسایل از یک طول موج متوسط به عنوان موج نور سفید و مقدار تقریبی 0.5mm استفاده می شود. و از آنجا که دارای دقت کافی است می توان ان را به عنوان یک استاندارد طولی قبول کرد. نقص در طول موج برای رنگهای اصلی مهمترین دلیل تلاش فیزیکدانان در طی سالیان متمادی برای یافتن نور تک رنگ خالص نظیر آنچه که جیوه ۱۹۸ یا کریپتون ۸۶ به دست می دهند بود که به اندازه کافی دقیق و قابل تولید هستند.

رنگ	فاصله (محدوده) طول موجها (Min)	محدوده طول موجها (Mm)
بنفش	۱۵/۷-۱۶/۷	۰/۳۹۶-۰/۴۲۳
آبی	۱۶/۷-۱۹/۳	۰/۴۲۳-۰/۴۹۰
سبز	۱۹/۳-۲۲/۶	۰/۴۹۰-۰/۵۷۵
زرد	۲۲-۶-۲۳/۶	۰/۵۷۵-۰/۶۰۰
نارنجی	۲۳/۶-۲۵/۴	۰/۶۰۰-۰/۶۴۳
قرمز	۲۵/۴-۲۷/۵	۰/۶۴۳-۰/۶۹۸

۲-۳ پرتوهای تک رنگ

ی: پرتو نور تک رنگ ممکن است ترکیبی با مقدار تعداد نا متناهی از انواع با طول موج یکسان که طول موج رنگ هر موج را مشخص می کند. در اینجا به بررسی تداخل دو پرتو تک رنگ با طول موج یکسان می پردازیم. عمل تداخل می تواند به دو شکل باشد: اگر دو پرتو A و B هم فاز باشند و هم دور از نقطه O شروع می شوند دامنه نوسان بر آیند، می شود و $a_R = a_A + a_B$ (شکل ۲-۲)

حال اگر اختلاف فازی برابر δ بین A و B ایجاد شود عمل تداخل به صورتی که در شکل نمایش داده شده انجام خواهد گرفت.

اگر $A, B, a_A = a_B$ هم فاز باشند $a_R = 2a \cos \frac{\delta}{2}$ که از مقدار Max کمتر است و بالاخره اگر اختلاف فاز بین آنها به همان صورتی که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است به اندازه 180° درجه یا $\frac{\lambda}{2}$ باشد $a_R = a_A - a_B$ و

a_R مقدار Min خواهد بود در صورتی که $a_A = a_B$ آنگاه $a_R = 0$ در این حالت چشم، نوری را احساس نمی کند و یک نور تاریک دیده می شود.

لازم به ذکر است که به جابجایی δ به شکل خطی صورت می گیرد و تداخل Max بین دو موج زمانی اتفاق می افتد که $\delta = \lambda/4$.

تداخل دو موج A و B که هم منبع و هم فاز هستند می توان به صورت نشان داده شده در شکل ۵-۲ نیز شرح داده شود.

پرده ای را در نظر می گیریم که خط 001 بر آن عمود است و دو منبع نور همسان و هم فاز A و B در مقابل آن مستقراند. O وسط A و B است. حال اگر به بررسی تداخل در نقطه 01 بپردازیم (نقطه O1 روی صفحه) واضح است که $AO_1 = BO_1$ بنابراین دو پرتو A و B در نقطه O1 نیز هم فازند این حالت شباهت دارد به شکل ۲-۲. در این نقطه دامنه نوسان ها با هم جمع شده و یک نور روشن ایجاد می شود که چشم آن را حس می کند. حال اگر در نقطه 02 به بررسی بپردازیم فاصله A و B طور کاملاً روشنی کوچکتر از B و A است و داریم:

$$BO_2 - AO_2 = (2n+1)(\lambda/4)$$

که b عدد صحیح است. پس موج به اندازه 180° می چرخد (خارج از فاز) در این حالت دامنه کم می شود (و یا به صفر می رسد) در نتیجه حاصل یک نور تاریک است. اگر نقطه ای دیگر نظیر 03 را بررسی کنیم:

$$BO_3 - AO_3 = 2n(\lambda/4)$$

شود. در حالت تشکیل نور تاریک تفاوت مسیر طی شده بوسیله A و B تا 02 مضرب زوج از نصف طول موج است و در حالت تشکیل نور روشن این تفاوت، مضرب ضروری از نصف طول موج است. لازم به ذکر است که این تداخل زمانی انجام می شود که شکل ۳-۲ دامنه برآیند aR برای دو موج A و B که مقدار δ اختلاف فاز دارند.

شکل ۴-۲ دامنه برآیند a_r برای دو موج A و B که مقدار نصف طول موج 180° درجه اختلاف فاز دارند.

منابع نور A و B یکسان می باشند. برای این کار در مقابل یک منبع نور دو شکاف A و B قرار می دهند که در نتیجه دو پرتو یکسان به دست می آید.

بنابراین به طور خلاصه:

(A) نور تولید شده در یک منبع تک‌تایی باید به دو جزء تقسیم شود.

(B) قبل از ترکیب در چشم هر اشعه باید مسیری را تا رسیدن به پرده طی کند تفاوت این مسیرها مضرب

عددی در نصف طول موج است.

شکل ۵-۲

تشکیل نوارهای تاریک و روشن پی در پی روی پرده که حاصل از طی شدن مسیرهای متفاوت به وسیله امواج دو منبع A و B می باشد.

۴-۲ کاربرد اینترفرومتری در آزمایش تخت بودن سطح

یکی از مسایل مربوط به ساخت در مهندسی دقیق که متناوباً با آن مواجه می شویم تولید سطوح صاف و با مساحت نسبتاً کوچک است. چنین سطوحی طبیعتاً به وسیله سنگ زنی و صیقل کاری سایشی متناوب انجام می شود تا به سطحی با درجه صافی و پرداخت بالا به دست آید.

یکی از رضایت بخشترین و البته مناسبترین روشها برای آزمایش صافی سطح چنین سطحی، استفاده از پدیده تداخل نور و کاربرد شیشه های نوری به عنوان اندازه گیری های مادر می باشد.

یک شیشه نوری دیسکی است از شیشه تنش گیری شده ای از کوارتز هر دو طرف آن صاف و صیقلی و پولیش شده می باشد. درجه صافی آن بالاتر از سطحی است که در مهندسی با آن مواجه می شویم به همین دلیل شیشه های نوری می توانند به عنوان یک مرجع برای سنجش صافی بکار روند (یا برای مقایسه صافی سطح)

شیشه های نوری از قطر ۲۵mm وجود دارند با قطر ۳۰۰mm و همچنین بزرگترین آنها ضخامتی در حدود ۵۰mm دارند. و در همه حالات سخت و نسبتاً تنش گیری شده است. استفاده صحیح در کاربرد و حفظ آنها موجب افزایش و نامحدود شدن تقریبی اثرپذیری شان (در برابر نور) می شود. حال اگر یک شیشه نوری را به صورت طبیعی و بدون اعمال هیچ فشاری به آن روی سطح یک منعکس کننده صاف (تخت) قرار بدهیم تماس یک حالت کاملاً افقی نخواهد داشت بلکه همانطور که در شکل ۶-۲ نشان داده شده است تحت زاویه θ خواهد بود و یک لایه هوا بین سطوح قرار خواهد گرفت. البته مقدار θ در اینجا اغراق آمیز در نظر گرفته شده است.

شکل ۶-۲ رویت شکل گیری نوارهای تداخل حاصل از پرتو موازی یک نور تک رنگ روی یک سطح تخت از طریق شیشه نوری.

حال اگر این سیستم تحت تابش پرتوهای موازی یک نور تک رنگ قرار بگیرد دیده می شود که قسمتی از موج تولید شده از منابع S در نقطه a منعکس می شود و قسمتی دیگر در امتداد لایه هوا به B منتقل شده و در آنجا منعکس می شود. B نقطه ای است روی سطح نقطه کار. دو جزء منعکس شده جمع می شوند و در چشم دوباره ترکیب می شوند. ولی مسیرهای طی شده به وسیله دو پرتو نشان داده شده و به اندازه a b c تفاوت دارند.

اگر $a b c = \lambda/4$ آنگاه شرایط برای تداخل کامل رضایت بخش است به این معنی که پرتو تابیده شده از منبع S به دو جزء تقسیم شده و منعکس می شوند همچنین «ی دو جزء به اندازه نصف طول موج نور به هم اختلاف فاز دارند. اگر به صورت عمود بر شیشه نوری نگاه کنیم یک خط مستقیم یا یک نوار تداخلی دیده خواهد شد. حال در امتداد سطح به نقاط مشابه به نقاط a و b می رسمیم (نقاط d و e) در اینجا طول مسیر طی شده به وسیله دو پرتو به اندازه def تفاوت دارد. اگر $def = 3\lambda/4$ درباره عمل تداخل صورت گرفته و نوار تداخلی دیگری دیده خواهد شد. حال در امتداد سطح در نقاط مشابه به نقاط A و B می رسمیم (نقاط d و e) در اینجا طول مسیر طی شده بوسیله دو پرتو به اندازه def تفاوت دارد. $f = 3\lambda/2$

درباره عمل تداخل صورت گرفته و نوار تداخلی دیگری دیده خواهد شد. در نقاطی که اختلاف مسیر برابر حاصل ضرب یک عدد زوج در نصف طول موج است دو جزء منعکس شده هم فازند و یک نوار روشن در آن نقطه دیده خواهد شد. بنابراین یک سطح متشکل از نوارهای تاریک و روشن پدید خواهد آمد که به صورت نوارهای مستقیم خواهد بود. برای یک سطح تخت به همان نحوی که در شکل ۷-۲ نشان داده شده است.

یک سطح داخلی تشکیل می شود. شکل ۷-۲ نوارهای داخلی حاصل از پرتوهای موازی یک نور تک رنگ که بر روی یک سطح تخت ایجاد شده و از طریق شیشه نوری دیاف می شود. ایجاد یک انحراف باعث حصول خطا در تخت بودن (یا تختی) سطح و در روی صفحه ای به موازات رأس زاویه θ خواهد شد.

دوباره به شکل ۶-۲ بر می گردیم دیده می شود که اگر θ کوچک باشد (که باید چنین باشد) داریم:

$$ab = bc = \lambda/4, de = ef = 3\lambda/4$$

مقدار دور شدن شیشه نوری و سطح تخت از نقطه b تا e برابر با تفاضل ab de خواهد بود:

$$de - ab = 3\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda/2$$

پس مقدار دور شدن شیشه نوری و سطح تخت برابر است با نصف طول موج نور و البته برای نقاط و روی نوارهای تداخلی و مجاور هم اگر θ افزایش یابد نوارهای تاریک و روشن به هم نزدیک تر می شوند و برعکس با کاهش θ دو سطح شیشه نوری وقطعه کار به موازات هم تراز گرفته در نتیجه پهنای نوارها زیاد می شود.

عملاً تغییرات θ بسیار کم است چرا که اگر θ را خیلی بزرگ بگیریم نوارها خیلی به هم نزدیک می شوند و در نتیجه غیر قابل تشخیص خواهد بود و اگر θ را خیلی کم کنیم مثلاً دو سطح اگر به هم فشرده شوند هوای موجود بین سطوح از بین رفته و هطیج نواری مشاهده نخواهد شد.

در عمل زاویه θ آنقدر زیاد نیست که در شکل ۶-۲ نشان داده شده است.

و معمولاً تماس در چندین نقطه و یا چندین خط صورت می گیرد. شکل ۸-۲ نمونه ای را نشان می دهد که در آن سطح قطعه کار محرب است. تماس بین قطعه کار و شیشه نوری در یک نقطه مرکزی با بلندترین ارتفاع صورت می گیرد. شکل ۸-۲ نمونه ای را نشان می دهد که در آن سطح قطعه کار محرب است. تماس بین قطعه کار و شیشه نوری در یک نقطه مرکزی با بلندترین ارتفاع صورت می گیرد. به همین علت نوارهای تاریک و روشن به صورت دواپری به مرکز نقطه تماس تشکیل می شوند. هر نوار نمایش دهنده مجموعه نقاطی است که از سطح کار به یک ارتفاع هستند. مقدار اختلاف ارتفاع بین نقاط مختلف عبارت است از:

تغییر های در ارتفاع نقطه تماس

Q در آن λ طول موج نور مورد استفاده و n شماره نوارهای مجاور مشاهده شده است.

واضح است نوارهای مشاهده شده وقتی که سطح کار محدب است یا زمانی که سطح کار مقعر است یکسانند. برای تشخیص این دو حالت اگر سطح محدب باشد و یک گونه از شیشه نورطی به آرامی فشار دهیم تمامی نوارها به آن طرف متمایل می شوند و مرکز دواپر به وضعیت اولیه انتقال می یابند.

شکل ۸-۲ نوارهای نمونه تولید شده بر روی یک سطح محدب توجه شود که با افزایش زاویه بین سطوح کار و سطح شیشه فوراً نوارها باریک تر شده و به هم نزدیک می شوند.

همچنین نوارهای خارجی تر به هم نزدیک می شوند اگر سطح مقعر باشد دیگر با فشردن گوشه شیشه نوری تغییر در شکل نوارها ایجاد نمی شود چرا که شیشه نوری با سطح در یک نقطه تماس ندارند بلکه بر روی خطوطی گرداگرد صفحه کار با آن تماس دارد.

بنابراین براتی تشخیص سطح مقعر کافی است به آرامی مرکز شیشه نوری را بفشاریم که در نهایت دواپر تولید شده به هم نزدیک تر می شوند و در نتیجه از تعداد آن کاسته خواهد شد.

عموماً شیشه های نوری را در نور طبیعی که دارای طول موج تقریبی 0.5Mm است به کار می برند. بنابراین اختلاف ارتفاع بین نقاط تشکیل دهنده هر دو نوار مجاور به اندازه $\frac{\lambda}{2}$ یا 0.25mm خواهد بود.

نوار های تشکیل دهنده همانند شکل ۱۰-۲ می باشد.

شکل ۱۰-۲) نوار نمونه تولید شده روی سطحی که c.l (خط مرکزی) آن به اندازه نصف طول موج بلند تر از لبه هایش است.

فرض کنید که نقطه یا خط تماس در AA باشد. در اینجا یادآوری می کنیم که تمامی نقاط هم ارتفاع نسبت به سطح شیشه نوری در روی یک نوار تاریک و روشن قرار می گیرد. بنابراین نوارهای نمونه مطرح شده در حقیقت نقشه ای از محیط سطح تخت آزمایش است و فاصله بین هر نوار نمایش دهنده مقدار ارتفاع نسبت به سطح شیشه نوری است که مقدار این اختلاف ارتفاع $\lambda/4$ است در شکل ۱۰-۲ نقطه C به همان اندازه نقطه B از شیشه نقطه نوری فاصله دارد ولی به اندازه $\lambda/4$ دورتر یا نزدیک تر از نقطه D. بنابراین سطح کار C ده اندازه $\lambda/4$ بلندتر یا (کوتاهتر) از سطح در نقطه D است.

اگر انحنای نوار به سوی خط تماس یعنی A باشد سطح کار محدب است حالت عکس نیز امکان پذیر است. تمرین و ممارست در کاربرد شیشه های نوری برای به دست آوردن درک صحیحی از قطعات تولید شده ضروری است و در همین راستا باید به هنگام کاربرد آنها به نکات زیر توجه داشت:

- ۱) همیشه شیشه های نورپرا به دقت و به مقدار کم جابه جا کنید.
- ۲) مطمئن شوید که سطح قطعه کار و شیشه نوری کاملاً تمیز باشد و در صورت لزوم آنها را با چرم بز کوهی یا پارچه ای از جنس (selvyt) خشک و پاک کنید.
- ۳) هرگز شیشه را به سطح کار نفشارید بلکه آنها را روی قطعه قرار دهید ضمناً کج بودن شیشه نوری باعث تولید نوارهای تاریک و روشن غلط می شود.
- ۴) هیچ وقت دو شیشه نوری را به هم نفشارید چرا که جدا کردن آنها مشکل است و امکان دارد سطح آنها خراشیده و خراب شود.

۵-۲) تداخل سنجها اینتر فرومترها)

شیشه های نوری را می توان در نور روز یا بهتر، در یک منبع انتشار نور تک رنگ شامل یک لامپ تخلیه سدیم که در مقابل یک صافی (فیلتر زرد رنگ) قرار دارد به کار می رود.

با این وجود به کار گیری آنها برای کارهای دقیق گاهی توأم با کشکلاتی نظیر مشکلات زیر می شود.

- ۱) کنترل شیشه نوری روی قطعه بیشتر مواقع مشکل است همچنین با کج شدنش دقت نوارهای تولید شده کاهش می یابد چرا که شیشه نوری باید در بهترین موقعیت قرار بگیرد.

۲) نوارها دقیقاً از بالا و در راستای قائم دیده نمی شوند و کج دیدن باعث خطا خواهد شد.

این مشکلات با به کار گیری وسایل نوری با نام تداخل سنجها بر طرف می شود. در اینجا دو نوع از آنها شرح داده می شود: یک نوع برای اندازه گیری صافی سطح و نوع دیگر بای کنترل میزان خطای طول و طول راپراتورها با استفاده از طول موج نور.

۱-۵-۲ تداخل سنجها N.P.L برای تعیین میزان صافی سطح

این وسیله به صورت شماتیک در شکل ۱۱-۲ نشان داده شده است که به وسیله آزمایشگاه ملی فیزیک (National physical laboratory N.P.L)

طراحی شده است و به صورت تجاری و به وسیله شرکت Corentry Gauge and Tool ساخته شده است. این تداخل سنج شامل یک منبع نور بخار جیوه است که از یک صافی سبز عبور می کند . بنابراین نورهای دیگر جذب شده و فقط نور سبز با طول موج نزدیک به 0.5 mm عبور می کند. این نوار از یک روزنه عبور داده خواهد شد تا منبع نور نقطه ای تولید کند. نور حاصل از چنین منبعی با عبور از عدسی موازی ساز تبدیل به اشعه موازی می شود و مستقیماً به طرف شیشه نوری و سپس قطعه تحت آزمایش گسیل می شود. پس از انجام تداخل نوری و تشکیل نوارهای تاریک و روشن در سرتاسر قطعه ، تصویر این نوارها دقیقاً از بالای آنها به وسیله یک شیشه منعکس کننده که تحت زاویه 45° درجه نسبت به افق قرار دارد به طرف چشم منتقل می شود. برای اینکه نوارهای تداخلی به بهترین شکل ممکن ایجاد شوند باید وضعیت قطعه تحت آزمایش را تغییر داد به همین دلیل سطح مبنای یک سرپایه قابل چرخش است که درجه بندی نیز می باشد.

مزیت این تداخل سنج آن است که می توان از آن برای تعیین موازی بودن سطوح قطعه کار (یا راپراتور) نیز استفاده کرد برای این کار نیز دو روش به کار می رود:

(۱) گیج های با طول کمتر از 25 mm .

(۲) گیج های با طول بیشتر از 25 mm

شکل ۱۱-۲) ساختمان تداخل سنج برای آزمایش صافی سطح (با اجازه چاپ از N.P.L)

(۱) در این حالت نوارهای تداخلی هم روی سطح مبنا و هم روی قطعه تولید می شود. اگر فاصله بین نوارهای تولید شده د روی قطعه با نوارهای ایجاد شده روی سطح مبنا برابر به موازات هم بودند سطوح فوقانی و تحتانی قطعه با هم مساوی اند.

(۲) در این حالت دیدن نورها روی سطح مبنا مشکل است. با توجه به اینکه سطح تحتانی قطعه کار با سطح مبنی کاملاً موازی هستند سطح فوقانی قطعه با شیشه نوری و زاویه ای می سازد (شکل (a) ۱۲-۲) از آنجا

که سطح مبنی قابل چرخش است می توان آن را 180° درجه چرخاند در این صورت زاویه فوق افزایش می یابد (شکل (b) ۲-۱۲) و تعداد ابزارهای بیشتری قابل مشاهده خواهد بود.

در اپراتور نشان داده شده (شکل ۲-۱۲) در حالت اول ۱۰ نوار در حالت دوم ۱۸ نوار مشاهده شده است. در شکل (۲-۱۲-a) فاصله بین راپراتور (گیج) و شیشه نوری S1 در موقعیت دوم شکل (۲-۱۲-b) S2 می باشد. همانطور که در بخش 4-2 توضیح داده شد.

جهت کالیبره و طبقه بندی کردن راپراتورهای کنار گذاشته شده. تداخل سنج Pitter-N.P.L یکی از تداخل سنجهای شناخته شده ای است که عمل اندازه گیری را به طور مستقیم (بی واسطه) انجام می دهد و به وسیله واسطه ای آزمایشگاه ملی فیزیک طراحی شده است. شکل شماتیک آن در شکل ۲-۱۳ دیده می شود که میدان دیگر نیز در عدسی چشمی نشان داده شده است. در عمل، منبع نور لامپ سدیم است که عدسی همگسرای [اشعه حاصل از آن را در روزنه G جمع می کند و بدین وسیله منبع نور نقطه ای ایجاد می شود. سپس اشعه حاصل به طرف عدسی موازی کننده f گسیل شده وارد منشور می گردد که شکل خاص این منشور باعث چرخش پرتو ها به اندازه 90° و به طرف شیشه نوری C می شود. صفحه پایینی منشور به وسیله یک ماده نیمه منعکس کننده از آلومینیوم پوشیده شده است که بخشی مساوی از پرتوهای تابیده را به طرف بالا منعکس می کند و بخش دیگری را به طرف شیشه نوری عبور می دهد که پس از عبور از شیشه نوری به سمت فوقانی راپراتور و صفحه مبنای b برخورد می کند. نور منعکس شده از روی هر کدام از این سطوح بر می گردد و پس از برخورد به منشور منعکس کننده I به میزان 90° درجه و به طرف عدسی سر دوربین و به محلی که چشم قرار دارد می چرخد.

شکل ۲-۱۳) دیاگرام سیستم نوری تداخل سنج N.P.L از ۴-۰ اینچ برای اندازه گیری خطا در راپراتورها (با اجازه چاپ از N.P.L)

بدین ترتیب نوارهای تداخلی تشکیل می شود. یک سری از آنها بر اثر انعکاس از روی سطح مبنای B ایجاد می شود و در روی این نوارها ، نوارهای دیگری تشکیل می شود که در اثر انعکاس نور از روی سطح فوقانی راپراتور که به روی سطح مبنا قرار گرفته است ایجاد شده اند.

معمولاً مجموعه نوارهای تداخلی تشکیل شده به اندازه A از خط میزان جابجا می شود که مقدار جابجایی a به نوع رنگ و در نتیجه طول موج نور تجزیه شده به وسیله منشور منحرف کننده بستگی دارد. مقدار جابجایی a به صورت کسری از پهنای نوارها یعنی b نشان داده میشود. $(f = \frac{a}{b})$ فقط کافی است که مقدار f را برآورد کنیم که «ی مقدار نیز برای ۴ پرتو حاصل از اشعه لامپ سدیم (قرمز-سبز-آبی-بنفش) که حاصل از تجزیه در منشور منحرف کننده هستند تعیین شده است. از آنجا که خط میزان، منطبق بر نوارهای تداخلی تشکیل شده به روی سطح راپراتور است می توان گفت که فاصله بین هر نوار به وجود آمده به روی سطح راپراتور و نوار مشابه آن که به روی سطح مبنا تشکیل شده است a می باشد: شکل (b-۱۳-۲) به وضوح مطلب فوق را نشان می دهد .

شکل ۱۴-۲) جابجایی بین گيج و سطح مبنا در تداخل سنج نوع N.P.L .

روش اندازه گیری:

نکته مهمی که قبلاً باید ذکر شود آن است که شرایط فیزیکی محیط باید به هنگام اندازه گیری در شرایط استاندارد باشد به صورت زیر:

دما در 20°C - فشار هوا 760mmhg - فشار بخار آب ۷ mmhg و مقدار CO_2 در هوا ۰/۰۳ در صد.

در صورت تغییر هر کدام از مقادیر فوق باید مقادیر صحیح به هنگام محاسبه را اعمال شود.

بعد از ذکر این نکته اکنون به محاسبه خطای یک راپراتور ۳mm می پردازیم برای این کار از سه طول موج

حاصل از پرتو سدیم به قرار زیر استفاده می کنیم :

حال با کم کردن فرمول حاصل از مشاهده کردن صفحات گیج از فرمول حاصل از محاسبات مقادیر اسمی یعنی G میزان انحراف یا خطای G از مقدار اسمیکش یعنی G_n محاسبه می شود:

قرار دادن اطلاعات در جدول است مثل جدول زیر:

مقاطدیری در ستون های ۶ و ۷ نشان داده شده اند به وسیله روش انتباق درجات به وجود آمده اند. این روش ساده ترین راه یافتن مضارب صحیح نصب طول موج ومضارب کسره های نصف طول موج (I) می باشد که در اندازه گیری خطا در گیج کاربرد دارند. مقادیری که در ستون ۵ به دست آمده برای این است که درجه انطباق دقیقی برای مقادیر ستون ۶ داشته باشیم در روش انطباق درجات از یک خط کش کشویی استفاده می شود که در شکل ۱۵-۲ نمایش داده شده است که در روی آن طول موجهای سه پرتو نور تک رنگ قرمز ، سبز، بنفش از یک مبدأ مشترک روی درجه ها نشان داده شده اند.

درجه بندی پایین خط کش مطابق است با درجه بندی یک میکرومتر و یک خط نیز از مقادیر $2/29$ و $2/89$ و $3/19$ که بر دی درجه بندی طول پیدا شده اند ، عبور داده می شوند .

امتداد این خط درجه بندی میکرومتر را در عدد $1/48mm$ را قطع می کند که همان میزان خطا در ارتفاع گیج است.

* مقادیر فوق، حاصل عبارت داخل کروشه در فرمول $G - G_n$ است.

۳-۱) شکل انداز

ما در فصل گذشته توانستیم بین روشها اندازه گیری که پایه استاندارد های مهندسی طول ایجاد شده بودند و علل استفاده از این قبیل استانداردها پل ارتباطی برقرار کنیم.

البته بررسی این ارتباط به علم اندازه گیری مربوط نیست و به طور کامل مربوط به رشته فیزیک می باشد. با این همه ارتباط بین روشهای اندازه گیری و استانداردهای طول از پایه های اندازه گیری خطی است. اندازه گیری خطی معمولاً اندازه گیری قطعه کار با یک اندازه معین مثلاً اندازه یک گیج مرجع می باشد که به آن اندازه گیری مقایسه ای می گویند .

برای انجام موفقیت آمیز این قبیل اندازه گیری ها با دقت مورد احتیاج و اغلب نیاز به استادی و مهارت در به کار بردن تجهیزات و وسائل نسبتاً ساده می باشد.

این کار همواره محتاج به کار گیری یکسری اصول ساده و مشخص و داشتن پشتکار و تنظیم راهی روشمند و استفاده از فنون متعددی است که فقط با تمرین به دست می آید.

این نکاد در آینده با تشریح اندازه یک گیج صفحه ای (Plain gap gavgc) بهتر تفهیم خواهد شد. در پایان باید گفت در این قبیل اندازه گیری ها هیچ چیز نمی تواند جانشین تجربه شود.

۳-۲) گیجهای خطا و گیج های مکعبی شکل

این دو گیج از معیارهای سودمند برای طول در کارهای مهندسی می باشد. به دلایل متعددی قابل ملاحظه اند : جدول زیر B.S.۸۸۸ استخراج شده استو مشخص کننده دقت در ابعاد و اندازه ها همچنین در صافی سطح و تقاضی سطوح است. البته این جدول تمامی پارامترهای گیجهای خطا را مشخص نمی کند.

در مجموعه خطا دارای درجه بالایی از استحکام ابعادی بوده و قابل فشردن به یکدیگر می باشند. استحکام آنها حاصل از انتخاب مناسب فولادی است که در ساختشان به کار رفته است و همچنین ثبات رفتار گرمایی که گیجهای پس از عملیات سخت شدن طی می کنند علت دیگی آن می باشد.

خواص مربوط به قابلیت فشاردهی آنها به یکدیگر ناشی از صافی سطح و پرداخت سطوحی است که وقتی دو گیج از جهت آن سطوح به یکدیگر تماس پیدا می کنند نه تنها هوای بین آنها خارج می شود بلکه جاذبه مولکولی بین آنها نیز پدیدار می گردد. مطلب اخیر به کمک این حقیقت قابل نشان دادن است که وقتی دو گیج برای مدتی به هم فشرده می وند و جدا کردن آنها مشکل خواهد بود. با توجه به این موضوع تذکر داده می شود که نباید گیجهای برای مدت طولانی در شرایط فشردگی قرار گیرند چرا که در غیر این صورت سطوح تماس به هنگام جدا کردن خراب خواهد شد.

عموماً گیجهای به چهار دسته تقسیم می شوند که هر کدام دارای یک دقت می باشند و هر کدام را بسته به کیفیت و نوع کاری که انجام می دهد بکار می برند.

نوع کارگاهی آنها که دسته اول را تشکیل می دهند برای تمامی مقاصد کارگاهی و محدوده وسیعی از کارهای بازرسی و معاینه از دقت کافی برخوردار می باشند.

دسته دوم گیجهای بازرسی هستند که اختصاص دارند به معاینه و بازرسی و تنظیم گیجهای و همچنین استاندارد کردن کمپراتور (گیجهای کنترل کیفیت)

دسته سوم گیجهای میزان سازی (یا کالیبره کردن) می باشند که برای کارهای با کیفیت بالا نظیر بازرسی اندازه گیجهای کارگاهی و بازرسی گیجهای حدی (limit gouge) مورد استفاده قرار می گیرند.

دسته چهارم گیجهای مرجع می باشند همانطور که از نامشان پیداست فقط زمانی استفاده می شوند که دقت گیجهای دیگر مشکوک به نظر می رسند و یا احتیاج به بررسی و بازرسی دارند. این گیجهها به عنوان آخرین ملاکهای بازرسی در دستگاهها و وسایل بازرسی و معاینه تعبیر می شوند.

عموماً عمل کالیبره کردن یا به وسیله خود سازنده ها انجام می شود یا به وسیله شرکت های معتبری نظیر آزمایشگاه ملی فیزیک و برای کارها از روشهای تداخل سنجی شرح داده شده در فصل ۲ استفاده می شود.

با توجه به میزان سازی انجام شده و جدول واضح است که کوچکترین اختلاف موضوع بین اندازه های هر دو گیج 0.250mm است. در حقیقت می توان اختلافها را به طور محسوسی کوچکتر از این مقدار ترتیب داد البته با توجه به مقدار و جهت خطای تک تک گیجهها.

هر جا که کطیف کار ایجاد بکند مقادیر کالیبره شده گیجهها خطای مورد استفاده قرار بگیرند. معمولاً برای ر گروه از گیجهای خط یکسری محافظهای خطا تا $1/0\text{mm}$

تهیه می گردد و باید ترکیب آنها به نحوی باشد که ایجاد فرسودگی زائد در گیجهای خطا جلوگیری کنند.

۳-۳ گیجهای میله ای شکل طول

طرح کامل این گیجه در B.S.1790 (استاندارد انگلیسی سال ۱۷۹۰) در چهار گروه از دقت ارائه شد: کارگاهی، بازرسی و معاینه، میزان سازی، مرجع.

هدف از کاربرد آنها مشابه گیجهای خطا می باشد ولی برای قطعه کارهای بزرگتر.

به همین دلیل از آنها کمتر در کارهای مهندسی متوسط و شرکتهای بازرسی استفاده می شود. سطوح انتهایی هر یک از میله ها به روش پرداخت فشاری صیقل داده شده اند ولی این خاصیت برای اینکه بتوان گیجهها را با هم ترکیب کرد قابل اطمینان نیست.

میله ها بجز آنها که 25mm طول دارند در انتها پیچ تراشی وارد شده اند ، تا بتوان برای اتصال مطمئن آنها به یکدیگر از پیچهای انطباقی که دو سر آن رزوه شده است استفاده کرد.

بهترین کاربرد این میله ها استفاده از آنها بطور عمودی است چرا که وقتی به طور عمودی مورد استفاده قرار می گیرند باید از دو نقطه اتکا به فاصله (طول میله * 0.775) از دو انتهای میله قرار دارند استفاده شود بنابر «ا»ی دو سطح انتهایی گیجهها میله ای در یک راستا خارج از نقاط اتکا قرار می گیرند. تمام این جزئیات در شکل (a) ۱-۲ نشان داده شده است .

لازم به تذکر است که دقت گیجهای خطا و گیجهای میله ای باید به وسیله یک شرکت مهندسی که دقت تولیدات را تعیین می کند ارائه می شود و این کار نیازمند تحقیق و رسیدگی منظم مورد دقت گیج ها می باشد.

برای تعیین دقت لازم نیست که حتماً یک شرکت یک تداخل طول سنج به عنوان مرجع تعیین دقت گیجها وجود داشته باشد. تعیین دقت این گیجها را آزمایشگاه بین المملی فیزیک بر عهده گرفته است و با آزمایش آنها خطای طول را در هر یک از گیجها ارائه نموده است. همچنین میزان خطا در توازی سطوح و صافی آن نیز تعیین و ارائه می شود.

حال با ای گیجها به عنوان استانداردهای مرجع قابل قبولند و با کاربرد یک کمپراتور با بزرگنمایی بالا و قابلیت مناسب و همچنین تکرار در خواندن مقادیر قرائت شده می توان گروه دوم گیجها را کالیبره کرد درشرکتهای کنترل کیفیت کاربرد دارند. به روش مشابه می توان گروه کارگاهی این گیجها را نیز میزان سازی نمود. با این اوصاف یک نسبت مستقیم بین دقت قطعات کار و استانداردهای نهایی طول برقرار شده است و این تنها منبع معمول برای ساخت قابل تبدیل است. که در جدول ۳-۱ این تبدیلات دیده می شود.

در اینجا لازم به ذکر است که رسیدگی و تحقیق در مورد گیجها باید تحت شرایط مناسب فیزیکی انجام شود. گیجهای مرطوب باید همواره در اتاقهای استاندارد قرار داده شوند به طوری که در محیطی آرام و بدون لرزش قرار بگیرند. دمای $\pm 1^{\circ}F$ دمای مطلوب است که با کنترل میزان رطوبت هوا در ارتباط می باشد برای محکم کاری با استفاده از صافی در مقابل ورودی هوا اتاق کنترل و گرد و خاک می توان از فساد لوازم و تجهیزات جلوگیری کرد. تمام کمپراتورها باید همیشه به نحوی روی تکیه گاهها قرار بگیرند که علاوه بر استحکام در موعیت تراز نیز قرار داشته باشند. تحت شرایط قرار داده شده فوق و با به کار گیری فن اندازه گیری دقیق می توان دقت گیج ها را به صورت کسری از یک Mm تعیین کرد.

منظور از ساخت قابل تبدیل این است که با ساخت گیجهای مرجع می توان گیجهای دیگر را نیز کالیبره کرد.

نخستین استاندارد طول: متر که به وسیله تداخل سنجی تعیین می شود

دومین استاندارد: زیرا استانداردهای متر (که به وسیله تداخل سنجی تعیین می شوند)

گیجهای خطای مرجع یا میزان سازی (که به وسیله تداخل سنجی تعیین می شوند)

گیجهای خطای کنترل کیفیت (که به وسیله مقایسه گر با بزرگنمایی بالا تعیی می شوند)

گیج های خطای کارگاهی (که به وسیله مقایسه گر با بزرگ نمایی بالا تعیین می شوند)

قطعه کار (که به وسیله روش اندازه گیری مناسب تعیین می شوند)

(شکل ۱-۳)

۳-۴) طراحی و بهره برداری از وسایل اندازه گیری خطی

اساس وسایل اندازه گیری بر پایه شماتیک است. علم سینما تیک بر بررسی حرکاتهای نسبی بدون در نظر گرفتن نیروهای تولید کننده حرکت می پردازد. این حرکتها می توانند مستقیم انحنا یا دورانی باشند که گاهی نیازمند به ذف آنها در قطعات می باشد تجربه حاصل از طراحی در سالهای متمادی نشان می دهد که اصول سینماتیک باید به دقت پیروی شوند. به همین دلیل ماشین ها و وسایل باید دارای این ویژگی ها باشند

۱) درجه بالایی از حساسیت

۲) درجه بالایی از دقت

۳) عدم وجود وارتانس

۴) حداقل ایترسی در قسمت های قابل حرکتی که مکانیزم عقربه وسیله اندازه گیری را شکل می دهند.

۱-۳-۴) اصل مسیر

علاوه بر این نکات که بوسیله اصول سینماتیک فراهم می شوند یان اصل مهم دیگر نیز باید مورد بررسی قرار بگیرد. این اصل که به اصل مسیر معروف است می گوید : خطای اندازه گیری و خطای اندازه که مورد اندازه گیری است باید بر هم منطبق باشند به طور ساده تر قطعه ی مور اندازه گیری و وسیله اندازه گیری باید در یک راستا قرار بگیرند. این اصل یک اصل بسیار اساسی برای طراحی خوب است و به ندرت از این اصل انحرافی صورت گرفته است. به عنوان یک مثال خوب می توان میکرومتر خارج سنج شکل ۲-۳ را بررسی کرد که اصل مسیر در آن به طور کامل بر قرار است.

شکل ۲-۳) یک میکرومتر دستی که با اصل مسیر مطابقت دارد .

حال به شکل ۳-۳ توجه کنید به طوری که نشان داده شده است اصل فوق رعایت نشده بطوری که با افزایش مقدار جابجایی، اختلاف بین اندازه A و مقدار قرائت شده B زیاد می شود.

شکل ۳-۳) یک کولیس که اصل مسیر در آن رعایت نشده است.

انحنای نشان داده داده شده ممکن است در اثر فشار دادن بیش از حد شاخک ورنیه به قطعه کار نیز بوجود بیاید. از آنجا که تعیین اندازه (در غیاب وسایل لازم برای استاندارد کردن آن) از فردی به فرد دیگر تغییر می کند با چنین مقادیر مختلفی برای اندازه A قرائت می شود و در نتیجه درجه اطمینان این کولیس نسبت به دقت میکرو متر شکل ۲-۳ کمتر و تعیین اندازه A با آن مشکلتر خواهد بود مثالهای دیگری از کاربرهای این اصلرا بعداً توضیح خواهیم دادو اکنون به بررسی دیگر پارامتر های مهمی که وسایل اندازه گیری باید دارا باشند می پردازیم :

می توان حساسیت را به این صورت تعریف کرد:

میزان جابجایی عقربه دستگاه به کمیت اندازه گیری شده (یا اندازه مورد نظر)

با در نظر گرفتن چنطدین قطعه کار و اندازه گیری آنها با دستگاه مورد نظر می توان نموداری را به شکل زیر رسم کرد:

شکل-۳-۴

مقدار حساسیت یک وسیله اندازه گیری

اگر dx مقدار نمونه x و dy مقدار y برای دو مقدار متوالی قرائت شده باشند آنگاه برای هر مقدار $y = \frac{dy}{dx}$

حساسیت دستگاه عبارت است از شیب منحنی در هر مقداری از y .

باید توجه شود که این روش یافتن حساسیت دستگاه بر اساس عقاید مورد قبول متعددی بسط داده شده است تا از این طریق حساسیت دستگاه به طور کامل و با توجه به کمترین میزان تغییر در مقدار اندازه گیری شده که باعث تغییر قابل ملاحظه ای در مقدار قرائت شده دستگاه خواهد شد د تعریف و تعیین گردد. با این حال این قبیل تعاریف به این حقیقت توجه ندارند که حساسیت ممکن است تا پس از جابجایی نهایی عقربه دستگاه ثابت نباشد.

۳-۴-۳ دقت

دقت عبارت است از مقدار تصحیحی که باید نسبت به مقادیر اندازه گیری شده به روی مقادیر قرائت شده صورت گیرد. در واقع با دقت در تعیین درجه بندی وسیله اندازه گیری هنگام سوار کردن دستگاه یا آزمایش کردن با آن این اختلاف بر طرف خواهد شد.

ممکن است که مکانیسم دستگاه در اثر کار فرسوده شود در این صورت دستگاه نیازمند میزان سازی (کالیبره کرده) دوباره می باشد تا دقتش اصلاح شود. عمل میزان سازی را می توان با گیج های خطا انجام داد به این ترتیب که نسبت اندازه واقعی گیج را به اندازه ی اسمی شان تعیین کنیم (که مقدار خطا در دستگاه خواهد بود)

۳-۴-۴ واریانس

واریانس عبارت است از میزان تغییر در مقدار قرائت شده از دستگاه که با تکرار در اندازه گیری کی اندازه داده شده حاصل می شود و مقدار آن در بسیاری از انواع وسایل اندازه گیری ذاتی و لاینفک است. مقدار واریانس به چندین عامل از قبیل کیفیت ساخت و مقصدی دستگاه بستگی دارد.

به عنوان یک آزمایش به تعیین واریانس در یک دستگاه اندازه گیری می پردازیم .

برای این کار ساعت اندزه گیری را در نظر می گیریم که می تواند با دقت روی یک سطح مرجع که کاملاً پرداخت شده است حرکت کند. پس مجموعه ای از گیج های خطا را در نظر میگیریم به طوری که اندازه آنها به طور متوالی ۱mm افزایش یابد تا به این وسیله ی محدوده حرکت شاخص ساعت اندازه گیری را افزایش دهیم . اکنون هر گیج را به نوبت و با دقت روط صفحه مرجع قرار داده و شاخص ساعت اندازه گیری را در امتداد سطح فوقانی آن عبور می دهیم در نتیجه مجموعه ای از قرائت های مشابه حاصل می شود که آنها را ثبت می کنیم .

برای اطمینان بتوان این قرائت ها را روی محور عمودی نمایش داد فرض می کنیم که ساعت ساعت اندازه گیری به صورت عمودی روی گیج ها حرکت کند و بالا یا پایه‌یین برود .

بنابراین یک بار شاخص را رو به بالا حرکت می دهیم و مجموعه ای از قرائت ها حاصل می شود و بار دوم شاخص را رو به پایین حرکت می دهیم و مجموعه ای دیگر از قرائت ها حاصل خواهد شد که آنها را همان طور که در شکل (۳-۵) نشان داده است رسم میکنیم . این قرائت ها تشکیل دو منهنی می دهند که آنها نیز یک گره یا حلقه را می سازند(به این نوع حلقه ها ، حلقه یا (گره) پسماند می گویند که از خصوصیات ویژه ی دستگاه تحت آزمایش است) بیشترین فاصله ی بین این دو منهنی بیشترین مقدار واریانس قرائت ها را در مجموعه ای از گیج های خطا نشان می دهد.

با توجه به این آزمایش و شکل (۳-۵) می توان نتیجه گرفت که عموماً ساعت های امندازه گیری برای اندازه گرفتن اختلاف ارتفاع ها یا اختلاف طولهای بسیار کوچک مناسب نیستند.

کمیت اندازه گیری شده (قرائت شده)

شکل (۳-۵) واریانس در یک ساعت اندازه گیری تحت آزمایش

(۳-۴-۵) اینرسی در قسمت های قابل حرکت (متحرک)

بیشترین دستگاهها خواه به طور کامل و خواه به طور جزئی به اتصالات و سیستم های مکانیکی یا به جابجایی های یک سال بستگی دارد و به همین دلیل عملکرد آنها دستخوش زيانهای ناشی از اینرسی است و تنها دستگاه هایی که منحصرأً به کاربرد خواص نوری بستگی دارند به کلی از اثرات اینرسی در امان می باشند . این اثرات موجب تولید

یک حالت کندی و سستی در دستگاه می شود که می توان آن را برای یک دستگاه معین و با توجه به کوچکترین تغییر در مدار اندازه گیری شده (که در نتیجه سبب تغییر در مقدار قرائت شده می باشد مشخص کرد).

به عنوان مثال دستگاهی را در نظر بگیرید که دارای یک دیافراگم است . اطن دیافراگم از یک سو تحت فشار سیالی قرار می گیرد و با انتقال این فشار به یک عقربه که به روی صفحه ای درجه بندی شده قرار دارد عددی را نشان می دهد. چنین دستگاهی فقط زمانی از اثرات اینرسی در امان است که دیافراگم کاملاً کشسان باشد چرا که در غیر این صورت میل به ماندگی (اینرسی) باعث می شود تا دیافراگم به طور کامل به وضعیت اولیه خود بازنگردد و در نتیجه اندازه گیری خطا پذیر می شود.

دستگاهی جای دیگری نیز وجود دارند که عملکرد عقربه آنها ناشی از یک سیستم فنری است در اینجا هم اگر فنرها کشسان کامل نباشند مشکل فوق وارد خواهد بود .

پس از بررسی اجمالی مطالب فوق تصدیق می شود که جدا کردن عیوب تولید کننده ی خطا در وسایل اندازه گیری کاری مشکل است چرا که اکثراً با هم در ارتباطند . مثلاً همین حالت لختی و سستی و در وسایل دقیقاً در ارتباط با حساسیت دستگاه می باشد که نهایتاً موجب اشتباه در قرائت درجه بندی دستگاه می شود. این نکته را به ذهن بسپارید که ماشین های اندازه گیری علاوه بر اجزاء مختلف باید دارای خواص گفته شده نیز باشند و البته خود این خواص نیز در چارچوب اصول سینماتیک قرار می گیرند .

در حقیقت باید گفته شود که فقط به کمک رئایت دقیق چنین اصول سینماتیک (است که می توان یک طراحی مناسب را ارائه داد .

۳-۵ اصول سینماتیک

یکی از مهمترین قضایای سینماتیک می گوید که : هر جسم صلب در فضا دارای شش درجه آزاد است. همانطور که در شکل ۳-۶ نشان داده شده است این جسم می تواند در راستای هر کدام از محوره های X و Y و Z حرکت کند و یا حول آنها بچرخد بنمابر این دارای شش درجه آزادی خواهد بود . به همین دلیل برای ثابت نگه داشتن این جسم در فضا ۶ قید لازم است هر قید برای ۱ درجه آزادی عموماً در وسایل اندازه گیری لازم می شود که فقط ۱ درجه آزادی به عضو مورد نظر بادهیم به طوری که در ۵ جهت دیگر محتاج بکار گیری ۵ قید خواهیم بود .

(شکل ۳-۶) شش درجه آزادی- اگر جسمی در فضا قادر به حرکت باشد یک حرکت یا ترکیبی از حرکت های نشان داده شده را خواهد داشت .

۳-۵-۱ تثبیت کامل

به عنوان مثالی در مورد مطلب اخیر فرض کنید که می خواهیم یک صفحه مسطح را روی پایه ای سوار کنیم . این کار باسید به نحوی صورت گیرد که شرایط زیر برقرار شوند :

- (۱) صفحه بدون کاربرد هیچ نیرو یا نیروهای خارجی باید کاملاً ثابت باشد
 - (۲) صفحه باید در مقابل منبسط شدن یا منقبض شدن در اثر تغییرات دمای محیط آزاد باشد .
 - (۳) صفحه باید به اندازه کافی از تغییر شکل و کج شدن محافظت شود.
 - (۴) از جابجایی یا خروج اتفاقی صفحه از محل تنظیم شده خود جلوگیری شود .
- می توانیم به طور اختیاری شرط دیگری نیز برای سوار کردن صفحه به شرط های فوق اضافه کنیم به این ترتیب که صفحه در حالتی کاملاً افقی (تراز) قرار بگیرد . در هر حال همه این شرایط با روش زیر قابل دسترسی خواهند بود:
- سطح تحتانی صفحه به روی سه گلوله سوار خواهند شد به نحوی که مرکز ثقل صفحه ، مرکز ثقل مثلثی باشد که اضلاع آن مثلث خطوط گزیده از مراکز گلوله هاست. (شکل ۷-۳)*

مقاطعی که این صفحه باید دارا باشد تا این سه گلوله ها درون آنها قرار بگیرند به صورت سوراخ مخروطی ، شیار و یک شکل و یک سطح صاف خواهند بود (شکل ۸-۳) به این ترتیب اگر گلوله ها درون حفره مخروطی ، شیار V شکل و سطح صاف قرار بگیرند حفره مخروطی مانع از همه حرکات افقی در راستای محورهای X و Y و Z می شود

**.

چرخش حول محور Z (محور عمودی Z) و یکی از محور های X و Y به وسیله شیار V شکل ثابت می شود.

چرخش حول محور افقی باقیمانده نیز به وسیله مقطع مسطح جلوگیری می شود . بنابر این صفحه به طور کامل مقید می شود و سه شرط تعیین کننده ثبات صفحه بر قرار مط باشند . بعداً ذکر خواهد شد که موقعیت صفحه در این حالت دقیق است ضمناً اگر گلوله ها را روی پیچهای متعادل کننده قرار دهیم با تنظیم ارتفاع گلوله ها به وسیله این پیچها می توان صفحه را در یک سطح تراز و افقی قرار داد .

** اگر شرط اختیاری ذکر شده در صفحه قبل را نیز در نظر بگیریم و آن حالت دو بعدی خواهد شد . حرکت در رفت و برگشتی در راستای Z خود به خود منتفی خواهد شد .

* با توجه به شکل این مقاطع هم روی سطح تحتانی صفحه و هم روی سطح فوقانی سطحی که صفحه به وسیله گلوله ها روی آن قرار دارند باید ایجاد شوند.

۲-۵-۳) یک درجه آزادی

حال اگر یک درجه آزادی احتیاج داشته باشیم مثلاً حرکتی خطی در طول محور Y کافی است به جای سوراخ مخروطی یک شیار V شکل را جایگزین کنیم در این صورت شرایط برقرار شده در شکل (۹-۳) را خواهیم داشت .

ضمناً از آنجا که جسم فقط در انتداد محور نشان داده شده می تواند آزادانه حرکت کند مرکز ثقل صفحه دیگر مرکز ثقل مثلث وصف شده نخواهد بود .

شکل (۱۰-۳) نمونه ای است از سبط قوانین فوق برای سور خوردن دو صفحه که با ساخت شیارهای ۷ شکل به وجود آمده است.

برای اینکه عمل سر خوردن بهتر انجام شود و همچنین برای کاهش استحکاک بجای گلوله فوق از گلوله های غلعی استفاده می شود . و برای جلوگیری از پخش شدن آنها ، در فواصل مناسب از ریلها ، میخ های متعددی قرار می دهند.

به کارگیری این نوع ریل های کشویی در ماشین های اندازه گیری نیز وجود دارد . و طراحی آنها بسته به کاربریشان در دستگاه اندازه گیری متغیر است.

در اینجا ی: بار دیگر تأکید میکنیم که تنها با به کار بردن اصول سینماتیک می توان وسیله ای را طراحی ک رد که دقتش در همان حد دقت زمان ساخت باقی بماند . به کار گیری این قوانین نه تنها فراید ساخت را ساده تر می کند بلکه موجب تطبیق قسمت های مختلف دستگاه به هنگام سوالر کردن آنها به روی هم یا به هنگام آزمایش کردن آنها خواهد شد همچنین باعث می شوند تا به طور کاملاً رضایت بخشی به خصوصیات ویژه ی کاربردی نایل آئیم .

۳-۶) مقایسه گیج های مکعبی شکل (راپراتورها)

قبلاً روش مناسبی با نام اندازه گیری مقایسه ای با گیج های خطا ذکر شد .

این روش به قدری مهم و اساسی است که می ارزد تا در اینجا با تفصیل آن را بررسی کنیم. به مسال زیر توجه کنید :

مثال : می خواهیم مجموعه ای از گیجهای خطا که از درجه کارگاهی می باشند را با گیجهای خطای مرجع مقایسه کرده و آنها را کالیبره کنیم .

وسایل مورد نیاز : ۱ مجموعه از گیجهای خطای مرجع ، گیج های خطای کارگاهی که می خواهیم آنها را کالیبره (میزان سازی) کنیم و یک کمپراتور با بزرگنمایی ۱۰.۰۰۰ برابر .

روش ، ابتدا فرض می کنیم که تمامی وصال فوق به مدت کافی در اتاق استاندارد یا آزمایشگاه اندازه گیری قرار گرفته اند به طوری که دمای آنها تقریباً 20° باشد . همچنین گیجها را بایاً به وسیله چرم بز کوهی و پس از شستن در یک الک مناسب مثل تتراکلریدکربن خشک کرد .

میز کمپراتور (مقایسه گر) را نیز به همین روش شسته و خشک کنید .

بهتر است گیج ها را در نقطه ای مجاور مقایسه گر در دو گروه مرجع و کارگاهی منظم کنید.

حال یک گیج مرجع را به آرامی روی صفحه ی مرجع مقایسه گر قرار می دهیم و دستگاه را پایین می آوریم و آن را برای خواندن مقدار خطای معلوم

گیج مرجع تنظیم می کنیم . در ای « مرحله باید دمای گیج و محیط اطرافش ثابت بوده و به حالت موازنه باشند . اگر لازم باشد مقدار قرائت شده دستگاه را دوباره با مقدار خطای گیج های مرجع تطبیقش می کنیم . سپس با دقت گیج مرجع را برداشته و گیج کارگاهی را با همان اندازه اسمی جایگزین می کنیم و روش قبلی را به کار می بریم بعضی مواقع ممکن است لقی در عقربه ها پدید آید و در نتیجه موجب تولید خطا در تنظیم صفر دستگاه شود بنابراین در صورت وجود باید این خطا را ثبت کنیم شرط احتیاط آن است که به کمک قرائت دوباره خطای گیج مرجع، صحیح بودن محل صفر دستگاه را بررسی می کنیم . با این کار تغییرات احتمالی ایجاد شده در شرایط اندازه گیری بخصوص دما را می توان تشخیص داد.

بعد از قرائت خطای گیج ها نتایج را در جدولی مثل جدول مقابل خلاصه می کنیم.

دقت اندازه گیری به کمک این قبیل روش ها معمولاً در محدوده $\pm 0.05 \text{ mm}$ قرار دارد البته این مقدار قابل تغییر است چرا که به دقت مقایسه گر و همچنین دقت مشاهدات بستگی دارد .

* منظور آن است که وقتی با دستگاه هیچ عمل اندازه گیری انجام نمی شود عقربه یا نمایشگر دستگاه کاملاً روی صفر تراز بگردد.

۳-۷ طراحی مقایسه گر ها

مقایسه گر ها از وسایل اصلی اندازه گیری خطی می باشند و برای همین طراحی آنها خیلی مورد توجه واقع شده است اصول بسیاری در فراهم کردن میزان بزرگ نمایی مناسب برای عقربه که حرکت آن متأثر از بُعد در حال اندازه گیری است بکار می روند که اصلی ترین آنها عبارتند از :

(۱) مکانیکی (۲) مکانیکی- نوری (۳) بادی (۴) الکتریکی (۵) جابجایی سیال

۱-۳-۷ مقایسه گر هایی که بزرگنمایی بالایی دارند.

در مجموع این قبیل مقایسه گر ها برای استفاده در اتاقهای استاندارد و بطور نسبی در سازمانهایی کنترل و کیفیت طراحی شده اند و بطور وسیعی برای میزان سازی گیج ها به کار می روند . دو نوع از آنها عبارتند از :

(۱) مقایسه گر تراز شکل بروکز (Brookes)

(۲) مقایسه گر ادن- رولت (Eden-Rolt) یا میلیونیوم

طراحی هر دو آنها در آزمایشگاه بین المللی فیزیک صورت گرفته است و ساخت آنها کار انسانهایی است که پیشرفت اندازه گیری مرهون آنهاست، هر کدام از این دو وسیله هم اکنون به وسیله تجاری تولید می شوند و سادگی و صحت کارشان به قدری است که هیچ کتاب علم اندازه گیری نمی تواند از بحث درباره آنها چشم پوشی کند.

۳-۷-۱-۱) مقایسه گر تراز شکل Brooks

اصول مار این مقایسه گر ها مثل حرکت یک حباب در تراز است که در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. مهمترین بخش این دستگاهها همان تراز آنهاست که حباب آزادانه در آن حرکت می کند و شیب لازم را بر اساس اختلاف ارتفاع گیج های A و B و همچنین میزان چرخش صفحه مبنای مقایسه گر بدست می دهد در عمل دو گیج مورد مقایسه را روی صفحه ی مبنای مقایسه گر قرار می دهیم پس تراز را از طریق ستون فولادیش پایین می آوریم به طوری که دو طوری پایه در فاصله مرکز به مرکز ۱۷/۵ mm و روی گیج های A و B قرار بگیرند . حالا اگر فرض کنیم که A گیج مرجع باشد مقدار و جهت شیب تراز بستگی به ارتفاع B نسبت به A دارد .

(در موقعیت B-A (شکل b ۳-۱۱) پدیدار می گردد و عدد دیگری از روی تراز خوانده می شود .

