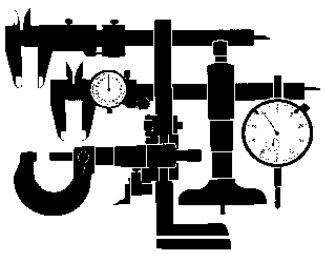
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی مکانیک

آزمایشگاه مترولوژی
(سیستم‌های اندازه‌گیری دقیق)

دستور العمل اندازه‌گیری و کالیبراسیون در مترولوژی



گردآوری و تالیف:
دکتر فرید رضا بیگلری
عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

پیشگفتار

در سال‌های اخیر با استفاده از فن آوری جدید مهندسی مترولوژی در جهت طراحی، ساخت، تست و کنترل ماشین آلات صنعتی گام‌های بلندی برداشته شده است. مهندسی مترولوژی شامل مجموعه‌ای از ابزارهای دقیق، فن‌آوری نوین و تکنیکهای اندازه‌گیری طول و زاویه می‌باشد. اندازه‌گیری و کنترل ابعادی یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در فرایند نمونه‌سازی و تولید قطعات صنعتی می‌باشد. به‌خصوص در سال‌های اخیر کاربرد فراوان علم مترولوژی در تکنولوژی مهندسی معکوس اعتبار خاصی برای خود کسب کرده است. این رساله در راستای کنترل ابعادی قطعات صنعتی و کالیبراسیون وسایل اندازه‌گیری نگاشته و گردآوری شده است.

فهرست مطالب صفحه

مقررات آزمایشگاه ۵
تعاریف اولیه در اندازه‌گیری و کالیبراسیون ۸
آزمایش شماره (۱): ساعت اندازه‌گیری ۱۲
آزمایش شماره (۲): میکرومتر (ریزسنج) ۱۶
آزمایش شماره (۳): کولیس ۲۳
آزمایش شماره (۴): تختی سنج نوری(Optical flat) ۲۷
آزمایش شماره (۵): اندازه‌گیری قطر داخلی ۳۰
آزمایش شماره(۶): قطعات شکسته ۳۵
آزمایش شماره (۷): مرکزیابی و موقعیت‌یابی قطعات ۳۹
آزمایش شماره (۸): کمپراتور نوری- مکانیکی ۴۱
آزمایش شماره(۹): کمپراتور مکانیکی ۵۱
آزمایش شماره (۱۰): کمپراتور هوایی (بادی) ۵۴
آزمایش شماره (۱۱): کمپراتور الکتریکی ۵۶
آزمایش شماره (۱۲): میله سینوسی ۶۰
آزمایش شماره (۱۳): قطعه مخروطی ۶۴
آزمایش شماره (۱۴): گیره اونیورسال ۶۸
آزمایش شماره (۱۵): تراز دقیق آزمایشگاهی ۷۱
آزمایش شماره (۱۶): انگل دکور(Angle Dekkor) ۷۴
آزما یش شماره (۱۷): گونیای بازرسی ۷۷
آزما یش شماره (۱۸): اندازه‌گیری زوایا ۸۰
آزمایش شماره (۱۹): پروفیل پروژکتور(Profile Projector) ۸۱
آزمایش شماره (۲۰): چرخ‌دنده ۸۶
آزمایش شماره(۲۱): پروفیل پیچ ۹۲
آزمایش شماره(۲۲): ابعاد پیچ ۹۴
آزمایش شماره(۲۳): زبری سنجی ۱۰۰
آزمایش شماره(۲۴): کالیبراسیون کمپراتور بادی ۱۰۶
آزمایش شماره(۲۵): کنترل توازی لیزری ۱۱۰
تشکر و قدردانی ۱۱۶

منابع.....۱۱۶

مقررات آزمایشگاه

دانشجویان گرامی
جهت انجام آزمایش‌های تعیین شده در طول ترم میبایستی مقررات داخل آزمایشگاه در تمام جلسات حضور شما رعایت شوند.

الف - نکاتی درباره مقررات داخل آزمایشگاه [۱]:
۱- کلیه متعلقات و لوازم شخصی (بجز قلم و کاغذ جهت یادداشت نمودن نتایج آزمایش) باید بر روی میز و یا محلی که در جلو درب ورودی آزمایشگاه قرار داده شده است گذاشته شوند.
۲- تمام وسائل آزمایشگاهی بایستی بدقت مورد استفاده قرار گرفته و اگر عیبی در دستگاه مشاهده شد، بلافاصله باید به سرپرست آزمایشگاه گزارش داده شود. ضمناً دانشجو حق ندارد در جلسه آزمایشگاه وسائل و دستگاه‌هایی را که مربوط به آزمایش آن جلسه نیست مورد استفاده قرار دهد.
۳- وارد کردن خسارت به دستگاه‌های آزمایشگاهی که در اثر بی دقتی دانشجو باشد علاوه بر جبران خسارت از طرف دانشجو سبب کسر نمره کل نیز خواهد شد.
۴- غیبت غیرموجه در هر جلسه آزمایشگاه به منزله گرفتن نمره صفر در آن جلسه خواهد بود.
۵- گزارشهای آزمایشگاه باید روی کاغذهایی به اندازه ۲۱*۲۹/۷cm (A4) نوشته شوند و جلد مخصوص گزارش روی آنها باشد و موارد قسمت ج- ۱ روی آنها آورده شوند.
۶- شکلها در طرف چپ کشیده شوند و نوشته های مربوطه در طرف راست کاغذ آورده شوند.
۷- یک حاشیه دو سانتی متری در طرف راست و یک سانتی‌متری در طرف چپ کاغذ منظور گردد.
۸- هر نفر باید یک گزارش مستقل برای هر آزمایش تحویل دهد.
۹- گزارش نبایستی بوسیله شخص دیگری نوشته شده و یا از شخص دیگری کپی گردد.
۱۰- هر گزارش حداکثر تا جلسه بعدی برای نمره دادن باید تحویل داده شود . از گزارشی که دیرتر تحویل داده شود نمره کسر می گردد.
ب- نکاتی در نوشتن متون:
۱- نوشته ها باید دارای پشتوانه محکم باشند و دلایل برای نگاشتن هر موضوع کافی باشند و اگر ضرورت ایجاب نماید دلایل همراه نوشته ارائه گردند.
۲- از تکرار مطالب در جملات جداً خودداری شود.
۳- در نوشته سعی شود چیزی که قطعیت ندارد بطور قطعی گفته نشود و با احتمال و احتیاط محرز از آن سخن گفته شود.
۴- در مورد نوشته ها و گفته های اخذ شده از دیگران حتماً مرجع یا مراجع در کنار نوشته داده شوند.

۵- حتماً در انتخاب سمبل‌ها و خلاصه عبارات، سمبل و اختصارات استاندارد رعایت شود.
۶- از نوشتن جملات معلوم با مفعول مستقیم خودداری شود.
۷- در رسم منحنی‌ها از محورهای مناسب (خطی یا لگاریتمی و یا ترکیبی از اینها) با درجه بندی مناسب استفاده شود.
ج- برای نوشتن گزارش کامل نکات زیر باید رعایت گردند:
۱- جلد گزارش که باید بر روی آن بترتیب از بالا آرم و نام دانشگاه، دانشکده و آزمایشگاه، نام و نام خانوادگی ، شماره دانشجویی و عنوان و شماره آزمایش ، گروه و تاریخ آزمایش و تاریخ تحویل گزارش آزمایش و نام استاد نوشته شده باشد . (نمونه ای از جلد در قسمت ضمیمه آورده شده است)
در متن گزارش قسمت های زیر با ید گنجانده شود:
۲- هدف آزمایش(Object) هدف آزمایش عنوان آزمایش را توضیح می دهد.
۳- وسائل آزمایش با قلمرو عملکرد و زینه‌بندی آنها.
(Apparatus, range of operation and resolution)
۴- تئوری آزمایش:(Theory) در این قسمت لازم است که توضیحاتی پیرامون تکنیک‌های استفاده شده در آزمایش، روابط و فرمول‌های ریاضیاتی داده شود. در ضمن در مورد مکانیزم کاری و شکل دستگاه‌ها نیز مطالبی عرضه گردد.
۵- شرح آزمایش: (Method) در این قسمت دانشجو بایستی دقیقاً و بطور مختصر و کامل راه انجام آزمایش را شرح داده و شکلهای لازم را تصویر نماید . جملات گزارش باید به صورت سوم شخص و مجهول زمان گذشته نوشته شده از نوشتن ضمایر "من" ، "ما" و "آنها" خودداری گردد.
۶- نتایج آزمایش: (Results) تمام محاسبات در این قسمت انجام گیرند و در صورت لزوم نتایج خام و محاسبات در جداولی به‌طور مرتب یادداشت شده و در جایی که لازم باشد منحنی آنها نیز نمایش داده شود . منحنی باید روی کاغذ میلی متری یا در صورت لزوم روی کاغذ میلیمتری – لگاریتمی یا روی کاغذ تمام لگاریتمی رسم شوند و محورها معین شده و مقادیر و واحدها مشخص گردند. بهتر است که جهت ترسیم نمودارها و منحنی‌ها از نرم‌افزارهای تجاری متداول استفاده گردد. به‌طور کلی بایستی ورقه منحنی تمام آن‌چه را که لازم است، نمایان سازد. اندازه‌های انتخابی باید مناسب باشد به‌طوری‌که از حداکثر گنجایش صفحه برای رسم منحنی‌ها استفاده شود. هم‌چنین در رسم منحنی‌ها، پیوسته یا عدم پیوسته بودن تغییرات باید کاملاً رعایت شود.
۷- بحث: (Discussion) در این قسمت به‌طور واضح مشخص می گردد که آیا هدف آزمایش حاصل شده است یا نه ؟ و نتایج تئوری و جواب‌های بدست آمده از طریق محاسبه و آزمایش با یکدیگر مقایسه می شوند. عوامل و منابع خطا و اشتباهات بایستی شرح داده شده و اشکال وسایل آزمایش و راه انجام آزمایش های پیشنهادی شرح داده شوند . هنگامی که از منبعی در بحث استفاده می شود، حتماً در موقع بیان، در کنار جملات مربوطه شماره مرجع به ترتیب استفاده در متن داده شود.

۸- نتیجه گیری: (Conclusions) در این قسمت کلیه نتایج حاصله به‌طور خلاصه و تیتروار مرور می شوند و پیشنهادات به‌طور مختصر و مفید ارایه می‌گردند.
۹- منابع مورد استفاده: (References) لیست مراجع مورد استفاده در تهیه گزارش، تحت همان شماره‌هایی که در متن داده شده اند، در این قسمت آورده می‌شود.

تعاریف اولیه در اندازه‌گیری و کالیبراسیون

۱-خطا (Error) :

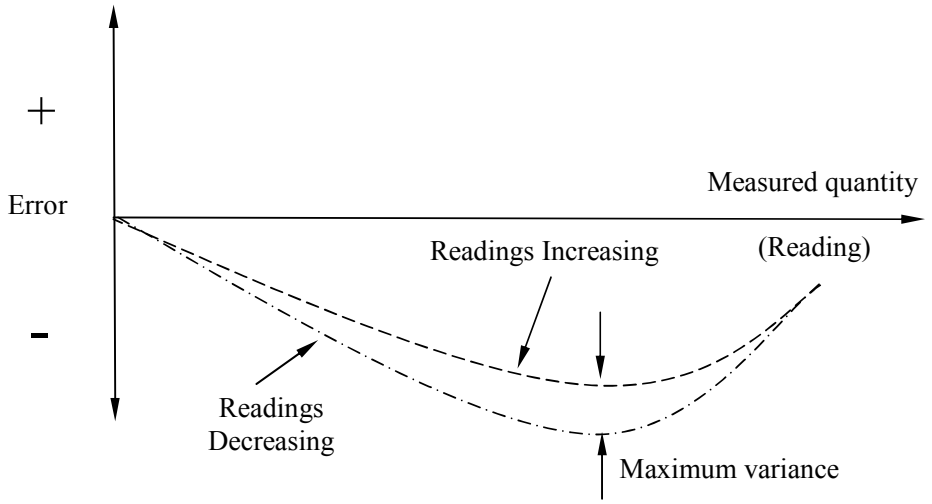
خطا عبارت است از تفاوت مقدار اندازه واقعی قطعه اندازه‌گیری شده نسبت به مقدار تشخیص داده شده از آن اندازه روی صفحه ثبت کننده وسیله و یا دستگاه اندازه‌گیری از طرف فرد اندازه گیرنده. در نتیجه زنجیره‌ای از خطاهای مختلف در هر عمل اندازه‌گیری وجود خواهد داشت. یک مثال این زنجیره خطاها شامل:

$$E_{total} = E_{ambient} + E_{instrument} + E_{human} + E_{method} \qquad (i\text{-}۱)$$

که $E_{ambient}$ خطای شرایط محیطی، $E_{instrument}$ خطای وسیله اندازه‌گیری، E_{human} خطای انسانی و E_{method} خطای ناشی از روش اندازه‌گیری در بکارگیری وسیله، خواندن و ثبت اندازه از روی وسیله اندازه‌گیری است.

۲- خطای واریانس (Variance)

به تفاوت مقدار خطای ثبت شده در اندازه‌گیری مقادیر افزایشی نسبت به مقادیر کاهشی، خطای واریانس می‌گویند.



شکل ۱-i: نمودار خطای واریانس

۳- خطای ترکیبی (Compound Error)

چنانچه خطای کلی متاثر از خطا در اندازه‌گیری چند بعد دیگر باشد، ترکیب تاثیر این خطاها را در خطای کل، خطای ترکیبی می‌گویند. مثلاً اگر با تابع F اندازه یک بعد خاصی از یک قطعه کار را که با محاسبه بر اساس اندازه‌های گرفته شده ابعاد دیگر $(x_1, x_2, x_3, \ldots\ldots, x_n)$ بدست می‌آید را نشان دهیم. می‌توان نوشت:

$$F = F(x_1, x_2, x_3, \cdots\cdots, x_n) \qquad (i\text{-}۲)$$

در نتیجه تاثیر خطا در هر کدام از متغیرها را در F به‌صورت زیر بیان می‌شود.

$$dF = \frac{\partial F}{\partial x_1}\delta x_1 + \frac{\partial F}{\partial x_2}\delta x_2 + \frac{\partial F}{\partial x_3}\delta x_3 + \cdots + \frac{\partial F}{\partial x_n}\delta x_n \qquad \text{(i-۳)}$$

۴- دقت اندازه‌گیری (Accuracy)

دقت اندازه‌گیری به طور مستقیم برای یک ابزار یا ماشین اندازه‌گیری قابل تعریف نیست، چرا که دقت یک پدیده کیفی است نه کمی. اما جهت بررسی دقت از یک مفهوم کمی مانند خطا در اندازه‌گیری (Error) استفاده می‌گردد. خطای کمتر نماینده دقت بیشتر در اندازه‌گیری است. موقعی دقت اندازه‌گیری (Accuracy) بیشتری را خواهیم داشت که مقدار کمتری جهت تصحیح اندازه گرفته شده لازم باشد تا اندازه صحیح بدست آید. در عمل می‌توان با تنظیم دقیق بر اساس کالیبراسیون یک ابزار یا ماشین اندازه‌گیری به دقت بیشتری در اندازه‌گیری به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزود. برای دقت یک وسیله و یا دستگاه نمی‌توان درجه و یا یک مقدار کمی وابسته نمود.

۵- صحت اندازه‌گیری (Precision)

وسیله و یا دستگاه اندازه‌گیری که اندازه‌های یکسان و یا نزدیک به هم در دفعات مختلف اندازه‌گیری تولید کند را وسیله و یا دستگاه با درجه صحت بیشتر می‌نامند. این پارامتر را نیز درجه تکرارپذیری (Repeatability) و یا عدم قطعیت در بدست آوردن اندازه‌های مشابه برای دفعات مختلف اندازه‌گیری می‌گویند. وسیله و یا دستگاهی که اندازه‌های بدست آمده برای دفعات مختلف اندازه‌گیری آن نزدیکتر به یکدیگر باشد را وسیله و یا دستگاه با درجه تکرار پذیری بالا می‌نامند. دقت (Accuracy) دستگاهی که دارای صحت (Precision) خوب و بالایی باشد را می‌توان با یک کالیبراسیون ساده تصحیح کرد. ولی درجه تکرار پذیری (Repeatability) و یا صحت (Precision) یک دستگاه اندازه‌گیری بستگی زیاد به طراحی، کیفیت تولید اجزاء و مونتاژ قطعات آن وسیله و یا دستگاه داشته و به کالیبراسیون آن بستگی ندارد. در نتیجه قیمت یک دستگاه و یا یک وسیله اندازه‌گیری به صحت (Precision) و تکرارپذیری (Repeatability) آن و یا تولید مقادیر مشابه آن وابستگی زیادی دارد.

۶- زینه‌بندی (Resolution)

کوچکترین تقسیم بندی مدرج روی صفحه نشان دهنده در یک وسیله اندازه‌گیری را زینه‌بندی آن وسیله می‌نامند.

۷- قلمرو (Range)

از پایین‌ترین تا بالاترین حد مدرج شده روی سطح صفحه نشان دهنده یا خط کش مدرج برای تعیین اندازه‌ها در وسایل اندازه‌گیری را قلمرو آن وسیله می‌نامند. قلمرو یک وسیله اندازه‌گیری، محدوده

حرکت فک متحرک و یا بازوی حس کننده (Plunger) و همچنین عقربه نشان دهنده را روی صفحه مدرج تعیین می‌کند.

۸- حساسیت (Sensitivity)

نرخ جابجایی نشان‌دهنده اندازه روی یک وسیله اندازه‌گیری نسبت به مقادیر اندازه گرفته شده را حساسیت یک وسیله اندازه‌گیری می‌نامند. به عبارت دیگر یک وسیله و یا دستگاه حساس‌تر احتیاج به مقدار جابجایی کوچکتری در فک حس کننده جهت حرکت و یا تغییر وضعیت روی صفحه نشان دهنده دارد.

۹- بزرگنمایی (Magnification)

برای ایجاد زینه‌بندی ریزتر در وسایل و یا دستگاه‌های اندازه‌گیری نیاز به بزرگنمایی بیشتر است. عمل بزرگنمایی میتواند با استفاده از مکانیزم‌های مکانیکی، نوری، مدارهای الکترونیکی و یا مخلوطی از عوامل ذکر شده انجام شود. دستیابی به بزرگنمایی بالا در مکانیزم های مکانیکی شامل کاربرد اهرم، تسمه و چرخدنده با نسبت تبدیل بالاست و در سیستم های نوری، با استفاده از آینه، عدسی و طول شعاع بلند جهت تشکیل تصویر نشان‌دهنده روی پرده مدرج میسر است و در مدارات الکترونیکی با استفاده از آمپلی‌فایرهای قوی امکان‌پذیر می‌گردد.

۱۰- کالیبراسیون و خطایابی (Calibration)

عملیات بدست آوردن جدول و یا منحنی رابطه بین جابجایی فک حس کننده و نشان‌دهنده وسیله و یا ماشین اندازه‌گیری را در محدوده قلمرو، کالیبراسیون آن می‌نامند. در مهندسی اندازه‌گیری و کالیبراسیون، عملیات بدست آوردن خطای یک وسیله و یا ماشین اندازه‌گیری را در قلمرو آن کالیبراسیون آن می‌نامند. البته چنانچه مقدور باشد در مراحل انجام کالیبراسیون می‌توان با تنظیم و یا تعمیر دستگاه باعث کاهش خطا نیز شد. این عمل می‌تواند در مراحل تنظیم(Adjustment) وجبران خطا (Compensation) انجام شود.

۱۱- گونیا بودن (Squareness)

عمود بودن دو سطح نسبت به یکدیگر را گونیا (Squareness) بودن آن‌ها می‌گویند. به میزان انحراف از عمود بودن دو سطح، خطای ناعمودی (Out of Squareness) گفته می‌شود.

۱۲- خطای طول (Out of Length)

انحراف اندازه خوانده شده از اندازه اسمی را خطای طول (Out of length) می‌نامند.

۱۳- خطای توازی (Out of Parallelism)

برابر نبودن فاصله دو خط یا سطح در دو محل اندازه گرفته شده در دو طرف قطعه را خطای توازی می‌گویند.

۱۴- نامستقیمی (Out of Straightness)

برابر نبودن اندازه‌های طولی خوانده شده از قطعه بر روی یک خط مستقیم در محل‌های مختلف، به خطای نامستقیمی (Out of Straightness) منجر می‌شود. قابل ذکر است که این خطا همواره در یک بعد اندازه‌گیری می‌شود و اگر در دو بعد یک سطح اندازه‌گیری گردد، خطای عدم تختی پدید می‌آید که در ادامه توضیح داده می‌شود.

۱۵- خطای عدم تختی (Out of Flatness)

این خطا همواره در اندازه‌گیری دو بعدی یک سطح ایجاد می‌شود. بدین ترتیب که اگر در دو بعد یک سطح، اندازه‌گیری طولی انجام گردد و اندازه‌های طولی خوانده شده با هم برابر نباشند، خطای عدم تختی (Out of Flatness) پدید می‌آید.

۱۶- خطای عدم گردی و استوانه بودن (Out of Roundness and Cylindersity)

این خطا ها بترتیب مربوط به گرد نبودن کامل یک مقطع از یک قطعه استوانه ای شکل و استوانه کامل نبودن آن نسبت به تمام مقاطع دیگر است.

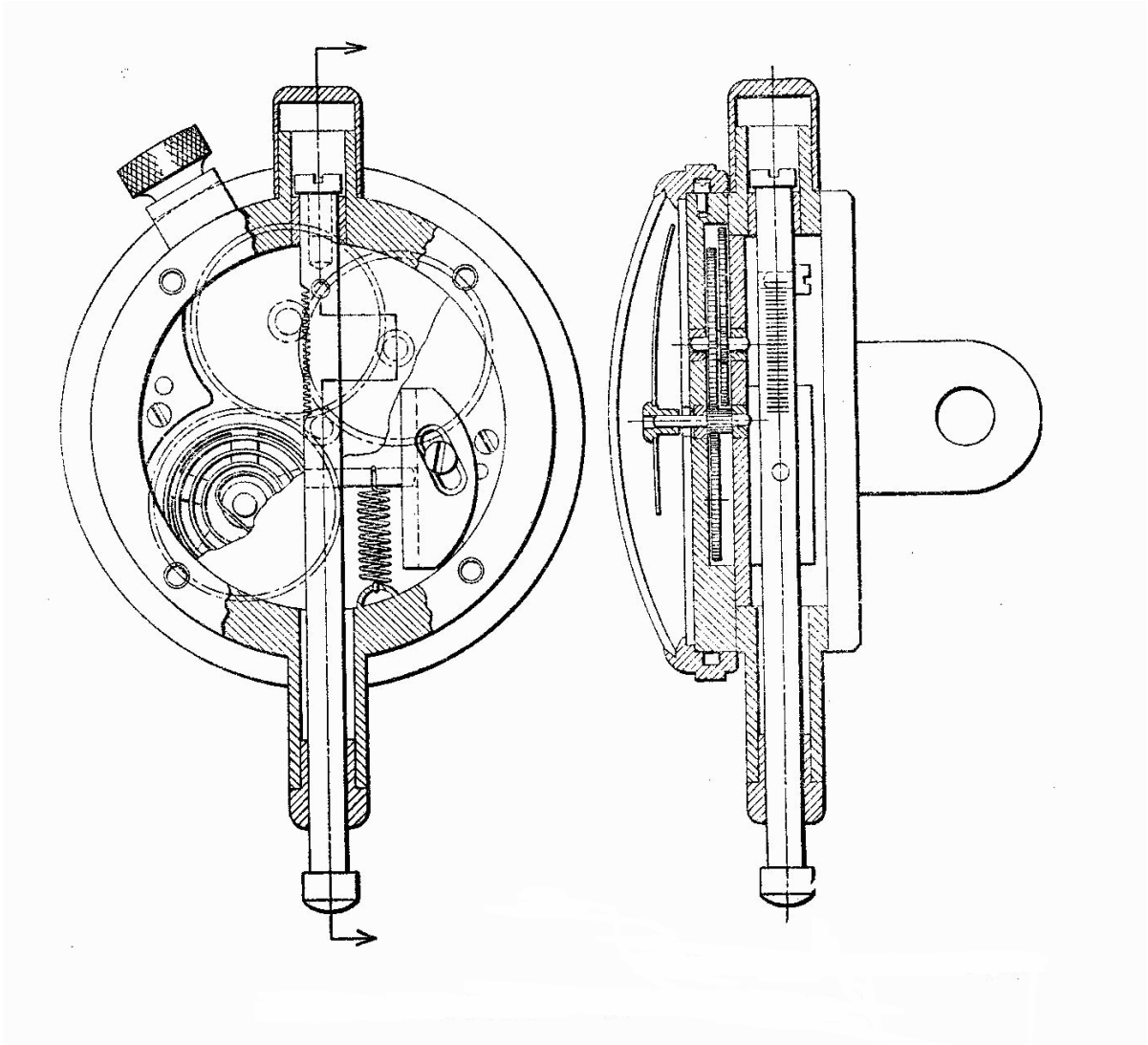
آزمایش شماره (۱): ساعت اندازه‌گیری

هدف آزمایش:

کنترل دقت و خطایابی یک ساعت اندازه‌گیری(کالیبراسیون ساعت اندازه‌گیری)[۲]

وسایل آزمایش:

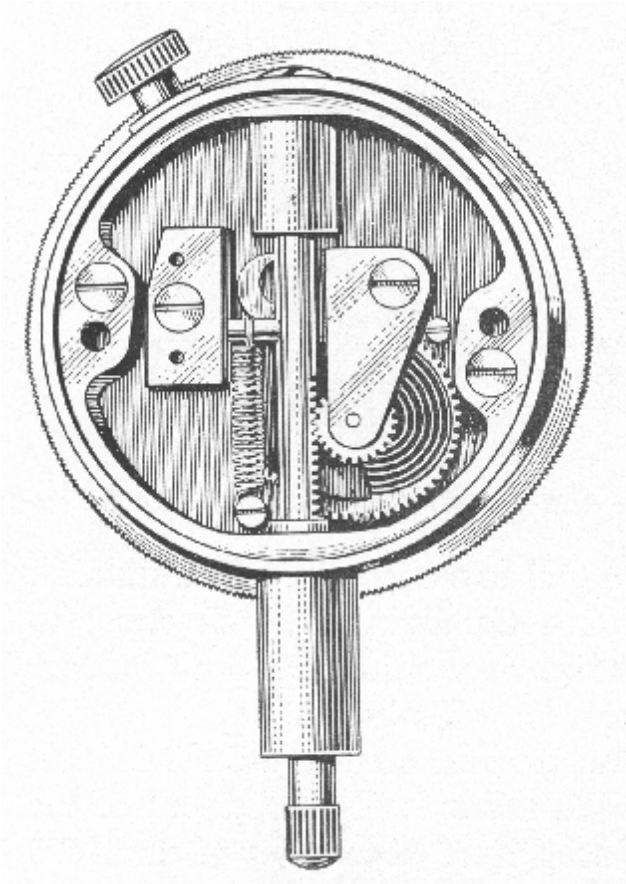
ساعت اندازه‌گیری (شکل های ۱-۱ و ۲-۱)، صفحه صافی، جعبه قطعات اندازه، غلتک.



شکل ۱-۱: نمای داخلی ساعت اندازه‌گیری [۳]

شرح آزمایش:

۱- پس ازحصول اطمینان از تمیز بودن سطح صفحه صافی، پایه مغناطیسی و یا پایه معمولی (شکل ۳-۱)، ساعت اندازه‌گیری را روی صفحه صافی قرار دهید (شکل ۴-۱)، و ساعت اندازه‌گیری را روی آن تنظیم کنید. تنظیم ساعت اندازه‌گیری بدین صورت انجام می‌شود که از عمود بودن انگشتی ساعت (Plunger) بر صفحه صافی اطمینان حاصل شود که این عمل با قرار دادن یک غلتک مرجع از طرف قاعده روی سطح صفحه صافی و مماس کردن یال استوانه با کنار انگشتی ساعت صورت می‌گیرد.



شکل ۲-۱: نمای از پشت ساعت اندازه‌گیری [۴]

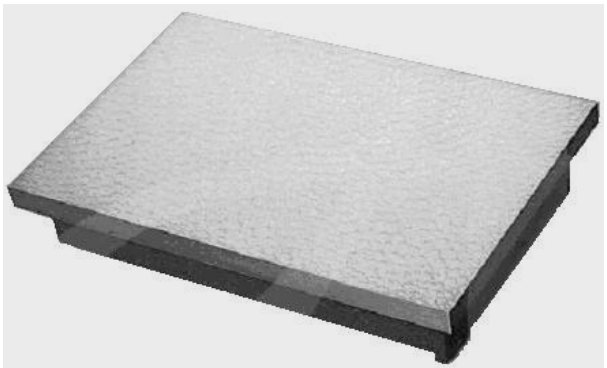
حال غلتک را از طرف یال آن زیرانگشتی ساعت قرار داده به طوری که سوزن ساعت تقریباً روی قطر آن قرار گیرد، در این حالت ساعت را روی صفر میزان کنید. غلتک را سه مرتبه زیر سوزن بغلتانید و ملاحظه کنید در هر دفعه که سوزن روی قطر آن قرارگرفته است، عقربه به صفر می رسد یا نه؟ اختلاف مقادیر آنرا تا صفر و تا حد یک هزارم میلیمتر، بخوانید (محل عقربه را تا حد یک هزارم میلیمتر بین خطوط مدرج یک صدم میلیمتر تشخیص دهید) و در جدول ۱-۱ یادداشت کنید.

جدول۱-۱: خوانده های آزمایش غلتک زیر ساعت.

	مرحله اول غلتش	مرحله دوم غلتش	مرحله سوم غلتش
مقادیر			

الف ب

شکل ۳-۱: ساعت اندازه‌گیری الف- پایه یونیورسال، ب- پایه مغناطیسی.



شکل ۴-۱: صفحه صافی.

شکل ۵-۱: جعبه قطعات اندازه(فولادی)[۵] .

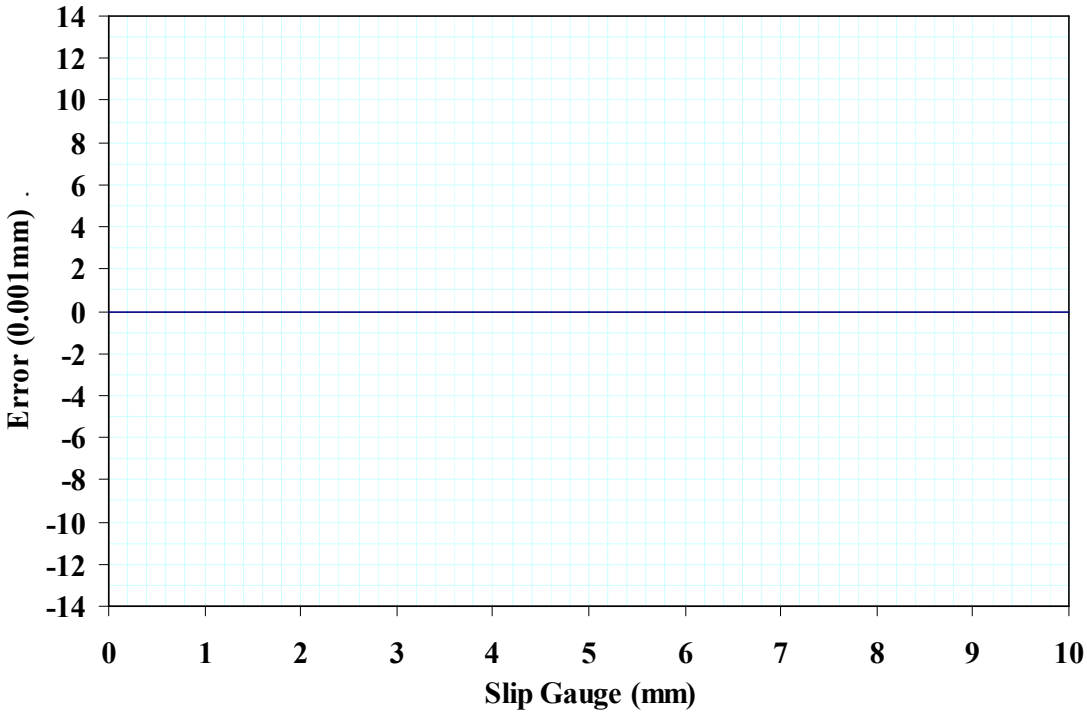
۲- پس از تنظیم صفر ساعت اندازه‌گیری روی سطح صفحه صافی، قطعات اندازه (شکل ۵-۱)، به ابعاد مندرج در جدول ۲-۱ را پاک کرده ، بترتیب زیر انگشتی ساعت اندازه‌گیری بگذارید. مقادیری را که ساعت نشان می دهد، تا حد یک هزارم میلیمتر بخوانید (محل عقربه را تا حد یک هزارم میلیمتر بین خطوط مدرج یک صدم میلیمتری تشخیص دهید) ودر جدول زیر با مقادیر اصلی قطعات اندازه یادداشت نمائید .

جدول ۲-۱: خوانده های ساعت از قطعات اندازه.

قطعات اندازه	مقادیر خوانده	خطا		قطعات اندازه	مقادیر خوانده	خطا
1mm				6mm		
2mm				7mm		
3mm				8mm		
4mm				9mm		
5mm				10mm		

نتایج آزمایش:

مقادیر خطای قسمت اول و جدول خطای قسمت دوم را یادداشت و منحنی خطای قسمت دوم آنرا ، در نموداری مشابه شکل ۶-۱ ترسیم نمایید..



شکل ۶-۱: نمودار کالیبراسیون

بحث و اظهار نظر:

علت ایجاد خطا در هر قسمت مربوط به کدام قطعه ساعت اندازه‌گیری است؟

آیا وضعیت ساعت اندازه‌گیری از نظر دقت قابل قبول است؟

از منحنی خطا چه استفاده ای می توان کرد؟

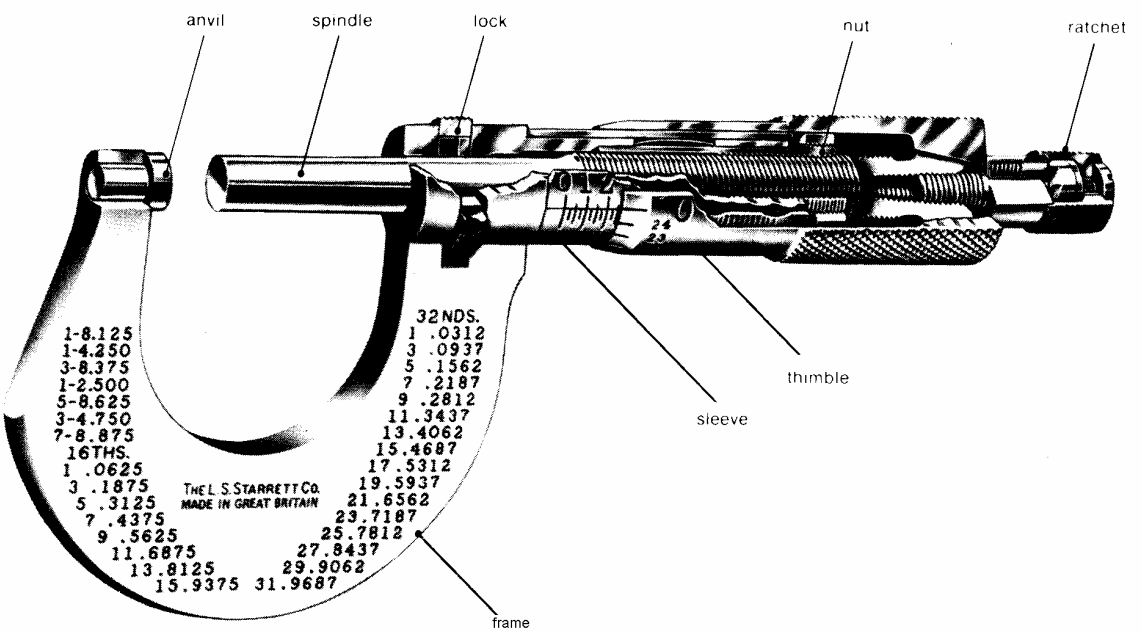
دانشگاه صنعتی امیرکبیر_دانشکده مهندسی مکانیک_آزمایشگاه مترولوژی

آزمایش شماره (۲): میکرومتر (ریزسنج)

هدف آزمایش:

کنترل دقت یک میکرومتر اندازه‌گیری خارجی از نظر موازی بودن فک‌ها و دقت پیچ و مهره آن(کالیبراسیون).

وسایل آزمایش:
میکرومتر (شکل ۱-۲)، از 0 الی25mm مورد استفاده در کارگاه، گلوله‌های فولادی و جعبه قطعات اندازه.



شکل ۱-۲: نمای برش خورده میکرومتر[۶]

شرح آزمایش:
۱ـ فکهای میکرومتر را تمیز نموده وصفر آن‌را با استفاده از آچار مخصوص تنظیم نمایید. گلوله‌ای به قطر کمتر از فک میکرومتر انتخاب و آن‌را تمیز نموده و بین دو فک میکرومتر در وضعیت جلو وسط وعقب فکها (به طریق یک مثلث کوچک در سطح بین دو فک) قرار دهید. اعداد بدست آمده را تا حد یک هزارم میلیمتر بخوانید (محل خطوط را تا حد یک هزارم میلیمتر بین خطوط مدرج یک صدم میلیمتر تشخیص دهید) و در جدول ۱-۲ بنویسید. با مقایسه اعداد با یکدیگر عدم توازی دو سطح فک ها حاصل می‌گردد.

جدول۱-۲: خوانده‌های آزمایش ساچمه.

	محل اول	محل دوم	محل سوم
مقادیر			

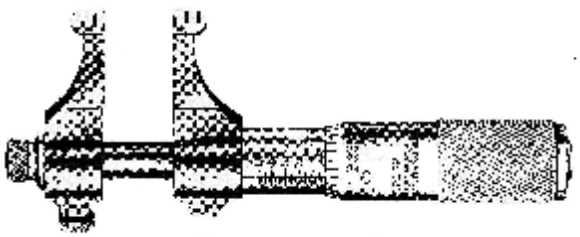
۲ـ با تمیز کردن فک ها صفر میکرومتر را دوباره کنترل نموده وبا قرار دادن قطعا ت اندازه مندرج در جدول ۲-۲ بین فک ها، خطای پیچ و مهره میکرومتر را تا دقت ذکر شده در قسمت ۱ محاسبه نمایید و در جدول ۲-۲ بنویسید.

جدول۲-۲: خوانده های میکرومتر از قطعات اندازه.