اختلاف بین مقادیر قرائت شده در موقعیت های a-b و b-a دو برابر اختلاف ارتفاع گیج هاست پس :

$$Sh = \frac{R_1 - R_2}{2} \quad \text{که } R_1 \text{ و } R_2 \text{ مقادیر قرائت شده در دو وضعیت فوق می باشند. درجه بندی دستگاه تا } 0.2 \text{ mm}$$

تقسیم بندی شده است ولی بصورت تخمینی (تقریبی) می توان تا ۰/۰۴mm را با آن خواند بنابراین کوچکترین

$$\text{دقت در اختلاف ارتفاع های بدست آمده دو گیج } \frac{0.04}{2} \text{ یا } 0.02 \text{ mm خواهد بود.}^*$$

شکل (۳-۱۱): اصول اندازه گیری مقایسه ای به وسیله ی مقایسه گر تراز شکل بروکز.

*: در فصل ۲ این روش برای شکل ۲-۱۲ بکار گرفته شده است برای تفهیم بهتر به این قسمت مراجعه کنید .

یکی از مزایای این دستگاه مقایسه ی دو گیج است بدون اینکه با هم تماسی داشته باشند چرا که وقتی آنها را جداگانه روی صفحه پایه مقایسه ای قرار می دهیم قبل از خواندن درجه از نظر ما معادل می شوند . مدت زمان پیشنهادی برای معادل شدن دمای آن ۱ دقیقه برای هر میلی متر است . همچنین اینه وسائل برای گیج های با طول بیش از ۱ m هم ساخته شده است که می توان آن را مزیت دیگری برای این گروه از مقایسه گر ها دانست .

کارکردن با این مقایسه گر ها مقداری کند پیش می رود . ولی با بکار بردن آنها در اتاقهای استاندارد در شرایط صحیح برای میزان سازی گیج ها وسایل کاملاً مناسبی هستند (همان طور که در فصل قبل شرح داده شده)

۳-۷-۱-۲) مقایسه گر رادن-رولت (میلیونیوم)

این وسایل نیز برای کالیبره کردن گیجها تحت شرایط استاندارد اندازه گیری و در اتاقهای استاندارد مناسب هستند. طرح آنها از نظر سادگی و اقتصادی بودن قابل ملاحظه است. با این وجود بزرگ نمایی بسیار بالایی نیز دارند که حاصل از ترکیب یک حرکت مکانیکی بصورت دیاگرام (۱۲a-۳) نشان داده شده است. روش کار این مقایسه گر به این صورت است که وقتی یک گیج مثلاً یک گیج مرجع A بین سندان و شاخص اندازه گیری قرار می گیرد موجب حرکت خطی بلوک m نسبت به بلوک f می شود.

شکل (۱۲-۳a) سیستم مکانیکی مقایسه گردان - رولت (میلیونیوم) (با بزرگنمایی ۴۰ برابر)

این دو بلوک به وسیله دو نوار باریک فولادی که به یکدیگر متصل شده اند و به وسیله نوارهای باریک دیگری با یک عقربه در ارتباط اند. در انتهاهی اذین عقربه حلقه اتی متصل شده است که درون آن و در امتداد حلقه یک تار عنکبوت که مستقیماً با چشم قابل دیدن نیست قرار داده شده است. بدین ترتیب در اثر حرکت بلوک m و انتقال آن به عقربه و حلقه تار موجود تغییر مکان محسوسی خواهد داد که با کمک سیستم فوری نمایش داده شده در شکل (۱۲b-۳) قابل دیدن است.

این سیستم ساده نوری بزرگ نمایی ۵۰ برابر دارد. از طرفی سیستم مکانیکی بزرگ نمایی ۴۰۰ برابر دارد و بنابراین بزرگنمایی کلی و نهایی دستگاه $[400 \times 50 = 20000]$ برابر می باشد.

شکل (۱۲-۳b) سیستم نوری مقایسه گرهای ادن-رولت (میلیونیوم) با بزرگنمایی ۵۰ برابر با درجه بندذی دستگاه مستقیماً می توان تا 0.2mm را خواند ولی فاصله بین هر دو تقسیم متنوالی تقریباً 5mm است پس می توان بطور تقریبی تا 0.2mm را با این دستگاه قرائت کرد.

قابل توجه است که این طراحی در دو مرحله نسبتاً ساده، بزرگنمایی بسیار بالایی را تولید می کند مرحله اول آن که برای داشتن حساسیت لازم و ساده شدن ساخت به قوانین سینماتیک بستگی دارد دارای اصول مکانیکی است و مرحله دوم آن شامل سیستم نوری است که شرح آن در صفحات قبلی ارائه شد. همانطور که در شکل (۱۲-۳a) دیده می شود سندان متحرک بلوک m حامل یک تویی است و سندان ثابت آن دارای سه تویی است که در رئوس یک مثلث قرار دارند (به عبارت دیگر شکل یک مثلث می دهند)

برای همین گیج به طور صیحی روی سندان مینشیند و ارتفاعش از سطح سندان و نسبت به این تعداد حرکت ثابت باقی می ماند.

وسیله ای که ملاحظه شد مثال بارز و برجسته ای است از طراحی که در آن دقت ساخت دستگاه نقش کمی در دقت قرائت ها ایفا می کند . با عنوان مثال لازم نیست که فاصله بین دو نوار فولادی حامل عقربه (نشانگر) و یا طول عقربه دقیق باشند . همچنین بزرگنمایی سیستم نوری ممکن است فقط یک مقدار اسمی باشد.

هر نقصی که در دستگاه ایجاد شود خواه در سیستم مکانیکی و خواه در سیستم نوری را می توان به کمک مرجع قرار دادن قرائت هایی فراهم شده از روی یک مجموعه گیج های خطا که مقدار خطای آنها معلوم است دوباره میزان سازی کرد. اکنون که بررسی این دو نوع مقایسه گر به اتمام رسیده است لازم می دانیم که اصول کار انواع بیشتری از مقایسه گر ها و همچنین کاربردها را شرح دهیم . سعی می شود که معمولی ترین آنها مورد بررسی قرار بگیرد. ضمناً در هر کدام از آنها به روش های کاربرد اصول سینماتیک توجه کنید.

* * * * *

۳-۷-۲) مقایسه گرهای مکانیکی

۳-۷-۲-۱) میکروکاتور جانسون

شاید ساده ترین (و تا به حال استاندارد ترین) مدل به کار گرفته شده در مقایسه گر ها در این دستگاه به کار رفته باشد . ایده آن از یک دانشمند سوئدی با نام اچ.آبرامسون^۱ است و به وسیله شرکت سی.ای. جانسون^۲ ساخته شده است . طرح آن را می توانیم در شکل ۳-۱۳ ببینید . همانطور که مشاهده می کنید این دستگاه تشکیل شده است از دو نوار به هم پیچیده که یک طرف آنها به پایه ی تنظیم کننده ثابت شده است و طرف دیگر آنها به سک زانویی متصل است که این زانویی از نوار فنری ساخته شده است .

همچنین یکی از بازوهای این زانو به شاخص دستگاه متصل می شود. هنگامی که شاخص حرکت می کند (هم به بالا هم به پایین) زانو به صورت یک اهرم سنگ عمل کرده و طول نوارهای به هم پیچیده شده تغییر می کند .

شکل (۳-۱۳) چگونگی حرکت میکروکاتور جانسون

¹ H. Abram son

² C. E. Johan Sson



در وسط نوارهای پیچیده شده یک قرص شیشه ای سبک قرار دارد و به عقربه دستگاه متصل است . با تغییر طول نوارهای پیچیده شده اسن نوارها چرخیده و در نتیجه قرص شیشه ای را به حرکت دورانی وادار می کند و در نهایت عقربه مقداری را متناسب با تغییر طول نوار بدست می دهد مقدار این عدد عبارت است از :

$$\frac{d\theta}{dl} = -\frac{9/1 \times L}{W^2 \times n}$$

L: طول نوارهای پیچیده شده در امتداد محورشان

W: پهنای نوارهای پیچیده شده

N: تعداد دورها یا پیچش ها

θ : پیچش نقطه ی وسط نوارها نسبت با انتهایشان (بر حسب درجه)

ضخامت و پهنای نوارهای پیچیده شده معمولاً خیلی کوچک است و بر طبق نوع دستگاه تغییر می کند ولی می توان مقدار متوسط $0/0025^{mm} \times 0/06^{mm}$ را برای ابعاد آنها در نظر گرفت.

تنش در نوارها را برای یک کشش معلوم با ایجاد سوراخهای کوچک در امتداد طول آنها می توان کاهش داد. هدف از کاربرد پایه (سگ دست) تنظیم کننده و تنظیم طول و پیچش نوارهاست مثلاً اگر نوار در اثر حرکت شاخص بیش از حد پیچ خورده باشد و یا طول موثر آن افزایش یافته باشد به کمک تغییر این پایه می توان اثرات فوق را خنثی کرد. در اینجا می بینید که چگونه یک طراحی مناسب موجب زاحت تر شدن ساخت دستگاه شده است. تنظیم نهایی دستگاه بزرگ کننده را می توان به سادگی و با تغییر طول آزاد نوار تنظیم شونده انجام داد.

همچنین حرکت پایه (سگ دست) قابل تنظیم است . برای این کار می توان یکی از پیچها را شل کرده و دیگری را سفت کرد بدین ترتیب کشش اولیه نوارهای پیچیده شده قابل تنظم خواهد بود .

پایین آورنده شاخص به شکل یک واشر است که در آن شکافی به شکل C ایجاد شده است . (شکل ۱۳-۳)

با وجود این واشر، دیگر نیازی به ایجاد محور یا کشو برای حرکت شاخص نیست در نتیجه میزان فرسودگی نیز کاهش می یابد. این دستگاه به طور شگفت آوری محکم و نیرومند است و به صورت تجاری با بزرگنمایی بیش از ۵۰۰۰ برابر تولید می شود. به وسیله این دستگاه و تحت شرایط آزمایشگاهی کنترل شده می توان به دقت های بسیار بالایی دست یافت .

۲-۷-۳ مقایسه گر سیگما

یکی دیگر از مقایسه گرهایی که هنوز دارای طرح استاندارد و ساده ای است مقایسه گر سیگما نام دارد که در یک محدوده مشخص از بزرگنمایی به وسیله شرکت سیگما تولید شده است . شکل ۱۴-۳ چگونگی کار این مقایسه گر را

به صورت یک دیاگرام نشان می دهد (البته متذکر می شویم که این دیاگرام شرح دهنده ی اصول دستگاه بوده، نسبت به دستگاه اصلی خیلی خلاصه شده است). همانطور که مشاهده می شود شاخص دستگاه روی یک جفت دیاگرام شکاف دار قرار دارد که موجب می شوند تا شاخص دارای حرکت خطی اصطحاکاکی باشد .

حرکت شاخص موجب تغییر مکان لبه (زائده) چاقویی شکل می شود. حرکت این زائده چاقویی شکل به روی دو نوار باریک و متقاطع که به هم لولا شده اند اثر می گذارد.

در شکل می بینید که این جزء لولا شده دارای یک بلوک متحرک (عضو متحرک) و یک بلوک ثابت (عضو ثابت) می باشد بنابراین اگر نیروی خارجی بر عضو متحرک وارد شود این عضو حول محور تقاطع (مثل یک لولا) می چرخد. عضو متحرک به یک بازوی Y شکل متصل است.

توجه: به منظور وضوح بیشتر شکل، جزئیات حذف شده و فقط قسمت های ضروری نشان داده شده اند .

شکل (۱۴-۳) دیاگرام حرکت مقایسه گر مکانیکی سیگما

اگر طول مؤثر این بازو L باشد و فاصله محور لولا تا لبه چاقویی شکل X باشد اولین مرحله بزرگ نمایی به اندازه $\frac{L}{X}$ خواهد بود .

در انتهای بازوی Y شکل یک نوار باریک صفر برنز قرار دارد که به دور استوانه ای به شعاع I پیچیده شده است و به دور شاخک بازو متصل می باشد. خود استوانه نیز به میله عقربه وصل است. اگر طول عقربه R باشد آنگاه بزرگ

نمایی مرحله دوم $\frac{R}{r}$ است بنابراین بزرگنمایی نهایی دستگاه $\frac{L}{X} \times \frac{R}{r}$ خواهد بود . بزرگ نمایی را می توان با

شل و سفت کردن پیچهای متصل کننده زائده چاقویی شکل به شاخص (و در نتیجه تغییر در فاصله X) تنظیم کرد.

زمانی که به مقایسه گری با بزرگنمایی مختلف نیاز باشد می توان با تغییر شعاع I استوانه و تعویض نوارهای باریک وصف شده دستگاه مورد نظر را تولید کرد.

قطع نظر از نوع حرکت ، این مقایسه گر خصوصیات دیگری نیز دارد :

(۱) ایمنی:

از آنجا که لبه چاقویی شکل به دور از عضو متحرک لولا حرکت می کند اگر از یک شاخص نیرومند استفاده شود بارهای ضربه ای حاصل از شاخص در تمام مدت حرکت به قسمت های دیگر دستگاه منتقل نخواهد شد.

۲- از بین رفتن نوسانات عقربه:

برای اینکه عقربه با نوسان کم یا بدون نوسان حرکت کند به انتهای عقربه یک دیسک غیر آهنی متصل کرده و در یک میدان مغناطیسی دائمی قرار می دهند.

حرکت چرخشی عقربه و دیسک موجب تولید جریان های گردابی روی دیسک شده که از اثر آن به صورت یک حرکت چرخشی در خلاف جهت حرکت دیسک و تناسب با سرعت چرخشی آن ظاهر می شود . بنابراین نوسانات احتمالی به وسیله این نیروی خفه کننده از بین می روند. می توان این نیرو را متناسب با وسعت و سرعت نوسانات افزایش داد.

۳- تطابق خوب:

تنظیم ارتفاع عمودی قطعه کار (نسبت به صفر عقربه) برای وسایلی از این قبیل که دارای بزرگ نمایی بالایی می باشند مشکل است و برای این مقصود مناسب نیستند .

به منظور فائق آمدن بر این مشکل صفحه ساعت اندازه گیری را طوری می سازند که حول محورش قابل چرخش است. بنابراین آخرین تنظیم عقربه با حرکت دادن صفحه درجه بندی (و بدون حرکت دادن قطعه کار) قابل دسترسی است و این حالت بزرگنمایی دستگاه بیش از قبل کمک می کند.

۴- انطباق:

در این دستگاه روی تقسیمات درجه بندی یک ماده منعکس کننده نور قرار داده شده است . در این صورت اگر راستای دید کاملاً عمود بر عقربه باشد زمانی که سایه عقربه به روی یکی از این درجه بندی ها قرار بگیرد باعث تاریک شدن آن می شود (نوری منعکس نمی کند). بنابراین اشتباه کردن در قرائت عدد نشان داده شده به وسیله عقربه تا حد زیادی کاهش می یابد.

در یک سری مدل ها نیز روش دیگری القاء شد بدین صورت که عقربه را در پشت صفحه درجه بندی قرار دادند و شکافی در روی درجه بندی تعبیر شد که فقط نوک عقربه از آن معلوم بود . روی نوک عقربه یک نمایشگر کوچک قرار داده شد. این نمایشگر دارای ضخامتی بود که وقتی به روی عقربه قرار می گرفت سطح بالایی آن کاملاً هم سطح با صفحه درجه بندی می شد. بنابراین انطباق به طور کامل حاصل می گشت.

۵- فشار ثابت در اندازه گیری :

یکی از قسمت هایی که در دیاگرام ثاده شده دستگاه نشان داده نشده است آهن ربایی است که باعث می شود تا فشار را اندازه گیری در سطح تماس شاخص و قطعه کار ثابت باقی بماند.

بدین ترتیب که یک مانع نگه دارنده به روی شاخص قرار می گیرد و بالای آن در روی یک قاب آهنربای نعلی شکل وصل می شود. هنگامی که شاخص بالا می رود و احتیاج به افزایش نیرو می باشد مانع نگهدارنده به آهن ربا نزدیک می شود و جاذبه آهنربایی بین آنها افزایش می یابد بنابراین با افزایش نیروی منحرف کننده (نیرو وارد به شاخص) نیروی جاذبه آهنربایی بیشتر می شود در نتیجه فشار اندازه گیری ثابت باقی می ماند.

همانطور که ملاحظه شد مقایسه گرهای سیگما مفصل تر شرح داده شدند چرا که قطع نظر از یک وسیله اندازه گیری خوب این مقایسه گرها مثال خوبی برای توضیح اولیه فن طراحی می باشند به این علت که در آنها هر مشکلی جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و یک وسیله برای رفع آن مشکل و بر پایه اصول ساده و شناخته شده طراحی شده است.

۳-۷-۳) مقایسه گرهای مکانیکی - نوری

به طوری که در شکل می بینید جابجایی های کوچک شاخص اندازه گیری به وسیله یک سیستم مکانیکی شامل اهرم هایی که قادر به چرخش حول محورهای مشخص شده می باشند به یک آینه منتقل شده و آینه را جابجا می کنند.

سیستم نوری تصویر یک نمایشگر کوچک را در آینه شکل می دهد و آینه هم این تصویر را به روی درجه نوری منعکس می کند که در نتیجه تصویر نمایشگر عددی را روی درجه بندی نشان می دهد. این درجه بندی به روی زمینه یک پرده نمایش شیشه ای قرار دارد. این سیستم در شکل ۳-۱۵ نمایش داده شده است در این قبیل

سیستم ها (با توجه به شکل) بزرگنمایی مکانیکی = واحد $1 \times 20 \times 1 = 20$

بزرگنمایی نوری = واحد $50 \times 2 = 100$

و بزرگنمایی نهایی = واحد $20 \times 100 = 2000$

شکل (۳-۱۵) اصول مقایسه گر مکانیکی - نوری

ضریب ۲ در بزرگنمایی نوری به ترتیبی که شرح داده می شود پدید آمده است :

شکل (۳-۱۶) انعکاس از سطح یک صفحه

همانطور که در شکل (۳-۱۶) می بینید یک پرتو موازی نور تحت زاویه θ نسبت به خط عمود به روی یک صفحه منعکس کننده تابیده است. پرتو منعکس شده نیز تحت همین زاویه نسبت به خط عمود از سطح صفحه خرج می شود. اگر حالا صفحه منعکس کننده تحت زاویه $\delta\theta$ بچرخد مسیر پرتو ورودی بدون تغییر باقی می ماند اما همانطور که در شکل (۳-۱۶b) دیده می شود وقتی صفحه منعکس کننده به اندازه $\delta\theta$ می چرخد پرتو انعکاسی به اندازه $2\delta\theta$ میچرخد، پس زاویه بین پرتو ورودی و خط عمود بر صفحه در حالت دوم $\theta + \delta\theta$ خواهد شد (برای پرتو خروجی نیز چنین است) بنابراین زاویه بین پرتوهای خروجی و ورودی $(\theta + \delta\theta)$ خواهد بود.

ضریب عددی ۲ در محاسبه بزرگ نمایی نمایی نوری دستگاه حاصل از یک انعکاس است. واضح است که اگر بتوان یک انعکاس دو گانه تولید کرد (به وسیله دو صفحه منعکس کننده در مقابل هم که یکی ثابت است و دیگری به اندازه $\delta\theta$ می تواند کج شود) در این صورت ضریب دو به ضریب ۴ تبدیل می شود . عموماً برای حصول بزرگ نمایی نوری مناسب از آئینه هایی که پرتو انعکاسیشان دارای طول مناسبی می باشند استفاده می کنند. یک نکته جالب و تا حدی مهم در آئینه هایی که برای این کار یا مقاصدی مشابه در وسایل اندازه گیری به کار می روند آن است که آنها از نوع جلو منعکس کننده هستند^۳. در نتیجه عدم وضوح و روشنی تصویر که در نتیجه از کاربر آئینه های معمولی می باشد برطرف خواهد شد (شکل ۳-۱۷)

شکل (b) ۳-۱۶ انعکاس از سطح ی: صفحه که تحت زاویه $\delta\theta$ چرخیده است.

از سطح جلویی آنها نور انعکاس می یابد (شکل ۳-۱۷)^۳



شکل ۱۷-۳: انعکاس از منعکس کننده های جلو تا بنده و عقب تابنده

در هنگام جابجا کردن این قبیل آیینه ها از (جلو تابنده) باید دقت کرد که سطح منعکس کننده آنها خراب نشود ضمناً باید آنها را به کمک بررسی با موی شتر پاک کرد.

شکل (۱۸-۳) کاربرد دقیق اصول گفته شده در مقایسه گرهای مکانیکی- نوری را نشان می دهد. برای فشرده تر کردن دستگاه آن را طوری طراحی می کنند که مسیر نور به وسیله منشور به مقدار 90° دوران کند. درجه بندی دستگاه بر حسب واحد های خطی که معمولاً تا $0/001mm$ است تقسیم بندی شده است ای « قبیل دستگاهها اجزای تحرک کمی دارند که محدود میشود به شاخص و منعکس کننده . عقربه معمولی که در وسایل مکانیکی استفاده می شود در اینجا با یک پرتو نور که البته دارای وزن بوده و از سیستم اهرم نوری تبعیت می کنند جایگزین می شود^۴. شکل (۱۶-۳) اگر فاصله بین محور شاخص تا محور آیینه x باشد و شاخص فاصله h را طی کند آنگاه حرکت زاویه ای آیینه می شود . $\delta\theta = \frac{h}{x}$ اگر f فاصله کانون عدسی باشد آنگاه حرکت (یا جابجایی پرتو روی)

درجه بندی $2f\delta\theta$ است (به فصل چهار رجوع شود)

$$\text{حرکت (جابجایی پرتو روی) درجه بندی} = 2f \frac{h}{x}$$

$$\text{حرکت شاخص / حرکت درجه بندی بالا} = \frac{2fh/x}{1/h} = \frac{2f}{x}$$

اگر این بزرگنمایی را با یک اهرم ساده مکانیکی مقایسه کنیم می بینیم که دو برابر بزرگنمایی اهرم است. در مقایسه گر فوق x در واقع همان طول بازو اول اهرم و f (فاصله کانونی) طول بازو دوم اهرم و در طرف دیگر نقطه اتکا خواهد بود^۵. ضریب دو در $\frac{2f}{x}$ حاصل از سیستم نوری دستگاه است. همچنین عدسی چشمی عدسی سر دوربین

دستگاه خود دارای بزرگنمایی است بنابراین : بزرگنمایی عدسی چشمی $\times \frac{2f}{x}$ = بزرگنمایی کلی دستگاه

منظور از سیستم اهرمی نوری همان اصل گفته شده در شکل های ۱۶-۳ است.^۴

= بزرگنمایی (مثلاً : بزرگنمایی نیرو) $\frac{f}{x}$ ^۵

شکل ۳-۱۸ اصول نوری کمپراتور نوری OMT این دستگاه تصویؤ منعکس شده از درجه بندی را روی یک پرده تصویر می کند.

۳-۷-۴) مقایسه گرهای بادی

در صنعت مقایسه گرهای بادی (که با تغییرات کوچکی در ابعاد که به کمک ابعاد مرجع قابل اندازه گیری هستند ساخته می شوند و با تغییر فشار هوا یا سرعت وزش هوا کار می کنند) دارای اهمیت فراوانی هستند.

و علل این اهمیت خصوصیات ویژه ای نظیر خصوصیات زیر است

امکان ایجاد بزرگنمایی خیلی بالا، نداشتن سطح تماس و نیز یکی با قطعه مورد اندازه گیری، آسان بودن اندازه گیری ابعاد داخلی با توجه به شکل هندسی و فرکانس تعیین شده.

به علاوه این مقایسه گرها می توانند به طور همزمان چندین اندازه را کنترل کنند یا بلافاصله بعد از یک اندازه گیری به اندازه گیری بعدی بپردازند

۳-۷-۴-۱) مقایسه گرهایی که فشار هوا در آنها از عقب وارد می شود .

سیستم تغییر فشار بر اساس دو سوراخ تعبیه شده در دستگاه میباشد که در شکل ۳-۱۹ نشان داده شده است .

شکل(۳-۱۹) اصول یک سیستم اندازه گیری بادی فشار از عقب

هوا با فشار کنترل شده ای به داخل دستگاه وارد شده و فشار منبع Ps تعیین می کند و از طریق سوراخ کنترل O1 به طرف محفظه بعدی رانده می شود سوراخ O1 اندازه ثابتی دارد ولی اندازه مؤثر سوراخ O2 با تغییر در فاصله d تغییر می کند. با تغییر فاصله d فشار Pb نیز تغییر می کند و در نتیجه مقیاسی حاصل می شود تا با آن بتوان فاصله d را اندازه گرفت برای این کار می توان از یک گیج فشار (فشار سنج) یا مانومتر استفاده کرد که عقربه آن بر اساس فشار Pb بین سوراخها، عددی را نشان خواهد داد.

به کمک تطابق مناسب قطرهای O1 و O2 و کنترل Ps، فشار Pb را می توان به نحوی تولید کرد که به صورت خطی با اندازه مؤثر سوراخ O2 تغییر کند.

بدین ترتیب با داشتن نسبت مساحت های دو سوراخ O1 و O2 نسبت فشارهای موجود در محفظه ها می توان نموداری را که در شکل (۳-۲۰) نشان داده شده است رسم کرد.

شکل (۳-۲۰) نمودار ویژه سیستم بادی فشار از عقب .

با بررسی نمودار می بینیم که روی محور عمودی و تقریباً بین اعداد ۰/۶ و ۰/۸ نمودار در حدود ۱٪ خطی است و همین مقادیر هستند که در طراحی این قبیل مقایسه گر ها و قطرهای سوراخ ها (دهانه - مدخل - ورودی - روزنه) به کار می روند.

با خطی در نظر گرفتن منحنی در این فاصله می توان معادله خط را به این صورت نوشت

$$Pb/Ps = a - b(Ar/Al)$$

همانطور که در فصول قبل ذکر شد حساسیت یک کمپرانور عبارت است از نسبت میزان تغییر موقعیت عقربه به میزان تغییر مشابه در موقعیت سمبه (شاخص دستگاه)

بنابراین در این مقایسه گر $\frac{dPb}{dA_2}$ حساسیت دستگاه خواهد بود^۶.

$$\therefore Pb = Ps.a - \frac{Ba2Ps}{A_1} \Rightarrow \frac{Pb}{A_2} = \frac{Ps.a}{A_2} - \frac{bPs}{A_1} \Rightarrow \text{مشتق} \quad \frac{dPb}{dA_2} = -\frac{b.Ps}{A_1}$$

با توجه به این فرمول، بزرگنمایی پنوماتیکی با فشار اعمال شده متناسب بوده ولی با مساحت سوراخ کنترل O1 (یا با مربع قطر سوراخ O1) نسبت عکس دارد.

واضح است که ثابت بودن فشار Ps اصل مفید و مورد نیازی است که باید در ماشین اعمال شود بنابراین ضروری است که برای کنترل فشار هوای ذخیره شده از یک رگلاتور ساده فشار استفاده شود . فشار را تا رسیدن به نسبت

55 N/cm^2 به 1 N/cm^2 یا $(\frac{55}{1})$ کاهش دهیم. شکل ۳-۲۱ دیاگرام همین دستگاه را نشان می دهد که برای

اندازه گیری داخلی تنظیم شده است این دستگاه به وسیله شرکت Solex Ari Gauges تولید شده است.

^۶ است همچنین کوچک و بزرگ شدن قطر dP_b را شان می دهد پس تغییر جزئی در موقعیت عقربه Pb عقربه تغییرات فشار
یا مساحت آن بین جابجایی سمبه در کمپراتورهای دیگر است پس حساسیت به صورت نشان داده خواهد بود. O2 سوراخ

شکل (۳-۲۱) کاربرد سیستم اندازه گیری فشار از عقب به کمک هوا به کار برده شده به وسیله شرکت Solex Ari Gauges

هوای موجود در منبع ذخیره پس از تصویه شدن از یک شیر کاهنده فشار عبور کرده و فشارش کاهش می یابد. فشار هوا بدون تغییر حفظ خواهد شد (یعنی ثابت نگه داشته می شود) پس به کمک یک لوله، هوا به داخل محوطه پر از آبی فرو برده می شود. میزان فشار هوا به کمک اندازه گیری مقدار جابجایی آب تعیین می شود و هوای اضافی در اتمسفر رها می گردد.

هوایی که فشار آن کاهش یافته از سوراخ کنترل می گذرد و از سوراخ کله گی دستگاه (عمل اندازه گیری) به بیرون فرار می کند. فشار از عقب در مسیر گردش هوا به کمک میزان جابجایی آب در لوله مانومتر که یک لوله درجه بندی شده به صورت خطی است تعیین می شود بدین ترتیب تغییرات فشار که منتج به تغییر اندازه d می شود را نشان می دهد. (شکل (۳-۱۹))

در این سیستم بزرگنمایی دستگاه بیشتر از ۵۰.۰۰۰ برابر است.

کمپراتور فشار از عقب دیگری به وسیله شرکت Mercer Air Gauges تولید شده است ولی این یکی در فشار اندازه گیوی که مقدار آن $27/5 \text{ N/cm}^2$ است کار می کند.

در این دستگاه فشار ثابت به وسیله یک دیاگرام از نوع رگلاتور تولید می شود و هوا پس از طریق سوراخ کنترل ابه طرف محل اندازه گیری رانده می شود.

طرحهای جالب :

(a) تنظیم بزرگنمایی : همانطور که گفته شد بزرگنمایی می تواند با تغییر قطر سوراخ کنترل تغییر کند.

برای این کار می توان درون سوراخ کنترل یک شیر کنترل که دارای سوزن نوک تیزی است قرار دارد با میزان کردن بزرگ نمایی و تنظیم صفر دستگاه می توان برای همه قطعات مورد اندازه گیری از یک درجه بندی استفاده کرد.

(b) تنظیم صفر : برای این کار می توان محلی را برای نشد هوا تعبیه کرد. (با ایجاد دریچه ای بر خلاف جهت جریان هوا در سوراخ اندازه گیری که با یک شیر سوزن مخروطی کنترل می شود)

بخش اندازه گیری فشار کمتشکل از یک فشار سنج لوله ای است. صفحه ساعت دستگاه درجه بندی شده است و واحدهای به کار رفته از نوع واحدهای خطی با تقسیمات 0.1mm و 0.001mm یا واحدهای اینچی است. در تمامی کمپراتورها تنظیم اولیه دستگاه به وسیله گیجهای مرجع انجام می شوند و مهم است که گیجهای مرجع و قطعه مورد اندازه گیری دارای شکل هندسی یکسانی باشند. مثلاً گیجهای خطا را می توان بهخ مانند گیجهای تنظیم شده (میزان سازی) برای قطعات کار سطحی به کار برد و در حالی که برای قطعات مدور باید از گیجهای تنظیم کننده استفاده کرد.

در شکل ۲۱-۳ یک جفت گیج حلقه ای برای تنظیم دستگاه جهت اندازه گیری داخلی لازم است. اگر این احتیاط ها انجام نشوند پارامترهای افزایش گریز هوا از سوراخ محل اندازه گیری (O2) تغییر خواهند کرد و بر قرائت مقدار فشار در لوله مانومتر تأثیر می گذارد.

از جمله عیوب این دستگاهها (فشار از عقب) سرعت نسبتاً کم پاسخ در بعضی شرایط استفاده از دستگاه است. واضح است که اگر حجم هوا در سیستم افزایش یابد پاسخ آن به تغییر فشار در نتیجه قابلیت تراکم آن کاهش می یابد. البته زمانی که طول نهایی مدار (مسیر) کوتاه است این پارامترها ارتباط زیادی با هم ندارند ولی مثلاً در کنترل ابعاد یک ماشین ابزار که آماده بهره برداری است طول مسیر نسبتاً زیاد می باشد و موجب نقصان در دستگاه اندازه گیری می شود.

۲-۷-۴-۳) مقایسه گرهایی بادی که با میزان سرعت جریان کار می کنند

دسته دوم از مقایسه گرهایی هستند که بر پایه سرعت جریان هوا کار می کنند.

شکل ۲۲-۳) دیاگرام خطی مدار پنوماتیکی مقایسه گری که بر اساس سرعت جریان هوا کار می کند. این سیستم فاقد سوراخ کنترل مثل O1 است (شکل ۱۹-۳) بلکه با اندازه گیری سرعت جریان هوای عبور کننده از سیستم، تغییر جزئی در مساحت مؤثر گریز هوا برای سوراخ O2 اندازه گیری می شود تا بتوان میزان تغییر در مقدار جریان هوا را یافت.

شکل ۲۲-۳ مدار این سیستم را نشان می دهد هوای موجود در منبع ذخیره تصفیه شده و فشارش میزان می شود . پس از درون یک لوله شیشه ای درجه بندی شده که قطر داخلی آن به طور یکنواخت کم می شود (باریک می شود) عبور کرده و شاخص شناور موجود در شیشه را جابه جا می کند.

به طوری که سرعت هوا در لوله ثابت است . سپس هوا از میان سوراخ کله گی دستگاه (محل اندازه گیری) فرار می کند. حال با استفاده از یک گیج مرجع با اندازه و شکل هندسی مناسب می توان جریان هوای عبور کننده از سیستم را تنظیم کرد. (به عبارت دیگر به تنظیم دستگاه پرداخت)

هر تغییر جزئی در اندازه قطعه ای که مورد اندازه گیری است موجب تغییر جزئی در مقدار جریان عبوری از سیستم می گردد. این کار به وسیله تغییر در سطح مقطع مؤثر سوراخ اندازه گیری انجام می شود . این تغییر نیز به صورت تغییر در ارتفاع شاخص (که به وسیله درجه بندی خطی تعبیه شده قابل خواندن است) ظاهر می گردد.

این سیستم می توان تمام کارهایی که سیستم های فشار از عقب انجام می دهند را انجام بدهد . در عین حل علاوه بر سادگی دارای سرعت پاسخ گویی بیشتری است که این سرعت به طول مسیر بستگی ندارد(برخلاف سیستم های فشار از عقب)

یکی از مزایایی که هردوی این سیستم ها دارا می باشند آن است که سوراخ کلگی دستگاه هیچ تماس فیزیکی با سطح قطعه مورد نظر(مورد اندازه گیری) ندارد و در نتیجه از زیان های احتمالی وارد بر سطوح تماس جلوگیری شده است.مزیت دیگر آنها نشان دادن شکل هندسی قطعه کار است که به میزان زیادی محدوده تolerانس ابعادی را کاهش می دهد. به عنوان مثال همانطور که در شکل ۲۱-۳ دیده شد دو جت اندازه گیری (یا دو روزنه خروج هوا) وجود دارد که در سمت مخالف جهت یکدیگرند که درون یک پیچ توپی سازگار شونده می باشند و برای اندازه گیری قطرهای داخلی استفاده می شوند^۷. حال با چرخش کله اندازه گیری به اندازه ۱۸۰ درجه ، در سوراخ تحت آزمایش ی: شکل ساده بیضی گون آشکار می شود. اگر مثل شکل ۲۳-۳ از یک کلگی به شکل حلقه اندازه گیری استفاده کنیم همانطور که دیده می شود سه جت یا روزنه اندازه گیری خواهیم داشت که بهیچ فاصله از هم قرار دارند. با کمک این وسیله می توان شفت نشان داده شده را اندازه گیری کرد. شکل شفت به صورت تقریبی یک سه ضلعی (یا به طور کلی چند ضلعی گون است) :

با چرخش شفت به اندازه ۱۲۰° می توان قطر متوسط شفت را به دست آورد. به همین ترتیب می توان قطعات کار دیگری که به صورت چند ضلعی های ناقص هستند اندازه گیری کرد. با گردش حلقه اندازه گیری به کار برده شده

^۷ همانطور که در شکل ۲۱-۳ دیده می شود خروج هوا از جت ها ، گیج توپی را باد می کند تا زمانی که گیج با ابعاد قطعه کار^۷ متناسب شود. مثلاً برای اندازه گیری قطعه سوراخ گیج آنقدر باد می شود که با قطر داخلی سوراخ سازگار شود.

بروی قطعه کار اطمینان حاصل می شود که حلقه اندازه گیری که در واقع یک گیج توپی مثل شکل ۲۱-۳ می باشد به خوبی با کار تماس دارد

شکل ۲۳-۳) گیج حلقه ای پنوماتیکی تنظیم شده برای اندازه گیری قطر و نشان دادن چند ظلعی گون

۵-۷-۳) کمپراتورهای الکتریکی

عموماً این کمپراتورها بر اساس کاربرد پل و تستون برای یک مدار D.C مار می کنند. هر تغییری در تعادل بین مقاومت های الکتریکی پل و تستون دو در هر بازوی آن که موجب جابجایی آرمیچر که متصل به بازوهاست می شود. عامل بر هم زدن این تعادل حرکت سمبه اندازه گیری است خروج از تعادل اگر گذرانده بر مدار به وسیله یک میکروآمپرتر درجه بندی شده بر حسب واحدهای خطی و با تغییر جابجایی سمبه، اندازه گیری می شود.

شکل ۲۴-۳ اصولی متشابه اصول فوق را برای یک مدار A.C. نشان می دهد.

جابجایی سمبه باعث پس زدن آرمیچر می شود و بنابراین تغییر جزئی در اندوکتانس (یک جفت سیم پیچ که روی یکی از بازوهای پل و تدسون قرار دارند، پدید می آید.

در شکل دیده می شود که سمبه با زویی را که بین سیم پیچها سوار شده است و روی یک نوار باریک فولادی خم شونده قرار دارد پس می زند. بازو حامل یک آرمیچر است و اندوکتانس در سیم پیچها به جا به جایی آرمیچر بستگی دارد.

تعادل مقدار در ابتدا روی صفر تنظیم می شود و عدم تعادل حاصل شده از حرکت سمبه (و بنابراین به وسیله آرمیچر) تقویت شده و روی یک درجه بندی و بر حسب واحدهای خطی نشان داده می شود.

با این سیستم بزرگنمایی به یزرگی ۳۰.۰۰۰ برابر امکان پذیر است.

شکل ۲۴-۳) کله گی اندازه گیری برای یک کمپراتور الکتریکی

۶-۷-۳) کمپراتورهای جا به جایی مایع

یک سطح ریز در یک لوله موئین ایجاد شده است. انتهای لوله در یک محفظه به سطح مقطعی نسبتاً بزرگ که حاوی یک مایع با غلظت کم می باشد قرار دارد کف محفظه با یک دیافگرام که به وسیله فشار انتقالی از سنبه اندازه گیری قابل تغییر شکل می باشد پوشیده شده است.

شکل ۲۵-۳) اصول اندازه گیری مایع پرست ویچ (Prest Uich) با بزرگنمایی تقریبی $\frac{D^2}{d^2}$

این تغییر شکل در دیافراگم باعث جابجایی مقدار کمی مایع از محفظه به داخل لوله موئی می شود. در نتیجه سطح مایع در لوله بالا می رود تا در نقطه ای بالاتر از ارتفاع آزاد مایع ثابت می ماند به کمک درجه بندی تعبیه شده روی لوله که حدود اندازه گیری به عنوان بیشترین و کمترین حد اندازه گیری در آن مشخص شده است می توان میزان جابجایی مایع را یافت.

(برای تهیه حدود اندازه گیری باید از یک گیج مرجع استفاده کرد) بزرگنمایی این سیستم عبارت است از :

$$\text{بزرگنمایی کمپراتور جابجایی مایع} = \frac{\text{سطح مقطع محفظه}}{\text{سطح مقطع لوله موئی}}$$

در این دستگاه چندین عیب موجود است :

۱- سطح مایع در اثر تغییرات دما به مانند دماسنج تغییر تغییر می کند از آنجا که نیاز به نقطه ای برای نمایش سطح آزاد مایع می باشد، هر تغییری در دما این سطح را تغییر داده و نیاز به تنظیم مجدد ارتفاع آن و حد پایینی است .

۲- وجود ناتوانی هایی در دستگاه که ناشی از دیافراگم و غلظت مایع است.

۳- نیروی تغییر شکل دیافراگم در واحد اندازه گیری ثابت نیست. بنابراین با افزایش مقاومت معین دیافراگم نیروی اندازه گیری افزایش می یابد.

۸-۳) طراحی و به کارگیری ماشین های اندازه گیری

وسایل اندازه گیری که ملاحظه شدند (با کمی استثناء محدود به مقایسه های خطی در حدود ۲۵۰mm می باشند در حالی که بیشتر قطعات مورد اندازه گیری شامل ابعادی هستند که نسبتاً بزرگترند برای همین ماشین های اندازه گیری با طراحی های گوناگون ساخته شدند ساده ترین آنها بر پایه است فاده از میکرومتر رومیزی است. کار آن به صورت مقایسه طولهای یک گیج مرجع و قطعه کار و ارائه نسبت اختلاف است.

۳-۸-۱) کمپراتورهای افقی طول

یک نمونه نسبتاً ساده از این نوع ماشین در شکل ۲۶-۳ نشان داده شده است که در حقیقت نوعی میکرومتر رومیزی توسعه یافته است و در فصل ۸ به هنگام بررسی اندازه گیری پیچ شرح داده خواهد شد. این وسیله معمولاً برای مقایسه طولهای بزرگتر از یک کتر به کار می رود.

اجزاء آن به طور کامل مشابه میکرومتر رومیزی است. علاوه بر آن دارای شیارهای V شکل است (در امتداد میز) تا بتوان به اندازه مورد نیاز از سندان (یا فک) ثابت دور شد می توان به آن یک صفحه ساعت اندازه گیری متصل کرد توجه شود که هنگام اندازه گیری میله ها در یک سطح افقی تکیه گاهها باید $L/577$ (L= طول میله) از هم فاصله بگیرند. تکیه گاههایی که در شکل ۲۶-۳ نشان داده شده اند به شکل V می باشند و ارتفاع و فاصله شان از هم قابل تنظیم است.

برای هم ارتفاع بودن آنها بدین ترتیب عمل می شود :

بعد از قرار دادن آنها به روی شیار های V شکل میله را روی آنها قرار می دهیم سپس به کمک حرکت ساعت اندازه گیری روی میله افقی بودن (و در نتیجه هم ارتفاع بودن تکیه گاهها) را آزمایش می کنیم. تا آنجا که امکان دارد طول گیج مرجع باید نزدیک به قطعه کار باشد تا از حرکت های زائد پیچ میکرومتر اجتناب شود. همچنین لازم است که قبل از هر قرائتی برای تثبیت دما فکری کنیم.

۳-۸-۲) ماشین های اندازه گیری یونیورسال

از این دسته ماشینها ، انواع گوناگونی وجود دارد که محدوده وسیعی از آنها را ماشین های یونیورسال اندازه گیری تشکیل می دهند.

شکل ۲۶-۳ یک میکرومتر رومیزی به عنوان کمپراتور افقی طول

شکل ۲۷-۳) ماشین اندازه گیری متشکل از یک درجه بندی به عنوان یک مرجع با اجازه چاپ (Societe (Genevoise

یک نمونه از این ماشین ها در شکل ۲۷-۳ نشان داده شده است. اصول کار بر پایه قرائت تغییرات روی درجه بندی بسیار دقیق دستگاه به وسیله میکروسکوپ است. این تغییرات در اثر حرکت سندان اندازه گیری ماشین ایجاد می شود.

در این دستگاه درجه بندی با محور سندان اندازه گیری همراستاست و طدر نتیجه اصل مسیر (که در بخش ۱-۴-۳ شرح داده شد) رعایت شده است.

این ماشین به اندازه گیریهایی نظیر اندازه گیری طول ها، قطر ها، قطعات رزوه شده یا صاف و سطح، مخروطی و گام پیچ آن با دقت بالا تواناست.

در تهیه این ماشین ها دو یا سه سیستم اندازه گیری هماهنگ بکار می رود و همچنین استانداردهای خطی طول در آنها مورد استفاده قرار گرفته است. بهتر است که درجه بندی دستگاه برای جلوگیری از خراب شدن در اثر تماس های فیزیکی و یا اتمسفر دو پوشش و یا محفظه ای قرار بگیرد. در مورد گيجها نیز رعایت این مطلب سودمند است.

۳-۸-۳- میکروسکوپ های فتوالکتریک

به توسعه میکروسکوپ های فتوالکتریک دقت قرائت ماشین های اندازه گیری که بر پایه استاندارد های خطی کار می کنند خیلی زیادتیر شده است. اصول کار آنها بر پایه تصویر کردن یک جفت طناب مویی در روی درجه بندی یک میکروسکوپ درجه بندی شده است. باید تصدیق کرد که حتی این روش نیز قابل لغزش و اشتباه است چرا که بر پایه نظریه علوم تجربی است.

۳-۹) کنترل اتوماتیک ماشین

از آنجا که احساس می شود اندازه گیری و کنترل ماشین (اندازه گیری) بسیار به یکدیگر نزدیکند ناگزیر مطالبی در زمینه کنترل ماشین باید ذکر شود. در حقیقت کنترل ماشینها مربوط به کتابها و فصول دیگری است و در اینجا امکان بررسی تفصیلی آنها وجود ندارد.

فرض کنید یک اپراتور برای تهیه یک قطعه کار به اندازه صحیح باید از روند زیر تبعیت کند:

- ۱- اندازه گیری قطعه کار
- ۲- محاسبه اختلاف بین اندازه های واقعی و اندازه های مورد نیاز
- ۳- حرکت دادن میز کشویی عرضی به اندازه نصف این مقدار
- ۴- تنظیم عمل براده برداری (یا برش)
- ۵- چک کردن اندازه نهایی.

در یک طرح اندازه گیری اتوماتیک این فرایند بطور پیوسته انجام می شود.

حال در شکل ۳-۲۸ نمونه دیگری را مشاهده می کنید که در آن قطعه کار به وسیله یک سنگ پرداخت می شود.

یک اندازه گیری مرتباً قطر قطعه کار را اندازه می گیرد (به کامپیوتر منتقل می کند).

کامپیوتر فوراً داده های ورودی را با اندازه نهایی مورد نیاز مقایسه می کند به کمک جواب (یا پانچ) خروجی کامپیوتر می توان دستگاه سنگزنی را کنترل کرد. واضح است که در چنین سیستمی وسیله اندازه گیری بسیار مهم است چرا که اندازه های ارائه شده به وسیله آن به عنوان ورودی های کامپیوتر محسوب می شوند.

در نتیجه این وسیله باید با دقات بالایی اندازه گیری کند. انواع کمپراتورهای پنوماتیکی فشار از عقب می تواند پاسخگویی این نیاز باشد. بعضی از شرکتها این وسائل را با سطهم اندازه گیری اتوماتیک ترکیب کردند (مثل شرکت Mercer Air Guage) همچنین استفاده از اندازه گیریهای الکتریکی در سیستمهای کنترل اتوماتیک و کاربرد میکروسکوپ های فتوالکتریک مفید است در ضمن استانداردهای خطی مناسبی نیز باید بکار گرفت.

«پایان فصل سوم»

کله گی اندازه گیری که قطعه کار را اندازه گرفته و به عنوان اطلاعات ورودی وارد کامپیوتر می کند.

شکل ۳-۱۹) کلیات یک سیستم اندازه گیری اتوماتیک



فصل چهارم :

اندازه گیری زاویه ای و تقسیم مدور

۴-۱ مقدمه :

اندازه گیری زاویه ای و تقسیم مدور بخش مجزا و مهمی از علم اندازه گیری را تشکیل می دهد و قالباً به دو شاخه تقسیم می گردد. اندازه گیری زاویه ای که در ارتباط با اندازه گیری زوایای خاص می باشد و تقسیم مدور که شامل اندازه گیری پیوسته زوایای داخلی یک دایره است. این بخش در گذشته به نحوی بررسی شده است که تقریباً به طور کامل از این سیستم جدا شد. با این حال به نظر می رسد که این دو شاخه از علم اندازه گیری باید با هم در ارتباط باشند به همین دلیل این فصل طوری آنها را شرح خواهد داد که اندازه گیری زاویه ای به طور طبیعی به طرف تقسیم مدور هدایت میشود.

۴-۲ زوایا از استانداردهای طول - خط کشی نیسوسی

در فصل ۱ تذکر داده شده بود که با به کار گیری ترکیب مناسبی از اندازه گیری های خطی، می توان اندازه گیری زوایایی را به نحو دقیق به دست آورد. خط کش نیسوسی وقتی که با اپراتورها به کار برده می شود یک مثال عالی از این قبیل ترکیبات است این وسیله در واقع شامل یک خط کش است که حامل دو استوانه با فاصله مرکز تا مرکز مشخص می باشد. طرح اولیه و روش کاربرد آن در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.

شکل ۴-۱ خط کش سینوسی که تحت زاویه θ تنظیم شده است.

اگر l فاصله خطی محوهای دو استوانه از هم و h ارتفاعی راپراتورها تشکیل داده اند باشد آنگاه

$$h \sin \theta = \frac{h}{l}$$

اکنون شرایط لازم جهت طراحی خط کش سیوسی ذکر می شوند و قابل توجه است تا وقتی این شرایط بر قرار هستند اندازه گیری زاویه اءی دقت لازم را خواهد داشت:

۱- قطر دو استوانه باید یکسان بوده و اصول هندسی استوانه ها در آنها به درستی بر قرار باشد.

۲- فاصله ی بین محورهای دو استوانه باید دقیق و معلوم باشد همچنین این محورها باید به موازات هم قرار بگیرد.

۳- سطح فوقانی خط کش باید صاف و موازی با محور استوانه ها باشد و ضمناً از هر دوی آنها به یک فاصله قرار داشته باشند.

این شرایط تنها با دقت در ساخت همه اجزاء بر قرار خواهند شد و بهتر است قبل از سنگ زنی و پرداخت کاری ساختار خط کش را با عملیات سخت کردن تثبیت کرد.

پس از فراهم کردن همه این شرایط به طور صحیح می توان خط کش سیوسی را به همراه راپراتورها با دقت بالایی برای تشخیص زوایا به کار برد (قبلاً یک خط کش سینوسی که فاصله این محور های دو استوانه آن با دقتی برابر یک میکرومتر، ۲۵۰ میلیمتر است)

بهتر است خط کش سینوسی روی صفحه ای از درجه A قرار بگیرد اگر هر دو استوانه خط کش روی راپراتورها قرار داده شود بی نظمی های احتمالی موجود در سطح فوق نیز حذف می گردد در شکل ۴-۱ ارتفاع h ارتفاع بین راپراتورهایی که در زیر دو استوانه قرار داده شده خواهد بود. (البته در این شکل تنها زیر یکی از استوانه ها راپراتور قرار داده شده و ارتفاع h همان ارتفاع راپراتورهای راست خواهد شد-م).

برای اندازه گیری یک زاویه باید مواظب بود که این زاویه در اثر هم راستا نبودن قطعه کار و خط کش سینوسی تغییر نکند به عبارت دیگر باید قطعه کار و خط کش در راستای هم قرار بگیرند و از اصل مسیر پیروی کنند جهت حل این مشکل باید خط کش را به آهستگی و بر خلاف شیب قطعه کار نگه داشت به همین ترتیب قطعه کار نیز طور نگه داشته می شود که شیب آن مخالف شیب خط کش باشد سپس ءیک ساعت اندازه گیری را به طور افقءی روی سطح فوقانی قطعه کار حرکت داده و مقادیر پنشان داده شده قرائت می گردد اگر این قرائت ه همگی یکسان

باشند آنگاه شیب قطعه کار از فرمول $\sin \theta = \frac{h}{l}$ به دست می آید(شکل ۴-۲)

شکل ۲-۴ خط کش سنیوسی به کار رفته برای آزمایش زوایه یک بلوک گوه ای شکل .

در تعیین شیب یک قطعه کار بیشتر از زمانی که برآی تنظی « خط کش سنیوسی جهت تعیین مجدد شیب مورد نظر نیاز است این تصرف یافتن مقدار صحیح h به کمک روش آزمون و خطا می گردد. این زمان با سادگی و با پیروی از یک روش منطقی به صورت زیر قابل کاهش است:

۱- خط کش سنیوسی و قطعه کار را به مانند شکل ۲-۴ طورهی تنظیم کنید که سطح بالایی قطعه کار تقریباً به موازات سطح میز قرار بگیرد.

۲- به وسیله حرکت دادن ساعت اندازه گیری در امتداد قطعه کار به تفاوت ارتفاع احتمالی در انتهای آن توجه کرده و لبه انتهایی را که پایین تر قرار گرفته است بیابید.

۳- به فرض آنکه لبه انتهایی از خط کش سنیوسی که ارفاع بیشتری دارد پایین تر باشد (مثلاً در شکل ۲-۴ انتهای سمت راست) با قرار دادن یک راپراتور ارتفاع آن را افزایش دهید اندازه این راپراتور مقداری ایت معادل با حاصل ضرب اختلاف مقادیر قرائت شده ساعت اندازه گیری در دو لبه انتهایی قطعه کار در نسبت طول نقشه سنیوسی به طول قطعه کار.

به عنوان مثال فرض کنید که انتهای قطعه کار به اندازه یک 1 mm پایین باشد و طول خط کش سنیوسی 250 mm و طول قطعه کار 100 mm باشند در این صورت مقدار عددی که باید به ارتفاع راپراتورها اضافه شود (یا

$$\text{ضخامت راپراتور اضافه شده} = 0.025\text{ mm} = 0.01 \times \frac{250}{100} \text{ خواهد بود.}$$

گر چه ای « روش نتیجه کاملاً درستی را برای تنظیم به دست نمی دهد ولی از ورش آزمون و خطا بسیار سریع تر است هئچ خط کش سنیوسی نباید برای زوایای بیشتر از 45° به کار رود در غیر این صورت خطایی ناشی از فاصله مرکز ت مرکز استوانه ها و خطای راپراتورها آشکار می شوند و نتیجه اندازه گیری با اقرار بسیار توأم خواهد شود.

رسم یک نمودار از خطای زاویه ای بر حسب اندازه اسمی زاویه با فرض وجود خطای 0.2 mm در تمامی مقادیر h جالب خواهد بود. زاویه بزرگتر را می توان با تفریق در زاویه قائمه نشان داد به عبارت دیگر تنظیم بر اساس تقسیم زاویه مورد نظر صورت می گیرد.

۱-۲-۴) میزهای سنیوسی :

این وسایل در حقیقت نوعی خط کش سنیوسی توسعه یافته می باشند و روش تنظیم آنها مشابه تنظیم خط کش سنیوسی است واضح است که خطکش سنیوسی فقط برای قطعه کارهای نسبتاً کوچک و کم وزن مناسب است اما میز سنیوسی سطح کار بزرگتری دارد و بسیار نیرومندتر از خط کش سنیوسی بوده برای قطعه کارهای سنگین تر و بزرگ تر مناسب می باشند.

یک وسیله توسعه یافته دیگر میز سنیوسی مرکب می باشد که ترکیب دو میز سنیوسی است و محور های آنها نسبت به یکدیگر زاویه قائمه می سازد و همه به روی یک پایه مشترک قرار دارند جهت تنظیم زوایای ویژهای تجزیه می کنند و سپس هر میز به همین اساس تنظیم می شود (به عبارت دیگر این زوایای روی محور های عمود بر هم دو خط کش سنیوسی میز سنیوسی مرکب پیاده می شود -م)

۴-۲-۲) مرغک سنیوسی

برای آزمایش کارهای مخلوطی (که در هر دو انتها مرغک زده شده) مرغک سنیوسی به کار می رود (شکل ۳-۴)

شکل ۳-۴) اندازه گیری زاویه یک گیج مخروطی بروی مرغک های سنیوسی.

طول مرغک ها به طور دقیق از اصل مسیر پیروی می کنند قطعه کار به نحو صحیحی در راستای خط اندازه گیری قرار می گیرد اصول تنظیم این وسیله به مانند خط کش سنیوسی است اما مشکلی که در اینجا ممکن است پیش بیاید هم محور نبودن قطعه کار و مرغک ها به هنگام سوار کردن کار به روی دستگاه است . برای روفع این مشکل ساعت اندازه گیری را به روی یک قطعه از قطعه کار (در اینجا مخروط) قرار می دهیم و به آرامی قطعه کار سوار شده روی مرغک ها را می چرخانیم تا به نقطه ای برسیم که در آن بیشترین مقدار در روی ساعت اندازه گیری قرائت گردد.

پس در همین حالت زاویه قطعه کار توسط راپراتورها محاسبه می گردد آنگاه 180° قطعه کار را چرخانده و این محاسبه تکرار می شود.

میانگین این دو زاویه محاسبه شده مشابه زاویه قطعه کار خواهد بود لازم به ذکر است که اگر قطعه کاری به مقدار قابل اندازه گیری از راستای اندازه گیری خارج گردد باعث می شود تا کیفیت اندازه گیری مشابه کیفیت حقیقی باشد و نه خود مقدار حقیقی در نتیجه می توان این اندازه گیری را نپذیرفت و آن را رد کرد .

۴-۳) اندازه گیری گیج های مخروطی:

گیج های مخروطی معمولاً برای اندازه گیری مخروط یا زاویه ای در یک سوراخ شفت به کار نمی روند بلکه جهت یافتن قطر سطح مقطع خاصی از قطعه کار که در محدوده معینی قرار دارد مورد استفاده واقع می شوند.

قطر این گیجها در هر یک از دو انتهای بخش مخروطی با هم متفاوت است در حقیقت این گیجها مجموعه ای از قطرهای مختلف هستند که بالاترین و پایین ترین قطرهای بخش مخروطی آنها مدهای حداکثر و حداقل این مجموعه می باشند. بدین ترتیب اندازه گیری یک گیج حلقه ای یا مخروطی به دو مرحله تقسیم می شود. ۱- تعیین

زاویه مخروط ۲- تعیین قطرهای مخروط

۴-۳-۱) اندازه گیری گیجهای توپی مخروطی (Taper plug gauges) (با گیجهای سر مخروطی-م)

معمولاً زاویه مخروط یک گیج سرمخروطی را با استفاده از مرغک های سنیوسی بخش ۲-۲-۴) تعیین می کنند اگر این وسیله موجود نباشد می توان این زاویه را به کمک روش اندازه گیری قطری و در فاصله مشخصی از امتداد گیج معین کرد.

اندازه گیریها معمولاً به وسیله استوانه هایی که به طور دقیق کالیبره شده اند و دارای قطرهای یکسان هستند انجام می گیرد.

برای جلوگیری از جدا شدن استوانه ها از گیج راپراتورها مورد استفاده قرار می گیرند (شکل ۴-۴)

شکل ۴-۵) اندازه گیری قطر انتهای کوچک یک گیج سر مخروطی

شکل ۴-۴) اندازه گیری گیج سر مخروطی

در مثلث ABC از شکل ۴-۴) دیده میشود که h ارتفاع راپراتورها بوده و $BC = (M_2 - M_1) / 2$ که M_1 و M_2 در شکل زیر نشان داده شده است.

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{BC}{AB} = \frac{M_2 - M_1}{2h}$$

بنابراین زاویه مشابه زاویه مخروط به وسیله اندازه گیری به طور مستقیم قابل تقسیم است. برای یافتن ماکزیمم و می نیمم قطرهای در بالا و پایین بخش مخروطی ابتدا نیاز به اندازه D_s یعنی قطر انتهای قطر کوچک (شکل ۴-۵) می باشد. شکل ۴-۵ انتهای کوچک گیج را به هنگام اندازه گیری M_1 نشان می دهد از شکل می توان دید

$$M_1 = D_s + 2r + 2x \text{ و از شکل ۴-۵:}$$

$$\operatorname{tg} \frac{90 - \theta}{z} = \frac{2}{x}$$

$$\therefore x = r \times \operatorname{tg} \frac{90 - \theta}{z}$$

$$\therefore M_1 = D_s + 2r \left(1 + \operatorname{tg} \frac{90 - \theta}{z} \right)$$

$$M_1 = D_s + d \left(1 + \operatorname{tg} \frac{90 - \theta}{z} \right)$$

که $d =$ قطر استوانه

$$\therefore D_s = M_1 - d(1 + ct \frac{90 - \theta}{2})$$

با مراجعه به معادله یک دیده می شود که $tg \theta$ در حقیقت معادل است با میزان افزایش شعاع بر گحسب واحد طول :

$$2tg \theta = \text{میزان افزایش قطر بر حسب واحد طول}$$

$$\therefore D_{MAX} = D_s + 2H \lg \theta \quad \text{و} \quad D_{MIN} = D_s + 2(H - S)tg \theta$$

که H ارتفاع گیج و S ارتفاع آن است. اگر مقدار M_3 را بین M_1 و M_2 (میانگین آنها) در نظر بگیریم آنگاه دو مقدار θ بدست می آید. اگر این دو مقدار با هم مساوی نباشند شکل مخروط گیج صحیح نیست به عبارت دیگر کناره هایش مستقیم نمی باشد.

با در نظر گرفتن مقادیر M_1 و M_2 و M_3 در موقعیت های مختلف و در روی گیج میتوان به روش مشابه گردی مخروط را نیز چک کرد.

۴-۳-۲) ماشین اندازه گیری مخروط

یک روش بهتر از نوع اندازه گیریهای که در بالا انجام دادیم در ماشینی که شکل ۴-۶ آن را نمایش می دهد به کار برده شده آیین ماشین به طور کالی از یک میکرومتر که قادر است تا 0.002 میکرومتر را بخواند و یک شاخص که در امتداد خط اندازه گیری می توان شناور باشد تشکیل شده است. کله گی دستگاه می تواند روی یک ستون سخت و سنگین به بالا و پایین حرکت کند و قطعه کار به روی یک پایه سنگین که دارای سطح پرداخت شده ای است تکیه دارد و به وسیله یک مرغک از بالا در وضعیت لازم نگه داشته می شود. اگر دقت لازم مبذول گردد میکرومتر وقت های بالایی را می توان بدست دهد .

۴-۳-۳) اندازه گیری گیج های حلقه ای مخروطی

روش در اینجا مشابه روش به کار برده شده در گیج های سر مخروطی است.

اندازه گیری ها توسط

شکل ۴-۷) اندازه گیری ی: گیج حلقه ای مخروطی

شکل ۴-۶) ماشین اندازه گیری مخروط با اجازه چاپ از شرکت coventry gauge and Tool.

باز هم در اینجا می توان دید : $Tg\theta = \frac{M_1 - M_2}{2h}$ ولی در این حالت داریم:

$$D_L = M_1 + d \left[1 + ct \frac{qo - \theta}{2} \right]$$

$$D_{MAX} = D_L - 2(H - S)tg\theta \quad (d \text{ نظر استوانه})$$

$$D_{MIN} = D_L - 2Htg\theta$$

در این روش دقت تا حد زیادی به تماس صحیح بین گلوله ها در راپراتورها بستگی دارد و انجام صحیح این روش با تمرین و تجربه حاصل میشود. لازم به ذکر است که در اندازه گیری مقادیر M چهار نقطه تماس موجود است (فرض می کنیم فشار بین اجزاء الاستیک باشد) که در راپراتور بزرگتر نیروی لبه ای بیشتری داده می شود (شکل ۴-۷) مؤلف احساس می کند که بهترین روش کار شروع با راپراتورهایی زیر اندازه لازم می باشد.

با قرار دادن چنین راپراتورهایی بررسی می کنیم که گلوله ها تا چه اندازه برای حرکت آزادند (می توان گلوله ها را با یک میل بافتنی جدا کرد) پس اندازه راپراتور را 0.1 mm به 0.1 mm افزایش می دهیم بدین ترتیب تدریجاً حرکت آزاد گلوله کاهش می یابد تا وقتی که دیگر به هیچ عنوان نمی توانند حرکت کنند بعد از وقوع این حالت بهتر است که کل اجزاء آزمایش (گلوله ها و راپراتورها) مورد بررسی قرار گیرد، سپس محاسبات لازم انجام می شود. این روش یک معتدل و عینی است و بهتر از روشهای حدسی می باشد.

۴-۳-۴ اندازه گیر سوراخ های مخروطی

روشی که در بخش قبلی شرح داده شد فقط زمانی کاربرد داشت که سوراخ مخروطی دارای قطر بزرگی باشد تا بتوان گلوله ها و راپراتور ها را به آسانی در آن جای داد اما برای مخروط های با قطر کوچکتر از روش های اندازه گیری زاویه ای و یا متداول (از قطر گذرنده) استفاده میشود (شکل ۴-۸)

شکل ۴-۸) اندازه گیری یک سوراخ مخروطی

همانطور که از شکل دیده می شود این روش بر مبنای اندازه گیری ارتفاع گلوله هایی با قطرهای متفاوت است که مستقیماً درون مخروط قرار داده شده اند. فاصله مرکز تا مرکز گلوله ها یعنی :

$$Lm \text{ عبارت است از } Lm = h_2 - h_1 - r_1 + r_2 \quad \text{و} \quad \sin \frac{\theta}{2} = \frac{NL}{LM} = \frac{r_1 - r_2}{h_2 - h_1 - r_1 + r_2}$$

بنابراین زاویه مخروط پیدا می شود برای تعیین یکنواختی مخروط می توان از گلوله سومی استفاده کرد که تقریباً در وسط طول مخروط قرار داده می شود سپس محاسبات فوق دوباره انجام می گیرد (اگر زاویه θ بدست آمده از دو گلوله با زاویه θ بدست آمده از سه گلوله برابر باشد مخروط یکنواخت است -م)

برای یافتن D_x در انتهای بزرگ مخروط فرض می شود O رأس زاویه مخروط باشد در این صورت $D_x = 2(OP.tg \frac{\theta}{2})$ و $OP = OL + PL$ و $\frac{OL}{LM} = \frac{r_1}{r_1 - r_2}$ مشکلاک عمل این روش بخصوص وقتی که

زاویه مخروط کوچک است بیشتر از حالت قبلی می باشد. اثرات تماس گلوله ها و تغییر شکل الاستیک منتج هم برای گلوله ها و هم برای گیج ها موجب تولید خطا در اندازه گیری مقادیر h_1 و h_2 می شود که در نهایت این خطاهای موجب محاسبه اشتباه زاویه می گردد لازم به ذکر است که به هیچ عنوان نباید گلوله ها به داخل مخروط پرت شوند بهتر است آنها را به آرامی و به طور موازی با محور مخروط به داخل مخروط غلطاند رعایت این مسائل و دیگر مشکلات موجود تنها از طریق تجربه عملی حاصل می گردد.

۴-۴) تراز دقیق.

همانطور که در فصل ۳ در مورد مقایسه گرهای تراز شکل بروکز گفته شد در این وسائل مبنای مقایسه ارتفاع دو راپراتور حساسیت حباب یک تراز می باشند به طور کلی تراز وسیله ای است که برای اندازه گیری زاویه ای مورد استفاده قرار می گیرد و شامل یک لوله ای شیشه ای است که باریختن مایعی در این لوله حبابی از هوا در آن ایجاد شده است حساسیت این نوع ترازها به شعاع لوله حاوی مایع و طول پایه تراز بستگی دارد به فرض تراز طوری درجه بندی شده است که فاصله هر درجه یک از درجه دیگر l باشد همچنین شعاع لوله تراز R در نظر گرفته می شود. اگر یک انتهای تراز (و در نتیجه لوله حاوی به مایع) تحت زاویه δ طوری منحرف گردد که حباب به اندازه

یک تقسیم از درجه بندی حرکت کند (یعنی به اندازه l) آنگاه $S = \frac{l}{R}$ بر حسب رادیان به عنوان مثال اگر فاصله

تقسیمات از هم $2/5mm$ و زاویه انحراف 10 ثانیه باشد آنگاه $\frac{2/5mm}{R} = 0/0000485$ رادیان $10''$ در نتیجه

$$R = \frac{2/5mm}{0/0000485} = 51500mm \quad \text{بنابراین } R \text{ تقریباً برابر است با } 51/5 \text{ متر با کاربرد این شعاع و طول } 250mm$$

ارتفاع X (ارتفاعی که تراز باید بالا برده شود تا حباب 2/5mm حرکت کند) عبارت است از:

$$x = 0/012mm \quad \therefore \frac{x}{250mm} = \text{رادیان } 0/0000485$$

به همین ترتیب با کاهش طول پایه از 250mm ، حساسیت افزایش می یابد مثلاً اگر از 250mm به 125mm کاهش یابد هر درجه از تقسیم بندی 0/006 را نشان می دهد. کاربرد اصلی ترازهای دقیق برای اندازه گیری مستقیم بودن و عدم پیچ خوردگی در ریل های ماشین ابزار است (نه برای اندازه گیری زوایا) این موضوع در فصل شش به طور کامل توضیح داده خواهد شد ولی به طور اجمالی و سطحی می توان گفت که اگر تراز در امتداد ریل در فواصلی به اندازه طول پایه اش ریل را طی کند موقعیت اول تراز به عنوان مبنایی برای اندازه گیری ارتفاع نقاط دیگر در روی ریل خواهد بود. خاطر نشان می شود که دقت یک تراز به نحوه تنظیم شیشه حامل مایه نسبت به پایه تراز بستگی دارد. در بیشتر طراحی ها جهت انتباق صحیح شیشه حاوی مایع به هنگام نصب آن در تراز قیدهای خاصی بکار برده می شود. در اندازه گیری های دقیق با تراز بهتر است فرض کنیم که در تنظیم شیشه حاوی مایع مقدار خطا وجود دارد و در نتیجه جهت اطمینان از درستی اندازه گیری دو قرائت را که هر دو را در امتداد یک خط ولی در جهات مختلف قرار دارند بدست آورد (به عبارت دیگر بهتر است توسط تراز به جای یک قرائت دو قرائت از موضوع تحت اندازه گیری انجام شود که در این حالت راستای هر دو قرائت یکی ولی جهات آنها مخالف باشد) میانگین این دو قرائت مقدار صحیح خطا را در تراز بودن سطح تحت اندازه گیری بدست می دهد.

۴-۴-۱) کلینومتر (The Clinometr)

کلینومتر یک حالت خاص از کاربرد ترازهای مایعی است که در آن تراز بر روی یک بدنه قابل چرخش و در داخل یک محفظه قرار دارد و یک سطح بدنه پایه یا تکیه گاه دستگاه را تشکیل می دهد، کاربرد اصلی این وسیله اندازه گیری زاویه دو پیشانی مجاور یک قطعه کار است بنابراین به هنگام کار پایه دستگاه روی یک پیشانی قرار داده میشود و بدنه قابل چرخش آنقدر حرکت داده می شود تا حباب تراز در مقابل صفر قرار بگیرد.

زاویه چرخش لازم برای رسیدن به این حالت به وسیله یک شاخص ورودی یک درجه بندی زاویه ای نشان داده می شود به همین روش پایه دستگاه را این بار روی پیشانی دوم قرار می دهیم و زاویه چرخش نشان داده شده به وسیله شاخص را می خوانیم زاویه بین دو پیشانی اختلاف بین قرائت های اول و دوم است بسته به نوع دستگاه مورد استفاده می توان تا دقت یک دقیقه مقدار زاویه را بدست آورد.

۴-۴-۲) استانداردهای ترازهای مایعی



استانداردهای مربوط به دقت ، حساسیت، کالیبره کردن، شرایط کار و دقت سطوح نمایش (سطوح نمایش دهنده مقدار (به وسیله استاندارد انگلیسی ۹۵۸ شرح داده شده است برای قطعه کارهایی با دقت عمومی حساسیت $10''$ بسیار مفید است یعنی جابجایی زاویه ای $10''$ ثانیه ای باعث حرکت حباب به اندازه یک تقسیم از درجه بندی می گردد. این مقدار معمولاً $2/5\text{mm}$ است.

۴-۵) وسایل نوری برای اندازه گیری زاویه ای برای اندازه گیری اختلاف های زاویه ای کوچک ی: گروه از وسایل نوری موجود اند که اساس کار آنها بر پایه موازی ساختن یک پرتاب نور است. اگر منبع نور نقطه ای O در کانون عکسی موازی ساز قرار داده شود پرتو خروجی نور موازی خواهد بود) شکل ۹-۴ قسمت (a)

شکل ۹-۴(b) تصویر یک منبع نقطه ای که از روی یک منعکس کننده کج شده انعکاس یافته است.

شکل ۹-۴(a) منبع نقطه ای نور در صفحه کانونی یک عدسی موازی ساز حال اگر این پرتو موازی به یک منعکس کننده که بر محور نوری عمود است بتابد پرتو انعکاسی روی خود مسیر نور بازمی گردد و دوباره در کانون جمع می شود اما اگر صفحه انعکاسی به اندازه زاویه کوچک کج شود پرتوهای انعکاسی به اندازه 2δ خواهند چرخید و در نقطه ای روی صفحه ی کانونی به فاصله X از O (نقطه O_1) جمع می شود. این اثر در شکل ۹-۴ قسمت b نمایش داده شده است.

اگر پرتو نور از مرکز هندسی لنز مورد بررسی عبور کند (که در این صورت دچار شکست در عدسی نمی شود) آنگاه می توان دید که $X = 2\delta F \text{ mm}^6$ که F فاصله کانونی لنز است.

درباره این فرمول نکاتی مهمی وجود دارد که فوراً آشکار نمی شوند:

۱- فاصله بین منعکس کننده و عدسی اثری در فاصله X یعنی فاصله بین منبع نور و تصویر ندارد.

۲- برای حصول حساسیت های بالا یعنی بدست آوردن یک مقدار بزرگ از X برای یک انحراف زاویه ای کوچک δ فاصله کانونی بلندی لازم است.

۳- همچنین فاصله عدسی از منعکس کننده بر قرائت X تأثیری ندارد اگر در یک مقدار معلوم از δ منعکس کننده بیش از حد عقب برده شود همه پرتوهای انعکاسی به طور کامل به عدسی اصابت نمی کنند و در نتیجه هیچ شکلی تولید نمی شود. بنابراین برای داشتن میدان دید وسیع بهتر است فاصله این عدسی و منعکس کننده کمترین مقدار ممکن باشد این مطلب به خصوص در مقایسه گرهای نوری فصل ۳ بسیار مهم می باشد.

(۴-۵-۱) اتوکالیستر (موازی ساز خودکار- به بخش ضمیمه مراجعه شود-م)

طرح شکل تصویر ی: منبع نوری نقطه ای عملی نیست (همانطور که در بالا شرح داده شد) برای همین در این وسایل یک جفت سیم به نام سیم هدف در صفحه کانونی عدسی موازی ساز قرار داده می شود که از پشت روشن شده و تصویر آنها شکل می گیرد شکل ۴-۱۰ این سیستم نوری را نشان میدهد.

شکل ۴-۱۰ نمایش سیستم نوری و عدسی چشمی اتوکالیتر (موازی ساز خودکار) با تنظیم میکرومتر سیم های تنظیم را طوری حرکت می دهیم که تصویر سیم هدف در بین آنها قرار گیرد پس مقدار نشان داده شده قرائت می گردد

تصویر شکل شده از هدف به یک صفحه منعکس کننده برخورد می کند و انعکاس تصویر در نقطه ای روی صفحه سیم های هدف (صفحه کانونی ۹ تشکیل میگردد. سیم ها و تصویرشان به طور همزمان درچشمی دیده می شود. این چشمی شامل یک جفت سیم قابل تنظیم و یک صفحه درجه بندی شده می باشد سیم های تنظیم شونده به وسیله یک میکرومتر جابجا می شوند تا وقتی که تصویر منعکس شده یا تصویر سیم هدف را در بر گیرند. دقیق ترین درجه بندی که در چشمی می توان خواند $\frac{1}{2}$ دقیقه می باشد و چون استوانه (شکل ۴-۱۰) میکرومتر که

سیمهای تنظیم شونده را در هر دور $\frac{1}{2}$ دقیقه حرکت می دهد به شصت قسمت مساوی تقسیم شده بنابراین یک

تقسیم بندی از استوانه میکرومتر نشان دهنده آن است که منعکس کننده به اندازه $\frac{1}{2}$ ثانیه کج شده است. با داشتن دقت در کار و نصب بدون ازتعاش دستگاه می توان تا دقت $0/2''$ نیز زاویه کج شدن را به دست آورد این دستگاه به طور طبیعی دارای محدوده قرائتی از ۱۰ دقیقه تا ۱۰ متر می باشد به همین دلیل در آزمایش هم

راستایی ماشین ابزار یا برای هر اندازه گهیری با مقیاس بزرگ که شامل انحرافات زاویه ای کوچکی است کاربرد این وسیله بسیار باارزش است. در فصل ۶ شرح کاملی از کاربرد این وسیله برای این قبیل مقاصد ارائه شده است.

۲-۵-۴) دکور زاویه (The Argle Dekkor) (به بخش ضمیمه مراجعه شود)

در این کاربرد از اصل موازی سازی یک درجه بندی به وسیله منبع نوری روشن می گردد به طوری که این درجه بندی در صفحه کانونی یک عدسی موازی ساز و خارج از میدان چشمی میکروسکوپ باشد. سپس تصویر آن به صورت یک پرتو موازی به یک صفحه منعکس کننده در زیر دستگاه برخورد می کند و تصویر منعکس شده توسط عدسی در کانون جمع می شود به طوری که تصویر در میدان دید چشمی قرار گیرد. تصویر این درجه بندی روشن شده به روی یک درجه بندی ثابت مشابه که عمود بر تصویر روشن شده می باشد قرار می گیرد به این ترتیب مقدار قرائت شده روی تصویر بندی روشن شده در چشمی میزان انحراف زاویه ای محوری عمود بر محور نوری را نشان می دهد (به عبارت دیگر میزان انحراف منعکس کننده را مشخص می کند-م)

و مقدار قرائت شده روی درجه بندی ثابت انحراف زاویه ای محوری را نشان می دهد که متقابلاً عمود دو محور دیگر است. (یعنی عمود بر محور نوری-م)

به کمک این طرح می توان خطاهای زاویه ای را در دو صفحه بررسی کرد و (یا خیلی مهمتر از این) می توان قرائت مربوط به گیج مرجع و قطعه کار را به طور مشابه در یک صفحه انجام داد و مقدار خطا را در صفحه دیگر قرائت کرد. بنابراین از ایجاد خطاهای زاویه ای ترکیبی جلوگیری می شود. (در شکل ۱۱-۴) این سیستم نوری و آنچه که در چشمی دیده می شود نمایش داده شده است.

طرح فیزیکی ساده این دستگاه شامل یک سطح مبنای پرداخت شده و یک منعکس کننده می باشد دیگر اجزاء نوری در درون یک لوله قرار دارند که متصل به پایه ای قابل تنظیم است.

به هنگام استفاده از این دستگاه ابتدا یک گیج مرجع مثلاً یک خط کش سنیوسی یا یک گروه از گیج های زاویه دار (بخش ۱-۲-۵-۴ را ببینید) را به روی سطح مبنای دستگاه قرار می دهند و دستگاه طوری تنظیم می گردد که روی هر دو درجه یک مقدار قرائت شود. سپس گیج مرجع را برداشته و قطعه کار را جایگزین میکنند و به روی سطحی از قطعه کار که مورد بررسی قرار می گیرد جهت انعکاس بهتر یک راپراتور قرار داده می شود که دارای سطح پرداخت خوبی است. می توان این راپراتور را با نوارهای الاستیکی روی قطعه کار محکم کرد. سپس قطعه کار به آرامی چرخانده می شود تا درجه بندی روشن شده در امتداد درجه بندی ثابت حرکت کند و زمانی که مقدار قرائت شده روی درجه بندی ثابت همان مقداری باشد که در مرحله ی اول به وسیله گیج مرجع قرائت شد قطعه کار دیگر حرکت داده نخواهد شد و میزان خطا در زاویه قطعه کار اختلاف دو مقدار خوانده شده (در مرحله اول و مرحله

دوم) روی درجه بندی روشن شده خواهد بود. جهت چک کردن سطوحی که به طور اسمی بر هم عمود اند نیاز به گیج مرجع نیست. کافی است که مثل دفعه قبل روی دو سطح مورد نظر یک راپراتور قرار داده شود و دستگاه تنظیم گردد در این صورت اگر دو سطح کاملاً بر هم عمود باشند در انعکاس از روی هر دو سطح در چشمی دو تصویر از درجه بندی روشن شده دیده می شود که به طور عمودی در راستای هم (به دنبال هم) قرار دارند و قرینه هم هستند. اما اگر این دو سطح بر هم عمود نباشند دو تصویر درجه بندی روشن شده در امتداد هم قرار نخواهند گرفت و فاصله بین آنها مقدار خطای دو گانه (یا به طور ساده تر خطای $\pm$) انحراف از زاویه قائمه است. در شکل (۴-۱۲) چشمی دستگاه به هنگام آزمایش تعمد دو سطح قطعه کار نمایش داده شده است. در ابتدای کار با این دستگاه خواندن مقادیر کمی دشوار است ولی با تمرین بیشتر تصدیق می گردد که این وسیله برای آزمایش زوایای 90° بسیار سریعتر و دقیقتر است. اگر چه این دستگاه حساسیت اتوکالیمتر را ندارد اما برای دامنه وسیعی از اندازه گیریهای زاویه ای در فواصل کوتاه بینهایت مفید است.

شکل (۴-۱۱): سیستم نوری کمپراتور زاویه

شکل (۴-۱۲) نمای چشمی یک کمپراتور زاویه به هنگام آزمایش سطوح متعامد به همین دلیل از این وسیله در اتاقهای اندازه گیری و برای کنترل و کیفیت تولیدات استفاده می شود بوسیله آن می توان به طور مستقیم مقادیری از (۱) دقیقه تا ۵۰ دقیقه را قرائت کرد همچنین به طور تخمینی می توان مقادیر قرائت شده (۱) تا دقت 0.2° دقیقه بدست آورد.

۴-۵-۲-۱) گنج های زاویه دار مرکب

در بخش ۴-۵-۲ ذکر گردید که کمپراتور زاویه به مانند دیگر کمپراتورها با یک گنج مرجع تنظیم می گردد همچنین می توان از یک خط کش سنیوسی جهت این کار استفاده کرد اما در سال ۱۹۴۱ شکل های بسیار مناسبی از گنج های مرجع یعنی گنج های زاویه دار مرکب به بازار عرضه شد. به طور ساده این گنج ها مکعب هایی هستند که به صورت زوایای دقیقی سخت و پرداخت شده اند و می توان آنها را روی یکدیگر قرار داد. مشابه با راپراتورها می توان آنها را به هم اضافه یا از هم کم کرد. همانطور که در شکل ۴-۱۳ نشان داده شده است.

شکل (۴-۱۳) اضافه و کم کردن گنج های زاویه دار مرکب

زوایای به کار رفته به صورت یک تصاعد هندسی با قدر نسبت به ۳ مرتب شده اند. این گنج ها ۱۳ تا هستند (به همراه یک بلوک صاف و هموار و همگی دارای زوایای کالیبره شده می باشند) و به کمک آنها می توان هر زاویه ای بین ۰ تا ۹۰ درجه را با نمو ۳ ثانیه تشکیل داد. این گنج ها ممکن است در ترکیب با یکدیگر به کار روند یا از بلوک صاف و هموار هم شوند. آنها را با استانداردهایی مشابه با استانداردهای راپراتور می سازند. همگی دارای دقت بالا و خصوصیت به هم فشردگی بوده و کالیبره شده اند. همچنین خواص انعکاسی سطح پرداختشان آنها را بخصوص برای کاربرد در دستگاه های موازی ساز مناسب کرده است.

۴-۵-۳) تلسکوپ هم راستایی

کاربرد عمده این وسیله برای آزمایش دقت هم راستایی یا تاقانها، دقت هم راستایی سطوحی که قیدهای مونتاژی بزرگ رویشان قرار می گیرند و دقت هم راستایی قطعه کارهای مشابه می باشد. این دستگاه شامل دو قسمت است: یک بخش موازی ساز و یک تلسکوپ جمع کننده (یا در کانون متمرکز کننده-م)

بدنه هر دوی این قسمت ها استوانه ای است وقطعه خارجی آن دقیق می باشد. از آنجا که محور نوری و مکانیکی بر هم منطبق هستند می توان هر قسمت را به طور مستقیم یا به وسیله بوش های دقیق بین دو یاتاقان که به فاصله معینی از هم هستند قرار داد و سپس تصاویر بدست آمده از بخش تلسکوپ را به بخش موازی ساز منتقل کرد.

بخش موازی ساز شامل یک منبع نور و یک کندانسور (جمع کننده) است که در جلوی آن یک شیشه مدرج زاویه ای (یا شیشه شطرنجی-م) در صفحه کانونی عدسی موازی ساز نصب شده است این درجه بندی شطرنجی به صورت یک پرتو موازی تصویر می گردد. اگر تلسکوپ در بینهایت تنظیم شود، پرتوهای موازی و درجه بندی زاویه ای به روی خطوط مبنا(یا سیم های متقاطع تلسکوپ در شکل ۴-۱۴) خواهند افتاد. بدین ترتیب ناهمراستایی زاویه ای در دو صفحه معین می گردد.

قسمت موازی ساز در جلوی عدسی موازی ساز شامل یک شیشه مدرج زاویه دیگری است که دارای دو درجه بندی عمود بر هم می باشد. اگر فاصله کانونی تلسکوپ کوچک شود این تقسیم بندی روی خطوط مبنای تلسکوپ دیده شده و جابجایی خطی مستقیماً اندازه گیری می شود. اما چون درجه بندی نا هم راستایی زاویه ای خیلی دور از کانون است در چشمی تلسکوپ دیده نمی شود. در شکل(۴-۱۴) دیاگرامی از واحد موازی ساز و نمایی از چشمی تلسکوپ در دو حالت فوق (اندازه گیری جابجایی و نا هم راستایی زاویه ای) نشان داده شده است. خاطر نشان می شود که فاصله اثری بر قرائت نا هم راستایی زاویه ای ندارد. چرا که این قرائت ها با کاربرد اصل موازی سازی حاصل شده اند . اما این موضوع در مورد جابجایی خطی درست نیست و تلسکوپ تنها اندازه ظاهری درجه بندگی را برای دیدن به وسیله چشم ، بزرگ می کند. سپس با افزایش فاصله، اندازه درجه بندی جابجایی کاهش می یابد و قابلیت قرائت آن نیز کم می شود بنابراین دقت این قرائت با افزایش فاصله کم می شود.

۴-۶) تقسیم دایروی

بیشتر تحقیقات پیشین در مورد استانداردهای اندازه گیری به وسیله یک شرکت سوئیسی به نام Societe Genevoise صورت گرفته بود که تا کنون بیشتر استانداردهای خطی بسیار دقیق شامل نخستین نمونه های بین المللی و کپی های آنها را تولید کرده است. این مطلب مسجل شده بود که در ساخت وسایلی با دقت بالا احتیاج به درجه بندیهای مدور دقیقی است و در راستای این هدف بود که در سال ۱۸۶۵ ماشین های تقسیم مدور ساخته شد. در این زمان روشی برای چک کردن فضایی بین دندانهای حول میز ماشین وجود نداشت و این موضوع به استفاده از ماشین های تقسیم خطی (که جهت ساخت استانداردهای خطی به کار می روند) به شکل یک خط کش سنیوسی برای کالیبره کردن ماشین تقسیم منجر گردید.

به این ترتیب اولین درجه بندی برای تقسیم مدور ساخته شد. از آن به بعد کاربردهای بسیاری برای این قبیل درجه بندیها در ساخت میزهای چرخشی اپتیکی و کله گی های تقسیم اپتیکی بوجود آمد.

۱-۶-۴) نصب درجه بندیهای تقسیم شده شیشه ای :

ساده ترین شکل تقسیم کننده اپتیکی شامل یک درجه بندی شیشه ای است که به روی یک محور سوار می گردد و از طریق یک میکروسکوپ مثل شکل (۱۵-۴) دیده می شود. این درجه بندی شیشه ای از پشت روشن می شود و با قرار گرفتن تصویر آن روی درجه بندی میکروسکوپ به طور مستقیم نسبت به درجه بندی میکروسکوپ در درجه بندی قابل قرائت است. در این قبیل تجهیزات لازم است که دایره تقسیم شده (درجه بندی مدور-م) طوری نصب گردد که بتواند که به نحو صحیحی حول محورش بچرخد. اگر به هنگام چرخش درجه بندی از مرکز خارج گردد در تقسیم مدور خطایی تولید خواهد شد.

شکل (۱۶-۴) یک دیسک که دارای خروج از مرکز e است را نشان می دهد که به این منحنی با چرخش دیسک، مرکز دیسک یک دایره به شعاع e رسم میکند.

دیسک در موقعیت اول (شکل (a) ۱۶-۴) دقیقاً مقابل خط مبناست و مقدار صفر قرائت می گردد در نتیجه میزان خطا صفر می باشد.

حال اگر بخواهیم دیسک زاویه 90° را نشان دهد مرکز دیسک به موقعیت نشان داده شده روی شکل (b) ۱۶-۴ می رود بنابراین برای نشان دادن زاویه 90° باید دیسک اندازه $90 + \delta$ بچرخد (δ میزان خطای زاویه ای است-م) بطور مشابه در شکل (c) ۱۶-۴ برای قرائت 270° باز هم خطای δ ایجاد می گردد ولی این بار برای رسیدن به زاویه 270° دیسک باید به مقداری کمتر از 270° یعنی $270 - \delta$ بچرخد.

بنابراین میزان خطا از 0 تا δ و از 0 تا $-\delta$ می باشد و با رسم نمودار خطای منحنی سنیوسی حاصل می گردد. حداکثر خطای زاویه ای (یا پیک خطای زاویه ای-م) بین هر دو قرائت فوق 2δ است و با توجه به شکل

$\delta = \frac{e}{R}$ رادیان. پس اگر دیسک بین 90° تا 270° چرخانده شود حداکثر خطای زاویه ای به وجود آمده

$\frac{2e}{R}$ خواهد بود که e خروج از مرکز و R شعاع محدوده شراست هاست. (شعاعی که قرائت ها در آن شعاع به

دست می آیند) این قبیل تنظیمات در وسایل اپتیکی نظیر آنچه که در ابتدای این بخش (بخش ۱-۶-۴) گفته شده قابل کاربردند.

شکل (۴-۱۵) اصول میز چرخشی یا کله گی تقسیم اپتیکی

شکل (۴-۱۶) (a) : قرائت : 0° خطا 0° (b) : قرائت : 90° ، خطا δ + (c) : قرائت : 270° خطا δ -

توجه: وقتی که مرکز چرخش و مرکز درجه بندی و خط مبنا روی یک خط قرار بگیرند میزان خطا صفر است.

۴-۶-۲) کالیبره کردن و درجه بندیهای مدور و وسایل نشانه گذاری:

ساده ترین وسیله برای کالیبره کردن (میزان سازی-م) یک دستگاه نشانه گذاری (مثل یک کله گی تقسیم) نسبت دادن آن به ی: چند ضلعی دقیق است. یان چند ضلعی یک تکه فولاد سخت شده و محکم می باشد که سطوح انعکاسی آن به دقت پرداخت شده اند و بر تقسیمات انجامش ده بر روی یک دایره کاملاً عمود است. بزرگ ترین چند ضلعی ساخته شده (برای این کار-م) ۷۲ پیشانی در فواصل اسمی ۵ درجه ای دارد. معمولاً یک چند ضلعی ۱۲ ضلعی در فواصل ۳۰ درجه ای برای بیشتر کارها مناسب می باشد. روش کار بدین صورت است که چند ضلعی روی طرح شانه گذاری قرار داده می شود و با تنظیم یک اتوکامتر از چند ضلعی یا قرائت بدست می آید.

اکنون اگر طرح فوق در فواصل ۳۰ درجه ای (یعنی $\frac{1}{12}$ دایره) نشانه گذاری شود دوباره باید قرائت ها به وسیله اتوکامتری متر تکرار گردند. در غیر این صورت اختلاف بین قرائت ها در مرحله اول میزان خطا در نشانه گذاری تقسیم بندی خواهد بود. بطور مشابه اختلاف تمامی قرائت ها در اولین قرائت ها مقدار خطا تقسیم بندی تحت زاویه نهایی می باشند در حالی که خطاهای مربوط به جابه جایی های هر تقسیم بندی به وسیله تفریق بدست می آید. معمولاً یک قرائت تکراری روی پیشانی اولیه چند ضلعی انجام می شود و هر خطایی که در این قرائت تکراری بدست آید به طور یکنواخت بین جابجایی تقسیمات دیگر توزیع می گردد.

جدول زیر برای یک گروه از قرائت های بدست آمده از آزمایش کله گی تقسیم یک ماشین فرز است که برای تقسیم بندی ساده ای تقسیم شده است در شکل (۴-۱۷) نتاج حاصل به صورت گرافیکی بیان شده اند. در این جدول

فرض می شود که چند ضلعی کاملاً دقیق می باشد البته نه اینکه مطلقاً دقیق است بلکه تا حد ممکن دقیق می باشد. خطای زاویه ای در هر پیشانی معلوم است پس می توان برای این خطا مقدار مجازی معین کرد.

شکل (۴-۱۴) واحد نشان داده شده است. در عدسی چشمی تلسکوپ دیده می شود.

شکل (۴-۱۷) نمودار خطای حاصل در تقسیم بندی یک طرح تقسیم شده که دارای یک محور خارج از مرکز است.

۴-۶-۳) کالیبره کردن یک چند ضلعی دقیق :

اگر خطاها در یک چند ضلعی معلوم نباشد (برای کالیبره کردن میزان سازی آن می توان از

استفاده کرد. همانطور که در شکل ۴-۱۸ نشان داده شده است دواتوکاسی متر برای دو پیشانی مجاور چند

ضلعی تنظیم شده اند. اگر R_1 و R_2 به ترتیب قرائت های حاصل از اتوکاسی مترهای ۱ و ۲، S زاویه بین

عمودهای وارد بر صفحات A, B و T زاویه بین دو اتوکاسی متر باشد آنگاه:

$$S + R_1 = T + R_2$$

یا

$$S = T + (R_2 - R_1)$$

اگر تمام چند ضلعی بررسی شود و همه مقادیر S و T و $(R_1$ و $R_2)$ بدست آیند:

$$\sum S = \sum T + \sum (R_2 - R_1)$$

$$\sum S = 360 \quad \text{ولی} \quad \sum S = 360 \quad \text{پس:} \quad \sum T + \sum (R_2 - R_1) = 360$$

با تقسیم این عبارت بر n (تعداد اضلاع چند ضلعی) داریم:

$$\frac{360}{n} = \frac{\sum T}{n} + \frac{\sum (R_2 - R_1)}{n}$$

شکل (۱۸-۴) نحوه تنظیم دو اتوکاسی متر برای اندازه گیری خطاهای یک چندضلعی دقیق

$$\frac{۳۶۰}{n} = T + \frac{\sum (R_r - R_l)}{n}$$

یا

$$T = \frac{۳۶۰}{n} - \frac{\sum (R_r - R_l)}{n}$$

توان مقدار T را معین کرد. این مقدار را می توان به معادله (۱) قرار داده و برای هر پیشانی، زاویه پیشانی ۱ پیدا کرد. در جدول زیر تمامی محاسبات نشان داده شده است.

$$T = \frac{۳۶۰}{n} - \frac{\sum (R_r - R_l)}{n} = ۴۵ - \frac{۲۵' ۴۷/۱''}{۸} = ۴۵^\circ - ۳' ۱۳/۴''$$

$$S = T + (R_r - R_l) = ۴۵^\circ - \frac{\sum (R_r - R_l)}{n} + (R_r - R_l)$$

$$\text{خطا} = (R_r - R_l) + ۳' ۱۳/۴''$$

بنابراین بدون رجوع به استاندارد زاویه ای می توان چند ضلع را با دقت بالایط کالیبره کرد. البته این روش به این مبناست که دایره یک تابع پیوسته است به عبارت دیگر مجموع تمام مقادیر زوایای چند ضلعی برابر ۳۶۰ است. این روش برای ما یک استاندارد زاویه ای طبیعی فراهم می کند و توسط آن می توان استانداردهای زاویه ای کاربردی نظیر گیج های زاویه دار مرکب را نگه داری و تعمیر کرد.

(۷-۴) اندازه گیری تعامد.

بین زوایای گوناگون زاویه ی ویژه ی وجود دارد که احتمالاً به علت اهمیت بیشتر آن اسامی خاصی برای آن پدید آمده است. این زاویه، زاویه ۹۰° می باشد (عمود- گونیا- قائمه) این زاویه در دستگاه های مختلف اهمیت زیادی دارد به عنوان مثال اگر سوپرت عرضی ماشین تراش به طور عمود بر محور اصلی حرکت نکند به هنگام عملیات پیشانی تراشی سطح صافی ایجاد نخواهد شد یا در یک میکرومتر عمل سنج اگر محور دستگاه بر تکیه گاهش عمود

نباشد اندازه گیری شامل یک خطای کسینوسی خواهد بود در واقع می توان گفت که زاویه قائمه از پیشرفت علم مدرن بوده است و اگر امکان تولید یک زاویه قائمه مورد بررسی قرار گرفت اغلب آزمایش تعامد مهندسی محیط کار (تعامد از نظر نقطه مهندسی) کافی نیست و وجود یا عدم وجود متعامد را می توان به سادگی (ظبه طور حدسی) با چشم تشخیص داد. آنچه که بیشتر اوقات مورد نیاز است میزان خطای تعامد (یا میزان انحراف از تعامد) می باشد خطای تعامد را می توان م از طریق اندازه گیری خطی و هم از طریق اندازه گیری زاویه ای در طول مشخص از سطح به دست آورد اما در صورت می توان تجزیه را از یکی به دیگری تبدیل کرد (مثلاً از خطی به زاویه ای و بالعکس)

۱-۷-۴) روش های تمامی اندازه گیری تعامد.

بلوک نشان داده شده در شکل ۱۹-۴ را در نظر بگیرید.

شکل ۱۹-۴) آزمایش تعامد به کمک راپراتورها، خطای تعامد در طول L ، عبارت است از $\frac{1}{2} (R_p - R_s)$ سطوح مقابل این بلوک موازی هم می باشد می توان این توازی را به سادگی و به کارگیری یک میکرومتر یا یک کمپراتور (بسته به دقت مورد نیاز) چک کرد. این توازی را می توان با وسایل بسیاری نظیر وسایل سنگ زنی صفحه ای و سنگ زنی موضعی (بسته به دقت-مورد نیاز) تولید کرد. فرض می شود که بلوک بطور دقیق موازی است ولی چهارگوش نمی باشد مطابق آنچه که در شکل ۱۹-۴ نشان داده شده است در کنار بلوک ی: قطعه باریک موازی به طور عمود بر سطح مبنا قرار داده می شود. در دو نقطه A و B دو راپراتور قرار میگیرد به نحوی که فاصله بین بلوک و نقطه باریک را پر کنند. ابعاد این راپراتور ثبت می شود سپس بلوک 180° چرخانده می شود بطوریکه اینبار بلوک A در بالا قرار می گیرد اگر در حالت بلوک B در پایین قرار گرفت (بطوریکه فاصله بین بلوک و قطعه باریک را پر کند) بلوک متعامد خواهد بود در غیر این صورت راپراتور دیگری به نام B_1 پیدا می کنیم که این فاصله را پر کند در اینصورت نصف اختلاف اندازه راپراتورهای B و B_1 خطای تعامد قطعه کار در فاصله بین دو راپراتور است (نه در کل طول قطعه کار-م) در شکل ۲۰-۴ روش دیگری جهت تعیین خطای تعامد نشان داده شده است.

شکل ۴-۲۰) بکارگیری ساعت اندازه گیری جهت آزمایش تعامد. خطای تعامد در اینجا و در طول L برابر است با

$$\frac{1}{4}(R_1 - R_2)$$

در این روش از یک ساعت اندازه گیری استفاده می شود برین ترتیب که در دو حالت نشان داده شده در شکل ۴-۲۰-۴ دو قرائت از ساعت اندازه گیری بدست می آید. در حالت اول مقدار قرائت شده R_1 و در حالت دوم پس از اینکه قطعه کار 180° چرخانده شد مقدار قرائت شده R_2 می باشد. نصف تفاوت این قرائت ها، خطای تعامد در طول L است.

۴-۷-۱-۱) تصحیح خطای تعامد

مقدار معینی است که اگر به ترتیبی خاص در ابعاد قطعه کار اعمال گردد موجب از بین رفتن خطای تعامد می شود با مراجعه دوباره به شکل ۴-۲۰ فرض می شود که اختلاف قرائت های ساعت اندازه گیری در دو حالت A و b 0.12mm باشد در این صورت در فاصله بین شاخص ثابت و مرکز اندازه گیری (در طول L) قطعه کار به اندازه 0.06mm خارج از تعامد است اما در کل طول قطعه کار خروج از تعامد 0.75mm می باشد.

بنابراین برای تصحیح تعامد باید از ضلع AD مقداری گوه ای شکل به رأس A و تا عمق 0.75mm از قطعه کار تراشیده شود. (شکل ۴-۲۱ قسمت (a)).

همین کار را بروی ضلع BC و از طرف c به طرف B انجام می دهیم بدین ترتیب که حداکثر عمق تراشیده شده در نقطه C برابر 0.75mm و حداقل آن در B برابر 5mm باشد.

شکل ۴-۲۱) روش صحیح تعامد

همانطور که دیده می شود در نقطه D تکراری از قطعه کار در حدود $2/5\text{mm}$ باقی خواهد ماند به این ترتیب خطای تعامد تصحیح می گردد و تنها کافی است که برای موازی بودن ضلع AD با BC را به اندازه لازم سنگ زد (احتمالاً منظور از سنگ زدن ضلع AD سنگ زدن قطعه باقی مانده در نقطه D است تا به موازات ضلع BC قرار بگیرد)

۴-۷-۲) روش های اپتیکی (نوری) برای چک کردن تعامد

در این روش از یک میکسچر (قید) ساده و یک اتوکای متر یا کمپراتور زاویه استفاده می شود این دستگاه به وسیله لایراتوار بین المللی فیزیک طراحی شده است.

(۵-۱) مقدمه :

صحت و دوام بیشتر کالاهای ساخته شده به برقراری نصب های درست ابعادی بین اجزای مختلف مونتاژی بستگی دارد. این عبارت بدین معنی است که اجزاء باید به روش معینی با هم سازگار شوند. مثلاً برای چرخش یک شکل در یک سوراخ باید بین آنها موجود باشد تا یک لایه نازک روغن بتواند بین آنها قرار گیرد. اما اگر این لقی خیلی زیاد باشد موجب شناور شدن شعاعی (در راستای شعاع سوراخ-م) شفت کمی گردد. از طرف دیگر در صورت عدم موجود لقی و به طوری که شفت با فشار در سوراخ جا داده شود نیروهای کشسانی تولید می شوند که این دو قطعه را به هم پرس می کنند و اجازه حرکت به شفت نمی دهند در این حالت امکان دارد که سوراخ شکافته شود. برای رفع این مشکلات باید برای سوراخ و شفت اندازه های کاملاً معینی در نظر گرفته شود. متأسفانه این کار به دو دلیل بسیار خوب امکان پذیر نیست.

(۱) نمی توان یک قطعه را با اندازه کاملاً معینی ساخت (نمی توانن خطا را به صفر رساند-م)

(۲) اگر بر فرض یک قطعه دقیقاً مطابق با همان اندازه مورد نیاز ساخته شود، باز نمی توان آن را دقیقاً اندازه گیری کرد. (خطای اندازه گیری را نمی تواند به صفر رساند-م)

مثلاً در مورد راپراتورها با در نظر گرفتن B. S. ۸۸۸ (استاندارد انگلیسی ۸۸۸) دیده می شود که راپراتورهایی با طول های بیشتر از ۲۵mm تنها تا ۰/۰۵mm دقت دارند و اندازه آنها دقیقاً مقدار ذکر شده نیست . مورد دیگری که باید به آن توجه کرد این است که هر چه دقت قطعه افزایش یابد هزینه ساخت آن نیز بالا می رود. به عنوان مثال هزینه ساخت یک قطعه به اندازه اسمی ۰/۲۵ میلیمتر کمی بیشتر از هزینه ساخت قطعه ای به اندازه اسمی ۰/۵mm می باشد. اما ساختن قطعه ای با اندازه اسمی ۰/۰۲mm هزینه بسیار بیشتری نیاز دارد تا ساخت قطعه ای به اندازه اسمی ۰/۰۱mm بدین ترتیب نمودار هزینه - دقت به صورت نشان داده شده و در شکل ۵-۱ رسم خواهد شد همانطور که دیده می شود محور هزینه برای این نمودار یک خط مجانب است یعنی دقت ۰/۱۰٪ بی نهایت هزینه می برد با توجه به توضیحات فوق این سوال پیش می آید که اگر نمی توان قطعه طای دقیق تولید کرد پس چگونه امکان دارد قطعاتی ساخته شوند که با هم سازگار باشند. (یا با هم فیت شوند-م)

شکل ۵-۱) نمودار نشان دهنده رابطه بین تلرپنس قطعه کار و هزینه آن

برای پاسخ به ای سوال و روف این مشکل سه روش در نظر گرفته می شود که هر کدام در صنعت جایگاه خاص خود را دارد.

۵-۱-۱) ساختن برای سازگاری (در این فصل کلمات سازگاری، فیت و انتباق متوادم هستند-م)

در این روش ابتدا یک قطعه با دقت لازم و به طور اقتصادی ساخته می شود سپس قطعه عدی به تدریج ماشین کاری می گردد تا زمانی که با قطعه اول به نحوی مناسب فیت شود. این روش برای کارهای تکی و یا محفظه ابزار و غیره که در آنها دو قطعه سریع تعویض خواهند شد بکار می رود. روش ساختن برای سازگاری با مطالب کتاب ارتباط چندانی ندارد. به عبارت دیگر مورد بررسی قرار نمی گیرد-م

۵-۱-۲) مونتاژ انتخابی :

این روش زمانی به کار می رود که ساخت قطعات با درجه بالایی از دقت به روش ساختن برای سازگاری اقتصادی نباشد. در این مورد مونتاژ انتخابی اقتصادی تر است در این روش قطعات اندازه گیری شده و به گروههایی که هر یک شامل قطعاتی با اندازه مشابه و محدوده دقیق معینی هستند طبقه بندی می شوند سپس قطعاتی از هر مجموعه که به طور مشابه درجه بندی شده اند مونتاژ می گردد.

مثال خوبی که برای این روش می توان ارائه داد، ساخت بلبرینگ است. یک بلبرینگ به طور کلی شامل یک حلقه داخلی و یک حلقه خارجی است که به وسیله ساچمه های فولادی از هم جدا شده اند هر دو نوع حلقه و همچنین ساچمه ها طوری دسته بندی و مونتاژ می شوند که شرایط زیر بر قرار باشند:

۱- ساچمه های بزرگ در داخل حلقه های کوچک داخلی و حلقه های بزرگ خارجی مونتاژ شوند.

۲- ساچمه های متوسط در داخل حلقه های داخلی متوسط و حلقه های خارجی متوسط یا حلقه های بزرگ داخلی و خارجی یا حلقه های کوچک داخلی و خارجی مونتاژ شوند.

۳- ساچمه های کوچک در داخل حلقه های داخلی بزرگ و حلقه های خارجی کوچک مونتاژ شوند. معمولاً سیستم مونتاژ انتخابی زمانی بکار می رود که به هنگام خرابی کل مجموعه مونتاژی به عنوان یک سیستم واحد تعوض گردد نه یک جزء از آن.

مثلاً اگر یک ساچمه در یاتاقان بترکد تمام یاتاقان عوض می شود نه یک ساچمه معیوب آن

۵-۱-۳) سیستم های حدی و سازگاری

حتی در تولید تکراری قطعات نیز گاهی نیاز به تغییر اندازه ها می باشد در نتیجه باید تلرانسهای این تغییرات با توجه به شرایط موجود مورد بررسی قرار گرفته و معین گردند.



مثلاً در شفت ها و سوراخها تolerانس ها باید به نحوی باشند که هر شفت به طور صحیح با سوراخ درگیر شده و به اندازه عمر طراحی شده برای سیستم مونتاژی، کار کند.

در مورد شفت ها و سوراخها معمولاً سه نوع سازگاری یا فیت موجود است : ۱- (فیت تداخلی که در آن حداقل قطر مجاز شفت بزرگتر از حداکثر قطر مجاز سوراخ است.

۲- فیت عبوری که در آن قطر بزرگترین سوراخ مجاز، بزرگتر از کوچکترین شفت است ولی کوچکترین سوراخ کوچکتر از بزرگترین شفت می باشد.

۳- فیت لقی که در آن قطر بزرگترین شفت مجاز، کوچکتر از قطر کوچکترین سوراخ است، این سه نوع فیت در شکل ۲-۵ نشان داده شده است.

شکل ۲-۵) روابط ابعادی ممکن بین یک سوراخ و یک شفت.

در شکل ۲-۵ عباراتی به کار برده شده است که تعاریف آنها به صورت زیر می باشد:

۱- محدوده اندازه : ماکزیمم و مینیمم اندازه های مجاز یک قطعه محدوده یا حدهای اندازه آن قطعه می باشد .

۲- تolerانس: عبارت است از ماکزیمم تغییری مجاز در اندازه یک قطعه معین .

۳- الوانس (اضافه مجاز): عبارت است از اختلاف اندازه بین حدهای اندازه دو قطعه لازم به ذکر است الوانس مثبت موجب تولید فیت لقی و الوانس منفی موجب تولید فیت تداخلی می گردد.

هر شرکت تولیدی نیازمند تعدادی از انواع مختلف فیت ها می باشد از جمله فیت هایی که برای مونتاژ آنها باید از انقباض یا فشار هیدرولیکی استفاده کرد و فیت هایی که مونتاژ آنها با فشار مکانیکی کوچکی قابل انجام است مثل فیت های روان و فیت های لقی. این قبیل مجموعه ها (مجموعه فیتها) از دو طرۀ دقیق جداگانه قابل تولید هستند.

الف) سیستمی که در آن سوراخ، مبناست در این سیستم اندازه سوراخ در یک مقدار اسمی مشخصی ثابت نگه داشته می شود و مجموعه ای از انواع فیت ها با تغییر در حدود اندازه شفت ها تولید میگردند مثلاً بفرض اینکه سوراخی به

اندازه $\frac{+0.2mm}{-0.05mm}$ باشد شفت ها می توانند دارای مقادیر زیر باشند:

$$1- \frac{+0.8mm}{+0.4mm} 25mm \text{ شفت با این قطر موجب فیت تداخلی (انطباق تداخلی) خواهد شد.}$$

$$3- \frac{-0.2mm}{-0.5mm} 25mm \text{ شفت با این قطر موجب یک فیت لقی (انطباق لقی) خواهد شد. همانطور که ذکر شد}$$

تمام این فیت ها تنها برای یک سوراخ به قطر مشخص فراهم شده اند:

ب) سیستمی که در آن شفت، مبناست. در اینس یتم اندازه شفت در یک مقدار اسمی مشخصی ثابت نگاه داشته می شود و مجموعه ای از انواع فیت ها با تغییر در حدود اندازه سوراخ ها تولید می گردد. در بیشتر کارها سیستم اول استفاده می شود چرا که برای تولد سوراخ های دقیق باید از چندین ابزار استاندارد مثل مته ها و برقو ها استفاده کرد.

به عبارت دیگر تولید سوراخ دقیق تقریباً مشکل تر است. اما می توان شفت ها با سهولت بیشتری و در ماشین هایی نظر ماشین سنگ زنی بی مرغک تولید کرد.

با این حال تصدیق می شود که به کار بردن تنها یک گروه از سوراخ های دقیق برای مرتفع کردن نیازهای تمامی انواع قطعه کار کافی نیست مثلاً در برقو کاری یک سوراخ برای تعیین دقت آن به یک مجموعه از محدود کننده ها (گیج های حدی) نیاز است.

یک سیستم معین باید تا حد امکان دارای چهار گروه از سوراخ ها باشد تا به این ترتیب بتوان مقدار تolerانس ها را برای چهار روش تولید معین کرد همچنین ممکن است به ۹ گروه مختلف از شفت ها که می توانند که نه نوع مختلف از فیت ها را با یک گروه از سوراخ ها ایجاد کنند نیاز باشد همچنین این موضوع تصدیق می شود که اندازه های بزرگتر نیازمند تolerانس های بزرگتر اند بنابراین اگر یک شرکت مبنای کار خود را بر پایه سیستمی از محدود کننده ها و فیت ها قرار دهد که از اصول اولیه پیروی می کنند کاربرد این سیستم برای آنها کاملاً پیچیده خواهد شد خوشبختانه سیستم های استاندارد برای رفع این مشکلات موجود می باشد.

۱-۳-۵) سیستم Newell برای محدود کننده ها و فیت ها

از آنجا که این سیستم ، سیستم ساده ای است کاربرد آن نیز بسیار عمومی است این سیستم بر مبنای سوراخ تهیه شده است و دارای دو گروه از سوراخ ها با درجات دقیق مختلفی می باشد همچنین ۶ گروه از شفت ها نیز در این سیستم وجود دارند که دو نوع از آنها فیت تداخلی، یکی از آنها فیت عبوری و بقیه فیت روان را به دست می

دهند. این سیستم را می توان برای بسیاری از کارها مورد استفاده قرار داد. تمام سیستم به شکل یک جدول ارائه شده است و بر این ترتیب کار با آن راحت می باشد.

۲-۳-۱ (۵) سیستم استاندارد انگلیسی ۱۹۵۳: B.S.۱۹۱۶

۱۹۵۳: B.S.۱۹۱۶ یک سیستم جامع است که برای همه انواع کارها از دستگاهها و گرج ها کارهای مهندسی بسیار سنگین طراحی شده است. در ابتدا به نظر می رسد که این سیستم که سیستم بینهایت پیچیده ای است به طوری که هیچ سازمانی مبادرت به استفاده از تمام آن نکرده بود تا اینکه شرکتی مطابق با احتیاجات و تکنیک های ساخت زیر سیستمی (زیر گروهی) از این سیستم استاندارد را انتخاب کرد.