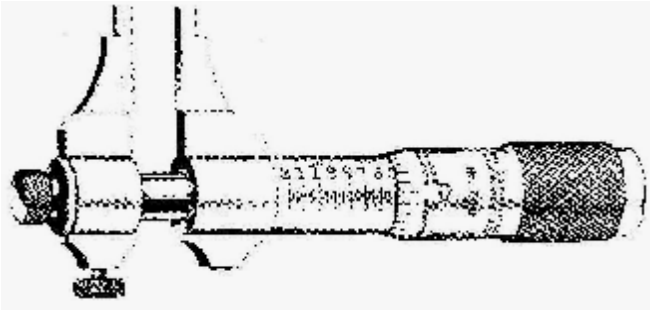
قطعات اندازه	مقادیر خوانده	خطا		قطعات اندازه	مقادیر خوانده	خطا
2.5mm				15mm		
5.1mm				17.6mm		
7.7mm				20.2mm		
10.3mm				22.8mm		
12.9mm				25mm		

در شکل های ۲-۲ الی ۲-۹ انواع میکرومتر، پایه آن و روش استفاده صحیح از این وسیله نشان داده شده است.

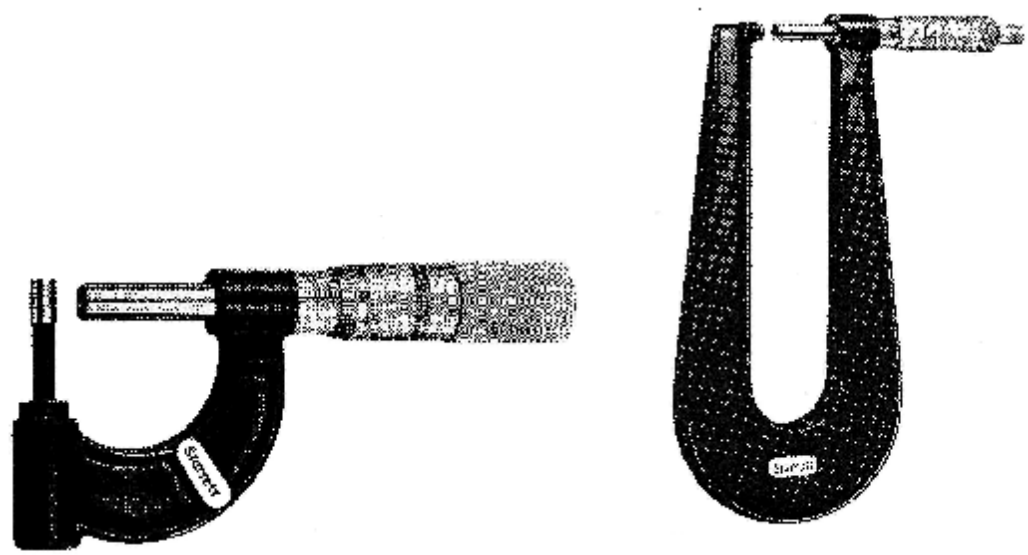
شکل ۲-۲: میکرومتر با فک‌های بشقابی(تست پیچ و چرخدنده)[۶]



شکل ۳-۲: میکرومتر شیار داخلی [۶]

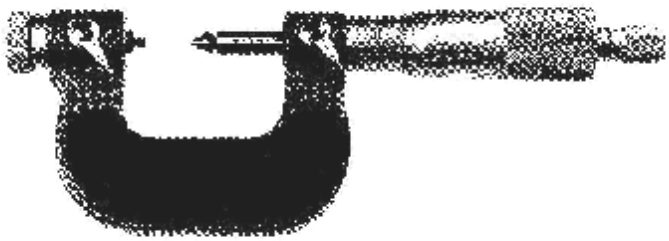


شکل ۴-۲: میکرومتر داخل سنج [۶]

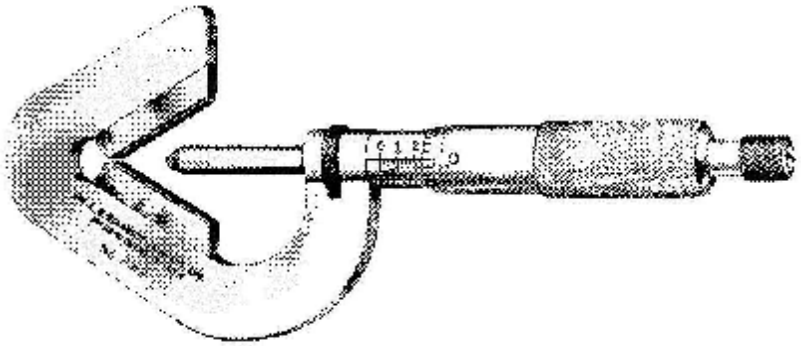


الف ب

شکل ۵-۲: میکرومتر ضخامت‌سنج الف-ورق ب-لوله [۶]

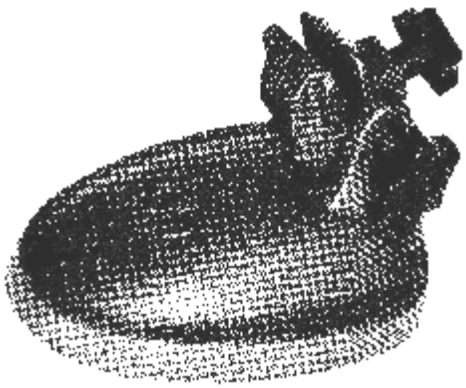


شکل ۶-۲: میکرومتر دنده پیچ [۶]

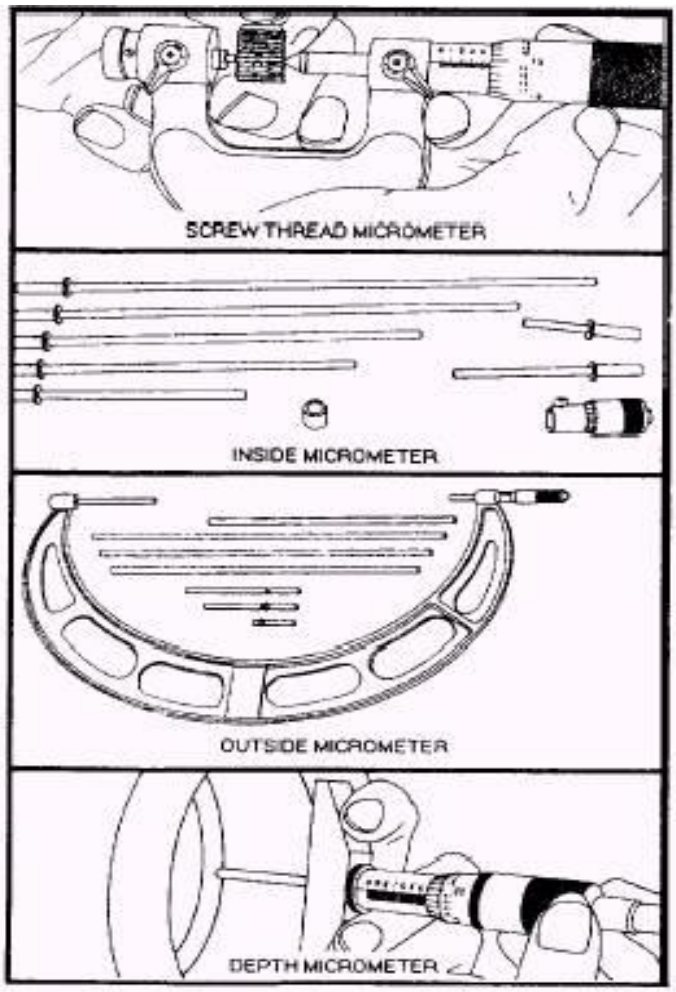


شکل ۷-۲: میکرومتر با فک ثابت V شکل(کنترل انحراف از دایره) [۶]

شکل ۸-۲: میکرومتر دیجیتال



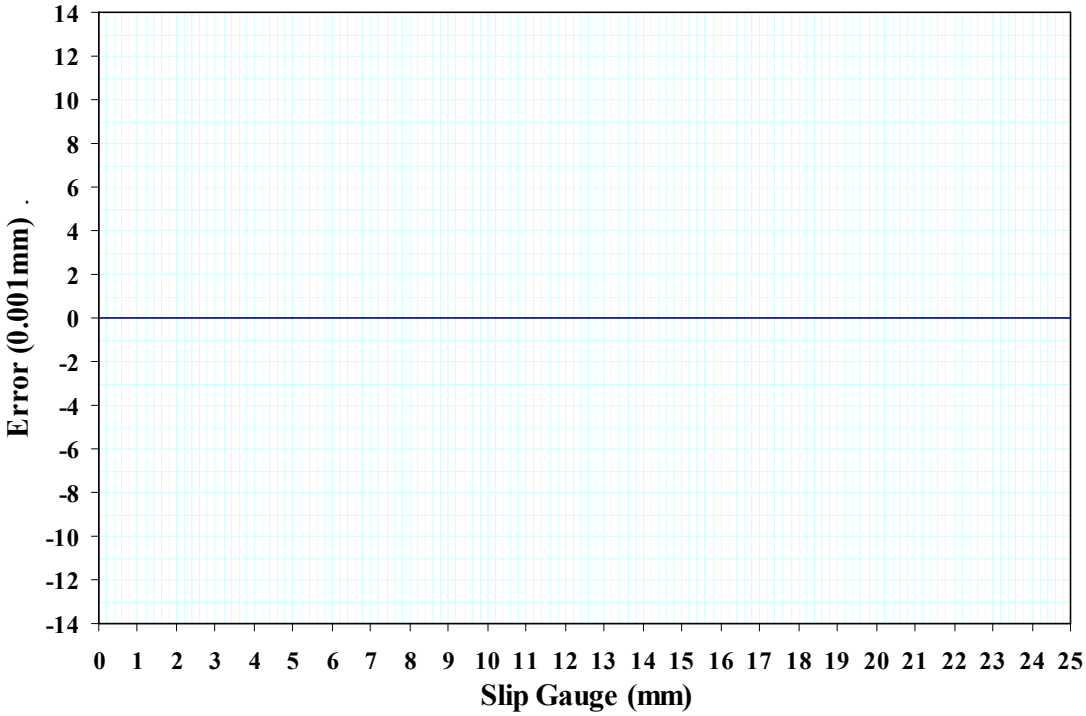
شکل ۹-۲:پایه نگهدارنده میکرومتر [۶]



شکل ۱۰-۲:نحوه استفاده از میکرومتر

نتایج آزمایش:

مقادیر عدم توازی سطوح فکها، شکل فکها، جدول خطای پیچ‌ومهره نوشته و منحنی خطای گام پیچ‌ومهره را، در نموداری مشابه شکل ۱۱-۲ ترسیم نمایید.



شکل۱۱-۲: نمودار کالیبراسیون

بحث و اظهار نظر:

علت عدم توازی فکها ؟ علت خطای گام ؟ اظهار نظر راجع به روش آزمایش و شرایط آزمایش، خطای میکرومترها با مقدار مجاز استاندارد آنها مقایسه کنید.

چگونه می‌توان میکرومتری با زینه‌بندی ریزتر داشت؟

در مورد ترکیب قطعات اندازه با یکدیگر، بحث نمایید. زمانی که چندین حالت برای ترکیب وجود داشته باشد، انتخاب بهینه چگونه انجام می‌پذیرد؟

دانشگاه صنعتی امیر کبیر- دانشکده مهندسی مکانیک- ازمایشگاه مترولوژی

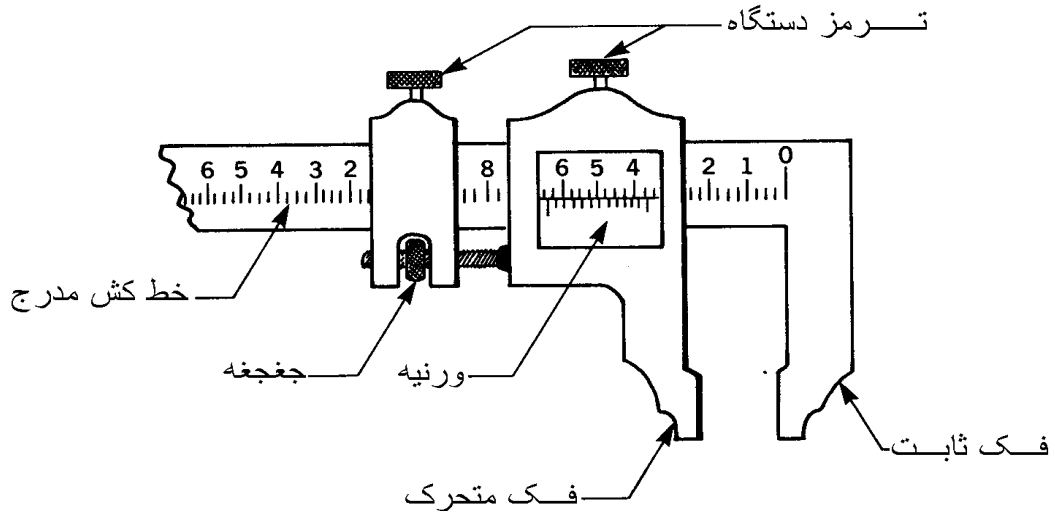
آزمایش شماره (۳): کولیس

هدف آزمایش:

کنترل دقت یک کولیس

وسایل آزمایش:

کولیس (شکل ۱-۳) 0- 250mm ورنیه دار، جعبه قطعات اندازه، گونیا و غلتک مرجع.



شکل۱-۳: کولیس و اجزای آن.

روش آزمایش:

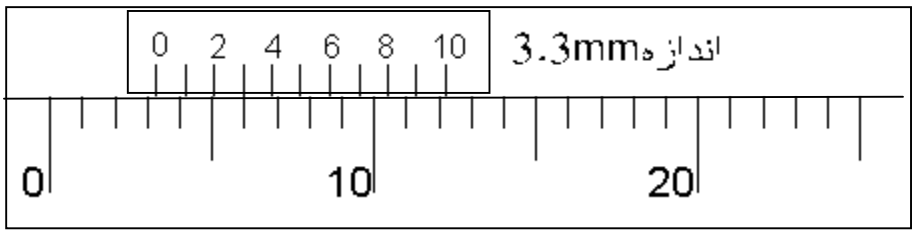
۱- بازرسی لقی فکها حول سه محور x-y-z با نگاه داشتن خط کش در یک دست و کنترل آن با دست دیگر انجام می‌شود. بنا به تشخیص خود، کم، متوسط و یا زیاد بودن لقی در سه جهت را نسبت به یکدیگر در جدول ۱-۳ بنویسید. در این آزمایش ترمز ها آزاد هستند.

جدول۱-۳: تشخیص لقی

	x	y	z
لقی			

۲- یک غلتک مرجع انتخاب کرده و در پائین، وسط و بالای فک ها قرار داده و مقداری را که هر دفعه کولیس نشان می دهد در جدول ۲-۳ بنویسید. بدین ترتیب موازی بودن فک ها را کنترل نمائید.

.



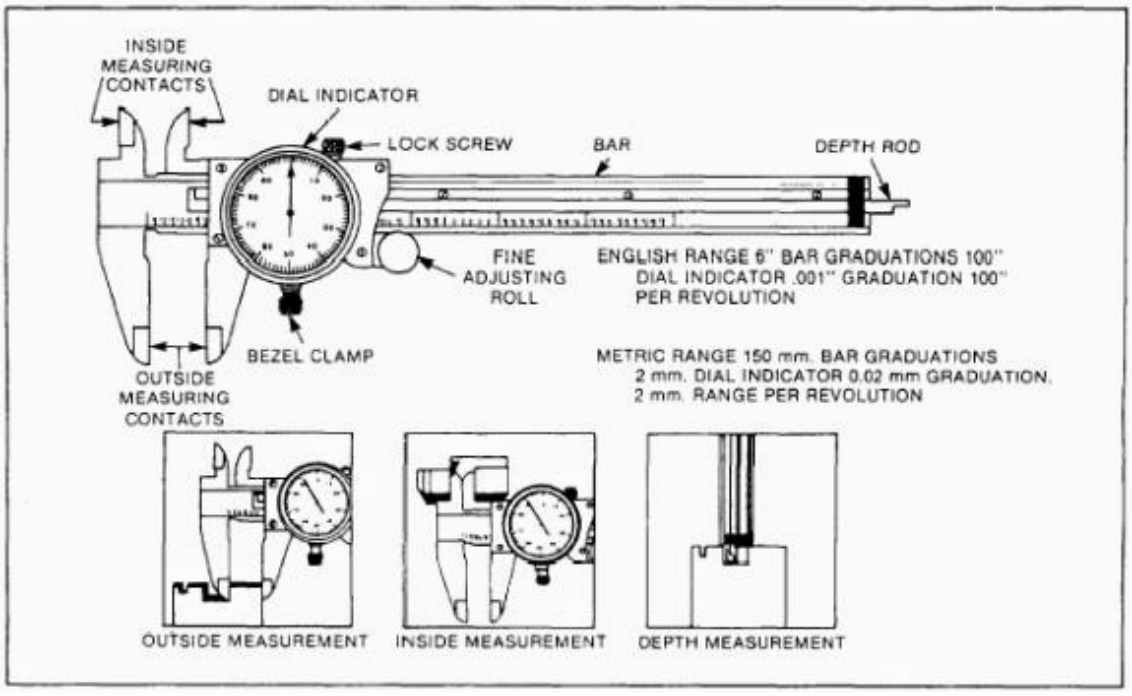
شکل۲-۳: نحوه خواندن ورنیه کولیس.

نحوه خواندن ورنیه کولیس در شکل۲-۳، نشان داده شده است.

جدول۲-۳: خوانده های کولیس از غلتک

مقادیر			

شکل‌های ۳-۳ و ۴-۳ کولیس‌های با نشان دهنده‌های ساعتی و دیجیتال را نشان می‌دهند.



شکل۳-۳: استفاده از کولیس ساعتی.

۲- به وسیله گونیا دو فک کولیس را نسبت به خط کش مدرج کنترل کنید بدین وسیله عمود بودن فکها نسبت به خط کش کنترل می‌شود.

شکل۴-۳: کولیس با نشان دهنده دیجیتال.

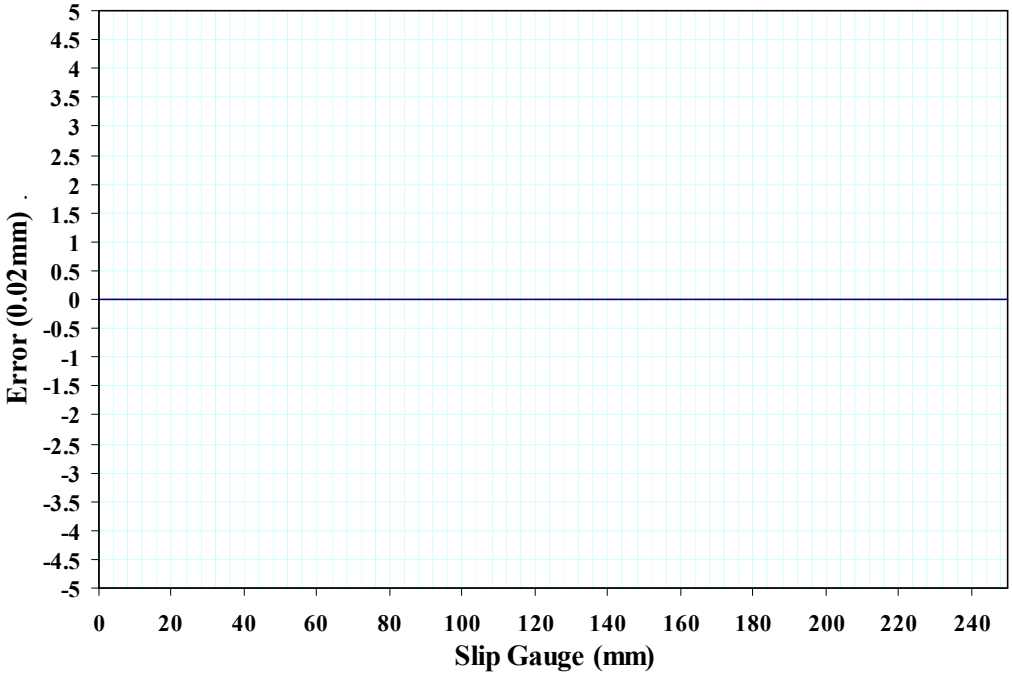
۴- خط کش و تقسیم بندی میله اصلی و ورنیه را با قرار دادن اندازه های موجود در جعبه قطعات اندازه و مندرج در جدول۳-۳ می‌توان کنترل کرد.خطا های حاصله را برای مقادیر ذیل یادداشت نمائید.

جدول۳-۳: خوانده های کولیس از قطعات اندازه.

قطعات اندازه	مقادیر خوانده	خطا		قطعات اندازه	مقادیر خوانده	خطا
0mm				50mm		
2.5mm				75mm		
7.5 mm				100mm		
10mm				125mm		
12.5mm				150mm		
15mm				175mm		
17.5mm				200mm		
20 mm				225mm		
22.5mm				240mm		
25mm				250mm		

نتایج آزمایش:

نتیجه لقی فک ها، مقدار نا موازی بودن فک ها، گونیا بودن فک ها و جدول خطای تقسیم بندی را نوشته و منحنی خطای کولیس را در محدوده کاری آن، در نموداری مشابه شکل ۵-۳ ترسیم نمایید.



شکل۵-۳: نمودار کالیبراسیون.

بحث و اظهار نظر:

علت خطاها در هر قسمت- دقت آزمایش- آیا وضعیت کولیس از نظر دقت قابل قبول است؟ در مورد برتری نسبی کولیس با نشان دهنده‌های مختلف بحث و اظهار نظر نمایید.

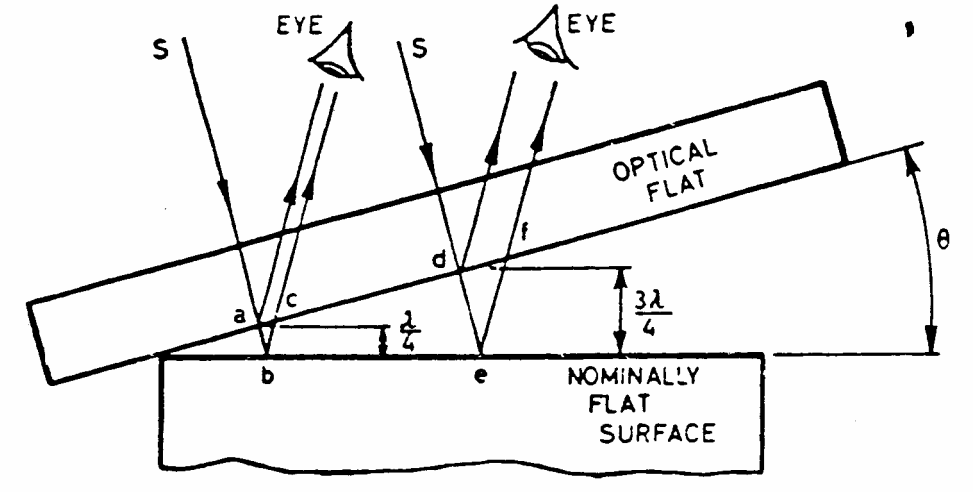
آزمایش شماره (۴): تختی سنج نوری(Optical flat)

هدف آزمایش:

کنترل طول و ناصافی سطح یک قطعه اندازه‌گیری با تختی سنج نوری.

وسایل آزمایش:

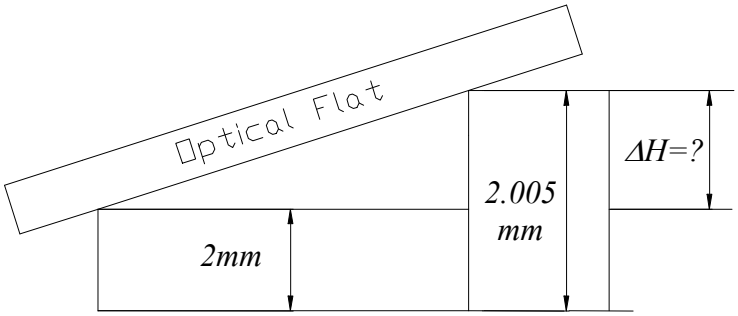
صفحه صافی(base plate)، تختی سنج نوری (optical flat)، قطعه اندازه مبنا، قطعه اندازه برای آزمایش و جعبه قطعات اندازه.



شکل۱-۴: نحوه تداخل امواج روی سطوح زیر تختی سنج [۱۰]

روش آزمایش:

۱- قطعه اندازه مبنا و قطعه مورد آزمایش را طبق شکل ۲-۴ روی سطح صاف چسبانده و دو سطح آن و تختی سنج را تمیز نموده و بروی آن قرار دهید. فاصله دو قطعه را نیز تعیین و یادداشت نمائید.



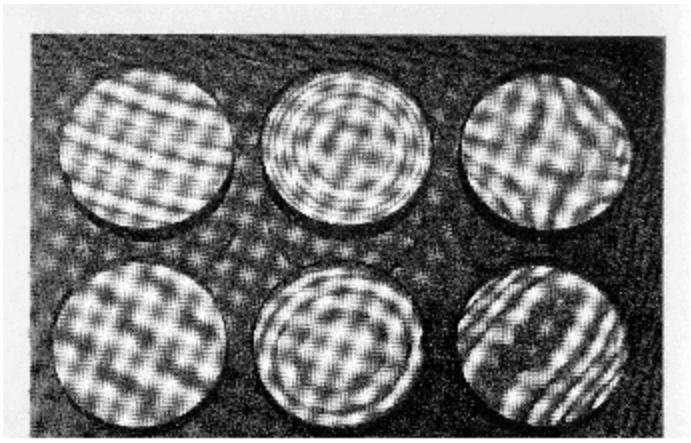
شکل۲-۴: اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع زیر تختی سنج

تعداد خطوط نور را روی قطعه مورد آزمایش یادداشت نموده و اختلاف ارتفاع را از رابطه ۱-۴ بدست آورید.

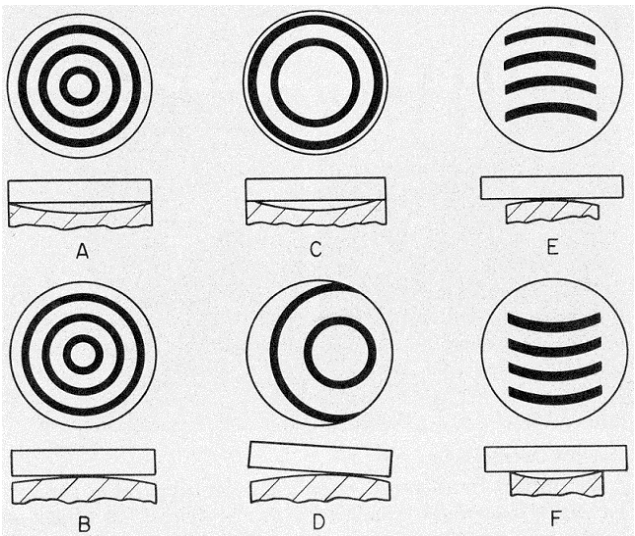
$$\Delta H = n_D \frac{\lambda}{4} + n_L \frac{\lambda}{4} \qquad (۴-۱)$$

که ΔH اختلاف ارتفاع، λ طول موج نور تکرنگ و n_D و n_L بترتیب تعداد خطوط تاریک و روشن میباشند.

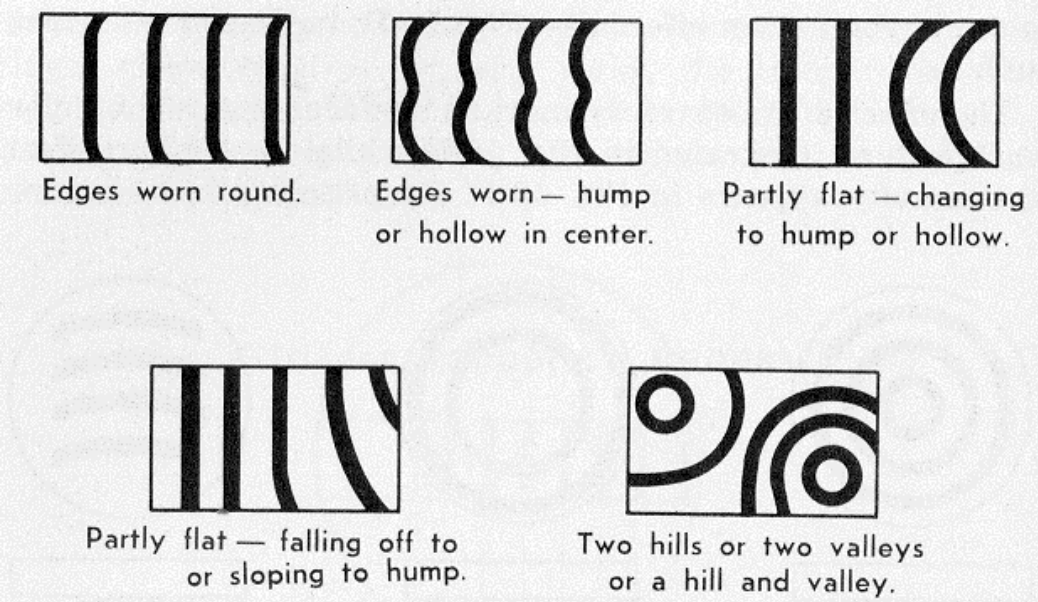
۲- تصویرخطوط مشاهده شده را مانند شکل ۳-۴ بکشید اگر انحنائی روی خطوط مشاهده شد نوع مقعر و یا محدب سطح را تعیین کنید.



شکل۳-۴: انواع توپوگرافی سطوح زیر تختی سنج [۳]



شکل۴-۴: انواع توپوگرافی مقعر و محدب زیر تختی سنج [۷]



شکل۵-۴: انواع توپوگرافی پیچیده زیر تختی سنج [۷]

نتایج آزمایش:

اختلاف بلندی دو قطعه اندازه را به دست آورید. طول موج نور سدیم 0.5842um است. نوع ناهمواری سطح را معین کنید. و طول به دست آمده را با اندازه اصلی مقایسه کنید.

بحث و اظهار نظر:

راجع به دقت اندازه‌گیری و عوامل موثر در این دقت بحث کنید.

کاربرد این روش را در کالیبراسیون قطعات تشریح نمایید.

نورهای تک رنگ با طول موج‌های مختلف چه تاثیری روی دقت اندازه‌گیری دارند؟

آزمایش شماره (۵): اندازه‌گیری قطر داخلی

هدف آزمایش:

استفاده از روش‌های مختلف جهت اندازه‌گیری قطر داخلی.

وسایل آزمایش:

کولیس، میکرومترداخل سنج، میکرومترخارجی، قطعات اندازه و وسایل کمکی آنها سری گلوله ها، میکرومترعمق‌سنج، ساعت اندازه‌گیرداخل‌سنج، قطعات کار برای اندازه‌گیری، صفحه صافی و اندازه‌گیرتلسکوپی.

شرح آزمایش:

به روش‌های زیر قطر داخلی اجسام را می‌توان اندازه‌گیری کرد.

۱- با استفاده از کولیس، قطر قطعه کار را در سه نقطه که حدودا"۱۲۰ درجه با هم فاصله دارند، اندازه‌گیری کنید و مقادیر را در جدول۱-۵ یادداشت کنید.

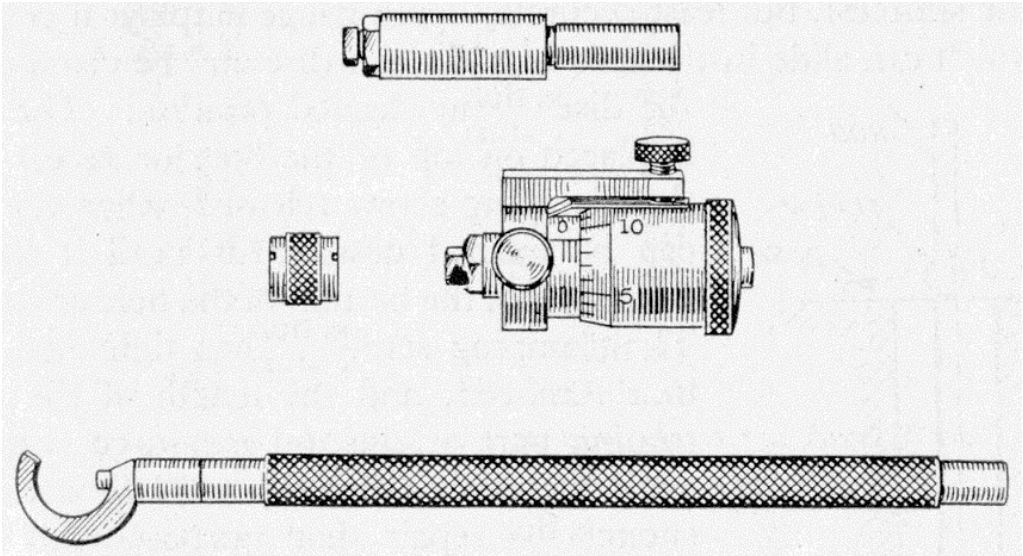
جدول۱-۵: نتایج اندازه‌گیری داخلی با کولیس

کولیس	0^o	120^o	240^o
مقادیر			

۲- عینا" آزمایش اولی را با استفاده از میکرومتر داخل سنج شکل۱-۵ انجام دهید و مقادیر را در جدول۲-۵ یادداشت کنید.

جدول۲-۵: نتایج اندازه‌گیری داخلی با میکرومتر

میکرومتر	0^o	120^o	240^o
مقادیر			

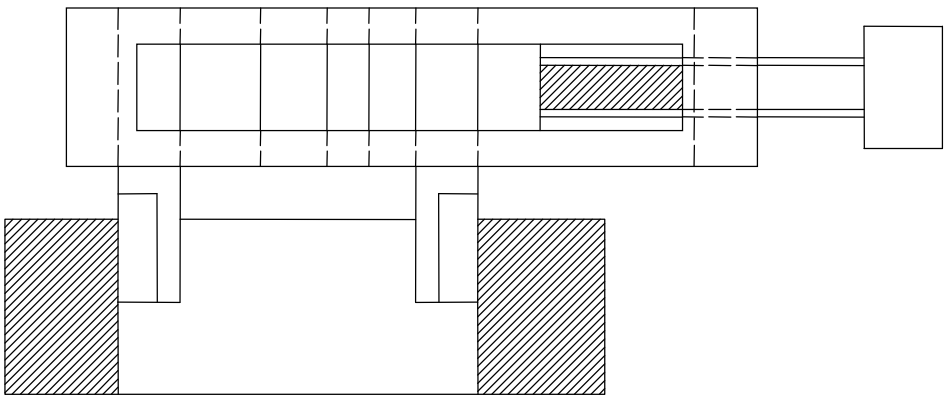


شکل۱-۵: میکرومتر داخل سنج و وسایل کمکی [۴]

۳- با استفاده از وسایل کمکی قطعات اندازه، قطر داخلی بدین ترتیب تعیین می شود که دو فک را درقطر قرارداده و وسط آنهارا با قطعات اندازه پرکنید و مطابق شکل ۲-۵ آن را به کاربرده و نتایج هر مرحله سعی و خطا را در جدول ۳-۵ یادداشت نمایید.

جدول۳-۵: نتایج هر مرحله سعی و خطا

وسایل کمکی	مرحله۱	مرحله۲	مرحله۳	مرحله۴	مرحله۵	مرحله۶	مرحله۷
مقادیر							
نتیجه(برو-نرو)							

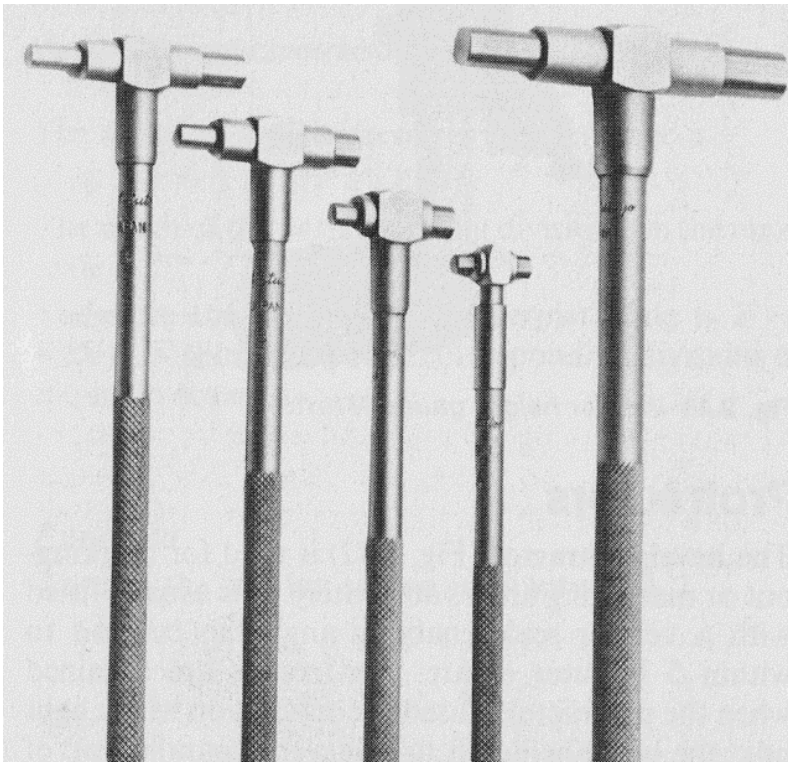


شکل۲-۵: کاربرد وسایل کمکی قطعات اندازه در داخل‌سنجی

۴- با استفاده از اندازه گیر تلسکوپی (شکل۳-۵) قطر داخلی قطعه کار را در سه نقطه بدست آورید و در جدول ۳-۵ یادداشت نمایید..