این سیستم دارای ۲۱ نوع سوراخ می باشد که با حروف بزرگ انگلیسی D.C.B.A... مشخص می شوند همچنین دارای ۲۱ نوع شفت است که با حروف کوچک انگلیسی d c b a و... نشان داده می شوند این حروف معرف نوع تیرانس برای اندازه اسمی شفت ها و سوراخ ها می باشند مثلاً تمام سوراخهایی که از گروه H هستند محدوده تیرانسشان X+ و -۰ می باشند. بطور مشابه شفت هایی که از گروه h هستند دارای محدوده X- و +۰ می باشند و الی آخر.

برای هر کدام از این سوراخ ها و یا شفت ها می توان تا ۱۶ گروه تیرانس به کار برد که به وسیله اعداد مشخص می شوند مثلاً یک سوراخ ممکن است به وسیله H v نمایش داده شود و ی: شفت با j4 مشخص گردد در این صورت فیت (انطباق) بین آنها HV/j_4 خواهد بود. با این توضیحات شرکتی که نیاز به سیستمی بر مبنای سوراخ دارد با انتخاب B.S.۱۹۱۶ مجموعه ای از سوراخ های هم نوع را برای کار خود در اختیار دارد. سپس یک گروه از شفت ها برای فیت نشدن با آنها انتخاب می گردد به عنوان نمونه یک سیستم بر مبنای سوراخ می تواند به صورت زیر باشد: توضیحات بیشتر در مورد جزئیات این سیستم و پیشنهاد های لازم جهت کاربرد آن در ۱۹۵۳: قسمت ۲: B.S.۱۹۱۶ ارائه شده است و قبل از اقدار به انتخاب یک سیستم مناسب بهتر است به آن رجوع شود.

۲-۵) گیج های حدی :

انتخاب یک سیستم از محدود کننده ها و فیت ها به طور منطقی منجر به کاربرد گیج های حدی می گردد. حذف از کاربرد آنها تعیین اندازه قطعه کار نیست بلکه به وسیله آنها معین میشود که آیا قطعه مورد نظر در محدوده معینی از اندازه هست یا نه ؟ ساده ترین شکل گیج های حدی آنهايي هستند که برای کنترل سوراخ ها و شفت ها به کار می رود.

این گیج ها در دو نوع برو و نرو هستند. به عنوان مثال با در نظر گرفتن ی: سوراخ که حدهای قطر آن مشخص هستند گیج برو برای آن استوانه ای است که قطر آن معادل با حداقل اندازه سوراخ می باشد و گیج نرو بطور مشابه

استوانه است که قطرش معادل با بیشترین اندازه سوراخ می باشد. اما از آنجا که هیچ اندازه ای دقیق نیست در مورد گنج ها هم نمی توان اندازه دقیقی ارائه کرد در نتیجه سازندگان گنجها تفرانسهایی در نظر می گیرند.

تفرانس هر گنج به اندازه اسمی آن بستگی دارند و برای تهیه تفرانس نیاز به روش دقیقی می باشد مثلاً اگر تفرانس گنج اندازه گنجی توپی برو را افزایش و اندازه انتهای گنج نرو را کاهش دهد گنج، قطعه کار را خارج از اندازه نشان خواهد داد حال آنکه قطعه کار مناسب بوده و نزدیک به حدهای بالایی و پایینی مورد نظر است یا اگر تفرانس موجب افزایش اندازه گنج توپی نرو و کاهش اندازه انتهای گنج برو شود، گنج حدی فقط قطعه کارهایی را قبول می کند که خارج از محدوده تعیین شده است بنابراین نتیجه می شود که در تعیین تفرانس ها باید توجه خاصی مبذول داشت.

بدیهی است که در یک شرکت برای داشتن کیفیت مطلوب باید سیستمی باید سیستمی انتخاب کرد که کارهای مشکوک را رد کرد. از آنجا که تفرانس گنج تقریباً ۱۰٪ تفرانس کار است کاربرد چنین سیستمی موجب می گردد تولید تا شرکت از ۲۰٪ تفرانس مجاز خود محوم گردد. توضیح بیشتر در این مورد در b.s.۹۶۹ ارائه شده است. در B.S. ۹۶۹ خط مشی به صورت زیر برای کاربرد تفرانس های گنج پیشنهاد می شود :

تفرانس گنج برو در حدود تفرانس قطعه کار خواهد بود.

۲ تفرانس گنج نرو خارج از تفرانس قطعه کار خواهد بود.

این روش برای همه گنج های حلقه ای، توپی، صفحه ای و فاصله ای به کار می رود. علاوه بر تفرانس مربوط به سازندگان گنج ها ، مقدار مجازی (الوانس) برای فرسودگی جزئی که ممکن است روی گنج نو ایجاد گردد، در نظر گرفته می شود .

این مقدار مجاز تقریباً معادل است با ۲۰٪ تفرانس گنج که بر خلاف جهت فرسایش به اندازه اسمی گنج اضافه یا از آن کم می شود. وقتی تفرانس کار کمتر از ۰/۱ میلیمتر است، مقدار مجاز فرسایش بسیار کوچک می شود و بدین دلیل زمانی که تفرانس کمتر از ۰/۱mm مقدار مجازی برای گنج در نظر گرفته نمی شود. از آنجا که گنج های نرو فرسایش کمرتری دارند مقدار مجاز فرسایش برای آنها نیز معین نمی گردد. در شکل های ۴-۵ و ۳-۵ این اصول به طور خلاصه نشان داده شده اند .

شکل ۳-۵) انتخاب تفرانس ها در گنج های توپی عمومی

شکل ۴-۵) انتخاب تolerانس ها در گیج های فاصله ای و حلقه ای

تولرانس گیج : ۱۰ درصد تولرانس کار تقریباً تا ۰/۰۰۱ واحد mm

مقدار مجاز برای فرسایش مساوی : ۲۰٪ تولرانس گیج تقریباً تا ۰/۰۰۱ واحد mm

در B.S. ۹۶۹ مشخص شده است که در بعضی یا از موارد تولرانس های گیج های توپی کوچکتر از تولرانس های گیج های حلقه ای و فاصله ای می باشند بدین علت که گیج های توپی با سهولت بیشتری نسبت به گیج های حلقه ای و فاصله ای تا دقت ۰/۰۰۱ mm و یا کمتر از آن قابل اندازه گیری می باشند.

پس نتیجه می شود که در هر مسئله طراحی ، شکل هندسی قطعه در اینجا شکل هندسی گیج (باید مورد بررسی قرار گیرد و بخصوص زمانی که تولرانس قطری کوچک است این موضوع اهمیت قابل توجهی خواهد داشت.

۳-۵) تئوری تیلور در گیج ها :

این تئوری کلید طراحی گیج های حدی است که وظیفه و در نتیجه شکل بیشتر گیج ها را تعریف می کند. این تئوری می گوید :

گیج های برو بیشترین مقدار فلز را چک میکنند و باید قادر به بررسی بیشترین تعداد ابعاد باشند. گیج های نرو کمترین مقدار فلز را چک می کنند و باید فقط یک اندازه یا بعد را بررسی کنند بنابراین برای هر بعد یک گیج نرو جداگانه نیاز است. این مطالب در یک سیستم گیج های حدی برای سوراخ مستطیلی در شکل ۵-۵ نشان داده شده اند.

برای بررسی این موضوع که از محدوده حد اکثر فلز و از حداقل فضای مجاز سوراخ تخطی نشده باشد از گیج های برو استفاده می کنند. پس برای ابعاد یا اندازه های حالت حداکثر فلز مجاور باید یک مقدار مناسب جهت فرسایش و تولرانس گیج (مطابق آنچه که در فصل ۲-۵ گفته شد) تعیین گردد.

اکنون گیج نرو را در نظر بگیرید اگر از این گیج برای چک کردن دو بعد از نوع کمترین فلز (بیشترین اندازه سوراخ) استفاده گردد یکی از آنها یعنی پهنای سوراخ نزدیک به محدوده های معین شده خواهد بود (یعنی گیج آن را قبول می کند) ولی طول (یعنی بعد و یا اندازه دوم-م) خارج از محدود خواهد بود (یعنی گیج آن را قبول نمی کند- م) مثل آنچه که در شکل ۵-۶ نشان داده شده است.

شکل ۵-۶) یک سوراخ مستطیلی که از یک طرف خارج از اندازه می باشد یک گیج نرو تمام شکل این سوراخ را طرد نخواهد کرد.

بدین ترتیب کار توسط گیج پذیرفته (و در ابعاد محدوده معین شده - م) خواهد بود. اما اگر از گیج های نروی مجزایی جهت بررسی هر یک از این ابعاد استفاده شود یک گیج قطعه کار را قبول می کند (چون پهنای آن دست است-م) ولی گیج دیگر آن را رد می کند (چون طول آن صحیح نیست-م). بهین این دلیل است که گفته می شود برای هر بعد بهتر است از یک گیج نرو استفاده شود ولی گیج برو می تواند تاغ چندین بعد را بررسی کند. این اصل باید در همه سیستم های گیج های حدی به کار رود که البته تا به حال نیز چنین بوده است.

در ساده ترین حالت از یک گیج تویی برو- نرو این اصل بدین صورت که گفته شد ظاهر نمی شود ولی در اندازه های بزرگ تر اهمیت پیدا می کند.

گه گیج های نرو همواره کوتاه هستند و معمولاً از نظر طول تقریباً معادل با قطر سوراخ می باشند ولی گیج های برو از لحاظ طول در حدود ۳ یا ۴ برابر قطر سوراخ هستند.

علاوه بر تشخیص بسیار ساده گیج های برو و نرواز طریق انتهای آنها، طول گیج های برو (همان طور که گفته شد- م) به حدی است که بتوان به وسیله آن به بررسی تخطی از حالت بیشترین فلز که ناشی از خطاهای هندسی در قطعه کار است پرداخت.

شکل ۵-۵) محدوده تلرانس یک سوراخ مستطیلی

شکل ۷-۵) طول گیج توپی برو از ورود گیج به سوراخ ناراستا جلوگیری می کند.

مثلاً همان طور که در شکل (۷-۵) نشان داده شده بلند بودن گیج برو باعث یافتن خطای هندسی سوراخ یعنی همراه نبودن آن شده است. در مورد شفت همین مسئله ممکن است در شفت ها نیز اتفاق بیفتد. در مورد شفت به طور ایده آل یک گیج برو تمام شکل (full from «go» gauge) یعنی یک گیج حلقه ای با طول معمولی نسبت به قطرش، باید به همراه یک گیج نیروی فاصله ای (Not «go» gap gauge) به کار رود. در عمل همواره دو گیج برو و نیروی فاصله ای به کار می روند ولی عاقلانه است که آنها را با کاربرد یک گیج حلقه ای برو تکمیل کنیم. این موضوع، بخصوص در مورد قطعه کار سنگ زده شده از روش سنگ زنی بی مرغک که موجب تولید پدیده چند ضلعی واری (در شکل قطعه کار - م) می شود اهمیت پیدا می کند. ساده ترین حالت چند ضلعی واری، سه ضلعی گونگی می باشد و همان طور که در شکل (۸-۵) نشان داده شده است این قطعه کار روی یک مثلث متوازی الاضلاع قرار گرفته است. البته امکان دارد که چند ضلعی با بیشتر از سه ضلع نیز پدید بیاید.

شکل ۸-۵) پدیده چند ضلعی واری بر یک قطعه کار استوانه ای.

همان طور که دیده می شود از هر گوشه مثلث شعاع های r و R اخراج می گردند در این صورت اندازه هر شکلی از این قبیل (در صورتی که بین یک جفت صفحه موازی قرار بگیرد) $R+r$ خواهد بود ولی کوچکترین سوراخی که این نوع شکل می تواند وارد آنها شود بزرگ تر از آنچه که به وسیله دایره خارجی نشان داده شده خواهد بود. بنابراین یک گیج فاصله ای این قطعه را قبول می کند (درستی آن را تأیید می کند چرا که فاصله بین گیج صفحه ای اندازه $R+r$ را قبول می کند-م) و با اندازه گیری توسط یک میکرو متر به نظر می رسد که قطعه کار ظاهراً در محدوده لازم قرار دارد. اما یک گیج حلقه ای برو این قطعه کار را رد می کند. می توان ابعای این قطعات را با قرار دادن آنها در یک بلوک وی شکل و حرکت دادن یک یاعت اندازه گیری یا یک کمپراتور در روی آنها نیز اندازه گیری کرد.



۱-۳-۵) گیج های تی بو (Te - bo) :

گروه خاصی از گیج های توپی می باشند که به وسیله شرکت سوئیسی S.K.F Bam Bearing Co.ltd ساخته شده اند . معمولاً گیجهای تی بو با قطر های بزرگ تر از آنچه که با گیج های توپی معمولی اندازه گیری می شوند سرو کار دارند .

این گیج ها را به صورت کروی و با قطرهای معادل قطر گیج حدی برو قطعه کار سنگ می زنند همچنین برای آنها یک مقدار مجاز جهتئ تolerانس سازندگان و فرسایش ایجاد شده در نظر گرفته می شود. در شکل ۵-۹ یک نمونه از گیج های تی بو نشان داده شده است . می توان دید که یک ناحیه دایروی کوچک از گیج به اندازه تolerانس در نظر گرفته شده برای گیج به صورت برجسته ساخته می شود.

شکل ۵-۹) گیج توپی از نوع تی بو (با اجازه چاپ از شرکت S.K.F Bam Bearing Co.ltd) با قرار دادن این گیج در سوراخ ابتدا گیج را کج می کنیم به نحوی که قسمت دایروی برجسته با سطح فلز تماسی نداشته باشد در این حالت درستی حد پایینی قطر سوراخ بررسی می شود. سپس گیج را به عقب حرکت می دهیم به طوری که اینبار بخش برجسته با سطح فلز تماس پیدا کند و بدین ترتیب از حرکت گیج جلوگیری شود. در این حالت محدوده بیشترین قطعه آزمایش می گردد اگر قسمت برجسته از سوراخ قطعه کار عبور کند ، قطعه کار رد می شود چرا که بزرگ تر از اندازه مورد نظر است. جالب توجه است که گیج نرو مطابق با اصل تیلور بوده و در یک زمان تنها یک قطر را ارزیابی می کند همین گیج می تواند بیضی واری را چک کند. اما گیج برو (بر خلاف یک گیج توپی طبیعی) نمی تواند سوراخی که قطرش در منطقه حدود مجاز است را رد کند مگر اینکه عدم ناراستایی موجب تخطی از شرط حداکثر فلز شود.

۴-۵) رزوه های پیچ:

خطاهای مجاز در پیچ های تجارتي فقط در مورد قطر ذکر می گردد به عبارت دیگر برای یک پیچ با گام و شکل مشخص تolerانس گام و زاویه ی پیچ منظور نمی گردند ، بلکه به صورت تolerانس مجاز در قطر موثر در نظر گرفته می شود. علت این کار این است که خطاهای گام و زاویه پیچ موجب افزایش قطر موثر خواهند شد (همان طور که در فصل ۸ ذکر شده است). خطاهای گام و زاویه پیچ در پیچ های داخلی موجب کاهش قطر موثر پیچ می شوند.



تأثیر این خطاها به طور کامل در فصل ۸ به همراه اندازه گیری های رزوه پیچ شرح داده شده اند اما این حقیقت که خطاهای گام یا خطای زاویه پیچ می توانند موجب تغییر ظاهری در قطر مؤثر شوند در طراحی گنج های حدی پیچ ها بسیار با اهمیت می باشند و کاربرد اصل تیلور را ضروری می سازد.

۱-۴-۵) گنج های حدی برای پیچ ها :

در ابتدا یک گنج برو-نرو از نوع گنج های فاصله ای پیچ را در نظر بگیرید که به طور کامل به شکل پیچ ساخته شده اند و در تمام طول پیچ با آن درگیر می شوند. در اینجا تأکید می شود که این گنج ها به طور نادرستی طراحی شده اند ولی با بررسی عیب های آنها می توانیم با طراحی درست عیوب را برطرف سازیم .

اگر برای کنترل کیفی قطعات رزوه شده ای که توسط یک سر قالب خود باز شود (Self opening die hard) تولید شده اند از این نوع گنج ها استفاده شود (که قالباً نیز همین طور است) این گنج ها کمک مناسبی برای ماشین تنظیم کننده در تنظیم اولیه سر قالب خواهند بود. توجه کنید که سر قالب باعث تولید یک خطای گام می شود . بدین ترتیب با وجود صحیح بودن قطر، قطعه کار وارد گنج برو نخواهد شد چرا که در قطعه کار یک خطای گام وجود دارد و در نتیجه موجب افزایش ظاهری قطر می گردد. بنابراین سر قالب باید به نحوی تنظیم گردد که موجب کاهش قطر پیچ شود تا زمانی که قطعه کار داخل گنج برو رفته ولی داخل گنج نرو نرود.

بنابراین قطعه کار صحیح خواهد بود البته این صحت مربوط به قطر نیست چرا که با کاهش دادن مقدار آن موجب شده ایم تا از اندازه واقعی خود کمتر شود بلکه در اثر جبران قطری بر طبق خطای گام است .

مطلب فوق در حقیقت مثال برجسته ای از گنج هایی است که با اصل تیلور مطابقت نمی کند. اگر بخواهیم آنها را دوباره بر اساس اصل تیلور طراحی کنیم لازم است که :

۱- گنج برو به طور تمام شکل و تمام طول برای حداکثر قطر رزوه ، رزوه شود.

۲- گنج های نرو: الف) یک گنج برای قطر اصلی ب) یک گنج جداگانه برای قطر مؤثر بطوری که تحت تاثیر خطای گام نباشد .

بطور ایده آل گنج برو باید به شکل گنج حلقه ای تمام شکل باشد ولی کار با آنها پر زحمت است و در عمل از یک گنج فاصله ای تمام شکل استفاده می شود و گنج حلقه ای برای بازرسی های ----- به کار می رود.

برای جلوگیری از پیدایش خطای گام در گنج های نرو آنها را در طول کوتاهی روزنه می کنند و به وسیله آن تنها قطر مؤثر را چک می نمایند.

معمولاً نوک ها و پاپه های دندانها را می تراشند . این موضوع در شکل ۱۰-۵ و برای یک گنج فاصله ای پیچی نرو نشان داده شده است .

شکل ۱۰-۵) شکل سندانهای یک گیج فاصله ای پیچی نرو

اکنون قطعه کاری را در نظر بگیرید که دارای یک خطای گام است و به وسیله یک گیج فاصله ای از نوع شکل (۱۰-۵) مورد سنجش قرار می گیرد. به علت وجود خطای گام قطر قطعه کار کوچک می شود تا زمانی که گیج برو را از خود عبور دهد. زمانی که گیج نرو امتحان می شود قطعه کار آن را نیز از خود عبور می دهد چرا که قطر، زیر اندازه واقعی است و طول مورد بررسی رزوه شده به اندازه کافی بلند نیست که خطای گام به طور جدی موثر واقع گردد.

به طور مشابه برای سنجش رزوه های داخلی، یک مجموعه ایده آل از گیج های توپی شامل گیج های زیر مورد استفاده قرار می گیرند:

۱- گیج برو که به طور تمام شکل و تلمم طول رزوه شده است

۲- گیج نرو که نوک و پایه رزوه ها صاف شده است (مثل شکل ۱۰-۵) و فقط دارای دو یا سه رزوه در طول خود می باشد.

۳- گیج نروی توپی ساده برای (سنجش - م) قطر فرعی.

در عمل قالباً گیج های نرو رزوه شده حذف می گردند و یک گیج ساده دو طرفه باقی می ماند که انتهای بروی آن در تمام طول رزوه می شود ولی انتهای نرو، یک گیج توپی ساده است که برای سنجش زیر اندازه نبودن قطر فرعی مورد استفاده قرار می گیرد.

۱-۴-۵) تیرانس گیج براهی گیج های حدی رزوه شده :

خطاهای مجاز در یک گیج حدی رزوه شده در B.S. ۹۱۹ تشریح و طبقه بندی شده اند. ای «استاندارد تیرانس های مربوط به قطرهای اصلی، فرعی و متوسط یک گیج رزوه شده را ارائه می دهد. تیرانس های مربوط به خطاهای گام و خطاهای زاویه پیچ تبدیل شده و بر حسب اثرشان بر قطر موثر بررسی می گردند. یک گیج توپی پیچ دارای یک مقدار فی فرسایش (الوانس فرسایش - م) است که به بعد اسمی آن اضافه می گردد. علاوه بر منطقه تیرانسی در نظر گرفته شده برای قطر مؤثر ساده که قابل تخطی نیست یک منطقه تیرانسی دیگری

برای خطاهای گام و زاویه پیچ بر حسب افزایش قطر مؤثر در نظر گرفته می شود. این مناطق تoleransi در شکل (۵-۱۱) نشان داده اند.

شکل (۵-۱۱) معرفی مناطق تoleransi در گیج توپی بروی پیچی

مناطق تoleransi مشابهی برای گیج های حلقه ای و فاصله ای پیچ های داخلی ارائه شده است همچنین مقدار این تoleransi ها به صورت جدول تنظیم شده اند.

۵-۴-۲) گنج های مرجع برای پیچها :

B.S.۹۱۹ مناطق تoleransi و بزرگی آنها را برای گیج های توپی مرجع پیچ که دارای دقت های بالایی هستند نیز ارائه می دهد ای « گیج های مرجع برای تنظیم و آزمایش گیج های فاصله ای پیچ و گیج های حلقه ای کوچک پیچ مورد است فاده قرار می گیرند .

یک گیج حلقه ای پیچ که دارای قطر کوچکی است را نمایی توان با اندازه گیری تمام اجزاء آن مورد بررسی قرار داد . به همین دلیل آنها را با کاربرد گیج های توپی حدی که دقت بالایی دارند (گیج های مرجع با رفرنس - م) مورد سنجش قرار می دهند . همچنین گیج های مرجع مشابهی برای کنترل و تنظیم گیج های فاصله ای پیچ وجود دارند چرا که گیج های فاصله ای را نمی توان از رش های تماسی مورد اندازه گیری قرار داد .

۵-۵) گیج های حدی مخروطی :

گیج های حدی مخروطی را می توان برای کوچک کردن زاویه مخروط قطعه کار مورد است فاده قرار داد اما کاربرد اصلی این گیج ها در سنجش قطر در یک نقطه روی مخروط می باشد تا معین گردد که آیا در محدوده مورد نظر قرار دارد یا خیر ؟

برای این کار در یکی از دو انتهای مخروط یک پله با سنگ زنی انجام می گردد به طوری که قطرهای بالا و پائین این پله حدود یا حدهای قطر مخلوط را تشکیل می دهند. می توان از طریق حس لامسه به متناسب بودن گیج با قطعه کار پی برد. این نوع گیج ها در شکل (۵-۱۲) نشان داده شده اند .

شکل (۵-۱۲) روش کاربرد یک گیج حدی مخروطی

به طور مشابه یک گیج توپی مخروطی نیز در انتهای بزرگ خود دارای پله است.

پله یک گیج حلقه ای مخروطی همواره روی قطر کوچک (یا انتهای کوچک) آن و پله گیج توپی مخروطی معمولاً روی قطر بزرگتر آن می باشند. علت این کار آن است که ساده ترین قطر ها برای اندازه گیری قطر بزرگ یک گیج حلقه ای مخروطی و قطر کوچک گیج توپی مخروطی می باشند.

محاسبات مربوط به این قطر ها به طور کامل در فصل چهار شرح داده شد.

اما این مطلب بدان معنی است که در حین ساخت این قبیل شکل ها اندازه گیری مستقیم ابعاد مورد نیاز ممکن نیست.

یک گیج توپی مخروطی را در نظر بگیرید اگر قطر D معین شده باشد، قطر های $D_{\min}$ و $D_{\max}$ تابعی از ارتفاع گیج و زاویه مخروط هستند. در فصل چهار نشان داده شد که

$$D_{\max} = D + 2H \tan \frac{\theta}{2}$$

$$D_{\min} = D + 2(H - S) \tan \frac{\theta}{2}$$

زاویه قطعه کار تحت سنجش دارای یک تolerانس خواهد بود و بنابراین گیجی حدی آن نیز دارای یک تolerانس می

باشد. اگر تolerانس زاویه ای قطعه کار ± 5 ثانیه باشد تolerانس گیج ۱ ثانیه یا $\pm \frac{1}{4}$ ثانیه خواهد بود (یعنی ۱۰٪).

تولرانس قطعه کار)

اگر D صحیح باشد، تحت ارتفاع H این تolerانس زاویه ای گیج، اختلاف مهمی را در قطر های $D_{\min}$ و $D_{\max}$ ایجاد می کند. (شکل ۵-۱۳)

شکل (۵-۱۳) گیج توپی مخروطی

برای ساخت این گیج ها روش زیر به کار برده می شود.

(a) گیج را با طولی خارج از اندازه (over long th) و تحت زاویه ای که تا حد امکان نزدیک به زاویه اسمی قطعه کار است بسازید.

(b) گیج را از ماشین (احتمالاً ماشین تولید کننده گیج-م) بر داشته و قطر d و زاویه $\frac{\theta}{4}$ را به دقت تعیین کنید.

(c) بر اساس اندازه های به دست آمده از قسمت غرب با محاسبه ارتفاع H قطر صحیح $D, \max$ و (d) با دقت مورد نظر گیج را تحت اندازه های $H, S, D, \max$ و $D, \min$ سنگ بزنید. برای تولید گیج های حلقه ای مخروطی با دقت مورد نیاز می توان از روش مشابه روش فوق استفاده کرد.

اگر بخواهیم از گیج مخروطی جهت چک کردن دقت زاویه قطعه کار استفاده کنیم لازم است که دور گیج ظبه وسیله یک نشانه گذار مثل آبی پروس و یک ماده با رنگ آبی تند که در لباس شویی، رنگ رزی، برای ساختن رنگ های نقاشی و مرکب به کار می رود (یا گرد زنگ آهن علامت گذاری شود).

گیج روی مخروط قرار داده شده و به آرامی چرخانده می شود. بسته وبه میزان عبور قطعه کار از این علامت نشانه گذاری شده دقت زاویه ای قطعه کار به دست می آید.

اما این روش، مقدار خطای زاویه ای را به دست نمایی دهد و بنابراین بهتر است که سعی شود تا راستاهای ماشین برای تولید مخروط صحیح باشند.

(تا بدین ترتیب میزان خطا به حداقل مقدار خود برسد-م). این تکنیک برای بازرسی تولیدات، روش کاملاً مناسبی نیست و تنها برای تنظیم کردن و یا بازرسی موضعی در حین فرایند تولید بکار برده می شود.

۵-۶) گیج های عمق سوراخ:

گیج های حدی جهت کنترل و بازرسی عمق سوراخ ها از نوع گیج $thum\ bnail +$ (گیج های شبیه میخ-م) می باشند. معمولاً این گیج ها به شکا استوانه ای هستند که با فیت (یا انطباق - م) کشویی دقیقی در یک مهره جا زده می شوند بدین ترتیب گیج می تواند روی سوراخ مورد بررسی باقی بماند و لبه های دقیق مهره عمق مورد نظر را از طریق پله روی استوانه ارزیابی کنند. شکل ۱۴-۵ این نوع گیج را نشان می دهد.

شکل ۱۴-۵) گیج عمق سوراخ

در این نوع گیج ها لازم است که برای طول گیج، پله گیج و ضخامت مهره تفرانس هایی در نظر گرفته شود. اگر تفرانس عمق سوراخ نسبتاً کوچک باشد لازم است که اجزاء فوق با دقت بالایی ساخته شود.

۵-۷) سنجش قطرهای بزرگ :

گیج های به کار رفته برای تعیین قطر هاؤی بزرگ قطعه کار (اگر بخواهیم دقیق شویم) از نوع گیج های حدی و یا گیج هایی که روش کاری مشابه با آنها دارند نمی باشند.

۵-۷-۱) سنجش سوراخ های بزرگ :

گیج به کار رفته برای این مقصود یک گیج پین (گیجی که به شکل پین است - م) می باشد که طول آن با استفاده از یک ماشین اندازه گیری طول میله ها همان طور که در فصل ۳ دیدیم به طور دقیق تعیین شده است.

طول این گیج باید کوچکتر از قطر سوراخ مطورد اندازه گیری باشد. این گیج را درون سوراخ مورد نظر قرار می دهند و سپس میزبان جابجایی حول نقطه A توسط ژیگ خط کش یا متر نواری انعطاف پذیر اندازه گیری می شود. شکل

(۵-۱۵)

شکل (۵-۱۵) اندازه گیری سوراخ های بزرگ

از شکل ۵-۱۵ دیده می شود که $D=L+S$ و همچنین اگر زاویه جابجایی کوچک باشد $BC = \frac{w}{2}$. چون در یک

نیم دایره این زاویه ، قائمه خواهد بود بنابراین :

$$L^2 = \frac{w^2}{4} = L^2 + 2L\delta + \delta^2 \text{ یا } L^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2 = (L + \delta)^2$$

L^2 حذف میگردد و اگر مقدار δ کوچک باشد δ^2 نیز قابل چشم پوشی است:

پس : $\frac{w^2}{4} = 2L\delta$ و در نتیجه: $\delta = \frac{w^2}{4nL}$ که «L» طول گیج پین و w مقدار جابجایی می باشند

$$D = L + \delta \text{ پس } D = L + \frac{w^2}{4nL} \text{ یا } D = L + \sqrt{(D-L)nL}$$

اگر مقادیر حدی D و طول معین L در این معادله قرار گیرند آنگاه حدود مجاز مقدار جابجایی از مؤی توان از این

معادله نهایی (یعنی) $W = \sqrt{(D-L)nL} - M$ به دست آورد.



به دست آورد دقتی را که می تهوان با این روش به دست آورد خیلی بیشتر از دقتی است که با کاربرد پرگار ورنیه دار که اندازه گیری را به طور مستقیم انجام می دهد حاصل می گردد.

به عنوان مثال اگر گیج دارای طول ۴۰۰mm بوده و مقدار جابجایی ۵۰mm اندازه گیری شود :

$$D = 400 + \frac{2500}{8 \times 400} mm$$

$$\therefore D = 400 + 0.78 mm$$

معمولاً دقت اندازه گیری W ، $\pm 1 mm$ می باشد و اگر خطای W در اینجا $1 mm$ فرض شود :

$$D = 400 + \frac{(51)^2}{8 \times 400} mm = 400 + \frac{2601}{8 \times 400} = 400 + 0.81 mm$$

پس با ایجاد خطای $1 mm$ در مقدار جابجایی ، یک خطای ± 0.30 میلیمتری در قطر ۴۰۰ میلیمتری سوراخ (به عبارتی همان طول گیج - م)

ایجاد می گردد که اصلاح آن توسط وسایل اندازه گیری ساده به طور مستقیم مشکل خواهد بود.

(۵-۷-۲) اندازه گیره‌ی شعاع های خارجی بزرگ .

برای انجام این اندازه گیری ها باید از یک گیج زاویه دار استفاده کرد که زاویه بین سطح آن به طور دقیقی معین باشد می توان از یک میکرومتر مشابه آنچه که در شکل (۵-۱۶) نشان داده شده است کمک گرفت تا ای « گیج زاویه دار روی قطعه کار قرار بگیرد و یا اینکه می توان از بلوک های تنظیم راپراتورها - م) نیز استفاده کرد که ضخامت آنها متناسب با حدود شعاع های تحت بررسی خواهد بود. قابل توجه است که ای « نوع تجهیزات شعاع های قطعه کار را معین می کند نه قطرشان را و بنابراین می توان آنها را جهت تعیین شعاع قطعه ای از دایره مثل شکل ۵-۱۶ (مورد استفاده قرار داد .

شکل (۵-۱۶) اندازه گیری شعاع خارجی بزرگ

اگر θ نصف زاویه بین سطوح قطعه یا گیج زاویه ای باشد آنگاه با توجه به شکل (۵-۱۶) داریم :

$$\cos(90^\circ - \theta) = \frac{AB}{AC}, \begin{cases} AB = R \\ AC = R + H \end{cases}$$

$$\therefore \cos(90^\circ - \theta) = \frac{R}{R + H}$$

$$(R + H) \cos(90^\circ - \theta) = R$$

$$H \cos(90^\circ - \theta) = R - R \cos(90^\circ - \theta) \\ = R[1 - \cos(90^\circ - \theta)]$$

$$\therefore R = \frac{H \cos(90^\circ - \theta)}{[1 - \cos(90^\circ - \theta)]}$$

در این عبارت برای R جمله $\cos(90^\circ - \theta)$ در مورد یک گنج معین ثابت است پس $R = \frac{HK}{1 - K}$ و با مراجعه به

شکل ۵-۱۶ دیده می شود که :

$$H = h + k_1 \\ R = \frac{(h + k_1)k}{1 - k} \\ = (h + k_1) \frac{k}{1 - k}$$

که در آن $K = \cos(90^\circ - \theta)$ ، θ = نصف زاویه گنج ، $K1$: فاصله محل برخورد سطوح سنجش تا صفحه مبنی

H: ارتفاع بین شعاع تا صفحه مبنی

با توجه به شکل (۵-۱۶) $H = K_1 + h$ (م -)

مقادیر $k1$ و $\frac{k}{1 - k}$ برای یک گنج معین ، ثابت هستند و بهتر است که آنها را جهت جلوگیری از اشتباه به صورت

مقادیر عددی روی گنج حک کنند.

اگر معادله فوق را بر حسب h به دست آوریم خواهیم داشت:

$$h = \frac{R(1 - k)}{k} - k_1$$

و اگر در این معادله مقادیر حدی R به کلر روند آنگاه مقادیر به دست آمده h ضخامت های دیک راپراتور می باشند

یا می توان فرض کرد که آنها قرائت های به دست آمده از یک میکرومتر در مقادیر حدی R هستند به طوری که

میکرومتر در صفحه مبنی مقدار صفر را نشان دهد. روش دیگر آن است که به جای میکرومتر یک گنج ساعتی نصب

گردد و مقادیر حدی با قرائت های h حاصل شده از گنج ساعتی تطبیق داده شود.

لازم به ذکر است که چون این روش در به دست آوردن شعاع قطعه کار توأم با خطاست خطای قطر قطعه کار دو برابر خطای شعاع خواهدت بود (چرا که قطر دو برابر شعاع می باشد - م) بنابراین به کمک این روش می توان خطاهای اندازه گیری قطعه کارهایی با قطرهای نسبتاً بزرگ را مشخص کرد.

۵-۸) مواد گیج ها :

اگر ماده ای به طور موفقیت آمیزی در ساخت گَیج به کار رود باید نیازهای مشخصی را برآورد کند که این نیازها یا به واسطه خواص ویژه خود ماده است یا به واسطه ایجاد همین خواص ویژه از طریق ساخت یا یک فرایند عملیات حرارتی.

این نیاز های عبارت اند از :

۱- سختی : مقاومت در برابر فرسودگی

۲- استحکام : عدم تغییر ابعاد گیج با گذشت زمان

۳- مقاومت در برابر خوردگی

۴- قابلیت مکانیکی : ماشین کاری راحت به شکل مورد نیاز ، وبا دقت مورد نیاز و با سطح پرداخت مورد نیاز.

۵- ضریب انبساط خطی کوچک : از آنجا که گیج های حدی اغلب برای مقایسه با یک قطعه کار به وسیله دست لمس می شوند باید گیج ضریب انبساط خطی کوچکی داشته باشد ولی بخش هایی که با دست نگه داشته می شوند باید انتقال گرمایی کمی داشته باشند. مثلاً گیج های تویی با دسته های ابونیتی یا پلاستیکی ساخته شوند .

از جمله مواد نسبتاً ارزان و با کیفیت مناسب در ساخت گیج ها ، فولاد پر کربن است.

با عملیات حرارتی مناسب می توان این ماده را به درجه بالایی از سختی رساند که در ارتباط با استحکام گیج می باشد و در همین حالت مئی توان آن را به سهولت ماشین کاری کرده و صافی سطحی با درجه بالا تولید کند.

۵-۸-۱) عملیات حرارتی گیج های حدی :

یک فولاد پر کربن در دمای 730° و با کوئنچ کردن در آب به طور کامل سخت می شود این سختی در مقیاس راکون سی تقریباً ۶۴ می باشند ولی اءین درجه از سختی موجب می گردد تا فولاد بینهایت شکننده شود. بنابراین لازم است که برای کاهش تردی آن گیج را تمپر کرد. البته نباید فولاد در اثر تمپر کردن آنقدر نرم شود که مقاومت فرسودگیش کاهش یابد. عملیات تمپرینگ جهت موازنه کردن ماده و از بین بردن نشهای داخلی آن که با گذشت یک دوره زمانی موجب از شکل افتادن گیج می شود نیز استفاده می گردد.



در دمای تمپرینینگ 200°C تردی گیج به حدی کاهش می یابد که گیج ورقه ورقه و لب پریده نشود در این حالت مقدار سختی ۵۸ راکول سی خواهد بود اگر این دما بین ۸ تا ۱۰ ساعت برقرار باشد، گیج بینهایت محکم و پایدار خواهد شد.

گیج های روزه های پیچ نیز ترد بوده و اگر با خشونت به کار برده شوند از بین می روند. این گیج ها را باید در دمای 240°C درجه سانتی گراید قرار داد که در این دما سختی ۵۲ راکول سی بدست می آید.

۲-۸-۵) موادی دیگر برای گیج های حدی :

اگر یک تکه بزرگ از فولاد پر کربن در آب کوینچ شود احتمالاً ترک بر می دارد. ولی اگر در روغنی کوئینچ شود برای مقاومت در مقابل فرسودگی به درجه مناسبی از سختی نخواهد رسید. پس گیج های بزرگ باید از یک فولاد ابزار سخت شده در روغن و معمولاً از یک آلیاژ نیکل - کرم تشکیل شده باشد. مواقعی که انبساط حاصل از دما اهمیت ویژه ای دارد مثل گیج های بلند دقیق ماده ای به نام اینوار (Invar) که شمال ۳۶ درصد نیکل است به کار برده می شود. اینوار ضریب انبساطی کمتر از $10^{-6} \times 1$ بر درجه سانتی گراد دارد.

ولی در مدت زمان طولانی استحکام لازم را دارا نمی باشد آلیاژ دیگری با ۴۲ درصد نیکل الینوار (Elienvar) بدست آمد که محکمتر بوده و ضریب انبساط آن $10^{-6} \times 8$ بر درجه سانتی گراد برآورده شده بود که باز هم ضریب انبساط کوچک می باشد.

می توان گیج ها را از یک فولاد کم کربن ساخت که به طور سطحی سخت شده است فرایند سخت کردن نسبتاً گران می باشد چرا که شامل کربونیزاسیون، تسویه سازی مغز ماده، سخت کردن سطحی و تمپر کردن است. این قبیل گیج ها احتمالاً به طور کامل رضایت بخش خواهند بود اما انتخاب فولاد پر کربن (که به طور سرتاسری سخت شده است) و یا فولاد کم کربن که به طور سطحی سخت شده است تا اندازه زیادی بهمیل مصرف کننده، مواد موجود و اقتصادی بودن آن بستگی دارد.

آبکاری مستقیم کرم روی ظفولاد نه به جهت مقاصد تزئینی بلکه به دلیل سختی بالا و مقاومت در برابر فرسودگی زیاد کرم نیز روش دیگری در ساخت گیج ها بود که توسعه یافت این فرایند که (آبکاری - م) را می توان برای ترمیم فرسودگی گیج ها و یا گئج هایی که زیر اندازه مورد نظر ماشین کاری شده اند و یا تسحیح هر شکل از خطاها مورد استفاده قرار داد.

در طول جنگ جهانی که برای مقاصد مختلف فولاد هایی با کیفیت خوب نیاز بود به خصوص در ایالات متحده آمریکا گیج های شیشه ای ساخته شد.

ادعا شده بود که اگر این گیج ها بیفتند خرد نمی شوند و صافی خود را حفظ می کنند بهنج نحوی که باز هم قابل استفاده هستند . میشد با این نوع گیج ها استحکام لازم را فراهم کرد . به طوری که دارای سطح پرداخت بالایی باشند و یک فریت ویژه آنها این بود که جلو کار را نمی گرفتند (به عبارت دیگر می شد از میان آنها قطعه کار را دید -م) و کنترل و بازرسی در حین گیج کاری قابل انجام بود.

گزارش شده است برای سنجش لوله های تفنگ گیج های شیشه ای عمر طولانی تری نسبت به گیج های فولادی دارند.

۵-۹) پرداخت سطح برای گیج ها :

هر عاملی که بتواند کاهش جزئی در میزان فرسودگی یک گیج ایجاد کند حتی پرداخت سطح آن قابل اهمیت است. یک سطح پرداخت ضعیف با تعداد اندکی از برآمدگی های بلند خیلی زودتر از یک سطح پرداخت که دارای برآمدگی های بیشتر ولی کوتاهتری است فرسوده میشود چرا که منطقه تماس بزرگتری را ایجاد می کند. بنابراین یک گیج باید به وسیله سنگ زنی با کیفیت بالایی پرداخت شود به طوری که مقدار C.L.A مربوط به آن بیشتر از 0.1mm نباشد.

(برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد C.L.A به بخش ۳-۴-۹ از فصل ۹ مراجعه شود-م)

پایان فصل پنجم

«۷۶/۱۲/۱۵»



فصل ششم :

علم اندازه گیری ماشین ابزار



۱-۶) نیاز به ماشین ابزار اندازه گیری

در فصول گذشته مابین توابع اندازه گیری و گنج های اندازه گیری ارتباط برقرار کرده. واضح است که عبارت عدم دقت در مورد یک گنج نه تنها معین عدم تناسب ابعاد آن است بلکه ذکر می کند پارامترهایی نظیر کیفیت سطح پرداخت و کیفیت شکل هندسی نیز دارای خطا هستند برای انجام یک اندازه گیری خوب تمام این پارامترها باید متناسب باشند. تناسب این پارامترها منتج از مهارت سازنده گنج و کیفیت و دقت ذاتی ماشین ابزار بکار رفته است. برای تولید قطعات معمولاً مجموعه مشابهی از شرایط فوق بکار می روند به استثناء آنهایی که احتیاج به مهارت کمتر یا تولید بسیار بالایی دارند برای افزایش مؤثران دقت قطعاتی که باید بدون مرجع انتخاب شده ای منتج شوند ، مونتاژ نهایی باید با احتیاجات مورد نظر مطابق باشد.

انجام اقتصادی این کار به مقدار زیادی به دقت ماشین ابزاری که برای تولید قطعه به کار می رود بستگی دارد . افزایش مداوم تقاضا برای قطعات ماشینی « کاری شده با دقت بالا به تحقق قابل ملاحظه ای درباره طراحی ماشین ابزار و بخصوص وسائلی که به کمک آنها دقت هندسهای ماشین اصلاح می شود منجر گردید.

به همین دلیل در این فصل مطالبی را جدای از علم اندازه گیری و در مورد آزمایشات هندسی اصل میسر در ماشین های ابزار تحت شرایط استاتیکی مورد بررسی قرار می دهیم. ثبت این مطلب و گسترش آن تا زمان حال به تعیین دقت همراستایی ماشین ابزار (رعایت اصل مسیر در ماشین ابزار) تحت شرایط بارگذاری دینامیکی منجر خواهد شد این سبب یک سبب منطقی است را که در نهایت هم طراح و هم استفاده کننده ماشینی توسط رفتارها و صفات ویژه یک ماشین که تحت شرایط عادهای کار می کند به هم ارتباط داده می شود .

این بخش منجر به آزمایش استاتیکی همراستایی است. آزمایشات دینامیکی در زمان کنونی موضوع تحقیقات بسیاری هستند و به خواننده توصیه میشود که برای اطلاعات بیشتر در این باره به مقالات تحقیقی رجوع کند.

۲-۶) آزمایشات هم راستایی :

آزمایشات به کار رفته برای ماشین های ابزار برون توجه به نوع آنها به طور خلاصه به گروههای زیر تقسیم می شوند :

۱- تراز بودن ماشین ابزار نصب شده در سطوح عمودی و افقی

۲- آزمایش اسپیدن جهت حرکت محوری صحیح

۳- آزمایش ریل های بستر از نظر صافی و توازی

۴- آزمایش حرکت خطی اجزایی نظیر صفحه رنده بند ماشین تراش و میزها در امتداد ریل های بستر

۵- آزمایشات عملی به شکل ماشین کاری نمونه های آزمایشی و بررسی دقت و سطح پرداخت نمونه ها



آزمایشات گروه ۵ ماهه‌یت دینامیکی دارند.

بر طبق نتایج اندازه گیری های نمونه انجام شده در ماشین های ابزار مشخص شده است که رفتار ماشین تحت شرایط کاری عادی آشکار می شود بنابراین بررسی ماشین تحت شرایط بارگزاری استاتیکی برای تشخیص رفتار ماشین کافی نیست بلکه ارتعاش و تغییر شکل اجزاء ماشین تحت بارگزاری دینامیکی نیز باید مورد بررسی قرار گیرد .

یکی از پیشگامان طراحی و ارزیابی آزمایشات مناسب برای ماشین ها دکتر S.schelesingea می باشد که مقاله استانداری درباره آزمایش این قبیل ماشین ها ارائه داده است. در زمان های بعدی مجموعه ای از جداول آزمایش مشترکاً به وسیله انستیتو مهندسیین مکانیک انستیتو مهندسان تولید تهیه شد و تدریجاً مأخذ هایی برای آزمایشات استاندارد ماشین های ابزار به وجود آمدند که به وسیله سازندگان این ماشین ها جهت کنترل و کیفیت نهایی ماشین بکار گرفته شده اند دقت این جداول به مرور زمان مورد تصدیق قرار گرفت ولی در زمان حال روش های اصلاح شده ای برای اندازه گه‌یری پدیدار شدند که در اینجا به آنها خواهیم پرداخت.

۱-۲-۶) آزمایش تراز بودن ماشین نصب شده

تأکید بسیاری شده است که یک ماشین ابزار در سطوح عمودی و افقی به نحوه صحیحی نصب شود اگر به عنوان مثال یک ماشین تراش با بستری بلند را در نظر بگیریم که به درستی در سطح افق نصب شده است واضح است که بستر ماشین ابزار دچار یک خم شدگی ساده خواهد گردید یا اگر تغییر شکل در دو طرف بستن ماشین ابزار ایجاد گردد یک تاب با پیچ در آن تولید می گردد در نتیجه حرکت صفحه رنده بند ماشین نمی تواند به صورت یک خط مستقیم باشد و بنابراین کاری یک استوانه روی تراش غیر ممکن خواهد بود.

بر قراری دقت نصب اولیه به نوع ضخامت فنداسیونی که ماشین روی آن قرار شده است بستگی دارد . بسیاری از ماشین های ابزار نیازی به ضخامت هایی بیشتر از ضخامت های کف کارگاه ندارند.(۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر از نبشی نصب شده روی هسته سخت) در حالات خاص نظیر ماشین های جیگ برینگ و سنگ های دقیق بلند تهیه یک فنداسیون بتنی بخصوص با عمق زه‌یاد و مجزا از کف کارگاه لازم می باشد. در شکل ۱-۶) روش آزمایش تراز بودن ماشین ابزار نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود.در این شکل بستر و رةیل های یک تراش مرغک دار به طور مختصر رسم شده اند.

شکل ۱-۶) آزمایش فیزیک ماشین تراش برای تراز بودن یا تاب داشتن .

صفحه رنده بند ماشین را تقریباً به وسط ریل های میز می آوریم سپس یک تراز دقیق در a-a قرار داده می شود تا تراز بودن در جهت طولی بررسی شود سپس در راستای b-b نیز همین کار انجام می شود. ترجیح داده می شود که قرائت ها به طور هم زمان و در ی: جهت صورت گیرند به طوری که اثر تطابق در یک جهت روی هر دو تراز ملاحظه شود (یعنی هر دو تراز قرار داده شده در راستای a-a یا راستای b-b مقدار یکسانی را نشان دهد - م) .

قرائت های انجام شده هر تاب یا پیچی را در میز آشکار خواهند کرد پس اگر میز خارج از تراز باشد (تراز نباشد) قرائت های به دست آمده باید یا مثبت یا منفی باشد برای تصحیح این خطا خطاها باید در زیر پایه های تکیه گاه یا بالشتکهای ماشین گوه ها یا زیر میزهای تنظیمی در نقاط مناسب قرار داد به طوری که قرائت ها تا دقت 0.20 mm با هم اختلاف داشته باشد.

تراز مناسب برای این کار دارای حساسیت 0.04 mm بر فنر بوده و دارای یک پایه وی شکل است به طوری ک با ریل های وی شکل ماشین ابزار به طور مستقیم تماس پیدا می کند معمولاً در موقعیت b-b نیاز به یک قطعه است که روی ریل ها قرار گیرد تا تراز بتواند در این موقعیت قرار گیرد. به این قطعه پل گفته می شود و برای کاربرد در ماشین های تراشی که میز مسطح دارند باید دارای سطح مسطحی باشند . در مواردی که ریلهای وی شکل دارد بهتر است این قطعه پل برای قرار گرفتن در روی ریلهای دارای سطح وی شکل باشد.

۲-۲-۶) آزمایش اسپینرل

یکبار دیگر ماشین تراش مرغک دار را در نظر بگیریم . برای تولید کار های دقیق دوران صحیح مخروط داخلی در انتهای جلویی اسپینول اهمیت حیاتی دارد تجهیزاتی که برای این آزمایش مورد احتیاجند عبارت اند از : الف) یک میله آزمایش موازی با افق که دارای ساقه ای مخروطی میباشد .بخش مخروطی آن باید طوری ساخته شده باشد به نحو دقیقی در نوک مخروطی اسپینول جای بگیرد و بدین ترتیب با اسپینول هم مرکز شود. معمولاً کل این میله به وسیله ی عملیات حرارتی سخت شده است .

ب) یک ساعت اندازه گیری با دقت آمار روش کار در شکل ۲-۶ نشان داده شده است.

شکل ۲-۶) آزمایش هم مرکز بودن اسپینول و همراهی آن با ریل‌های ماشین در دو موقعیت ۱ و ۲ مقادیر نشان داده شده بوسیله ی ساعت اندازه گیری از دوران میله ی آزمایش خوانده می شوند و بدیهیست که خود این مقادیر باید از هر حیث دقیق باشد در فاصله ای بیش از ۳۰۰ بین موقعیت های ۱ و ۲ یک اختلاف در چرخش میله آزمایش ایجاد میگردد. در موقعیت ۱ مقدار خطا نباید از ۰/۰۱ و در موقعیت ۲ از ۰/۰۳ تجاوز کند. یک آزمایش مهم دیگر آزمایش موازی محور اصلی با ریل‌های میز است که در دو سطح عمودی و افقی انجام می شود. روش آزمایش در شکل ۲-۶ نشان داده شده است.

هر خطا در توازی زمانی آشکار می شود که صفحه رنده نور ماشین تراش با حرکت در امتداد میز و در هر فاصله ۰/۰۳ میلیمتری جابجایی بیش از ۰/۰۲ داشته باشد.

در سطح عمودی (نشان داده شده در a) قرائت ممکن است در جهت مثبت انتهای آزاد میله آزمایش باشد. در سطح افقی (نشان داده شده در b) هر خطا باعث متمایل شدن میله آزمایش به طرف شاخص ابزار می شود. بنابر این اگر اجازه دهیم تا این خطا ها در جهت ذکر شده اعمال گردند فشار ابزار باعث بر گشتن قطعه به حالت اولیه و در نتیجه کاهش خطا خواهد شد در شکل ۳-۶ خطا ی محور یا شناوری اسپینول آزمایش می شود.

شکل ۳-۶) آزمایش شناوری اسپینول یک ماشین تراش

ساعت اندازه گیری آزمایش کننده بطور محکم و در موقعیتی مناسب روی ماشین نصب می شود . یک درپوش آزمایش کننده را که به راحتی در داخل نوک مخروطی اسپینول جا می رود را در داخل اسپینول قرار می دهیم بطوریکه پیشانی انتهای بیرونی آن مسطح بوده و نسبت به محور مخروط اسپینول گونیا باشد پس راستای سنبه ساعت اندازه گیری طوری تنظیم میشود که در امتداد محور چرخش اسپینول قرارگیرد دراین آزمایش خطا نباید از ۰/۱ تجاوز کند تشخیص بین خطای محوری که در اوایل قسمت ۲-۲-۶) بررسی شد و خطای حاصل از بازی کردن انتهای اسپینول که در اثرلقی بین یا تا قانها پدید می آید بسیار مهم است . خط های محوری در اثر خطا در تعامد سطوح تکیه گاه یا سطوح موقعیت دهنده ی انتهای یاتاقانی (منظور سطوحی است که یاتاقانها روی آنها تکیه دارند- م) نسبت به محور چرخش حاصل می گردد که موجب تولید یک حرکت نوسانی در انتهای اسپینول می شود .

۳-۲-۶) آزمایش صافی و تخت بودن

واضح است که برای حرکت سوپرت ماشین تراش در امتداد یک خط مستقیم و در هر دو سطح افقی و عمودی ریل های راهنما و کنترل کننده حرکت سوپرت باید خودشان مستقیم و صاف باشند . آزمایش این دو پا رامتر از راههای متعددی قابل انجام است که مناسب ترین آنها استفاده از تراز دقیق و موازی ساز خودکار(اتوکالیمتر) می باشد. در اینجا روش اتوکالیمتر شرح داده خواهد شد . ولی روش جدول بندی و ثبت نتایج تک تک اندازه گیری ها در هر روش آزمایش بکار برده می شود.

اصول اندازه گیری با اتوکالیمتر همان است که در فصل ۴ شرح داده شد. و اکنون روش تعیین صافی و تختی شرح داده خواهد شد : فرض کنید که صافی یک میز تراش ۲ متری مورد اندازه گیری باشد ترکیب کلی آزمایش در شکل ۴-۶ نشان داده شده است .

شکل ۴-۶) بکارگیری اتوکالیمر جهت بررسی صاف بودن ریل ها راهنمای صفر یک ماشین تراش اتوکالیمر مستقل از میز تراش و در حدود نیم متر دور تر از یک انتهای میز تنظیم می شود پرتوی موازی این دستگاه در امتداد طول میز تصویر می شود یک تکیه گاه صلب مخصوص (ترجیحا از نوع سه پایه ای) برای این کار (یعنی تصویر کردن اتوکالیمر) لازم است بر فرض اینکه میز ریل های تختی داشته باشد منعکس کننده در انتهای میز و نزدیک به اتمکالیمر قرار داده می شود (همانطور که ذکر شد منعکس کننده روی یک سه پایه قرار دارد و روی میز ماشین تراش حرکت داده می شود) و انعکاس از آن در اتوکالیمر بدست می آید بطوری که تصویر سیمهای متقاطع اتوکالیمر بمرکز عدسی چشمی اتوکالیمر نزدیکتر شود پس منعکس کننده به انتهای دیگر میز برده می شود (بطور منطقی راستای حرکت منعکس کننده باید با محور نوری دستگاه موازی باشد) سپس تصویر سیمهای متقاطع مثل حالت قبل در عدسی چشمی دیده خواهد شد. با این روش در صورتی که انعکاس های حاصل در موقعیت های مختلف منعکس کننده در عدسی چشمی دیده شوند می توان به طور تقریبی تراز بودن میز ماشین تراش را در سطح افقی بررسی کرد. در صورت تراز نبودن می توان یک لبه صاف و مستقیم را زیر میز قرار داد تا حرکت منعکس کننده در امتداد میز در یک خط مستقیم باشد.

فرض کنید که فاصله بین پایه های تکیه گاه منعکس کننده ۱۰۳/۵ باشد و فواصل طولی که اندازه گیری ها تحت آنها انجام می شوند نیز ۱۰۳/۵ باشد. (یعنی پس از هر بار قرائت از اتوکالیمر منعکس کننده ۱۰۳/۵ حرکت داده شود - م) حال اگر یک دقیقه از یک کمان برابر رادیان باشد آنگاه در طول مبنای ۱۰۳/۵ میلیمتر از یک دقیقه از قوس برابر است با

یعنی اگر منعکس کننده در حین حرکت روی میز به اندازه یک دقیقه $\frac{2\pi}{360 \times 60} \times 103.5 = 0.03mm$ کج شود در روی ریل یک دقیقه $\frac{2\pi}{360 \times 60}$ دریاقت تصویر سیمهای متقاطع یا فرورفتگی به اندازه ۰/۰۳ میلیمتر وجود دارد جهت اطمینان از بوسیله اتوکالیمر وقتی که منعکس کننده در انتهای میز قرار داده می شود مجموعه ای از قرائت ها انجام می شود در شکل ۴-۶ دو موقعیت از منعکس کننده نشان داده شده است، البته پستی و بلندیهای سطح میز بسیار اغراق آمیز رسم شده است.