جدول۴-۵: نتایج اندازه‌گیری داخلی با اندازه گیر تلسکوپی

تلسکوپی	0^o	120^o	240^o
مقادیر			



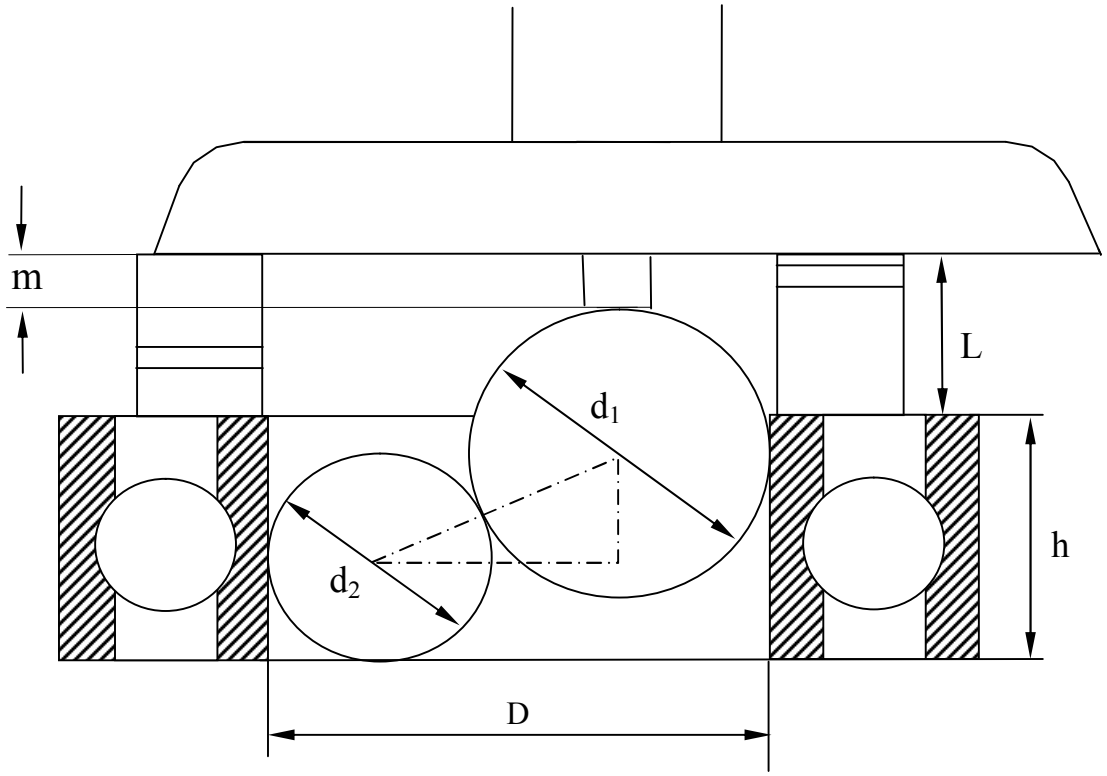
شکل۳-۵: اندازه‌گیر تلسکوپی (به‌عنوان وسیله کمکی میکرومتر)[۶]

۵- با استفاده از گلوله ها و میکرومتر عمق سنج و قطعات اندازه (شکل ۴-۵) و با داشتن h و L و بدست آوردن مقدار d_1 ، d_2 و m می‌توان D را بدست آورد.

اندازه D از رابطه زیر بدست می آید:

$$D = \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} + \sqrt{\left(\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2}\right)^2 - \left(h + L - m - \frac{d_1}{2} - \frac{d_2}{2}\right)^2} \qquad (۵-۵-۱)$$

که در رابطه بالا D قطر داخلی بلبرینگ، d_1 و d_2 قطر ساچمه های استفاده شده، h ارتفاع بلبرینگ، L طول قطعات اندازه و m مقداری است که توسط میکرومتر عمق سنج خوانده می شود.



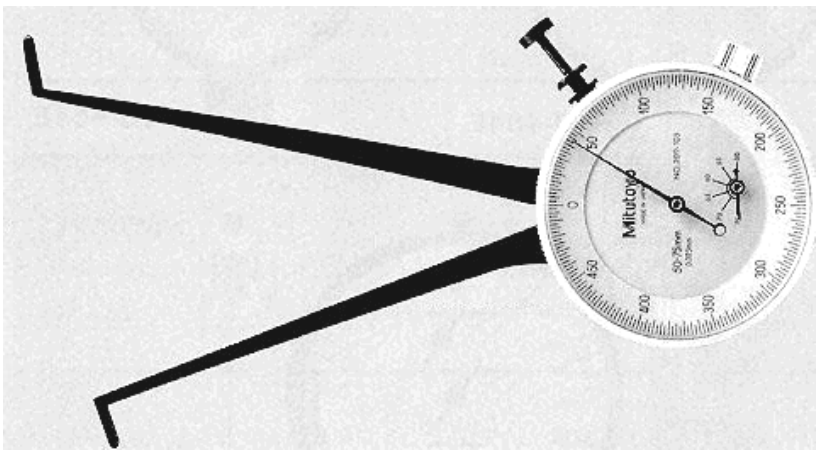
شکل۴-۵: اندازه‌گیری داخلی با میکرومتر عمق‌سنج و گلوله

مقادیر بدست آمده را در جدول ۵-۵ بنویسید.

جدول۵-۵: نتایج اندازه‌گیری داخلی با میکرومتر عمق‌سنج و گلوله

	m	h	L	d_1	d_2	D=?
مقادیر						

۶- با استفاده از ساعت‌های اندازه‌گیر داخلی (شکل ۵-۵) و میکرومتر، قطرداخلی را درسه نقطه بدست آورید ونتایج را در جدول ۶-۵ بنویسید.



شکل۵-۵: ساعت اندازه‌گیری داخلی[۸]

جدول۶-۵: نتایج اندازه‌گیری داخلی با ساعت اندازه گیر

ساعت اندازه گیر	0^o	120^o	240^o
مقادیر			

نتایج آزمایش:

تمام مقادیر بدست آمده را در جدول بنویسید و محاسبات را نشان دهید. برای آزمایشهای ۱و۲و۶ که درسه نقطه قطر را اندازه‌گیری می کنید دایره کامل بودن و یا نبودن قطعه کار را نشان دهید.

بحث و اظهار نظر:

دقت و سرعت اندازه‌گیری و موارد استفاده هر طریقه را شرح داده و عیوب هرروش آزمایش را متذکرگردید.

روشی عملی برای اندازه گیری قطر یک سوراخ توسط یک خط کش معمولی پیشنهاد کنید.

اگر قطر سوراخ به اندازه‌ای بزرگ باشد که با وسایلی که در این آزمایش معرفی شد، نتوان آنرا اندازه گیری کرد، روشی برای این مورد بیان نمایید.

آزمایش شماره(۶): قطعات شکسته

هدف آزمایش:

اندازه‌گیری قطر داخلی و خارجی قطعات شکسته.

وسایل آزمایش:

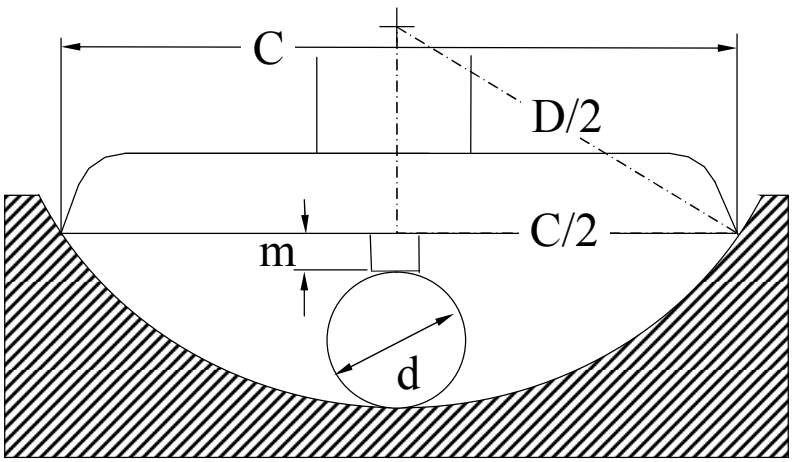
میکرومتر عمق سنج، جعبه قطعات اندازه، سری گلوله‌ها، قطعات کار برای اندازه‌گیری، سری غلتک‌ها، میکرومتر خارجی، صفحه صافی و کولیس.

شرح آزمایش:

اندازه‌گیری قطر داخلی و خارجی اجسام شکسته بستگی به کوچکی و بزرگی آنها دارد و به‌طرق زیر انجام می گیرد.

۱- اندازه‌گیری قطر داخلی وقتی بزرگ باشد

اگر قطعه کار بحدی بزرگ باشد که سر عمق سنج بتواند در دهانه آن قرار گیرد، اندازه C را با کمک یک کولیس اندازه‌گیری کنید و به‌وسیله یک عمق سنج و غلتک، مطابق شکل ۱-۶ عمق m را اندازه‌گیری کرده و D را محاسبه نماید.



شکل۱-۶: اندازه‌گیری قطر داخلی قطعه شکسته (بزرگ) با میکرومتر عمق‌سنج و غلتک.

رابطه (۱-۶) مقدار D را می‌دهد. این رابطه را ثابت کنید.

$$D = \frac{C^2 + 4m^2 + 8md + 4d^2}{4(m+d)} \qquad (۶-۱)$$

که در رابطه بالا D قطر کمان اندازه گیری شده قطعه شکسته بوده و d قطر غلتک استفاده شده، C طول فک عمق سنج و m طول اندازه گیری شده توسط آن است.

مقادیر بدست آمده از آزمایش را در جدول (۱-۶)، نوشته با معادله (۱-۶)، مقدار D را بدست آورید.

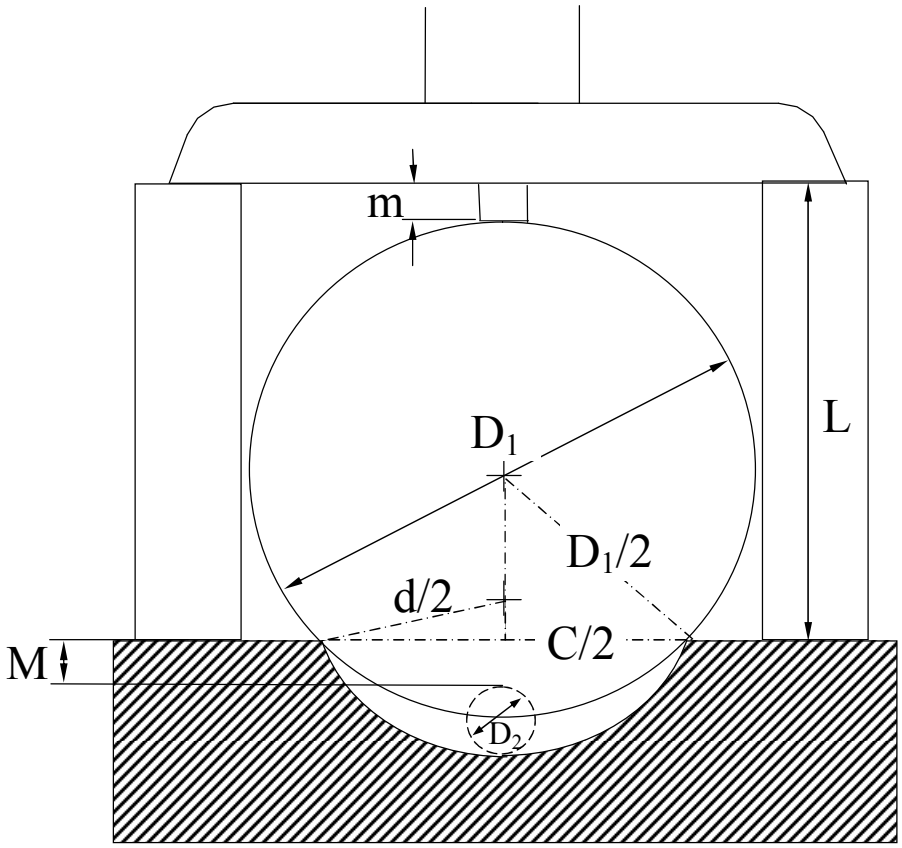
جدول ۱-۶: مقادیر بدست آمده از آزمایش قطر داخلی قطعه شکسته (بزرگ).

	m	d	C	D=?
مقادیر				

۲- اندازه‌گیری قطر داخلی قطعه کار وقتی کوچک باشد

اگرغلتک و یا گلوله‌ای بتواند در دهنه آن مطابق شکل ۲-۶ قرار گیرد (L-m) را با کمک قطعات اندازه وعمق سنج بدست آورده وبا داشتن قطرغلتک یا گلوله، مقدار C، وتری که گلوله با سطح تماس منحنی می‌سازد، محاسبه می شود.

می‌توان با اندازه‌گیری عمق قطعه کار شعاع قطعه کار را مانند قسمت اول محاسبه نمود.



شکل۲-۶: اندازه‌گیری قطر داخلی قطعه شکسته (کوچک) با میکرومتر عمق‌سنج و غلتک.

رابطه (۲-۶)، را ثابت کنید

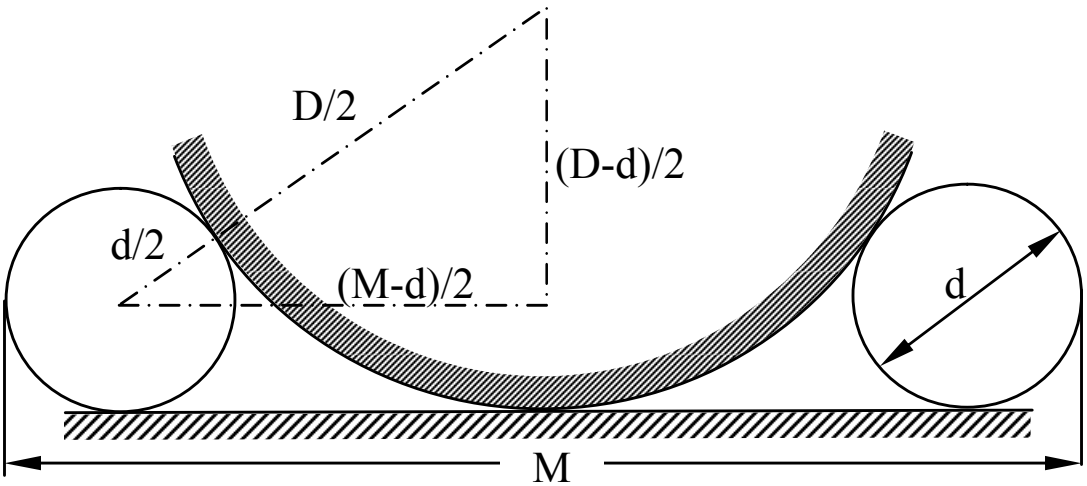
$$d = \frac{(M + D_2)^2 - (L - m)^2 + D_1(L - m)}{D_2 + M} \qquad (۶-۲)$$

که در رابطه (۲-۶)، d قطر کمان اندازه گیری شده قطعه شکسته است . D_1 وD_2 قطر غلتک ها و یا ساچمه های استفاده شده، m و M به ترتیب طول اندازه گیری شده از بالای ساچمه های D_1 وD_2 توسط عمق سنج است و L طول قطعات اندازه مورد استفاده در آزمایش است.
مقادیر بدست آمده از آزمایش را در جدول (۲-۶)، نوشته با معادله (۲-۶) مقدار d را بدست آورید.

جدول ۲-۶: مقادیر بدست آمده از آزمایش قطر داخلی قطعه شکسته (کوچک).

	m	M	L	D_1	D_2	d=?
مقادیر						

۳ – اندازه‌گیری قطرخارجی قطعه شکسته
با قراردادن قطعه شکسته روی صفحه صافی وگذاشتن دوغلتک هم قطر در دو طرف قطعه شکسته، مقدار M را مطابق شکل ۳-۶ اندازه‌گیری کنید. مقدار d قطرغلتک نیز باید یاد داشت شود.



شکل۳-۶: اندازه‌گیری قطر خارجی قطعه شکسته با دو غلتک.

مقدار D از رابطه (۳-۶) بدست می آید. این رابطه را ثابت کنید.

$$D = \frac{(M-d)^2}{4d} \qquad (۶-۳)$$

در رابطه (۳-۶)، D قطر بیرونی کمان اندازه‌گیری شده، d قطر غلتک های هم قطر و M اندازه خوانده شده توسط وسیله اندازه‌گیری طول (کولیس) است.
مقادیر بدست آمده از آزمایش را در جدول ۳-۶ نوشته با معادله (۳-۶)،مقدار D را بدست آورید.

جدول ۳-۶: مقادیر بدست آمده از آزمایش قطر خارجی قطعه شکسته.

	M	d	D=?
مقادیر			

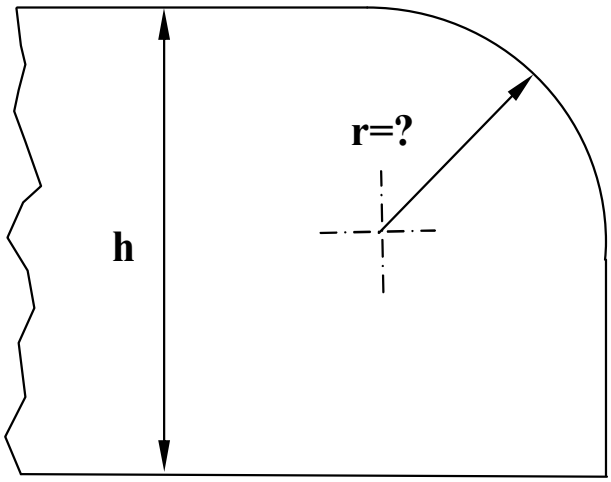
نتایج آزمایش:

تمام محاسبات و مقادیر بدست آمده را نشان دهید.

بحث و اظهار نظر:

دقت هر طریقه را شرح داده وعیوبی را که در هر روش آزمایش به نظر می رسد یادآورشوید.

توسط دستگاه CNC قطعه ای همانند شکل ۴-۶ ماشینکاری شده است. ربع دایره ای در یک گوشه آن ایجاد گردیده است. چگونه می توان شعاع آن را اندازه گیری کرد؟



شکل۴-۶: اندازه‌گیری قطر گوشه لب گرد.

دانشگاه صنعتی امیر کبیر_دانشکده مهندسی مکانیک_آزمایشگاه مترولوژی

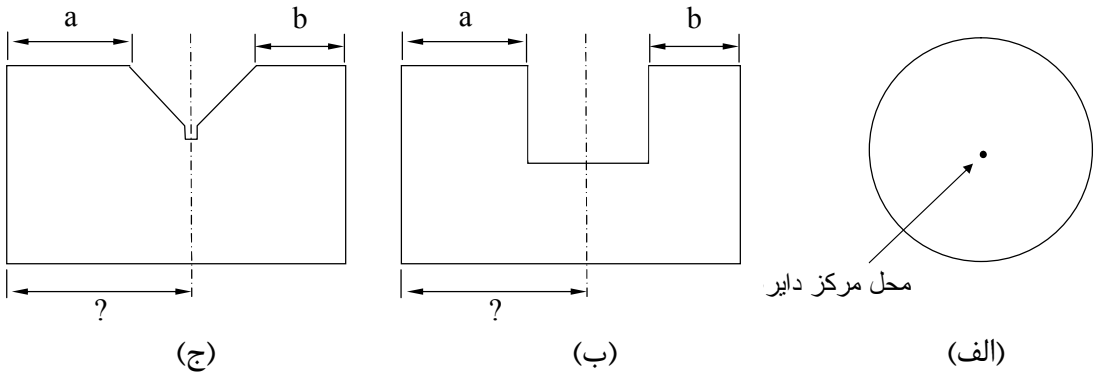
آزمایش شماره (۷): مرکزیابی و موقعیت‌یابی قطعات

هدف آزمایش:

پیشنهاد نمایید که چگونه می توان مراکز و موقعیت های خواسته شده را روی سطح قطعات زیر پیدا کرد؟

۱- محل مرکز یک قطعه استوانه ای تو پر در شکل ۱-۷-الف (در دو حالت با ارتفاع زیاد و ضخامت کم).

۲- در شکل ۱-۷-ب، محل مرکز یک شکاف مستطیل شکل که مقادیر b و a برابر نباشند و مقادیر آنها نیز معلوم نباشند.

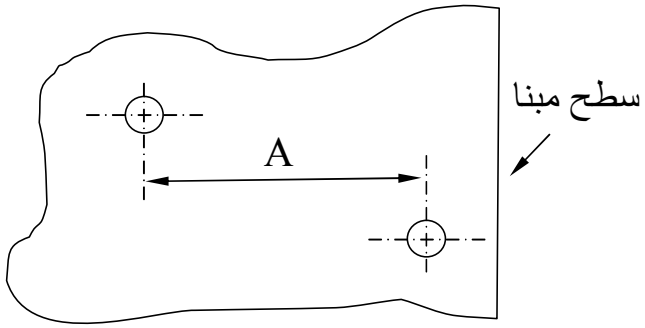


شکل۱-۷: مرکز یابی.

۳- در شکل ۱-۷-ج، محل مرکز یک قطعه V شکل در صورتیکه مقادیر a وb برابر نباشند ومقادیر آنها نیز معلوم نباشد.

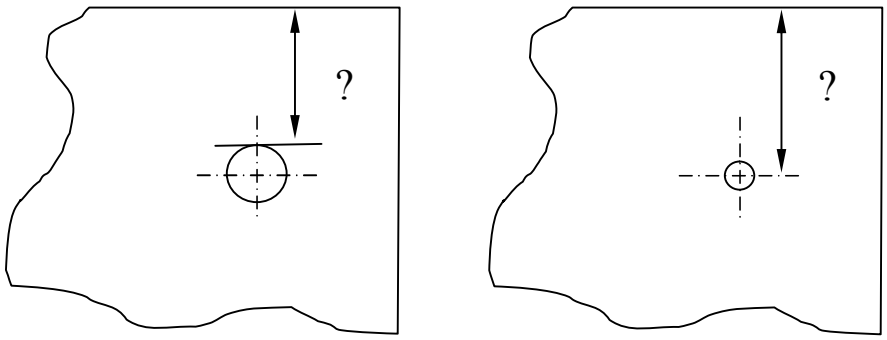
نوع وسیله اندازه‌گیری مورد استفاده را ذکر کرده و طریقه عمل را شرح دهید.

۴- فاصله مراکز دو سوراخ (مقدار A) را در شکل ۲-۷ چگونه بدست می آورند ؟



شکل۲-۷: مرکز تا مرکز یابی.

۵- با کمک عمق سنج چگونه می توان مرکز و لبه یک سوراخ را تا لبه قطعه کار در شکل ۳-۷ اندازه گرفت.



(ب) (الف)

شکل۳-۷: مو قعیت یابی.

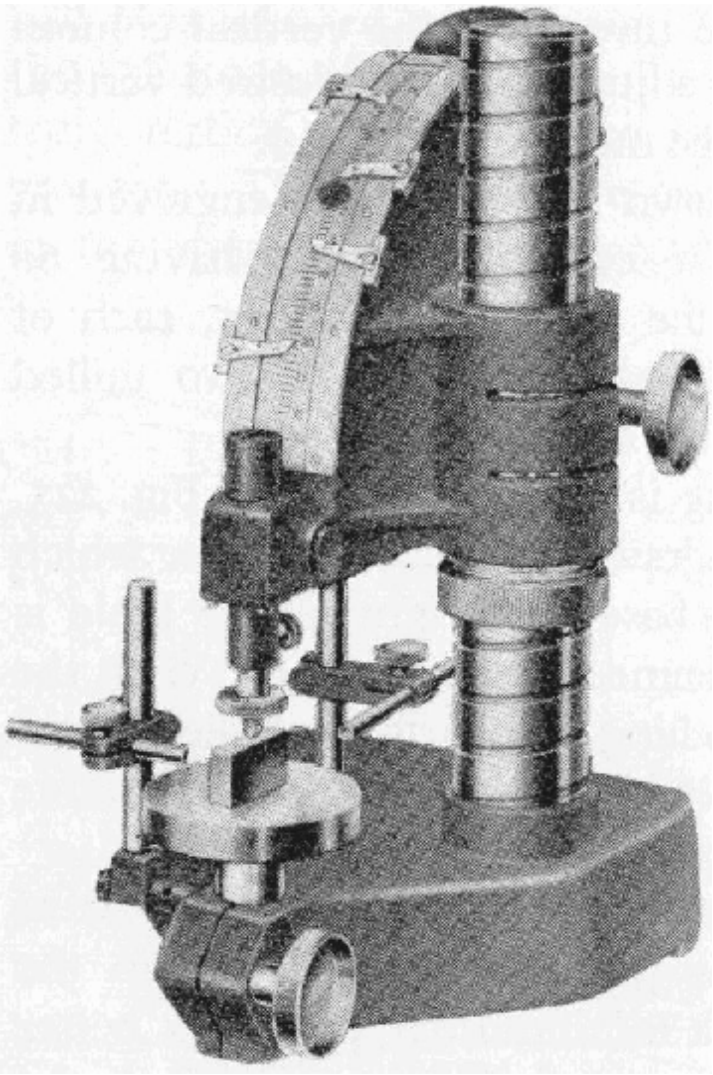
آزمایش شماره (۸): کمپراتور نوری- مکانیکی

هدف آزمایش:

کنترل سنجه قطر داخلی برونرو (Go & Not-Go Internal Gauge) توسط کمپراتور نوری-مکانیکی.

وسایل آزمایش:

کمپراتور نوری- مکانیکی (شکل۱-۸)، جعبه قطعات اندازه، سنجه قطر داخلی برونرو.



شکل۱-۸: نمای کمپراتور نوری-مکانیکی [۴]

تئوری آزمایش:

مجموعه اندازه های گرفته شده از قطر سنجه برای n ارتفاع و در اطرف سنجه با m زاویه را می توان به‌صورت ماتریس (۱-۸) بیان کرد:

$$D(d_{i,j}) = \begin{Bmatrix} d_{1,1} & \cdots & d_{1,j} & \cdots & d_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \iddots & \vdots \\ d_{i,1} & \cdots & d_{i,j} & \cdots & d_{i,m} \\ \vdots & \iddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n,1} & \cdots & d_{n,j} & \cdots & d_{n,m} \end{Bmatrix} \qquad (۸-۱)$$

در ماتریس (۱-۸) مقادیر $d_{i,j}$ برای j زاویه یکسان از یکدیگر و i ارتفاع مختلف بطور مطلق (Absolute) نشان داده شده اند. اگر مقدار اندازه نوشته شده روی سنجه برو و یا نروی درونی D فرض شود، داریم:

$$\Delta D_{i,j} = d_{i,j} - D \quad , \quad D = D_{Nominal} \qquad (۸-۲)$$

که $\Delta D_{i,j}$ همان مقادیر اندازه های گرفته شده نسبی انحراف $d_{i,j}$ توسط کمپراتور نوری- مکانیکی می‌باشند. جهت بدست آوردن حد بالای خطای قطر Out of Diameter از معادله (۳-۸) استفاده می‌شود:

$$\Delta D_{\max} = \bigcup_{i=1}^{n}\bigcup_{j=1}^{m}\Delta D_{i,j} = \max_{i=1}^{n}\left\{\max_{j=1}^{m}\left\{d_{i,j} - D\right\}\right\} \qquad (۸-۳)$$

که $i=1, 2,...,n$ معرف n ارتفاع و $j=1, 2,...,m$ معرف m زاویه برای مقاطع یک سنجه سوراخ یا محور است. همچنین، جهت بدست آوردن حد پائین خطای قطر Out of Diameter از معادله (۴-۸) استفاده می‌شود:

$$\Delta D_{\min} = \bigcap_{i=1}^{n}\bigcap_{j=1}^{m}\Delta D_{i,j} = \min_{i=1}^{n}\left\{\min_{j=1}^{m}\left\{d_{i,j} - D\right\}\right\} \qquad (۸-۴)$$

که علامت‌های $\cup$ و $\cap$ بترتیب معرف عملگرهای operators بزرگترین و کوچکترین هستند. این عملگرها در تئوری مجموعه ها معرف اجتماع و اشتراک مجموعه ها بوده و در تئوری منطق در ریاضی معرف عملگرهای OR وAND می‌باشند.

جهت بدست آوردن خطای گرد بودن Out of Roundness در ارتفاع (i)ام از رابطه (۵-۸) استفاده می شود

$$\Delta R_i = \left| \bigcup_{j=1}^{m}\Delta D_{i,j} - \bigcap_{j=1}^{m}\Delta D_{i,j} \right| \qquad (۸-۵)$$

سپس مقدار ماکزیمم خطای گرد بودن Out of Roundness در کل ارتفاع از معادله (۶-۸) بدست می‌آید:

$$\Delta R = \bigcup_{i=1}^{n} \Delta R_i = \bigcup_{i=1}^{n} \left| \bigcup_{j=1}^{m} \Delta D_{i,j} - \bigcap_{j=1}^{m} \Delta D_{i,j} \right| \qquad (۸-۶)$$

جدول۱-۸: روش محاسبه برای مقادیر خوانده شده از کمپراتور نوری مکانیکی برای ارتفاع i معین

j	$d_{i,j}$	$\Delta D_{i,j}$	$\Delta R_{i,j}$
1	$d_{i,1}$	$d_{i,1} - D$	$\Delta D_{i,1} - \Delta D_{i,\min}$
2	$d_{i,2}$	$d_{i,2} - D$	$\Delta D_{i,2} - \Delta D_{i,\min}$
....	.....	.....	.....
....	.....	.....	.....
j	$d_{i,j}$	$d_{i,j} - D$	$\Delta D_{i,j} - \Delta D_{i,\min}$
....	.....	.....	.....
....	.....	.....	.....
$m-1$	$d_{i,m-1}$	$d_{i,m-1} - D$	$\Delta D_{i,m-1} - \Delta D_{i,\min}$
m	$d_{i,m-1}$	$\Delta D_{i,m} = d_{i,m} - D$	$\Delta D_{i,m} - \Delta D_{i,\min}$

مقدار خطای در استوانه بودن Out of Cylidersity در زاویه *(j)*ام از معادله (۸-۷) بدست می‌آید:

$$\Delta C_j = \left| \bigcup_{i=1}^{n} \Delta D_{i,j} - \bigcap_{i=1}^{n} \Delta D_{i,j} \right| \qquad (۸-۷)$$

این عمل برای n ارتفاع درهر طرف سنجه و با m زاویه در هر ارتفاع انجام شده و مقدار ماکزیمم خطای در استوانه بودن از معادله (۸-۸) بدست می آید:

$$\Delta C = \bigcup_{j=1}^{m} \Delta C_j = \bigcup_{j=1}^{m} \left| \bigcup_{i=1}^{n} \Delta D_{i,j} - \bigcap_{i=1}^{n} \Delta D_{i,j} \right| \qquad (۸-۸)$$

که $j=1, 2,...,m$ معرف m زاویه روی یک مقطع سنجه است.

جدول۲-۸: روش محاسبه برای مقادیر خوانده شده از کمپراتور نوری مکانیکی برای زاویه jمعین

i	$d_{i,j}$	$\Delta D_{i,j}$	$\Delta C_{i,j}$
1	$d_{1,j}$	$d_{1,j} - D$	$\Delta D_{1,j} - \Delta D_{\min,j}$
2	$d_{2,j}$	$d_{2,j} - D$	$\Delta D_{2,j} - \Delta D_{\min,j}$
....	.....	.....	.....

....	.....	.....	.....
i	$d_{i,j}$	$d_{i,j} - D$	$\Delta D_{i,j} - \Delta D_{\min,j}$
....	.....	.....	.....
....	.....	.....	.....
$n-1$	$d_{n-1,j}$	$d_{n-1,j} - D$	$\Delta D_{n-1,j} - \Delta D_{\min,j}$
n	$d_{n,j}$	$\Delta D_{n,j} = d_{n,j} - D$	$\Delta D_{n,j} - \Delta D_{\min,j}$

چنانچه مقدار اندازه داده شده برای یک سوراخ در نقشه صنعتی قطعات تولیدی که قرار است با این سنجه کنترل شود، به‌صورت تابعی به‌شکل (۹-۸) تصور شود:

$$M(D_{Nominal\ Hole}, Tmax, Tmin) = D_{Nominal\ Hole}^{\substack{Tmax \\ Tmin}} \qquad (۸-۹)$$

حال با توجه به مقدار بازه مجاز قطعات سالم تولیدی را می‌توان مطابق رابطه (۱۰-۸) نوشت:

$$D_{Nominal\ Hole} + Tmin \le M(D_{Nominal\ Hole}, Tmax, Tmin) \le D_{Nominal\ Hole} + Tmax \qquad (۸-۱۰)$$

اندازه بازه مجاز داده شده در بالا برای قطعات تولیدی به‌عنوان مقادیر اسمی سنجه برو- نرو نیز نامیده می‌شوند. در رابطه (۲-۸) مقدار اسمی سنجه برو- نروی درونی که D فرض شده بود و روی سنجه نوشته می‌شود، به‌ترتیب به‌صورت روابط (۱۱-۸) و (۱۲-۸) بیان می‌گردد:

$$D^{GO}_{Nominal\ Hole\ Gauge} = D_{Nominal\ Hole} + Tmin \qquad (۸-۱۱)$$

$$D^{NOT-GO}_{Nominal\ Hole\ Gauge} = D_{Nominal\ Hole} + Tmax \qquad (۸-۱۲)$$

حال با استفاده از این بازه می‌توان بازه مجاز تولید سنجه را بدست آورد بازه مجاز سنجه برو-نرو را می‌توان یک‌دهم بازه قطعه بدون احتساب سایش به‌شکل (۱۳-۸) محاسبه نمود:

$$\Delta TG = 0.1(Tmax - Tmin) \qquad (۸-۱۳)$$

همچنین مقدار سایش مجاز را می‌توان مطابق (۱۴-۸) در نظر گرفت:

$$\Delta WG = 0.05(Tmax - Tmin) \qquad (۸-۱۴)$$

ضرایب 0.1 و 0.05 برای اندازه های بسیار کوچک و بسیار بزرگ قطعات معمول صنعتی متغیر بوده و استانداردهای مختلف مقادیر متفاوتی را برای این ضرایب در جداول خود ارائه میدهند. حال بازه سنجه برو و نرو برای کنترل یک سوراخ از رابطه (۱۵-۸) و (۱۶-۸) برابر خواهد بود با:

$$D^{GO}_{Hole\ Gauge} = D_{Nominal\ Hole}^{\substack{Tmin+(\Delta TG+\Delta WG) \\ Tmin+\Delta WG}} \qquad (۸-۱۵)$$

$$D^{NOT-GO}_{Hole\,Gauge} = D_{Nominal\,Hole}\;\begin{matrix}Tmax\\ Tmax-\Delta TG\end{matrix} \qquad (۸-۱۶)$$

برای سنجه نرو مقدار سایش احتساب نمی‌گردد. زیرا انتظار می رود که در شرایط کاری عادی این سنجه به داخل سوراخ نرفته و ساییده نشود. در روابط (۸-۱۵) و (۸-۱۶) برای ایجاد اطمینان در عمل کنترل ابعادی، تعدادی از قطعات سالم آزمایش شده با این سنجه ها معیوب شناخته خواهند شد. ولی هیچ قطعه معیوبی سالم شناخته نخواهد شد. در مورد علت آن در کلاس بحث کنید.

در این آزمایش سلامت قطر خود سنجه ها بشرط صادق بودن روابط (۸-۱۷) و (۸-۱۸) تعیین می‌گردد. اگر برای بازه سنجه برو:

$$\left(D_{Nominal Hole} + Tmin + \Delta WG\right) \le d_i \le \left(D_{Nominal Hole} + Tmin + (\Delta TG + \Delta WG)\right) \qquad (۸-۱۷)$$

و برای بازه سنجه نرو:

$$\left(D_{Nominal\ Hole} + Tmax - \Delta TG\right) \le d_i \le \left(D_{Nominal\ Hole} + Tmax\right) \qquad (۸-۱۸)$$

حال اگر طراحی سنجه برای کنترل محور (شفت) مد نظر باشد، بر اساس رابطه (۸-۱۹) اندازه بازه محور (شفت) برابر است با:

$$M(D_{Nominal\ Shaft}, Tmax, Tmin) = D_{Nominal\ Shaft}\;\begin{matrix}Tmax\\ Tmin\end{matrix} \qquad (۸-۱۹)$$

که روابط (۸-۲۰) و (۸-۲۱) را می‌توان برای طراحی سنجه محور (شفت) بصورت زیر نوشت:

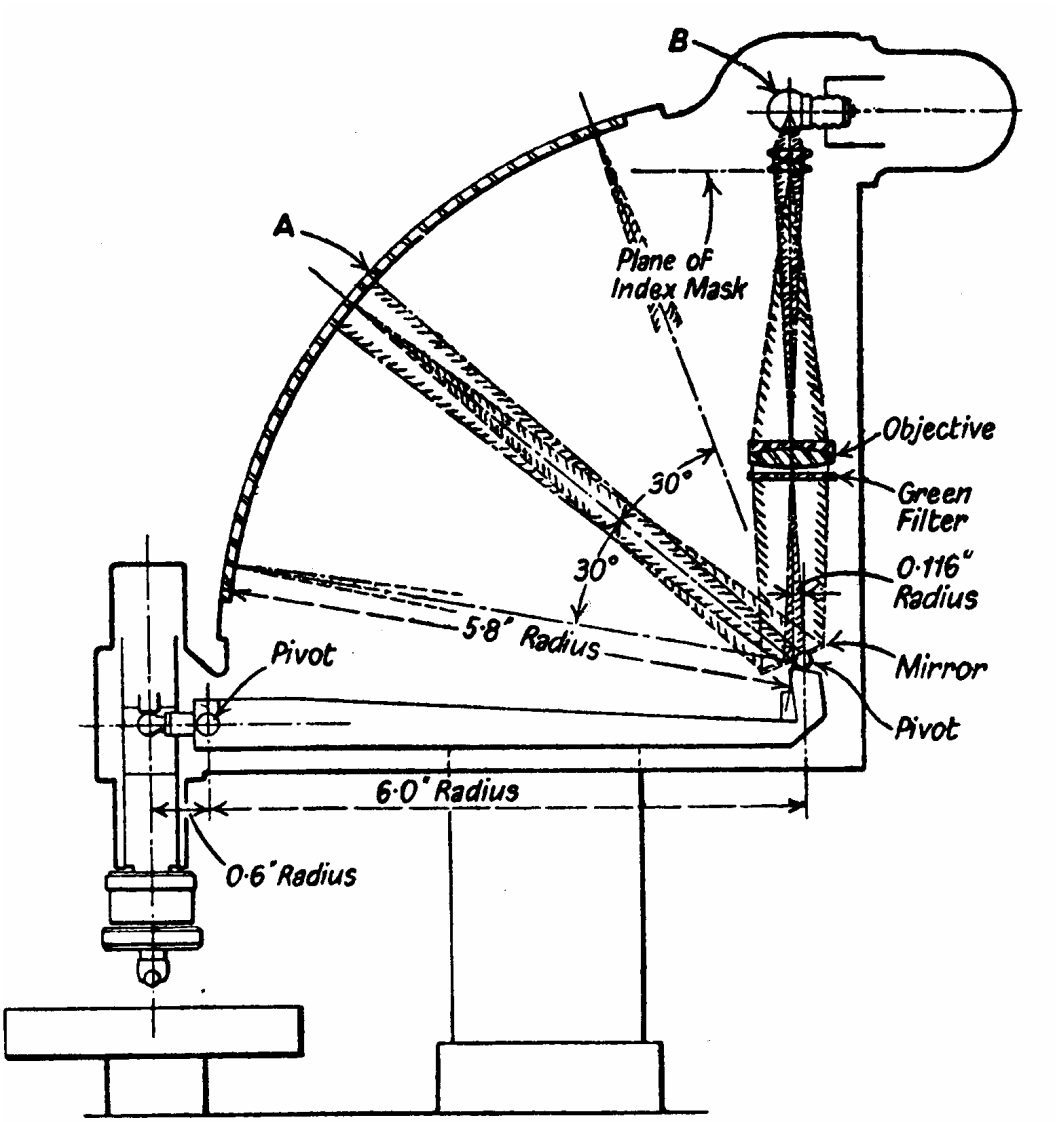
$$D^{GO}_{Shaft\ Gauge} = D_{Nominal\ Shaft}\;\begin{matrix}Tmax-\Delta WG\\ Tmax-(\Delta TG+\Delta WG)\end{matrix} \qquad (۸-۲۰)$$

$$D^{NOT-GO}_{Shaft\ Gauge} = D_{Nominal\ Shaft}\;\begin{matrix}Tmin+\Delta TG\\ Tmin\end{matrix} \qquad (۸-۲۱)$$

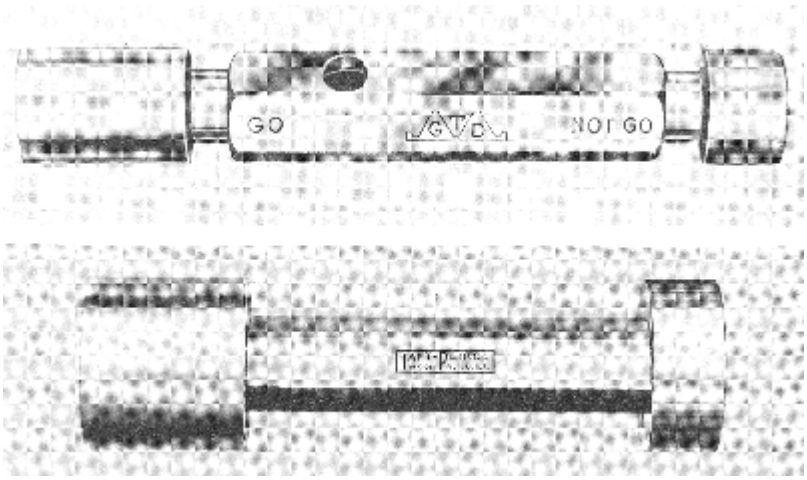
روش آزمایش:

قطعه اندازه ای برابر با اندازه اسمی یک سر سنجه برونرو درست کرده و زیر کمپراتور قرار داده عقربه آنرا صفر کنید . قطعه اندازه را برداشته و سنجه را زیر کمپراتور بغلتانید و اندازه آنرا در سه نقطه که با هم ۱۲۰ درجه فاصله دارند شامل ابتدا، وسط و انتها اندازه‌گیری نمایید.

نمای داخلی و اجزای یک کمپراتور نوری- مکانیکی در شکل ۲-۸ نشان داده شده است. آنچه که بدیهی است، این است که تعداد رفت و برگشت‌های اشعه در انواع کمپراتورهای نوری- مکانیکی ساخت شرکت‌های مختلف، می‌تواند بیشتر باشد تا بزرگنمایی‌های مطلوب‌تری حاصل گردد. یکی از ساده‌ترین انواع آن در شکل ۲-۸ نشان داده شده است.

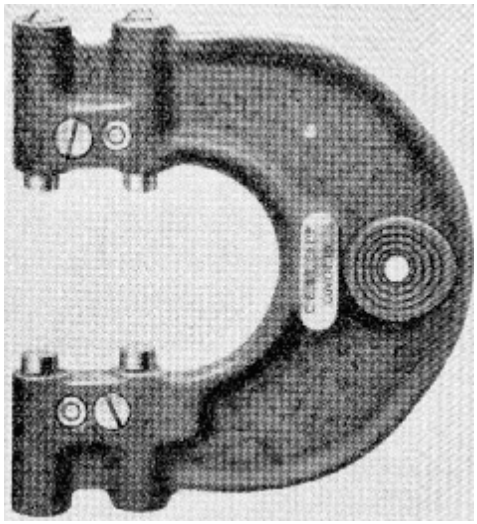


شکل۲-۸: نمای داخلی کمپراتور نوری- مکانیکی [۴]



شکل۳-۸: نمای سنجه قطر داخلی برونرو(دو طرفه) [۷] .

انواع سنجه‌های مورد استفاده در خطوط تولید در شکل‌های ۳-۸ الی ۷-۸ نشان داده شده‌اند. در تصویر ۳-۸ گیج‌های توپی مورد استفاده در صنعت نشان داده شده است. شکل ۴-۸ نیز یک دهنه اژدر یک‌طرفه قابل تنظیم را نشان می‌دهد که برای بازرسی قطر خارجی استفاده می‌گردد.

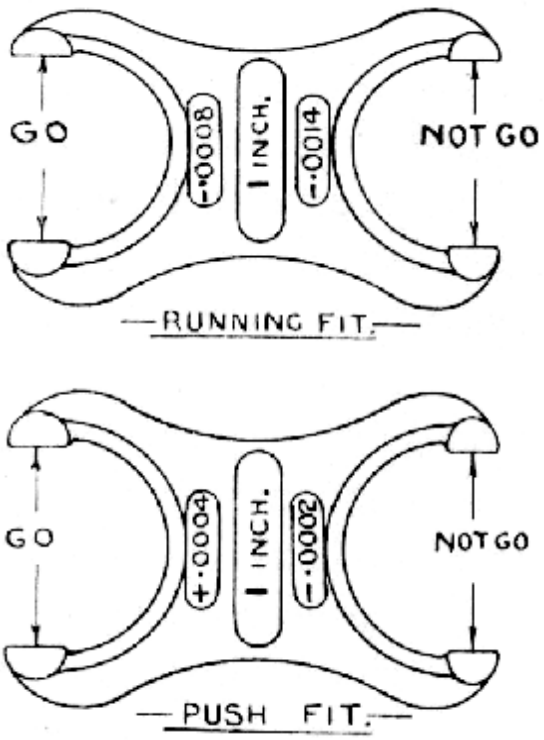


شکل۴-۸: نمای سنجه قطر خارجی برونرو(قابل تنظیم یک طرفه) [۴] .

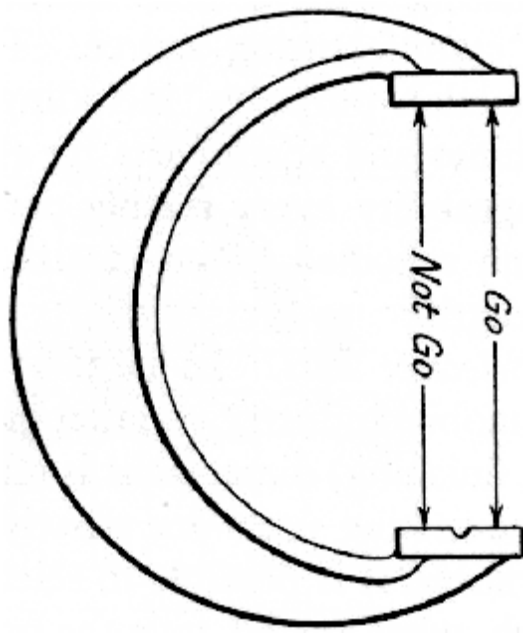
شکل ۵-۸ سنجه‌ای را نشان می‌دهد که از نوع دهنه اژدر دو طرفه بوده و جهت تست و بازرسی در انطباقات مختلف استفاده می‌شود.

شکل ۶-۸ نیز دهنه اژدر یک‌طرفه‌ای را نشان می‌دهد که قابل تنظیم نبوده و دارای فک‌های غیر قابل تنظیم و ثابت است.

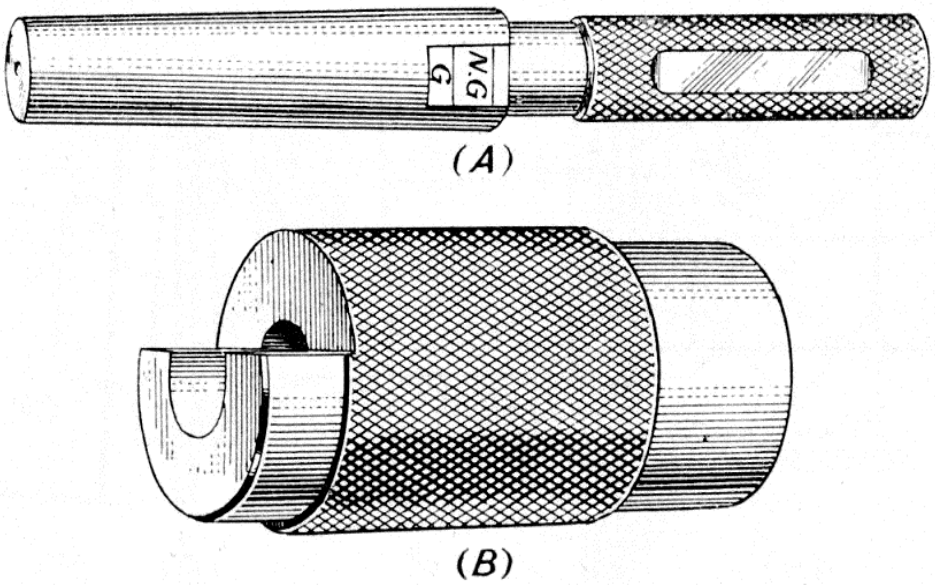
شکل ۷-۸ نیز سنجه‌هایی را نشان می‌دهد که از نوع مخروطی بوده و جهت بازرسی قطر قطعات میله‌ای و سوراخ‌دار استفاده می‌گردد.



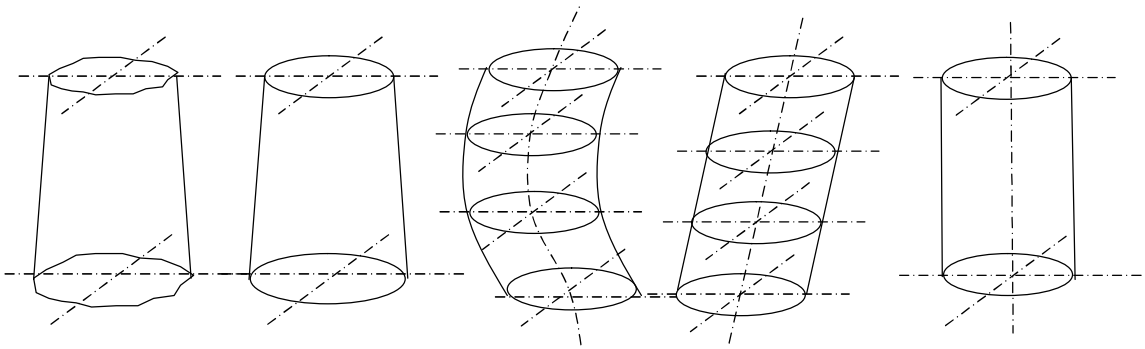
شکل۵-۸: نمای سنجه قطر خارجی برونرو(دو طرفه) [۴] .



شکل۶-۸: نمای سنجه قطر خارجی برونرو(یک طرفه) [۴] .



شکل۷-۸: نمای سنجه قطر (A) داخلی و (B) خارجی برونرو [۴] .



شکل۸-۸: استوانه کامل و حالت‌های مختلف غیر استوانه‌ای دیگر

شکل ۸-۸ حالت‌های ممکن غیر استوانه‌ای بودن یک جسم را نشان می‌دهد که با حالت استوانه کامل مقایسه شده اند.

نتیجه آزمایش:

نتایج را در جدول ۱-۸ یادداشت نمایید . شکل اندازه گیررا در تمام مقاطع بکشید .

جدول ۱-۸: مقادیر بدست آمده از آزمایش سنجه قطر داخلی برونرو.

	نقاط	0^o *(j=1)*	120^o *(j=2)*	240^o *(j=3)*
برو	جلو*(i=1)*			

				برو
				برو
				نرو
				نرو
				نرو

بحث و اظهار نظر:

راجع به دقت نتایج وعواملی که روی این دقت تاثیردارند بحث کنید .

آیا خطای اندازه‌گیری در حد مجاز آن هست یا نه ؟ (مقدار مجاز خطای اندازه گیر باید حساب شود).

تفاوت‌های بین اندازه‌گیری و کنترل کیفی ابعادی را تشریح نمایید.

مزایای کنترل کیفی ابعادی را بر اندازه‌گیری تشریح نمایید.

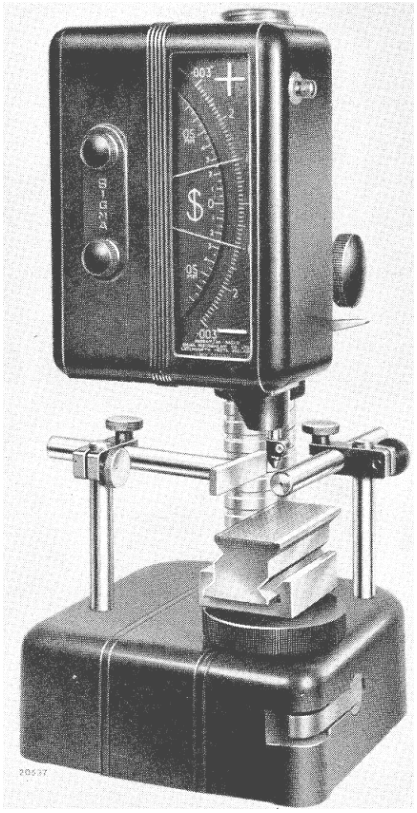
آزمایش شماره(۹): کمپراتور مکانیکی

هدف آزمایش:

کنترل قطر داخلی بلبرینگ توسط کمپراتور مکانیکی.

وسایل آزمایش:

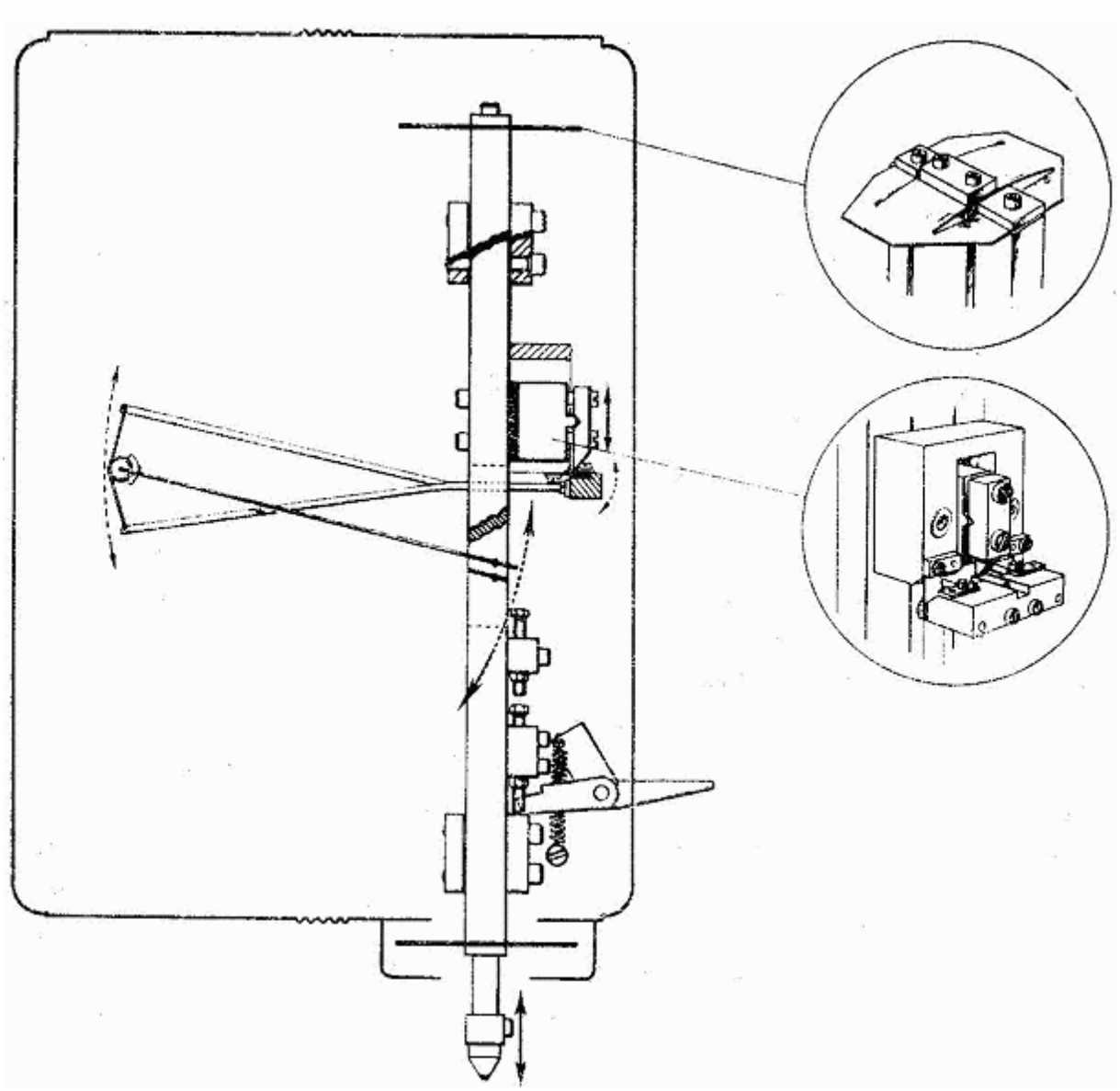
قطعه کار(بلبرینگ)، کمپراتور مکانیکی(شکل۱-۹) ، جعبه قطعات اندازه و وسایل کمکی قطعات اندازه.



شکل۱-۹: نمای کمپراتور مکانیکی سیگما [۳] (Sigma Comparator) .

روش آزمایش:

اندازه اسمی قطعه کار مشخص است. با قطعات اندازه این بعد را ساخته و بین دو فک بلند وسایل کمکی قطعات اندازه قرار داده آن‌را محکم نمایید. کمپراتور را روی این اندازه صفر نموده و قطعه کار را در سه نقطه محیط آن که ۱۲۰ درجه با هم فاصله دارند شامل بالا، وسط و پایین کنترل نمایید.



شکل۲-۹: نمای داخلی کمپراتور مکانیکی سیگما [۳] (Sigma Comparator)

نمای داخلی کمپراتور مکانیکی سیگما در شکل ۲-۹ نشان داده شده است. در این آزمایش نیاز به نصب متعلقات اندازه‌گیزی قطر داخلی است که در این شکل‌ها نمایش داده نشده است، این اجزا در آزمایشگاه مترولوژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر روی پایه دستگاه نصب شده است. شکل ۳-۹ نیز نحوه تنظیم و کار با کمپراتور را برای اندازه‌های خارجی نشان می‌دهد.

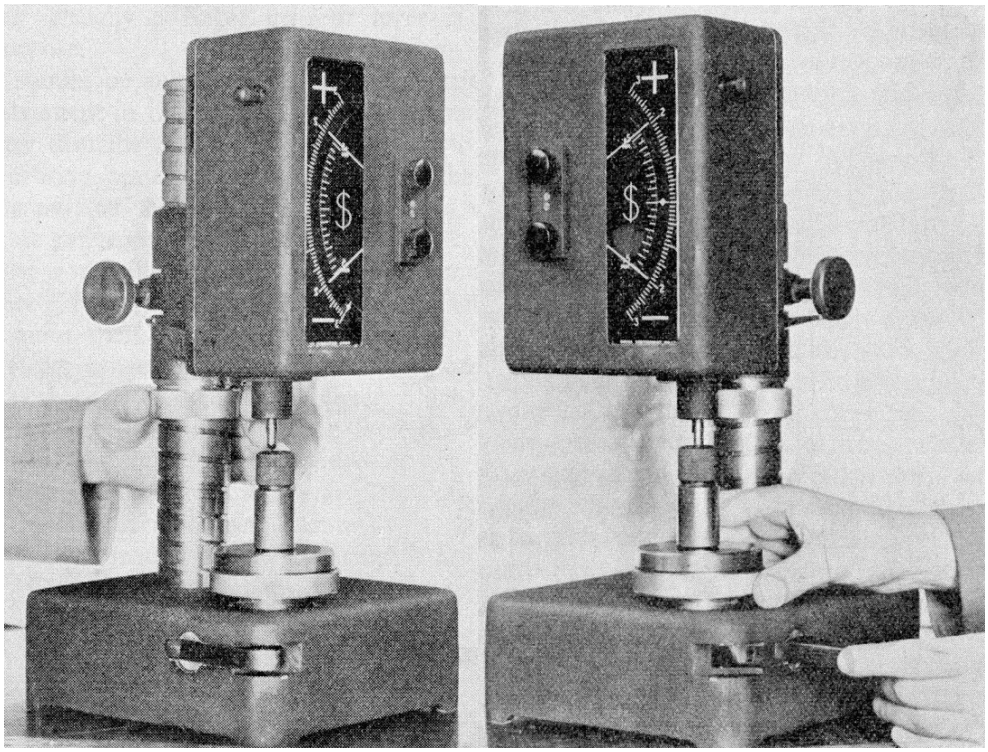
نتایج آزمایش:

اعداد بدست آمده را در جدول ۱-۹ یادداشت نموده و شکل تقریبی مقاطع قطعه کار را بکشید.

جدول ۱-۹: مقادیر خوانده شده از کمپراتور مکانیکی سیگما

نقاط	۰ درجه	۱۲۰درجه	۲۴۰ درجه

بالا			
وسط			
پائین			



شکل۳-۹: تنظیم و کاربرد کمپراتور مکانیکی سیگما [۴] (Sigma Comparator)

بحث وا ظهار نظر:

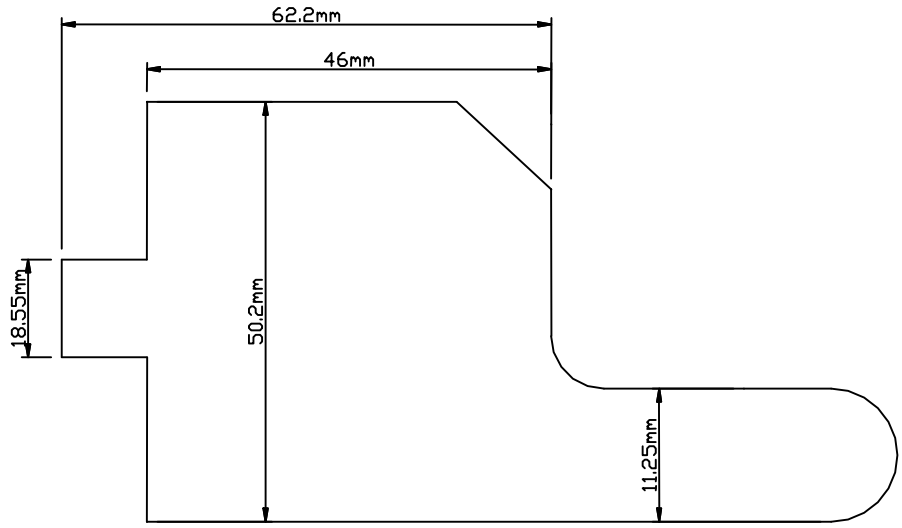
دقت آزمایش و مورد استفاده دستگاه را شرح داده و علت‌های خطا را بحث کنید.

آزمایش شماره (۱۰): کمپراتور هوایی (بادی)

موضوع آزمایش:
کنترل ابعاد یک قطعه کار با کمپراتور هوایی.

وسایل آزمایش:
کمپراتور هوایی، قطعه‌کار و جعبه قطعات اندازه.

شرح آزمایش:
یک قطعه اندازه را برداشته و شاخص کمپراتور را روی صفر میزان کنید. سپس قطعه ای به اندازه ۰,۱ میلیمتر بزرگتر از قطعه قبلی را برداشته و تغییرات شاخص را به ازای ۰,۱ میلیمتر یادداشت نمایید. اندازه هایی که در روی شکل زیر نوشته شده است را با قطعات اندازه درست کرده و کمپراتور را با آن صفر کنید. قطعه کار را زیر کمپراتور قرار داده و مقدار تغییرات روی هر اندازه را بدست آورید.



شکل۱-۱۰: قطعه کار مورد آزمایش [۱]

نتایج آزمایش:
ابعاد حقیقی قطعه کار را بنویسید.

بحث و اظهار نظر:

کاربرد کمپراتور هوایی و دقت نتایج بدست آمده را بنویسید.

مزایا و معایب کمپراتور هوایی را نسبت به دیگر انواع کمپراتور برشمارید؟

آزمایش شماره (۱۱): کمپراتور الکتریکی

هدف آزمایش:

کنترل قطعات اندازه کارگاهی با قطعات اندازه بازرسی توسط کمپراتور الکتریکی.

وسایل آزمایش:

کمپراتور الکتریکی، جعبه قطعات اندازه کارگاهی و جعبه قطعات اندازه بازرسی.

روش آزمایش:

قطعات اندازه بازرسی را کاملاً پاک کرده و در زیر کمپراتور گذاشته عقربه آنرا صفر کنید. (کمپراتور روی بزرگنمایی ۳۰۰۰۰× برابر و با زینه بندی ۰,۱ میکرون باشد) همان اندازه ولی نوع کارگاهی آن‌را برداشته و آن‌را در ابتدا، وسط و انتها برای هر دو سطح قطعه کار عمل نمایید.

تئوری آزمایش:

مجموعه اندازه ها بطور مطلق (Absolute) در مکان های $i = 0,1,2.....,(n-1),n$ را می توان بصورت رابطه (۱-۱۱)، بیان کرد

$$M(L_i) = \{L_0, L_1, L_2, ..., L_i, ..., L_n\} \qquad (۱۱-۱)$$

مقادیر $\{L_0, L_1, L_2, ..., L_i, ..., L_n\}$ به فواصل یکسان از یکدیگر برای $i = 0,.....,n$ و بطور مطلق (Absolute) فرض شده اند. اگر مقدار اندازه اسمی نوشته شده روی قطعه انداره L فرض شود، طبق معادله (۲-۱۱)، داریم:

$$\Delta L_i = L_i - L \quad , \quad L = L_{Nominal} \qquad (۱۱-۲)$$

که ΔL_i همان مقادیر اندازه های گرفته شده نسبی (Comperative) توسط کمپراتور الکتریکی میباشد. جهت بدست آوردن حد بالای خطای طول Out of Length از معادله (۳-۱۱)، استفاده میشود

$$\Delta L_{\max} = \bigcup_{i=0}^{n} \Delta L_i = \max_{i=0}^{n} \{L_i - L\} \qquad (۱۱-۳)$$

همچنین، جهت بدست آوردن حد پائین خطای طول Out of Length از معادله (۴-۱۱)، استفاده میشود

$$\Delta L_{\min} = \bigcap_{i=0}^{n} \Delta L_i = \min_{i=0}^{n} \{L_i - L\} \qquad (۱۱-۴)$$

که علامتهای $\cup$ و $\cap$ بترتیب معرف عملگرهای operators بزرگترین و کوچکترین هستند. این عملگرها در تئوری مجموعه ها معرف اجتماع و اشتراک مجموعه ها بوده و در تئوری منطق در ریاضی معرف عملگرهای OR وAND می‌باشند.

جهت بدست آوردن خطای توازی Out of Parallelism ابتدا از معادله (۵-۱۱)، استفاده میشود تا مقدار لازم جهت صفر کردن مقدار $\Delta P_0 = 0$ بدست آید:

$$\Delta P_i = \Delta L_i - \Delta L_0 \qquad (۱۱-۵)$$

سپس مقدار خطای توازی Out of Parallelism از معادله زیر در دو انتها بدست می آید:

$$\Delta P_n = \Delta L_n - \Delta L_0 \qquad (۱۱-۶)$$

این عمل برای طرف اول *(j=1)* و دوم *(j=2)* قطعه اندازه (شکل ۱-۱۱) انجام شده و مقدار ماکزیمم خـــطای توازی از معادله (۷-۱۱)، بدست می آید:

$$P = \bigcup_{j=1}^{2} \left|\Delta P_n^{(j)}\right| = \max_{j=1}^{2} \left|\Delta P_n^{(j)}\right| = \max_{j=1}^{2} \left|\Delta L_n^{(j)} - \Delta L_0^{(j)}\right| \qquad (۱۱-۷)$$

بدلیل اینکه مقدار خطای توازی Out of Parallelism همیشه در جداول استاندارد مثبت داده می‌شود از عملگر قدر مطلق استفاده شده است.

جهت بدست آوردن خطای تختی سطح Out of Flatness می توان در واقع از خـــطای مستقیم بودن (Out of Straightness) در چند جهت روی سطح (شکل ۱-۱۱) استفاده نمود. ابتدا از معادله (۸-۱۱)، استفاده می‌شود تا مقدار لازم جهت صفر کردن مقدار $\Delta P_n = 0$ بدست آید:

$$\Delta R_i = \frac{i}{n}\left(\Delta L_n - \Delta L_0\right) \qquad (۱۱-۸)$$

این عمل مطابق رابطه (۹-۱۱)، مشابه صفر کردن شیب نسبت به دو انتها قطعه انداره می‌باشد:

$$\Delta F_i = \Delta P_i - \Delta R_i \qquad (۱۱-۹)$$

سپس مقدار خطای تختی سطح Out of Flatness در یک طرف قطعه انداره از معادله (۱۰-۱۱)، بدست می آید بدلیل اینکه نقاط اول و آخر دارای مقادیر $\Delta F_0 = 0$ و $\Delta F_n = 0$ می باشند، قلمرو $1 \le i \le (n-1)$ استفاده خواهد شد. در نتیجه:

$$F^{(j=1)} = \bigcup_{i=1}^{n-1} \left|\Delta F_i\right| = \max_{i=1}^{n-1} \left|\Delta P_i - \frac{i}{n}\left(\Delta L_n - \Delta L_0\right)\right| \qquad (۱۱-۱۰)$$

به‌دلیل این‌که مقدار خطای تختی سطح Out of Flatness همیشه در جداول استاندارد مثبت داده می‌شود از عملگر قدر مطلق استفاده شده است.

برای بدست آوردن خـــطای تختی سطح Out of Flatness در دو طرف قطعه انداره از معادله (۱۱-۱۱)، استفاده می‌شود:

$$F=\bigcup_{j=1}^{2}\bigcup_{i=1}^{n-1}\left|\Delta F_i^{(j)}\right|=\max_{j=1}^{2}\left\{\max_{i=1}^{n-1}\left|\Delta P_i^{(j)}-\frac{i}{n}\left(\Delta L_i^{(j)}-\Delta L_0^{(j)}\right)\right|\right\} \qquad (۱۱-۱۱)$$

در جدول۱-۱۱ روش محاسبه برای مقادیر خوانده شده از کمپراتور الکتریکی نشان داده شده است:

جدول۱-۱۱: روش محاسبه برای مقادیر خوانده شده از کمپراتور الکتریکی

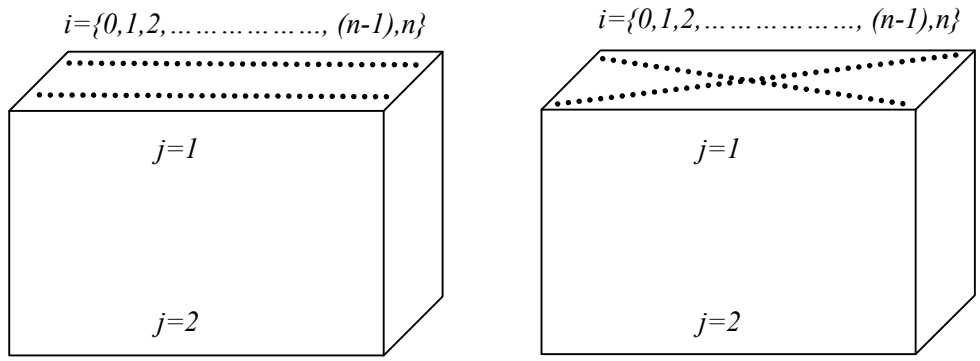
i	L_i	ΔL_i	ΔP_i	ΔR_i	ΔF_i
0	L_0	$\Delta L_0 = L_0 - L$	$\Delta L_0 - \Delta L_0 = 0$	$\frac{0}{n}\left(\Delta L_n - \Delta L_0\right) = 0$	$\Delta P_0 - \Delta R_0 = 0$
1	L_1	$L_1 - L$	$\Delta L_1 - \Delta L_0$	$\frac{1}{n}\left(\Delta L_n - \Delta L_0\right)$	$\Delta P_1 - \Delta R_1$
2	L_2	$L_2 - L$	$\Delta L_2 - \Delta L_0$	$\frac{2}{n}\left(\Delta L_n - \Delta L_0\right)$	$\Delta P_2 - \Delta R_2$
....	.....	.....	.....	.....	.....
....	.....	.....	.....	.....	.....
i	L_i	$L_i - L$	$\Delta L_i - \Delta L_0$	$\frac{i}{n}\left(\Delta L_n - \Delta L_0\right)$	$\Delta P_i - \Delta R_i$
....	.....	.....	.....	.....	.....
....	.....	.....	.....	.....	.....
$n-1$	L_{n-1}	$L_{n-1} - L$	$\Delta L_{n-1} - \Delta L_0$	$\frac{n-1}{n}\left(\Delta L_n - \Delta L_0\right)$	$\Delta P_{n-1} - \Delta R_{n-1}$
n	L_n	$\Delta L_n = L_n - L$	$\Delta L_n - \Delta L_0$	$\frac{n}{n}\left(\Delta L_n - \Delta L_0\right)$	$\Delta P_n - \Delta R_n = 0$

نتایج آزمایش:

نتایج را در جدول۲-۱۱ یادداشت نمایید بطوریکه مشخص گردد چه مقدار خطای طول و چه مقدار برای ناموازی بودن دو سطح خطا دارد.

جدول۲-۱۱: مقادیر خوانده شده از کمپراتور الکتریکی

	ابتدا *(i=0)*	وسط *(i=1)*	انتها *(i=2)*
سطح بالا *(j=1)*			
سطح پائین *(j=2)*			



شکل ۱-۱۱: نحوه خواندن مقادیر از نقاط مختلف قطعه اندازه.

بحث و اظهار نظر:

عوامل موثر در دقت آزمایش و مقایسه خطای قطعات با خطای استاندارد آنها .

کمپراتور الکتریکی در مقایسه با دیگر انواع آن چه مزایا و معایبی دارد؟

خطای استاندارد در جدول ۲-۱۱ داده شده است .

جدول۲-۱۱: مقادیر خطای استاندارد قطعات اندازه

	Up to 25mm	50mm	75mm	100mm
خطای طول (حد بالا)	0.00025	0.00050	0.00075	0.00100
خطای طول (حد پائین)	-0.00010	-0.00025	-0.00040	-0.00050
خطای ناموازی بودن سطح	0.00025	0.00025	0.00040	0.00040

آزمایش شماره (۱۲): میله سینوسی

هدف آزمایش:

اندازه‌گیری زاویه میله مخروطی به وسیله میله سینوسی.

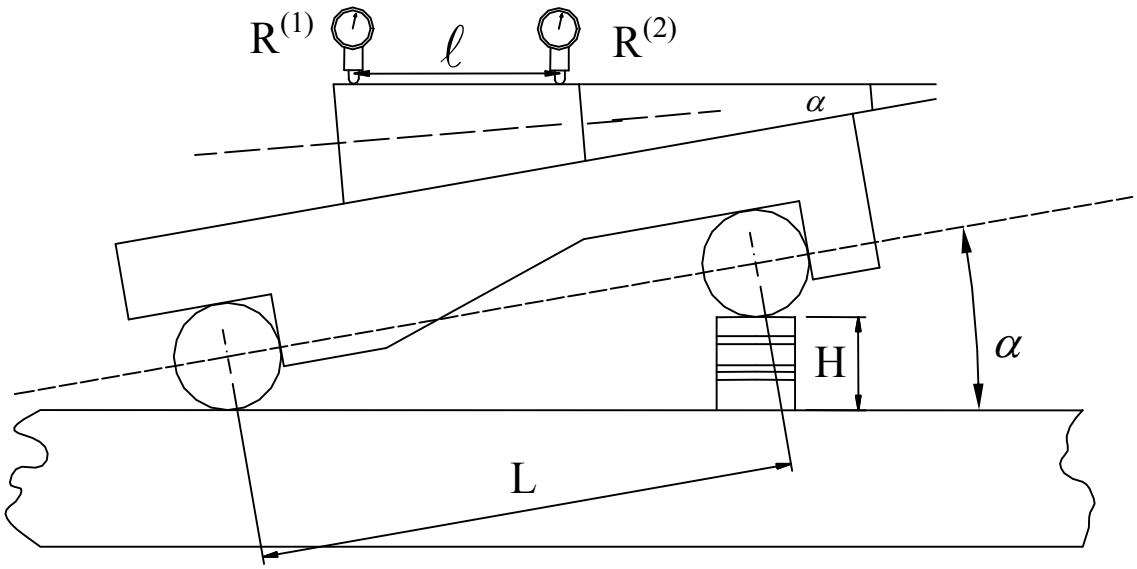
وسایل آزمایش:

جعبه قطعات اندازه، میله سینوسی، ساعت اندازه گیر، میله مخروطی.

شرح آزمایش:

مطابق شکل ۱-۱۲، میله مخروطی را روی میله سینوسی قرار داده سپس میله سینوسی را روی صفحه صافی قرار دهید و زیر غلتک میله سینوسی در طرفی که قطر کوچک مخروط قرار دارد، به اندازه لازم قطعات اندازه قرار دهید تا مولد فوقانی مخروط موازی صفحه صافی گردد. این موضوع بدین ترتیب مشخص می گردد که ساعت اندازه گیر که روی صفحه صافی قرار گرفته در دو نقطه روی مولد مخروط، در طرف قطر بزرگ و در طرف قطر کوچک، مقدار مشابه را نشان دهد.

با یادداشت مقدار قطعات اندازه که زیر غلتک میله سینوسی قرار داده شده و دانستن فاصله مرکز تا مرکز غلتک‌های میله سینوسی، می‌توان زاویه مخروط را محاسبه کرد.



شکل۱-۱۲: کاربرد میله سینوسی و ساعت اندازه‌گیری.