شکل ۴-۶ کار برد اتوکالیمتر را در چک کردن صافی ریل‌های میز تراش را نشان می‌دهد. با تنظیم منعکس کننده در A-B یک قرائت از اتوکالی متر بدست می‌آید سپس منعکس کننده به اندازه ۱۰۳/۵ حرکت داده میشود تا به موقعیت B-C برسد و دومین قرائت بدست می‌آید. به همین ترتیب قرائت های متوالی در C-D ، D-E ، E-F و... خوانده میشود تا وقتی که منعکس کننده طول میز را طی کند حال همین قرائتها را یک بار دیگر انجام می‌دهیم اما این بار منعکس کننده عکس جهت حالات قبل میز را می‌پیمائند تا بدین ترتیب هر خطا در تنظیم اولیه (حالت اول) و قرائتهای بدست آمده آشکار شود . بفرض اینکه خطای جدی وجود نداشته باشد مقدار متوسط هر مجموعه از قرائتها ثبت می‌شود و به کمک آنها می‌توان موقعیتهای زاویه ای منعکس کننده را در هر موقعیتش روی میز نسبت به محور نوری اتوکالیمتر مشخص کرد .

نتایج اندازه گیری در جدول زیر نشان داده شده اند .



ستون یک موقعیت صفحه منعکس کننده را در فواصل ۱۰۳/۵ میلیمتری در امتداد میز نشان می‌دهد. ستون ۲ قرائت متوسط اتوکالیمتر را نسبت به دقیق ترین درجه بندی بر حسب ثانیه را نشان می‌دهد (دقیقترین درجه بندی که بر حسب ثانیه می‌توان در عدسی چشمی قرائت کرد) در عمل می‌توان قرائتها را با دقتی از نوع زیر گروه های ثانیه (دهم ثانیه - صدم ثانیه و...) انجام داد.

ستون ۳ تفاوت هر قرائت ۱ با اولین قرائت نشان می‌دهد. در ستون ۴ این تفاوتها به مقادیر خطی مشابه پستی و بلندیهایی میز (همانطور که قبلاً توضیح داده شد) تبدیل شده اند. مبنا بر این بوده است که هر انحراف یک ثانیه ای در طول ۱۰۳/۵ میلیمتری برابر ۰/۰۰۰۵ میلیمتر برآمدگی یا فرورفتگی در سطح میز است. صفر دومی که در ابتدای سطوح چهارم قرارداده شده است ارتفاعهای دو پایه تکیه گاه منعکس کننده وقتی که در موقعیت ابتدایی خود می‌باشد نشان می‌دهد.

ستون ۵ ارتفاع پایه های تکیه گاه منعکس کننده را از بالای خط مبنای رسم شده نشان می‌دهد. مقادیر ستون ۵ با اضافه کردن جبری و پی درپی مقادیر ستون ۴ حاصل شده است.

از آنجا که تک تک ارتفاعهای ذکر شده در ستون ۴ ارتفاع پایه های عقبی تکیه گاه نسبت به پایه های جلویی آن در یک موقعیت معلوم وتر نسبت به خط مبنا نشان می‌دهد بدست آوردن مقادیر ستون ۵ الزامی است. بلندی نهایی در سطح میز که دارای طولی برابر ۱/۲۵ میلیمتر می‌باشد در امتداد خط اولین قرائت ۲۴۰ میلیمتر است. در ستون ۶ این بلندی نهایی با ۱۲ قرائت دیگر تحت نمونه

$$\frac{24}{12} = 2mm \text{ متناسب شده است. (در حقیقت این مقادیر شکل یک تصاعد حسابی با نحو ۲ داده اند نمایشگر)}$$

خط مستقیمی هستند که از نقاط ابتدایی و انتهایی میز می‌گذرد. (شکل ۵-۶ الف) و به کمک آن می‌توان انحراف مقادیر ستون ۵ را از این خط راست که مبین صافی میز می‌باشد را یافت پس برای هر آزمایشی با تقسیم بیشترین مقدار پستی یا بلندی بر شماره ی قرائتش نحو این تصاعد حسابی به دست می‌آید که با داشتن یک جمله آن یعنی همان بیشترین مقدار می‌توان تصاعدی را در ستون ۶ تشکیل داد -م) مقادیر ستون ۵ را از مقادیر ستون ۶ کم میکنیم تا میزان خطا های موجود از خط مستقیم که نقاط انتهایی میز را به هم وصل می‌کند به دست آیند (ستون ۷) در شکل ۵-۶ یک نمایش گرافیک از این مثال نشان داده شده است. همانطور که دیده میشود در نمودار

خطا های ترکیبی یک خط مستقیم از نقاط انتهایی عبور داده شده است . در واقع مبین خط مستقیم متصل کننده دو انتهای میز می باشد. در نمودار خطاهای صاف بودن این خط به عنوان محور رسم شده است بنا بر این مقادیر رسم شده رسم شده در نحو کار قبلی نسبتی مشابه به آن دارند . توجه به آن نکته مهم است که مقدار افزایش قراعت ها که در ستون دو جدول داده شده اند مشخص کننده ی مقدار افزایش زاویه کج شدن منعکس کننده به سوی محور نوری اتو کالی متر می باشند

شکل ۵-۶) نمودار های خطای ترکیبی و خطای حقیقی در یک میز ماشین تراش که با کار برد اتو کالی متر مشخص شده اند . بدین ترتیب این قرائتهای افزایشی مقادیر معین مثبتی را برای پستی وبلندی های خطی نشان می دهند . پس میز تراش نسبت به خط مبنایی که دو انتهای میز را به هم وصل می کند هم مقعر و هم محدب

است (در جدول ستون ۵ خطاهای ترکیبی و ستون ۷ خطاهای صاف بودن را نشان میدهند که نمودار آنها به ترتیب در قسمت الف و قسمت ب از شکل ۵-۶ رسم شده اند .

آزمایش شرح داده شده مربوط به ماشین تراشی با میز مسطح است ولی روش دیگری نیز به کار می رود که بوسیله آن می توان ریلهای وی شکل را نیز مورد بررسی قرار داد . در این حالت صفحه منعکس کننده باید روی سوپرتی قرار گیرد که دارای پایه وی شکل است بطوری که بتواند روی ریلهای وی شکل میز حرکت کند . مقطع وی شکل سوپرت باید به شکلی باشد که تماس تنها در طرفین وی با ریلهای میز برقرار گردد . بدین ترتیب صافی میز در سطح افقی بخوبی قابل تعیین می باشد بطوری که در آزمایش قبلی منعکس کننده امتداد میز را در فواصل طولی ۶ اینچی می پیماید ولی در این حالت لوله اتوکالیمتر در محفظه اش باندازه ۹۰ درجه چرخانده می شود بطوری که سیمهای تنظیم در عدسی چشمی عمودی باشد سپس تغییرات موقعیت تصویر قسمت عمودی سیمهای متقاطع از روی استوانه میکرومتر خوانده شده در ستون ۲ از جدول ثبت می گردد .

در ارتباط با خطا در صافی میز یک تراش ممکن است تاب یا پیچ عرضی در روی هر یک از ریلها موجود باشد که موجب خطاهای متفاوتی در صافی میز میشوند .

این مورد را میتوان با اتوکالیمتر تشخیص داد چرا که منعکس کننده فقط در صفحه خودش که در امتداد میز قرار دارد حرکت میکند (مثلاً اگر منعکس کننده می توانست به طرفین هم حرکت کند تاب عرضی نیز معلوم می شد- م) عملی کردن و مناسب ترین روش آزمایش قرار دادن تراز دقیق روی میز ماشین دز موقعیت های مختلف می باشد.

اگر لازم باشد از یک قطعه به عنوان پل استفاده کرد

۳-۶) آزمایش تعامد

در بسیاری از ماشین های ابزار به عنوان مثال در ماشین های مته و ماشین فنر عمود به عمود بودن محور اسپینول بر صفحه میز ماشین و دقت خاصی مبذول می گردد . در شکل ۶-۶ یک روش آزمایش تعامد نشان داده شده است . در این آزمایش همانطور که دیده می شود میله ای در یک انتهای تن ساعت اندازه گیری

نسب شده است به اسپینول نصب می گردد . با توجه به طول میله ساعت اندازه گیری تحت شعاع معینی (مثلاً

۱۵۰mm) روی میز حرکت می کند

شکل ۶-۶) آزمایش اسپینول یک ماشین مته جهت اطمینان از تعامد اسپینول سر میز سند اندازه گیری بطور مستقیم و به آرامی روی میز ماشین قرار داده می شود سپس اسپینول به آرامی و یا دست به اندازه ۳۶۰ درجه چرخانده شده و در هر ۹۰ درجه از دوران اسپینول یک قرائت از ساعت اندازه گیری ثبت می گردد در مورد ماشین های مته (خطای مجاز به صورت ۰/۵ م در فواصل ۳۰۰ میلیمتری می باشد) زمانی که میز ماشین در اثر خطای تعامد اندکی به طرف بالا متمایل شده باشد به هنگام کار فشار مته که به طرف پایین اعمال می شود این خطا را تصحیح می کند در مورد ماشین های فرز عمودی آزمایشات کاملی در این مورد در انتها می توان برای ماشین هایی با کله گی ثابت به کار برد. برای ماشین های با کله گی گردان تنها یک آزمایش و در جهت عمود بر میز قابل انجام است در این مورد خطای ۰/۲ م در فواصل ۳۰۰ میلیمتری خطای مجاز می باشد. در بعضی انواع ماشین های ابزار دقت ساختار ماشین طوری است که در جهت آزمایش دستگاه نیاز به روش های اپتیکی می باشد این روش به خصوص برای ماشین های جنگ بورینگ به کار می رود ولی برای ماشین های فرز در هر دو نوع عمودی و افقی نیز قابل کاربرد است.

شکل ۶-۷) کاربرد اتوکالیتر و یک مکعب اپتیکی جهت آزمایش تعامد ریلهای ماشین .

وقتی که یک روش اپتیکی برای این قبیل آزمایشات به کار میرود در نظر داشته باشید که محور پرتوی تابنده اتوکالیتر قطر مبنای اندازه گیری را تشکیل می دهد.

واضح است که این پرتوی تابنده باید به اندازه ۹۰ درجه چرخانده شود (به شکل توجه شود -م) این کار به وسیله ی یک مکعب اپتیکی که در حقیقت یک منشور خاص می باشد انجام می گردد به طوری که بدون توجه به زاویه تابش پرتو اتوکالیتر به سطح منشور پرتو به اندازه ی ۹۰ درجه چرخانده می شود به فرض اینکه ریلهای عرضی و پیشانی ستون کاملاً مستقیم باشد تنها لازم است دو قرائت در موقعیت های A و B از منعکس کننده بوسیله ی اتوکالیتر بدست آید .

مکعب اپتیکی در محل تقاطع دو سطح مورد اندازه گیری قرار داده می شود این مکعب ها همان طور که در شکل ۶-۷ دیده می شود تنها برای موقعیت B بکار برده می شود اختلاف بین این دو قرائت خطای تعامد خواهد بود که باید به جهت آن نیز توجه کرد . اگر خطای صافی نیز در مورد این دو سطح بررسی شود آزمایش بسیار پیچیده می گردد چون همان طور که در بخش ۳-۲-۶ نشان داده شد لازم است برای هر صفحه یک آزمایش صاف بودن انجام شود . زاویه ی شکل گرفته به وسیله ی خطوط مستقیم گذرانده از مقاطع این دو سطح زاویه متوسط بین سطوح را روشن می کند . یک خطای تعامد که به صورت یک حرکت محوری آشکار می شود به خاطر عمود نبودن سطح پیشران و طوقه های پیچ راهنما بر محور چرخش پیچ راهنما ایجاد می گردد. این حالت در شکل ۸-۶ نشان داده شده است و برای آزمایش بین تعامد دو روش موجود است .

(۱) کاربرد ساعت اندازه گیری (۲) کاربرد اتوکالیتر

شکل ۸-۶ نمایش پیچ راهنما با سطح پیشران و روش آزمایش تعامد با کاربرد یک اتوکالیمتر

روش اول مشابه با همان روش هایی است که برای تشخیص خطای محوری اسپنیول به کار برده شده بود ولی این بار در مورد پیچ های راهنمای ماشین های ترش خطای مجاز یک صدم میلیمتر است . اهمیت این روش زمانی مشخص میشود که خطای محوری موجب تولید یک خطای پرتویی در گام پیچی که روی مهشین تراش دیده می شود بشود (یعنی روش اول بیشتر در مواقعی بکار میرود که یک خطای پرتویی در گام پیچ ایجاد شود - م)

روش دوم یک کاربرد جالب توجه از اتوکالیمتر است بدین ترتیب که نوسان محوری پیچ راهنما به حرکت زاویه ای یک صفحه منعکس کننده تبدیل می شود همانطور که در شکل ۸-۶ می توان دید در پشت این صفحه منعکس کننده ساچمه ای قرار دارد که درون سوراخی در مرکز پیچ راهنما و در انتهای آن قرار داده شده است . خود منعکس کننده برای اینکه حرکت زاویه ای داشته باشد به یک لولا متصل شده است بدین ترتیب با نوسان محوری پیچ راهنما خطا در حرکت از طرفین ساچمه به صفحه ی منعکس کننده منتقل می گردد و با حرکت صفحه ی منعکس کننده قرائت هایی از اتوکالیمتر بدست می آید که خطای زاویه حرکت را نشان می دهد .

۴-۶) آزمایشات کاربردی

همان طور که قبلا زکوشیدن این آزمایشات برای مشخص کردن جمعی از خطاها ی به وجود آمده همه اتسای ماشین و استحکام آن طراحی شده اند . در این نئع آزمایش ها یک قطعه آزمایشی تحت شرایط معین شده ای (یعنی برای سرعت برشی مقدار پیشروی عمق برش و شکل هندسی ابزار) ماشین کاری می شود سپس این قطعه از نظر شکل هندسی سطح پرداخت و دیگر پارامترهای مورد نیاز اندازه گیری شده و نتایج حاصل با استاندارد های موجود مقایسه می شود.

پایان فصل ششم



فصل هفتم :

اندازه گیری چرخ دنده ها

۱-۷) مقدمه

همان طور که تکنولوژی از انقلاب صنعتی ما به امروز پیشرفت کرده است احتیاج به کنترل دقت سیستم های به کار رفته برای انتقال نیرو نیز پیشرفت کرده است . یحتمل بیشترین وسایل بکار برده شده ده انتقال نیرو و گشتاورد چرخ ها میله محرک و چرخ دنده هایی باشند . استحکام دندانه های چرخ دنده تا به امروز همواره رو به بهبود بوده است (استحکام در مقابل بار های اضافی) ولی این مسئله مربوط به طراحی است و ارتباط عمده ای با این کتاب ندارد . یکی از احتیاجات چرخدنده ها رابیشتن سرعت ثابت می باشد و تغییر در سرعت می تواند سبب افزایش پریددی بار دنده ها بشود و در نتیجه تولید خستگی و سرو صدا کند ایجاد سر صدا از همان ابتدای تولید دستگاهایی که از چرخ دنده استفاده میکردند مورد بررسی قرار گرفت . از جمله راه حل های این مسئله از بدنه های صدا گیر و بهتر از آن استفاده از چرخ دنده های مارپیچی می باشد .



یکی از عوامل پیشرفت در ماشین ها (اعم از ماشین های صنعتی یا وسایل نقلیه) پیشرفت در چرخ دنده ها است و با توجه به همین موضوع سیستمهای انفعال نیرو از جمله سیستم های چرخ دنده ای در صنعت بسیار مورد استفاده قرار می گیرند . اهمیت اندازه گیری چرخ دنده ها فوراً آشکار می شود.

۷-۲) چشم انداز

در قسمت قبل تنها یکی از انواع مختلف چرخ دنده های بکار گرفته شده در صنعت مدرن ذکر گردید . پیشنهاد می شود که بحث و بررسی چرخ دنده ها تنها با چرخ دنده های اینولوت ساده و چرخ دنده های مارپیچ ادامه یابد چرا که این چرخ دنده ها بخش بزرگی از چرخ دنده های بار رفته در صنعت را تشکیل می دهند.

چرخ دنده های مایل مارپیچی مایل هیضوئید برای کارهای بسیار تخصصی استفاده میشود.

چرخ دنده های میکلوئیدی متر در مهندسی مدرن به کار برده می شود و استفاده ی اصلی آن در کار های ساعت سازی (هورولوجیکال) می باشد که از حد این کتاب خارج است انتخاب منحنی اینولوت جهت نمایش منحنی اهانه دندانه ی چرخ دنده برای مهندسی عمومی دو مزیت دارد

۱) میزان سرعت یک جفت چرخ دنده ی اینولوت بدون توجه به خطا ها یا تغییرات جزئی در فاصله مرکز تا مرکز دو چرخ دنده ثابت است و

۲) یک چرخ دنده اینولوت دارای دنده های مستقیم است به این ترتیب با یک تیغ فوزبستا ساده می توان یک اینولوت با شکل پیچیده تر تولید کرد . به همین دلیل لازم است که سختی اینولوت به تفصیل مورد بررسی قرار گیرد .

۷-۳) منحنی اینولوت

اینولوت مکان هندسی نقطه ای است روی یک خط مستقیم بطوری که خط مستقیم بدون هیچ لغزشی حول یک دایره می چرخد تعریف دیگری که میشود ارائه داد بدین صورت است که مکان هندسی یک نقطه تکه ای از نواری که از یک استوانه ساکن باز شده است منحنی اینولوت می باشد . بنابر این همانطور که در شکل

۷-۱ دیده میشود منحنی اینولوت بدست می آید.

شکل ۷-۱) منحنی اینولوت

از شکل دیده میشود که طول تولید کننده برابر با طول کمان دایره ی تماس مابدا اینولوت در A است. منظور از طول تولید کننده خط مستقیمی می باشد . همچنین منظور از طول کمان دایره مبنا فاصله بین نقطه ی برخورد این خط با دایره از نقطه A است - م)

۷-۶) چرخ دنده های مارپیچ

یک چرخ دنده مارپیچ دارای دندانه های اینولوت است که به موازات محور چرخش دنده تراشیده شده است) بر خلاف چرخ دنده های ساده) بلکه تحت زاویه ای نسبت به محور چرخش که به آن زاویه مارپیچ کمی گویند تراشیده شده اند از چرخ دنده های مارپیچ معمولاً جهت انتقال نیرو بین شفت های موازی استفاده می شود. این نوع چرخ دنده ها نرم تر و بی سر و صداتر از چرخ دنده های ساده می باشند و این را مرهون این خصوصیات می دانند که هر چند لحظه تنها ی: تعداد از چرخ دنده ها با هم درگیرند، ثانیاً هر دندانه در یک زمان تشخیص فقط در طول کوتاهی از دامنه اش درگیر می شوند و این درگیری به تدریج ادامه می یابد. تا دندانه از منطقه درگیری خارج شود . بنابراین هر اندازه گیری در مورد این چرخ دنده عا را می توان در سه صفحه انجام داد:

- ۱) صفحه ای عمود بر دامنه دندانه (که با اندیس n مشخص می شود).
- ۲) صفحه ای عمود بر محور چرخش (که به آن صفحه عرضی گفته می شود و با اندیس t مشخص می گردد).
- ۳) صفحه ای موازی با محور چرخش (به نام صفحه محوری که با اندیس a مشخص می گردد).



در اینجا تنها اندازه گیری هایی بررسی می شوند که در صفحات عمودی و عرضی انجام شده اند.

یک میله دندانه دار که دارای گام عرضی Cpt که در نظر بگیرید. (شکل ۷-۵)

شکل ۷-۴) اصطحاکاک به کار رفته در متن برای تشریح چرخ دنده ها مارپیچ

شکل ۷-۵) مقاطع عمودی و عرضی میله دندانه دار

$\delta =$ زاویه مارپیچ ψ_n زاویه عرضی فشار $Cp_t =$ گام عرضی دایروی (یاسیر کولارپیچ عرضی) $CP_t \times \pi = M_t$

از شکل ۷-۵ داریم: $CP_n = CP_t \cos \sigma$ $\therefore AB = AC \cos \sigma$ $\therefore \frac{AB}{AC} = \cos \sigma$

چون سیر کولارپیچ=مدول $\pi \times$ آنگاه $m_n = m_t \cos \sigma$, $\pi \times m_n = \pi \times m_t \cos \sigma$

اکنون زاویه پیشانی دامنه میله دندانه دار در هر صفحه برابر است با زاویه فشار سیستم در همان صفحه، با ملاحظه

دوباره شکل ۷-۵ بدست می آوریم که:

$$\operatorname{tg} \psi_n = \frac{DE}{DF}$$

برای هر مقطع DF ثابت بوده و برابر با عمق دندانه است اما $DE = D \cos \sigma$

بدین ترتیب زاویه فشار عمودی بدست می آید و می توان گام مبنای عمودی را (P_{bn}) بدست آورد.

بطوریکه روی هر مقطع $P_{bn} = \pi m_n \cos \psi_n$

۷-۷) ریشه تراشی در دندانه های چرخنده و اصلاح ارتفاع سردندانه



اگر در طراحی این مجموعه چرخ دنده، چرخ دنده کوچک (پینیون Pinion) خیلی کوچک ساخته شود بین جفتهای ملحق به هم تداخل اتفاق خواهد افتاد و دندانه های چرخ دنده یا میله دندانه دار تمایل دارد که ریشه چرخ دنده کوچک نفوذ کند این کار باعث حرکت خشن و شکست می شود.

اگر چرخ دنده کوچک طوری تولید شود که تداخل پیش بیاید دندانه ها تحت برش قرار گرفته و تضعیف می شوند. این حالت زمانی اتفاق می افتد که خط عمل جلوتر از نقطه مماس بر دایه مبنا قرار بگیرد در شکل ۶-۷ یک چرخ دنده کوچک نشان داده شده که به وسیله یک میله دندانه دار بریده شده است.

شکل ۶-۷) شرایط تولید کننده پدیده ریشه تراشی در ساخت چرخ دنده

همانطور که در شکل نشان داده شده است نوک دندانه پرنده میله دندانه دار به اندازه S بیشتر از نقطه مماس خط عمل جلو آمده است. این حالت موجب ریشه تراشی شده و می توان با جابه جا کردن میله به اندازه S به طرف بیرون آن را برطرف کرد بنابراین برای جبران کردن این پدیده ارتفاع سر دندانه باید به اندازه k_w کاهش یابد ارتفاع سر دندانه چرخ دنده کوچک به اندازه k_p افزایش یابد. مقادیر k_p و k_w ضرایب ارتفاع سر دندانه به ترتیب برای چرخ دنده کوچک و چرخ دنده بزرگتر (یا میله دندانه دار) گفته می شود و مستقیماً با S به صورت $S = k \times m$ متناسبند (مدول = m). استاندارد انگلیسی ۴۳۶ سال ۱۹۴۰ دو شرایط برای محاسبه K_p و K_w ارائه می دهد

$$k_p = 0.25 \left(1 - \frac{n}{N} \right) \quad \text{اگر } (N + n) \sec^2 b > \sigma \quad \text{انگاه}$$

$$\text{هر کدام بزرگتر باشد } \sigma \sec^2 (30 - n) \quad \text{یا } k_p = 0.25 (30 - n \sec^2 \sigma)$$

$$K_w = -k_p$$

$$k_p = 0.25 (30 - n \sec^2 \sigma) \quad \text{انگاه } (N + n) \sec^2 \sigma > 60 \quad \text{اگر (ب)}$$

$$K_w = 0.25 (30 - N \sec^2 \sigma) \quad \text{و}$$

در عبارت بالا n و N به ترتیب عبارت است از: تعداد دندان‌های چرخ دنده کوچک و تعداد دندان‌های بزرگ. و σ برای چرخ دنده‌های مارپیچ زاویه ای می باشد. پس در چرخ دنده های $\sigma = 0$ و $\sigma = 1$ Sec² با داشتن $K_w = K_p$ ارتفاع سر دندان‌ها برای چرخ دنده‌ها عبارت است از:

$$= M_N (1 + k_p) = M_n + k_p M_n$$

$$= Mn(1 + k_w) = M_n + k_w M_n$$

توجه کنید که در مورد ارتفاع اسمی چرخ دندان (m) به وسیله تغییر در km (که عبارت است از مقدار جابجایی میله دندان‌ها در طرف بالا برای جلوگیری از ریشه تراشی) تغییر می کند.

۷-۸) اندازه گیری چرخ دنده

روش های اندازه گیری و آزمایش چرخ دنده ها تا حد زیادی به نوع چرخ دنده، روش ساخت و تجهیزات موجود بستگی دارد. بطور خلاصه اندازه گیری چرخ دنده می تواند شامل (۱) آزمایشات عمومی (۲) اندازه گیری تک تک اجزاء می باشد.

۷-۸-۱) آزمایشات عمومی

آزمایشات عمومی در اینجا شامل آزمایشات غلتکی است. در این روش چرخ دنده باریک چرخ دنده مرجع که سخت شده و سنگ زده شده است از نظر ابعاد ضخامت دندان‌ها و ابعاد استوانه مقایسه می گردد. شاید به نظر برسد که در مورد اخیر خارج از بحث آزمایشات عمومی باشد ولی وقتی که یک چرخ دنده تراشیده می شود اغلب توجه کاملی بر ابزار برش و دقت تقسیم هر دو به روی شکل و گام چرخ دنده تأثیر می گذارد مبذول می گردد. (هر چند که مؤلف احساس می کند که باید به دقت ابزار برش و تنظیم ماشین ابزار توجه بیشتری داشت) به عنوان نمونه درهای یک چرخ دنده با مدول و چک تنها، آزمایش های موجود، آزمایش های اپتیکی و همین آزمایش های غلتکی است. به وسیله این روش ها اغلب خطاهایی که در اثر تنظیم نادرست هابینگ (به عبارت دیگر تنظیم نادرست زاویه چرخ دنده) پیش می آیند آشکار می کنند. به کمک این روش اپتیکی می توان هاب را (که دارای پهلوهایی راست و مستقیمی است) چک کرد که با این کار خطاهای حاصل از تنظیم نادرست که موجب تولید خطا در شکل چرخ دنده می شوند حذف می گردند. در ساخت چرخ دنده هایی با دقت بسیار زیاد یعنی چرخدنده های مرجع و چرخ دنده های به دقت سنگ زده شده لازم است که دقت تک تک اجزاء معلوم شود.

جدای از ضخامت دندان‌های این اجزاء شامل (۱) گام دندان‌ها (۲) فرم های دندان‌ها نیز می باشند.

۷-۹) آزمایشات غلتکی چرخ دنده

یکی از ماشین های عمومی برای آزمایش چرخ دنده به روش آزمایش غلتکی به وسیله ماشین پارکسون (Park son) است که در شکل ۷-۷ نشان داده شده است.

شکل ۷-۷) اصول ماشین های آزمایش چرخ دنده از نوع غلتکی

این دستگاه به طور کلی شامل بدنه می باشد که درون آن یک سوپرت ثابت و یک سوپرت متحرک قرار دارد. سوپرت ثابت طوری ساخته شده است که می تواند با انواع چرخ دنده ها از نظر قطر تطبیق شود. (به هنگام کار این سوپرت قفل می شود). سوپرت متحرک طوری ساخته شده است که به طور جهشی بطرف سوپرت قابل بار دادن می باشد.

روی سوپرت ثابت محوری تعبیه شده است که سوراخ چند دنده مرجع داخل ای « محور جا زده می شود. محوری مشابه برای قرار دادن چرخ دنده مورد آزمایش روی سوپرت متحرک ساخته شده است اگر این جفت چرخ دنده بر روی دو سوپرت قرار داده شود و سپس بر روی سوپرت متحرک بطور جهشی بار داده شود تا دو چرخ دنده با هم ترکیب شوند و سپس دو چرخ دنده چرخانده شوند وجود هر گونه خطا در شکل دندانه ، گام یا هم محوری خط گام باعث تغییر فاصله مرکز تا مرکز دو چرخ دنده می گردد. از آنجا که حرکت سوپرت متحرک به وسیله یک ساعت اندازه گیری قابل تعیین است می توان مقدار خطا ها را در چرخ دنده مورد آزمایش بدست آورد. روش کار بدین صورت می باشد؛

۱) با قرار دادن راپراتورها بین محورها، ساعت اندازه گیری را طوری تنظیم می کنیم که تا فاصله مرکز تا مرکز صحیح (یعنی فاصله مرکز تا مرکزی که صورت صحیح بودن چرخ دنده تحت آزمایش بر قرار می شود) ساعت اندازه گیری مقدار صفر را نشان دهد. همچنین لازم به ذکر است که اندازه راپراتورها=

$$C - \left(\frac{D-d}{2} \right) \text{ و } c \text{ فاصله مرکز تا مرکز } D \text{ و } d \text{ قطرهای محورها می باشند.}$$

۲) نشانه های حدی را روی ساعت اندازه گیری قرار دهید.

۳) چرخ دنده مرجع و چرخ دنده مورد آزمایش را نصب کنید و به تغییر قرائت های در ساعت اندازه گیری وقتی که چرخ دنده ها با دست چرخانده می شود توجه کنید. اگر این قرائت ها خارج از نشانه های حدی

قرار داده شده روی ساعت اندازه گیری باشند چرخ دنده مورد آزمایش قابل قبول نخواهد بود. فرم استاندارد آزمایش چرخ دنده در صنعت معمولاً به هی «ن شکل است. البته آزمایش کننده می تواند آزمایشات پیچیده تری بکار ببرد. مثلاً با قفل کردن سوپرت متحرک در فاصله مرکز تا مرکز حقیقی دو چرخ دنده و با ثابت نمودن چرخ دنده مرجع می توان با قرار دادن یک ساعت اندازه گیری در خط گام چرخ دنده تحت آزمایش مقدار پس زنی را نیز تعیین کرد.

همچنین در این آزمایش می توان چرخ دنده ها را از نظر نرمی چرخش نیز چک کرد. با رسم نموداری از حرکت سوپرت متحرک بر حسب میزان چرخش چرخ دنده می توان اشتباهات موجود در چرخ دنده را تحلیل کرد. این کار را می توان با قرار دادن یک ساعت اندازه گیری به همراه یک بازو یعنی وسیله مشابه با کله گی اندازه گیری Talymin و تقویت حرکت ایجاد شده در آن و ثبت این حرکت با دستگاه اندازه گیری سطح Taly surf انجام داد (این مطلب در فصل ۹ بیشتر توضیح داده خواهد شد).

در شکل ۸-۷ نمونه ای از طرح های تولید شده با روش فوق نشان داده شده است.

در شکل ۸-۷ نمونه ای از طرح های تولید شده با روش فوق نشان داده شده است.

شکل ۸-۷) نمونه طرحهای تولید شده به وسیله دستگاه آزمایش غلتکی از نوع ثابت کننده.

معمولاً این خطاها توأمان اتفاق می افتد و در نتیجه طرح حاصل از آنها نا متعارف خواهد بود. خطای شکل دندانه ها به صورتی که در شکل ۸-۷ قسمت d نشان داده شده است می باشد.

لازم به ذکر است که وقتی چرخ دنده های مارپیچی روی دستگاه پارکسون آزمایش می شوند مؤلفه عمودی نیروی موجود بین دندانه ها تمایل به بلند کردن یکی از چرخ دنده ها یا فشار دادن آن به روی محورش دارد. به همین علت در این حالات باید چرخ دنده مرجع بین مرغک های نصب شود و طوری دوران کند که نیروی پیشران به طرف

بالا را جذب کند تا مؤلفه مساوی و در جهت مخالف آن چرخ دنده را به طرف پایین فشار دهید و در نتیجه چرخ دنده در جای خود باقی بماند (به عبارت دیگر جهت چرخش موافق یا مخالف مؤلفه پایینی نیرو است که چرخ دنده مورد آزمایش را به طرف پایین فشار می دهد) اگر هیچ چرخ دنده مرجعی موجود نبودن می توان از این دستگاه برای برای چک کردن یک جفت چرخ دنده استفاده کرد اما باید مراقب بود که آنها دارای خطاهای جبرانی نباشد به عنوان مثال خروج از مرکزهای برابر در هر دو چرخ دنده در صورتیکه چرخ دنده با نصب زاویه ای ویژه ای نصب گردد حذف شده و خطایی نشان داده نمی شود بنابراین اگر این روش به کار گرفته شود چرخ دنده ها باید دو بار آزمایش شوند که در مرحله دوم موقعیت زاویه ای آنها نسبت به هم به اندازه 180° تغییر داده می شود.

۷-۱۰) اندازه گیری ضخامت دندانها برای دندانهای چرخ دنده های ساده و چرخ دنده های مارپیچ وسیله ای که اغلب برای اندازه گیری ضخامت چرخ دنده بکار می رود ورنیه دندان چرخ دنده می باشد. با توجه به اینکه ضخامت دندان از نوک تا دایره مبنا یکسان نیست هر وسیله اندازه گیری ضخامت دندان باید :

- ۱) ضخامت دندان را در موقعیت معینی روی دندان اندازه گیری کند.
- ۲) در طول اندازه گیری در موقعیت مورد نظر ثابت باقی بماند. بنابراین ضروری است که ورنیه دندان چرخ دنده شامل یک پرگار ورنیه دار برای اندازه گیری W و یک گیج عمق سنج ورنیه دار برای نگاه داشتن دستگاه در ارتفاع h به هنگام اندازه گیری W باشد. (شکل ۷-۹)

موقعیت های که اندازه گیری در آنها انجام می شوند معمولاً به دو موقعیت منحصر می گردد.

شکل ۷-۹) فکرهای ورنیه دندان چرخ دنده

۷-۱۰-۱) ضخامت دندان در خط گام

باید متذکر شد که W وتر قوس AC است ولی ضخامت دندان از فاصله کمانی ADC معین می شود. (فاصله ای که روی دایره گام است-م) همچنین h اندازه EB می باشد که اندکی بزرگتر از ارتفاع سر دندان (ED) می باشد. با مراجعه به شکل ۷-۱۰ : $W=2AB$.

$$\text{در مثلث } ABO : \sin \theta = \frac{AB}{AO}, \theta = \frac{360}{4N} = \frac{90}{N}, \text{ و } AO = R_p = \frac{D}{2} = \frac{NM}{2}$$

$$\text{بنابراین : } AB = AO \sin \theta = \frac{NM}{2} \sin \left(\frac{90}{N} \right)$$

اما $W=2AB$ پس : (۱) $w = NM \sin \left(\frac{90}{N} \right)$. همچنین از شکل ۷-۱۰ داریم:

$$h = oE - oB \quad \text{و} \quad oE = R_p + \frac{NM}{2} + M$$

ارتفاع سر دندان

$$\therefore oB = oA \cos \theta = \frac{NM}{2} \cos\left(\frac{90}{N}\right)$$

$$\therefore h = \frac{NM}{2} + N - \frac{NM}{2} \cos\left(\frac{90}{N}\right)$$

$$h = \frac{NM}{2} \left[1 + \frac{2}{N} - \cos\left(\frac{90}{N}\right) \right]$$

$$w = NM \sin\left(\frac{90}{N}\right)$$

با توجه به معادله ۱

در معادلات فوق h و w مقادیر ایده آل می باشند و باید برای h یک مقدار مجاز در نظر گرفت.

شکل ۷-۱۰) انداز گیری ضخامت در خط گام

در مورد چرخ دنده های مارپیچ ضخامت دندان در صفحه عرضی در خط گام با آسانی قابل اندازه گیری نیست ولی ضخامت عمودی دندان قابل تعیین می باشند. با محدود کردن دقت این وسیله (ورنیه ضخامت سنج-م) ضخامت عمودی دندان یعنی W_n را می توان برابر با ضخامت دندان یک چرخ دنده ثابت مشابه با چرخ دنده مارپیچ که تعداد دندان های آن عبارت است از: $(\sigma \text{ زاویه مارپیچ است})$ $N_U = N \sec \sigma$ در نظر گرفت.

۷-۱۰-۲) وتر ثابت

در معادلات مربوط به ضخامت دندان در خط گام دیده شد که اندازه های h و w هر دو بر تعداد دندان ها بستگی دارد. اگر تعداد زیادی چرخ دنده موجود باشد که هر کدام تعداد دندان های مختلفی داشته باشند محاسبه جداگانه هر کدام از آنها مشکل خواهد بود.

در شکل ۷-۱۱ یک دندان اینولوت که به طور دقیق و قرینه با یک میله اندازه دار درگیر شده است دیده می شود. با توجه با این شکل می توان چرخ دنده ها را بدون نیاز به تعداد دندان های آنها بر اساس یک مقیاس معین برای

دندانه ها (یعنی مقدار m) اندازه گیری کرد. اگر شرایط شکل ۷-۱۱ برابر باشد تماس بین دو چرخ دنده همیشه در دو نقطه A و F حاصل می گردد. AF مشهور به وتر ثابت است.

شکل ۷-۱۱) اندازه گیری ضخامت دندانه دار در وتر ثابت

در شکل ۷-۱۱ $\frac{\pi \times m}{4} =$ گام دایروی $BD = \frac{1}{4}$ در مثلث ABO ، $\frac{AB}{AD} = \cos \psi$ در نتیجه

$$\frac{AC}{AB} = \cos \psi \text{ ، در مثلث } ABC \text{ ، } AB = BD \cos \psi = \frac{\pi \times m}{4} \cos \psi$$

$$\therefore AC = AB \cos \psi \frac{\pi m}{4} \cos \psi$$

$$W = 2AC = \frac{\pi \psi}{2} \cos \psi$$

$$\frac{BC}{AB} = \sin \psi \text{ همچنین}$$

$$\therefore BC = AB \sin \psi = \frac{\pi \psi}{4} \cos \psi \sin \psi$$

$$W = \frac{\pi m}{2} - \cos^2 \psi \text{ و برای مقدار } h = m - \frac{\pi m}{4} \cos \psi \sin \psi \text{ داریم}$$

معادلات فوق برای چرخ دنده های ثابت می باشند. برای چرخ دنده های مارپیچی مقدار W_n را با قرار دادن مدول عمودی و زاویه فشار عمودی در معادله نهایی بدست آمده برای W می توان تعیین کرد.

$$\therefore w_n = \frac{\pi m_n}{2} \cos^2 \psi \text{ ، } h_n = m_n - \frac{\pi m_n}{4} \cos \psi_n \sin \psi_n$$

اگر دندانه های تصحیح شده (اصلاح شده) مورد استفاده قرار گیرند عبارات فوق نیز باید بدین صورت اصلاح شوند.

$$W_N = \left[\frac{\pi m_n}{2} + \frac{k m_n}{2} \tan \psi_n \right] \cos^2 \psi$$

$$h_n = (1 + k) M_n - \left[\frac{\pi m_n}{4} + \frac{k m_n}{4} \tan \psi \right] \sin \psi \cos \psi$$

اگر بخواهیم برای مقدار پس زنی یک مقدار مجاز در نظر بگیریم باید آن را از w کم کنیم اگر مقدار کاهش در w برابر با δw و پس زنی برابر با b باشد آنگاه $\delta w = b \sec \psi$ یک نکته جالب در باره روش وتر ثابت آن است که این روش بسیار حساس تر و دقیق تر از ورنیه دندانانه چرخ دنده که در شکل ۱۲-۷ نشان داده شده است می باشد. این وسیله متشکل از یک صفحه ساعت و یک میله نفوذ کننده و دو فک قابل تنظیم در زوایای $14/5^\circ$ و 20° (بسته به کاربرد مورد نیاز) می باشد. این دستگاه با یک جفت گیج تویی مرجع که موقعیت نشانه حدی را روی صفحه ساعت ثابت نگاه می دارند تنظیم می شود. قابل ذکر است که فکهای موجب تولید یک بزرگ نمایی اضافی که تقریباً $\frac{2}{1}$ است می شوند یعنی برای یک زاویه فشار $14/5^\circ$ درجه ای خطای $0/01$ میلی متری در ضخامت دندانانه در صفحه ساعت $0/02 \text{ mm}$ نشان داده می شود.

۳-۱۰-۷) روش مماس مبنا

بدون توجه به کاربرد کمپراتور دندانانه چرخ دنده که در شکل ۱۲-۷ نشان داده است باید ذکر کرد که هر دو روش اندازه گیری ضخامت دندانانه که در مورد بررسی قرار گرفتند با کاربرد ورنیه ضخامت دندانانه ممکن است غیر قابل اعتماد باشند چرا که: ۱) یک شخص با تجربه با تمرین فراوان بوسیله ورنیه حداکثر وقتی از $0/5 \text{ mm}$ تا $0/25 \text{ mm}$ را می توان بدست آورد. ۲) اندازه گیری ها به دو قرائت از ورنیه که هر یک تابع دیگری است بستگی دارد. ۳) اندازه گیری با یک لبه از فک اندازه گیری انجام میشود نه تا پیشانی آن که بار اندازه گیری دقیقی بدست نخواهد آمد. برای فائق آمدن بر این مشکل باید فاصله بین تعداد مناسبی از دندانانه ها را به صورتی که در شکل ۱۳-۷ نشان داده شده است به دست آورد.

شکل ۱۳-۷) اندازه گیری فاصله بین چند دندانانه با یک ورنیه .

شکل ۱۲-۷) کمپراتور دندانانه چرخ دنده که از روش وتر ثابت عمل اندازه گیری را انجام می دهد. دیده می شود کهن چگونه با استفاده از یک ورنیه می توان بر مشکلاتی که ذکر شد غلبه کرد البته خطایی نیز وجود دارند که به طور ذاتی به این وسایلذ می باشند و می توان با تجهیزات بسیار دقیق این مشکل را نیز حل کرد.

در شکل ۷-۱۴ یک خط راست ABC به طول AC مشاهده می کنید که در امتداد دایره مبنا به جلو و عقب برده شده است. یک انتهای این خط راست به ترتیب نقاط A_1, A, A_2 و انتهای دیگر آن نقاط C_1, C, C_2 طی می کند و همان طور که دیده می شود این نقاط به روی دو منحنی انیولوت قرار دارند. ابعاد به دست آمده روی این دو انیولوت با هم برابر می باشند یعنی: $W = AC = A_1C_1 = A_2C_2 = AB$.

شکل ۷-۱۴) تولید یک جفت انیولوت قرینه با یک مولد دایره تولید کننده مشترک (منظور خط راست ABC است. طول کمانی از دایره مبناست که بین مبدأ های دو انیولوت قرار دارد (این حالت را باید با مورد نشان داده شده در شکل ۷-۱ مقایسه کرد). بنابراین موقعیت سطوح اندازه گیری در روی دو انیولوت صحیح مقابل هم ، می تواند تغییر کند ولی در هر حال باید به موازات هم باشد . کاربرد این مطلب در دندان های چرخ دنده بهتر از انتخاب یک تعداد از دندانه ها و اندازه گیری فاصله بین آنها می باشند.

چرا که در آن حالت عمل اندازه گیری به طور تقریبی در دایره گام چرخ دنده انجام می گردد.

با به کار گیری این اصل برای شرایط شکل ۷-۱۳ دیده می شود که $W = AB + BC$ که کمان AB ضخامت دندانه در دایره مبنا و کمان BC عبارت است از گام مبنا S_x . S تعداد دندانه هایی است که فاصله بین آنها اندازه گیری می شود اگر N تعداد دندانه های چرخ دنده باشد آنگاه گام زاویه ای دندانه ها یعنی $P\theta$ عبارت است از :
 رادیان $P_\theta = \frac{2\pi}{n}$ و گام مبنا $P_b = \frac{2\pi}{n} \times R_b$ می باشد که R_b شعاع دایره مبنا است. با توجه به اینکه

$$R_b = \frac{NM}{2} \cos \psi \quad (M = \text{مدول})$$

$$\therefore P_b = \frac{2\pi}{n} \times \frac{NM}{2} \cos \psi$$

و اگر S تعداد دندانه هایی باشد که فاصله بین آنها اندازه گیری می شود آنگاه :

$$BC = \frac{2\pi}{N} \times S \times \frac{NM}{2} \cos \psi \quad (1)$$

برای تعیین کمان AB (ضخامت دندانه در دایره مبنا) شکل ۷-۱۵ را ملاحظه کنید که یک دندانه از چرخ دنده را به همراه اطلاعاتی مناسب نشان می دهد .

$$AB = 2AD = 2(AC + CD)$$

$$\frac{AC}{R_b} = \text{Inv} \psi \quad \therefore AC = R_b(+g\psi - \psi)$$

$$AC = \frac{NM}{2} \cos \psi (+g\psi - \psi) \quad (2)$$

$$\theta \text{ رادیان} = A = \frac{EF}{R_p} = \frac{CD}{R_b}$$

$$EF = \frac{1}{4} \text{ گام دایروی} \theta = \frac{\pi m}{4} \times \frac{1}{R_p} = \frac{\pi M}{4} \times \frac{2}{NM}$$

$$\therefore \theta = \frac{\pi}{2N} \text{ رادیان} \quad \therefore CD = R_b \times \theta$$

$$CD = \frac{NM}{2} \cos \psi \times \frac{\pi}{2N} \quad (3)$$

اما $AB = 2(AC + CD)$ بنابراین با جایگذاری در معادلات ۲ و ۳ در این عبارت داریم:

$$\begin{aligned} AB &= 2 \left[\frac{NM}{2} \cos \psi (+g\psi - \psi) + \frac{NM}{2} \cos \psi \left(\frac{\pi}{2N} \right) \right] \\ &= NM \cos \psi \left[+g\psi - \psi + \frac{\pi}{2N} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

$$W = AB + BC \quad \text{و}$$

با ترکیب معادلات ۱ و ۴ $W = NM \cos \psi \left[+g\psi - \psi + \frac{\pi}{2N} \right] + \left[\frac{2\pi S}{N} \right] \frac{NM}{2} \cos \psi$ که در نتیجه :

$$W = NM \cos \psi \left[+g\psi - \psi + \frac{\pi}{2N} + \frac{\pi S}{N} \right]$$

در این معادله، تمام دندانه ها N و مدول M و زاویه فشار بر حسب رادیان ψ و S = تعداد دندانه هایی که در فاصله W قرار گرفته اند می باشند.

برای دندانه های مارپیچ مقداری W در صفحه عمودی بررسی می گردد.

$$W_N = NM \cos \psi_n \left[+g\psi_n + \psi_n + \frac{\pi}{2n} + \frac{\pi S}{N} \right] \quad \text{بنابراین}$$

که در آن M_N = مدول در صفحه عمودی مساوی $M_t \cos \sigma$ ، ψ_N = زاویه فشار در صفحه عمودی = $\cos \sigma \tan \psi_t$ که زاویه مارپیچ است.

اندازه گیری با ای «روش را می توان با استفاده از یک میکرومتر که دارای سندان های فلنج شده است یا بعا کاربرد کمپراتور David Brown Base Tangent که در شکل ۷-۱۶ نشان داده شده است بهبود بخشید.

شک ۷-۱۵) ضخامت دندان یک چرخ دنده که در دایره مبنا اندازه گیری شده است.

شکل ۷-۱۶) کمپراتور David Brown Base Tangent (= کمپراتور مماس بر مبنای دیود برون) همانطور که دیده می شود این کمپراتور متشکل از یک میکرومتر است که دارای دامنه حرکت محدود شده ای است.

می توان این کمپراتور را به وسیله راپراتورها در صفر تنظیم کرد همچنین این روش را می توان برای چرخ دنده هایی با دندان های کوچک نیز به کار برد بدین ترتیب که تصویر دندانه ها یا از طریق اندازه گیری مستقیم و یا با کمک میز عرضی یک میکروسکوپ Tool maker اندازه گیری می شود.

باز در اینجا اندازه گیری w برای دندانه های نادرست و بدون پس زنی ذکر می شود برای این کار فرض می شود

$$\delta w_b = \text{میزان کاهش } w \text{ برای مقدار مجاز پس زنی } \delta_b = \text{مقدار مجاز پس زنی}$$

پس :

$\delta w_b = -\delta_b \cos \psi_n$ و اگر $k = \text{میزان تصحیح ارتفاع سر دندانه میزان تغییر } w$ که در اثر تصحیح ارتفاع سر

دندانه $\frac{1}{\delta w_b m}$ آنگاه حاصل شده است.

$$\delta w_b = km \times 2 \sin \psi_n$$

بنابراین برای یک چرخ دنده تصحیح شده با پس زنی :

$$w = NM_n \cos \psi_n \left[\operatorname{tg} \psi_n - \psi_n + \frac{\pi}{2N} + \frac{\pi s}{N} \right]$$

(۷-۱۱) اندازه گیری با استوانه ها

در شکل ۱۷-۷ استوانه ای را ملاحظه می کنیم که بین یک جفت از دندانه های یک چرخ دنده قرار داده شده است به طوری که مرکز آن روی دایره گام قرار می گیرد.

مشابه با روش به کار گرفته شده در وتر ثابت

$$\cos \psi = \frac{OA}{OB}$$

شعاع استوانه $OA = (r)$ اما $OA = OB \cos \psi$

$$OB = \frac{1}{4} OP = \frac{\pi m}{4}$$

$$\therefore \psi = \frac{\pi m}{4} \cos \psi \text{ و قطر استوانه } = \frac{\pi M}{2} \cos \psi$$

$$= \frac{Nm}{2} + \frac{\pi m}{4} \cos \psi \text{ که } R_p = \text{شعاع دایره گام}$$

بنابراین فاصله بین دو استوانه که در دو فضا ط مقابل ه قرار داده شده اند عبارت است از (به عبارت دیگر فاصله بین دو استوانه ای که موقعیت آنها نسبت به محور تقارن افقی چرخ دنده کاملاً قرینه اند - م)

$$D_G = NM + \frac{\pi m}{2} \cos \psi = M \left(N + \frac{\pi}{2} \cos \psi \right)$$

برای دندانه های اصلاح شده شعاع استوانه عبارت است از :

$$\psi = \frac{\pi m}{4} \cos \psi - 2Km \sin \psi \text{ اصلاح شده}$$

$$\therefore R_G = \frac{NM}{2} + \frac{\pi m}{4} \cos \psi - 2Km \sin \psi$$

$$\text{و } D_G = NM + \frac{\pi m}{2} \cos \psi - 4Km \sin \psi$$

$$= M \left(N + \frac{\pi m}{2} \cos \psi - 4Km \sin \psi \right)$$

بنابراین مقدار مجاز پس زنی ب طور مستقیم به شعاع استوانه و در نتیجه به R_G اضافه می شود. در این آزمایش

استوانه باید دارای اندازه خاصی باشد اگر شعاع استوانه $\frac{\pi m}{4} \times \cos \psi$ در نظر گرفته شود چون از ارتفاع سر دندانه

کوچکتر می باشد نوک دندانه ها استوا را می پوشانند و اندازه گیری مشکل خواهد شد. برای بدست آورد اندازه

مناسب استوانه خواننده را به روشی که کنت باکینگهام برای این کار ارائه داده است ارجاع می دهیم .

برای چرخ دنده هایی که دارای تعداد دندانه های زوج می باشند می توان قطر را به طور مستقیم از این روش به دست آورد .

اما وقتی تعداد دندانه ها فرد می باشد با قرار دادن چرخ دنده بین مرغک ها و با کاربرد یک کمپراتور یا یک جفت استوانه یک اندازه گیری شعاعی قابل انجام است. (به بخش ضمیمه مراجعه شود- م)
برای نصب زاویه ای دو چرخ دنده نسبت یکدیگر معمولاً یک مقدار مجاز معین می گردد.
(۷-۱۲) اندازه گیری گام چرخ دنده

اندازه گیری گام دندانه های چرخ دنده از دو طریق قابل انجام است.

(۱) اندازه گیری فاصله ی یک نقطه روی یک دندانه تا نقطه ی مشابه روی دندانه ی بعدی
(۲) اندازه گیری موقعیت مناسب روی یک دندانه بعد از اینکه چرخ دنده تحت یک زاویه مناسب چرخموانده می شود.

شکل (۷-۱۷) اندازه گیری قطر چرخ دنده با استوانه ای که مرکز آن روی دایه گام است.

(۷-۱۲-۱) اندازه گیری گام از یک دندانه تا دندانه بعدی

در این روش گام مبنا به وسیله یک دستگاه که با دست قابل حمل و نگه داری است اندازه گیری میشود. در شکل ۷-۱۸ گام مبنا A_1B_1 است که بین دو اینولوت با مبدأ های A و B قرار دارد.

با توجه به شکل می توان نشان داد:

$$A_1B_1 = A_2B_2 = C_1B_1 = C_2B_2 = C_3B_3$$

یعنی هر اندازه (مقدار اندازه گیری شده) در امتداد خطی مماس بر دایره مبنا و بین یک جفت اینولوت مجاور هم

$$P_b = \frac{\pi}{P} \cos \psi$$

برابر با گام مبنا می باشد و خود گام مبنا معادل است با :

وسیله ای که این مقدار را اندازه گیری میکند دارای سه انگشت (پایه) اندازه گیری می باشد. (شکل ۷-۱۹)

شکل ۷-۱۸) گام مبنا برابر است با فاصله خطی بین یک جفت انیولوت که در امتداد مولد مشترک اندازه گیری می شود.

پایه اندازه گیری A طوری در مقابل دندانه قرار می گیرد که نشانه موجود در دستگاه تقریباً در نقطه ای مماس بر دندانه قرار گیرد .

دستگاه طوری تقسیمی می شود که فاصله بین A و C تقریباً برابر با گتم مبنا می باشد. پایه B برای ثابت ماندن دو پایه دیگر در موقعیت مورد نظر ساخته شده است. اگر گام ثابت باشد این اندازه گیری روی هر دندانه انجام شود مقدار قرائت شده یکسان خواهد بود .

شکل ۷-۱۹) دستگاه اندازه گیری گام مبنا از نوع T.M.C با اجازه چاپ از شرکت زورینخ MAAG GEAR (WHEEL

روش دیگری را می توان برای به دست آوردن خطای گام مورد استفاده قرار داد استفاده از دو ساعت اندازه گیری است به طوری که در شکل ۷-۲۰ نشان داده شده است.

شکل ۷-۲۰) استفاده از دو اسعت اندازه گیری برای تعیین خطای گتم در روش دندانه به دندانه (این روش در بخش ۷-۱۲-۱ شرح داده شد).

در این روش دو ساعت اندازه گیری روی دایه گام و مماس بر دو دندانه مجاور هم درست مثل آنچه که در شکل ۷-۲۰ نشان داده شده است قرار داده می شوند. چرخ دنده به طور متوالی و هر بار به اندازه گام چرخانده میشود و

ساعت های اندازه گیری تنظیم می گردند . مقدار تفاوت اعداد قرائت شده ای از ساعت اندازه گیری A و ساعت اندازه گیری B در خر مرحله نشانه خطای گام خواهد بود.

خطای حقیقی را می توان با کم کردن هر قرائت بدست آمده در ساعت اندازه گیری B از مقدار میانگین قرائت ها تعیین کرد.

۷-۱۲-۲ اندازه گیری خطای تقریبی گام

ساده ترین روش تعیین خطای گام عبارت است از تنظیم یک ساعت اندازه گیری در مقابل یک دندان از چرخ دنده و توجه به قرائت حاصل از آن است . اگر چرخ دنده چرخانده شود به اندازه گام زاویه ای قرائت حاصل از ساعت اندازه گیری در موقعیت دوم با مقدار اولیه تفاوت داشته باشد اختلاف بین آنها خطای ترکیبی گام خواهد بود . موضوع مهم در این روش آن است که بتوان چرخ دنده را دقیقاً به اندازه گام زاویه ای چرخاند. چرا که خطا در چرخش چرخ دنده رادیان $\delta\theta$ موجب خطایی به اندازه $R_p \times \delta\theta$ در گام می شود. (R_p شعاع دایره گام است). اگر زاویه ای که چرخ دنده تحت آن چرخانده می شود همواره یکسان باشد (لازم نیست که حتماً به اندازه گام زاویه ای چرخانده شود) خطای تولید شده قابل تصحیح می باشد اذین قبیل وسائل چرخشی در لابراتور ملی فیزیک تکمیل شد. شرکت دستگاههای سیگما این وسایل را با یک سیستم ظریف اندازه گیری گام ترکیب نمود. در شکل ۷-۲۱ یک نوع از این وسایل دیده می شود .

چرخ دنده روی دایک سنبه متصل به دیسک که می تواند به همراه دیسک بچرخد نصب می گردد یک بازوی سینوسی به طور هم مرکز با دیسک می چرخد . گیره A دیسک را به پایه و گیره B بازو را به دیسک قفل می کند. جهت چرخش چرخ دنده در ابتدا گیره A قفل می شود و بدین ترتیب دیسک و چرخ دنده به یکدیگر قفل می گردند.

شکل ۷-۲۱) یک وسیله چرخشی جهت تعیین خطاهای ترکیبی گام چرخ دنده
روش کار به این صورت است:

۱- وقتی که گیره B قفل نشده است بازوی سینوسی را بلند کرده و راپراتورهای مناسبی را روی پایه قرار دهید به طوری که بازوی سینوسی تحت زاویه θ بچرخد.

۲- سوزن بازوی سینوسی را روی راپراتورها قرار داده و گیره B را قفل کنید.

۳- گیره A را آزاد نموده و راپراتورهای را بردارید.

۴- بازوی سینوسی را به طرف پایین بچرخانید تا سوزن آن روی پایه قرار گیرد سپس گیره A را قفل نمایید. این فرایند تا زمانی که به وسیله ساعت اندازه گیری برای تمام دندانهای چرخ دنده یک قرائت به دست آید. وقتی به اولین دندانه رسیدیم یک قرائت دیگر برای آن بدست می آوریم. اختلاف بین اولین و آخرین قرائت بین قرائت های مابین آنها توزیع می گردد تا خطای ترکیبی گام روی هر دندانه حاصل شود. نتایج به دست آمده از یک آزمایش نمونه در جدول زیر ارائه شده است. در شکل ۷-۲۲ خطاهای هر دندانه به صورت گرافیکی رسم شده است.

بنابراین خطای ترکیبی گام بین دندانهای ۵ و ۱۵ و روی کمانی به اندازه $2\pi(10/20)$ رادیان ، ۷ (واحدهای ۰/۰۱ میلی متری)

شکل (۷-۲۲) نمودارهای مربوط به قرائت های بدست آمده از ساعت اندازه گیری و خطای ترکیبی توجه شده خطای دندانه دار به دندانه را می توان با کم کردن قرائت های بدست آمده از دو دندانه مجاور هم بدست می آید.

(۷-۱۳) آزمایش شکل اینولوت

اگر یک سیستم اندازه گیری با یک ساعت اندازه گیری ترتیب شود وسیله ای برای آزمایش مسیر یک اینولوت بدست می آید که سوزن این دستگاه (سنبه این دستگاه) به روی اینولوت قرار داده می شود. تغییر در شکل اینولوت به صورت تغییر در قرائت ساعت اندازه گیری تبدیل می شود. (با حرکت دستگاه به روی مسیر اینولوت.م) این وسیله در شکل ۷-۲۳ مختصراً نشان داده شده است. اگر لبه مستقیم در پیرامون دایره مبنا بدون هیچ لغزشی حرکت کند سنبه ساعت اندازه گیری یک منحنی اینولوت تولید شده از دایره مبنا را طی می کند. اگر دندانه از شکل صحیح

اینولوت پیروی کند. سنبه ساعت اندازه گیری که دندان را می پیماید باعث می شود تا عقربه از موقعیت صفر جابجا شود توجه کنید که خطاها عمود به شکل دندان ها یعنی در امتداد راستای لبه مستقیم اندازه گیری می شوند. بنابراین بدیهی است که این وسیله موفق عمل خواهد کرد. (چرا که ساعت

وقتی که گیره B قفل نشده است بازوی سینوسی را بلند کرده و راپتور های مناسبی روی پایه قرار دهید.

بطوریکه بازوی سینوسی تحت زاویه θ بچرخد.

(۲) سوزن بازوی سینوسی را روی راپراتورها قرار داده و گیره B را قفل کنید.

(۳) گیره A را آزاد نموده و راپراتور ها را بردارید.

(۴) بازوی سینوسی را به طرف پائین بچرخانید تا سوزن آن روی پایه قرار گیرد سپس گیره A را قفل نمایید. این فرآیند تا زمانی که بوسیله ساعت اندازه گیری برای تمام اندازه های چرخنده یک قرائت بدست آید. وقتی به اولین دندان رسیدیم یک قرائت دیگر برای آن بدست می آوریم. اختلاف بین اولین و آخرین قرائت بین قرائتهای مابین آنها توزیع می گردد تا خطای ترکیبی گام روی هر دندان حاصل شود. نتایج بدست آمده از یک آزمایش نمونه در جدول زیر ارائه شده است.

در شکل ۲۲-۷ خطاهای هر دندان به صورت گرافیکی رسم شده است.

بنابراین خطای ترکیبی گام بین دندان های ۵ و ۱۵ و روی کماتی به اندازه $2h(10/20)$ رادیان، ۷ واحد های $(0/01)$ میلی متری اندازه گیری با دندانه بعدی برخورد می کند. م) بنابراین مصلحت این است که از آن استفاده شود با این حال این وسیله مبنای ساخت بیشتر وسایل آزمایش کننده شکل اینولوت می باشد.

شکل ۲۳-۷) اصول آزمایش شکل اینولوت

شکل ۲۴-۷) شکل یک تستر (آزمایش کننده) شکل اینولوت دیوید برون

معمولاً چرخنده روی یک دیسک که قطرش بطور دقیقی برابر با قطر تئوری دایره مبنا (D_b) می باشد نصب می گردد.

$$D_b = Dc\delta\psi = NMc\delta\psi$$

یکی از دستگاههایی که این روش را بکار می برد تستر دیوید برون است که در شکل ۲۴-۷ نشان داده شده است. در این وسیله سوزن دستگاه دقیقاً در کنار دندان موردنظر و در بالای لبه مستقیم تنظیم می گردد. سوزن روی یک کشوی دارای ساچمه با مقطع وی شکل/ تخت، نصب شده است. تا به این ترتیب مجبور به حرکت در موازات لبه مستقیم باشد. بنابراین حرکت های کشوی اندازه گیری که بوسیله ساعت اندازه گیری می شوند در حقیقت خطای

شکل اینولوت می باشد که در امتداد لبه مستقیم یعنی عمود بر شکل اینولوت اندازه گیری می شوند برای جلوگیری از ایجاد حرکت لغزشی همانطور که در شکل دیده می شود از حرکت جانبی یک میلگرد که در پشت دستگاه قرار دارد استفاده می شود.

(۷-۱۴) خطاهای مجاز در ش چرخنده های ساده

خطاهای مجاز ذکر شده در B.S. ۱۹۴:۴۳۶ بر مبنای یک فاکتور تolerانس (δ) قرار دارد که عبارت است

از: $\delta = \left[\frac{(N+6)M}{10} + 1 \right]$ تنها نشانه دیگری که در رابطه با خطاهای ترکیبی گام می باشد و هنوز در مورد آن

بحث نشده است. L_a می باشد که طول کمائی از دایره گام است که خطای ترکیبی در آن وجود دارد با مراجعه به بخش ۷-۱۳ خواهیم داشت:

$$R_p = \frac{n}{N} \times 2\pi \text{ (رادیان)} \quad L_a = \frac{n}{N} \times 2\pi \times \frac{NM}{2} = nm\pi \times$$

وجود دارد، N = تعداد دندانه های چرخنده و M = مدول در B.S. ۴۳۶ جدولی از خطاهای مجاز برای ضخامت دندانه ها، گام و پروفیل (مقطع طولی چرخنده بر حسب δ و L_a ارائه شده است. این جداول که به همراه مقادیر محاسبه شده δ و L_a می باشند استفاده کننده را قادر می سازد تا تolerانسهای حقیقی را محاسبه نماید.

پایان فصل ۷

فصل هشتم

اندازه گیری رزوه های پیچ

(۸-۱) مقدمه

آزمایشات موجود در B.S. ۸۴ (که در باره تolerانسهای رزوه های یک پیچ تجارتي می باشد) نشان می دهند که تolerانسهای پیچ نسبتاً بزرگ هستند این قبیل پیچها معمولاً با کاربرد گیجهای خدی که در فصل ۵ شرح داده شدند بازرسی و معاینه می شوند اما رزوه های معین باید دارای تolerانسهای دقیقتری باشند این مطلب بخصوص باید برای گیجهای خدی که جهت معاینه رزوه های پیچ بکار می روند اجرا شود. رزوه های این گیجهای باید اندازه گیری شوند تا معین گردد که آیا آنها دارای دقت مورد نظر هستند یا خیر و بدین ترتیب رزوه های خوب را از رزوه های بد جدا کرد. اندازه گیری یک رزوه پیچ جدای از گیج کردن آن (سنجش با یک گیج خدی) می باشد و میتواند بی نهایت پیچیده باشند در اندازه گیری رزوه های یک پیچ همانطور که نشان داده خواهد شد بخشهای بسیاری باید مورد اندازه گیری قرار گیرند که بعضی از آنها در ارتباط با هم هستند. یک رزوه وی شکل اساساً از بخشهای زیر تشکیل می گردد:

(۱) قطر اصلی یا خارجی (۲) قطر فرعی یا قطر ریشه (۳) شکل خصوصاً زوایای دامنه (۴) گام (۵) قطر مؤثر ساده

این بخشها در شکل ۸-۱ نشان داده شده اند.

شکل (۸-۱) بخشهای یک پیچ وی شکل توجه شود که رزوه های متریک و یونیخای (یکنواخت شده) دارای نوکهای تخت و ریشه های شعاع دار می باشد.

قابل ذکر است که زاویه دامنه گام و قطر مؤثر ساده تحت عنوان قطر مؤثر مجازی در یک گروه قرار می گیرند. در فصل ۵ روشن شد که خطا هم گام یا زاویه دامنه باعث تغییر در قطر مؤثر می شوند بنابراین قطر مؤثر مجازی یک رزوه همان قطر سازه مؤثر اصلاح شده بوسیله تصحیح خطاهای گام و خطاهای زاویه دامنه می باشد لازم به ذکر است که قطر مؤثر مجازی مهمترین اندازه یک گیج رزوه های پیچ است.

۸-۲) اندازه گیری قطر اصلی

قطر اصلی یک پیچ عبارت است از قطر یک استوانه فرضی که شامل تمام نقاط روی نوک رزوه ها می باشد. (بعبارت دیگر مکان هندسی نوک تمام رزوه ها است.م) این قطر را می توان با یک میکرومتر رومیزی که در شکل ۸-۲ نشان داده شده است اندازه گیری کرد.

شکل (۸-۲) میکرومتر رومیزی $50^{mm} - 0$ (با اجازه چاپ از شرکت وسایل سیگما) این وسیله توسط لابراتوار ملی فیزیک و به منظور حذف عیوب ذاتی میکرومتر دستی معمولی طراحی شده است این عیوب عبارتند از:

۱) تغییرات فشار اندازه گیری (۲) خطای گام د رزوه میکرومتر

در این دستگاه سندان ثابت با یک فشار سنج قابل اطمینان عوض شده است بطوریکه می توان همه اندازه گیری ها را تحت یک فشارمعین انجام داد این فشارسنج دارای یک تنظیم کننده موقعیت می باشد که بدین وسیله محدوده اندازه گیری دستگاه افزایش داده می شود. این دستگاه را می توان بعنوان یک کمپراتور بکار برده و در نتیجه باید بطور استاندارد تنظیم شوند. از آنجا که رزوه میکرومتر دارای طول انتقال کوتاهی است (یعنی برای انجام هر قرائت میله رزوه شده میکرو مرت طوری اخته شده است که حرکت محوری آن تا حد امکان کوچک باشد-م) هر خطای گام که در میکرومتر وجود داشته باشد حذف خواهد شد.

تنظیم استاندارد این وسیله را می توان به وسیله یک راپراتور انجام داد اما بهتر است که از یک استوانه تنظیم کالبیره شده استفاد شود چرا که در این صورت سندانهای میکرومتر جهت قرائت دارای سطح تماس بزرگتری

خواهند بود. ابتدا قرائتهایی را بطور مستقیم از روی روزه ها بدست می آوریم سپس قرائتهای دیگری را پس از قراردادن استوانه تنظیم بر روی روزه ها انجام می دهیم در نهایت اختلاف بین این قرائتها تفاوت اندازه استوانه و روزه می باشد (در صورت عدم خطا این اختلافها باید با هم برابر باشند-م) اگر این اختلاف به قطر استوانه تنظیم اضافه گردد قطر اصلی روزه بدست خواهد آمد. اگر $D_e =$ قطر کالبیره شده استوانه تنظیم و $R_c =$ قرائت میکرومتر روی استوانه تنظیم و $R_t =$ قرائت میکرومتر روی روزه باشد آنگاه:

$$D_e + (R_t - R_c) = \text{قطر اصلی}$$

این اندازه گیری باید در سه موقعیت روی امتداد روزه تکرار شود تا از عدم مخروطی بودن استوانه روزه ها اطمینان حاصل گردد. بهتر است که این اندازه گیریها در سه موقعیت زاویه ای حول استوانه نیز تکرار شوند تا عدم بیضی واری نیز مشخص گردد.

۳-۸) اندازه گیری قطر فرعی

قطر فرعی عبارتست از قطر یک استوانه فرضی که شامل تمام نقاط روی ریشه روزه می باشد (مکان هندسی ریشه های روزه ها-م) این پارامتر را نیز می توان مشابه روش بکاربرده شده در بخش هشتم اندازه گیری کرد. منتها این بار برای تماس مناسب با ریشه روزه ها باید از منشورهای فولادی سخت شده و سنگ زده شده مشابه آنچه در شکل ۳-۸ نشان داده شده است استفاده کرد.

شکل ۳-۸) کاربرد منشور ها در اندازه گیری قطر فرعی

همانطور که دیده می شود بخاطر مارپیچ بودن روزه ها در اثر نیروی فشار اندازه گیری F کوپلی معادل $F \times \frac{P}{r}$ ایجاد می شود که P گام روزه ها است این کوپل باعث می شود که روزه ها باندازه زاویه ای که به گام بستگی دارد بچرخند و در نتیجه یک قرائت غلط حاصل گردد برای رفع این مشکل اندازه گیری بوسیله دستگاهی که در شکل ۴-۸ نشان داده شده است انجام می شود

شکل ۴-۸) ماشین اندازه گیری قطر با سوپرت متحرک (با اجازه چاپ از شرکت Gauge Tool) در این دستگاه روزه ها بین دو مرغک قرار داده می شوند بطوریکه در فضا حالت شناور دارند سپس میکرومتر رومیزی که سندانهای آن عمود بر محور مرغک ها می باشند توسط یک کشوی با مقطع وی شکل (از همان نوعی که در فصل ۳ شرح داده شد) حرکت داده شده و اندازه گیری قطری را انجام می دهند همانطوری که گفته شد در اندازه گیری قطر فرعی از منشورهای فولادی (شکل ۳-۸) استفاده می شود.

این منشورها باید در امتداد سندانهای میکرومتر قرار گیرند در اینصورت:

$$D_C + (R_t - R_c) = \text{قطر فرعی}$$

مثل حالت قبل برای اطمینان از عدم مخروطی بودن و بیضی واری استوانه رزوه ها بهتر است که این اندازه گیری در سه موقعیت تکرار شود.

۸-۴) اندازه گیری شکل رزوه ها

مهمترین این اندازه گیری که روی رزوه های یک پیچ انجام می شود اندازه گیری زوایای دامنه آنها می باشد زاویه دامنه عبارتست از زاویه بین بخش مستقیم کناره رزوه و خط عبور محور رزوه ها، زوایای دامنه در رزوه های بزرگ با روشهای تماسی قابل اندازه گیری است ولی معمولاً تنها روش عملی اندازه گیری کاربرد تجهیزات اپتیکی می باشد. بوسیله این تجهیزات می توان تصویر زاویه دامنه را روی یک پرده تشکیل داده و سپس آن را مورد اندازه گیری قرار داد همچنین می توان این کار را با میکروسکوپی که دارای کله گی زاویه سنج می باشد انجام داد.

۸-۴-۱) تصویر رزوه پیچ:

ساده ترین و احتمالاً مؤثرترین تصویر کننده برای این کار تصویر کننده N.P.L می باشد که در لابراتوار ملی فیزیک کامل شده است. این دستگاه شامل یک محفظه لامپ است که خروجی اپتیکی آن شامل یک عدسی متراکم کننده (کننداسور) می باشد این عدسی جهت تولید یک روشنایی یکنواخت در خروجی محفظه لامپ تعبیه شده است. جسمی را که می خواهند تصویر کنند در موقعیتی بین دو عدسی متراکم کننده و عدسی تصویر (Projecting) قرار می دهند و تصویر بزرگ شده را روی پرده می اندازند (شکل ۸-۵) جهت بدست آوردن بزرگ نمایی مورد نظر دستگاه تصویر کننده در روی ریل های عمود پرده قابل حرکت است. همچنین موقعیت قطعه کار نسبت به عدسی تصویر به منظور متمرکز نمودن تصویر قابل حرکت دادن است این حرکت متمرکز کننده را می توان با ترکیب مناسبی از سیمها و پولیها انجام داد.

شکل ۸-۵) اندازه گیری رزوه های یک پیچی که روی پرده تصویر شده اند.

بدین ترتیب یک تصویر بی نهایت دقیق، در روی پرده ایجاد می گردد نکته جالب توجه درباره این دستگاه آن است که برای قراردادن پیچ مورد آزمایش در دستگاه، مرغکهای تعبیه شده است و می توان آنها را از خطوط عمود به محور اپتیکی منحرف نمود. با این کار از ایجاد تداخل در تصویر حاصل جلوگیری می شود. این مطلب در شکل ۸-۶ بطور اغراق آمیزی نشان می دهد.

شکل ۸-۶) تصویر کردن رزوه هایی پیچ در حالتی که پرتو نوری عمود بر محور رزوه ها می باشد موجب تداخل در تصویر می گردد (a). چرخش رزوه ها تحت زاویه مارپیچ از تداخل جلوگیری می کند اما باعث کوتاه شدن گام و بدشکل شدن پروفیل رزوه ها می شود (b).

با چرخاندن رزوه ها تحت زاویه مارپیچ آنها اشعه های نور به موازات رزوه ها خواهند تابید اما در این صورت تصویر ایجاد شده در روی پرده کمی کوچکتر از اندازه خواهد شد این شکل نیز با جابجا کردن محفظه لامپ تحت زاویه مارپیچ رزوه ها حل خواهد شد بطوریکه اشعه های نور برای عبور از رزوه ها به عدسی چشمی مانعی نخواهد داشت توجه شود که در این حالت عدسی و پرده با عبور رزوه موازی هستند و در نتیجه اثر کوتاه شدن (کوتاه شدن تصویر در اثر چرخاندن رزوه ها به اندازه مارپیچ - م) حذف می شود.

پس از تشکیل تصویر روی پرده جهت اندازه گیری تصویر دنده ها از یک نقاله استفاده می شود که روی لبه ای از پرده نصب شده است. نقاله طوری نصب شده است که به موازات تصویر نوکها و ریشه های رزوه ها باشد با فرض اینکه با محور رزوه ها نیز موازی است می توان از آن برای اندازه گیری تصویر استفاده کرد. (شکل ۵-۸)

۲-۴-۸) اندازه گیری میکروسکوپی زاویه دامنه

زاویه دامنه رزوه را می توان با یک میکروسکوپ که دارای کله گی زاویه سنج است اندازه گیری کرد این میکروسکوپ متشکل از یک پرده شیشه ای تمیز است که در صفحه کانونی عدسی چشمی قرار دارد.

در روی این پرده شیشه ای خطوط مبنایی قرار دارند ضمناً می توان این پرده را به اندازه 360° چرخاند زاویه چرخش بطور مستقیم تا یک دقیقه و بطور تخمینی تا کسری از یک دقیقه قابل اندازه گیری است. رزوه های مورد نظر روی مرغکهایی نصب شده و از زیر روشن می گردد. میکروسکوپ در بالای رزوه طوری نصب می شود تا بتواند برای قرار گرفتن در امتداد مارپیچهای رزوه و جلوگیری از ایجاد تداخل در تصویر بچرخد. این مطلب در شکل ۸-۸ نشان داده شده است. مرغکها روی کشویی نصب می شوند که آنها را قادر می سازند تا به مقدار مساوی و با دقت 0.02 mm (بطرف یکدیگر - م) حرکت کنند این مرغکها و کشوها نیز بهروی یک مسیر قابل دوران قرار داده شده است.

در عمل میکروسکوپ بر روی محور رزوه ها متمرکز می شود آنگاه برای جلوگیری از تداخل میکروسکوپ به اندازه زاویه مارپیچ چرخانده می شود.

شکل ۷-۸) اگر محور رزوه ها و پرده موازی باشند با حرکت دادن منبع نور به اندازه زاویه مارپیچ از تداخل جلوگیری می شود در این حالت تغییر شکل رزوه ها در تصویر بدست آمده به حداقل خواهد رسید.

خطوط مبنا در کله گی میکروسکوپ در صفر تنظیم می گردد و میز آنقدر چرخیده می شود تا نوکهای تصویر رزوه بر خط مبنی افقی منطبق شوند سپس میز منتقل می گردد و خطوط مبنا در چشمی میکروسکوپ آنقدر چرخانده می شود تا بر دامنه رزوه ها منطبق گردند سپس زاویه دامنه از روی درجه بندی چشمی خوانده می شود این وسیله

از جمله دستگاههای است که معمولاً همراه یک میکروسکوپ tool marker وجود دارد. قرائتها و تنظیم ها را می توان یا به وسیله چشمی میکروسکوپ یا با تشکیل دادن تصویر در روی پرده و مطابق با آنچه در شکل ۸-۹ نشان داده شده است انجام داد. لازم به ذکر است که محور اپتیکی بر محور رزوه عمود نیست و در نتیجه ممکن است تغییر شکلهای دیگری نیز در تصویر ایجاد شوند با این حال این تکنیک در عین سادگی دارای نتایج دقیقی می باشد در هر روشی که بکار رود باید میزان خطاها هم در دامنه طرف راست و هم دامنه طرف چپ رزوه تعیین شوند چرا که هرکدام از آنها ممکن است موجب تداخل شوند و یا اینکه موجب تغییر در قطر مؤثر رزوه تحت آزمایش گردند.

۳-۴-۸) تأثیر خطاهای زاویه دامنه

در شکل ۸-۱۰ قسمت a یک رزوه وی شکل را مشاهده می کنید که نوکها و ریشه های آن تخت باشند در این رزوه ها گام صحیح می باشد اما در یک پهلوی خطا موجود است. اگر خطا مثبت باشد در رزوه تغییر شکلی ایجاد می گردد مطابق با آنچه که در بالای خط گام در شکل دیده می شود. و اگر خطا منفی باشد این تغییر شکل مطابق با تغییر شکلی است که در شکل ۸-۱۰ (a) در زیر خط گام نشان داده شده است.

شکل ۸-۱۰ (a) نمایش تغییر شکل در شکل یک پیچ که در اثر ایجاد و یک خطا در زاویه دامنه دار ($\delta\theta$) ایجاد شده است.

در هر مورد اگر بخواهیم از خطا جلوگیری کنیم در یک پیچ خارجی باید قطر مؤثر را افزایش دهیم در این صورت نم قطری لازم δE_d خواهد بود با بزرگ کردن بخش بالایی یکی از این رزوه ها که در شکل ۸-۱۰ (b) رسم شده است می توان δE_d را به راحتی تعیین کرد شاید به نظر برسد که نمو قطری $2\delta E_d$ می باشد ولی چنین نیست چرا که وقتی قطر افزایش می یابد یک حرکت محوری تولید می شود (در صورتی که دامنه های مقابل همچنان با هم تماس داشته باشند) بنابراین افزایش ظاهری نصف می شود و افزایش خالص در قطر مؤثر δE_d خواهد بود و با مراجعه به.

$$\frac{GD}{ED} = \sin\theta \therefore ED = \frac{GD}{\sin\theta} \quad \text{شکل ۸-۱۰ (b) :}$$

اگر $\delta\theta$ کوچک بوده و برحسب رادیان باشد:

$$\frac{GD}{AD} = \frac{GD}{AC} = \delta\theta \therefore GD = AC\delta\theta \quad \text{و} \quad ED = \frac{\delta\theta}{\sin\theta} \cdot AC$$

شکل (۸-۸) اندازه گیری میکروسکوپی زوایای دامنه

شکل (۸-۹)

ولی: $\frac{AB}{AC} = C\delta\theta \therefore AC = \frac{AB}{G\theta}$ اما AB نصف عمق رزوه (h) است:

$$\therefore ED = \frac{h}{r} \frac{\delta\theta}{C\delta\theta \sin \theta} = \frac{h\delta\theta}{\sin r\theta}$$

که θ = زاویه اسمی دامنه، $\delta\theta$ = خطای زاویه دامنه برحسب رادیان h = عمق رزوه بررسی شده تنها در بخش مستقیم دامنه.

با ایجاد یک تصحیح مشابه در دامنه مقابل خواهیم داشت:

$$\delta E_d = \frac{h}{\sin r\theta} (\delta\theta_l + \delta\theta_r)$$

که $\delta\theta_l$ و $\delta\theta_r$ بیشترین خطاهای زاویه دامنه و در دامنه های دست راست و دست چپ برحسب رادیان می باشند. با بکارگیری این معادله برای رزوه ویت ورث مقدار h را می توان برحسب گام مشخص کرد با توجه به شکل ۸-۱۱ مقدار θ معلوم است و $\delta\theta_l$ و $\delta\theta_r$ از رادیان به درجه تبدیل می شوند. از شکل ۸-۱۱ $r = 0.1373P$

$$h = 0.6403p - r + rBC \text{ و } \sin \theta = \frac{BC}{AB} \therefore BC = r \sin \theta \quad \text{و داریم:}$$

$$\therefore h = 0.6403p - r + r \sin \theta \quad \theta, r \quad \text{با جایگزینی}$$

$$\Rightarrow h = 0.6403p - 0.2746p(1 + 0.6417) = 0.4924p$$

اگر این مقدار h در فرمول تغییر در قطر مؤثر قرار داده شود خواهیم داشت:

$$\delta E_d = \frac{0.4924P}{\sin r\theta} (\delta\theta_l + \delta\theta_r)$$

که $\theta = 27/5^\circ$ (زاویه دامنه) که $\delta\theta_l$ و $\delta\theta_r$ برحسب رادیان هستند و باید به درجه تبدیل شوند:

$$\therefore \delta E_d = \frac{0.4924p}{0.1192} (\delta\theta_l + \delta\theta_r) \times \frac{2\pi}{360} \quad \delta E_d = 0.105p(\delta\theta_l + \delta\theta_r)$$

معادلات مشابهی را می توان برای رزوه نهایی یا شکلهای دیگر به صورت زیر بدست آورد:

$$\delta E_d = 0.0091p(\delta\theta_l + \delta\theta_r) \quad \text{برای رزوه های } B.A (27/5^\circ)$$

$$\delta E_d = 0.0048P(\delta\theta_l + \delta\theta_r) \quad (60^\circ) \quad \text{برای رزوه های یونی فای (یکنواخت-م)}$$

$$\delta E_d = 0.115P(\delta\theta_l + \delta\theta_r) \quad (60^\circ) \quad \text{برای رزوه های متریک}$$

باید یادآوری شود که مقادیر $\delta\theta_l$ و $\delta\theta_r$ خطاهای زاویه دامنه برحسب درجه و P گام اسمی رزوه مورد اندازه گیری می باشند.



۵-۸) خطاهای گام در رزوه های پیچ

اگر یک رزوه پیچ با یک ابزار تراش تک لبه تولید شود کاهش بستگی دارد به اینکه (۱) نسبت به سرعت خطی ابزار و سرعت زاویه ای قطعه کار صحیح باشد. (۲) این نسبت ثابت باشد. اگر بین دو مورد برقرار نباشد آنگاه خطاهای گام پدیدار خواهند شد، نوع خطا بستگی به این دارد که کدامیک از دو مورد فوق برقرار نشده است، در هر دو صورت خطای گام موجب بیش از حد بزرگ شدن یا بیش از حد کوچک شدن طول درگیری رزوه می گردد. به این خطا، خطای ترکیبی گام می گویند. این خطا را می توان از دو طریق معین کرد: (۱) با اندازه گیری خطای هر رزوه و اضافه کردن جبری آنها به یکدیگر (با توجه به علامت هر خطا) (۲) اندازه گیری کل طول رزوه شده (از یک مبدأ مناسب) در هر رزوه و کم کردن آن از مقدار اسمی.

۵-۸-۱) انواع خطای گام

۵-۸-۱-۱) خطای گام پیشرو (پیشرفت کننده -م)

شکل ۸-۱۰ (b) نمای بزرگ شده از رزوه یک پیچ که دارای خطای زاویه دامنه $\delta\theta$ می باشد نمو

حقیقی قطر مؤثر عبارت است از: $\delta E_d = DE$

شکل ۸-۱۱) شکل رزوه ویت ورث که در آن $r = 0.1373P$ و $\theta = 27/5^\circ$

این خطا وقتی اتفاق می افتد که نسبت سرعت ابزار - قطعه کار، ثابت اما نادرست است این خطا ممکن است از کاربرد یک مجموعه چرخ دنده نادرست با یک مجموعه چرخدنده تقریبی بین قطعه کار و پیچ راهنمای ماشین ابزار بوجود آید. مثل زمانی که یک رزوه متریک بدون وجود هیچ چرخ دنده انتقالی

(در جهت تبدیل متریک به اینچی یا برعکس) با یک پیچ راهنمای اینچی تولید گردد. بطور کلی این خطا در اثر وجود خطای گام در پیچ راهنمای ماشین تراش یا ماشینهای تولیدی دیگر ایجاد می شود. اگر به فرض خطای گام در یک رزوه δP باشد خطای ترکیبی گام در سرتاسر رزوه $n \times \delta p$ می باشد که n تعداد رزوه های تحت بررسی است. بنابراین نمودار خطای ترکیبی گام بر حسب طول رزوه یک خط مستقیم خواهد بود (شکل ۸-۱۲ قسمت a)

شکل ۸-۱۲) خطای گام پیشرو (a) خطای گام پیروی (b)

۵-۸-۱-۲) خطای گام پیروی

این نوع خطا زمانی اتفاق می افتد که نسبت سرعت ابزار - قطعه کار، ثابت نیست این خطا ممکن است در اثر وجود خطاهای گام در چرخدنده های متصل کننده قطعه کار به پیچ راهنما یا حرکت محوری پیچ راهنما (که در اثر فرسودگی سطوح پشیران بوجود می آید) تولید گردد. این قبیل حرکتها بر حرکت طبیعی ابزار تحمیل شده و روی



قطعه کار ظاهر می گردند، واضح است که خطاهایی از این دست پریودی هستند یعنی گام بین یک مقدار ماکزیمم و یک مقدار مینیمم در نوسان خواهد بود بطور تقریبی نموداریک خطای پریودی سینوسی خواهد بود (شکل ۱۲-۸ (b) حداکثر خطای ترکیبی گام مقدار پیک تا پیک این نمودار می باشد).

۳-۵-۸) مشتقی رزوه ها (Tread Drunkenness)

یک رزوه مست شده یک حالت خاص از خطای گام پریودی می باشد که در فواصلی به اندازه یک گام ظاهر می گردد. این بدان معنی است که مقدار گام، هنگامی که به موازات محور رزوه ها اندازه گیری می شود همواره صحیح خواهد بود و علت بوجود آمدن این خطا در درست تراشیده نشدن مارپیچ رزوه است. در این صورت گسترده مارپیچ رزوه ها یک منحنی خواهد بود نه یک خط مستقیم. تعیین این قبیل خطاها بی نهایت مشکل است و بجز در رزوه های بزرگ اثر چندانی بر رزوه ها نخواهد داشت.

۲-۵-۸) اندازه گیری خطای گام

قطعه نظر از خطای ذکر شده در بخش فوق (۳-۵-۸) خطاهای گام را می توان با بکارگیری یک ماشین اندازه گیری گام تعیین کرد. این ماشین در شکل ۱۳-۸ نشان داده شده است. (بطور خلاصه) لازم به ذکر است که طراحی آن در لابراتوار ملی فیزیک انجام شده است.

شکل ۱۳-۸) بکارگیری یک اندیکاتور ثابت در ماشین اندازه گیری گام

همانطور که دیده می شود دستگاه دارای سوزنی با یک نوک گرد شده می باشد که تقریباً در خط گام با رزوه ها درگیر می شود و در اثر این درگیری عقربه یک اندیکاتور ثابت بکار می افتد رزوه ها بطور محوری نسبت به سوزن حرکت می کند و سوزن از طریق یک میکرومتر روی نوک رزوه ها قرار می گیرد هر وقت که عقربه اندیکاتور از مقابل نشانه ثابت جابجا شود، عددی را که میکرومتر نشان می دهد ثبت می کنند. مکانیزم این دستگاه در عین سادگی بسیار جالب است سوزن دستگاه روی یک بلوک از طریق یک شمعک و یک نوار فلزی باریک روی بلوک دیگری تکیه داده شده است نصب می گردد بنابراین سوزن می تواند با حرکت موازی شمعک و نوار روی رزوه ها به عقب و جلو برود وقتی سوزن در بین رزوه ها قرار می گیرد و رزوه ها حرکت داده می شوند از طرف دامنه رزوه ها که در طرفین سوزن قرار دارند دو فشار p_1, p به سوزن وارد می شود.

در صورتیکه این دو فشار با هم برابر نباشند نوار پیچ خورده و بلوک ر حول شمعک می چرخاند و در نتیجه بازوی هنگامی با حرکت دادن میله لنگ متصل به عقربه، عقربه را می چرخاند بنابراین عقربه تنها زمانی در مقابل میکرومتر دستگاه و نیز خطایی وجود داشته باشد از یک میله تصحیح بادامکی شکل برای رفع آنها استفاده می شود. با توجه و دقت کافی در حین کار می توان به دقتی تا 0.002^{mm} نیز دست یافت.

اگر گامهای روزه تا رزوه احتیاج باشند کافی است هر قرائت میکرومتر از قرائت بعدی کم شود. بیشتر تمایل به تعیین خطاهای ترکیبی گام می باشد که این کار را نیز می توان به سادگی و با ثبت قرائتهای میکرومتر کم کردن آنها از مقدار قرائت پیش بینی شده انجام داد. در صورتیکه محور رزوه ها با محور مرغکهایی که رزوه ها روی آنها سوار شده مطابق نباشد اندازه گیری دوباره تکرار می شود که در مرحله دوم رزوه ها به اندازه 180° چرخانده می شوند. در اینصورت میانگین دوقرائت بدست آمده (که معمولاً بصورت گرافیکی معین می شود) بعنوان خطای گام به کار می رود.

۳-۵-۸) اثر خطاهای گام

اگر یک رزوه خطای گام داشته باشد این رزوع فقط داخل مهر ای می شود که دارای شکل و گام مشابه با رزوه بوده ولی خارج از اندازه ساخته شده است. این مطلب هم برای خطای گام مثبت و هم برای خطای گام منفی صادق است پس اگر در یک گیج لویی پیچ خطای گامی وجود داشته باشد گیج قطعه کار را در نزدیک یهای حد پائین اندازه خود رد می کند. (آن را قبول نمی کند- م) در شکل ۸-۱۴ (a) رزوه هایی را مشاهده می کنید که دارای خطای ترکیبی گام به اندازه δP به روی تعدادی از رزوه ها می باشد یعنی طولش عبارت است از $np + \delta p$ اگر این قبیل رزوه ها با یک مهره دارای شکل و گام کاملی است درگیر شوند این درگیری بصورتی خواهد بود که در شکل ۸-۱۴ (a) نشان داده شده است. (در شکل ۸-۱۴ (b) بخشی از دامنه یک رزوه درگیر) که در شکل ۸-۱۴ (a) در داخل یک دایره قرار داده شده است-م) با نمایی بزرگتر دیده می شود با توجه به این شکل داریم:

شکل ۸-۱۴ (a) پیچی که دارای خطای ترکیبی گام δp بوده و با یک مهره که دارای شکل و گام کامل است درگیر شده است.

شکل ۸-۱۴ (b) نمای بزرگ شده A

$$\tan \theta = \frac{\frac{\delta p}{r}}{\frac{\delta E_d}{r}} = \frac{\delta p}{\delta E_d} \therefore \delta E_d = \delta p = r \tan \theta$$

که δp خطای ترکیبی گام در طول درگیر شده و δE_d مقدار افزایش معادل لازم در قطر مؤثر به جهت جبران این خطا می باشند. این مطلبی به خصوص هنگامی که یک رزوه ویت ورث بررسی می شود اهمیت بسیاری دارد. در رزوه ویت ورث زاویه دامنه (θ) $27/5^\circ$ می باشد و $1/92 = \tan 27/5^\circ$. در نتیجه:

برای رزوه های ویت ورث $\delta E_d = 1/12 \delta P$

برای رزوه های متریک $\delta E_d = 1/12 \delta p$

بنابراین هنگامی افزایش معادل در مقدار مؤثر محاسبه می شود در یک رزوه ویت ورث خطای گام تقریباً دو برابر می گردد. به این ترتیب یک گیج توپریه پیچ که دارای خطای ترکیبی گام 0.06^{mm} است. تمام قطعه کارهایی از نوع رزوه ویت ورث هستند. و اندازه آنها حدوداً 0.12^{mm} بیشتر از حد پائینی گیج است و تمام قطعه کارهایی را که از نوع رزوه متریک هستند و اندازه آنها (قطر مؤثر آنها) به اندازه 0.1^{mm} بیشتر از حد پائینی گیج می باشند را رد می کند (قبول نمی کند).

۸-۶) اندازه گیری قطر مؤثر ساده

قطر مؤثر ساده یک رزوه پیچ عبارت است از قطر یک استوانه فرضی هم محور با محور رزوه که رزوه را طوری قطع می کند که فاصله بین هر جفت دامن های مجاور و نامجاور نصف گام می باشد این موضوع در شکل ۸-۱۵ به نحو ساده ای نشان داده شده است.

اندازه گیری قطر مؤثر ساده روی ماشینی که در بخش ۸-۲ شرح داده شده انجام می گردد. منتها در اینجا منشورها جای خود را به مفتول های فولادی یا استوانه هایی با ابعاد معین می دهند. معمولاً بیشتر کارخانه های تولیدکننده تجهیزات اندازه گیری این قطعات را کالیبره کرده و به بازار عرضه می نمایند. به مانند روشی که در قطر فرعی بکار گرفته شد در اینجا نیز دو قرائت انجام می شود. ابتدا بوسیله استوانه های بست ساند یک قرائت از استوانه تنظیم (در مورد این استوانه به هنگام اندازه گیری قطر اصلی و قطر فرعی پیچ توضیحات لازم داده شده است.م) بدست می آید سپس در مرحله بعدی این استوانه ها با رزوه مورد نظر در گیر شده و مثل حالت قبل بوسیله میکرومتر قرائت دیگری حاصل می گردد. اختلاف بین این دو قرائت برابر است با اختلاف بین قطر استوانه تنظیم و فاصله آن در زیر استوانه های درگیر شده با رزوه قرارداد می باشد شکل هندسی ۸-۱۵ این مطلب را بطور واضح نشان می دهد. از این شکل جهت بدست آوردن معادله مورد نیاز برای محاسبه قطر مؤثر ساده استفاده می شود. از شکل ۸-۱۵ داریم:

شکل ۸-۱۵ محاسبه قطر مؤثر ساده

$$Ed = T + 2x$$

در مثلث ABC. $tg \theta = \frac{BC}{AB}$ در نتیجه $AB = BC \cot \theta$ با توجه به تعریف قطر مؤثر شده:

گام $BC = \frac{1}{4}$ در نتیجه (۱) $AB = \frac{1}{4} \omega t \theta$ د مثلث ADE ، $\sin \theta = \frac{DE}{AE}$ پس $AE = \frac{d}{4} \omega \sec \theta$

حالا (۳) $x = AB = AF$ و $AF = AE - FE$ ولی EF نیز مساوی است با $\frac{d}{4}$ پس

$$AF = \frac{d}{4} \omega \sec \theta - \frac{d}{4} \quad \text{یا} \quad (۲) \quad AF = \frac{d}{4} (\omega \sec \theta - 1) \quad \text{با قراردادن ۲ و ۱ در ۳ برای یافتن } x \text{ داریم.}$$

$$x = \frac{p}{4} \omega t \theta - \frac{d}{4} (\omega \sec \theta - 1)$$

$Ed = T + 2x$ و جمله $2x$ برای هر رزوه معین ثابت است و اگر مقادیر اسمی گام و زاویه دامنه بکار روند (در صورتی که از مفتوب بست سایز برای آنها استفاده شود.م)

$$\therefore P = 2x + \frac{p}{4} \omega t \theta = (\omega \sec \theta - 1)d$$

که $T =$ بعد اندازه گیری شده استوانه هاست.

$$\therefore Ed = T + P$$

$$P = \frac{p}{4} \omega t \theta = c \omega \sec \theta - 1) d \quad \text{که } P \text{ گام اسمی } d = \text{ قطر سیم (یا استوانه - م)} \quad \theta = \text{ زاویه اسمی دامنه} = \text{ نصف}$$

- زاویه رزوه)

۸-۶-۱ محاسبه بهترین سایز مفتول

معمولاً وقتی استوانه های اندازه گیری خریداری میشوند برای یک رزوه معین باید از نوع بست سایز باشند اگر این نوع استوانه ها موجود نباشند بهتر است که آنها را بسازیم و دیگر انواع این استوانه ها را بکار بندیم. چرا که در اثر خطاهای ناشی از زاویه دامنه خطاهای قطری بزرگ پدید می آیند.

در شکل ۸-۱۶، AB نصف قطر مفتول و BC ربع گام است.

$$d = \frac{P}{4 \cos \delta \theta} \quad \text{و} \quad \frac{d}{4} = \frac{P}{4 \cos \delta \theta} \quad \text{و} \quad AB = \frac{BC}{\cos \delta \theta} \quad \text{و} \quad \cos \delta \theta = \frac{BC}{AB}$$

شکل ۸-۱۶ نمایش یک استوانه بست ساز که در قطر مؤثر با رزوه تماس دارد.

با توجه به این دیاگرام ساده برای تعیین قطر مؤثر ساده یک روش آسان بدست می آید ولی زمانی که مفتول با گام مؤثر تماس بسیار کوچکی دارد نباید از این روش استفاده کرد در روش قبلی به علت وجود خطا در زاویه دامنه این مسأله چندان مشکلی ایجاد نمی کند ولی بکارگیری این روش ساده تغییر قابل ملاحظه ای در مقدار اندازه گیری شده ایجاد خواهد شد.



(همانطور که گفته شد در صورتی این تغییر ایجاد خواهد شد که مفتول یا به مقدار کمی در قطر مؤثر قرار گیرد یا اصلاً قطعه مؤثر را قطع نکند-م)

۸-۶-۲) اندازه گیری با مفتولها

اگر ماشین اندازه گیری موجود نباشد می توان برای تعیین قطر مؤثر ساده از سه مفتوب فولادی استفاده کرد یک روش بهتر که در شکل ۷-۱۷ نشان داده شده است استفاده از گیجهای ouee می باشد اگر اندازه T_1 در مفتول های معین باشد آنگاه:

$$E_d = T_1 + p_1 = T + P \text{ و } T_1, T + rd$$

$$\therefore P_1 = P - rd = \frac{P}{r} \omega t \theta - d(\operatorname{cosec} \theta - 1) - rd \text{ یا } P_1 = \frac{P}{r} \omega t \theta - d(\operatorname{cosec} \theta + 1)$$

شکل ۸-۱۷) استفاده از گیجهای فنری ouee (با اجازه چاپ از شرکت گیجهای فنری o-uee)

۸-۶-۳) تصحیح فشار الاستیک و کج شدگی

فرمول قطر مؤثر ساده بدست آمده در بخش ۸-۶ به این فرض است که اندازه گیری در یک مقطع صفحه ای از رزوه به موازات محور رزوه یعنی روی یک سوی از شیارهای مدور شکل پیچ انجام شده است البته در عمل این موضوع و اندازه گیری روی یک مارپیچ باعث می شود مقدار اندازه گیری شده به اندازه C افزایش یابد ضمناً فشار اندازه گیری بکاربرده شده در نقاط تماس موجب پدیدار شدن تغییر شکل الاستیک مفتولها و دامنه های رزوه شده و مقدار مورد اندازه گیری را به اندازه C کاهش می دهد به این ترتیب مقدار صحیح اندازه گیری با کاربرد مقادیر $-C$ و $+e$ حاصل می گردد. $E_d = T + P - C + e$ از آنجایی که بزرگی دو مقدار c, e معمولاً خیلی کوچک است و همچنین علامت آنها مخالف هم می باشد اثر نهایی آنها بسیار کوچک بوده و در نتیجه می توان این دو مقدار را در نظر نگرفت البته در اندازه گیری گیجهای مرجع این مقادیر باید محاسبه شوند ک در این مورد خوانندگان به توضیحات لابراتوار ملی فیزیک در کتاب علم کاربردی II (اندازه گیری رزوه های پیچ) ارجاء داده می شوند. (مارپیچ رزوه ها باعث می شود تا استوانه های اندازه گیری اندکی جابجا شوند و در نتیجه مقدار اندازه گیری افزایش یابد.م)

۸-۷) قطر مؤثر ظاهری

از بخشهای ۴-۸ و ۵-۸ نتیجه شد که خطاهای گام و زاویه دامنه در یک گیج تویی پیچ موجب افزایش ظاهری قطر مؤثر می شوند (در مورد پیچهای خارجی) بنابراین قطر مؤثر ظاهری بدین صورت تعریف می گردد. قطر مؤثر کوچکترین مهره با گام و شکل کامل که پیچ می تواند داخل آن بشود.

این پارامتر از ابعاد واجب و اساسی یک گیج تویی پیچ می باشد و می توان آن را با اضافه کردن یک مقدار عددی به قط مؤثر ساده بدست آورد. این مقدار عددی به بزرگی خطاهای گام و خطاهای زاویه دامنه بستگی دارد:

$$K_1 P(\delta\theta_l + \delta\theta_r) + \delta P \cot \theta = \text{قطر مؤثر ساده} = \text{قطر مؤثر ظاهری}$$

که در آن K_1 = یک مقدار ثابت وابسته به شکل رزوه، p = گام رزوه، θ = زاویه دامنه رزوه، δp = خطای گام در طولی از پیچ که درگیر می باشد.

برای یک رزوه ویت ورث: $\delta p + 1/42 p(\delta\theta_l + \delta\theta_r) + 0/0105 p(\delta\theta_l + \delta\theta_r) = \text{قطر مؤثر ساده} = \text{قطر مؤثر ظاهری}$

برای یک رزوه یونی فای (و یکنواخت): $\delta p + 1/73 p(\delta\theta_l + \delta\theta_r) + 0/0041 p(\delta\theta_l + \delta\theta_r) = \text{قطر مؤثر ساده} = \text{قطر مؤثر ظاهری}$

و برای یک رزوه متریک $\delta p + 1/732 p(\delta\theta_l + \delta\theta_r) + 0/0115 p(\delta\theta_l + \delta\theta_r) = \text{قطر مؤثر ساده} = \text{قطر مؤثر ظاهری}$

۸-۸) اندازه گیری های گیج های حلقه ای پیچ:

روشهای اندازه گیری گیجهای حلقه ای پیچ بطور کلی همانهایی هستند که در مورد گیجهای تویی ذکر شد مشکلی که در اینجا وجود دارد خارج از دسترس بودن شکل و ابعاد رزوه ها می باشد.

گام را می توان با یک ماشین اندازه گیری عمودی گام پیچ که برای قرار گرفتن در روی رزوه ها از متعلقات خاصی نظیر محوری شبیه یک میله بورینگ استفاده می کند اندازه گیری کرد زاویه دامنه را نیز می توان با ساختن یک قالب گچی از رزوه اندازه گیری کرد. ضخامت این قالب باید کوچکتر از نصف قطر رزوه باشد تا بتوان آن را به طرف خارج از رزوه ها بیرون آورد.

(نه اینکه به طرف خارج پیچانده شود. چرا که موجب خرابی قالب می گردد) پس می توان این قالب را از راههای گفته شده تصویر نموده و آن را بررسی کرد. قطر مؤثر ساده را می توان با کاربر سوزنهایی که در انتهایشان ساچمه هایی (از نوع بست سایز) وصل شده است در یک ماشین اندازه گیری معین کرد. ماشین اندازه گیری را می تون با یک گیج مرجع وی شکلی تنظیم کرد.

(این گیج طوری ساخته شده است که قطر مؤثر وی ها مقدار اسمی قطر مؤثر رزوه ها در حال اندازه گیری می باشد.)

این روشها ممکن است تنها برای رزوه های بسیار بزرگ بکار روند معمولاً برای گيجهای حلقه ای - پیچ بسیار کوچک، گيجهای توپی پیچ مرجع بسیار دقیق ساخته می شود و این گيجها دارای تلرانسهای اندازه گیری بسیار مختلف بوده و به دو شکل برو و نرو ساخته می شوند. در پایان لازم به ذکر است که اثر خطاهای گام و زاویه دامنه در یک گيج حلقه ای پیچ منفی می باشد(یعنی این خطاها تمایل به کاستن مؤثر ساده دارند و جهت تصحیح این خطاها مقادیر تصحیح کننده باید از اندازه بدست آمده کم شوند نه اینکه به آن اضافه گردند).

(شکل ۱۸-۸) تنظیم یک ماشین اندازه گیری جهت تعیین قطر مؤثر ساده یک پیچ داخلی توجه شود که فکهای وی شکل به اندازه نصف گام بالا آمده اند و حالت شناوری ایجاد شده اجازه می دهد تا گیره به وضعیتی که رزوه تحت آن وضعیت نصب شده است جابجا شوند.

پایان فصل ۸

فصل نهم

اندازه گیری میزان پرداخت سطح

۹-۱- مقدمه

توسعه تکنولوژی مدول تنها برای کنترل وقت ابعادی نیست بلکه برای اصلاح ترکیب و بافت سطوح(کار شده یا کار نشده) قطعات نیز استفاده می شود. سه مطلب اساسی که باعث می شوند تا کنترل بافت سطح اهمیت پیدا کند عبارتند از:

(۱) عمر خستگی (۲) خواص شکست (۳) فرسودگی

۹-۱-۱) عمر خستگی

اگر جسمی تحت تنشهای مکرر برگشتی قرار بگیرد می گویند جسم تحت خستگی است و در این حالت عمرش بطور قابل ملاحظه ای کمتر از زمانی است که تحت بار ثابت معادلی قرار داشته باشد. تعداد برگشتهای تنش را که جسم می تواند تحمل کند یک تنش معین عمر خستگی آن جسم نامیده می شود. بنظر می رسد که نقص حاصل از خستگی همواره از یک گوشه تیز جسم که تمرکز تنش در آنجا بیشتر است شروع می شود .

۹-۱-۲) خواص یاتاقانی

یک سطح کامل یعنی سطحی که بدون هیچ بی نظمی یعنی صاف می باشد نمی تواند لایه روغن را روی خود نگاه دارد و در نتیجه موجب تماس فلز با فلز می شود احتمالاً بهترین سطح برای یک یاتاقان سطح شکل ۹-۱ قسمت ب

می باشد چرا که فرورفتگی های کوچک موجود روی آن باعث حفظ قطرات روغن روی سطح می گردد و تماس فلز با فلز برقرار نمی گردد.

۳-۱-۹) فرسایش

در فیزیک یک قانون مشهور وجود دارد که می گوید اصطکاک بستگی به مساحت سطح تماس ندارد اما میزان فرسایش، به مساحت های تماس بستگی دارد. (مساحت بزرگتر، بار کمتر در واحد سطح و در نتیجه میزان فرسودگی کمتر).

۲-۹) معنی بافت سطح

قبل از اینکه چیزی اندازه گیری شود لازم است که چگونه اندازه گرفتن آن تعریف شود در بیشتر موارد این کار زیاد مشکل نیست ولی در مورد بافت سطح تعریف چندان آسان نمی باشد.

شکل ۱-۹) تأثیر طول موج قطع بر ارزیابی عددی سطح پرداخت شده

یک سطح ممکن است زبر باشد یا دارای یک حالت موج واری باشد. موج واری معمولاً خطاهای ناشی از هندسه نادرست فرآیند تولید سطح را بررسی می کند و معمولاً خارج از موضوع بافت سطح می باشد. زبری عبارت است از بی نظمی هایی که در روی یک سطح وجود دارد و معمولاً نتیجه اجتناب ناپذیری از فرآیندی است که در یک ماشین ساخت و با یک هندسه تولید کاملاً صحیح بوجود می آید. با بررسی احتیاجات یک فرآیند تراش جهت تولید یک قطعه استوانه صحیح می توان از طریق تولید زبری، و موج واری را روی یک قطعه ماشین کاری شده کاملاً درک کرده واضح است که در تولید این استوانه ابزار باید به موازات محور چرخش قطعه کار حرکت کند، همچنین راستای قطعه ای باید نسبت به ابزار موقعیت صحیحی داشته باشد مثلاً اگر در یک ماشین تراش یکی از مرغکها بالاتر از دیگری قرار گیرد یک سطح هیپربولیکی

(ماسوره ای) تولید خواهد شد همچنین اگر حرکت ابزار در یک خط مستقیم نباشد یک موجهای کوتاه در طول منحنی موج ایجاد می کند. و بنابراین می توان چهار نوع بی نظمی که در نهایت موجب تولید یک استوانه نادرست می گردد، بنابراین می توان چهار نوع بی نظمی که در نهایت موجب تولید یک استوانه نادرست می گردند را ذکر کرد:

در اثر سرعت پیشروی (c)

زبری
در اثر لوزش ابزار (d)

در اثر ناراستایی مرغکها (a)

موج واری
حرکت غیرخطی پیشروی (b)



برای اینکه در یک قطعه تنها مسئله زبری بررسی شود باید آزمایشات را روی طولی از سطح متمرکز کنیم که طول موجهای بزرگ در آن موجود نباشد بیشترین طول موج قابل بررسی، طول موج قطع کننده (*c.u.toff*) نامیده می شود. در انگلستان این طول موج به وسیله B.S. ۱۳۴ در مقادیر $25^{mm}/0.1^{mm}$, $5^{mm}/0.2^{mm}$ استاندارد شده است که انتخاب آنها به سطح مورد بررسی بستگی دارد اگر سطحی دارای هیچ حالت موج واری نباشد آنگاه سطح پرداخت یکسانی در کل قطعه برای طول مورد نظر بدست می آید.

(شکل ۹-۱ قسمت (a)). با افزایش موج واری به تدریج به طول موج قطع خواهیم رسید. (شکل ۹-۱ قسمت های (a,b,c)) شکل های ۹-۱ با بررسی نمونه هایی که با در جات مشخص از ارتعاش سنگ زده شده اند به دست می آیند.

(یعنی به هنگام سنگ زدن آنها یک ارتعاش مصنوعی با مقدار مشخص ایجاد شده است. تا موج واری گوناگونی پدید بیاید-م)

یک قانون کلی برای سطح تولید شده بوسیله ابزار تک لبه وجود دارد که می گوید طول موج قطع نباید متجاوز از مقدار پیشروی باشد.

۹-۳ روشهای اندازه گیری پرداخت سطح

این روشها ممکن است شامل اندازه گیری مقایسه ای یا غیرمستقیم باشد و در روشهای مقایسه ای بافت سطح با مشاهده یا احساس سطح ارزیابی می شود و اگر این مقایسه با سطوحی که از یک روش تولید شده اند انجام نشود نتایج آنها می تواند گمراه کننده باشد. بررسی ظاهری یک سطح تنها نوع خراشیدگی آن را تعیین می کند اما عمق خراشیدگی را مشخص نمی نماید. همانطور که در شکل ۹-۲ دیده می شود بر روی شش سطح مختلف یک بررسی میکروسکوپی انجام شده است که طرح های خراشیدگی آنها نمایش داده شده است. دیده می شود با وجود آنکه ظاهر سطح مشابه است اما طرح های آنها متفاوت می باشد. لمس کردن سطح برای ارزیابی بافت آن احتمالاً بهتر از مشاهده بصری سطح است ولی این روش نیز می تواند گمراه کننده باشد.

توجه: پیشوند k مشخص می کند که یک طول موج قطع $1^{mm}/0.1^{mm}$ بکار رفته است.

شکل (۹-۲) سطوحی با ظاهر مشابه که دارای مشخصه های مختلف می باشد.

روشهای اندازه گیری مستقیم بدون جهت توسعه یافته اند که بوسیله آنها می توان جهت بیان پرداخت سطح یک مقدار عددی ارائه داده این روشها بطور تقریبی تماماً بوسیله دستگاههایی از نوع میل سوزنی و همچنین روشهای تداخل سنجی (که بخصوص برای سطوح منعکس کننده مناسب است) انجام می شوند.

دستگاههای میل سوزنی (۹-۳-۱)

این وسایل تقریباً متشکل از واحدهای زیر می باشند:

- (۱) کفشک که به آهستگی روی سطح حرکت کرده و از سطح اطلاعاتی فراهم می کند.
- (۲) یک سوزن که با کفشک روی سطح حرکت می کند و برای بررسی زبری سطح بطور عمودی نسبت به کفشک قرار دارد.
- (۳) یک وسیله تقویت کننده برای بزرگ نموده حرکات سوزن
- (۴) یک وسیله ثبت کننده جهت رسم مقطع طولی سطح
- میزان بزرگ نمایی این طرحها باید بنحوی سنجیده باشد مثلاً اگر یک طول 1 mm ، پنج هزار باز بزرگ شود برای رسم سطح سطح آن به یک کاغذ ۴ متری نیاز است.
- (۵) یک وسیله تحلیل کننده پروفیل سطح
- بزرگ نمایی دستگاه را می توان یا به صورت مکانیکی یا بصورت الکتریکی انجام داد.

۲-۳-۹) سطح سنج تاملینسون

این وسیله که در لابراتوار ملی فیزیک و به وسیله دکتر تاملینسون طراحی شده است از روشهای بزرگنمایی مکانیکی- نوری استفاده می کند. طرح کلی این دستگاه در شکل (۳-۹) نشان داده شده است.

کفشک به بدنه دستگاه وصل می شود. برای اینکه بتوان نوک الماسه سوزن را موقعیت دهی کرد کفشک طوری ساخته شده است که ارتفاع آن قابل تنظیم باشد سوزن به وسیله یک فنر برگی و یک فنر مارپیچ از هر حرکگی جز حرکت در راستای عمودی باز داشته شده است. کشش در فنر مارپیچ P موجب کششی مشابه در فنر برگی می شود. این نیروها یک غلتک عرضی در موقعیتی بین سوزن و یک جفت غلتک موازی ثابت نگاه می دارد. با توجه به شکل ۳-۹ قسمت ب موضوع روشنتر می شود.

شکل ۳-۹ سطح سنج تاملینسون (Tomlinson)

به غلتک عرضی یک بازوی فولادی و فنری سبک متصل شده است که در نوک این بازو یک تکه الماس تعبیه شده است. این الماس بر روی یک پرده شیشه ای اندود شده (مثلاً اندود شده با دوده -م) حرکت کرده و طرحی را ترسیم می نماید.

در عمل این دستگاه به وسیله یک پیچ که توسط یک موتور سنکرون

(= همزمان-م) با سرعت ۱ دور دقیقه چرخانده می شود و به آهستگی بروی تمام سطح مورد آزمایش حرکت می کند، البته پرده شیشه ای ثابت باقی می ماند. بی نظمی موجود در سطح موجب حرکت عمودی سوزن می شوند. و سوزن باعث چرخش غلتک عرضی حول محور A و در نتیجه حرکت بزرگ شده نوک الماسه بازوی متصل به غلتک

عرضی می شود. این حرکت (که در ارتباط با حرکت افقی دستگاه می باشد) باعث تولید یک طرح روی سطح شیشه می گردد. برای رسم این طرح حرکت در راستای عمودی (منظور حرکت عمودی سوزن است-م). به اندازه ۱۰۰ برابر بزرگتر شده است ولی در راستای افقی هیچ بزرگ نمایی وجود ندارد. پس از ترسیم طرح، شیشه به یک دستگاه تصویر کننده اپتیکی متصل شده و ۵۰ برابر دیگر بزرگ می شود. بنابراین حرکت عمودی جمعاً ۵۰۰۰ بار بزرگ می شود. می توان بطور دستی یا با روش های عکاسی یک بزرگ نمایی افقی ۵۰ برابر نیز در طرح ایجاد نمود و سپس به بررسی آنها پرداخت.

۴-۳-۹) تالی شورف تیلور - هابسون (The Taylor - Hobson Tally Surf)

تالی شورف یک وسیله الکترونیکی است که کار آن مشابه دستگاه تاملینسون می باشد و تفاوت آنها بیشتر در روش بزرگ نمایی است. این دستگاه اطلاعات مشابه با اطلاعات دستگاه تاملینسون را سریعتر و دقیقتر از این دستگاه ارائه می دهد و برخلاف دستگاه تاملینسون که اصولاً برای کاربرد در آزمایشگاهها ساخته می شود، قابل کاربرد در کار خانجات نیز می باشد. مشابه دستگاه تاملینسون این وسیله شامل یک کله اندازه گیری است که دارای یک سوزن و کفکشک T که توسط یک موتور الکتریکی و جعبه دنده بر روی سرتاسر سطح مورد آزمایش کشیده می شوند می باشند. طرح کلی این دستگاه در شکل (۴-۹) نشان داده شده است.

شکل ۴-۹) طرح شماتیک تالی شورف تیلور - هابسون

در این وسیله بازوی سوزن به شکل یک آرمیچر است که می تواند حول شاخه مناسبی یک سیم پیچ با مقطع E شکل بچرخد. حرکت سوزن روی سطح برجستگی ها و فرورفتگی ها موجب بالا و پائین رفتن سوزن شده و در نتیجه با Z و حول نقطه M می چرخد. بدین ترتیب یک طرف باز و یکی از سیم پیچها نزدیک و طرف دیگر آن از سیم پیچ دیگر دور می شود. با این تغییر فاصله، میدان نوسان جریان a.c عبوری از سیم پیچها تغییر می کند. این سیم پیچها بخشی از یک مدار پل را تشکیل می دهند که خروجی تنظیم شده حاصل از آن که یک تقویت کننده تغذیه می شود و در نهایت موجب حرکت یک قلم ثبت کننده روی کاغذ می گردد. این خروجی همچنین پس از عبور از دمدولاتور

(م- و فیلتر وارد یک سنجش دیگر می شود. سنجش گر برای ارزیابی مستقیم سطح، یک مقدار عددی (در ارتباط با زبری سطح- م) ارائه میدهد. قلم ثبت کننده در این دستگاه که برای ترسیم طرح سطح مورد آزمایش بکار می رود از نوع جالبی است. قلم متشکل از یک شاخص است که نوک آن بطور الکتریکی کمانهایی را روی یک کاغذ کربنی رسم می کند. مزیت این قلم نسبت به قلم جوهری آن است که در اثر کشیده شدن بر روی کاغذ هیچ تغییر شکلی نخواهد داد.

۹-۴) تحلیل طرح حاصل شده:

ارزیابی عددی یک سطح چه از نظر صافی و چه از نظر زبری را می توان به طرق مختلف انجام داد. به همین علت در کشورهای مختلف از تکنیک های گوناگون استفاده می شود. مثلاً در انگلستان، بسیاری از کشورهای مشترک المنافع و آمریکا (از سال ۱۹۵۵) روش ارتفاع میانگین بکار برده می شود یا در کشورهای اروپایی و سوئد از روش ارتفاع قله (پیک) تا دره استفاده می شود. بعضی کشورها نیز روش ریشه مقدار میانگین مربع ها را بکار می برند.

۹-۴-۱) ارتفاع قله تا دره

نام ارتفاع قله تا دره بین یک روش تجزیه و تحلیل ساده می باشد. برای استاندارد کردن این ارتفاع آن را بدین صورت تعریف می کنند:

ارتفاع قله تا دره عبارت است از فاصله بین دو خط موازی با خواب عمومی طرح بدست آمده یکی از این خطوط قله را قطع خواهد کرد. و دیگری دریاها را. ضمناً این دو خط باید طوری رسم شوند که در خط بالایی طولی از خط که بین قله ها قرار می گیرد طول کل طرح و در خط پائینی طولی از خط که بین دریاها قرار می گیرد ۱۰ درصد طول کل طرح باشند. در شکل (۹-۵) این مطلب به وضوح نشان داده شده است.

شکل ۹-۵ نمایش گرافیکی ارتفاع قله تا دره

(شاید به نظر برسد که با بدست آوردن این ارتفاع چگونه زبری یا صافی سطح ارزیابی می گردد بر طبیعی است که با بدست آوردن این ارتفاعها برای سطوح مرجع گوناگون و طبقه بندی و استاندارد کردن آنها می توان منبع مقایسه ای جهت سطوح تولیدشده دیگر بدست آورد-م)

۹-۴-۲) مقدار ریشه میانگین مربع ها (یا مقدار R.M.S):

این اندازه گیری از سال ۱۹۵۵ در آمریکا استاندارد شد که این استاندارد بعد از آن به یک ارتفاع میانگین تغییر کرد) بخش ۹-۴-۳ را ببینید) تعریف این ارتفاع بدین صورت است:

ریشه دوم میانگین مربع های ارتفاعهای فواصل عرضی مساوی روی طرح بدست آمده از سطح با توجه به شکل (۶-۹) این تعریف بهتر درک می گردد. اگر فواصل عرضی معادل به ترتیب در نقاط ۱ و ۲ و ۳ و n در نظر گرفته شود ارتفاع های $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ خواهند بود. بنابراین:

$$h_{r.m.s} = \sqrt{\frac{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + \dots + h_n^2}{n}}$$

$$h_{r.m.s} = \left(\frac{1}{n} \int_0^L h^r dL \right)^{1/r} = R_a = \text{با زبری سطح}$$

شکل (۹-۶) نمایش گرافیکی $h_{r.m.s}$

۳-۴-۹) روش میانگین خط مرکزی (روش C.L.A)

مقدار C.L.A استاندارد است که در انگلستان و از سال ۱۹۵۵ در آمریکا اتخاذ شد تعریف C.L.A بدین صورت است. میانگین ارتفاعهای فواصل عرضی - معادل سم شده روی سطح نسبت به یک خط متوسط بدون توجه به علامت های آنها (شکل ۹-۷) بنابراین با توجه به شکل (۹-۶) خواهیم داشت:

$$C.L.A = \frac{h_1 + h_r + h_r + h_r + h_d + h_e + \dots + h_n}{n} = \frac{\sum h}{n}$$

در حقیقت ابتدا طرح به وسیله فواصل عرضی معادلی تقسیم بندی شده سپس از ارتفاعهای آنها میانگین گرفته می شود مثل آنچه در شکل ۹-۶ نشان داده شده است (م).

شکل (۹-۷) نمایش گرافیکی C.L.A

تعیین مقدار C.L.A به وسیله رسم فواصل عرضی کاربرد حتمی است و اگر یک فاصله عرضی نادرست انتخاب شود ممکن است نفاط مهم یا وی سطح در نظر گرفته نشود.

اما اگر یک مساحت نامنظم بر طولش تقسیم شود آنگاه ارتفاع میانگین مساحت بدست می آید این قبیل مساحت ها (یعنی مساحت های نامنظم-م) با استفاده از یک مساحت سنج (Plari meter) قابل اندازه گیری اند بنابراین با استفاده از اندازه گیری مساحت ها برای یافتن مقدار C.L.A تعداد نامتناهی از فواصل عرضی و هر نقطه ای روی سطح بررسی می گردند. با توجه به شکل (۹-۷) دیده می شود که:

$$C.L.A = \frac{A_1 + A_r + A_r + \dots + A_n}{L} = \frac{\sum A}{L}$$

که مقدار حاصل ارتفاع میانگین طرح می باشد. جهت بدست آوردن مقدار C.L.A از مساحت ها لازم است که این مقدار بزرگ نمایی عمودی طرح تقسیم و در 10^6 (برای تبدیل به میکرواینچ) ضرب شود. یعنی:

$$C.L.A = \frac{10^6 \text{ min}}{\text{بزرگ نمایی عمودی}}$$

که $\sum A$ = جمع مساحت های بالا و پائین خط متوسط برحسب اینچ سریع، L = طول کل - طرح برحسب اینچ.

این فرمول برحسب واحدهای متریک بدین صورت خواهد شد:

$$\frac{10^2 \mu m}{\text{بزرگ نمایی عمودی}}$$

که $\sum A$ جمع مساحت های بالا و پائین خط متوسط بر حسب mm^2 و L = طول کل طرح بر حسب mm .
قبل از انجام این اندازه گیری ها لازم است که موقعیت خط متوسط تعیین گردد بطوری که مساحت های بالا و پائین این خط با تفرانسی برابر ۵ درصد با هم برابر باشد.

این کار از سه طریق قابل انجام است:

(۱) تشخیص موقعیت خط با چشم

(۲) اندازه گیری مساحت های کلی بالا و پائین خط مشخص شده

(۳) تصحیح موقعیت خط به اندازه

$$\frac{\sum A \text{ (پائین)} - \sum A \text{ (بالا)}}{L} = \text{مقدار تصحیح}$$

(یعنی خط متوسط را در یک موقعیت دلخواه قرار میدهم سپس به کمک این مقدار تصحیح موقعیت آن را درست می کنیم-م)

بعنوان مثال یک سطح فرضی را در نظر می گیریم که دارای بی نظمی ها مثلثی باشد (شکل ۸-۹) در ابتدا خط

مرکزی به فاصله $\frac{h}{4}$ از نوک قله رسم می شود. سپس مقدار تصحیح به صورت زیر بدست می آید:

$$A_l + A_r = 2 \times \frac{h}{4} \times \frac{b}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{h \times b}{16}$$

جمع مساحت های بالای این خط

$$A_l + A_r = 2 \times \frac{3h}{4} \times \frac{3b}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{9 \times h \times b}{16}$$

جمع مساحت های بالای زیرخط

$$\frac{\text{مساحت پائین} - \text{مساحت بالا}}{\text{مقدار تصحیح}} = \frac{\frac{hb}{16} - \frac{9hb}{16}}{rb} = -\frac{h}{4}$$

یعنی با

یعنی باید خط مرکزی رسم شده را به اندازه $\frac{h}{4}$ به طرف پائین (بخاطر علامت منفی در $-\frac{h}{4}$) بیاوریم تا در

موقعیت صحیح خود قرار بگیرد با این کار فاصله خط مرکزی از نوک قله ها (پیک ها - م) $\frac{h}{4}$ خواهد شد که

صحیح می باشد. این روش برای سطحی با پروفیل منظم (نظیر سطح فرض شده در مثال فوق) بطور هندسی درست

می باشد ولی برای سطوحی با پروفیل نامنظم تقریباً صحیح این است. این تکنیک در دستگاه تاملینسون مورد

احتیاج می باشد. اما دستگاه میانگین سنج تالی سورف متشکل از یک وسیله جمع کننده می باشد که به هنگام

حرکت سوزن بر روی سطح قادر به انجام تکنیک فوق است.) یعنی همزمان با حرکت سوزن بر روی سطح عمل جمع کردن مساحتها و غیره را انجام می دهد-م)

۵-۹) میکروسکوپ تداخلی:

در فصل ۲ دیدیم که اگر یک شیشه نوری تحت یک زاویه کوچک روی یک سطح تخت منعکس کننده قرار بگیرد در سرتاسر سطح نوارهای تداخلی دید که خواهند شد انحنای این نوارها مبین نوع تختی سطح می باشند و اگر طول موج نور بکاررفته معلوم باشد آنگاه میزان تختی (تخت بودن -م) سطح با دقت بالایی قابل تعیین است. در شکل (۹-۹) نوارهای تداخلی ایجادشده با نوری به طول موج $0.5 \mu m$ در اثر قراردادن یک شیشه نوری بروی سطحی که دارای شیاری وی شکل به عمق $0.1 \mu m$ می باشد نشان داده شده اند. بی نظمی های موجود در نوارها، مشخص کننده عمق شیار می باشند.

شکل ۹-۹) نوارهای تداخل در سرتاسر یک سطح تخت که در امتداد طولش دارای یک شیاری وی شکل است.

فاصله بین نوارها مبین تغییر در فاصله بین سطح و شیشه نوری بصورت مضربی از نصف طول موج می باشد. در نتیجه:

$$\frac{d}{s} \times \frac{\lambda}{2} = \text{عمق شیاری و چون در این مثال } 0.1 \mu m = \text{عمق و } \lambda = 0.5 \mu m \text{ پس}$$

$$\frac{d}{s} = \frac{0.1}{0.25} = 0.4$$

بنابراین بی نظمی نوار که به صورت کسری از فضای کل نوار مشخص شده است) عمق بی

نظمی های سطحی را برحسب نصف طول موج نوار بکاررفته معین می کنند. مثلاً در شکل (۹-۱۰) فاصله نوارها a است و سطح دارای خراش می باشد که بصورت یک بی نظمی به عمق b روی نوار مشخص شده است. در این

صورت عمق خراشها $\frac{b}{a} \times \frac{\lambda}{2}$ میکرومتر می باشد. که λ طول موج نور بکار رفته است این اندازه گیریها را نمی توان

با عمود قراردادن شیشه نوری روی سطح انجام داد چرا که شیشه نوری به یک زاویه نسبتاً تندی نیاز دارد تا نوارهای بسیار خوبی ارائه دهد. به کمک میکروسکوپهای تداخلی که دارای قدرت تحلیل بالای هستند این نوارها به درستی قابل دیدن هستند. این قبیل سیستم ها اجازه می دهند تا سیستم های تداخلی روی سطوح گلوله های فولادی قابل مشاهده باشد.

۶-۹) روشهای المثنی

این روشها مواقعی استفاده می شوند که بافت سطحی قطعه کار مورد نیاز است اما سطح جهت بررسی به سهولت قابل دسترسی نیست و برای کاربرد روش های تداخلی به اندازه کافی عمل انعکاس انجام نمی شود. اغلب می توان با تولید یک سطح المثنی از سطح اصلی طرحی (trace) از بافت سطح بدست آورد. در ابتدا یک تکه از فیلم استات سلولز را جهت نرم شدن در استن مرطوب می کنند و سپس آن را بر روی سطح مورد نظر فشار می دهند تا زمانیکه این فیلم سخت شود. بازده این روش تا حدود ۸۰ درصد می باشد. در تکنیک های مدرن از اپوکسی (epoxy) و دیگر رزینها استفاده می شود که بازده آنها نزدیک به ۱۰۰ درصد است. (شکلهای (a) ۹-۱۲ و (b) ۹-۱۲) طرحهایی از بافت یک سطح هستند که اولی از سطح حقیقی و دومی از یک سطح المثنی بدست آمده اند.

شکل (a) (۹-۱۲) طرح سطحی که در آن مقدار C.L.A برابر $3 / 65 \mu m$

شکل (b) (۹-۱۲) طرح حاصل از المثنای سطح شکل قبل با C.L.A برابر $3 / 45 \mu m$

(گردی نوارها مشخص کننده گردی گلوله ها هستند)

شکل (۹-۱۰) دیاگرام یک سری نوارهای تداخلی نمونه که نمایش دهنده یک خراش در روی یک صفحه تخت می باشند. در شکل (۹-۱۱) قسمت (a) یک میکرو طرح تداخلی حقیقی از این قبیل سطوح نشان داده شده است.

هرگونه بی نظمی سطحی به صورت بی نظمی های در نوارهای تداخلی ظاهر خواهند شد. یک میکروسکوپ مناسب برای این طریق کارها به وسیله آقایان Milger و Watts ساخته شده است که شامل یک دوربین با قابلیت ضبط و ثبت دائم می باشد. در شکلهای (a) ۹-۱۱ و (b) ۹-۱۱ نمونه ای از میکرو طرحهای تداخلی (microinterferograms) که به وسیله چنین دستگاههایی حاصل می شوند نشان داده شده است.

شکل (۹-۱۱) میکرو طرحهای تداخلی از (a) سطح یک گلوله فولادی (b) یک خراش روی یک سطح تخت

که عمق این خراش تقریباً $\frac{\lambda}{2}$ یا 0.25 میکرومتر می باشد. (با اجازه چاپ از شرکت Higer, Wahs).

پایان فصل ۹

فصل دهم

کنترل و کیفیت آماری

۱-۱۰ مقدمه

فصول گذشته در این کتاب براین حقیقت تأکید داشتند که اگرچه دقت اهمیت فراوانی برای مهندسين را رد اما دقت مطلق قابل حصول هست. حتی بلوک های اندازه گیری که دارای دقت های بالایی هستند نیز تolerانس های ساخت دارند که مقدار آنها به کوچکی چند میلیونیم یک اینچ می باشد این تolerانسها که بزرگی آنها به نوع وظیفه قطعه بستگی دارند جهت ایجاد یک گوناگونی و تعداد ذاتی در فرآیند های تولید لازم می باشند. یک عملیات ساده نظیر قطع کردن طولهای معینی از یک میله به وسیله ماشین تراش را در نظر بگیرید.

طولهایی که بدست می آیند و مشابه باشند اما نوسانات و تغییراتی در طولی که با شیب برای آن طول تنظیم شده است اتفاق خواهد افتاد. این تغییرات ممکن است منتج از عواملی باشند که تأثیر هرکدام به تنهایی قابل چشم پوشی است ولی اگر همه این عوامل تمایل به تولید افزایشی در اندازه مدنظر داشته باشند آنگاه در طول قطعه موردنظر ماکزیمم خواهد شد. بطور مشابه اگر همه این عوامل تمایل به کاهش در طول داشته باشد آنگاه طول قطعه می نیمم خواهد شد. همچنین اگر اثرات هر کدام از این عوامل در مقابل هم (ضدهم -) باشند، اگر برآیند آنها ناچیز بوده و طول قطعه برابر با طول مورد نظر خواهد شد.

این تغییرات تصادفی منتج از عوامل غیر قابل تعیین هستند. وظیفه یک سیستم کنترل فرآیند تمیز دادن بین عوامل و عوامل دیگر است. منظور از عوامل دیگر عوامل قابل تعیین نظیر تغییر دادن تنظیم ماشین، فرسایش یک چرخ سنگ و پایدارشدن نقصی در ماشین می باشد این نقص های قابل تعیین باید قبل از اینکه قطعات ناقص تولید گردد تعیین و تصحیح شوند. جدای از تولید قطعه، این نقایص می توانند به هنگام مونتاژ نیز اتفاق بیفتند. سازندگان بزرگ قطعات یا قطعات مونتاژی کوچکی را که می خرند نظر کیفیت مورد بررسی قرار می دهند تا از کیفیت کالایی که خریده اند آگاه شوند آنها این کار را به وسیله کاربرد هوشمندانه ای از روشهای آماری انجام می دهند. بنابراین فصل حاضر به بررسی روشهای آماری که به کمک آنها می توان این وظایف را به نحوی اقتصادی انجام داد بررسی خواهد کرد. هرچند که هیچ جایگزینی برای کنترل و کیفیت ۱۰۰ درصد وجود ندارد اما طبیعت بشر به گونه ای است که ممکن است قطعات ناقص به وسیله بازرسی کنترل و کیفیت پذیرفته گردد. (به عبارت دیگر هیچ کنترل و کیفیتی ۱۰۰ درصد صحت نخواهد داشت)

۲-۱۰) تغییرپذیری فرآیند

در بخش (۱-۱۰) ذکر شد که تمامی فرآیندهای ساخت (و در حقیقت بسیاری از فرآیندهای عادی) تابع تغییرات تصادفی هستند. الف: موضوع را می توان به وسیله یک آزمایش ساده که شامل اندازه گیری ۲۰۰ قطعه و ثبت اندازه های آنهاست نشان داد. اگر قطعات ساده نظیر پست های استوانه ای که به روش سنگ زنی بی مرکز (center less grinding) تولید شده اند بکار برده می شوند. قطرهای آنها باید با تقریب 0.100^{mm} ثبت گردند. این کار

بدین معنی نیست که نظر های قطعه فوق را فقط باید ثبت کرد (یعنی ثبت هر نظر به تنهایی مدنظر نیست بلکه موارد دیگری نیز باید جهت کسب اطلاعات بهتر انجام داد.م) این کار ممکن است عملیات پرزحمتی باشد و اطلاعات مفید کمی را در اختیار قرار می دهد. مناسب ترین راه برای ثبت این اطلاعات تنظیم یک جدول چون خط نظیر شکل (۱-۱۰) است. قطرهای ۱۰ بین استوانه ای یابد به وسیله یک میکرومتر اندازه گیری شده و مقدار میانگین آنها محاسبه گردد. سپس از یک کمپراتور با بزرگ نمایی مناسب استفاده شده و با هر قطعه ای که از زیر کله گی اندازه گیری کمپراتور بیرون آورده می شود میزان انحراف ابعاد آن از مقدار میانگین بدست آمده ممکن است + یا - باشد بصورت یک چوب خط در جدول مشخص می گردد، اندازه گیری با تقریب 0.001^{mm} انجام می شوند. این جدول تعدادی از مشخصه های تغییرپذیری فرآیند را نشان می دهد. اما اگر این اطلاعات به صورت گرافیکی رسم شوند اطلاعات بهتری حاصل خواهد شد. این قبیل نمودارها (معروف به یک چندضلعی فرکانس) در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است. این چندضلعی فرکانس (frequency polygon) بسیار مشابه منحنی نرمال یا گوسی نشان داده شده در شکل (۳-۱۰) می باشد.

دو محور این منحنی بین سائز قطعه (محور افقی) و تعداد بارهایی که هر قطعه اندازه گرفته شده است یا فرکانس (محور عمودی) می باشند.

شکل (۱-۱۰) جدول چوب خط

شکل (۲-۱۰) چندضلعی فرکانس نتایج شکل (۱-۱۰)

شکل (۳-۱۰) منحنی توزیع نرمال منطبق بر نتایج حاصل از شکل (۱-۱۰)

کل پهنای منحنی در حقیقت محدوده ای است که قطعه کار بطور طبیعی در این محدوده تولید شده است اما مکلف است که یک گروه از قطعات مؤلفه های حدی سائز قطعه را بدست ندهند.

روش بهتر انحراف استاندارد است که عبارت از فاصله بین محور عمودی منحنی نرمال و نقطه ای که در آن منحنی انحنا خود را از محدب به مقعر تغییر می دهد می باشد. رابطه این منحنی بدین صورت است:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

دراین رابطه π و e ثابت های ریاضی، $\bar{x}$ مقدار میانگین اندازه، x اندازه هر قطعه، y فرکانسی که تحت آن یک سائز اتفاق می افتد (یعنی تعداد بارهایی که اندازه گیری یک بعد تکرار می شود-م) و σ انحراف استاندارد است.



آنچه که این منحنی را مهم می سازد خواص آن می باشد. بهترین خاصیت این منحنی آن است که نشان می دهد، ۹۹/۸ درصد از مساحت زیر منحنی (که با مقیاس کوچکی تعداد کل قطعات بررسی شده را نشان می دهد) و در محدوده $\pm 3/095$ از طرفین مقدار میانگین قرار دارد.

بنابراین اگر بعنوان نمونه یک گروه ۲۰۰۰ قطعه ای مورد بررسی قرار گیرد و انحراف استاندارد محاسبه گردد می توان فرض کرد در مدتی که ماشین تحت کنترل است هیچ تغییری در تنظیم یا تغییرپذیری فرآیند اتفاق نخواهد افتاد و همه قطعات بجز ۲ تا (که در دو انتهای نمودار قرار می گیرند) تولید شده و در محدوده $\pm 3/095$ از مقدار میانگین قرار می گیرند.

۱-۲-۱) محاسبه انحراف استاندارد:

انحراف استاندارد را می توان ریشه دوم میانگین مربعات انحرافهای هر قطعه از مقدار میانگین گروه تعریف کرد که عبارت زیر بدست می آید:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum F(x - \bar{x})^2}{\sum F}}$$

که دراین عبارت F فرکانس یک انحراف (یا واریانس = variation -م) معین می باشد. می توان به کمک فرمول

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum F(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

بدست آورد .)

مناسب ترین راه جهت محاسبه σ استفاده از یک روش جدولی مشابه که آنچه که در بخش ۴-۱۰ نشان داده شده است می باشد. مقادیر F, X از جدول چوب خط مربوط به شکل (۱-۱۰) بدست می آیند فرض کنید که کمپراتور به وسیله بلوک های اندازه گیری که اندازه آنها ۶/۰۰۵ میلی متر می باشد تنظیم شده است. ستونها در جدول به قرار زیر هستند:

ستون ۱- نمایشگر لیستی از ابعاد گروه است که برای ساده سازی تنها آخرین رقم بکار رفته است.

ستون ۲ -فرکانس هر یک از این ابعاد را نشان می دهد.

ستون ۳- FXX را نشان می دهد(یعنی حاصلضرب فرکانسی در اندازه بعد مورد بررسی از نتایج ستونهای ۲ و ۳

مقدار میانگین ($\bar{X}$) محاسبه می گردد.

$$\bar{X} = \frac{\sum (F.X)}{\sum F}$$

شکل ۴-۱۰) محاسبه جدولی ولی انحراف استاندارد بر مبنای توزیع فرکانس مربوط به شکل (۱-۱۰)

مقدار میانگین: $\bar{X} = \frac{\sum Fx}{\sum F}$: (یک هزارم واحد mm) $\bar{X} = \frac{498}{166} = 0/95$ در نتیجه: $\bar{X} = 0/2506$ اینچ.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum F(x - \bar{x})^2}{\sum F}} = \sqrt{\frac{434}{166}} = 0/614 \text{ (یک هزارم واحد mm)} = 0/0016 \text{ mm}$$

ستون ۴: انحراف هر اندازه را از نظر میانگین نشان می‌دهد یعنی مقدار $(x - \bar{x})$.

ستون ۵: مربع اعداد ستون ۴ را نشان می‌دهد یعنی $(x - \bar{x})^2$.

ستون ۶: حاصلضرب فرکانس (ستون ۲) و مربع انحراف (ستون ۵) را نشان می‌دهد یعنی $F(x - \bar{x})^2$ بنابراین با

تقسیم جمع ستون ۶ بر جمع ستون ۲ و محاسبه ریشه دوم منظور حاصل، σ بدست می‌آید.

در این فرآیند انحراف استاندارد $0/0016 \text{ mm}$ بنابراین:

تغییرپذیری فرآیند $= \pm 3/09\sigma = \pm (3/09 \times 0/0016 \text{ mm}) = \pm 0/0049 \text{ mm}$ (باتقریب $0/0001 \text{ mm}$) بنابراین

در این مثال بعید است که ابعاد تولیدشده از اندازه خاص و حقیقی خود بیشتر از $\pm 0/0049 \text{ mm}$ تغییر کنند. بدین

ترتیب اگر تolerانس کار $\pm 0/005 \text{ mm}$ در نظر گرفته می‌شود برای تغییراتی که ممکن است در اثر مثلاً فرسایش ابزار

با چرخ سنگ زنی پدید یابد نیز (علاوه بر تغییرات دیگر به تolerانس آنها $0/0049 \text{ mm}$ محاسبه گردیدم) تolerانسی در

نظر گرفته شده است.

۲-۲-۱۰) انحراف استاندارد میانگین اندازه زیر گروهها:

اگر گروه بزرگی از قطعات موجود باشد یعنی تعداد قطعات موجود در یک گروه خیلی زیاد باشند می‌توان اغلب

گروه را به گروههای مثلاً ۵ قطعه ای تقسیم کرد سپس مقدار میانگین این قابل محاسبه خواهد بود. به راحتی

می‌توان فهمید که این مقادیر میانگین را بسیار دقیقتر از مقدار قابل محاسبه خواهد بود و به راحتی می‌توان

در اطراف اندازه میانگین طبقه بندی کرد. در شکل (۵-۱۰) توزیع های فرکانس نمونه ای برای مقادیر میانگین)

بدست آمده از زیر گروهها (م) و مقادیر تک تک اندازه ها نشان داده شده.

شکل ۵-۱۰) مقایسه منحنی های توزیع برای مقادیر تکی اندازه ها و مقادیر میانگین زیر گروهها بر مبنای

نتایج شکل (۲-۱۰)

اگر σ_g انحراف استاندارد برای میانگین های گروهها و σ_b انحراف استاندارد برای مقادیر تکی اندازه ها باشند

آنگاه می‌توان نشان داد که:

که n تعداد اقلام موجود در یک گروه است: $\sigma_g = \frac{\sigma_b}{\sqrt{n}}$ این نکته در کاربرد این اصول برای نقشه های کنترل

بسیار مهم می باشد

۳-۱۰) نقشه های کنترل (Control Charts)

اگر یک ماشین برای تولید قطعه کاری با یک اندازه معین تنظیم گردد، دو تغییر در کیفیت تولید می تواند اتفاق بیفتد که عبارتند از:

(a) اندازه میانگین قطعه کار تولیدشده تغییر کند یعنی تنظیم دستگاه تغییر کند مثلاً ابزار فرسایش

(b) تغییرپذیری فرآیند تغییر کند یعنی محدوده اندازه قطعه کار تولیدشده تغییر کرده باشد این موضوع معمولاً منتج از عاملی بسیار اساسی و اصولی در ماشین است.

در هر یک از این دو مورد تا زمانی که عمل تصحیح صورت بگیرد ضایعاتی تولید خواهد شد. اثرات این در تغییر در شکلهای (۱۰-۶) و (۱۰-۵) نشان داده شده اند که در ابتدا قطعه کار در محدوده معینی قرار داشته است.

شکل (۱۰-۶) تأثیر شناوری (تغییر) اندازه میانگین در طول یک فرآیند

شکل (۱۰-۷) تأثیر تغییرات و تغییرپذیری فرآیند

چرا این اثرات بطور کلی و چه با همدیگر اتفاق بیفتد خروجی نهایی کار ناقص مشابهی خواهد بود که قابل اصلاح است و یا نیست و اگر با کار خوب آمیخته شود برای آشکارشدن (نقص-م) نیازمند بازرسی ۱۰۰ درصد خواهد بود. بنابراین نقشه های (یا چارت های -م) کنترل برای کنترل اندازه تنظیم (نقشه های میانگین) مورد نیازند و همچنین برای کنترل تغییرپذیری فرآیند نقشه های محدوده (با رنج) نیاز می باشند.

و به عبارت دیگر دو نوع چارت کنترل داریم یک چارت جهت کنترل اندازه تنظیم شده یا چارت میانگین و یک نوع چارت کنترل تغییرپذیری فرآیند یا چارت محدوده -م)

۱-۳-۱۰) نقشه های کنترل برای میانگین:

ساده ترین شکل نقشه کنترل به نحوی است که حدود بالایی و پائینی کار در آن نشان داده شده و اندازه قطعه کاری که تولید می گردد رسم می شود.

بدین ترتیب هم محدوده و هم تنظیم با همدیگر نشان داده می شود اما متأسفانه این روش تنها یک روش گران بازرسی ۱۰۰ درصد است و بنابراین پیشنهاد قابل قبولی نیست. (یعنی رسم آن برای هر قطعه به صرفه نیست) فرض کنید یک بازرس (inspector) مناسبی را در فواصل معین بررسی کرده و ۵ قطعه موفق را بعنوان نمونه انتخاب کرده است پس اندازه میانگین را محاسبه کرده و آن را روی یک نقشه رسم کرده است. اندازه های میانگین گروهها

در حدود اندازه متوسط تغییر خواهند کرد و هنگامی که تنظیم تغییر می کند یک میل به ابعادی در جهتی مشخص آشکار می گردد. (یعنی ابعاد تمایل به یک جهت معین پیدا می کنند). مسئله این است که اندازه میانگین مخزن تا چه حدی قادر به پیشروی یا رانش است و یا به عبارت دیگر معین گردد که به اندازه میانگین نمونه تا چه فاصله ای می توان اجازه بیشتری داد-م) این مطلب در شکل (۸-۱۰) دیده می شود. این شکل حدود بالائی حد پائینی کار ک منحنی توزیع را که تک تک ابعاد و یک منحنی توزیع برای میانگین های نمونه را نشان می دهد.

همانطور که در شکل دیده می شود می توان به فرآیند اجازه داد تا به اندازه $\pm Q$ پیشروی کند بدون آنکه موجب تولید ضایعات (در قطعه م) گردند کلمه پیشروی با drift گاه در فرهنگ تخصصی مکانیک را ترجمه شده-م)

همچنین از شکل (۵-۱۰) بدست آمد که: $\sigma_g = \frac{\sigma b}{\sqrt{n}}$ پس کل ضایعات منحنی میانگین های نمونه:

$$\pm 3.0 / 9 \sigma_g = \pm \frac{3.0 / 9 \sigma_b}{\sqrt{n}}$$

بنابراین اگر فرآیند تحت کنترل باقی بماند (بطور آماری) نقاطی که برای میانگین های نمونه رسم می شوند همواره

باید در محدوده $\pm \frac{3.0 / 9 \sigma_b}{\sqrt{n}}$ از طرفین اندازه متوسط مورد نیاز قرار بگیرند.

باوجود اینکه فرآیند می تواند از این تنظیم متوسط (با مقدار متوسط-م) بدون اینکه ضایعاتی درقطعه تولید کند به اندازه θ پیشروی نماید خود مقدار θ به اختلاف بین تغییرپذیری فرآیند و تolerانس کار بستگی دارد. پس حداکثر

فاصله ای که یک میانگین نمونه می تواند از اندازه متوسط (an size) داشته باشد: $(\theta + \frac{3.0 / 9 \sigma b}{\sqrt{n}}) \pm$ خواهد بود.

به محض اینکه نقطه ای خارج از این محدوده افتاد باید به بررسی و بازرسی آن پرداخت چرا که انحراف بزرگتر از انحرافی خواهد بود که از عوامل تصادفی یا غیرقابل تعیین بدست می آمد.

شکل (۸-۱۰) ساختار یک نقشه کنترل برای میانگین های نمونه

نقشه کنترل برای میانگین ها (averages) به صورتی که در شکل (۹-۱۰) نشان داده شده است رسم می گردد.

شکل (۱۰-۹) نقشه کنترل برای اندازه میانگین نمونه ها (نقشه $\bar{x}$ ها)

همین که نقاط رسم شده یک رانش (پیشروی) قطعی به یک طرف یا طرف دیگر از اندازه متوسط نشان دادند فرآیند بصورتی مظنون و قابل شک رفتار کرده است (به عبارت دیگر در درستی فرآیند کرد-م) تا قبل از اینکه این تمایل به حدهای کنترل برسد باید فرآیند را متوقف کرده و دوباره آن را تنظیم نمود. توجه کنید که در یک فرآیند که رانش (drift) معمولاً در یک جهت است (مثل یک عملیات سنگ زنی که چرخ سنگ زنی فرسوده می شود)

تنظیم مجدد را می توان عمداً در جهت حد کنترل دیگر انجام داد بنابراین بین تنظیم های مجدد فاصله بزرگتری (یا مدت زمان بیشتری-م) ایجاد خواهد شد.

۱-۳-۱۰) روشهای ساده شده ای برای تنظیم حدود کنترل

اگر روشی که قبلاً شرح داده شد و شامل محاسبه انحراف استاندارد بود به کار برده شود تثبیت (Fixing) موقعیت حدود کنترل نسبت به اندازه متوسط (mean size) فرآیند پرزحمتی جلوه خواهد کرد. اما مشخص شد که انحراف استاندارد شرح دهنده اصول و اساس تقسیم است. در حقیقت انحراف استاندارد اندازه ای از محدوده اندازه های کار می باشد که در یک فرآیند معین و در یک تنظیم معین تولید می گردد. بنابراین باید روابطی بین انحراف استاندارد و محدوده اندازه (size range) در نمونه های بررسی شده و رسم شده در نقشه (کنترل-م) موجود باشد. این روابط وجود دارد و تا حد زیادی موجب ساده شدن کار تنظیم یک نقشه کنترل می گردد.

هنگام بهره برداری از یک نقشه که (برای رسم آن-م) بازرس نمونه ای بدست آورده و اندازه میانگین آن را رسم کرده است باید محاسبات خود را روی کی کاغذ اطلاعات (یتاشست itasheet) که به درستی طراحی شده است انجام دهد نه روی یک کاغذ باطله، چرا که در این صورت می توان از کاغذهای اطلاعات مشابه جهت تنظیم نقشه استفاده کرد. برای تنظیم نقشه، فرکانس بررسی و اندازه نمونه (sample size) باید معین گردند و این شکل از بررسی منطبق به روش موجود انجام می شود. با توجه به اندازه های تک تک عضو در یک نمونه بازرس اندازه میانگین (average size) (sample) و همچنین محدوده نمونه (sample range) یعنی اختلاف بین اندازه های ماکزیمم و مینیمم در نمونه را محاسبه می کند. بنابراین با گذشت یک پرپود (یا دوره-م) زمانی مقادیری از محدوده نمونه که با W نشان داده می شوند بدست می آیند.

مقدار میانگین (average) محدوده های نمونه بدین ترتیب محاسبه می گردند.

$$\bar{w} = \frac{\sum w}{n_s} = \text{محدوده نمونه متوسط}$$

که n_s تعداد نمونه های در نظر گرفته شده می باشد. م

نشان داده شده که یک اندازه از تغییرپذیری فرآیند انحراف استاندارد است ولی برای کنترل تغییرپذیری فرآیند پیشنهاد شده است که محدوده نمونه بروی یک نقشه کنترل رسم گردد.

نتیجه این می شود که بین محدوده نمونه و انحراف استاندارد رابطه ای وجود دارد یعنی:

$$\sigma = C\bar{W} \quad \text{و} \quad \therefore \frac{3/0.95}{\sqrt{n}} = A\bar{W}$$

که A یک مقدار ثابت وابسته به اندازه یا سایز نمونه (یعنی n) می باشد. حال حدود کنترل در $\overline{AW}$ تنظیم می گردند. اما این رابطه ارتباط بین تفرانس کار و تغییرپذیری فرآیند را به حساب نمی آورد و هیچ قید و شرطی برای فرآیند به مقدار Q اجازه پیشروی (یا رانش) یافته است معین نمی کند برای تعیین اینکه فرآیند تا قبل از انجام محل تصحیح تا چه حدی اجازه رانش داد شاخص دقت یعنی (Relative Precision Index) بکار برده می شود. (R.P.I. شاخص دقت نسبی -م) این شاخص تغییرپذیری فرآیند را به تفرانس کار ارتباط می دهد.

تفرانس کار

R.P.I

W

در جدول ۴ مقادی R.P.I برطبق اندازه نمونه ارائه شده است با توجه به این جدول می توان سهمیه - برآیند دقت نسبی پائین، متوسط دارد.

اگر اغلب مقدار کم باشد فرآیند رضایت بخش نبوده و بخشی از کارها ناقص خواهند بود یعنی Q نقص است. اگر این مقدار، متوسط باشد فرآیند رضایت بخش بوده و اگر بخوبی کنترل شود هیچ قطعه ناقصی تولید نخواهد شد. در این مورد Q صفر است و فرآیند نیازمند تنظیم فرکانسی است تا کنترل حساب بخش برقرار گردد. حدود کنترل و اخطار را می توان با حاصلضرب $\overline{W}$ در مقادیر مناسبی از ثابت A' در جدول ۲ بدست آورد. اگر این مقدار بالا باشد قبل از اینکه تنظیم میزان گردد فرآیند رانش پیدا می کند یعنی Q مثبت خواهد بود. در این حالت حدود نقشه کنترل بوسیله حاصلضرب $\overline{W}$ در ثابتهای مناسبی از جدول ۵ بدست می آیند. در این صورت (جهت اجازه دادن به فرآیند برای رانش یا پیشروی) حدود در مقداری به اندازه $A''\overline{W}$ از حدود کار تنظیم می شوند.

بنابراین در همه موارد حدود نقشه کنترل با ضرب محدوده متوسط نمونه ($\overline{W}$) در ثابتهای فراهم شده در جداول B.S. ۲۵۶۴ به دست می آیند (یا تنظیم می شوند).

۲-۳-۱۰) نقشه های کنترل برای محدوده (Range)

در بخش (۳-۱۰) نشان داده شده که (به ماندند نقشه کنترل برای میانگین ها) برای کنترل تغییرپذیری فرآیند نزدیک نقشه محدوده نیاز می باشد. حدود (Limits) کنترل برای نقشه کنترل به مانند حدود کنترل در نقشه میانگین تنظیم می گردند یعنی مقادیر ثابت با ضرب شدن، در محدوده متوسط نمونه ($\overline{W}$) موقعیت های حدود بالایی و پائینی نقشه محدود را بدست می دهد. این ثابتها در جدول ۳ از B.S. ۲۵۶۴ نشان داده شده اند.

اقتباس از ۱۹۶۵:۲۵۶۴ که با مجوز از سازمان استاندارد انگلیسی بدست آمده است و از کپی های (آدرس: 2parkst.London) استاندارد کامل (یعنی complete standard قابل فراهم نمودن می باشد. این جداول مطابق با منبع ذکر می گردند.

جدول ۲

حدود نقشه کنترل برای میانگین نمونه ($\bar{X}$)

برای بدست آوردن حدود $\bar{W}$ که در مقادیر نسبی از $A'_{0.01}$ و $A'_{0.25}$ ضرب شده سپس به مقدار میانگین عمومی (ougross) مقدار پذیرفته شده ($\bar{X}$) اضافه و کم می شوند.

جدول ۳

حدود نقشه کنترل برای محدوده ($\bar{W}$)

برای بدست آوردن حدود $\bar{W}$ در مقدار مناسبی از D' ضرب می شود. برای تعیین انحراف استاندارد (σ), $\bar{W}$ را بر مقدار مناسبی از d_n تقسیم می کنند.
*حدود پائینی معمولاً بکار نمی روند.

جدول ۴

طبقه بندی تغییر پذیری فرآیند نسبت به تolerances مشخصات (specification tolerance) (شاخص دقت نسبی (R.P.I) = تolerances مشخصات تقسیم بر محدوده میانگین (average range)
توجه: این جداول در صورتی که محدوده خارج از کنترل باشد نباید بکار برده شود.
*اگر مشخصات اجازه دادند که بخش کوچکی از تولید خارج از حد (limit) باید کاربرد این (مورد-م) ضروری نیست .

در این موارد مقادیر جدی برای دقت نسبی کم می تواند ۰/۸ آنچه که در بالا داده شده است باشد.

جدول ۵

حدود نقشه کنترل اصلاح شده برای میانگین نمونه ($\bar{X}$) گروه دقت بالا، جهت بدست آوردن حدود $\bar{W}$ را در مقادیر مناسب $A'_{0.01}$ و $A'_{0.25}$ ضرب کرده و سپس به حد ترسیم پائین تر اضافه (lower drawing limit) و از حد ترسیم بالا تر (upper drawing limit) کسر می کنند. وقتی که حدود داخلی تر و خارجی تر به همدیگر نزدیک می شوند یکی از آنها را می توان حذف کرد. و همچنین بخش اول، قسمت C ۴ B، صفحه ۲۴ را ببینید.
• جهت فراهم نمودن اطمینان بیشتر به ضایعات ساخت.

+ اعداد داخل پرانتز زمانی به کار می روند که حجم (تولید-م) شامل بخش کوچکی از ضایعات بوده و R.P.I استاندارد شده در ستون ۲ جدول ۴ تخطی کرده باشد.

کاربرد حد کنترل پائینی به نظر غیر متعارف می رسد و در بسیاری از حالات این حد مورد استفاده قرار نمی گیرند. اما باید به خاطر داشت که بطور آماری محدوده (یا رنج-م) دارای حدود کنترل بوده (یعنی هم حد کنترل بالایی دارد و هم حد کنترل پائینی -م) بالا و پائین رفتن این محدوده ناشی از عوامل غیرقابل تغییر است. اگر نقطه ای در یک نقشه محدوده (range chart) خارج از کنترل بالایی قرار بگیرد فرآیند باید متوقف شده و مورد بررسی قرار گیرد اگر نقطه ای خارج از کنترل پائینی قرار بگیرد بدین معنی است که به دلایلی تغییرپذیری فرآیند کاهش و فرآیند بهبود یافته است اگر این عوامل (منظور عوامل تولیدکننده تغییرات و فرآیندهاست-م) را بتوان پیدا کرد امکان دارد که عملیات مشابه آتی را بتوان اصلاح کرده و کیفیت کلی (قطعه کار-م) را بهبود می دهد.

۳-۳-۱۰ خلاصه ای از روش تنظیم یک نقشه کنترل

این مختصر بطور گام به گام نحوه تنظیم نقشه کنترل را نشان میدهد و بعنوان مرجع باید به شکل های (۱۰-۱) و (۱۱-۱) رجوع شود. داده هایی که استفاده می شوند همان داده های جدول چوب خط شکل (۱-۱۰) بوده و ورقه یا کاغذ اطلاعات (دیتاشیت-م) شکل (۱۰-۱) را می توان هم برای تنظیم و هم برای بکارگیری یک سیستم از نقشه های کنترل بکار برد. پیشنهاد می شود که کاغذ اطلاعات در پشت نقشه کنترل چاپ شود که باید یک کاغذ چهارگوش باشد. می توان این کاغذ را در یک محفظه شفاف (مثلاً یک محفظه شیشه ای) روی ماشین و در مقابل اپراتور قرار داد و وقتی که تکمیل شد آن را برگرداند.

مرحله (با گام -م) اول: اندازه نمونه و فرکانس بازرسی را معین می کند. این دو مقدار باید طوری انتخاب شوند که ۱۰ الی ۲۰ درصد تولید کلی را در بگیرند. یک اندازه نمونه (simple size) خوب ۷ است. اما مقدار ۵ برای محاسبه میانگین ها بسیار مناسب است.

مرحله دوم: نمونه ها را بررسی کرده (با فرکانس انتخاب شده) و اندازه های آنها را روی کاغذ اطلاعات ثبت کنید.

مرحله سوم: برای هر نمونه میانگین نمونه در محدوده نمونه (W) ایجاد کنید.

مرحله چهارم: وقتی که تعداد قطعات مورد بررسی به حد کافی رسید از ۸۰ تا ۱۰۰ قطعه بررسی شد و اندازه های

آنها ثبت شد محدوده متوسط نمونه را

(یعنی $\bar{W}$) حساب کنید.

مرحله پنجم: شاخص وقت سنجی را حساب کنید.

تفرانس

$$R.P.I =$$

$\bar{W}$

مرحله ششم: بسته به R.

مرحله ششم: بسته به R.P.I با کاربرد جدول ۳ یا جدول (B.S. ۲۵۶۴) حدود نقصی $\bar{X}$ را پیدا کنید.

مرحله هفتم: با کاربرد ثابت های جدول ۳ حدود کنترل را برای نقشه محدوده تنظیم کنید.

قرار دهید X = تعداد مورد انتظار قطعات ناقص در نمونه B = درصد n که n = اندازه نمونه هر جمله از بسط $e^{-x} e^x$ عبارت است از احتمال اینکه ۰ صفر قطعه ناقص، ۱ قطعه ناقص، ۲ قطعه ناقص، و ۳ قطعه ناقص، و..... در نمونه ظاهر می گردد.

حدود اخطار و کنترل به ترتیب در $\frac{1}{2.0}$ و $\frac{1}{2.0}$ احتمالات تنظیم می گردند و بنابراین انتظار داریم که تعداد قطعات ناقص آشکار شده در نمونه را بتوانیم با این احتمالات پیدا کنیم. فرآیندی را با $2/5$ درصد قطعه ناقص در نظر بگیرید که اندازه نمونه (sample size) بکار رفته ۱۵۰ می باشد.

$$X = 2/5 = ۰.۴ \text{ درصد } ۱۵۰ = ۳/۷۵$$

$$e^{-x} = ۰.۰۲۳۵ (e^{-x} \text{ از جدول})$$

$$e^{-x} e^x = e^{-x} + ex^{-x} + \frac{x^2 e^{-x}}{2} + \frac{x^3 e^{-x}}{3} + \frac{x^4 e^{-x}}{4} + \frac{x^5 e^{-x}}{5} + \dots \quad \text{حال:}$$

$$= ۰.۰۲۳۵ + ۰.۰۸۸ + ۰.۱۶۳ + ۰.۲۰۶ + ۰.۱۹۴ + ۰.۱۴۵ + ۰.۰۹۱ + ۰.۰۴۹ + ۰.۰۲۱ + ۰.۰۰۹۵ + ۰.۰۰۳$$

می توان دید که هفتمین جمله که نشان دهنده احتمال وجود ۶ قطعه ناقص در نمونه است) ۰.۰۹۱ می باشد و هشتمین جمله (احتمال ۷ قطعه ناقص) ۰.۰۴۹ می باشد. نتیجه می شود که حد اخطار (که در احتمال ۰.۰۵ تنظیم می گردد) باید در ۶ قطعه ناقص تنظیم گردد بطوریکه تعداد قطعات ناقص بیش از این تعداد با احتمالهایی کمتر از ۰.۰۵ اتفاق خواهند افتاد (یا تولید خواهند شد-م)

بطور مشابه یازدهمین جمله نشان میدهد که تنها با احتمال کمتر از ۰.۰۰۵ ۱۰ قطعه ناقص تولید خواهد شد بنابراین حد کنترل (control limit) در ۹ قطعه ناقص تنظیم می گردد (یا قرار داده می شود -م) این حدود در نقشه شکل (۱۲-۱۰) نشان داده شده اند. توجه کنید که از حد اخطار در نمونه شماره ۵ تخطی شده است ولی فرآیند بعداً بهبود یافته و هیچ اقدامی صورت نگرفته است. این مطلب در نمونه شماره ۱۴ دوباره اتفاق افتاده است و سپس فرآیند بدتر شده است (دیگر بهبود نیافته است-م) تا اینکه در شماره ۲۰ زمانی که حد کنترل نیز تخطی شده است فرآیند دوباره تنظیم می گردد.

نمونه ها در فواصل منظمی در نظر گرفته می شود بطوریکه ۵ الی ۱۰ درصد کل تولید بازرسی شود و قطعات ناقص جزئی یا درصدی در نمونه برای نقشه رسم می شوند.

شکل (۱۲-۱۰) نقشه کنترل برای قطعات ناقص جزئی (یعنی تعداد قطعات ناقص جزئی است-م)

لازم به ذکر است که اندازه نمونه باید بنحوی باشد (این اندازه بر مبنای درصد متوسط قطعات ناقص در فرآیند می باشد) که شامل حداقل یک قطعه ناقص باشد یعنی با یک $2/5 P.A$ درصدی به کوچکترین نمونه ای را که می توان بکار برد $40 - 2/5 / 100$ می باشد.

اگر اندازه نمونه افزایش یابد سیستم متقابلاً حساستر می شود اگر از حد کنترت تخطی شود مفهوم این خواهد بود که فرآیند تولید خارج از کنترل است و از درصد مجاز و متوسط تعداد قطعات فرآیند تخطی شده است. اگر درصد متوسط قطعات ناقص فرآیند نامعلوم باشد با در نظر گرفتن تعدادی از نمونه ها (وقتی که فرآیند بطور در حال انجام است) مقدار متوسط درصد قطعات ناقص را در نمونه ها بدست می آید. یک مفهوم ساده شده از یافتن حد کنترل به همراه توضیح بسیار کاملی از کار این قبیل سیستم های کنترل در نقشه های کنترل برای قطعات ناقص جزئی - B.S. ۲۵۶۴ آمده است.

۱-۴-۱۰) نقشه های کنترل حدی فشرده شده:

همانطور که در بخش (۱۰-۴) شرح داده شد یک سیستم نقص جزئی (fraction defective) تنها زمانی است که یک میزان قطعه کار ناقص مشخص مجاز بوده یا مورد انتظار است با ایجاد یک اصلاح ساده به روی سیستم می توان آن را برای زمانی که کنترل ابعادی به وسیله سنجش حدی (gauging limit) انجام می شود نیز بکار برد.

فشرده
متراکم

(نرخ ضایعات خیلی پائین است) این منظور با استفاده از گیجهای حدی

یا compressed limit gauges حاصل می شود.

یک گیج حدی که برای بررسی قطعه کار استفاده می شود را در نظر بگیرید جد و اندازه بکاررفته برای ساخت گیج بخوبی در محدوده ابعادی قطعه کار قرار می گیرند.

تولرانس قطعه کار کاهش داده شده است و گیج مقدار مشخص از کار های خوب را در هر دو منتهی الیه منطقه تولرانس (tolerance zone) طرد خواهد کرد. (قبول نخواهد کرد.م)

اگر این قبیل گیجهای به همراه یک نقشه کنترل جزئی ناقص بکار روند آنگاه قطعات ظاهراً ناقص در حقیقت قابل قبول هستند ولی یک مأخذ مصنوعی برای کارکرد نقشه فراهم می نماید.

ابعاد این گیجهای معمولاً معادل با ابعاد حدی قطعه کار سنجهای ۲۰ درصد تولرانس کلی قطعه کار روی هر دو نوع گیج برو و نرو می باشد.

بنابراین تفرانس بکاررفته برای مقاصد گیج کاری (gauging) تنها ۶۰ درصد تفرانس حقیقی کار است. این قبیل سیستم ها محدوده به گیج کاری ابعادی مستقیم نیستند.

بعنوان مثال حدود میزان سازی (calibration limits) با مقادیر حدی یک مقاومت همگی قابل فشرده سازی و بکارگیری این قبیل سیستم ها می باشند.

۵-۱۰) بازرسی نمونه ای از کالاهای (جنس های -م) ورودی

بیشتر از گامهای صنعتی بخش قابل توجهی از قطعات یا قطعات مونتاژی کوچک (یا قطعات ریز مونتاژی sub-assemblies -م) را از سازندگان خاص می خردند. آنها به منظور حفظ اعتبار خود مجبور به کنترل کیفیت این کالاها می باشند. ارزیابی گروههای بزرگی از قطعات با سه روش قابل انجام است.

(a) بررسی نقطه ای (spot checking)

الف روش شامل بازرسی یک محفظه کوچک بصورت تک و توک است و نتایج حاصل تا حدی منعکس کننده کیفیت این گروه از قطعات خواهند بود. این روش ارزان است ولی توأم با ریسک (مخاطره) می باشد علاوه بر اینکه این مخاطرات ناشناخته هستند.

(b) بازرسی (کنترل و کیفیت) صد درصد (100% inspection)

از نظر کیفیت اغلب روش (که شال بازرسی تک تک قطعات است) بدون شک بهترین روش می باشد اما به علت خستگی اپراتور و آشفته گی یا گیجی و این روش قابل اعتماد نیست این روش همچنین بسیار گران است.

(c) نمونه برداری آماری (statistical sampling)

این تکنیک نیازمند یک نمونه است که ابعادش به دقت محاسبه شده باشد بصورت تصادفی از گروه قطعات انتخاب می گردد اگر نمونه دارای کمتر از X نقص باشد گروه قابل قبول خواهد بود.

اگر قطعه بیش از Y نقص داشته باشد آن گروه قطعات (که این قطعه از میان آنها انتخاب شده است) رد شده و برای بازرسی یا کنترل کیفیت صد درصد به تهیه کننده آن بازگردانده می شود.

کنترل و کیفیت نمونه ای در بیشتر موارد نمی تواند جانشین کنترل و کیفیت ۱۰۰ درصد شود. اما مواقعی وجود دارد که بکارگیری آن موجب کاهش قابل ملاحظه ای در هزینه ها می گردد.

بعلاوه مخاطرات حاصل در این روش شناخته شده بوده و در قیمت گذاری (costing) و تقاضاهای تضمینی مورد انتظار (expected warranty claims) و منظور می گردند.

این قبیل سیستم ها بر مبنای عوامل زیر قرار دارند:

(a) نمونه نماینده گروه است، (b) قبول کردن یا رد کردن (یا رد نمودن) یک گروه براساس درجه معینی از نقصها قرار دارد.

پس نتیجه می شود که به مختصر آگاهی از تئوری سازه احتمال (simple probability theory) نیاز می باشد.

۱۰-۶) تئوری ساده احتمال:

احتمال یک رویداد درباره [۰،۱] اندازه گیری می شود. یک رویداد که حتماً اتفاق می افتد احتمال ۱ دارد و رویداد ری که اتفاق نخواهد افتاد و دارای احتمال صفر می باشد. بنابراین رویداد مرگ احتمال ۱ دارد (یعنی اگر مرگ بعنوان ۱ یک رویداد در نظر بگیریم احتمال این رویداد ۱ می باشد-م) و پیروزی در مسابقه شرط بندی فوتبال (اگر فراموش شده باشد که فیش مربوط به مسابقه در مسابقه پست شود) دارای احتمال صفر خواهد بود تمامی احتمالات دیگر بین این دو هدفهایی اتفاق خواهد افتاد. همچنین رویداد به چندین راه مختلف قابل وقوع باشد مجموع احتمالات تک تک روش های وقوع این رویداد ۱ خواهد بود.

۱۰-۶-۱) توزیع احتمال دو جمله ای (Binomial probability Distribution)

اگر یک دسته کارت برزده شوند و سپس از میان آنها یک کارت بیرون کشیده شود احتمال اینکه این کارت قرمز یا سیاه باشد برابر می باشد (به فرض م) بنابراین (چون کارت ها قرمزند، سیاه،-م) احتمال قرمز ۰/۵ و احتمال سیاه نیز ۰/۵ خواهد بود. بنابراین دو رویداد خواهیم شدن. وقوع کارت قرمز یا وقوع کارت سیاه یعنی: R و یا B که مجموع احتمال وقوع آنها ۱ خواهد بود.

$$0/5 + 0/5 = 1$$

حال فرض می کنیم که دو کارت با هم بیرون کشیده شوند پس خواهیم داشت:

$$RR \text{ یا } RB \text{ یا } BR \text{ یا } BB$$

با توجه به اینکه RB و BR در هر دو یک رویداد هستند خواهیم داشت:

$$RR + 2BR + BB = (-/5 \times 0/5) + 2 \times (0/5 \times 0/5)$$

$$= /25 + 0/5 + 0/25$$

$$= 1$$

احتمال اینکه هر دو کارت قرمز باشند $\frac{1}{4}$ یا $0/25$ احتمال اینکه هر دو کارت سیاه باشد یا $0/25$ است و یا

اینکه یکی سیاه و یکی قرمز باشد $\frac{1}{2}$ یا $0/5$ است.

بطور مشابه اگر سه کارت با هم بیرون کشیده شود احتمالات زیر عبارتند از:

$$\underbrace{RRR}_{RRR}, \underbrace{RRB, RBR, BRR}_{rRRB}, \underbrace{BBR, BRB, RBB}_{rBBR}, \underbrace{BBB}_{BBB}$$

$$0/5^r + (3 \times 0/5^r) + (3 \times 0/5^r) + 0/5^r = 1$$

$$0/125 + 0/375 + 0/375 + 0/125 = 1$$

پس احتمال اینکه هر سه کارت قرمز باشد $1/8$ یا $0/125$ است.

احتمال اینکه ۲ قرمز و ۱ سیاه باشد $3/8$ یا $0/375$ است.

احتمال اینکه ۲ سیاه و ۱ قرمز باشد $3/8$ یا $0/375$ است.

احتمال اینکه همه کارت‌ها سیاه باشند $1/8$ یا $0/125$ است.

معادله این سه حالت ذکر شده (معادله احتمال) عبارت است از:

$$(1) \quad R + B$$

$$(2) \quad R^r + rRB + B^r$$

$$(3) \quad R^r + 3R^rB + 3RB^r + B^r$$

همانطور که دیده می شود این معادلات از بسط دو جمله ای (binomial expansion) پیروی می کند این قضیه در حقیقت احتمال وقوع یک حادثه را با یک روش (یعنی این حادثه از یک روش بوقوع رسد-م) بخوبی شرح می دهد. در حقیقت اگر یک رویداد (=حادثه= واقعه) به دو روش اتفاق نیفتد) مثلاً سیاه یا قرمز، درست یا غلط مردود یا مورد قبول) و n حادثه نیز بوقوع بپیوندد، جمله های متوالی بسط احتمالات روشهای مختلف وقوع حادثه ها می باشند. یعنی:

$$(R + B)^n = R^n + nR^{(n-1)}B + \frac{n(n-1)R^{(n-2)}B^2}{2!} + \frac{n(n-1)(n-2)R^{(n-3)}B^3}{3!} + \dots$$

اگر احتمالات B, R در مورد کارت‌های $0/5$ و $0/5$ باشد و آنها را در بسط فوق قرار دهیم آنگاه جملات متوالی به ترتیب احتمال بیرون آمدن تمام قرمزها، یک سیاه، دو سیاه، سه سیاه و تمام کارت‌های سیاه می باشد.

گروهی از قطعات را در نظر بگیرید که R درصد آنها کارهای خوب و B درصد آنها کارها با قطعات بد باشند. اگر

یک نمونه n قطعه ای انتخاب شود جملات متوالی بسط $(R + B)^n$ احتمال اینکه نمونه شامل $0, 1, 2, 3, \dots, n$ جزء ناقص باشد را بدست می دهند.



بعنوان مثال اگر قطعه شامل ۱۰ درصد جزء معیوب و ۹۰ درصد جز مورد قبول باشد و یک نمونه ۴۰ قطعه ای در نظر گرفته شود.

$$\begin{aligned} (0/9 + 0/1)^{40} &= (0/9)^{40} + 40(0/9)^{39}(0/1) + \frac{40 \times 39(39)^{38}(0/1)^2}{2} \\ &= 0/0148 + 0/065 + 0/142 + \dots \end{aligned}$$

در نتیجه احتمال وجود صفر نقص در نمونه ۰/۰۱۵ یک نقص ۰/۰۶۵، دو نقص ۰/۱۴۲ و.... می باشد.

احتمال یک نقص یا کمتر مجموع اولین دو جمله می باشد $0/015 + 0/065 = 0/08$ و احتمال ۲ نقص یا کمتر =

$$0/222 = 0/142 + 0/065 + 0/015$$

۲-۶-۱۰) توزیع احتمال (the passion probability Distribution)

محاسبه احتمال به کمک سیستم دو جمله ای دشوار است. بسط دیگری که بسیار مناسب برای این کار است از بسط $e^x e^{-x}$ بدست می آید که در آن، جملات متوالی، احتمال وجود ۰، ۱، ۲، ۳، ...، n جزء ناقص در نمونه بوده و X تعداد اجزاء ناقص مورد انتظار یا مجاز در نمونه می باشد.

$$\begin{aligned} e^{-x} e^x &= e^{-x} \left(1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots \right) \\ &= e^{-x} + x e^{-x} + \frac{x^2 e^{-x}}{2!} + \frac{x^3 e^{-x}}{3!} + \dots + \end{aligned}$$

از آنجا که مقادیر e^{-x} در جداول طبیعی ریاضی، جداول لگاریتمی و دیگر جداول موجود باشند محاسبه در این روش ساده تر می باشد.

حال مثال ذکر شده را در نظر می گیریم که در آن ۱۰ درصد نقص در گروه وجود داشت و نمونه دارای ۴۰ قطعه بوده در این صورت:

$$x = 10 \text{ درصد } 40 = 4$$

پس انتظار می رود که چهار نقص در یک نمونه ۴۰ تایی موجود باشد.

$$\therefore e^{-x} e^x = e^{-4} + 4e^{-4} + \frac{4^2 e^{-4}}{2!} + \frac{4^3 e^{-4}}{3!} + \dots$$

$$\therefore e^{-x} e^x = e^{-4} + 4e^{-4} + \frac{16e^{-4}}{2!} + \frac{64e^{-4}}{3!} + \dots$$

$$= 0/18 + 0/72 + 0/144 + 0/192 + \dots$$

یعنی احتمال وجود صفرنقص در نمونه: $0/018$

احتمال وجود یک نقص در نمونه: $0/072$

احتمال وجود دو نقص در نمونه: $0/144$

احتمال وجود سه نقص در نمونه: $192/0$

و احتمال وجود یک نقص یا کمتر $= 0/072 + 0/018 = 0/09$

و احتمال وجود دو نقص یا کمتر $= 0/144 + 0/072 + 0/018 = 0/234$ و الی آخر

بررسی این احتمالات نشان می دهد که این توزیع چقدر با توزیع احتمال دو جمله ای که در بخش ۱-۶-۱۰ توضیح داده شده مشابه است. نتایج یک مسئله مشابه به هر دو روش بسیار مشابه است. و تفاوت آنها تنها در سادگی محاسبه و رسیدن به جواب می باشد.

۷-۱۰) مشخصه های سیستم های نمونه گیری:

فرض کنید که برای کنترل و کیفیت از یک سیستم نمونه گیری استفاده شده باشد که در آن به بازرس و دستورات زیر داده شده است:

از گروه قطعات موردنظر یک نمونه تصادفی چهل قطعه ای انتخاب شود.

اگر نمونه شامل یک جزء ناقص باشد (یا کمتر از یک جزء ناقص) گروه قطعات مورد قبول است. اگر نمونه شامل دو جزء ناقص یا بیشتر از دو جزء ناقص باشد گروه قطعات مربوط است این سیستم بصورت $40/1$ نشان داده می شود.

یک گروه شامل درصد یعنی از اجزاء ناقص باشد، دانستن احتمالی که در آن احتمال این گروه مورد قبول (یا مردود) است لازم می باشد. در بخش

۲-۶-۱۰ نشان داده شد که احتمالهای موجود $0, 1, 2, 3, \dots, n$ جزء ناقص، جملات متوالی بسط $e^{-x}e^x$ می باشند. در این مورد برای تعیین احتمال پذیرش گروه قطعات و یا فرض اینکه مقدار مجاز اجزاء ناقص در نمونه ۱ یا کمتر از آن باشند (یعنی ۱ یا صفر) به جمع اولین بسط نیاز خواهیم داشت.

$$e^{-x} + xe^{-x} = \text{احتمال پذیرش یعنی}$$

که در آن x تعداد اجزاء ناقص مورد انتظار یا مجاز در نمونه می باشد.

درصد اجزاء ناقص در گروه $x = n \times$

که $n =$ تعداد قطعات موجود در نمونه

بهترین راه برای نشان دادن مشخصه های سیستم، رسم یک نمودار از احتمال پذیرش گروه برحسب درصد اجزاء ناقص در گروه می باشد چنین نموداری (یا صنعتی) در شکل (۱۳-۱۰) برای یک سیستم نمونه گیری مفروض نشان داده شده است و به آن منحنی مشخصه کار با operating characteristic curve می گویند (بوتر مخفف به آن منحنی O.C. می گویند مؤلفه هایی که باید برای این کار بدست آیند بصورت زیر در جدول نمایش داده می شوند. رسم اولین ستون برحسب آخرین ستون منحنی مشخصه کار که در شکل ۱۳-۱۰ رسم شده است را بدست می دهد. لازم به ذکر است که این منحنی به اندازه گروه (batch size) بستگی ندارد در حقیقت یک طرح نمونه گیری معین منحنی O.C. مشابهی را برای گروهی از قطعات با هر تعداد ارائه می دهد به شرطی که نمونه انتخابی از آن گروه از حدود ۲۰ درصد گروه بیشتر نباشد.

اگر یک نمونه بزرگتر و عدد پذیرش بزرگتر استفاده شود طرح نمونه گیری بسیار تبعیض آمیز خواهد شد یعنی تعداد بیشتری از گروههای خوب قبول شده و تعداد بیشتری از گروههای بد مردود خواهند شد.

تفاوت در طرز مشخص در شکل (۱۴-۱۰) نشان داده شده است که در آن منحنی های O.C. برای طرحهای نمونه گیری $\frac{1}{2}$ و $\frac{3}{4}$ مقایسه شده اند. یعنی اندازه نمونه برابر با ۱۸۰ است و یا این نمونه اگر ۳ یا کمتر از ۳ جزء ناقص در نمونه موجود می باشد گروه مورد قبول خواهد بود.

جدول بندی طرح نمونه گیری $\frac{3}{4}$ بصورت زیر است.

$$P = e^x + xe^{-x} + \frac{x^2 e^{-x}}{2!} + \frac{x^3 e^{-x}}{3!} \quad \text{توجه:}$$

با بررسی این دیاگرامها دیده می شود که اگر یک گروه شامل $1\frac{1}{2}\%$ جزء ناقص باشد آنگاه در هر دو مورد احتمالاً منظور هر دو روش توزیع می باشد-م) احتمال پذیرش $0/98$ خواهد بود اگر یک گروه $1\frac{1}{2}\%$ جزء ناقص باشد آنگاه طرح نمونه گیری $\frac{1}{2}$ احتمال پذیرش $0/88$ را ارائه می دهد در حالیکه طرح نمونه گیری $\frac{3}{4}$ احتمال پذیرش $0/71$ را به دست می دهد باافزایش درصد اجزاء ناقص در گروه این احتمالات در احتمال پذیرش نیز افزایش می یابد.

اکنون دو مسأله به نظر خواهد رسید. اول اینکه هرکدام از دو طرح نمونه گیری فوق را می توان بطور دلخواه انتخاب نمود اما در عمل نیاز به طرح نمونه گیری اقتصادی تر است (یعنی طرحی که مسایل اقتصادی را در نظر گرفته و آنها را کاهش می دهد). دوم اینکه چند درصد جزء ناقص از طریق یک شرکت کنترل و کیفیت که با یک



سیستم نمونه گیری کار می کند به فروشگاهها و انبارهای شرکت وارد می شود(پس بطور خلاصه طرح اقتصادی تر و درصد اجزای ناقص دو مسئله مهمی هستند که باید مورد بررسی قرار گیرند-م).

۸-۱۰) طرح نمونه گیری اقتصادی:

هر سیستم نمونه گیری دارای خطاهایی (risks) می باشد. سئوالاتی که فوراً مطرح می شود عبارتند از:

(a) بدترین گروه مورد قبول چیست؟ که به آن بیشترین تolerانس درصد خطا

(lot tolerance percent defective= T.P.D)

گفته می شود (b) با قبول کردن یک گروه بدتر از L.T.P.D که منتج از یک نمونه به نظر خوشبین می باشد چه خطایی و یا اشتباهی بوقوع خواهد پیوست؟ به این خطا، خطای مصرف کننده (consumer's risk) گفته می شود. هر طرح نمونه گیری که انتخاب می شود باید دارای منحنی O.C باشد که از نقطه تعریف شده بوسیله خطای مصرف کننده در روی محور احتمال پذیرش (بعنوان طول نقطه) و L.T.P.D در روی محور اجزای ناقص در گروه بعنوان y نقطه عبوری (یعنی منحنی O.C باید از نقطه ای به طول خطای مصرف کننده و عرض L.T.P.D عبور کند-م) .

تنها یک تعداد از طرح های نمونه گیری منحنی های O.C خواهند داشت که از این نقطه عبور می کند اقتصادی ترین طرح آن است که برای مقدار کمینه بازرسی هر گروه میزان حمایت مورد نیاز را ارائه می دهد. (یعنی با کمترین تعداد بازرسی مهمترین پوشش را ارائه می دهد-م) در هر سیستم تمامی گروهها دارای یک نمونه بررسی شده n تایی (یا n قطعه ای) می باشند. این تمامی گروههای مردود شده N-n از ۱۰۰ درصد بررسی شده اند.

اکنون در روندی طولانی یک فرآیند (هنگامی که بطور طبیعی کار می کند) درصد متوسطی از اجزاء ناقص بدست خواهد داد که معروف به میانگین فرآیند است.

که $I = n + (N - n)R$ (batch size) اندازه گروه

n = اندازه نمونه (sample size)

و R = خطای تولیدکننده در P.A

دیده می شود که I تابع اندازه گروه و R تابع اندازه نمونه می باشند اگر I برحسب اندازه نمونه (برای یک اندازه گروه معین) رسم گردد، منحنی از نوع نشان داده شده در شکل (۱۵-۱۰) حاصل می گردد.

این منحنی یک اندازه نمونه (= sample size = تعداد قطعات موجود در یک نمونه) را برای گروه قطعات مورد نظر بدست می دهند.

این محاسبه اقتصادی ترین طرح ها برای L.T.P.D و خطاهای مصرف کننده بوسیله آقایان Dodge و Romig (پیشگامان این کار) در کتابشان به نام جداول کنترل و کیفیت نمونه گیری به وسیله wiley (۱۹۵۹) منتشر شده است.

۱-۸-۱۰) سطح کیفیت متوسط مورد پذیرش برای موجودی (= کالا)

الف) سطح کیفیت به سطح کیفیت متوسط حاصل شده (A.O.Q.L) معروف است و برای یک طرح نمونه گیری معین به راحتی از منحنی O.C قابل محاسبه است.

طرح نمونه گیری $\frac{180}{3}$ را در نظر بگیرید و فرض کنید که ۱۰۰۰ گروه ۱۰۰۰ قطعه ای (تمام گروهها شامل ۱٪ اجزاء ناقص هستند) بازرسی شده اند.

۱۰۰۰ گروه ۱۰۰۰ قطعه ای، $1/000/000$ قطعه را شامل می شود.

از منحنی O.C و بادر نظر گرفتن ۱٪ جزء ناقص در گروهها، ۸۶/۹٪ از گروهها مورد قبول خواهند بود. گروه های باقی مانده (۱۳/۱٪ از ۱۰۰۰) رد خواهد شد. بنابراین ۱۳۱۰۰۰ قطعه مردود خواهند بود.

حال از ۸۶۹۰۰۰ قطعه پذیرفته شده ۱٪ ناقص هستند. پس در کل موجودی ۸۶۹۰ ناقص هستند.

اکنون اگر ۱۳۱۰۰۰ قطعه رد شده ۱۰۰٪ بازرسی شوند و هر جزء یا قطعه ناقص با یک قطعه خوب تعویض شود.

کل قطعات $1/000/000$ بوده که از بین آنها ۸۶۹۰ قطعه ناقص هستند.

$$\therefore \text{درصد قطعات ناقص در موجودی} = \frac{8690}{1000000} \times 100 = 0.869\%$$

حال $0.869\% = \text{درصد قطعات ناقص در گروه } X \text{ احتمال پذیرش}$

$\therefore A.O.R.L = \text{درصد قطعات ناقص در گروه } X \text{ احتمال پذیرش}$

با جدول بندی نتایج برای طرح $\frac{180}{3}$ خواهیم داشت.

با رسم A.O.Q.L برحسب درصد قطعات، ناقص در گروه منحنی مشابه یا منحنی شکل ۱۶-۱۰ ایجاد خواهند شد.

بنابراین بدترین A.O.Q.L ممکن تقریباً ۱/۱٪ درصد می باشد و بعید است که به این مقدار برسد این حد یعنی رسیدن به ۱/۱٪ تنها وقتی اتفاق می افتد که تمامی گروهها دارای حدوداً ۱/۷٪ جزء ناقص باشند که البته بعید است (توجه به این ارقام مربوط به مثال فوق می باشد -م)

گروههای خوب قطعات ناقص کمی دارند و در سیستم مراجعت می کنند که اکثریت گروههای بد بیشتر مورد توجه قرار گیرند.

۲-۸-۱۰) نمونه گیری دوتایی (Double Sampling)

سیستم نمونه گیری تکی که در بخش قبلی شرح داده شد در بهبود اقتصاد و کنترل و کیفیت بسیار مؤثر است اما لازم به ذکر است که بازرسی هر نمونه کار مشکلی است بازرسی کامل یک نمونه (بعنوان مثال) ۱۸۰ قطعه ای خود نشان دهنده زحمت زیادی است.

اگر یک گروه خیلی خوب یا خیلی بد باشند یک نمونه کوچک آن را آشکار خواهد کرد.»

الف مطلب به وسیله Dodge , Rooming ابراز شده آنها برای کاهش تعداد کل بازرسی یک سیستم دونمونه ای (Double Sampling) را پیشنهاد کردند در این سیستم دستورات مربوط به نحوه بازرسی به صورت زیر می باشد.

(a) از یک گروه یک نمونه تصادفی n_1 را انتخاب کنید (n_1 تعداد قطعات موجود در نمونه است-م)

(b) اگر نمونه شامل x فرد جزء ناقص بود (یا کمتر) گروه را قبول کنید.

(c) اگر نمونه شامل y (جز) یا قطعه ناقص بود (یا بیشتر) گروه را مردود اعلام کنید.

(d) اگر نمونه شامل بیشتر از x قطعه ناقص و کمتر از y قطعه ناقص بود یک نمونه دیگر انتخاب کنید که n_2 قطعه را شامل گردد.

(e) اگر کل قطعات این دو نمونه: $(n_1 + n_2)$ شامل تعداد قطعات ناقص کمتر از y بودند گروه را قبول کنید.

(f) اگر کل قطعات این دو نمونه شامل y قطعات ناقص باشند از آن بودند گروه را مردود اعلام نمائید. جداول Dodge Roming همچنین شامل جزئیاتی از سیستم نمونه گیری دوتایی می باشند و برای حصول جزئیات بیشتر در این مورد باید به آنها مراجعه کرد.

۹-۱۰) نتیجه گیری

کتابهای زیادی در مورد کنترل کیفیت آماری وجود دارند که به تفصیل به این موضوع پرداخته اند. این فصل تنها خلاصه ای از کنترل کیفیت آماری است و امیدواریم که قابل فهم باشد. این فصل به مهمترین و جالب ترین موضوعات آماری (مشابه مطالبی که در فصول دیگر بررسی شدند) که ابزاری برای بازرسی و بازرسی است می پردازد. اهمیت و پیچیدگی این موضوع پیوسته و به رشد است و کاربردهای آن به مرور افزایش یافته است. با این همه تأکید می شود که کاربرد آمار بهبود بخش تمام مشکلات صنعتی نیست در این فصل فرض شده است که با گذشت زمان روشهای بکار گرفته شده و نتایج حاصل از آنها عموماً روند تکاملی داشته اند. (بعبارت دیگر به مرور زمان اصلاح می گردند) کاربرد یک نمونه به تنهایی اطلاعات جزئی مربوط به گروه قطعات را بدست نمی دهد. اما با گذشت زمان یکسری از نمونه جزئیات بیشتری را درباره گروههای متعدد ارائه می کنند.

ضمیمه فصل ۶



در فصل ۶ شرح داده شد که چگونه از یک اتوکالیمتر یا تراز جهت اندازه گیری انحراف از مبانی شویی های ماشین ابزار استفاده می گردد. اصول مشابهی برای تعیین میزان انحراف از یک صفحه حقیقی (true plane) که زیر مجموعه ای از یک سطح بزرگ مثل سطح یک میز یا میز است به کار برده می شوند یک سطح تخت متشکل از بی نهایت خط می باشد که به آنها مولد می گویند و برای اینکه سطح دقیقاً تخت باشد لزوماً شرایط زیر باید برقرار گردد.

(a) تمام مولدها باید مستقیم باشند.

(b) تمام مولدها باید در یک صفحه قرار گیرند.

لازم به ذکر است که شکل اصلی برقراری شرط (b) است و شرط (a) معمولاً بطور کامل قابل دستیابی است.

ممکن است همه مولدها مستقیم باشند ولی سطح موردنظر تخت (flat) نباشد.

بعنوان مثال قطعه نشان داده شده در شکل «۱۱-۱» را در نظر بگیرید اگر چنین سطحی به موازات اضلاعش از نظر تخت بودن (flatness) مورد بررسی قرار گیرد سطح تخت به نظر خواهد رسید حال آنکه این سطح در سرتاسر یک قطر مقعر در سرتاسر یک قطر دیگر محدب است. از شکل (۱۱-۱) فوراً تشخیص داده می شود که برای اندازه گیری صافی باید در جهت اقطار این قطعه به بررسی صافی سطح پرداخت علاوه بر اینکه مولدهای موازی با اضلاع را نیز باید چک کرد. اندازه گیری صافی تمامی این خطوط (اقطار و مولد های موازی اضلاع -م) را می توان همانگونه که در فصل ۶ ذکر شد بوسیله اتوکالیمتر انجام داد ولی جهت انجام این اندازه گیری ها لازم است که هر خط مورد آزمایش را با خطوط دیگر ربط داد یعنی درستی شرط b را برای آنها به اثبات رساند.

شکل (۱۱-۱) سطحی که تمام مولدهایش به موازات اضلاعش و مستقیم هستند اما با این حال سطح تخت نیست.

سطح نشان داده شده (از نمای صفحه ای یا دو بعدی) در شکل (۱۱-۲) را در نظر بگیرید در این شکل ۸ مولد اصلی نشان داده شده است این مولدها همانطور که دیده می شود باید درست در داخل لبه های میز انتخاب شوند تا از بررسی لبه های مسیر که مستعد برای خراب شدن هستند اجتناب گردد. طول خط همگی باید مضاربی از طول پایه (base) تراز یا پایه منعکس کننده (reflector stand) هر وسیله اندازه گیری که بکار گرفته شده است باشد بهتر است ک طول های اضلاع و قطر ها با نسبت ۳:۴:۵ انتخاب گردند روش کار بدین صورت است.

(a) بروی هر مولد یک تست صافی (یا مستقیم بودن) عادی انجام می گردد.

(b) هر گروه از نتایج را بصورت ستونهایی از خطاهای ترکیبی مربوط به هر مولد در جدولی قرار می دهند.

(C) انتهای مولد های AC ، AG و CG را برای رسیدن به مقدار صفر تصحیح کنید این کار باعث می شود ارتفاع نقاط G,C,A صفر شده و این سه نقطه تشکیل یک صفحه نمونه موجود که بطور انتخابی حاصل گشته است تا ارتفاع نقاط دیگر نسبت به این صفحه سنجیده شود.

(d) با توجه به قسمت قبل ارتفاع =نسبت به صفحه ACG معین است چون که نقطه میانی مشترک BF,CG,AE و HD است تمام نقاط روی AE اکنون معین خواهند بود. این کار با قراردادن صفر $A = 0$ و تصحیح روی AE جهت انطباق بر نقطه میانی خط CG (یعنی O) انجام می گردد.

(e) تمام نقاط دیگر روی AE را به مقداری متناسب را جابجای نقطه از میانی است تصحیح آن دو برابر نقطه میانی O خواهد بود.

(f) اکنون چون E ثابت شده است و G,C در صفر قرار دارند می توان تصحیح تمام نقاط روی مولدهای GE,CE را نیز انجام داد.

(g) موقعیت های F,B,D,H مشخص می باشند بنابراین اکنون می توان خطوط BF,HD را بر هم منطبق کرد این کار موجب ارزیابی مراحل قبلی نیز می گرد چرا که مراحل گذشته به درستی انجام پذیرفته باشد نقاط میانی خطوط BF,HD باید منطبق بر هم و منطبق بر موقعیت معین O یعنی مرکز سطح تحت بررسی باشند. بدین ترتیب ارتفاع تمام نقاط روی سطح همگی معین می باشند نسبت به صفحه مبنای اختیاری ACG. البته انی صفحه بهترین صفحه مبنا نیست و در مورد این مبنا نیز باید تجدید نظر و تصحیحی صورت گیرد.

شکل (۳-۱۱) هر گوشه یک سطح در صفر تنظیم شده است تا نقطه مرکز سطح نسبت به صفحه گذرنده از این سه گوش دارای ارتفاع معینی باشد و ارتفاع دیگر گوشه ها نیز نسبت به آن صفحه سنجیده شود.
با بررسی خط CE دیده می شود که مقدار E در جدول خطاهای ترکیبی $+2$ واحد است و منظور مقدار ارتفاع E است -) پس برای رساندن آن به -4 منفی باید به اندازه -6 واحد تصحیح می شوند جداول تصحیح مربوط به این خطوط ذیلاً نشان داده شده اند.

اکنون تنها ثابت کردن تمامی نقاط روی خطوط HD,BF نسبت به صفحه ACG باقی خواهند ماند.

با بررسی خط BF دیده می شود که نسبت به صفحه ACG ارتفاع B $+1$ واحد است.

اما مقدار نقطه B (منظور ارتفاع نقطه B است -) در جدول خطاهای ترکیبی صفر است.

بنابراین در ابتدا تمام نقاط روی BF باید به اندازه $+1$ واحد افزایش داده شوند.

پس نقطه F که مقدار خطای ترکیبی آن با تصحیح $+1$ واحدی، $+8$ می گردد جهت انطباق باید نسبت به صفحه

ACG به ارتفاع -2 واحد برسد یعنی به اندازه $+6$ واحد افزایش یابد(بالا آورده شود) .

همچنین نقاط دیگر در روی این خط نیز باید با مقادیر مناسبی تصحیح شوند.

همین روش را در مورد مولد HD نیز انجام می دهند که نتایج شکل (۴-۱۱) بدست خواهد آمد.

لازم به ذکر است که نقاط میانی هر دوی این خطوط بنحوی صحیح با مقدار ارتفاع ۶+ که مربوط به نقطه میانی سطح مورد بررسی است منطبق می شوند.

موردی که در اینجا باقی خواهد ماند خود صفحه ACG است چرا که این صفحه بطور دلخواه انتخاب شده است حال آنکه امکان دارد صفحه مطلوبی نباشد به همین دلیل معمولاً یک مقدار تصحیح نهایی یافت می شود که ذیلاً روش تعیین آن می آید.

از تعریف خطای تخت بودن بدست می آید که:

انحراف از تخت بودن، حداقل فاصله بین یک جفت صفحه موازی است که بطور کامل همه نقاط روی سطح را شامل گردند.

سطحی مانند آنچه که در شکل (a) ۵-۱۱ نشان داده شده است را در نظر آورید. در این سطح سه گوشه دارای ارتفاع صفر هستند (نسبت به یک صفحه دلخواه مشابه) و گوشه چهارم دارای ارتفاع ۱۰+ واحد نسبت به این صفحه دلخواه است. شاید به نظر برسد که انحراف از تخت بودن در این سطح ۱۰+ واحد است حال آنکه اگر صفر حول محور XX بچرخد تا حدی که دو گوشه مقابل دارای ارتفاع برابر شوند (شکل (b) ۵-۱۱)) دیده می شود انحراف از تختی (یا تخت بودن) تنها ۵ واحد است.

شکل (۵-۱۱) (a): ارزیابی اولیه نشان می دهد که خطای تخت بودن نسبت به صفحه مبنای دلخواه ۱۰+ واحد است. (b): با کج کردن تمام سطح حول محور XX خطای حقیقی ۵+ واحد شده است.

این روش برای سطح نشان داده شده در شکل (۳-۱۱) پیگیری گردد دیده می شود که مقدار بالا رفتن یا پائین آمدن هر نقطه معینی به فاصله آن نقطه از محور بستگی دارد پس محاسبه این مقدار تصحیح نهایی علت تعیین حداقل فاصله بین یک جفت صفحه موازی که کاملاً نقاط سطح مورد آزمایش را دربرمی گیرند می تواند بی نهایت دشوار باشد. بخصوص هنگامی که فرآیند حداقل نیاز به دوبار تکرار داشته باشد. (یا بیشتر از دو بار)

(شکل ۶-۱۱) خطای حقیقی تخت بودن که در شکل ۵-۱۱ (b) با کج کردن سطح بدست آمد به کمک تصویر کردن نیز بدست می آید.

برای یافتن این مقدار تصحیح نهایی از یک روش گرافیکی مشابه به آنچه که در شکل ۶-۱۱ نشان داده شده است استفاده می گردد. شکل (a) ۵-۱۱ را در نظر گرفته و در امتداد محور کج کردن سطح یک تصویر از سطح بدست آورید (شکل ۶-۱۱) همانطور که دیده می شود می توان دو خط موازی رسم کرد که این تصویر (و در نتیجه کل

سطح) را دربرمی گیرند. فاصله بین این دو خط طبق تعریف میزان تصحیح نهایی است و همانطور که در شکل دیده می شود مقدار آن برای شکل (۵-۱۱) خیلی کمتر از ۱۰ واحد است.

روش کار بدین صورت است (بعنوان مثال شکل ۴-۱۱ بررسی می گردد).

برای درک بهتر شکل ۷-۱۱ را نیز بررسی کنید.

(a) دو نقطه، ترجیحاً اضلاع مقابل هم انتخاب کنید که مقادیرشان (بعبارت دیگر ارتفاعهایشان حداکثر مقدار مثبت موجود و حداکثر مقدار منفی موجود در سطح نسبت به صفحه انتخابی دلخواه) در شکل ۴-۱۱ صفحه ACG) باشند. این نقاط را به یکدیگر وصل کنید و تحت زاویه قائمه نسبت به محور XX که متصل کننده این دو نقطه به یکدیگر می باشد تصویر نمائید.

(b) ارتفاع تمام نقاط را با مقیاس معین نسبت به خط YY که به موازات محور XX رسم شده است پیدا کنید تا همه نقاط تصویر شوند. در این صورت صفحه ACG هم تصویر می گردد.

(c) با بررسی و همچنین معاینه نزدیکترین جفت خط موازی که شامل تمام نقاط سطح (که تصویر شده اند) باشند را پیدا کنید. توجه شود که یکی از این دو خط و دو نقطه از سطح را شامل می گردد و دیگری یک نقطه.

(d) فاصله بین این دو خط مقدار تصحیح نهایی را به دست می دهد. اگر لازم به تکرار از فرآیند باشد خط ZZ بین این دو خط و به موازات آنها رسم شده و این بار با ارتفاع نقاط نسبت به این خط بدست می آید. لازم است که بدانید این دو خط موازی در حقیقت صفحه هایی عمود بر سطح کاغذ هستند. با تغییر دادن و دوران آنها باز هم می توان آنها را به یکدیگر نزدیک کرد. این کار با تکرار فرآیند فوق رسم خط ZZ و تصویر کردن مجدد و یافتن دو خط موازی دیگر حاصل می شود.

شکل (۷-۱۱): تعیین خطای تخت بودن از دو روش گرافیکی. (تنها اولین تصویر نشان داده شده است) ممکن است و دوباره نیاز به تعیین تصویرهای نقاط نسبت به محور ZZ تحت زاویه ۹۰ درجه نسبت به تصویر ابتدایی (اولیه) باشد ولی در این حالت (یا در این مثال این نیاز بعید به نظر می رسد چرا که تعدادی از مقادیر max جدید که در اثر تصویر کردن ثانویه پدید می آید-م) خیلی از هم فاصله خواهند گرفت.

تأکید می شود که این روش میزان دقیق نسبت چرا که شامل خطایی منتج از اختلاف در مقادیرهای در نظر گرفته شده برای طولها و ارتفاعهای مربوط به سطح می باشد.

ممکن است در یک آزمایش به دوبار تصویرکردن نیاز باشد ولی در عمل کثیف شده است که درصد کاهش فاصله صفحات موازی در برگزیده سطح مورد آزمایش (یا تصویرکردن پیوسته پی در پی) زیاد نیست مگر اینکه خط تصوی اولیه را از روی عمد بر انتخاب شده باشد.

روش دیگری نیز وجود دارد بدین ترتیب که تمام نقاط سطح مورد آزمایش به محورهای X , Y و Z ارجاع داده می شوند بدین ترتیب تمام نقاط در فضا معین و ثابت خواهند بود.

سپس می تون با پیدا کردن بهترین صفحه راهنما، صفحات موازی دربرگیرنده سطح مورد آزمایش را با حداقل فاصله از هم یافت بطوریکه مجموع مربعات (فواصل-م) همه نقاط از آن صفحه یک مقدار مینیمم می باشد. به این روش، بسط روش مربعات کمینه «least squares» در فضای سه بعدی می گویند.

جهت برری تعداد نقاط بیشتر به یک کامپیوتر نیاز خواهیم داشت. مؤلف احساس می کند که بدون کمک از کامپیوتر تلاش جهت استفاده از روش گرافیکی با افزایش تعداد نقاط مورد بررسی پیشرفت کمی خواهد داشت.

پایان

ضمیمه:

(۱) شکلهایی از کتاب اندازه گیری شارپ

(۲) مطالبی از کتاب کنترل کیفیت، صندوق کارآموزی

شامل تصاویری از دکور زاویه، طرز کاراتو کالبیر، اندازه گیری

رزوه های پیچ، با تصویر آن بر روی پرده، جداول استوانه های بست سایز

(بهترین اندازه)، اندازه گیری چرخنده هایی با دندانهای فرد، زوج و

فرمانهای پیچی نو

از این فرمانها برای اندازه گیری پیچهای داخلی سوراخهای قلاویز شده استفاده می شود. این فرمانها دوسره می باشند: یک سر آنها «برو» و سر دیگر «نرو» است. سر بروی فرمان پیچ کامل است ولی سر «نرو» پیچ ناقص است، یعنی سر دندانه پیچ بریده شده و پیچ از قسمت دیواره با قطعه کار تماس پیدا می کند.

فرمانهای پیچی حلقه ای (ماده)



از این فرمان برای اندازه گیری پیچهای خارجی استفاده می شود. این فرمانها جفتی عرضه می شوند، که یکی از آنها «نرو» و دیگری «برو» است. فرمان «برو» پیچ کامل و فرمان «نرو» پیچ ناقص است، (سردندان آن بریده شده است).

فرمانهای حلقه ای ساده

این فرمانها برای اندازه گیری میله ها و محورها بکار می روند. قسمت «نرو»ی فرمان از شیارهای روی قطر خارجی با طول درازتر آن شناخته می شود. اندازه فرمان «برو» با اندازه حداکثر و اندازه «نرو» با اندازه حداقل قطعه مورد اندازه گیری برابر است. فرمان «برو» باید به راحتی با محور تماس پیدا کند.

فرمان حلقه ای مخروط (ماده)

ج) ارزشهای ستون 4 را جمع کرده خطای جمعی را حساب کنید.

نتیجه ها را در ستون 5 یادداشت کنید.

د) منحنی خطای جمعی را رسم کنید. (طول سطح دو محور افقی و خطای جمعی در محور عمودی).

ه) دو سر منحنی را با خطی (خط مآخذ) وصل کنید. فاصله عمودی بین نقاط منحنی و خط مآخذ را حساب کنید.

این فاصله ها منفی یا مثبت خواهند بود.

و) منحنی تصویر سطح را بکشید.

در آزمایش همواری سطحی مانند صفحه صافی، سطح مورد نظر را در امتداد خطهایی موازی کناره های سطح و همچنین قطرهای آن بررسی می کنند. خطاهای همواری سطح، بوسیله وابسته کردن نتیجه ها، در امتداد خطهای گوناگون تعیین می شوند.

تذکر: اگر فاصله در حدود درجه بندی اتوکولیماتور

م) بازتابنده را بجای اولیه خود بازگردانید.

ن) میکرومتر «درجه بندی» را بخوانید و یادداشت کنید

خط کش را روی سطح و موازی خطی که باید آزمایش شود قرار دهید. خط کش تیغه ای بعنوان راهنمایی برای دستگاه تابنده استفاده می شود.

ج) گام پایه ای بازتابنده را اندازه بگیرید و در تمام طول سطح، اندازه دوپایه بازتابنده را بامداد مشخص کرده خط

بکشید (مانند شکل)

- (د) بازتابنده را روی سطح قرار داده آنرا به خط کش تیغه ای تکیه دهید.
- (ه) اتوکولیماتور را در انتهای سطح مورد آزمایش و روبروی بازتابنده قرار دهید.
- تذکر: اگر تمام سطح باید آزمایش شود اتوکولیماتور را روی پایه ای محکم قرار دهید.
- (و) اتوکولیماتور را به جریان برق مناسبی وصل کرده لامپ آن را روشن کنید.
- (ز) لوله اتوکولیماتور را بچرخانید تا میکرومتر میکروسکوپی در حالت عمودی قرار گیرد.
- (ح) عدسی میکروسکوپ را میزان کنید تا خطهای موازی بوضوح دیده شوند.
- (ط) پایه های بازتابنده را به اتوکولیماتور نزدیک کنید و آنها را به خط کش تیغه ای تکیه دهید.
- (ی) بدون میکروسکوپ بنگرید و جای اتوکولیماتور را چنان تنظیم کنید که سیمهای متقاطع در وسط عدسی چشمی دیده شوند.
- (ک) میکرومتر را چنان تنظیم کنید که خطهای موازی آن در دو سر تصویر افقی خط قرار گیرند.
- تذکر: تنظیم باید روی تصویر خط انجام گیرد.
- سیمهای هدف گیر عمودی را در نظر بگیرید.
- (ل) بازتابنده را به انتهای سطح ببرید و به درون میکروسکوپ نگاه کنید تا مطمئن شوید که اندازه گیری با اتوکولیماتور در این فاصله امکان پذیر است.
- تذکر: اگر فاصله در حدود درجه بندی اتوکولیماتور نباشد باید آن را تنظیم کرد.
- (م) بازتابنده را بجای اولیه خود بازگردانید.
- (ن) میکرومتر و درجه بندی را بخوانید و یادداشت کنید. (اندازه اولی)

موارد دیگر استفاده از دکور زاویه

موازی بودن به دو سر قطعات بلند را به آسانی میتوان آزمایش کرد. طریقه آماده کردن دستگاه و قطعه کار در شکل نشان داده شده است.

آزمایش سطح های زاویه دار

انحراف زاویه سطح قطعه کار را با مقایسه آن با استاندارد ی مانند فرمان اندازه گیر زاویه و خط کش سینوسی (که با زاویه مورد نظر تنظیم شده باشد) می توان مشخص کرد.

۱- آماده کردن دکور زاویه

الف) صفحه صافی دکور زاویه را تمیز کنید.

ب) فرمان اندازه گیری زاویه با خط کش سینوسی را برابر با زاویه مورد نظر تنظیم کنید و آن را روی صفحه صافی قرار دهید.

ج) دستگاه را عمود بر سطح بازتابنده قرار داده دقیقاً آن را تنظیم کنید تا تصویر منعکس شده در مرکز عدسی دیده شود.

تذکر: اگر خط در جه بندی منعکس شده در مرکز درجه بندی ثابت دیده نشود، فرمان اندازه گیری زاویه را آنقدر بچرخانید تا انطباق موردنظر بدست آید.

د) درجه بندی افقی و عمودی را بخوانید و یادداشت کنید. (اندازه اولیه).

۲- تنظیم جای قطعه کار

الف) فرمان اندازه گیری زاویه را از روی صفحه صافی بردارید.

ب) قطعه کار را تمیز کرده روی صفحه صافی قرار دهید.

ج) از عدسی چشمی نگاه کنید و با تنظیم جای قطعه کار و چرخاندن آن، خط درجه بندی منعکس شده را در مرکز درجه بندی ثابت قرار دهید.

د) درجه بندی عمودی منعکس شده را یادداشت کنید.

۳- تعیین انحراف زاویه

اختلاف بین اندازه اولیه و اندازه خوانده شده انحراف زاویه را بدست میدهد.

۲- اندازه گیری زاویه ای

الف) بازتابنده را در طول سطح حرکت دهید و پایه های آنرا با فاصله گام خط کشی شده میزان کنید. (گام پایه معمولاً 12 سانتی متر است) پایه ها را به خط کش تیغه ای تکیه دهید.

ب) میکرومتر را تنظیم کنید تا خط های موازی در دو سوی تصویر افقی خط قرار گیرند.

ج) میکرومتر و در جه بندی را بخوانید و یادداشت کنید.

۳- این روش را برای بقیه طول سطح تکرار کنید.

برای هر اندازه گیری مطمئن شوید که پایه های بازتابنده به اندازه فاصله گام حرکت داده شده است.

۴- تعیین خطاها

برای حساب کردن خطاها جدولی تنظیم کنید.

الف) تغییر زاویه را نسبت به اندازه اولی، برای هر گام، حساب کنید.

ب) تغییرات زاویه (به ثانیه) را به ارزشهای طولی (به اینچ) تبدیل کنید. برای گام 5 اینچی، ثانیه را در 0.000025 اینچ ضرب کنید.

تذکر: یک ثانیه قوسی برابر است با شیب 0.000005 اینچ در یک اینچ. نتیجه ها را در ستون 4 یادداشت کنید.

موارد استفاده از اتوکولیماتور

اتوکولیماتور یک وسیله اندازه گیری دقیق نوری است. با این وسیله می توان تغییرات زاویه ای را در سطحی بازتابنده نسبت به مآخذی معلوم اندازه گیری کرد.

این تغییرات زاویه ای را می شود به ارزشهای طولی تبدیل کرد. با اتوکولیماتور می توان اندازه گیری های دقیقی، مانند اندازه گیریهای همواری سطح، یکنواخت بودن درازا، چهارگوش بودن، موازات، و وابستگی زاویه ای را انجام داد.

۱- اندازه گیری همواری سطح و یکنواخت بودن درازا

الف) سطح مورد نظر را تمیز کنید.

ب) خط کشی تیغه ای را انتخاب کرده تمیز کنید.

۲- آماده کردن مواد ریخته گری

الف- گچ را با آب مخلوط کرده به هم بزنید تا در آن حبابی از هوا باقی نماند.

۳- قالب گیری دندان

الف) مهره را تا کمتر از نصف سوراخ آن از خمیر گچ پر کنید.

ب) صبر کنید تا خمیر خشک شود.

ج) گیره را باز کرده قالب را با دقت خارج کنید.

تذکر: سعی کنید گچ گرفته شده در درون مهره را با پیچش خارج کنید زیرا دندانهای قالب به دست آمده صدمه خواهند دید.

۴- تعیین کردن زاویه و شکل دندان

دندانهای قالب بدست آمده مانند دندانهای پیچ خارجی است.

اندازه گیری آن با روشهایی که قبلاً گفته شده است انجام پذیر است.

اندازه گرفتن قطر خارجی، قطر داخلی و قطر متوسط به وسیله میکرومتر

اندازه گرفتن دندانهای خارجی

۱- اندازه گیری قطر خارجی

الف) میکرومتری را انتخاب کرده فکهای آنرا تمیز کنید. قطعه کار را نیز تمیز کنید.

ب) قطر را اندازه بگیرید. مطمئن شوید که اندازه گیری عمود بر محور پیچ انجام شود.

ج) اندازه را یادداشت کنید.

د) اندازه گیری را در تمام طول پیچ ادامه دهید تا موازی بودن پیچ معلوم شود.

ه) پیچ را 90 درجه بچرخانید و دوباره اندازه بگیرید تا گردی پیچ نیز بررسی شود.

و) قطر حداقل و حداکثر را بدست آورید.

تذکر: برای اطمینان حاصل کردن از عمودبودن فکهای میکرومتر بامحور پیچ، یکی از فکها باید حداقل با دو دندان

پیچ در تماس باشند. در مواردی که این کار امکان پذیر نیست، از تکه اندازه گیری استفاده می شود.

۲- اندازه گیری قطر داخلی

برای اندازه گرفتن قطر داخلی، پیچ از تکه V شکل یا از منشوری با اندازه های معین استفاده می شود.

تذکر: میکرومتر های ویژه ای وجود دارند که فکهای آنها V شکل بوده و اندازه گیری به وسیله آنها مستقیماً انجام

می شود.

الف) منشوری که با گام پیچ مناسب باشد انتخاب کنید.

تذکر: به جدول اندازه های منشور و گام مراجعه کنید.

ب) منشور را تمیز کنید.

ج) منشور را در شیار پیچ قرار دهید و آن را با انگشت وسط و سبابه نگهدارید.

د) با میکرومتر از روی منشور اندازه بگیرید و مطمئن شوید که میکرومتر بر محور پیچ عمود است.

ه) اندازه را یادداشت کنید.

اندازه گیری زاویه دندان

روش اول: استفاده از سکوی قابل تنظیم

الف) نقاله پرده را باز کنید و پرده را بچرخانید تا خط عمودی پرده با یکی از کناره های دندان تقریباً موازی شود.

ب) با حرکت دادن سکو در جهت افقی، خط کناره دندان را با دقت با خط عمودی پرده منطبق کنید.



(ج) درجه نقاله را یادداشت کنید.

(د) نقاله پرده را بچرخانید تا خط عمودی پرده با دیواره دندان روبرو تقریباً موازی شود.

(ه) با حرکت دادن سکو در جهت افقی، کناره دیگر دندان را با دقت با خط عمودی پرده منطبق کنید.

(و) درجه روی نقاله را یادداشت کنید.

(ز) جمع این دو زاویه، زاویه کل دندان را می دهد.

روش دوم: استفاده از نقشه بزرگ شده یا شابلون بررسی نیم زاویه دندان به وسیله نقشه بزرگ شده این سهولت را ایجاد می کند که می توان شکل سر دندان و پای دندان را نیز بررسی کرد. (در موارد بسیاری که دقت زیاد لازم نیست، قطرهای دایره های تماس داخلی و خارجی نیز قابل بررسی است.)

محاسبه فاصله بین سطح قطعه کار و ساچمه

(الف) میکرومتر عمق سنج را انتخاب کنید.

(ب) میکرومتر را روی سطح قطعه کار و در مرکز سوراخ قرار دهید و با فشاری جزئی آنرا در جایش نگه دارید. میکرومتر را تنظیم کنید تا میله با ساچمه تماس پیدا کند.

تذکر: برای اینکه میله میکرومتر روی برجسته ترین قسمت ساچمه قرار گیرد گاهی حرکت دادن میکرومتر ضروری است.

(ج) اندازه بدست آمده را یادداشت کنید و برای اطمینان یکبار دیگر این اندازه را بگیرید.

(د) ساچمه را از سوراخ بیرون آورید.

قرار دادن ساچمه دومی در سوراخ

(الف) ساچمه ای را انتخاب کنید که با قسمت گشاد سوراخ تماس پیدا کند.

(ب) با دقت ساچمه را در سوراخ قرار دهید.

محاسبه فاصله بین مرتفعترین نقطه روی ساچمه و سطح قطعه کار

(الف) اگر لازم باشد دو ترکیب مساوی از تکه اندازه گیری درست کنید تا بشود از روی ساچمه اندازه گیری کرد. ارتفاع ترکیب را یادداشت کنید.

(ب) میکرومتر را روی ترکیبهای تکه اندازه گیری قرار دهید و فاصله بین مرتفعترین نقطه روی ساچمه با سطح قطعه کار را حساب کنید.

(ج) اندازه را یادداشت کنید.

(د) ساچمه را بیرون آورید.

روش محاسبه زاویه شیب

الف) B را از معادله زیر حساب کنید.

B- ارتفاع ترکیب - اندازه ای که در بالا از روی میکرومتر بدست آمد.

ب) CE را حساب کنید.

$$CE = A + B + \frac{D_2}{2} - \frac{D_1}{2}$$

ج) EF را حساب کنید.

$$EF = \frac{D_1}{2} - \frac{D_2}{2}$$

د) $\frac{\theta}{2}$ را از معادله زیر حساب کنید.

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{EF}{CE}$$

اندازه گیری زاویه و شکل پیچ

زاویه دندان معمولاً بوسیله نورافکن اندازه گیری می شود. تصویر بزرگ دندان را روی پرده منعکس کرده، آنگاه زاویه را به کمک نقاله پرده اندازه گیری می کنند. این کار ممکن است با مقایسه با نقشه یا شابلون نیز انجام گیرد. برای به دست آوردن تصویری دقیق، شعاع نور باید با زاویه هادی مارپیچ دندان میزان باشد.

۱- آماده کردن قطعه کار برای اندازه گیری با نورافکن

الف) با درنظر داشتن بزرگنمایی موردنظر عدسی را انتخاب و سوار کنید.

ب) قطعه کار را تمیز و روی سکوی نورافکن سوار کنید.

ج) نورافکن را روشن کنید.

د) جای قطعه کار را تنظیم کنید تا تصویر سر دندانها با خط افقی پرده منطبق شود.

ه) تصویر را روی پرده حرکت دهید تا خط افقی پرده با جهت حرکت سکو موازی شود.

و) نقاله را روی صفحه آورید.

ز) قطعه کار یا شعاع نور را طوری تنظیم کنید که شعاع نور با زاویه های ماده پیچ دندان میزان شود.

ح) عدسی رامیزان کنید تا تصویر دقیقی منعکس شود.

ط) انطباق سر دندان را با خط افقی پرده بررسی کنید و اگر لازم باشد دوباره تنظیم کنید.

تذکر: تنظیم شعاع نور بر تنظیم قطعه کار ترجیح داده می شود.

فرمان مخروطی برای اندازه گیری داخلی (نر)

آزمایش کردن مخروط از نظر درازا

پس از آزمایش شیب مخروط، قطر یکی از سوراخهای دوطرف آنرا نیز می توان اندازه گیری کرد. روی فرمان و در فاصله معین خطوطی رسم شده است که حدود «برو» «نرو» را نمایان می سازد.

مقایسه کننده های الکتریکی

این مقایسه کننده ها از نظر کلی مانند مقایسه کننده های قبلی می باشند. تنها تفاوت در این است که باید روشی انتخاب کرد که حرکت عقربه برای اندازه های بسیار کوچک، بزرگتر شده قابل بررسی باشد. مقایسه کننده ای که در شکل نشان داده شده است، از یک دستگاه الکتریکی، واحد قدرت الکتریکی، میکروامپتر (Micro ammeter) و پایه تشکیل می شود.

یک کپراتور پنیوماتیکی

(۱) یک میکرومتر رومیزی

(۲) کمپراتور مکانیکی سیگما

(۳) تراشکاری، فرزکاری، برش عمودی، سنگ زنی، صفحه تراشی، عکس هایی از سطوح ماشین کاری

شده نمونه

(۴) استفاده از توکالی متر و چندضلعی ها برای کالبیره کردن یک میز دایروی

(۵) یک سطح سنج تالی سورف

ج) صفحه صافی دکورزاویه را با دقت تمیز کنید.

تذکر: چون از صفحه صافی دکور زاویه بعنوان بازتابنده استفاده می شود. در تمیز کردن آن باید دقت زیاد بکار برد تا خراش بر ندارد.

د) از عدسی چشمی نگاه کرده درجه بندی ثابت را در کانون عدسی تنظیم کنید.

ه) موقعیت درجه بندی منعکس شده را ملاحظه کنید.

تذکر: اگر درجه بندی منعکس شده در وسط نباشد، یا اصلاً دیده نشود، نشانه آنست که دکور بر صفحه صافی عمود نیست.

د) دکور زاویه را دوباره تنظیم کنید و پیچ بست را ببندید.

و) با چرخاندن پیچ تنظیم، درجه بندی ثابت را در مرکز درجه بندی منعکس شده قرار دهید.

ز) عدسی چشمی را بچرخانید تا درجه بندی منعکس شده موازی لبه صافی قرار گیرد.

ح) درجه بندی عمودی را بخوانید و یادداشت کنید. (اندازه اولیه)

۲- تنظیم جای قطعه کار

الف- قطعه کار را تمیز کنید.

ب- صافی کار را زیر عدسی دکور زاویه و موازی به صفحه صافی قرار دهید.

ج) از عدسی چشمی نگاه کنید و تصویر منعکس شده را ملاحظه کنید.

تذکر: اگر تصویر منعکس شده تار است، از یک تکه اندازه گیری بعنوان بازتابنده استفاده کنید.

۳- تعیین موازی بودن

الف) درجه بندیهای افقی و عمودی را بخوانید و یادداشت کنید.

تذکر:

۱) اگر اندازه خوانده شده با اندازه اولیه مساوی باشد، سطح مورد آزمایش موازی است.

۲) اگر اندازه ها فرق داشته باشند، قطعه کار موازی نیست.

ب) مقدار انحراف را تعیین کنید. (اندازه های خوانده شده از درجه بندی عمودی را از هم کم کنید)

مثال:

در شکل، انحراف موازی بودن (معادل 4 دقیقه) نشان داده شده است.

ج) جهت انحراف را تعیین کنید.