تئوری آزمایش:

با توجه به شکل ۱-۱۲، زاویه راس مخروط در مرحله اول اندازه‌گیری مطابق معادله ۱-۱۲ محاسبه می‌شود:

$$\sin\alpha_1 = \frac{R_1^{(2)} - R_1^{(1)}}{\ell} \qquad (۱۲-۱)$$

که $R_1^{(1)}$ و $R_1^{(2)}$ اندازه های خوانده شده از ساعت ۱ و ۲ در مرحله اول است. ℓ فاصله دو ساعت از یکدیگر است که روی یال مخروط علامت گذاری شده است. ارتفاع قطعه اندازه مورد نیاز در مرحله اول جهت موازی کردن یال بالایی مخروط با صفحه صافی از رابطه ۲-۱۲ حاصل می‌گردد:

$$\Delta H_1 = L\left(\frac{R_1^{(2)} - R_1^{(1)}}{\ell}\right) \qquad (۱۲-۲)$$

لذا زاویه راس مخروط از رابطه ۳-۱۲ بدست می‌آید:

$$\sin\alpha_1 = \frac{H_1}{L} = \frac{\Delta H_1}{L} \qquad (۱۲-۳)$$

زاویه راس مخروط در مرحله دوم اندازه‌گیری مطابق معادله ۴-۱۲ محاسبه می‌شود:

$$\sin\alpha_2 = \frac{H_2}{L} = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{L} \qquad (۱۲-۴)$$

همچنین زاویه راس مخروط در مرحله سوم اندازه‌گیری مطابق معادله ۵-۱۲ محاسبه می‌شود:

$$\sin\alpha_3 = \frac{H_3}{L} = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3}{L} \qquad (۱۲-۵)$$

و در مرحله n ام اندازه‌گیری:

$$\sin\alpha_n = \frac{H_n}{L} = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \cdots\cdots + \Delta H_n}{L} \qquad (۱۲-۶)$$

تکرار این عمل تا جایی ادامه می‌یابد که مقدار ΔH_n کوچکتر از کمترین مقدار تفاوت بین قطعات اندازه درجعبه باشد لذا در مرحله n ام، زاویه راس مخروط از رابطه (۱۲-۷)، بدست می‌آید:

$$\sin\alpha_n = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta H_i}{L} \qquad (۱۲-۷)$$

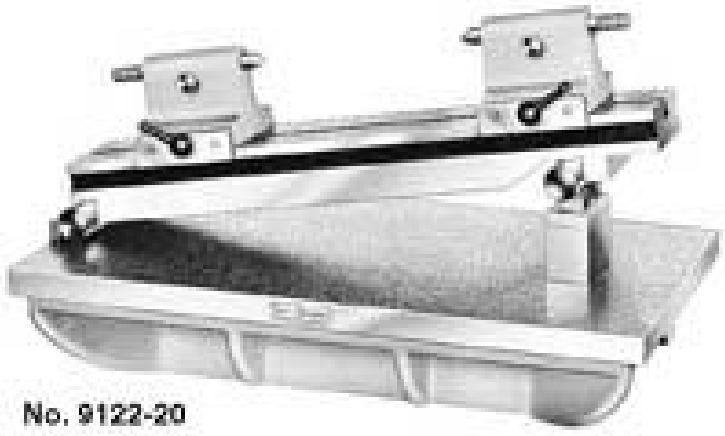
نتایج آزمایش:

فرمول‌ها و طریقه محاسبه زاویه مخروط را به‌همراه نتایج عددی بدست آمده، نشان دهید.

جدول۱-۱۲: مقادیر قطعات اندازه زیر میله سینوسی.

	مرحله۱	مرحله۲	مرحله۳	مرحله۴	مرحله۵	مرحله۶	مرحله۷
تفاوت ساعتها							
قطعه اندازه							

نمونه‌ای از مرغک سینوسی (Sine Centre) و میز سینوسی (Sine Table) به‌ترتیب در شکل‌های ۲-۱۲ و ۳-۱۲ نشان داده شده‌اند.



شکل۲-۱۲: مرغک سینوسی (Sine Centre).

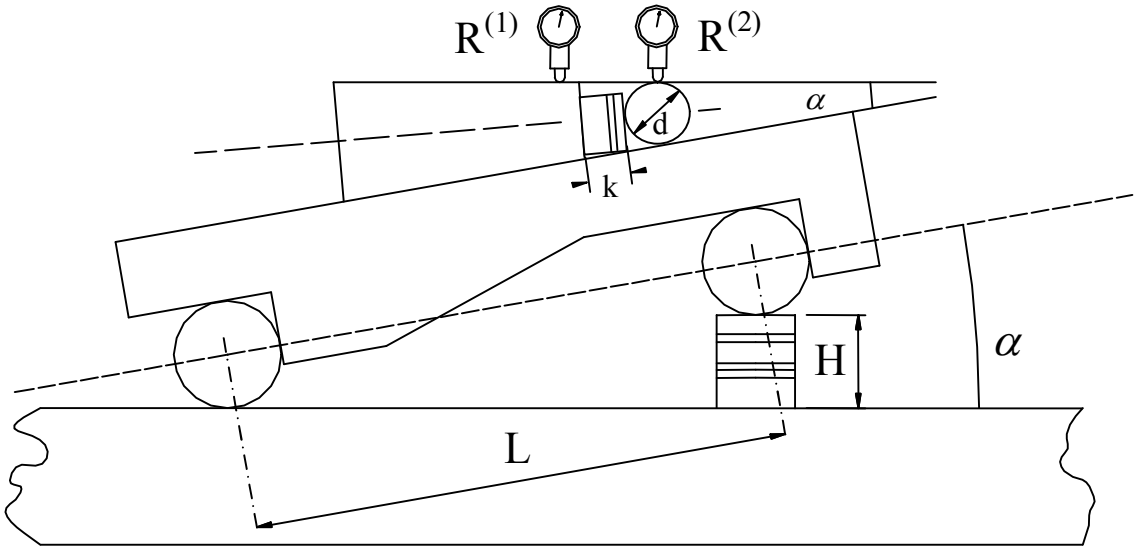
شکل۳-۱۲: میز سینوسی (Sine Table).

بحث و اظهار نظر:

کدام قسمت‌های میله سینوسی لازم است دقیق ساخته شده باشند تا نتایج بدست آمده دقیق باشند؟

اگر قطعه مخروطی سنگین باشد طوری که نتوان آن‌را بر روی میله سینوسی قرار داد، چگونه می‌توان زاویه آن‌را محاسبه نمود؟

مطابق شکل ۴-۱۲ در حالی که قطعه بر روی میله سینوسی قرار دارد و با استفاده از غلتک با قطر d تقریبا برابر با مقطع کوچک مخروط و به کار بردن قطعات اندازه، چگونه می‌توان قطر کوچکترین مقطع مخروط [۹] را حساب کرد؟



شکل۴-۱۲: کاربرد میله سینوسی و ساعت برای اندازه‌گیری قطر کوچک[۹]

چرا هر چه زاویه مخروط بزرگتر شود، امکان افزایش خطاهای اندازه گیری هم بیشتر می‌شود؟ از دید ریاضیاتی آن‌را اثبات نمایید.

آزمایش شماره (۱۳): قطعه مخروطی

هدف آزمایش

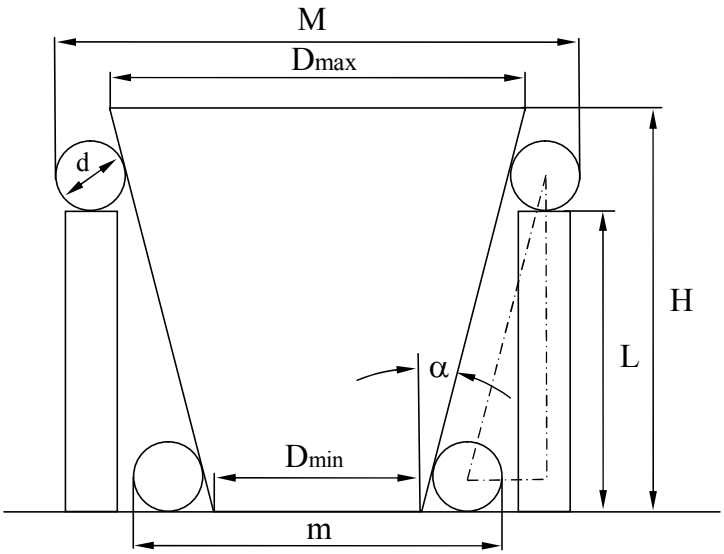
اندازه‌گیری اقطار کوچک و بزرگ، زاویهٔ میله‌ها و سوراخ‌های مخروطی.

وسایل آزمایش

جعبه قطعات اندازه، میکرومتر عمق‌سنج، سری غلتک‌ها و گلوله‌ها، صفحه صافی، قطعه مخروطی برای اندازه‌گیری و ابزار اندازه‌گیری طول(کولیس).

شرح آزمایش

طبق شکل ۱-۱۳، میله مخروطی را روی صفحه صافی قرار داده و دو غلتک را در دو طرف آن بخوابانید. با ابزار اندازه‌گیری طول، مقدار m را اندازه‌گیری کرده و سپس دو قطعه هم‌اندازه در دو طرف میله مخروطی قرار داده و همان غلتک‌ها را روی قطعات اندازه قرار دهید و مقدار M را اندازه بگیرید. با اندازه‌گیری قطر غلتک‌ها و H به وسیله ابزار اندازه‌گیری طول و دانستن مقدار قطعات اندازه، می‌توان زاویه و اقطار کوچک و بزرگ مخروط را محاسبه کرد.



شکل۱-۱۳: اندازه‌گیری نصف زاویه راس و قطر کوچک وبزرگ میله مخروطی.

از نظر هندسی رابطه ۱-۱۳ چگونه حاصل می‌شود؟ با این رابطه اندازه زاویه مخروط محاسبه می‌گردد.

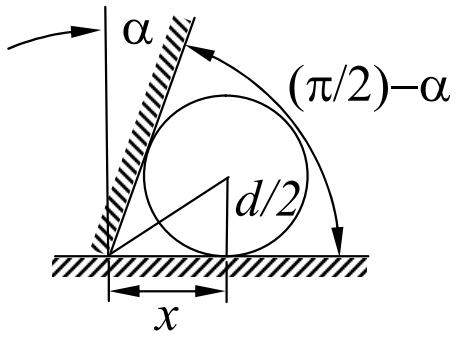
$$\tan\alpha = \frac{(M-m)}{2L} \qquad (۱-۱۳)$$

که M و m مقادیر خوانده شده از کولیس وL ارتفاع قطعه اندازه است. مقادیر بدست آمده از آزمایش را در جدول ۱-۱۳، نوشته و توسط معادله ۱-۱۳، مقدار α را بدست آورید.

جدول۱-۱۳: مقادیرلازم جهت اندازه‌گیری نصف زاویه راس مخروط.

	m	M	L	d	α=?
مقادیر					

شکل ۲-۱۳، نحوه بدست آوردن قطر کوچک مخروط را به صورت هندسی نشان می‌دهد.



شکل۲-۱۳: اندازه‌گیری قطر کوچک میله مخروطی.

روابط ۲-۱۳ و ۳-۱۳، را با استفاده از شکل ۲-۱۳، ثابت کنید.

$$D_{\min} = m - d - d\cot\left(\frac{90-\alpha}{2}\right) \qquad (۱۳-۲)$$

$$D_{\max} = D_{\min} + 2H\tan\alpha \qquad (۱۳-۳)$$

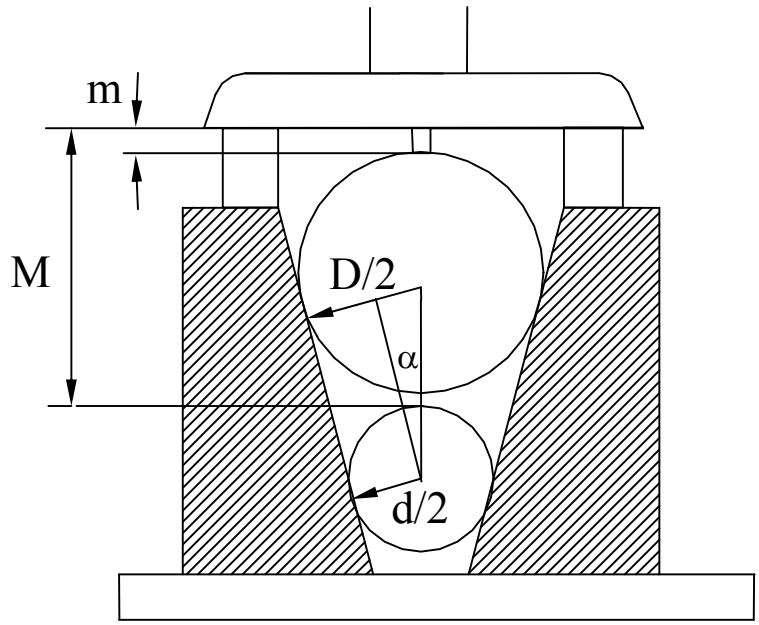
که D_{min} وD_{max} به ترتیب قطر کوچک و بزرگ مخروط، α نصف زاویه راس مخروط و d قطر غلتک‌ها و H ارتفاع قطعه کار است. مقادیر بدست آمده از آزمایش را در جدول ۲-۱۳، نوشته با معادله‌های (۲-۱۳) و (۳-۱۳)، مقدارD_{min} و D_{max} را بدست آورید.

جدول۲-۱۳: مقادیر لازم جهت اندازه‌گیری قطر کوچک وبزرگ میله مخروطی.

	m	α	H	D_{min}=?	D_{max}=?
مقادیر					

طبق شکل ۳-۱۳، سوراخ مخروطی بدین ترتیب اندازه‌گیری می‌شود که یک گلوله کوچک به قطر d داخل آن قرار داده و مقدار M را با عمق‌سنج اندازه می‌گیریم سپس گلوله بزرگتر با قطر D داخل آن

قرار گرفته و مقدار m نیز اندازه‌گیری می‌شود. و با اندازه‌گیری اقطار گلوله توسط دستگاه اندازه‌گیر طول می‌توان زاویه مخروط را محاسبه کرد.



شکل۳-۱۳: اندازه‌گیری نصف زاویه راس سوراخ مخروطی.

رابطه (۴-۱۳) را ثابت کنید

$$Sin\alpha = \frac{D-d}{(2M+d)-(2m+D)} \qquad (۱۳-۴)$$

که α نصف زاویه راس سوراخ مخروطی، M و m به‌ترتیب مقادیر خوانده شده از میکرومتر عمق‌سنج تا بالای گلوله‌های با قطرهای d وD می‌باشد. مقادیر بدست آمده از آزمایش را در جدول (۳-۱۳)، نوشته با معادله بالا مقدار α را بدست آورید.

جدول۳-۱۳: مقادیر لازم جهت اندازه‌گیری نصف زاویه راس سوراخ مخروطی.

	m	M	d	D	α=?
مقادیر					

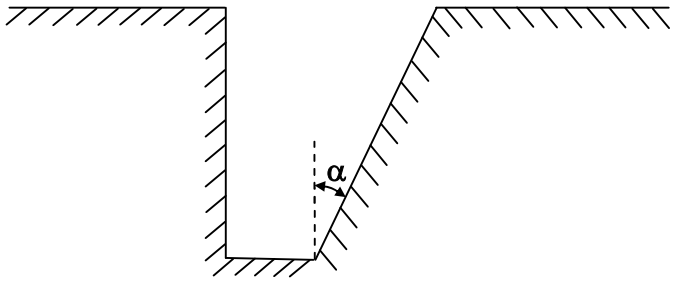
نتایج آزمایش

فرمول و طریقه محاسبه اقطار و زاویه مخروط را نوشته و نتایج عددی به دست آمده را نشان دهید.

بحث و اظهار نظر

در مورد کاربرد، طریقه محاسبه و دقت نتایج، بحث کنید.

برای بالا بردن دقت اندازه‌گیری، در انتخاب غلتک، گلوله و قطعه اندازه چه نکاتی را رعایت کنیم؟
مطابق شکل ۴-۱۳، توسط فرز انگشتی شیاری ایجاد شده است. سپس کلگی فرز زاویه داده شده است و به یک دیواره آن زاویه α داده شده است.روشی برای اندازه گیری زاویه α ارایه نمایید.



شکل۴-۱۳: اندازه‌گیری زاویه وجوه شکاف شیب‌دار.

آزمایش شماره (۱۴): گیره اونیورسال

هدف آزمایش

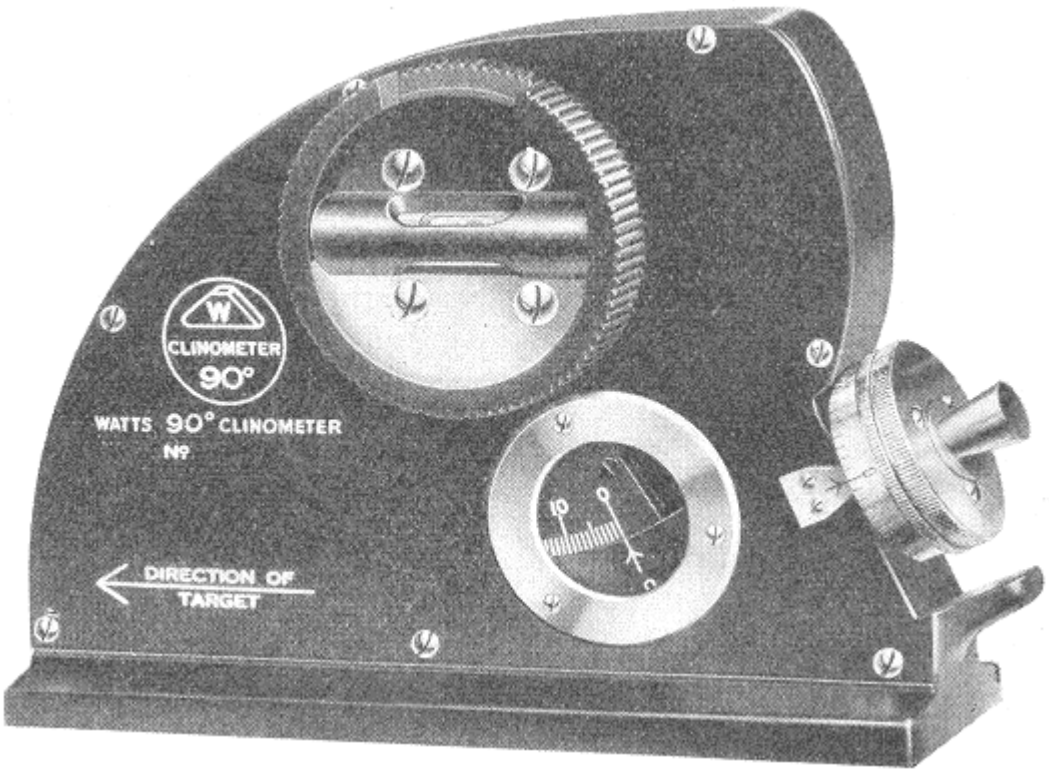
اندازه‌گیری دقت یک گیره اونیورسال یا یک صفحه زاویه‌دار به وسیله شیب‌سنج‌ها.

وسایل آزمایش

صفحه صافی، شیب‌سنج ترازدار یا شیب سنج ورنیه‌دار، گیره اونیورسال یا صفحه زاویه‌دار.

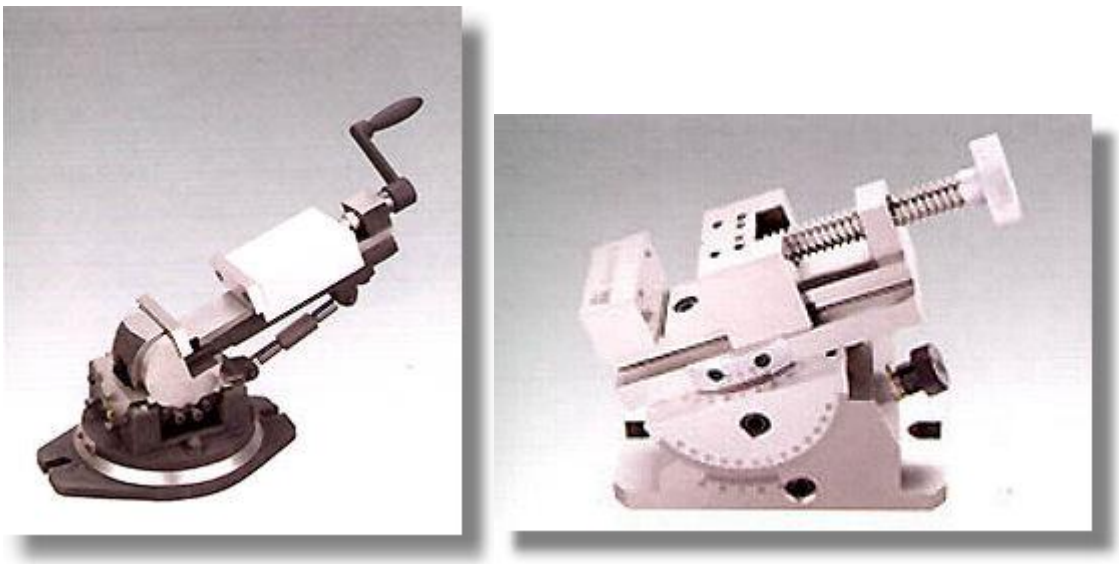
شرح آزمایش

زاویه صفحه صافی را نسبت به افق به وسیله شیب سنج اندازه‌گیری نموده سپس گیره اونیورسال یا صفحه زاویه‌دار را روی صفحه صافی قرار داده و با قرار دادن یکی از شیب سنج‌ها روی آن صفر تا ۹۰ درجه را به فاصله ۵ درجه تقسیم‌بندی کنترل کنید. شکل۱-۱۴ یک شیب‌سنج ترازدار را نشان می‌دهد.

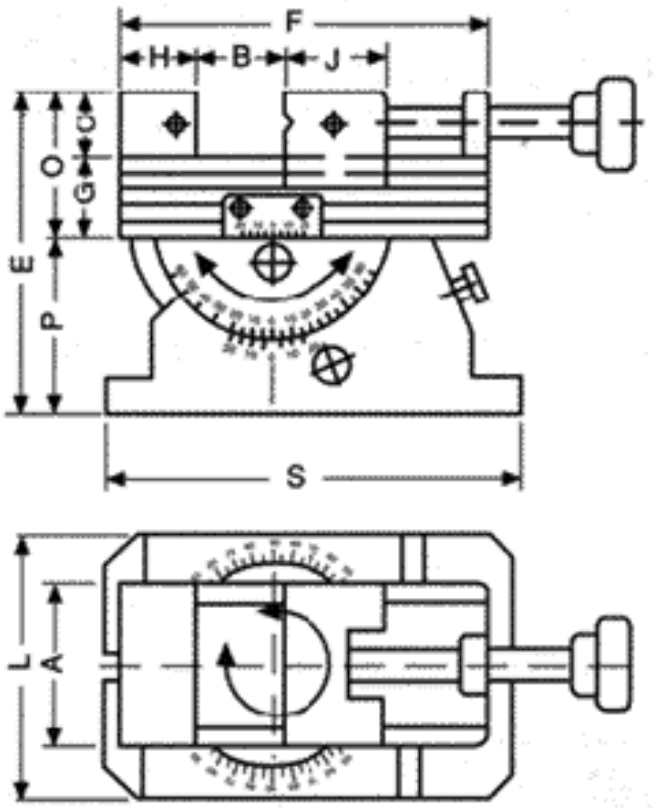


شکل۱-۱۴: نمای شیب سنج ترازدار [۴] (Clinometer).

شکل‌های ۲-۱۴ و ۳-۱۴ گیره انیورسال را از نماهای مختلف نشان می‌دهد.



شکل۲-۱۴: نمونه‌های مختلف گیره اونیورسال.



شکل۳-۱۴: نمای جانبی و بالای یک گیره اونیورسال.

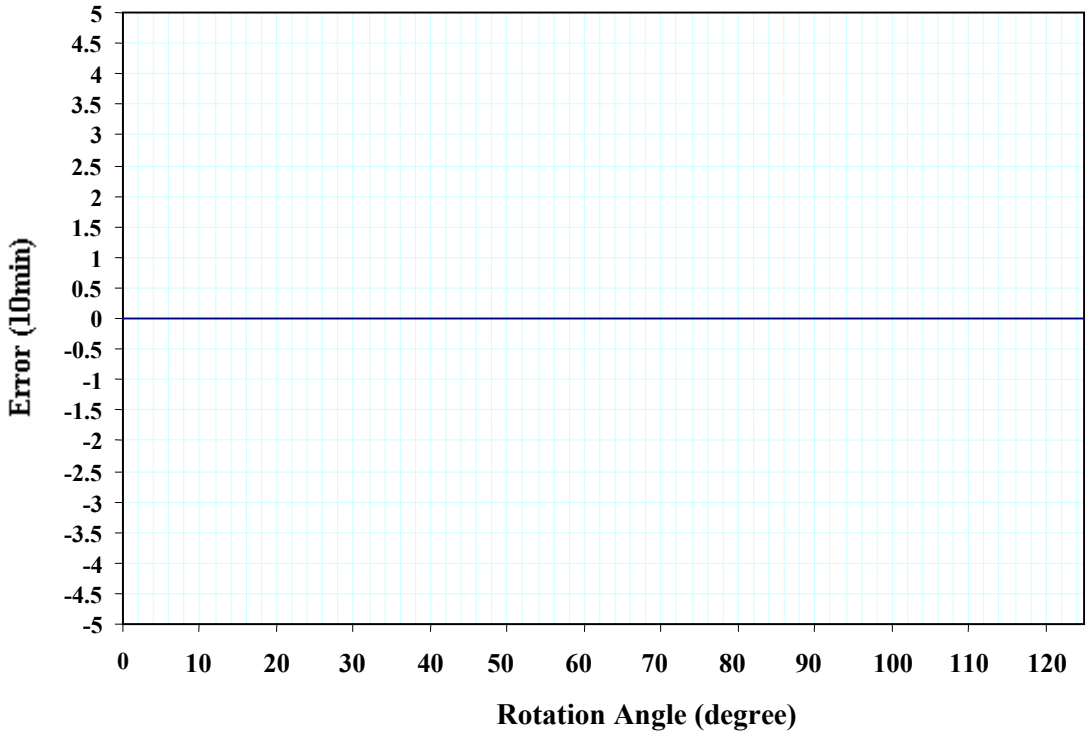
نتایج آزمایش

جدول خطای درجات صفحه زاویه‌دار یا گیره اونیورسال را یادداشت و منحنی خطای آن‌را رسم کنید.

جدول۱-۱۴: مقادیر خوانده شده از شیب سنج ترازدار

	0	5	10	15	20	25	30	35	40
مقادیر									
خطا									

45	50	55	60	65	70	75	80	85	90



بحث و اظهار نظر

علت خطای حاصل را شرح داده و دقت آزمایش را نیز بیان کنید.

آزمایش شماره (۱۵): تراز دقیق آزمایشگاهی

هدف آزمایش:

تنظیم یک تراز آزمایشگاهی و اندازه‌گیری ناهمواری سطوح بزرگ توسط تراز.

تراز دقیق با زینه‌بندی ۰/۰۰۰۵ میلی متر در ۱۰ متر یا ۰/۰۰۵ میلی متر در هر متر، صفحه صافی، تیغه لبه مستقیم (قطعه کار)، و دو غلتک با قطر مساوی.

تئوری آزمایش:

مجموعه اندازه‌های گرفته شده روی تراز را می‌توان مطابق رابطه (۱-۱۵)، بیان کرد:

$$K(k_i) = \{k_1, k_2, ..., k_i, ..., k_n\} \qquad (۱۵-۱)$$

اگرهر مقدار اندازه درجه بندی شده روی تراز برابر Δh اختلاف ارتفاع فرض شود. اختلاف ارتفاع نسبی در نقطه i نسبت به نقطه $(i\text{-}1)$ طبق رابطه (۲-۱۵)،برابر خواهد بود با:

$$\Delta h_i = k_i \Delta h \qquad (۱۵-۲)$$

و مطابق رابطه (۳-۱۵)، اختلاف ارتفاع در نقطه i نسبت به نقطه مبدا (0) برابر خواهد بود با:

$$h_i = \sum_{i=1}^{n} k_i \Delta h \qquad (۱۵-۳)$$

جهت بدست آوردن مقدار عدم مستقیم بودن Out of Straightness ابتدا از معادله (۴-۱۵) استفاده می‌شود تا مقدار لازم جهت صفر کردن شیب نقطه انتها نسبت به نقطه ابتدا بدست آید و مقدار $h_n = 0$ حاصل گردد.

$$\Delta R_i = \frac{i}{n} h_n \qquad (۱۵-۴)$$

عمل صفر کردن شیب نسبت به دو انتها سطح نیز روی قسمت های دیگر سطح بطور نسبی باید اعمال شود. لذا از رابطه (۵-۱۵)، داریم:

$$\Delta S_i = h_i - \Delta R_i \qquad (۱۵-۵)$$

سپس مقدار عدم مستقیم بودن Out of Straightness روی سطح از معادله (۶-۱۵) بدست می‌آید. بدلیل اینکه نقطه اول $i = 0$ و آخر $i = n$ دارای مقدار $\Delta S_{0,n} = 0$ می باشند، قلمرو $1 \le i \le (n-1)$ استفاده خواهد شد. در نتیجه:

$$S = \bigcup_{i=1}^{n-1} |\Delta S_i| = \max_{i=1}^{n-1} \left| h_i - \frac{i}{n} h_n \right| \qquad (۱۵-۶)$$

به‌دلیل این‌که مقدار عدم مستقیم بودن Out of Straightness همیشه در جداول استاندارد مثبت داده می‌شود از عملگر قدر مطلق استفاده شده است. جدول۱-۱۵ روش محاسبه برای مقادیر خوانده شده از تراز را نشان می‌دهد.

جدول۱-۱۵: روش محاسبه برای مقادیر خوانده شده از تراز.

i	k_i	Δh_i	h_i	ΔR_i	ΔS_i
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	k_1	$k_1\Delta h$	$\sum_{i=1}^{1} k_i\Delta h$	$\frac{1}{n}h_n$	$h_1-\frac{1}{n}h_n$
2	k_2	$k_2\Delta h$	$\sum_{i=1}^{2} k_i\Delta h$	$\frac{2}{n}h_n$	$h_2-\frac{2}{n}h_n$
....	.....	.....	.....	.....	.....
....	.....	.....	.....	.....	.....
i	k_i	$k_i\Delta h$	$\sum_{j=1}^{i} k_j\Delta h$	$\frac{i}{n}h_n$	$h_i-\frac{i}{n}h_n$
....	.....	.....	.....	.....	.....
....	.....	.....	.....	.....	.....
n-1	k_{n-1}	$k_{n-1}\Delta h$	$\sum_{i=1}^{n-1} k_i\Delta h$	$\frac{n-1}{n}h_n$	$h_{n-1}-\frac{n-1}{n}h_n$
n	k_n	$k_n\Delta h$	$h_n=\sum_{i=1}^{n} k_i\Delta h$	$\frac{n}{n}h_n$	$h_n-\frac{n}{n}h_n=0$

شرح آزمایش:

تنظیم تراز بدین طریق است که آنرا روی صفحه صافی قرارداده و به یک تیغه لبه مستقیم تماس دهید. روی تیغه ابتدا و انتهای تراز را نشان گذاشته و مقداری را که تراز در طرف راست یا چپ نشان می دهد یادداشت کنید. تراز را 180° چرخانده وابتدا وانتهای آن‌را در همان‌جای نشان شده روی تیغه و به لبهٔ آن تماس داده، مقادیر جدید تراز را در طرف راست یا چپ بخوانید . تراز را با آچار مخصوص روی معدل مقادیر دفعه اول و دوم در همین وضعیت که قرار دارد تنظیم کنید.

تراز را روی دو غلتک و روی قطعه کار قرار داده و در فواصل معین و مساوی مقادیری که تراز نشان می دهد را در جدول۲-۱۵ یادداشت نمایید. فاصلهٔ دو غلتک نیز باید اندازه‌گیری شود.

جدول۲-۱۵: مقادیر خوانده شده از تراز

1	2	3	4	5	6
وضعیت	اعداد خوانده شده از تراز	مقادیر پستی و بلندی نسبی	انحراف از مقدار اولیه	صفر کردن دو انتها	مقادیر ناهمواری سطح
0	.....	.....	.....	.....	.....
1	.....	.....	.....	.....	.....
2	.....	.....	.....	.....	.....
3	.....	.....	.....	.....	.....
4	.....	.....	.....	.....	.....

نتایج آزمایش:

۱- مانند مثال مندرج در جدول (۳-۱۵)، می‌توان نتایج حاصله را جدول بندی، ناهمواری سطوح را پیدا و منحنی آن‌را رسم نمود.

جدول۳-۱۵: مثال خوانده شده از تراز

1	2	3	4	5	6
وضعیت	اعداد خوانده شده از تراز	مقادیر پستی و بلندی نسبی	انحراف از مقدار اولیه	صفر کردن دو انتها	مقادیر ناهمواری سطح
0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	1	0.0005	0.0005	-0.0015	-0.0010
2	4	0.0020	0.0025	-0.0030	-0.0005
3	2	0.0010	0.0035	-0.0045	-0.0010
4	5	0.0025	0.0060	-0.0060	0.0000

روی کاغذ میلیمتری دو منحنی می توان رسم کرد. یکی از روی ارقام ستون ۴ (تفاوت از وضعیت اول) و دومی از روی ستون ۶ که مقدار ناهمواری سطح را نشان می دهد.

بحث و اظهار نظر:

طریقه اندازه‌گیری را بحث کرده، دقت آن را تعیین کنید.

آزمایش شماره (۱۶): انگل دکور(Angle Dekkor)

موضوع آزمایش:

اندازه‌گیری دقت و خطایابی یک میزگردان توسط انگل دکور(Angle Dekkor) .

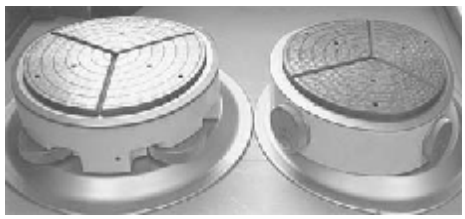
وسایل آزمایش:

قطعات اندازه زاویه‌ای، میزگردان با زینه‌بندی یک دقیقه، انگل دکور، صفحه منعکس کننده نور، قطعه مکعبی شکل.

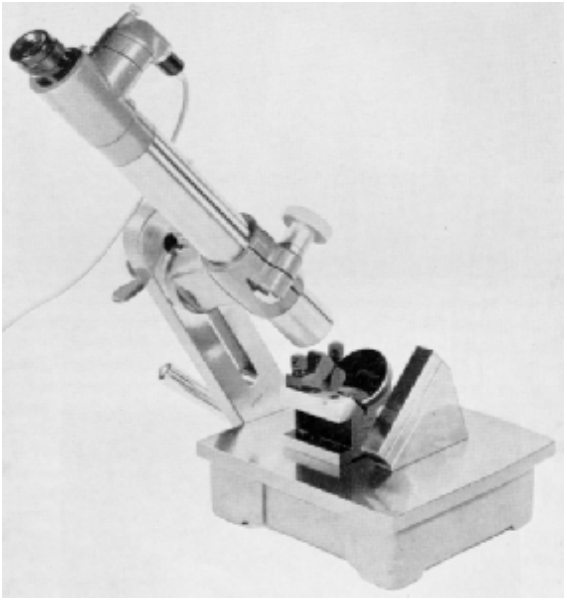
روش آزمایش:

میزگردان روی یک‌طرف صفحه صافی محکم شده و قطعه دقیق مکعبی شکل روی آن سوار می‌شود. در طرف دیگر صفحه صافی انگل دکور قرار داده دهید.

میزگردان (شکل ۱-۱۶) را روی صفر درجه میزان ومقداری که دستگاه نشان می دهد یادداشت کنید. میز را ۱۰ درجه چرخانده و با قطعات زاویه معادل ۱۰ درجه درست کرده و به قطعه مکعبی شکل چسبانده و با قرار دادن صفحه منعکس کننده در جلو آن مقداری را که دستگاه نشان می دهد یادداشت کنید. همین عملیات را برای ۲۰ درجه الی ۳۶۰ درجه انجام و مقادیری که نشان داده می‌شود، یادداشت نمایید(فقط مقیاس افقی یادداشت می‌شود).



شکل۱-۱۶: نمای میز گردان و یک دستگاه انگل دکور(Angle Dekkor)



شکل۲-۱۶: نمای یک دستگاه انگل دکور [۳] (Angle Dekkor)

نمای یک دستگاه انگل دکور نصب شده روی یک میز صاف در شکل ۲-۱۶ دیده می شود. دستگاه دیگری که اندازه‌گیری زاویه را بطور غیر تماسی انجام میدهد در شکل ۳-۱۶ نشان داده شده است.

نتایج آزمایش:

نتایج را همانند جدول (۱-۱۶)، مرتب نموده و منحنی را از ستون آخر ترسیم نمایید.

جدول۱-۱۶: مقادیر خوانده شده از دستگاه انگل دکور.

۱	۲	۳	۴	۵
درجات میز گردان	مقادیر خوانده شده (دقیقه)	تفاوت نسبت به صفر درجه (دقیقه)	تصحیح اعمال شده (دقیقه)	خطای حقیقی (دقیقه)
0	42	0	0	0
10	35	-7	A	-7+A
26	45	+3	B	+3+B
..	..	..	..	..
..	..	..	..	..

A در ستون چهارم برابر است با عدد ستون سوم تقسیم بر تعداد ردیف موجود در ستون اول

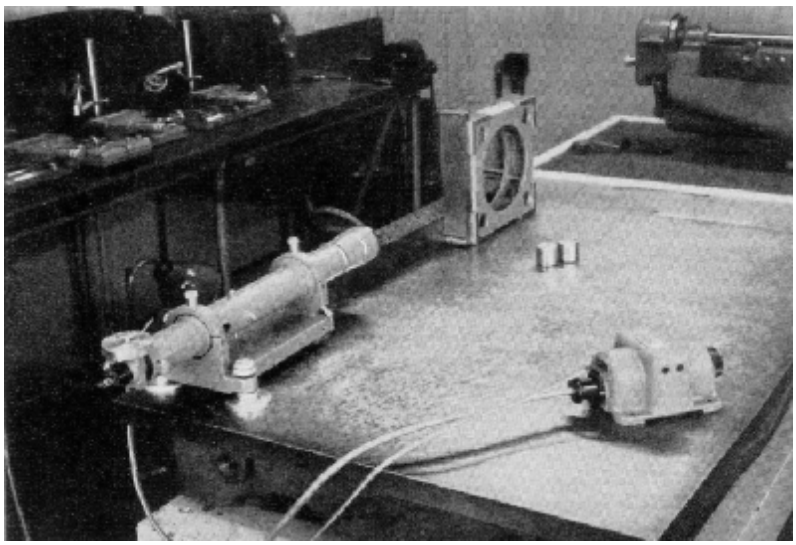
B مساوی است با دو برابر مقدار A .

C سه برابر مقدار A است.

(در صورتی که مقادیر خوانده شده برای صفر درجه و۳۶۰ درجه میز مقادیر مختلف باشند، ستون‌های ۴ و ۵ لازم است تکمیل شوند.)

بحث و اظهار نظر:

دقت آزمایش و موارد استفاده از این دستگاه را بیان کنید.



شکل۳-۱۶: نمای یک دستگاه اتو کالیماتور[۳] (Auto-collimator).

آزما یش شماره (۱۷): گونیای بازرسی

هد ف آ زما یش:

کنترل و بازرسی گونیا بودن قطعات.

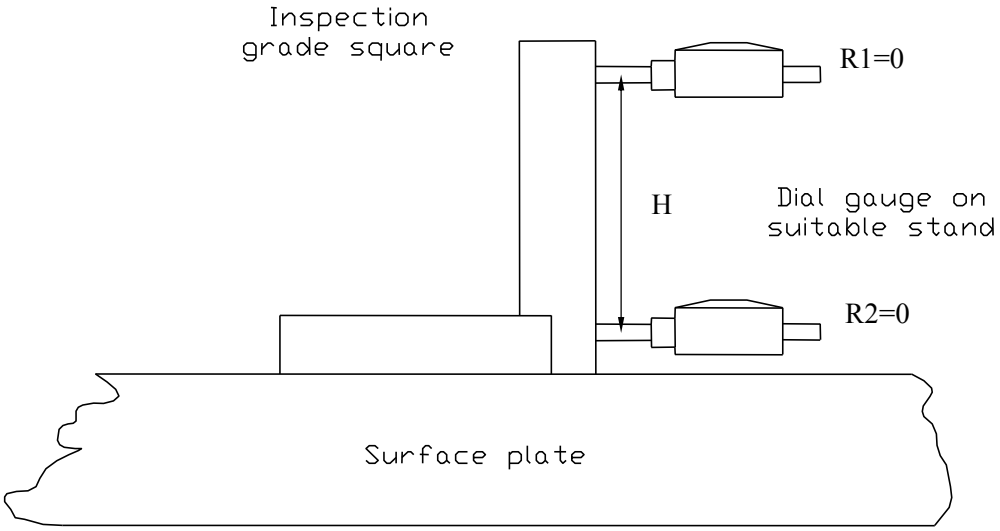
وسایل آزما یش:

صفحه‌صافی، ساعت اندازه‌گیر و پایه، جعبه قطعات اندازه، گونیای بازرسی، قطعه استوانه‌ای دقیق، قطعه گونیا، گونیای مرکب.

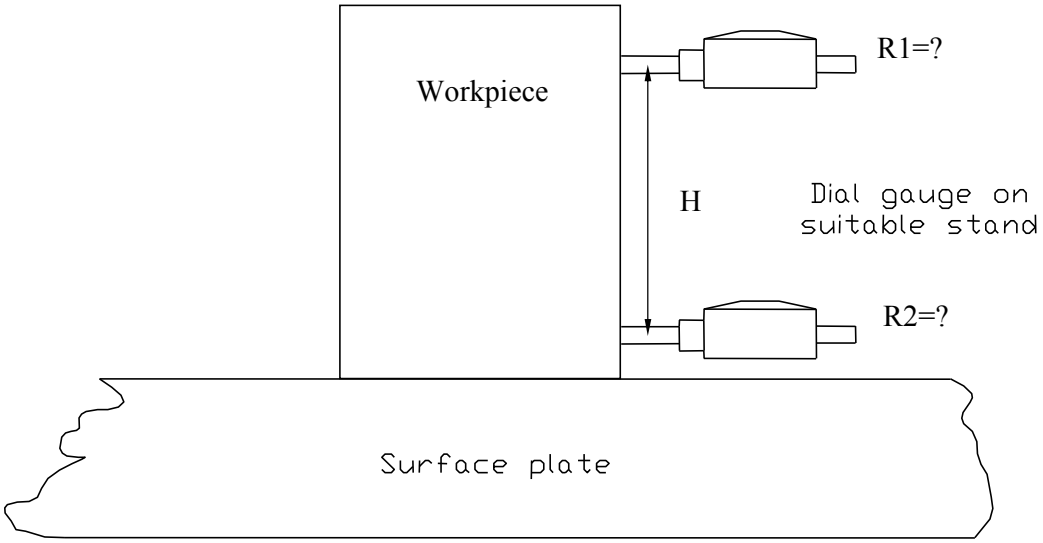
شرح آزمایش:

به دو طریق می‌توان گونیا بودن و یا خطای یک گونیای کارگاهی (out of squareness) را پیدا کرد.

۱- گونیای بازرسی را روی صفحه صافی قرار داده و دو سوزن ساعت‌های اندازه‌گیر را به لبه گونیا تماس دهید و در حالی‌که لبه زیرین گونیا کاملا" روی صفحه صافی منطبق است حدود دو میلیمتر سوزن‌ها را به لبه گونیا داخل ببرید. مطابق شکل ۱-۱۷، صفحات ساعت‌ها را روی صفر میزان کنید و مقداری که عقربه های کوچک نشان می‌دهد یادداشت نماید. گونیا را برداشته و قطعه گونیایی را روی صفحه صافی قرار داده و به سوزن ساعت‌ها سطح آن‌را تماس داده و حرکت دهید تا یکی از ساعت‌ها در صفر وضعیت اول قرارگیرد. مقدار مثبت و یا منفی ساعت دیگر را نسبت به صفر یادداشت نمایید. به یاد داشته باشید که پس از صفر کردن ساعت‌ها در کنار گونیای بازرسی، نباید تغییری در مکان ساعت‌ها به‌وجود آید.



شکل ۱-۱۷: صفر کردن ساعت های اندازه‌گیری به کمک گونیای مبنا.



شکل ۲-۱۷: حواندن ساعت های اندازه‌گیری از تماس با قطعه کار.

رابطه (۱-۱۷) را از هندسه شکل ۲-۱۷ ثابت کنید.

$$\tan\alpha = \frac{R2 - R1}{H} \qquad (۱۷-۱)$$

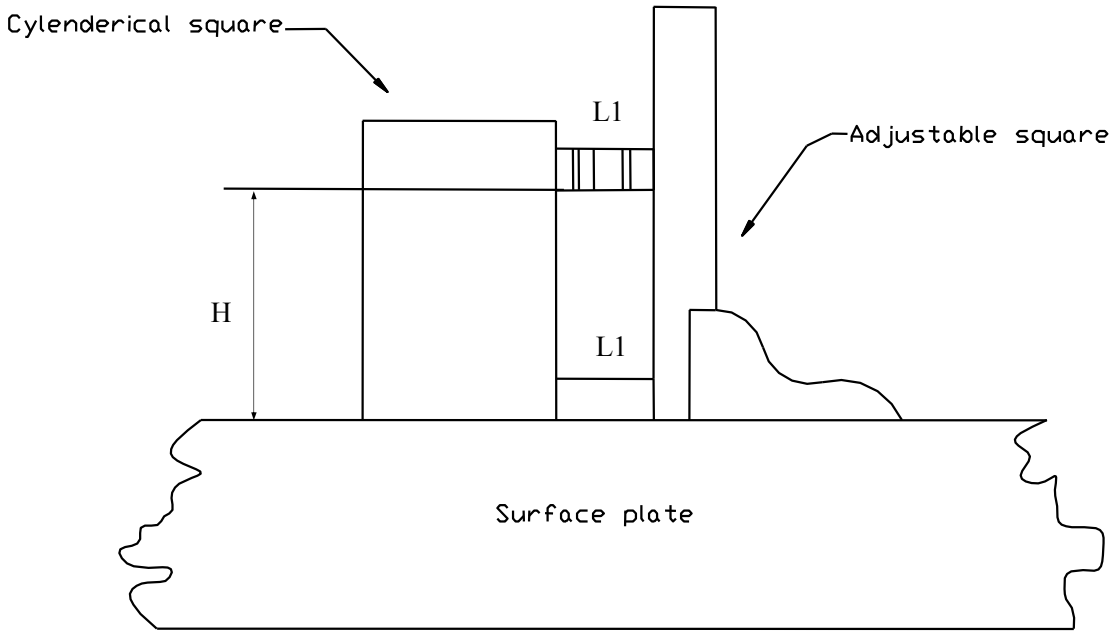
که α زاویه انحراف از گونیا بودن است. R1 و R2 به‌ترتیب مقادیر خوانده شده از ساعت‌های اندازه‌گیری و H فاصله بین سوزن ساعت های اندازه‌گیری است.

مقادیر بدست آمده از آزمایش را در جدول۱-۱۷ نوشته توسط معادله ۱-۱۷مقدار α را بدست آورید.

جدول۱-۱۷: مقادیر خوانده شده از ساعت‌های اندازه‌گیری.

	R1	R2	H	α=?
مقادیر				

۲- قطعه استوانه ای دقیق را روی صفحه صافی ثابت کرده وگونیای مرکب را برای زاویه ۹۰ درجه تنظیم و روی صفحه صافی قرار داده وپایین آن‌را با یک قطعه ۲ میلیمتری به قطعه استوانه‌ای بچسبانید. در این حال قطعات اندازه با گام‌های ۰,۰۱ میلیمتر بین گونیا وقطعه رها کنید تا آن اندازه‌ای که در بالا گیر نماید. فاصله بین دو قطعه را اندازه بگیرید ومقدار خطا را یادداشت نمایید.



شکل ۳-۱۷: استفاده از قطعات اندازه‌گیری وگونیای مبنا.

رابطه (۲-۱۷) را از هندسه شکل ۳-۱۷ ثابت کنید.

$$\tan\alpha = \frac{L2 - L1}{H} \qquad (۱۷-۲)$$

که α زاویه انحراف از گونیا بودن است. L1 و L2 به‌ترتیب مقادیر قطعات اندازه و H فاصله بین قطعات اندازه است.

مقادیر بدست آمده از آزمایش را در جدول (۲-۱۷) نوشته با معادله (۲-۱۷) مقدار α را بدست آورید.

جدول۲-۱۷: مقادیر بکار برده شده قطعات اندازه.

	L1	L2	H	α=?
مقادیر				

نتایج آزمایش:

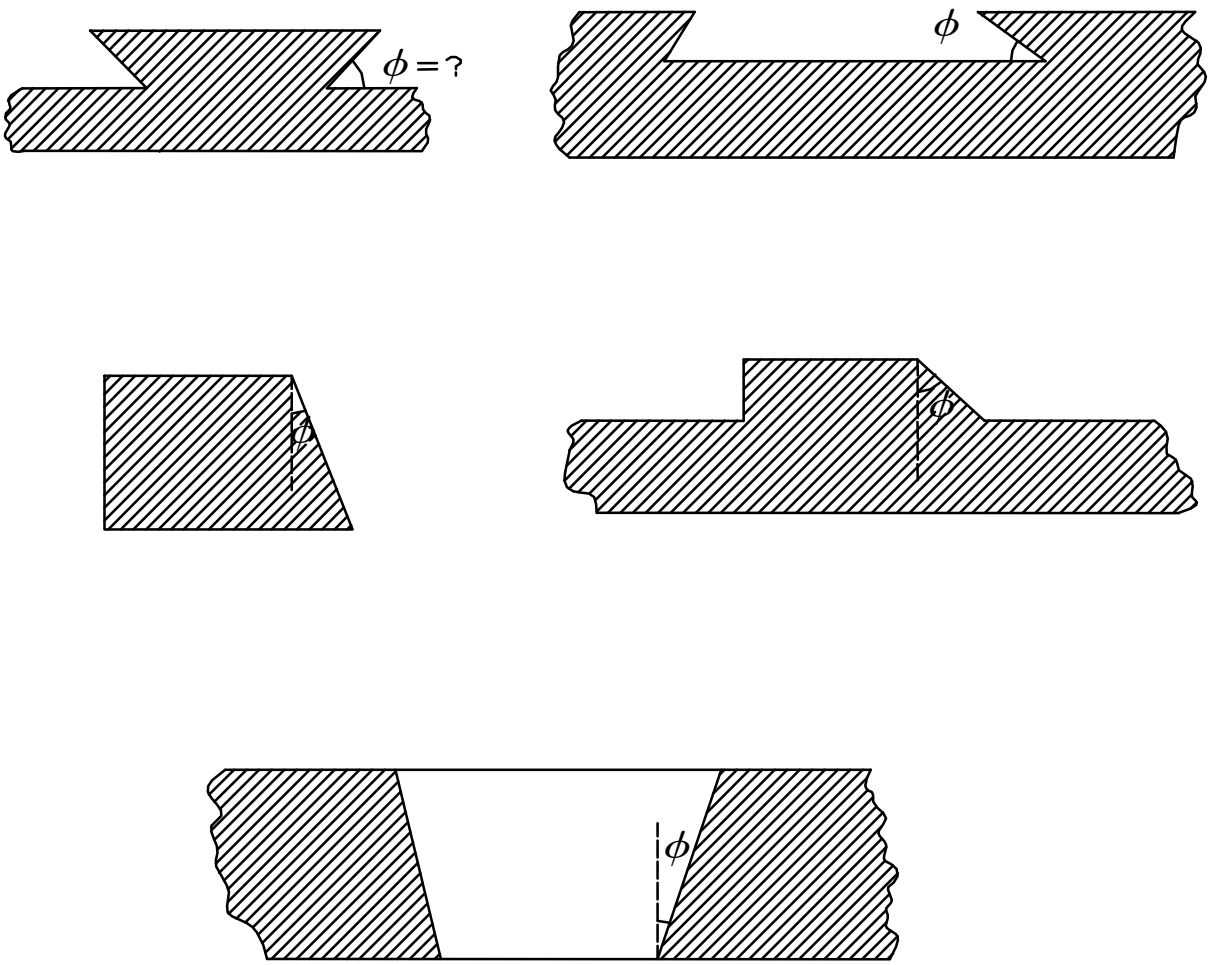
مقدار خطای مثبت یا منفی زاویه ۹۰ درجه را بر حسب د رجه، دقیقه و ثانیه حسا ب کنید.

بحث واظهار نظر:

دقت دو طریقه را مقایسه نمایید. در این آزمایش‌ها چه وسایل آزمایشی باید کاملا" د قیق باشند تا نتایج حاصله د قت داشته باشد.

آزما یش شماره (۱۸): اندازه‌گیری زوایا

طرق اندازه گیری زوایای قطعات نشان داده شده در شکل ۱-۱۸ را شرح داده، وسایلی که مورد استفاده قرار می دهید رامشخص نمایید و محا سبات مربوطه را بنویسید.



شکل ۱-۱۸: اشکال هندسی زاویه دار

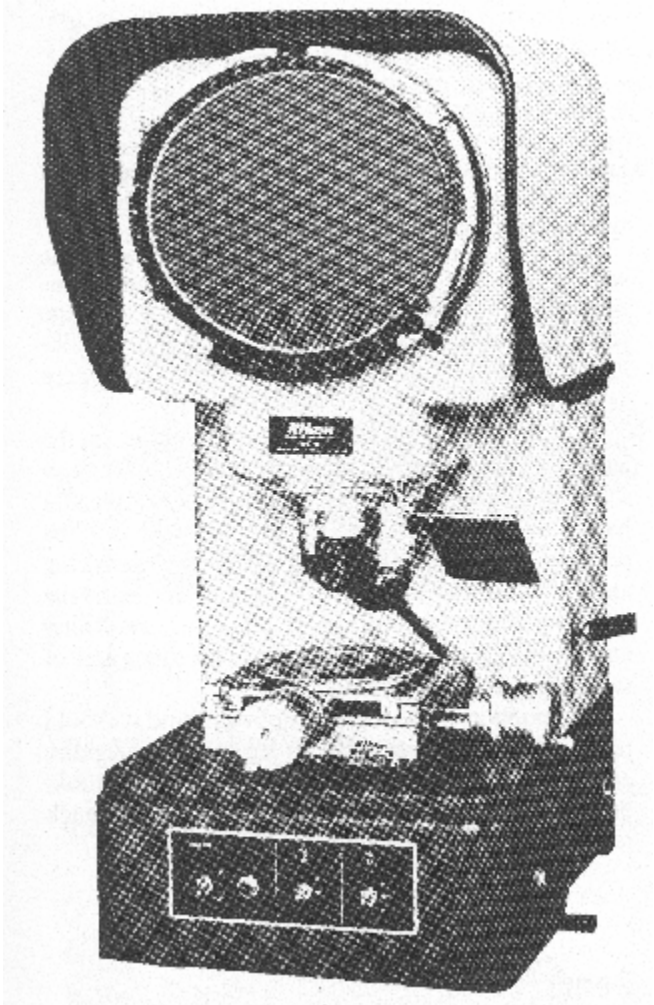
آزمایش شماره (۱۹): پروفیل پروژکتور(Profile Projector)

هدف آزمایش:

استفاده از پروفیل پروژکتور در اندازه‌گیری ابعاد و زوایای یک قطعه کار کوچک با شکل پیچیده.

وسایل آزمایش:

قطعه کار، پروفیل پروژکتور با میز میکرومتری (شکل ۱-۱۹)، کاغذ شفاف تلرانس.



شکل ۱-۱۹: پروفیل پروژکتور یا سایه نما [۶] (Profile Projector)

تئوری آزمایش

جهت استفاده از عمل پروژکتور در اندازه‌گیری عوامل اساسی زیر مورد نیاز می‌باشد که عبارت اند از:

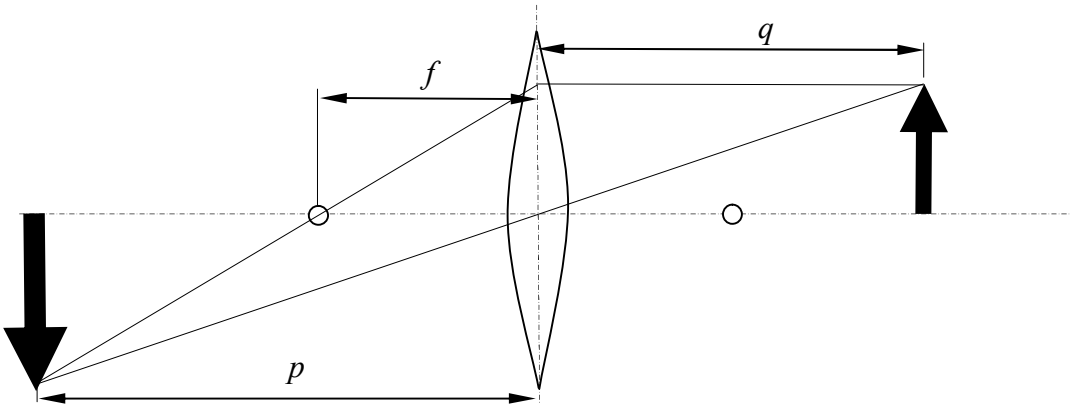
۱- نور (تولید شده توسط لامپ و موازی شده توسط لنز موازی کننده)

۲- شیئ (قطعه کار که روی میز مخصوص قابل حرکت با میکرومتر دقیق قرار می‌گیرد)

۳- مجموعه لنزهای موازی‌کننده اشعه

۴- مجموعه لنزهای تصویرساز
۵- پرده نمایشگر (صفحه مات از جنس شیشه یا پلاستیک)
۶- وسایل اندازه‌گیری طول و زاویه ملحق به دستگاه
مطابق شکل ۲-۱۹ می‌توان نوشت:

$$\frac{1}{p}=\frac{1}{f}-\frac{1}{q} \qquad (۱۹-۱)$$



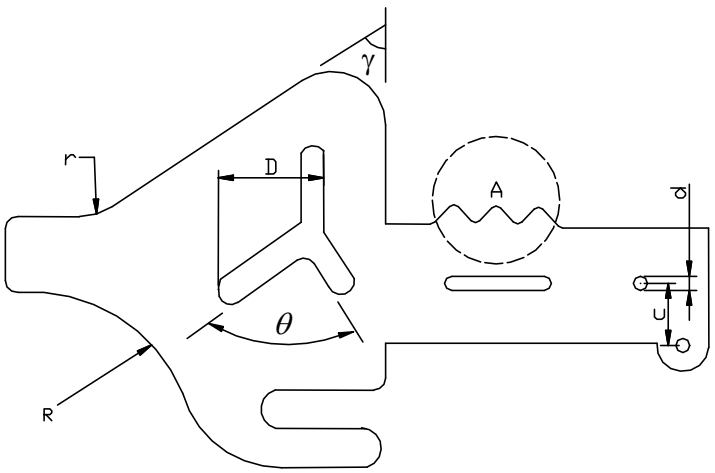
شکل ۲-۱۹: نحوه ایجاد تصویر توسط یک لنز محدب.

که بزرگنمایی از رابطه (۲-۱۹) بدست می‌آید:

$$M=\frac{p}{q} \qquad (۱۹-۲)$$

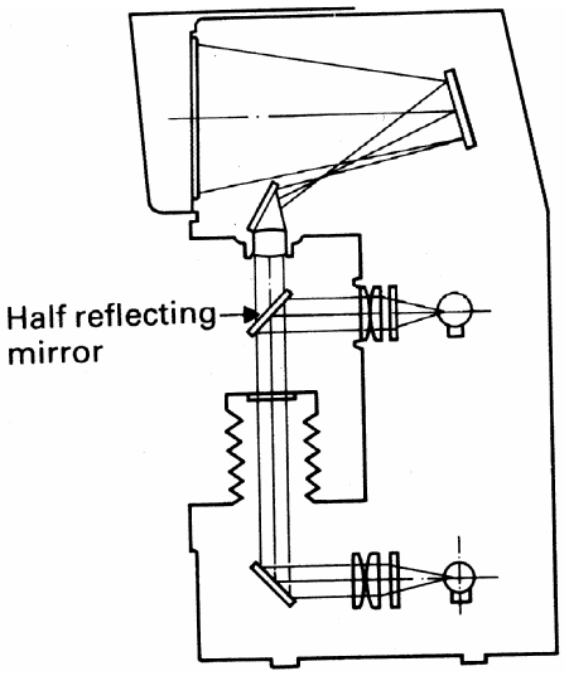
لازم به ذکر است که از این وسیله دو کاربرد مختلف را می‌توان انتظار داشت که عبارت‌اند از:
۱- مقایسه کردن و بررسی محدوده مجاز قطعه.
۲- اندازه‌گیری قسمت‌های مختلف یک قطعه کوچک و با شکل پیچیده.
در ضمن آن‌چه که بایستی بدان توجه داشت این است که جهت مقایسه کردن و تست تلرانس، نیازی به استفاده از وسایل اندازه‌گیری نیست. جهت انجام این تست کافی است که شابلونی از محدوده مجاز خطا تهیه شده و مقایسه به طور مستقیم توسط آن بر روی صفحه نمایش، انجام پذیرد.
جهت انجام عمل اندازه‌گیری علاوه بر قسمت‌های تصویرساز، نیاز به وسایلی است که بتوان توسط آن‌ها پارامترهای مختلف را اندازه‌گیری نمود.

شرح آزمایش:
۱- قسمت A در شکل ۳-۱۹ که ده برابر بزرگ شده وشکل صحیح با دو حد مجاز آن روی کاغذ شفاف کشیده شده است را با شکل حقیقی زیر پروژکتور مقایسه کنید. آیا در حد مجاز هست یا نه؟



شکل ۳-۱۹: قطعه کار مورد آزمایش [۱]

مقادیر p ، q و fرا که در شکل ۲-۱۹ نشان داده شده است را روی شکل ۴-۱۹ برای یک پروفیل پروژکتور نشان دهید.



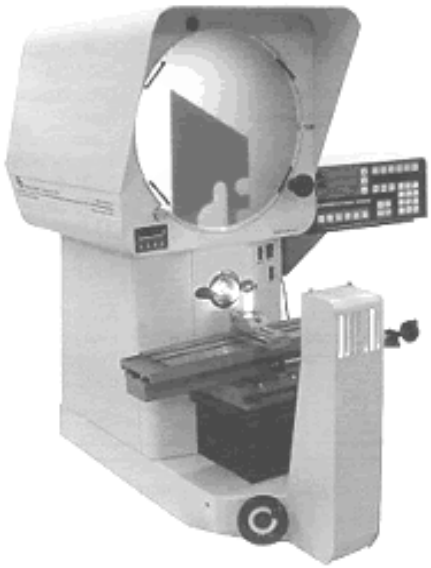
شکل ۴-۱۹:نمای داخلی یک پروفیل پروژکتور یا سایه نما [۱۰] (Profile Projector)

۲- برای اندازه‌گیری ابعاد با استفاده از پروژکتور، دو خط عمود بر هم صفحه پروژکتور را به حالت افقی و عمودی قرار داده وتوسط میکرومتری که میز را به حرکت در می‌آورد، یک لبه مورد نظر را به خط منطبق کرده، مقداری که میکرومتر نشان می‌دهد را یادداشت نمایید. با حرکت میز به طرف لبه دیگر، عدد دومی که میکرومتر در موقع انطباق خط به لبه ثانوی نشان می‌دهد را یادداشت نمایید. تفاوت دو مقدار خوانده شده از روی میکرومتـــر اندازه و بعد را نشان می دهد. بدیـــن ترتیب ابعاد C

، D و d را بدست آورید. (d قطر سوراخی است که راه به در نیست و از نوری که توسط لامپی که از بالای میز تابیده می شود باید استفاده گردد.).

۳_شعاعهای R و r را با اندازه‌گیری یک وتر و عمق همان وتر به روش‌هایی که قبلا دیده‌اید، (آزمایش (۶)) می‌توان محاسبه نمود.

۴_زاویه را می توان با منطبق کردن یک خط صفحه پروژکتور به یک ضلع زاویه و خواندن بر حسب درجه و دقیقه وانطباق همان خط بر ضلع دیگر زاویه و خواندن وضعیت جدید صفحه پروژکتور وتفریق دو ضعیت پیدا نمود. بدین ترتیب γ وθ را بدست آورید.



شکل ۵-۱۹:سایه یک قطعه کار در صفحه پروفیل پروژکتور یا سایه نما (Profile Projector)

نتیجه آزمایش:

نتایج هر چهار قسمت بالا و محاسبات را در جدول ۱-۱۹بنویسید.

جدول۱-۱۹: نتایج اندازه‌گیری داخلی با میکرومتر عمق‌سنج و گلوله

	d	C	D	r	R	θ	γ
مقادیر							

بحث واظهار نظر:

مورد استفاده پروفیل پروژکتور یا سایه نما و دقت نتایج را تشریح نمایید.
از نظر وضوح تصویرسازی، چه فرق‌هایی میان اندازه‌گیری کردن و کنترل محدوده مجاز وجود دارد؟

آزمایش شماره (۲۰): چرخ‌دنده

هدف آزمایش:

کنترل چرخ‌دندهای ساده.

وسایل آزمایش:

کولیس اندازه‌گیر پهنا وارتفاع دنده، میکرومتر با فک مخصوص و چرخ دنده (شکل ۱-۲۰)

شرح آزمایش:

با شمارش دنده‌ها واندازه‌گیری قطر خارجی، مدول و گام قطری (Diametral Pitch) چرخ‌دنده قابل محاسبه است.

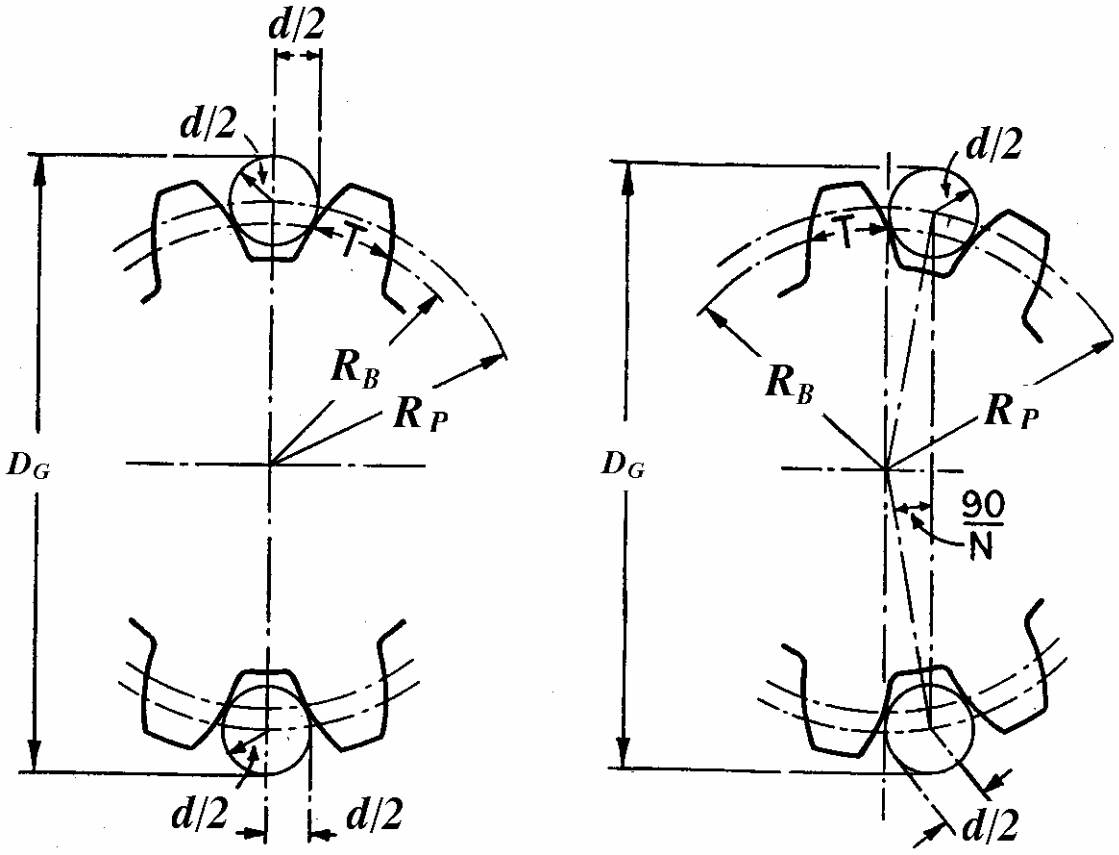
زاویه فشار نیز داده شده (Ψ=۱۴,۵) و بنابراین به چهار طریق زیر چرخ‌دنده را می توان کنترل کرد.

۱_ قطر دو غلتک را از رابطه (۱-۲۰) محاسبه وبا انتخاب دو غلتک، آن‌ها را در دو طرف چرخ دنده مطابق شکل ۲-۲۰ گذاشته و نوک تا نوک آن‌را اندازه بگیرید. مقدار بدست آمده را با مقدار محاسبه شده از روابط (۲-۲۰) و (۳-۲۰) مقایسه نمایید.

شکل ۱-۲۰: چرخ دندانه های ساده

شایان ذکر است قطر غلتک (d) که در روش اول اندازه‌گیری استفاده می‌گردد، از رابطه (۱-۲۰)، حاصل می‌شود:

$$d = \frac{\pi M}{2}\,\mathrm{Cos}\,\psi \qquad (۲۰-۱)$$



ب الف

شکل ۲-۲۰: کنترل چرخدنده با دو غلتک: الف- تعداد دندانه فرد ب- تعداد دندانه زوج [۱۲].

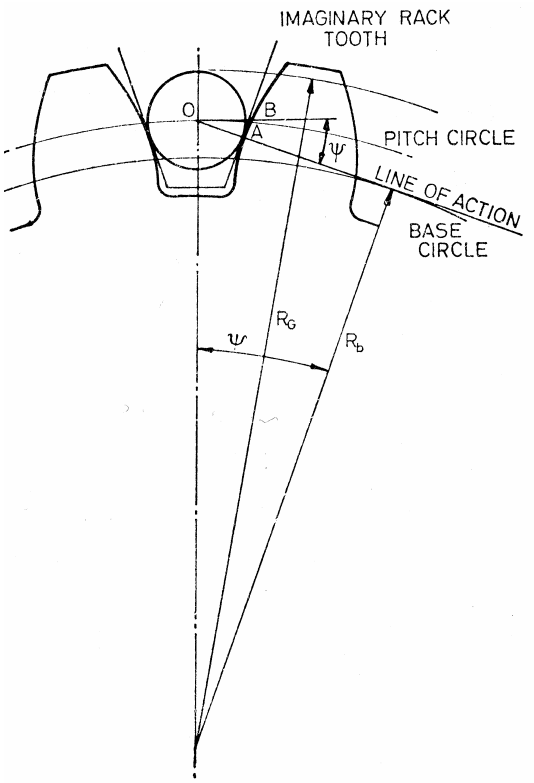
جهت تعیین مقدار پارامتر D_G و کنترل دنده با تعداد دنده‌های زوج از رابطه (۲-۲۰) استفاده می‌شود:

$$D_G = M\left(N + \frac{\pi}{2}Cos\,\psi\right) \qquad (۲۰-۲)$$

و جهت تعیین مقدار پارامتر D_G وکنترل دنده با تعداد دنده‌های فرد، از رابطه (۳-۲۰) استفاده می‌شود:

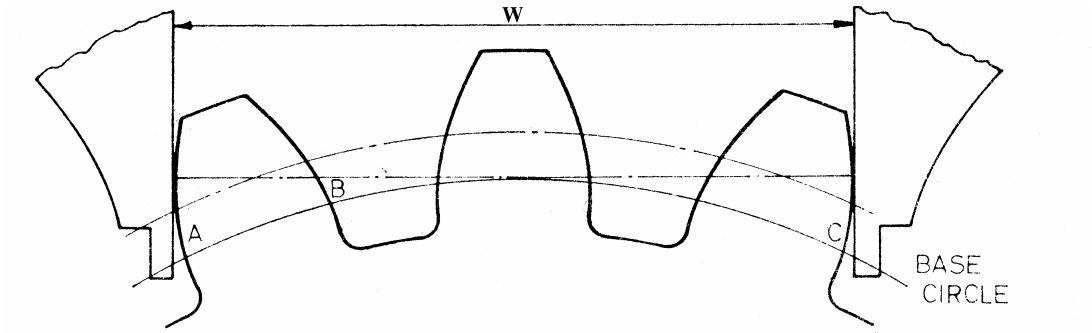
$$D_G = M\left(N\,Cos\left(\frac{\pi}{2N}\right) + \frac{\pi}{2}Cos\,\psi\right) \qquad (۲۰-۳)$$

که در این روابط D_G فاصله خوانده شده توسط میکرومتر از دو سر غلتک‌هاست. M مدول دنده، N تعداد دنده‌ها وψ زاویه فشار آن که در شکل ۳-۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۰: کنترل چرخ‌دنده با دو غلتک [۱۱].

۲_توسط روش مماس مبنا مطابق شکل‌های ۴-۲۰ و ۵-۲۰ مقدار بعد اندازه‌گیری شده W را با مقدار محاسبه شده آن از رابطه (۴-۲۰) مقایسه کنید.

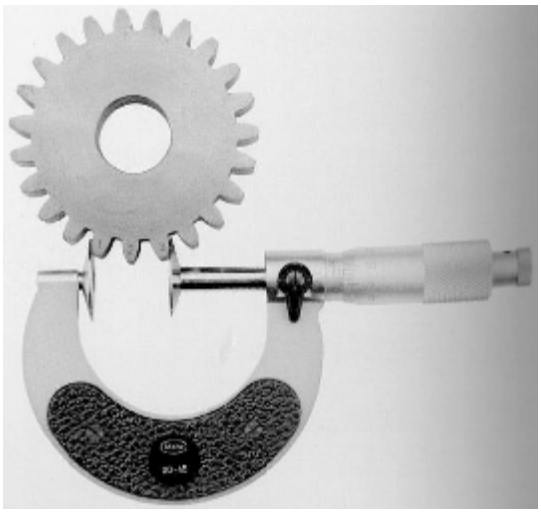


شکل ۴-۲۰: کاربرد میکرومتر با فک بشقابی در اندازه‌گیری چند دنده‌ای [۱۱].

توسط رابطه (۴-۲۰) می توان از روش دوم، کنترل چرخ‌دنده را انجام داد:

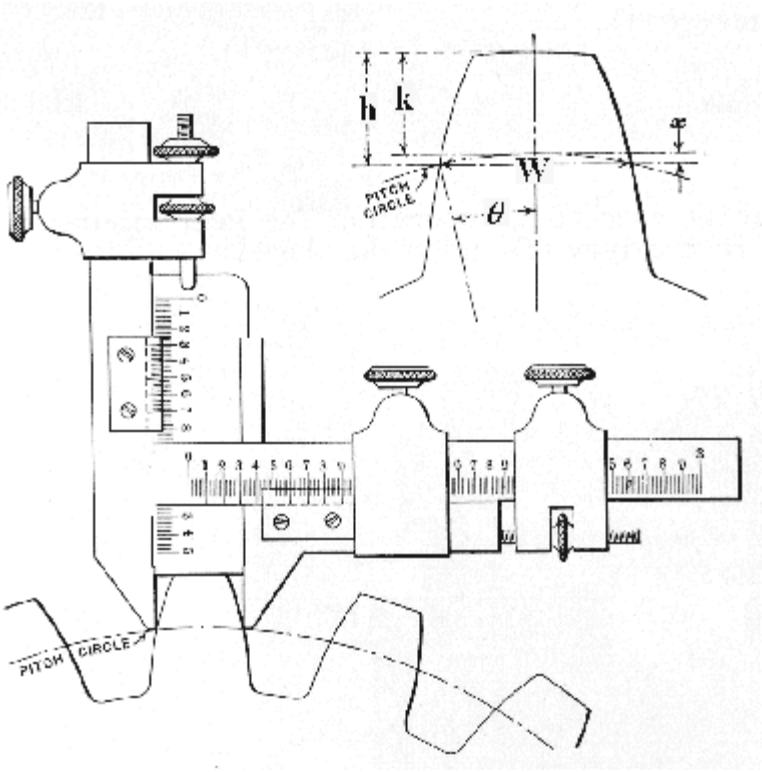
$$W = NM\ Cos\psi\left[\tan\psi - \psi + \frac{\pi}{2N} + \frac{\pi S}{N}\right] \qquad (۴-۲۰)$$

که در آن W فاصله‌ای است که توسط میکرومتر یا کولیس از چند دنده گرفته می‌شود. S تعداد فاصله خالی بین دنده‌ها در طول W است، N تعداد کل دنده‌ها، M مدول و ψ زاویه فشار چرخ‌دنده است. لازم به ذکر است که در رابطه (۴-۲۰)، ψ بایستی بر حسب رادیان جایگذاری گردد.



شکل ۵-۲۰: کاربرد میکرومتر با فک بشقابی [۵].

۳_ مقدار پهنای دنده را روی دایره گام محاسبه نموده ومقدار ارتفاع دنده را برای اندازه‌گیری ضخامت آن روی دایره ی گام محاسبه وبعد از اندازه‌گیری، با مقدار محاسبه شده مقایسه نمایید.



شکل ۶-۲۰: کاربرد کولیس مخصوص عرض و ارتفاع دندانه [۷]

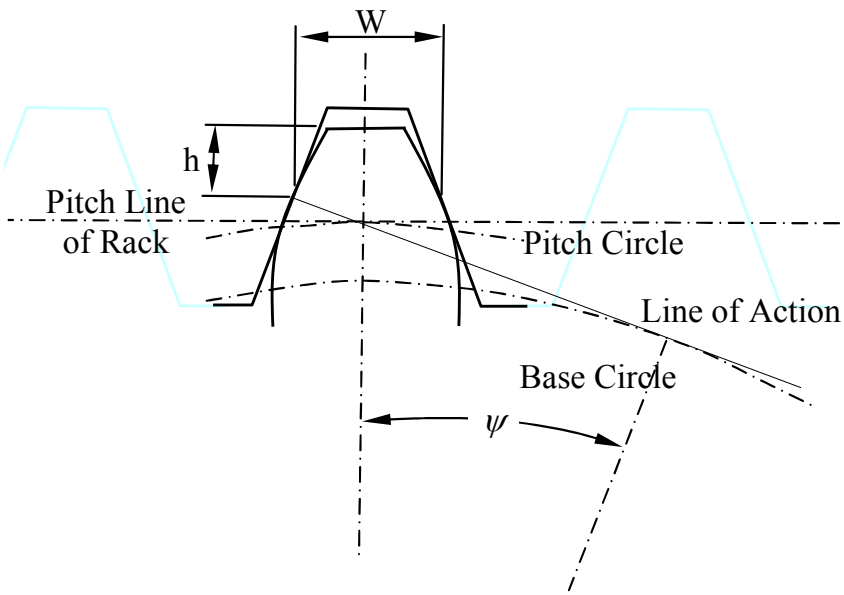
این مقایسه‌ها از روابط (۵-۲۰) و (۶-۲۰) انجام می‌شوند:

$$W = NM\ Sin\left(\frac{90}{N}\right) \qquad (۲۰-۵)$$

$$h = \frac{NM}{2}\left[1 + \frac{2}{N} - Cos\left(\frac{90}{N}\right)\right] \qquad (۲۰-۶)$$

که در این روابط W و h مقادیر اندازه‌گیری شده از عرض و ارتفاع دنده بر روی دایره گام هستند. N تعداد دندانه‌ها و M مدول چرخ‌دنده است.

۴- مطابق شکل ۷-۲۰ توسط روش وتر ثابت نیز می‌توان چرخ‌دنده را از روابط (۷-۲۰) و (۸-۲۰) کنترل کرد:



شکل۷-۲۰: کنترل چرخدنده توسط روش وتر ثابت. [۱۱]

$$h = M - \frac{\pi M}{4}\,\mathrm{Cos}\,\psi\,\mathrm{Sin}\,\psi \qquad (۲۰-۷)$$

$$W = \frac{\pi M}{2}\,\mathrm{Cos}^2\psi \qquad (۲۰-۸)$$

در این روابط M مدول دنده و ψ زاویه فشار هستند. h و W به‌ترتیب مقادیر عمودی و افقی هستند که از تماس یک دنده شانه‌ای با دنده مورد نظر حاصل می‌شوند و بر روی کولیس تنظیم می‌شوند.

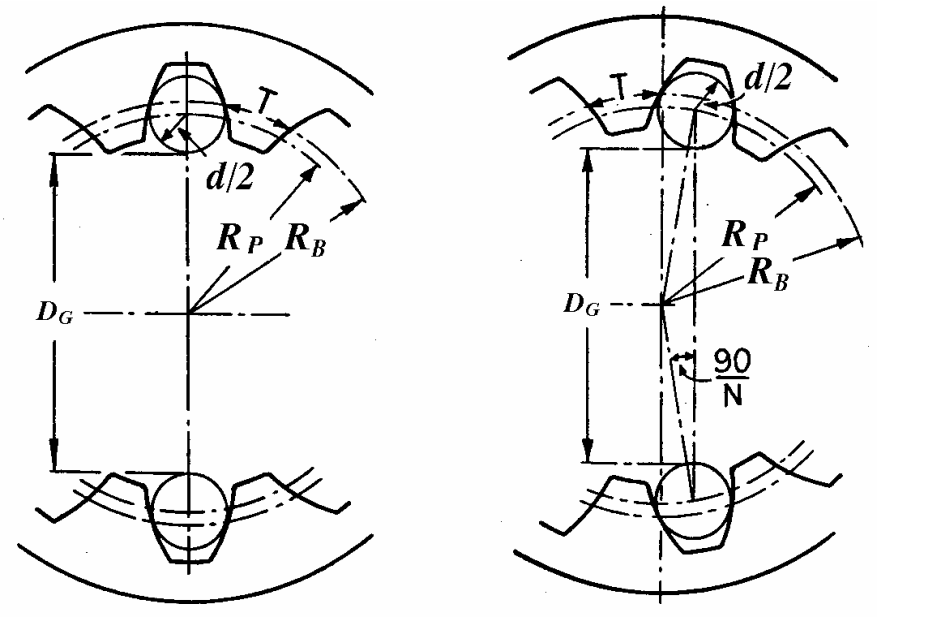
نتایج آزمایش:

تمام محاسبات و نتایج بدست آمده را ارایه نمایید.

بحث واظهار نظر:

چهار روش در اندازه‌گیری را بحث ومقایسه نمایید. علت اختلاف مقادیر محاسبه شده را با اندازه‌های گرفته شده بنویسید.

در شکل ۸-۲۰ چگونه می‌توان برای کنترل قطر D_G وکنترل دنده با تعداد دنده‌های زوج و فرد در چرخ‌دنده داخلی (رینگی) روابط مربوطه را نوشت؟



ب الف

شکل ۸-۲۰: کنترل چرخدنده داخلی: الف- تعداد دندانه فرد ب- تعداد دندانه زوج [۱۲]

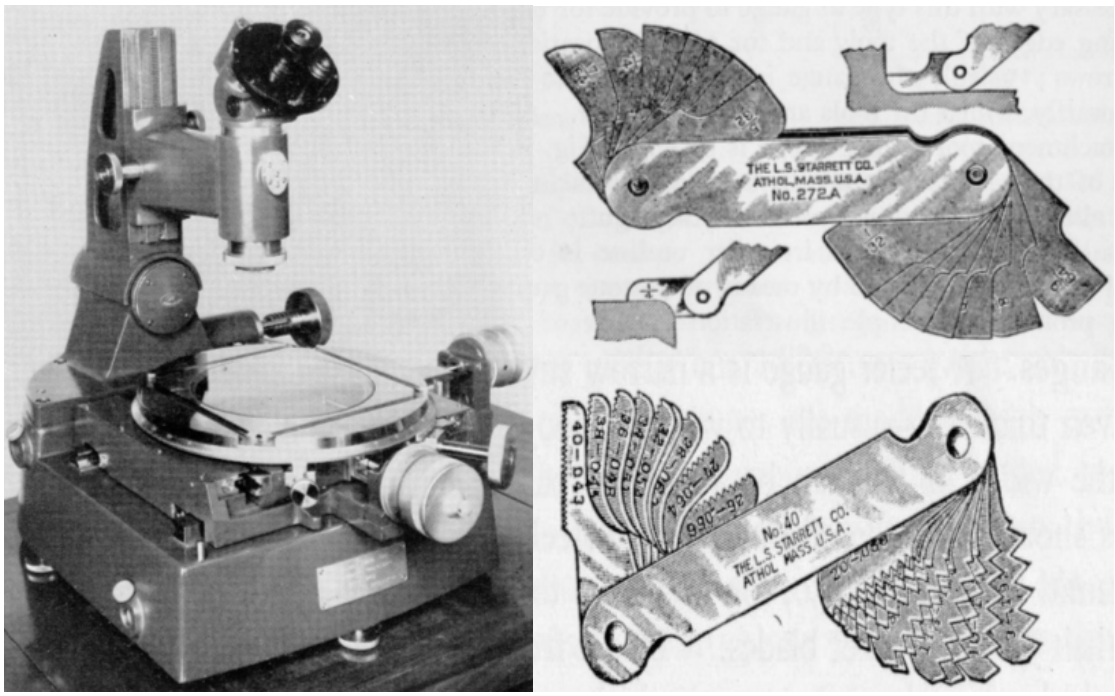
آزمایش شماره(۲۱): پروفیل پیچ

موضوع آزمایش:

اندازه‌گیری شکل پیچ زیرمیکروسکپ افزار سازها.

وسایل آزمایش:

میکروسکپ افزارسازها، پیچ برای اندازه‌گیری، شابلون‌های پیچ‌های استاندارد، شابلون‌های دوایرمختلف.



الف ب

شکل ۱-۲۱: الف-شابلون‌های دایره و پیچ‌های استاندارد ب- میکروسکپ افزارسازها [۴]

روش آزمایش:

۱- با گذاردن عدسی معمولی چشمی میکروسکپ و انتخاب بزرگنمایی مناسب برای قطعه از شابلون دوایر مختلف استفاده نموده وآن را در محل خود در میکروسکپ قرار دهید و شعاع ته و نوک دندانه پیچ را تعیین کنید.

۲- با استفاده از همان عدسی چشمی ولی با قرار دادن شابلون پیچ‌های استاندارد علاوه بر آن‌هایی که روی میکروسکپ قرار دارند تعیین کنید که پیچ موردنظر با کدام یکی از پیچ های استاندارد موجود، مطابقت می‌نماید. (نوع پیچ و مشخصات آن‌را یادداشت کنید)

۳- عدسی چشمی را عوض کرده و عدسی مربوط به اندازه‌گیری زاویه وابعاد را روی میکروسکپ نصب کنید، با استفاده از این عدسی زاویه وعمق و گام دنده را اندازه بگیرید. زاویه دنده بدین ترتیب حاصل می‌شود که یک ضلع را منطبق بر یکی از خطوط صفحه میکروسکپ نموده و سپس وضعیت صفحه را بر حسب درجه و دقیقه بخوانید. سپس همان خط را دوران داده و بر ضلع دیگر زاویه منطبق و وضعیت جدید را خوانده و از اولی کم نمایید. عمق دندانه و گام با استفاده از خطوط عمود بر هم، روی صفحه میکروسکپ و توسط میکرومترهای میز آن اندازه‌گیری می‌شوند.

نتایج آزمایش:
شکل دندانه پیچ را کشیده و اندازه هایی را که به دست آوردید روی آن بنویسید.

بحث و اظهار نظر:
دقت اندازه‌گیری و کاربرد میکروسکپ را جهت اندازه‌گیری تشریح کنید.

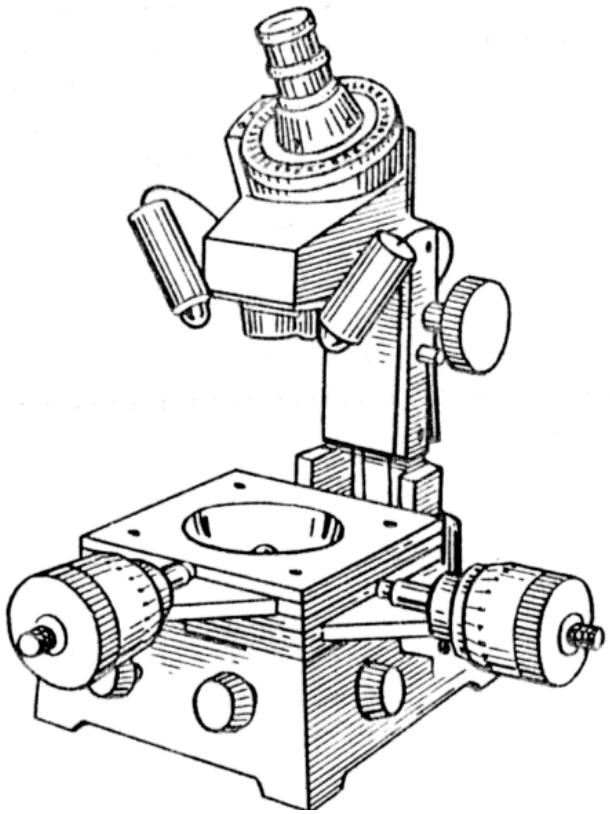
آزمایش شماره(۲۲): ابعاد پیچ

موضوع آزمایش:

اندازه‌گیری قسمت‌های مختلف یک پیچ اندازه‌گیر.

وسایل آزمایش:

دستگاه اندازه‌گیری قطر، دستگاه اندازه‌گیری گام، میکروسکپ افزار سازها (شکل ۱-۲۲)، قطعات منشوری شکل، سیم‌های دقیق، قطعه ها ی ا ستوانه ای شکل دقیق، پیچ اندازه‌گیر.



شکل ۱-۲۲: میکروسکپ افزارسازها [۱۳].

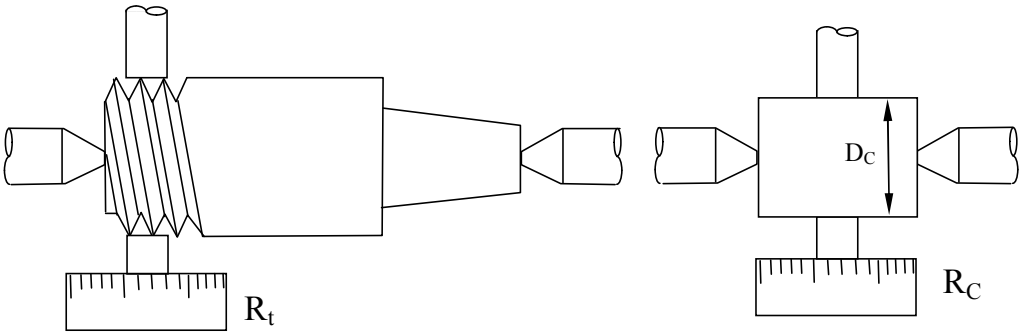
روش آزمایش:

به‌طریقه‌های زیر قسمت‌های مهم پیچ را اندازه‌گیری نمایید:

۱-قطر خارجی:

مطابق شکل ۲-۲۲ و ۳-۲۲، با دستگاه اندازه‌گیری قطر بدین طریق اندازه برداری می‌شود که اول قطعه استوانه‌ای شکل دقیق را که قطرآن معلوم است را بین دو سر مرغک قرار داده و با میکرومتر دستگاه مقدار R_C را یادداشت کنید. سپس پیچ را بین دو مرغک قرار داده و عدد R_t را با میکرومتر بخوانید. با دانستن D_C قطر قطعه استوانه‌ای، قطر خارجی پیچ از رابطه (۱-۲۲) به دست می‌آید.

$$D_{\max} = D_C + \left(R_t - R_C\right) \qquad (۲۲-۱)$$

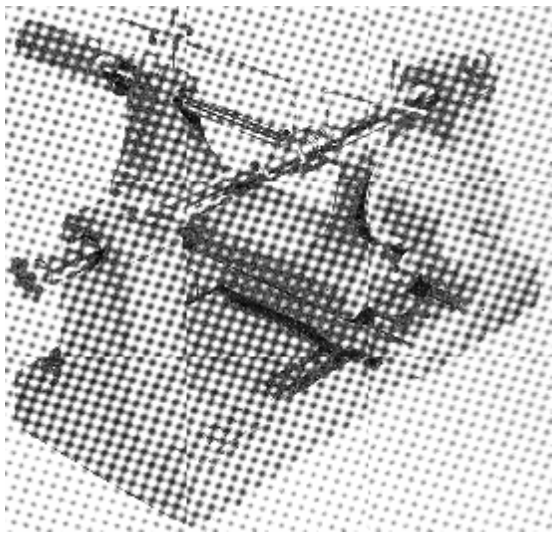


شکل ۲-۲۲: اندازه‌گیری قطر خارجی توسط میکرومتر مرغک‌دار

این قسمت آزمایش برای ۹ نقطه انجام می‌شود. قطر خارجی از رابطه ۱-۲۲ محاسبه می‌شود. مقادیر اندازه‌گیری شده از آزمایش قطر خارجی را در جدول ۱-۲۲ بنویسید.

جدول ۱-۲۲: مقادیر آزمایش قطر خارجی

Dc=	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rt									
Rc									
Dmax									



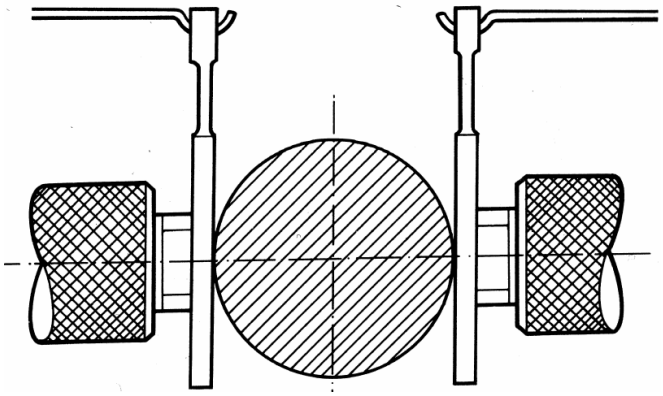
شکل ۳-۲۲: ماشین اندازه‌گیری قطر پیچ [۱۰]

۲ _ قطر داخلی:

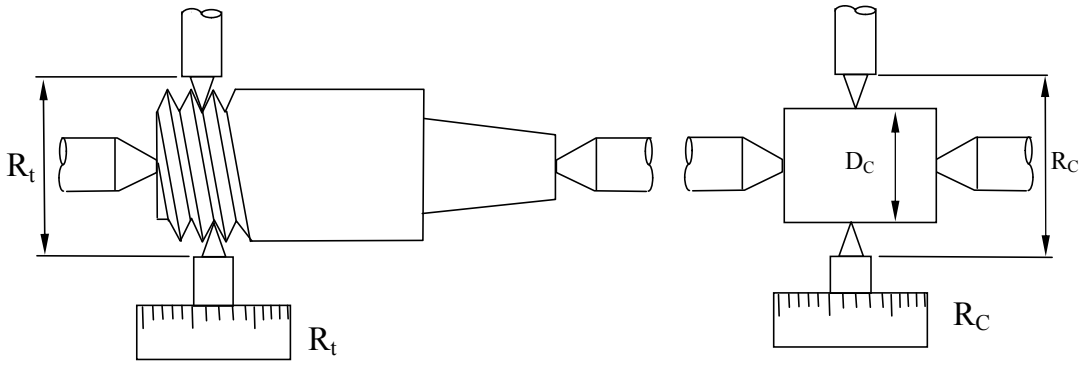
مطابق شکل ۴-۲۲، دومنشور مناسب که زاویه راس آنها کمتر از زاویه دنده باشد را انتخاب و به قلاب‌های دستگاه اندازه گیرقطر آویزان کنید. مطابق شکل ۵-۲۲، قطعه استوانه ای را بین دومرغک

قرار داده و با قرار دادن دو منشور بین دو فک میکرومتر و روی قطر استوانه مقدار R_C و سپس پیچ را بین دو مرغک قرار داده و منشورها را داخل دنده پیچ نموده وبا میکرومتر موجود R_t رابخوانید. بنابراین قطر داخلی D_{min} از رابطه ۲-۲۲ حساب می‌شود.

$$D_{\min} = D_C + \left(R_t - R_C\right) \qquad (۲۲-۲)$$



شکل ۴-۲۲: نحوه کاربرد منشور در اندازه‌گیری قطر داخلی توسط میکرومتر مرغک‌دار [۱۰].



شکل ۵-۲۲: اندازه‌گیری قطر داخلی توسط میکرومتر مرغک‌دار.

این آزمایش نیز برای ۹ نقطه انجام می‌گیرد. مقادیر اندازه‌گیری شده از آزمایش قطر داخلی را در جدول ۲-۲۲ بنویسید.

جدول ۲-۲۲: مقادیر آزمایش قطر داخلی

Dc=	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rt									
Rc									
Dmin									

۳_ قطر موثر ساده:

با دانستن اندازه گام و زاویه پیچ جهت اندازه‌گیری قطر موثر ساده، قطر سیم مناسبی را طبق معادله ۳-۲۲ محاسبه نمایید.

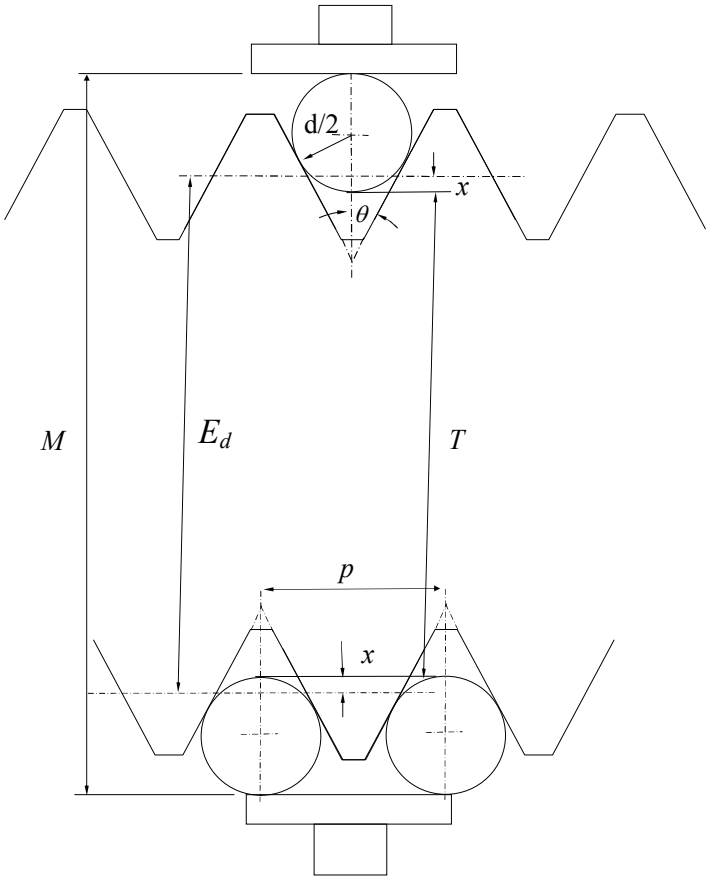
$$d = \frac{p_{nom}}{2\,Cos\theta} \qquad (۲۲-۳)$$

که P_{nom} گام اسمی پیچ و θ زاویه دندانه پیچ است. سپس مطابق شکل ۵-۲۲، سیمی با همان اندازه و یا بزرگتر انتخاب و عینا" مانند اندازه‌گیری قطر خارجی مقدار بیرون تا بیرون سیم‌ها (M) را وقتی که بین رزوه‌ها قرار دارد، اندازه گرفته و سپس با کسر دو برابر قطر سیم، اندازه زیر تا زیر سیم‌ها (T) را به‌دست آورید. از روی فرمول ۴-۲۲ قطر موثر ساده محاسبه می‌شود.

$$E_d = T + 2x - C + e \qquad (۲۲-۴)$$

که C ضریب تصحیح برای شکل مارپیچ دنده‌هاست و e ضریب تصحیح فشار الاستیکی است. x نیز از رابطه ۵-۲۲ به‌دست می‌آید.

$$x = \frac{p_{nom}}{4} Cot\,\theta - \frac{d}{2}\left(Csc\,\theta - 1\right) \qquad (۲۲-۵)$$



شکل۶-۲۲: اندازه‌گیری قطر موثر ساده پیچ توسط میکرومتر و سیم.

.مقادیر C وe در جدول ۳-۲۲ داده شده است.

جدول ۳-۲۲: مقادیرe ضریب تصحیح فشار الاستیکی وC ضریب تصحیح شکل مار پیچ دنده ها

e ضریب تصحیح فشار الاستیکی	C ضریب تصحیح شکل مار پیچ دنده ها	نوع پیچ
میلی متر0.0005	میلی متر0.00125	پیچ متریک با گام 1.75mm

میلی متر0.0003	میلی متر0.001	پیچ متریک با گام 6mm

مقادیر اندازه‌گیری شده از آزمایش قطر موثر ساده را در جدول ۴-۲۲ بنویسید.

جدول ۴-۲۲: مقادیر آزمایش قطر موثر ساده

p	θ	d	x	M	T	Ed

۴ _گام:

پیچ را بین دو مرغک روی دستگاه اندازه‌گیری گام سوار کرده و سوزن مناسبی برای آن انتخاب و سوزن را داخل دهانه دنده بیاورید تا شاخص مقابل خط وسط قرار گیرد. میکرومتر را بخوانید و سوزن را بوسیله میکرومتر به دنده بعدی منتقل کرده تا شاخص بار دیگر در مقابل خط وسط قرار گیرد . در این حالت میکرومتر را بخوانید و از مقدار اولی کم کرده و با مقایسه با گام اسمی خطای موجود را تعیین کنید. بدین ترتیب برای تمام طول پیچ، خطای گام را بدست آورید. عینا"آزمایش را برای طرف دیگر ۱۸۰ درجه پیچ انجام دهید.

جدول ۵-۲۲: مقادیر آزمایش گام

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R1									
R2									
p									

۵ _زاویه دنده:

پیچ را بین دومرغک روی میز میکروسکپ سوار کرده و زاویه دنده پر و خالی آن‌را بدست آورید.

جدول ۵-۲۲: مقادیر آزمایش زاویه.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2θ- Dmax									
2θ– Dmin									

۶ _ قطر موثر حقیقی:

با دانستن قطر موثر ساده، خطاهای گام و زاویه پیچ، این قطر از روابط ۶-۲۲ الی ۸-۲۲ قابل محاسبه ا ست.

$$E_v = E_d + 0.0105p(\delta\theta_1 + \delta\theta_2) + 1.920\,\delta p \quad \text{(Withworth thread)} \qquad (۲۲-۶)$$

$$E_v = E_d + 0.0098p(\delta\theta_1 + \delta\theta_2) + 1.73\,\delta p \quad \text{(Unified thread)} \qquad (۲۲-۷)$$

$$E_v = E_d + 0.0115p(\delta\theta_1 + \delta\theta_2) + 1.732\,\delta p \quad \text{(Metric thread)} \qquad (۲۲-۸)$$

که روابط ۶-۲۲ الی ۸-۲۲ برای پیچ های مختلف قابل استفاده می‌باشند.

نتایج آزمایش:

معدل قطر داخل و معدل قطر خارج پیچ را از روی مقادیر حاصل شده و همچنین تلرانس آن‌ها را بنویسید و قطرموثرساده، گام، زاویه و قطر موثر حقیقی پیچ را نیز به دست آورید. نموداری برای خطای گام دنده پیچ بکشید و نوع آن را تعیین کنید.

بحث و اظهار نظر:

خطای هر مورد را بررسی و علت های آن را بنویسید. دقت هر قسمت آزمایش را شرح دهید.

آزمایش شماره(۲۳): زبری سنجی

موضوع آزمایش:

اندازه‌گیری و مقایسه ناصافی سطوح.

وسایل آزمایش:

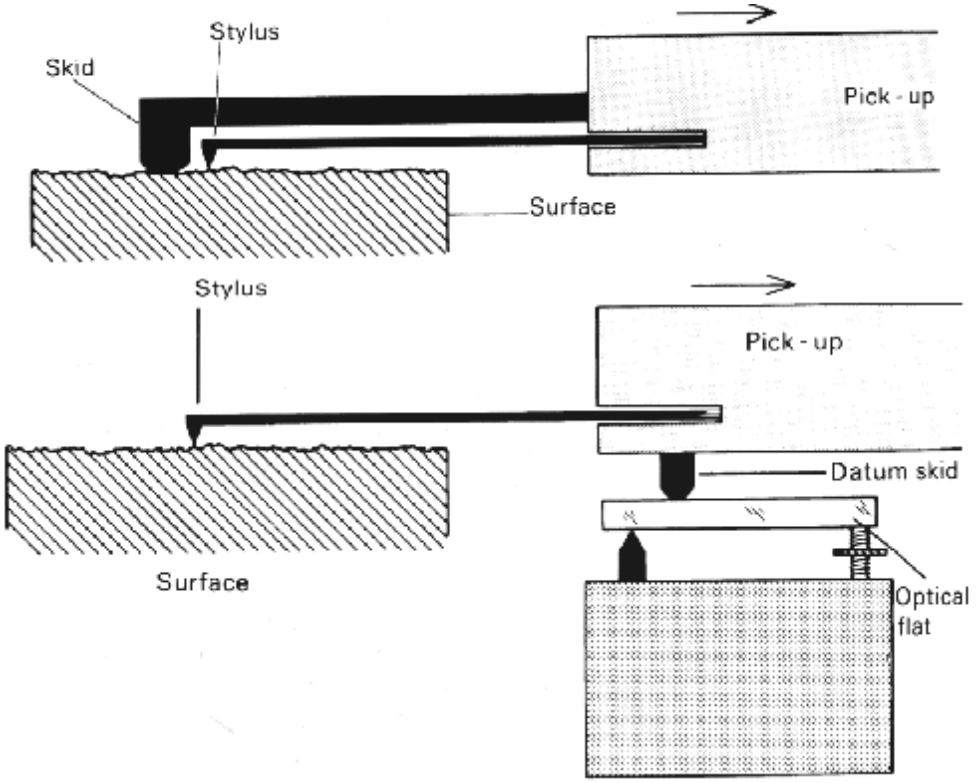
دستگاه اندازه‌گیری ناصافی سطح(surf tester) ، قطعات کار که سطح آنها با روش‌های مختلف ذکر شده در جدول ۱-۲۳ تولید شده است.

جدول ۱-۲۳: انواع روش‌های ماشینکاری.

۱	۲	۳	۴	۵
فرز	صفحه تراش	سنگ خورده(دو طرف)	لپ زده شده	سنگ خورده(یک طرف)

تئوری آزمایش:

شکل ۱-۲۳ دو روش اسکن سطح نسبت به سطوح مبنی مختلف را نشان میدهد.

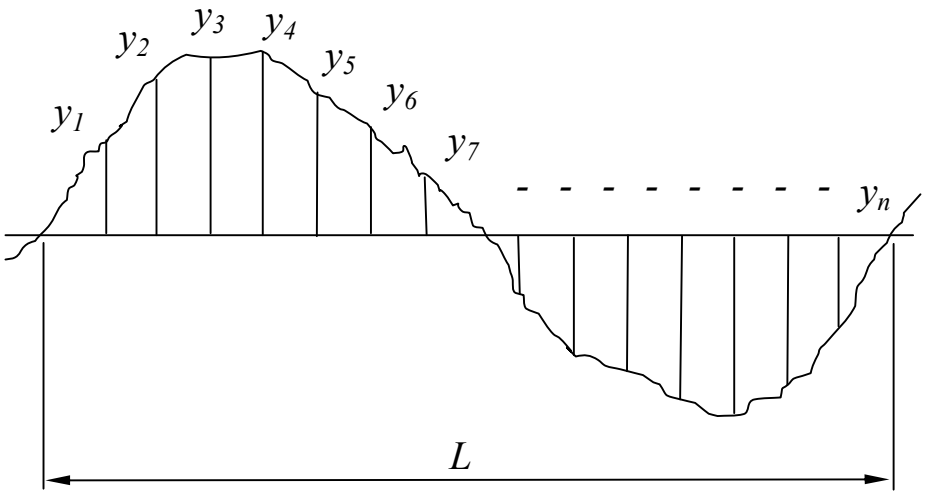


شکل ۱-۲۳: دو روش اسکن سطح نسبت به سطح مبنا [۱۴].

مقدار معدل ناصافی سطح از رابطه ۱-۲۳ محاسبه میشود

$$R_a = \frac{|y_1| + |y_2| + \cdots + |y_n|}{n} \qquad (۲۳-۱)$$

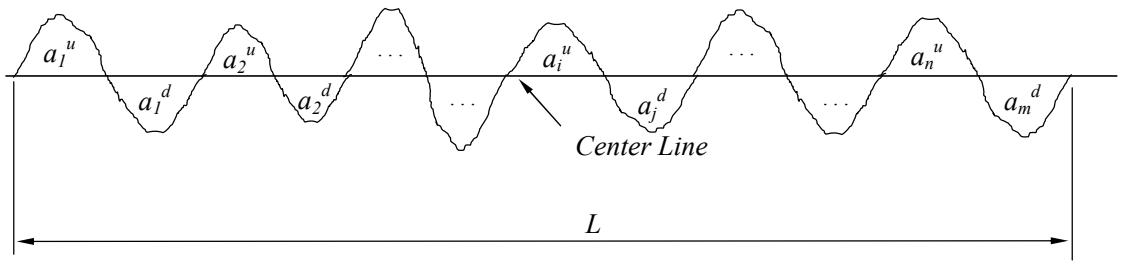
که n تعداد اندازه های گرفته شده در یک طول معین L (Cut off) و $|y_1| + |y_2| + \cdots + |y_n|$ جمع قدر مطلق های مقادیر اندازه گرفته شده مطابق شکل ۲-۲۳ می باشد.



شکل ۲-۲۳:یک قرو رفتگی و بر آمدگی در زبری سنجی

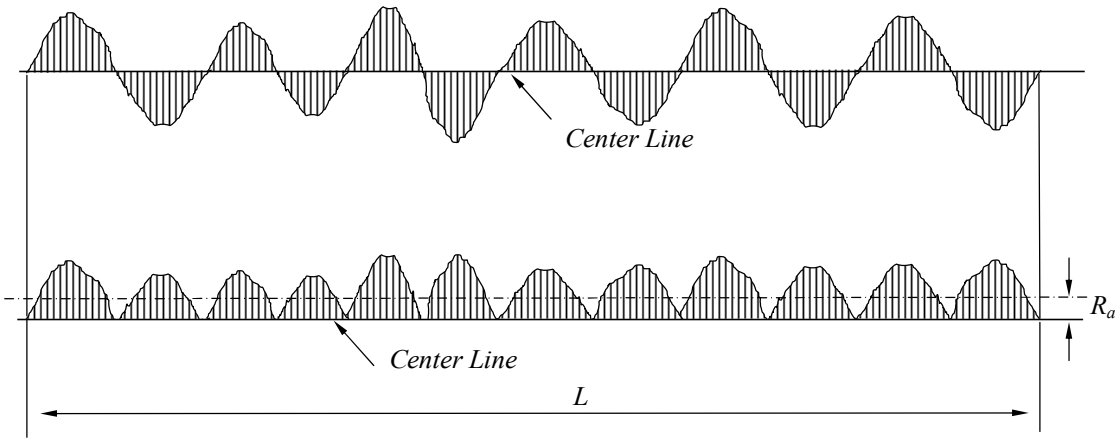
معادله ۱-۲۳ موقعی صادق است که مطابق شکل ۳-۲۳ جمع سطوح بالا و پائین نسبت به خط مرکزی با یکدیگر برابر باشند. لذا مطابق رابطه (۲-۲۳) داریم:

$$\sum_{i=1}^{n} a_i^u - \sum_{j=1}^{m} a_j^d = 0 \qquad (۲۳-۲)$$



شکل ۳-۲۳: سری مساحت‌های قرو رفتگی و بر آمدگی های سطح و خط مرکزی

پارامتر R_a در شکل ۴-۲۳ به‌طور هندسی نشان داده شده است.



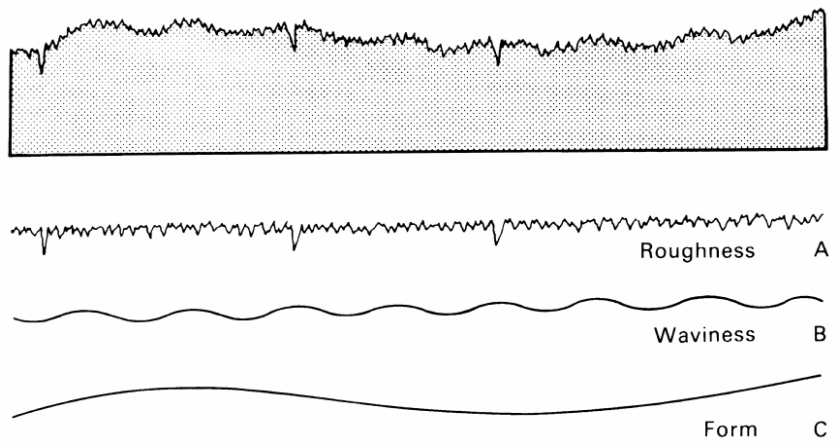
شکل ۴-۲۳: قرو رفتگی و بر آمدگی های سطح

شایان ذکر است که روش ارائه شده در این قسمت، یکی از روش‌های موجود جهت تعریف زبری است که کاربردی‌ترین آن‌هاست. روش‌های مختلف و متنوع دیگری جهت این تعریف وجود داردکه در سیستم‌ها و کشورهای مختلف از آن‌ها استفاده می‌شود.

جدول ۲-۲۳ انواع زبری روی سطوح قطعات ماشینکاری شده را بر اساس نوع روش‌های ماشینکاری دسته بندی می‌کند.

جدول ۲-۲۳: زبری حاصل از انواع روش‌های ماشینکاری [۱۴].

Process	Roughness (R_a) in μm										
	0·05	0·1	0·2	0·4	0·8	1·6	3·3	6·3	12·5	25
Superfinishing	■	■								
Lapping	■	■	■							
Polishing		■	■							
Honing		■	■	■						
Grinding		■	■	■	■					
Boring				■	■	■	■	■		
Turning				■	■	■	■	■		
Drilling						■	■	■		
Extruding					■	■	■			
Drawing					■	■	■			
Milling					■	■	■	■		
Shaping					■	■	■	■	■	■
Planing					■	■	■	■	■	■



شکل ۵-۲۳: پارامترهای مختلف در اسکن سطح نسبت به سطح تخت [۱۴].

شکل ۵-۲۳ پارامترهای اساسی یک سطح را نشان می‌دهد که شامل زبری سطح (Roughness)، اعوجاج (Waviness) و همچنین شکل کلی سطح (Form) است. زبری بر روی اعوجاج و اعوجاج نیز بر روی شکل کلی سطح سوار می‌شوند. مطابق شکل ۶-۲۳ شکل کلی سطح می‌تواند به‌صورت‌های محدب (convex)، مقعر (concave) ویا مستوی و هموار (plane) باشد. اما آن‌چه که به عنوان سطح تخت (flat) شناخته می‌شود آن است که شکل کلی سطح هموار و مستوی بوده، عاری از اعوجاج باشد و زبری آن نیز حداقل ممکن باشد.

شکل ۶-۲۳: صورت‌های مختلف شکل کلی سطح (form).

روش آزمایش:

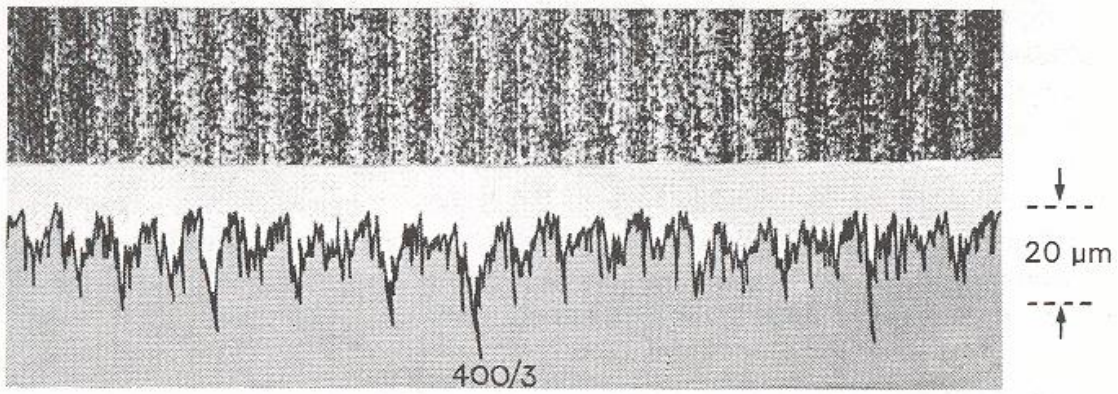
سوزن را موازی سطحی که باید سنجیده شود، قرار دهید. سوزن باید موازی حرکت کاغذ ضبط کننده حرکت نماید. مقدار cut off را روی ۰/۸ بگذارید و کلید را روشن و روی ۱۰ قرار بدهید (در این حالت مقدار بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر است).

برای ۱۵ میلی‌متر طول هر کدام از ۵ قطعه شکل ناصافی سطوح آن‌ها را ضبط نمایید.

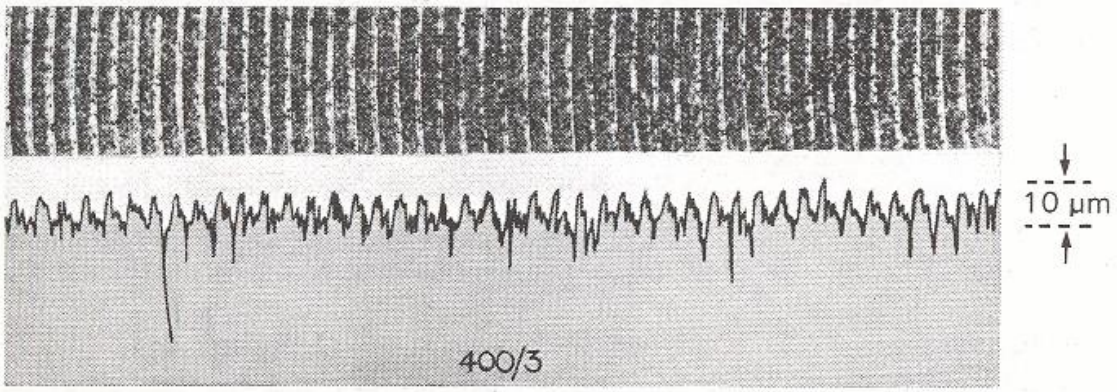
نتایج آزمایش:

حداکثر پستی و بلندی ناصافی هر سطح را بنویسید و کاغذهای ضبط‌کننده را ضمیمه نمایید.

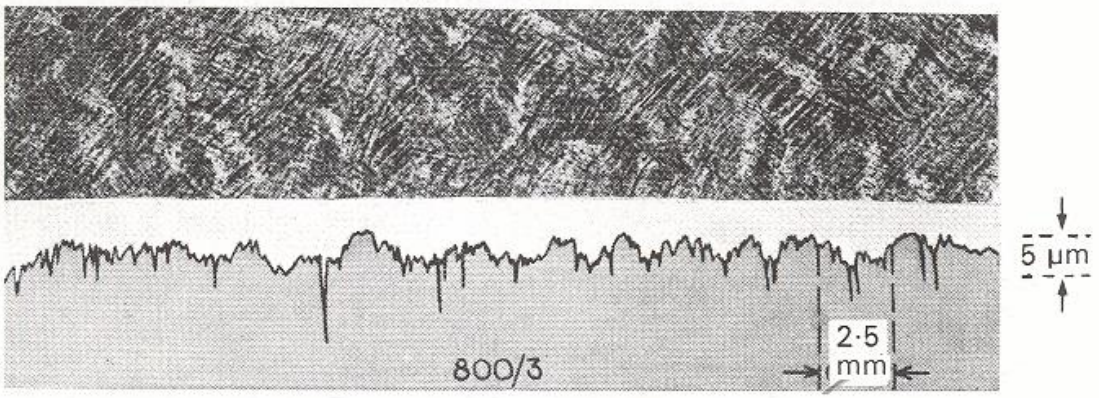
.



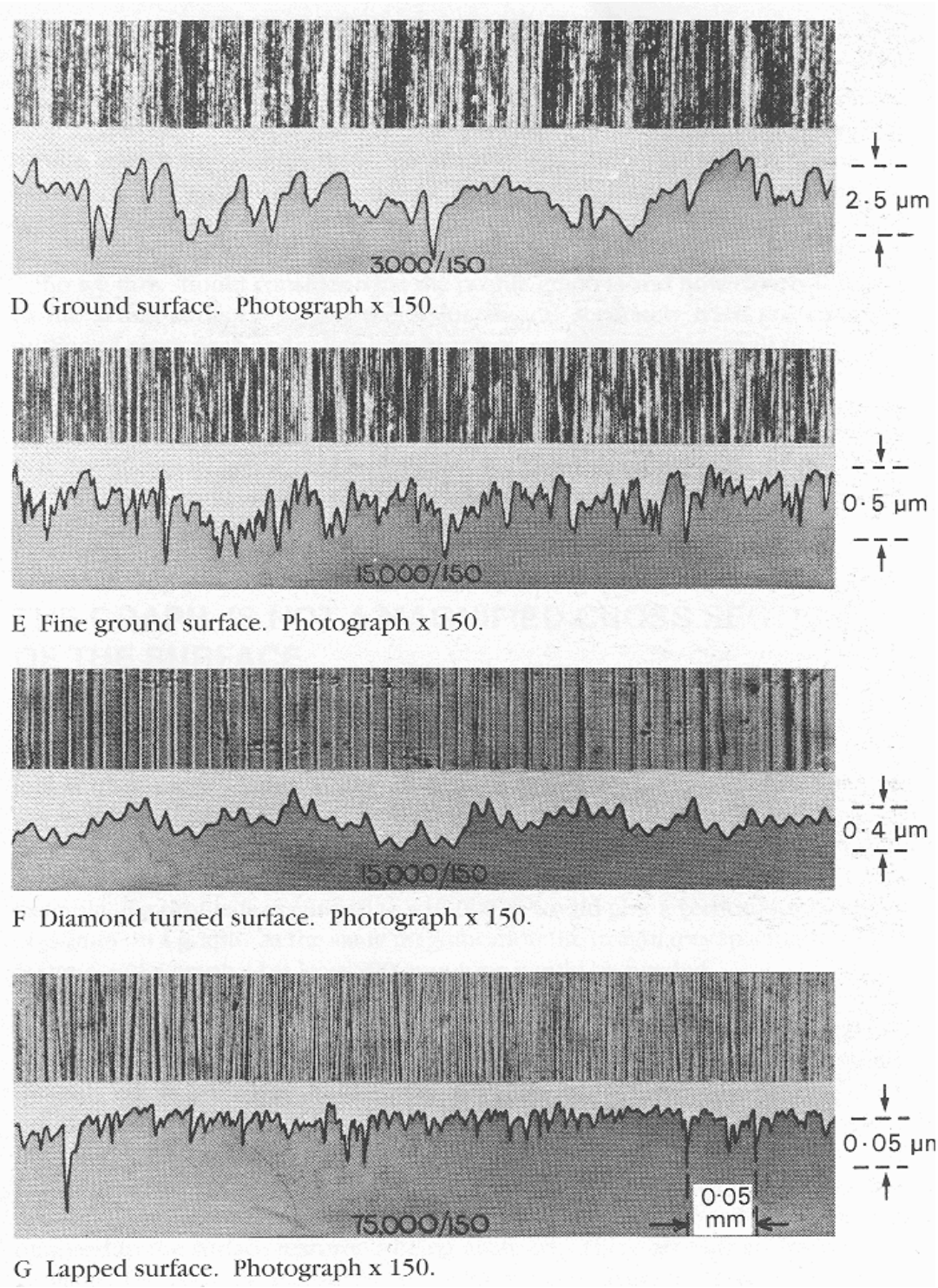
A Shaped surface. Photograph x 3.



B End milled surface. Photograph x 3.



C Scraped surface. Photograph x 3.



شکل ۳-۲۳: زبری حاصل از انواع روش‌های ماشینکاری [۱۴]

بحث و اظهار نظر:

مقادیر ناصافی ۵ قطعه را مقایسه و بنویسید. هر کدام از این سطوح در چه قسمت از یک محصول صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند؟

آزمایش شماره(۲۴): کالیبراسیون کمپراتور بادی

مرحله اول:

هدف آزمایش:

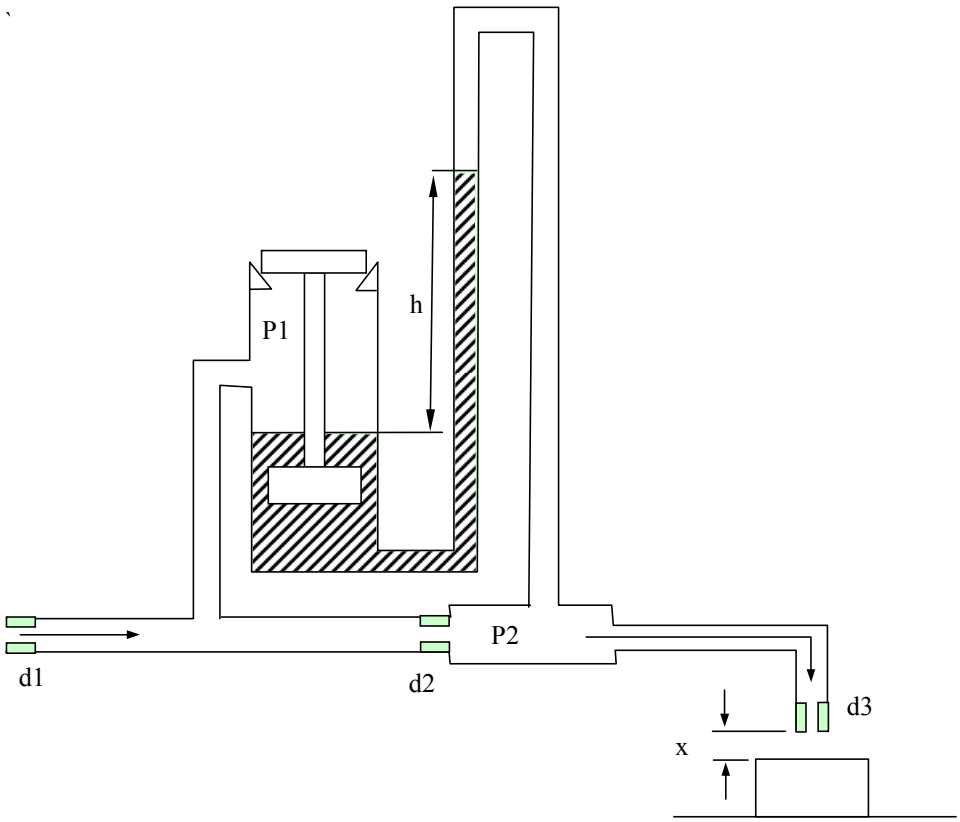
کالیبراسیون کمپراتور بادی واندازه‌گیری خطای واریانس.

وسایل آزمایش:

کمپراتور بادی، جعبه قطعات اندازه و وسایل لازم جهت درجه‌بندی.

شرح وسایل آزمایش:

کمپراتور بادی- در شکل۱-۲۴، طرح شماتیک کمپراتور بادی نشان داده شده است. نحوه کار بدین صورت است که خط فشار از نازل ورودی وارد دستگاه می‌شود. هوا در ابتدای ورود به دو مسیر تقسیم می‌شود. یکی پشت مایع مخزن قرار می‌گیرد و مسیر دیگر هم از نازل ۲ خارج می‌شود. سیستم شناور و خروجی هوای بالای آن باعث می شود که فشار P1 همیشه ثابت بماند.



شکل ۱-۲۴: تصویر شماتیک کمپراتور بادی (هوایی).

هر چه فشار سیستم بیشتر شود شناور بالاتر رفته و خروجی هوا بیشتر باز می‌شود. به این ترتیب فشار P1 ثابت می‌شود و پس از اینکه جریان هوا از نازل ۲ خارج شد، فشار آن افت پیدا کرده و به P2

می‌رسد. این فشار در سمت مقابل مایع قرار می‌گیرد و از سمت دیگرجریان هوا از نازل ۳ خارج می‌شود.
حال صفحه‌ای مقابل نازل ۳ قرار می‌دهیم، هر چه صفحه به نازل نزدیکتر شود فشار P2 بیشتر می‌شود. وقتی مسیر خروجی نازل ۳ کاملاً بسته شود، خواهیم داشت:

$$P_1 = P_2 \qquad (۲۴-۱)$$

در این حالت سطح دو ستون مایع یکی می‌شود. اگر در مقابل نازل ۳ چیزی قرار نگیرد، فشار P2 برابر با فشار اتمسفر می‌شود و ستون مایع در حداکثر مقدار خود قرار می‌گیرد. در نتیجه با تغییر فاصله x (فاصله صفحه با نازل خروجی) تغییر ارتفاع در ستون مایع h به وجود می‌آید. h از رابطه ۲-۲۴، حاصل می‌گردد.

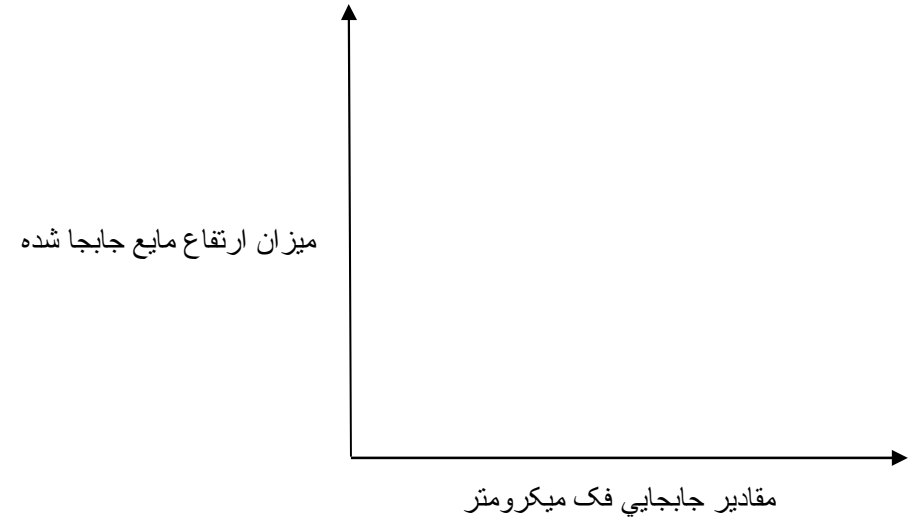
$$h = \frac{P_2 - P_1}{\rho\, g} \qquad (۲۴-۲)$$

که ρ چگالی سیال و g شتاب جاذبه زمین می‌باشد. و x از رابطه ۳-۲۴، بدست می‌آید.

$$x = \frac{d_2^2 \sqrt{P_1 - P_2}}{d_3 \sqrt{P_2 - P_{atm}}} \qquad (۲۴-۳)$$

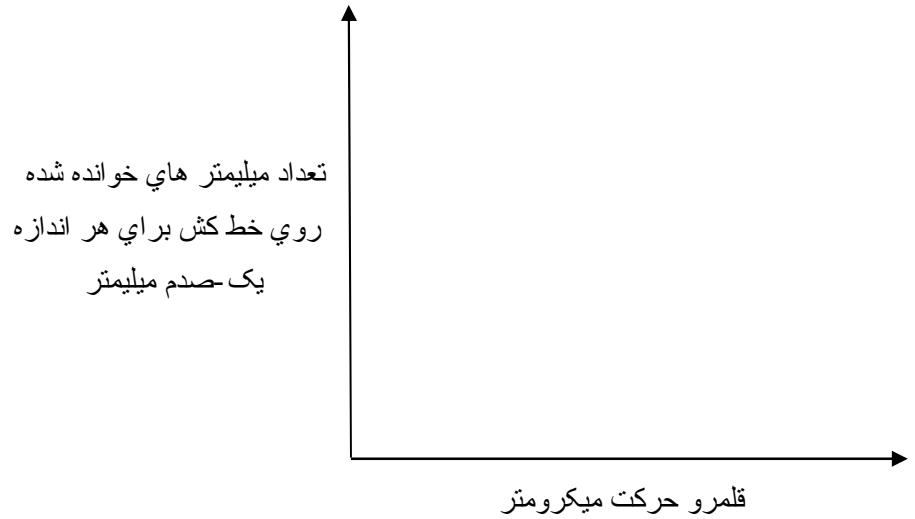
روش آزمایش:
ابتدا از اتصالات هوا روی کمپراتور و بسته بودن شیر هوای روی کمپرسور مطمئن شوید.
کمپرسور را روشن کنید تا فشار هوای مخزن به حد مطلوب برسد. (حدود ۵ بار)
میکرومتر مقابل پراب را طوری تنظیم کنید که هوا از پراب خارج نشود.
شیر هوای روی کمپرسور را به آرامی باز کنید تا شناور داخل رگلاتور فشار به حالت شناوری برسد.
در مقابل لوله شیشه ای یک نوار نصب کنید تا عمل درجه بندی (Scaling) روی آن انجام شود.
در این حالت سطح مایع را روی نوار علامت بزنید.
میکرومتر را به اندازه‌هایmm ۰/۰۱ به دفعات باز کرده و به ازای هر دور باز کردن میکرومتر، سطح مایع را روی نوار علامت بزنید.
این عمل را تا جایی انجام دهید که باز کردن میکرومتر تاثیری بر سطح مایع نداشته باشد.
این عمل را به صورت معکوس (میکرومتر را ۰/۰۱ ببندید) تکرار کرده تا خطای واریانس مجموعه بدست آید.

نتایج آزمایش:
اعداد بدست آمده را در جهت بازکردن و بستن میکرومتر روی یک نمودار مشابه شکل ۲-۲۴ با هم مقایسه کنید.



شکل ۲-۲۴: شماتیک محورهای منحنی جابجایی ارتفاع مایع نسبت به جابجایی فک میکرومتر

۲-زینه‌بندی (Resolution) متغیر دستگاه را در یک نمودار مانند شکل ۳-۲۴ نسبت به قلمرو حرکت میکرومتر نشان دهید.



شکل ۲-۲۴: شماتیک محورهای منحنی زینه‌بندی متغیر دستگاه نسبت به قلمرو حرکت میکرومتر

بحث و اظهار نظر:

علت خطای واریانس چیست؟

علت خطی نبودن Resolution چیست؟

روش‌های مناسب جهت افزایش قلمروی دستگاه چیست؟

مرحله دوم:

هدف آزمایش: کنترل قطعات صدمه خورده.

وسایل آزمایش:
کمپراتور بادی، جعبه قطعات اندازه، وسایل جهت درجه بندی و قطعات اندازه صدمه خورده.
روش آزمایش:
ابتدا از اتصالات هوا روی کمپراتور و بسته بودن شیر هوای روی کمپرسور مطمئن شوید.
کمپرسور را روشن کنید تا فشار هوای مخزن به حد مطلوب برسد. (حدود ۵ بار)
میکرومتر مقابل پراب را طوری تنظیم کنید که هوا از پراب خارج نشود.
شیر هوای روی کمپراسور را به آرامی باز کنید تا شناور داخل رگلاتور فشار به حالت شناوری برسد.
در مقابل لوله شیشه‌ای یک نوار نصب کنید تا عمل درجه بندی روی آن انجام شود.
برای علامت زدن حد بالا و پایین قطعه با استفاده از قطعات اندازه آزمایشگاهی دو حد بالا و پایین را بسازید.
دو قطعه ساخته شده را در دستگاه قرار داده و حدود را علامت بزنید.
قطعه مورد نظر جهت اندازه‌گیری را زیر پراب دستگاه قرار داده و حدود را علامت بزنید.
این کار را برای چند قطعه انجام دهید.

نتایج آزمایش:
سالم یا ناسالم بودن قطعه را مشخص کنید.

بحث و اظهار نظر:
چه پیشنهادی جهت بهبود نتایج اندازه‌گیری دارید؟
مزیت استفاده از این روش چیست و در چه محیط‌هایی استفاده از این روش کاربرد بهتری دارد؟

آزمایش شماره(۲۵): کنترل توازی لیزری

مرحله اول:

هدف آزمایش:

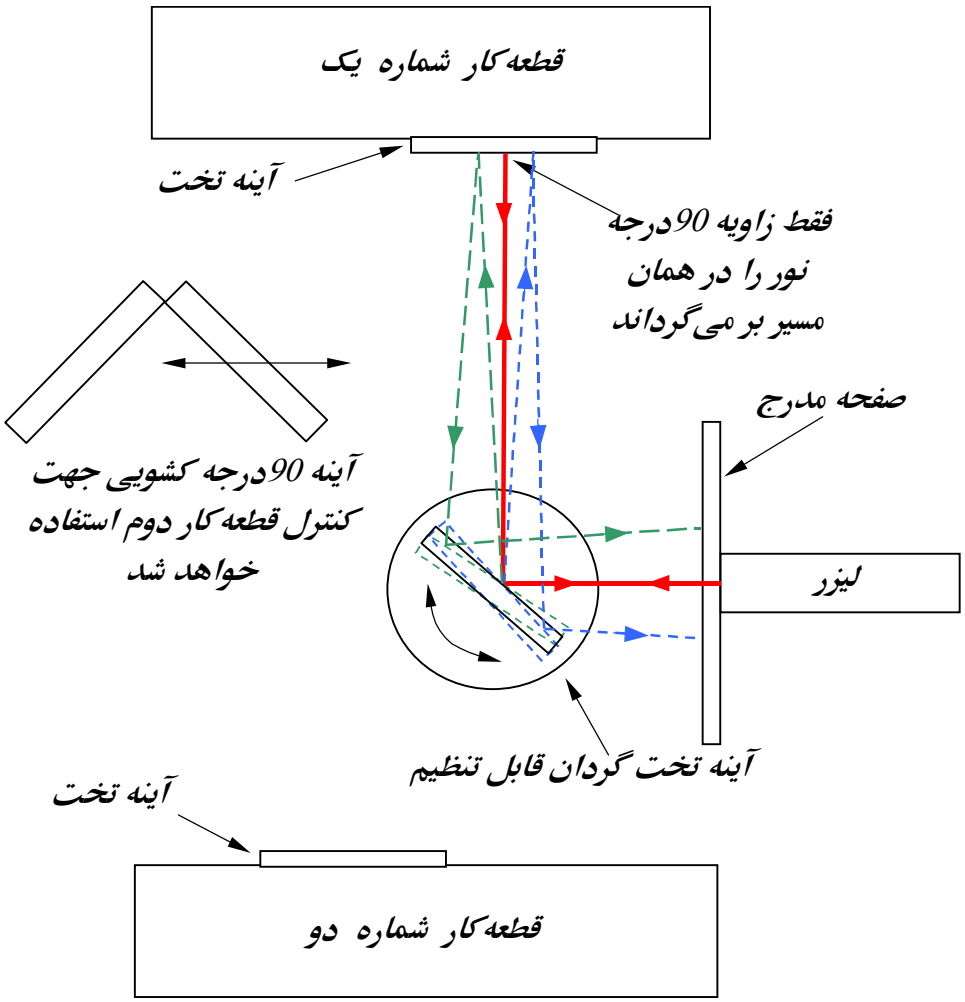
موازی کردن دو سطح توسط موازی سنج لیزری

وسایل آزمایش:

دستگاه موازی سنج لیزری، لیزر، دو آینه با سطح رویی نقره اندود، چسب جهت چسباندن آینه ها

شرح وسایل:

مطابق شکل ۱-۲۵، این وسیله از یک محل جهت نصب لیزر، یک آینه چرخان و دو آینه عمود بر هم، که حرکت لغزشی بر روی یک محور دارد، تشکیل شده است.



شکل ۱-۲۵: نمای شماتیک کاربرد موازی سنج لیزری

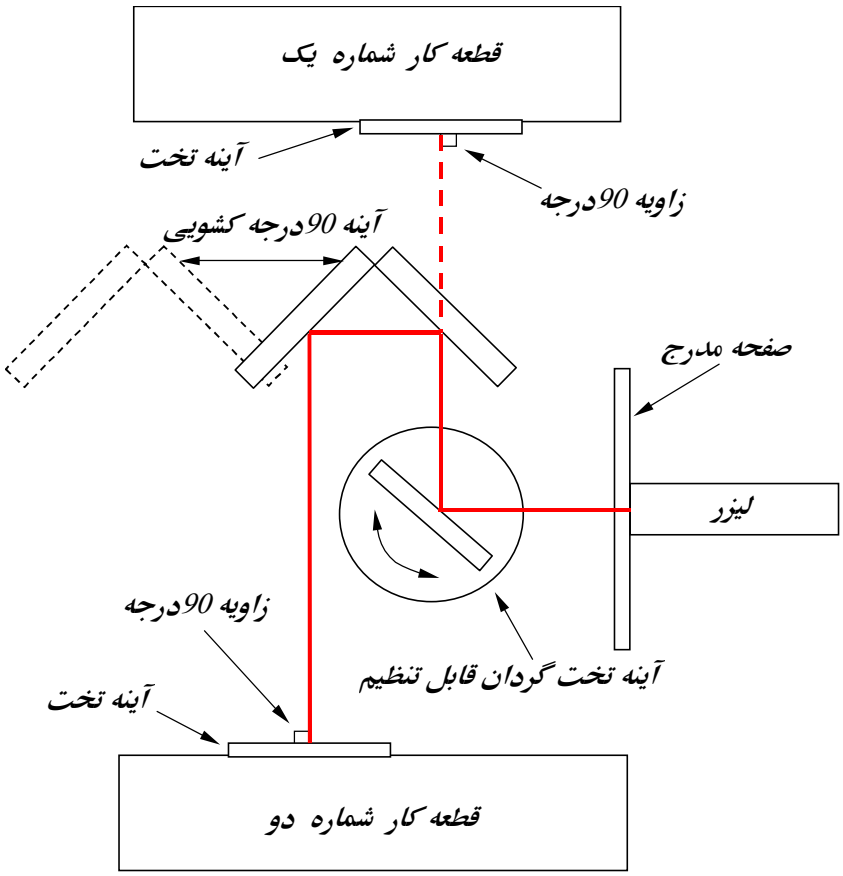
روش آزمایش:

ابتدا دو آینه که روی آنها نقره اندود است، برروی هر یک از دو سطح که می خواهید آنها را موازی کنید، بچسبانید.

دو سطح را در دو طرف محل تعبیه شده برای لیرز و موازی با جهت اشعه لیزر، قرار دهید.

لیزر را از محل نصب شده بر روی دستگاه به آینه چرخان بتابانید.

مطابق شکل ۱-۲۵، آینه چرخان را آنقدر بچرخانید تا لیزر بر روی مسیر خود از سطح آینه (سطح مورد آزمایش) بارتابش شود. در این حالت لیزر بر روی مسیر خود به سوراخ تابش بازخواهد گشت.(چرا؟)



شکل ۲-۲۵: نمای شماتیک کاربرد موازی سنج لیزری در موازی کردن دو سطح.

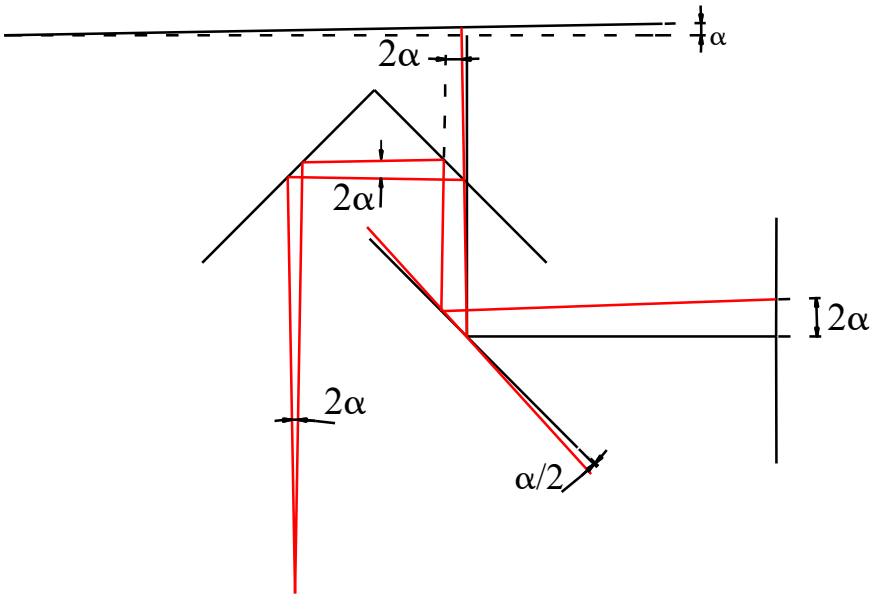
مطابق شکل ۲-۲۵، آینه های عمود بر هم [۱۵] را بر روی مسیر لیزر قرار دهید تا لیزر از سطح دو آینه بازتاب شده به سطح دیگر مورد آزمایش بازتاب شود.

سطح دوم مورد آزمایش را آن‌قدر بچرخانید تا لیزر بر روی مسیر خود به سوراخ تابش آن برگردد. در این شرایط دو سطح با هم موازی هستند. (چرا؟)

مرحله دوم:

هدف آزمایش:

مطابق شکل ۳-۲۵، یافتن انحراف از موازی بودن(Out of parallelism) دو سطح غیر موازی با دیمانسیون زاویه (بی بعد)



شکل ۳-۲۵: نمای شماتیک کاربرد موازی سنج لیزری و انحراف اشعه.

وسایل آزمایش:

دستگاه موازی سنج لیزری، لیزر، دو آینه با سطح نفره اندود، چسب جهت چسباندن آینه ها، وسایل مختلف اندازه‌گیری خطی، جهت یافتن بعضی اندازه ها بر روی دستگاه.

روش آزمایش:

ابتدا دو آینه که روی آنها نقره اندود است را بر روی هر یک از دو سطح که می خواهید انحراف از موازی بودن آنها را بسنجید، بچسبانید.

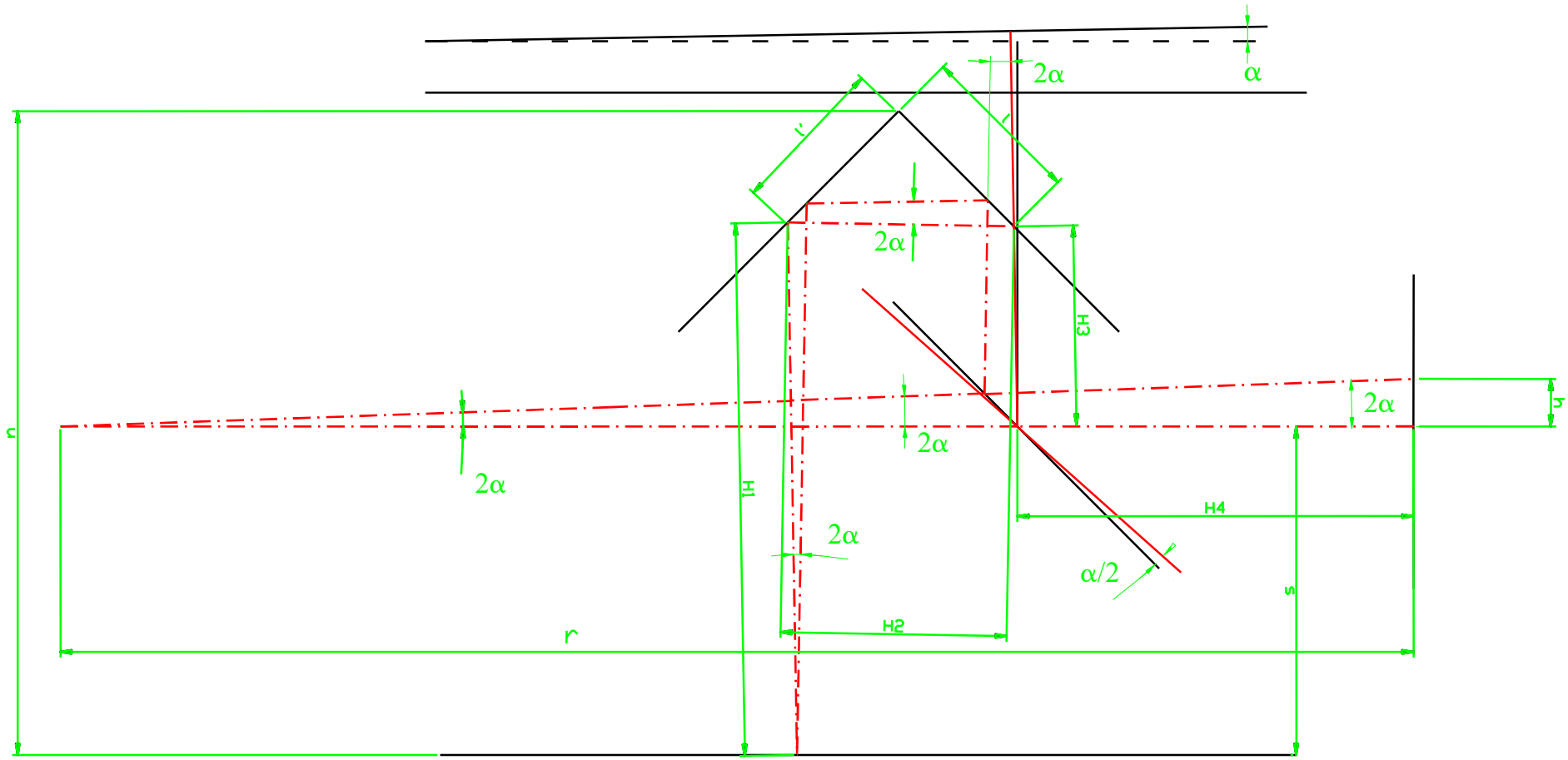
دستگاه را بین دو سطح مورد نظر قرار دهید.

ابتدا لبه پایینی (سطح دوم) دستگاه را به سطح دوم مورد آزمایش تکیه دهید.

از تماس کامل دو سطح مطمئن شوید.

لیزر را از محل نصب شده بر روی دستگاه به آینه چرخان بتابانید.

آینه چرخان را آنقدر بچرخانید تا لیزر بر روی مسیر خود از سطح آینه (سطح اول مورد آزمایش) بازتابش شود. در این حالت لیزر بر روی مسیر خود به سوراخ تابش برخواهد گشت.



شکل ۴-۲۵: نمای شماتیک کاربرد موازی سنج لیزری و انحراف اشعه در مرحله دوم.

آینه‌های عمود برهم را در مسیر لیزر قرار دهید تا لیزر از سطح دو آینه بازتاب شده و به سطح دیگر مورد آزمایش بازتاب شود.
مقدار انحراف بر روی مقیاس دستگاه را یادداشت کنید.
اندازه‌های لازم برای به دست آوردن انحراف از موازی بودن دو صفحه را با وسایل مختلف اندازه‌گیری و با ابتکار شخصی به دست آورید.

توضیحات لازم در مورد محاسبه پارامتر موردنظر:
طبق شکل ۴-۲۵، اگر α میزان انحراف دو سطح باشد، رابطه۱-۲۵، را داریم:

$$tg2\alpha = \frac{h}{r} = \frac{h}{H_1 + H_2 + H_3 + H_4}, r = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 \qquad (۲۵-۱)$$

و مقادیز H1، H2، H3 و H4 از روابط ۲-۲۵ و ۳-۲۵ حاصل می‌گردند.

$$H_1 = \frac{n - l'\cos 45^0}{}, H_2 = \frac{l}{Sin(45+\alpha)} \qquad (۲۵-۲)$$

$$H_3 = \frac{n - s - l\cos 45^0}{\cos\alpha}, H_4 = cte \qquad (۲۵-۳)$$

چند نکته:
۱- این دستگاه با این ملحقات برای اندازه‌گیری انحراف از توازی بسیاراندک مورد استفاده قرار می‌گیرد.
۲- برای انحراف های بزرگ (در حد درجه) احتیاج به آینه های عمود بر هم نیست.(چگونه؟)

نتایج آزمایش:
۱- مقادیر مورد نیاز جهت اندازه‌گیری، کدام پارامتر ها هستند، مقدار هریک چقدر است؟
۲- روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری این مقادیر راشرح دهید.
۳- Resolution دستگاه چقدر است؟ آیا می توان آن را بهبود بخشید؟ چگونه؟
۴- در مورد خطای ترکیبی (Compound error) که در قسمت قبل نیز باید مورد توجه قرار گیرد، بحث کنید.
۵- چرا از آینه هایی استفاده شده است که روی آنها نقره اندود است؟
۶- چرا از لیزر در این آزمایش استفاده شده است؟
بحث و اظهار نظر:
۱- از این وسیله چه استفاده های صنعتی می توان کرد؟
۲- چه ملحقاتی می توان به این وسیله اضافه کرد تا دستگاه دقت بالاتری داشته باشد؟

۳- در مورد انواع لیزر نیز بحث کنید. چرا از لیزر نیمه هادی استفاده شده است؟

تشکر و قدردانی

از آقای مهندس دشتی زاده برای فعالیت‌های فراوانی که جهت تهیه مطالب و تصاویر این دستورالعمل انجام داده‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از آقای دکتر عبداله که در سالهای اخیر زحمات زیادی در تدوین دستورالعمل آزمایشگاه متقبل شده اند قدردانی می‌شود. تلاش‌های فراوان آقای مهندس سیامکی در تدوین دستورالعمل اولیه و راه اندازی آزمایشگاه در سال‌های اولیه تاسیس آن، شایسته تقدیر است. از آقایان مهندس شهابی و مهندس باریک بین نیز که در تدوین آزمایش‌های موازی‌سنج لیزری و کمپراتور هوایی کمک کرده‌اند، قدردانی می‌شود.

منابع:

[۱]- جزوه دستوالعمل آزمایشگاه اندازه‌گیری دقیق، گردآوری و تالیف توسط آقای دکتر عبداله، ۱۳۷۹.

[۲]- جزوه دستوالعمل آزمایشگاه اندازه‌گیری دقیق، گردآوری و تالیف توسط آقای مهندس سیامکی، ۱۳۶۲.

[3]- Engineering Metrology, K. J. Hume, Macdonald and co., London, 1963.

[4]- Engineering Precision Measurements, A.W.Judge, Chapman and hall press, 1962.

[5]- Dimensional Mahr, Hand Measuring Instruments, Mahr Corporation Limited., E90, 2000.

[6]- Machine Shop Technology, E. C. Maskiell and M. Galbraith, McGraw Hill publication, New York, 1984.

[7]- Inspection and Gauging, Clifford W. Kennedy, Industrial press, Machinery Publication Co. 1957.

[8]- Mitutoyo Catalog no. E90, Mitutoyo Corporation Limited., E90, 1999.

[9]- Engineering Metrology, E. R. Jain, Khanna Publisher, seventeenth edition 1999, fourth reprint 2001.

[10]- Engineering Metrology, D.M.Anthony, Pergamon Press, 1986.

[11]- Metrology for Engineers, Shotbolt and Galyer , fifth edition, Cassell publishers Ltd, 1990.

[12]- Gears and Gear Production and Measurment, A. C. Parkinson and W. H. Dawney, Sir Isaac Pitman and Sons publisher, London, 1948.

[13]- Handbook of Industrial Metrology, J. Greve, F. W. Wilson, Printece Hall International INC, American Society of Tool and Manufactureing Engineering, 1967.

[14]- Exploring Surface Texture. H. Dagnall, Taylor Hobson Limited, England, 1997,

[15]- Metrology with Autocollimators, K. J. Hume, Hilger and Watts publisher, London, 1965.

منابع الکترونیکی

http://www.lineartools.co.uk

http://www.csufresno.edu

http://www.glue-it.com

http://www.cnsm.csuib.edu

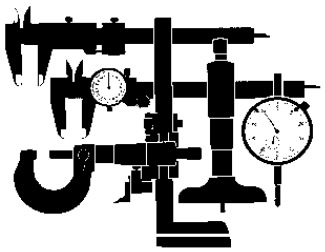
http://www.rit.edu

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی مکانیک

آزمایشگاه مترولوژی

(سیستم‌های اندازه‌گیری دقیق)



نام و نام خانوادگی:

شماره دانشجویی:

عنوان آزمایش:

شماره آزمایش:

شماره گروه:

تاریخ انجام آزمایش:

تاریخ تحویل گزارش آزمایش:

نام استاد: