अध्याय 1

मेट्रोलॉजी-परिचय
(Introduction of Metrology)

1.1 परिचय (Introduction)

विश्व के कई देशों के साथ-साथ अपने देश भारत में भी औद्योगिक प्रगति बहुत तेजी से हो रही है। एक ओर उत्पादकता में अपार वृद्धि हुई है एवं उत्पाद (product) के गुण-स्तर (quality) में काफी सुधार हुआ है। दूसरी ओर रोज नये-नये उत्पाद भी बनाये जा रहे हैं जिस कारण अपने उत्पाद के गुण-स्तर को अन्तर्राष्ट्रीय स्तर (international level) पर बनाये रखने के लिए उसमें लगातार सुधार की भी आवश्यकता होती है। राष्ट्रीय एवं अन्तर्राष्ट्रीय मानक पर खरा उतरने के लिए उत्पाद की उत्पादन प्रक्रियाओं के अन्तर्गत समय-समय पर उसका मापन एवं निरीक्षण (measurement and inspection) करना जरूरी होता है।

उत्पाद के मापन एवं निरीक्षण के लिए विभिन्न प्रकार के मापन यन्त्रों (measuring instruments) का उपयोग एवं प्रयोग किया जाता है। इसके लिए कई प्रकार की मापन विधियाँ अपनायी जाती हैं। व्यावसायिक रूप से जो मापन तथा निरीक्षण फैक्ट्रियों आदि में किया जाता है, उसमें मापनिकी, मापन यंत्र एवं माप-विज्ञान (metrology) का काफी महत्व है। इस प्रकार हम कह सकते हैं कि मापन यन्त्रों एवं मापन विधियों का निर्धारण इस प्रकार करना चाहिए कि निर्मित वस्तु का उत्पादन-मूल्य सीमा से अधिक न बढ़ने पाये अर्थात् बाजार के अनुरूप हो तथा उत्पादन में समय भी ज्यादा न लगने पाये।

किसी उत्पाद का निर्माण करने के लिए उत्पाद को कई चरणों जैसे उत्पादन-प्रक्रिया, डिजाइन, प्रोडक्शन, निरीक्षण, एसेम्बली तथा टेस्टिंग आदि के दौर से गुजरना पड़ता है। इन सभी प्रक्रियाओं को पूरा करने में उस प्रक्रिया में लगे सभी कर्मियों यानि टेक्नीशियन, सुपरवाइजर, इन्जीनियर आदि को माप विज्ञान (metrology) का भली-भाँति ज्ञान होना अति आवश्यक है ताकि बनने वाले उत्पाद की गुणवत्ता (quality) निर्धारित मानकों (standards) के अनुसार हो।

उत्पाद को बनाने के लिए सर्वप्रथम उस उत्पाद की डिजाइन को ड्राइंग (drawing) के रूप में प्रिन्ट कर लिया जाता है। उस ड्राइंग को निर्धारित मानक के अनुसार बनाया जाता है। उत्पाद के सभी साइज को ड्राइंग पर विभिन्न विमाओं (dimensions) द्वारा दर्शाया जाता है। जैसे—लम्बाई के माप मिमी० या इंच में, कोण के माप डिग्री एवं मिनट में, तापमान का माप डिग्री सेंटीग्रेड या फारेनहाइट में, उत्पाद के पदार्थ की कठोरता (hardness), संहति (mass), इत्यादि। इन्हीं विमाओं एवं निर्धारित मानकों के अनुसार ही किसी उत्पाद का निर्माण किया जाता है।

किसी वस्तु या उत्पाद का निर्माण करने के लिए उसके निर्धारित मानकों तथा उसकी टालरेन्स (tolerance) एवं छूट (allowance) के अनुसार उत्पाद को बनाया जाता है। उत्पाद प्रक्रिया में लगे कार्मिक के द्वारा जरूरत पड़ने पर उत्पाद की विशिष्टियों (specifications) में परिवर्तन भी कुछ सीमा तक किया जा सकता था। परन्तु आधुनिक युग में नई-नई आधुनिक मशीनों जैसे—स्वचालित नियन्त्रण (automatically controlled) मशीन औजारों (machine tools), NC मशीन, CNC मशीन तथा नये-नये मापन यन्त्रों के सहयोग से उत्पाद को आसानी से बनाया जा सकता है तथा उसकी माप को अति सूक्ष्म (high accuracy) स्तर तक मापा जा सकता है। इस प्रकार से बने उत्पाद उच्च परिशुद्धता (accuracy) वाले होते हैं तथा उनके माप में किसी प्रकार के परिवर्तन की आवश्यकता ही नहीं पड़ती है।

इस प्रकार आधुनिक युग में अपने उत्पाद की गुणवत्ता एवं उसकी उच्च परिशुद्धता के स्तर को बनाये रखने के लिये मापन के क्षेत्र में विकसित नये-नये यन्त्रों एवं पद्धति को प्रभावशाली रूप से समझने एवं अपनाने के लिए माप विज्ञान (metrology) को समझना एवं जानना अति आवश्यक है।

इन्हीं अपग्रेडेड (upgraded) पद्धति (system) द्वारा उत्पाद का निर्माण किया जा सकता है तथा उसकी विमाओं में किसी तरह के परिवर्तन की जरूरत ही नहीं पड़ती है। इस पुस्तक में उत्पादन प्रक्रिया में प्रयोग होने वाले विभिन्न मापन-यन्त्रों तथा उनकी मापन-विधियों का विस्तृत एवं सरलतापूर्वक वर्णन किया गया है।

1.2 मापनिकी (Metrology)

इन्जीनियरी में किसी उत्पाद का निर्माण करने के लिए उस उत्पाद को निर्धारित मानकों के अनुसार इस प्रकार बनाया जा... है कि उसकी विमाओं की यथार्थता, उच्च परिशुद्धता (high accuracy) वाली हो तथा उसका गुण स्तर (quality) अन्तर्राष्ट्री... स्तर का हो। मापनिकी या माप विज्ञान (metrology) के अन्तर्गत हम उत्पाद के माप लेने की सही विधि तथा अति सूक्ष्म स्त... तक मापने की विधि का अध्ययन करते हैं।

अतः "इन्जीनियरी का वह विषय जिसके अन्तर्गत मापन की मापन-इकाइयों (standard units of measurement) मापन यन्त्रों (measuring instruments), उपकरणों (apparatus) तथा मापन विधियों (measuring methods) के विषय ... अध्ययन किया जाता है, मापनिकी (metrology) कहलाता है।"

दूसरे शब्दों में "मापनिकी इन्जीनियरी का ऐसा विषय है जिसमे किसी उत्पाद की गुणवत्ता उच्च स्तर पर बनाये रखने के लिये उस उत्पाद के निरीक्षण हेतु मापन इकाइयों, मापन यन्त्रों, उपकरणों व मापन विधियों का गहन अध्ययन किया जाता है।"

1.2.1 मापनिकी का कार्यक्षेत्र (Scope of Metrology)

इन्जीनियरिंग के क्षेत्र मे किसी उत्पाद के वृहद् उत्पादन के लिये मापनिकी का ज्ञान व कार्यक्षेत्र काफी विस्तृत है। अत... मापनिकी के कार्यक्षेत्र को निम्न पाँच वर्गों में बाँटा जा सकता है—

1. निरीक्षण के लिये (For Inspection)
2. उत्पादन प्रक्रम के नियंत्रण के लिये (For control of manufacturing process)
3. विभिन्न प्राचालों के मापन के लिये (For measurement of different parameters)
4. मापन यन्त्रों के अनुरक्षण एवं अंशांकन के लिये
   (For maintenance and calibration of measuring instruments)
5. मशीनी औजारों के संरेखन के लिये (For alignment of machine tools)

1. निरीक्षण के लिये (For Inspection)—इंजीनियरी में किसी उत्पाद का बड़े पैमाने पर उत्पादन (mass production) होने पर उस उत्पाद के प्रत्येक अंग एवं प्रत्येक उत्पाद का साधारण तरीके से माप लेना सम्भव नहीं होता है... अतः उत्पाद का गुणस्तर निर्धारित मानकों के अनुसार बनाये रखने के लिये कुछ विशेष मापन यन्त्रों व मापन विधियों का प्रयो... किया जाता है। जैसे—गेज (gauges), तुलनित्र (comparators) आदि। इनके प्रयोग से हमें उत्पाद की यथार्थ तुलनात्मक मापन मिलता है तथा मापन में लगने वाले समय की बचत भी होती है। वृहद उत्पादन (mass production) की दशा में एक ही तरह के उत्पाद समूह (lot) में से कुछ उत्पाद (randomly) लेकर गेज आदि विशेष मापन यन्त्रों से उसकी माप लेकर उसका निरीक्षण एवं परीक्षण किया जाता है। इस तरह से उत्पाद समूह (lot) के निरीक्षण की इस विधि को सांख्यिकीय गुण नियन्त्रण (Statistical Quality Control) कहते हैं।

2. उत्पादन प्रक्रम के नियंत्रण के लिये (For Control of Manufacturing Process)—उत्पादन प्रक्रम के नियंत्रण के लिये मापनिकी के निरीक्षण विधियों का भी प्रयोग किया जा सकता है। सांख्यिकीय गुण नियन्त्रण (Statistical Quality Control) के सिद्धान्त का प्रयोग इसके लिये सर्वोत्तम होता है। इसके लिये किसी उत्पाद के वृहद् उत्पादन (Mass Production) के समूह (lot) में से कुछ उत्पाद (randomly) उठाकर उनका परीक्षण व निरीक्षण किया जाता है। निरीक्षण के उपरान्त प्राप्त मापों से उस उत्पाद का नियन्त्रण चार्ट (control chart) तैयार कर लिया जाता है। तैयार नियन्त्रण चार्ट के द्वारा यह पता चल जाता है कि उस समूह या अन्य समूह के उत्पाद का कोई प्रक्रम नियन्त्रण में है या नहीं।

3. विभिन्न प्राचालों के मापन के लिये (Measurement of different Parameters)—किसी उत्पाद के मशीनित सतहों के विभिन्न प्राचालों (Parameters) जैसे—कोण (Angle), गोलीयता (Roundness), सतह रूक्षता (Surface Roughness), गियर (Gear), टेपर (Taper), पेंचचूड़ी (Screw threas) आदि के मापन के लिये मापनिकी का प्रयोग होता है।

4. मापन यन्त्रों के अनुरक्षण एवं अंशांकन के लिये (For maintenance and calibration of measuring Instruments)—किसी भी मापन यंत्रों की यथार्थता (Accuracy) बनाये रखने के लिये उस यन्त्र का अनुरक्षण व अंशांकन करना आवश्यक होता है। इसके लिये समय-समय पर यन्त्रों का अनुरक्षण व अंशांकन किया जाता है तथा उसका रिकार्ड चार्ट भी बनाया जाता है जिसका अध्ययन मापनिकी में किया जाता है।

5. मशीनी औजारों के संरेखन के लिये (For alignnment of machine tools)—किसी उत्पाद की यथार्थता मशीन-औजारों की यथार्थता पर निर्भर करती है तथा मशीन-औजारों की यथार्थता उसके विभिन्न अवयवों के संरेखन (alignment) पर निर्भर करती है।

अतः उत्पाद के गुणस्तर को बनाये रखने के लिये मशीन-औजारों की स्थापना (installation) एवं परिचालन (operation) के समय उसका संरेखन परीक्षण (alignment test) करना बहुत जरूरी होता है। इसके लिये मापनिकी (metrology) की सहायता ली जाती है। इन संरेखन परीक्षणों के द्वारा मशीन बेड, टेपर, स्पिण्डल, छिद्र आदि के संरेखन की जाँच की जाती है।

1.2.2 मापनिकी के उद्देश्य (Objectives or Purpose of Metrology)

इंजीनियरी के क्षेत्र में मापनिकी के उद्देश्य निम्नलिखित हैं—

1. किसी उत्पाद (product) को वांछित यथार्थता (accuracy) के साथ उत्पादन करने में उसके मापन में कम से कम लागत (cost) आना।
2. कार्य विशेष के लिये सही एवं उपयुक्त मापन-यन्त्र का प्रयोग करना।
3. मापन में अपनायी जाने वाली विभिन्न विधियों का मानकीकरण (standardization) करना।
4. प्रयोग किये जाने वाले मापन यन्त्रों द्वारा मापने के लिये सही प्रक्रम (process) की जानकारी करना तथा उस प्रक्रम की दक्षता (efficiency) निकालना।
5. मापन में प्रयोग होने वाले विभिन्न गेजों (gauges) एवं फिक्सचरों (fixtures) के अलावा कार्य विशेष के लिये अलग से गेजों एवं फिक्सचरों की डिजाइन को तैयार करना एवं उसका उपयोग करना।
6. निरीक्षण के समय मापन में आने वाली विभिन्न समस्याओं को समझना एवं उसका हल यथासम्भव उसी समय एवं कार्यस्थल पर ही ढूँढना।
7. समय-समय पर विकसित उत्पादों (products) को बनाने में उसमें उपयोग किये जाने वाले मापन यन्त्रों एवं उत्पादन प्रक्रम का जाँच करना एवं मूल्यांकन (evaluation) करना।
8. मापने के काम में प्रयुक्त मापन यन्त्रों का अंशांकन (calibration) समय-समय पर करते रहना चाहिये ताकि मापन यन्त्र की यथार्थता तथा उसके द्वारा मापी जाने वाली उत्पाद की यथार्थता बनी रहे।
9. उत्पादन में वांछित यथार्थता या सीमा (limit) के बाहर के अस्वीकृत (rejected) उत्पाद की संख्या एवं लागत को कम करना।
10. मापन की नयी-नयी आधुनिक विधियों एवं तकनिकी का विकास एवं उपयोग करना।
11. उत्पाद के निरीक्षण एवं मापन कार्य में लगे कर्मियों को समय-समय पर नयी-नयी मापन विधियों एवं मापन यन्त्रों के प्रयोग में प्रशिक्षित करना।
12. आधुनिक मापन यन्त्रों के बारे में जानकारी रखना एवं पुराने मापन यन्त्रों को हटाकर उसकी जगह नये आधुनिक मापन यन्त्रों का प्रयोग करना ताकि मापन में लगे समय को और कम किया जा सके।

1.3 मापन (Measurement)

इन्जीनियरी के क्षेत्र में किसी वस्तु या उत्पाद के गुण या उसके विभिन्न प्राचालों (parameters) के मापन को कई तरह व्यक्त किया जा सकता है। जैसे—लम्बाई, भार, तापमान, धारा, दाब, गति आदि का मापन उदाहरणस्वरूप लम्बाई की तुल मानक मीटर से, भार की तुलना मानक किलोग्राम से, तापमान की तुलना मानक सेन्टीग्रेड से इत्यादि।

इस प्रकार मापन यन्त्रों द्वारा या मापन यन्त्रों को पढ़कर किसी प्राचाल (parameter) की माप को मानक (standard) रूप में व्यक्त करने को मापन (measurement) कहते हैं।

दूसरे शब्दों में, किसी प्राचाल की अज्ञात माप को किसी मानक (standard) माप से तुलना करने से प्राप्त मापन प्राचाल का मापन कहलाता है।

मापन में होने वाली त्रुटि (error) मापन यन्त्र की यथार्थता (accuracy) तथा मापने वाले व्यक्ति की योग्यता पर निर्भ करता है।

1.3.1 क्वालिटी कन्ट्रोल को सुधारने में मापनिकी का प्रयोग (Use of Metrology to Improve Quality Control)

किसी उत्पाद के गुणों को नियंत्रित करने में सबसे बड़ा योगदान मापनिकी का होता है। गुण नियन्त्रण तथा निरीक्षण उस उत्पाद को अन्तर्राष्ट्रीय स्तर पर यथार्थतापूर्वक बनाया जा सकता है।

अतः किसी उत्पाद का गुण नियन्त्रण करने में मापनिकी का प्रयोग निम्नलिखित तरीके से किया जा सकता है—

1. सर्वप्रथम आधुनिक मापन यंत्रों का प्रयोग करना तथा उसके परिचालन की जानकारी से समय की बचत करना।
2. किसी उत्पाद के वृहद् उत्पादन (mass production) में अन्तर्विनिमय पद्धति (interchangeability system द्वारा उच्च यथार्थता तथा गुण वाले उत्पाद को बनाना।
3. उत्पादन प्रक्रिया के दौरान समय-समय पर उत्पाद की जाँच करके उसका गुण-नियंत्रण करना।
4. उत्पाद का या उसके मशीनित अवयवों के विभिन्न प्राचालों (parameters) का मापन आधुनिक मापन यन्त्रों मापनिकी की विधियों से करके उसके गुण-स्तर (quality level) को उच्च स्तर (high level) का बनाना।
5. मापनिकी की विधियों से उत्पादन प्रक्रमों का नियन्त्रण करने से उत्पाद के वांछित गुणस्तर को एक समान रखना।

1.3.2 मापन की श्रेणियाँ (Classes of Measurement)

विभिन्न प्राचालों (parameters) या किसी अज्ञात राशि के मापन के लिये मापनिकी में कई प्रकार के मापन यन्त्रों उपयोग में लाया जाता है। जैसे—पैमाना, थर्मोमीटर, वोल्टमीटर, दाब गेज, डायल गेज, वर्नियर कैलीपर, स्क्रूगेज इत्यादि

इन मापन यन्त्रों में से कुछ यन्त्र द्वारा सीधा या प्रत्यक्ष प्रेक्षण (direct observation) द्वारा माप मिल जाता है जो कि प्रत्यक्ष मापन विधि (direct method of measurement) कहलाती है। जैसे—पैमाने (scale) द्वारा लम्बाई को मापने में सी ही हमें लम्बाई पता चल जाती है।

कुछ मापन यन्त्र अमुक माप के प्रेक्षण को रूपान्तरित करके दिखाते हैं जो कि अप्रत्यक्ष मापन विधि (indirect metho of measurement) कहलाते हैं। जैसे—तापमान को मापने में प्रयुक्त थर्मामीटर अमुक तापमान को पारे की लम्बाई में व्यक्त करता है।

कुछ जटिल प्रकार के मापन यन्त्रों में किसी एक माप के लिये एक से अधिक बार रूपान्तरित करना पड़ता है। अतः इस रूपान्तरण के आधार पर मापन को निम्नलिखित श्रेणियों में बाँटा जाता है—

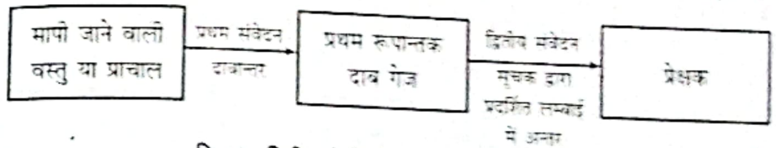
1. प्रथम श्रेणी की माप (Primary Measurement)
2. द्वितीय श्रेणी की माप (Secondary Measurement)
3. तृतीय श्रेणी की माप (Tertiary Measurement)

1. प्रथम श्रेणी की माप (Primary Measurement)—जिन प्राचालों के माप सीधे या प्रत्यक्ष प्रेक्षण (direct observation) से मिल जाते हैं या लिये जाते हैं, प्रथम श्रेणी की माप कहलाते हैं। इस श्रेणी की माप में प्रेक्षण (observation) का किसी भी तरह से रूपान्तरण (transformation) नहीं होता है। माप लेने वाले व्यक्ति (observer) द्वारा अमुक माप के संवेदनों को अपनी नाड़ियों (nerves) द्वारा ग्रहण करके उसे समझता है और माप के परिवर्तन को सीधे ही देख लेता है। जैसे—अज्ञात लम्बाई की तुलना द्वारा मानक पैमाने (standard scale) से लम्बाई को मापना, घड़ी के घण्टे की आवाज को सुनकर समय निर्धारित करना तथा रंगों की तुलना ठण्डा या गर्म से करके अज्ञात तापमान का अनुमान लगाना इत्यादि।

2. द्वितीय श्रेणी की माप (Secondary Measurement)—जिन प्राचालों के माप लेने में उनके माप के संवेदनों या प्रेक्षणों का रूपान्तरण (transformation) केवल एक बार ही होता है, द्वितीय श्रेणी के माप कहलाते हैं।

इस श्रेणी में मापी जाने वाली माप का मान सीधे या प्रत्यक्ष प्रेक्षण से निकालना या ज्ञात करना सम्भव नहीं होता है तथा मापन में इसके परिवर्तन को लम्बाई के परिवर्तन में रूपान्तरित करने के लिये एक यन्त्र का उपयोग होता है। यन्त्र का पैमाना इस प्रकार चिन्हित (graduated) होता है कि उसके चिन्ह माप की इकाई को प्रदर्शित कर सके।

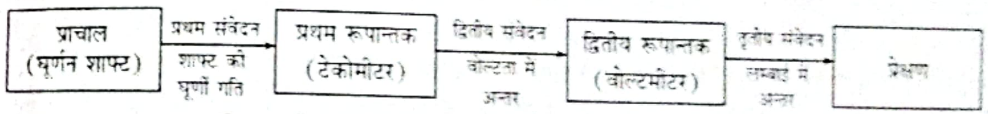
दाब गेज द्वारा दाब का मापन द्वितीय श्रेणी की माप का एक अच्छा उदाहरण है। दाब को मापने के लिये दाबमापी (pressure gauge) का प्रयोग किया जाता है जिसमें दाब का संवेदन गेज द्वारा लम्बाई के अन्तर में रूपान्तरित हो जाता है जोकि उसके सूचक (pointer) की गति से पढ़ा जाता है। प्रेक्षक, दाबमापी के डायल पर बने पैमाने पर सूचक की गति को देखकर पढ़ लेता है तथा वांछित दाब का मान जान जाता है। निम्न चित्र-1 में इसके रेखाचित्र को दिखाया गया है।



चित्र 1 : द्वितीय श्रेणी की माप (दाब मापने के लिए)

3. तृतीय श्रेणी की माप (Tertiary Measurement)—जिन प्राचालों के माप लेने में उनके माप के संवेदनों या प्रेक्षणों का रूपान्तरण (transformation) दो बार होता है, तृतीय श्रेणी के माप कहलाते हैं। उदाहरण—पाइरोमीटर (pyrometer) की सहायता से तापमान को मापना, विद्युत या बैटरी चालित टेकोमीटर (techometer) द्वारा किसी घूमते शाफ्ट की गति या चक्कर प्रति मिनट (r.p.m.) ज्ञात करना, प्रोनी ब्रेक (Prony break) द्वारा ब्रेक अश्व शक्ति [break horse power (BHP)] ज्ञात करना इत्यादि तृतीय श्रेणी की माप में आते हैं।

तृतीय श्रेणी के मापन का रेखाचित्र निम्न चित्र-2 में दिखाया गया है।



चित्र 2 : विद्युत या बैटरी चालित टेकोमीटर द्वारा घूर्णन गति ज्ञात करना

उपरोक्त चित्र-2 में टेकोमीटर द्वारा किसी शाफ्ट की घूर्णन गति निकालने में संवेदनों के रूपान्तरण को दिखाया गया है। सर्वप्रथम शाफ्ट की घूर्णी गति अर्थात् प्रथम संवेदन ट्रांसड्यूसर (transducer) में पहुँचता है। प्रथम रूपान्तरण में ट्रांसड्यूसर शाफ्ट की गति को वोल्टता में परिवर्तित कर देता है। वोल्टमीटर में यही वोल्टता लम्बाई में परिवर्तित हो जाती है। वोल्टता के अन्तर का संवेदन द्वितीय रूपान्तरण है। तत्पश्चात् प्रेक्षक द्वारा वोल्टमीटर से लम्बाई का परिवर्तन तृतीय रूपान्तरण के रूप में ज्ञात हो जाता है।

1.4 मापन के मानक (Standard of Measurement)

इन्जीनियरी में किसी प्राचाल का शुद्ध माप प्राप्त करने के लिये निर्धारित मानक से उसकी तुलना करके माप को निकाला जाता है तथा मापन की यथार्थता (Accuracy) का ध्यान भी रखा जाता है।

इस प्रकार मापन की यथार्थता तथा उपयोगिता के आधार पर मानकों को निम्न चार श्रेणियों में बाँटा जाता है—

1. प्रथम मानक (Primary Standard)
2. द्वितीय मानक (Secondary Standard)
3. तृतीय मानक (Tertiary Standard)
4. कार्यकारी मानक (Working Standard)

1. प्रथम मानक (Primary Standard)—यह एक मूल मानक होता है तथा इसके मूल प्राचाल के मापन का रूपा... नहीं होता है। इसके आधार पर ही द्वितीय मानक बनाये जाते हैं। इस मानक को रेखीय मानक (Linear Standard) भी ... जाता है। मीटर पैमाना (Metre Scale), फुट (Foot), गज (Yard) आदि प्रथम मानक के अन्तर्गत आते हैं। मापन की ... को बनाये रखने के लिये इसको अत्यन्त सुरक्षित तरीके से रखा जाता है।

2. द्वितीय मानक (Secondary Standard)—प्रथम मानक से काफी हद तक मिलते हुये ही द्वितीय मानक बनाये ... है। समय-समय पर द्वितीय मानक की तुलना प्रथम मानक से करके उसमें होने वाले विचलन (deviation) को रिकार्ड कर ... है। इन मानकों को कई स्थानों पर सुरक्षित रखकर संचित कर लेते हैं ताकि आवश्यकता पड़ने पर इसका प्रयोग तृतीय मानक ... तुलना करने के लिये किया जा सके।

3. तृतीय मानक (Tertiary Standard)—ऐसे मानक जिनका प्रयोग कार्यशालाओं (workshops) या प्रयोगशाला (laboratory) में सन्दर्भ (reference) कार्य के लिए प्रयोग में लाया जाता है, तृतीय मानक की श्रेणी में आते हैं। आवश्... पड़ने पर इन मानकों का प्रयोग कार्यकारी मानक से तुलना करने के लिये किया जाता है।

4. कार्यकारी मानक (Working Standard)—ऐसे मानक जिनका प्रयोग कार्यशालाओं एवं प्रयोगशालाओं में हर ... जरूरत पड़ने पर किया जाता है कार्यकारी मानक की श्रेणी में आते हैं। ये मानक भी उच्च श्रेणी के मानकों जैसे ही होते हैं, ... सिर्फ इतना होता है कि इन्हें निम्न ग्रेड की धातु से बनाया जाता है ताकि इनकी कीमत भी कम हो तथा जल्दी-जल्दी खराब ... की दशा में इन्हें आसानी से बदला जा सके।

1.4.1 रेखीय और सिरेवार मानक (Line and End Standard)

1. रेखीय मानक (Line Standard)—दो रेखाओं या बिन्दुओं के बीच की दूरी को मापने के लिये जिन मानकों ... प्रयोग किया जाता है वे रेखीय मानक कहलाते हैं। इन्हें प्रथम मानक भी कहा जाता है।

लम्बाई मापने के लिये मुख्य रूप से पैमाना (scale) का प्रयोग किया जाता है। जैसे—मीटर पैमाना (metre scale) ... गज पैमाना (yard scale) इत्यादि। इन्हें लम्बाई के मानक भी कहा जाता है।

2. सिरेवार मानक (End Standard)—दो वक्राकार (curved) या समान्तर चपटी (Parallel flat) सतहों के बीच ... दूरी को मापने के लिये जिन मानकों का प्रयोग किया जाता है, वे सिरेवार मानक कहलाते हैं। जैसे—गैप गेज (gap gauge), स्लिप गेज (slip gauge), गेज ब्लॉक (gauge block), माइक्रोमीटर एन्विल के सिरे (end of micrometer anvils) इत्यादि।

रेखीय तथा सिरेवार मानक में अन्तर
(Difference between Line and End Standard)

	इसके आधार पर (On the Basis of)	रेखीय मानक (Line Standard)	सिरेवार मानक (End Standard)
1.	मापन की शुद्धता (Accuracy in Measurement)	इसके मापन की शुद्धता 0·2 mm तक ही होती है।	जबकि इसके मापन की शुद्धता 0·0... mm तक हो सकती है।
2.	माप लेने में लगा समय (Time taking in Measurement)	इससे किसी माप को मापने में काफी कम समय लगता है तथा इससे सरलता एवं शीघ्रता से माप लिया जा सकता है।	इससे माप लेने में रेखीय मानक की अपेक्षा काफी समय लगता है।
3.	उपयोग (Utilization)	इसका उपयोग सरल अथवा सीधी रेखा में किन्हीं दो बिन्दुओं के बीच दूरी मापने में किया जाता है।	जबकि इसका उपयोग दो समानान्तर चपटी या वक्राकार सतहों के बीच की दूरी को मापने में किया जाता है।
4.	उपयोग से मानक पर पड़ने वाला प्रभाव (Effect on standard due to utilization)	इसके लगातार या ज्यादा प्रयोग से इसके पैमाने के सिरे घिस जाते हैं जिससे पैमाने की शून्य-मार्किंग (zero point) को हमेशा आधार (datum) नहीं माना जा सकता जबकि मानक की शेष मार्किंग शुद्ध बनी रहती है।	इन मानकों के सिरे भी घिसकर खराब हो सकते हैं। इसलिये इसके सिरों को कठोर (harden) बनाया जाता है ताकि सिरे जल्दी ना घिसें।
5.	उपकरणों की लागत तथा उपयोग प्रक्रम (Cost and Utilization Process of Standard)	इसकी लागत काफी कम होती है तथा उपयोग भी काफी सरल प्रक्रम का होता है।	इसकी लागत काफी ज्यादा होती है तथा उपयोग भी जटिल प्रक्रम का होता है।
6.	अन्य त्रुटियाँ (Other Errors)	इन मानकों में पेरेलक्स त्रुटि (Parallax Error) हो सकती है।	प्रयोगशाला के तापमान में ज्यादा परिवर्तन होने पर इन मानकों में त्रुटि हो सकती है तथा स्लिप गेजों (slip gauges) को गलत तरीके से मिलाने पर भी इसके मापन में त्रुटि हो सकती है।

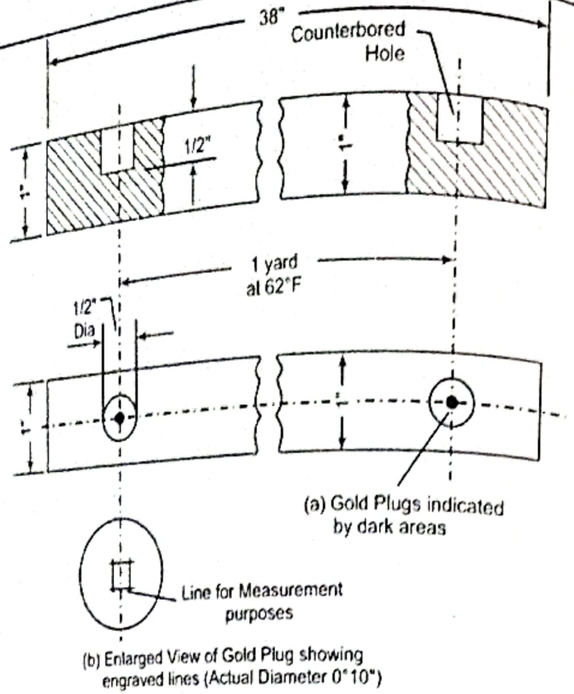
1.4.2 लम्बाई के मानक (Standard of Length)

दो रेखाओं या बिन्दु के बीच की दूरी मापने के लिये रेखीय मानक या लम्बाई के मानक का प्रयोग किया जाता है। ये मानक तीन प्रकार के होते हैं—

1. गज (Yard)
2. मीटर (Metre)
3. तरंगदैर्ध्य मानक (Wavelength Standard)

1. गज (Yard)—इसे इम्पीरियल मानक गज (Imperial Standard Yard) भी कहा जाता है। यह एक ब्रिटिश प्रणाली (British System) का रेखीय मानक है। यह 1 वर्ग इंच अनुप्रस्थ काट वाली काँसे (Bronze) की छड़ होती है जो 38 इन्च लम्बी होती है तथा इसके दोनों सिरों से 1 इंच की दूरी पर बने छिद्रों के केन्द्रों के बीच की दूरी 36 इंच होती है। इन छिद्रों की तली पर अपेक्षाकृत कम व्यास के छिद्र में 1/10 इंच व्यास का स्वर्ण-प्लग (Gold Plug) लगा होता है। इन प्लेटों पर क्षैतिज तथा ऊर्ध्वाधर बारीक रेखायें 1/100 इंच के अन्तराल पर बनी रहती है। इन्हीं स्वर्ण प्लगों पर रेखांकित तिर्यक रेखाओं के बीच की दूरी एक मानक गज (Standard Yard) कहलाती है। इस मानक का प्रयोग अब भारत में नहीं किया जाता है।

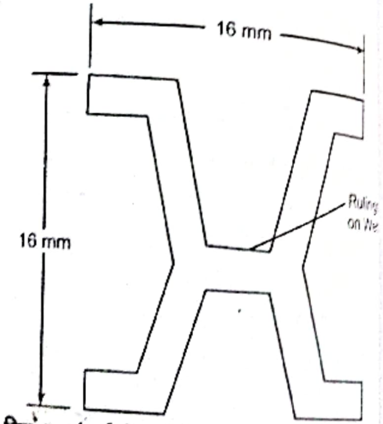
1 मानक गज = 0·9144 मीटर = 1509458·35 तरंगदैर्ध्य



चित्र 3 : इम्पीरियल मानक यार्ड

2. मीटर (Metre)—इस रेखीय मानक को अन्तर्राष्ट्रीय प्रोटोटाइप मीटर (International Prototype Metre) भी कहा जाता है। इस मीट्रिक प्रणाली मीटर का प्रयोग विश्व के अधिकतर देशों में किया जाता है। इसे निम्न प्रकार से परिभाषित कर सकते हैं—0°C तापमान पर शुद्ध प्लेटिनम-इरीडियम मिश्र धातु से बनी छड़ के निष्क्रिय अक्ष (Neutral Axis) पर बनी दो अंशांकित (graduated) रेखाओं के बीच की दूरी एक मीटर लम्बाई कहलाती है।

चित्र 4 में मीटर छड़ की अनुप्रस्थ काट दिखाया गया है। इसकी निष्क्रिय अक्ष वाली ऊपरी सतह की पूरी लम्बाई को अंशांकित किया जा सकता है।



चित्र 4 : अंतर्राष्ट्रीय प्रोटोटाइप मीटर का अनुप्रस्थ का

3. तरंगदैर्ध्य मानक (Wavelength Standard)—यह लम्बाई के मानक के रूप में एक-वर्णी प्र (Mono-chromatic Light) जैसे—क्रिप्टान, कैडमियम, सोडियम लैम्प के प्रकाश या मरकरी आदि के विकि (Radiation) की तरंगदैर्ध्य (Wavelength) के आधार पर प्राप्त किया जाता है।

चूँकि यह मानक तरंग के रूप में होता है इसलिये इसका कोई भौतिक स्वरूप नहीं होता है। यह लम्बाई का पुनरुत्पाद (Reproducible) मानक है। इसे अन्य मानक में बदला जा सकता है तथा इसकी त्रुटि लगभग शून्य होती है। इस मानक तापमान, दाब, वातावरण, आर्द्रता आदि का कोई प्रभाव नहीं पड़ता है क्योंकि यह भौतिक मानक नहीं है। इस कारण इ सुरक्षित भण्डारण की आवश्यकता भी नहीं होती है।

भार तथा माप की अन्तर्राष्ट्रीय ब्यूरो (International Bureau of Weights and Measures) ने पैरिस (Paris) में रखे क्रिप्टान-86 (Kr-86) के तरंगदैर्ध्य की लम्बाई को अन्तर्राष्ट्रीय मानक-लम्बाई माना है। इसमें क्रिप्टान की नारंगी-विकिरण (Orange Radiation) को माप के लिये चुना गया। इस मानक के अनुसार—

1 मानक-मीटर = 1650763·73 तरंगदैर्ध्य क्रिप्टान-86 नारंगी विकिरण का तरंगदैर्ध्य [शून्य (vacuum) में]

इस मानक का उपयोग मानक गेजों आदि के मापन व उसके अंशांकन (calibration) करने में किया जाता है।

1.5 अन्तर्परिवर्तनीयता (Interchangeability)

आधुनिक युग में नये-नये मशीनी अवयवों का तेजी से आविष्कार हो रहा है। मशीनी अवयवों के संयोजन विधियों तथा विभिन्न उत्पादन प्रक्रमों (manufacturing processes) में महत्वपूर्ण बदलाव हो रहे हैं। साधारण उत्पादन की जगह अब ज्यादातर उत्पाद का वृहद् या समूह उत्पादन (mass production) किया जा रहा है। बाजार की तेज माँग के अनुरूप उन अवयवों के जल्दी आपूर्ति के लिये समूह उत्पादन अत्यन्त महत्वपूर्ण प्रक्रम हो गया है।

इसके अन्तर्गत किसी मशीनी अवयव के गुण स्तर (quality level) को ध्यान में रखते हुये एक ही माप व आकार के किसी उत्पाद का काफी मात्रा में उत्पादन किया जाता है तथा उस उत्पाद की गुणवत्ता का विशेष ध्यान रखा जाता है ताकि संयोजन के समय उस उत्पाद के वृहद् या समूह उत्पादन के ढेर में से कोई भी एक पीस (piece) या उत्पाद लगाया जा सके या फिट किया जा सके। इस प्रकार किसी उत्पाद का वृहद् मात्रा में समूह उत्पादन (mass production) करना तभी सम्भव होगा, जब उस उत्पाद की माप व गुण स्तर को ध्यान में रखते हुये उनमें अन्तर्परिवर्तनीयता (interchangeability) होगी।

इस प्रकार 'अन्तर्परिवर्तनीयता (interchangeability) का अर्थ वृहद् या समूह उत्पादन की ऐसी तकनीक से है, जिसमें किसी उत्पाद या अवयवों को इस प्रकार बनाया जाता है कि उनके माप व आकार में कोई भी अन्तर न हो (निश्चित सीमा तक) तथा जरूरत पड़ने पर उस उत्पाद में बिना कोई बदलाव किये आसानी से उन्हें टूटे-फूटे या पुराने अवयव के स्थान पर तुरन्त बदला जा सके व संयोजन में किसी प्रकार की कठिनाई न आने पाये, जिससे किसी प्रकार की औद्योगिक अड़चन न आने पाये।'

इस प्रक्रिया में सभी अवयवों में से कोई भी अवयव आसानी से फिट किया जा सकता है। अवयवों का संयोजन तभी आसानी से सम्भव हो सकेगा जब उन्हें अन्तर्परिवर्तनीय (interchangeable) बनाया जाये।

जो उत्पाद पूर्ण अन्तर्परिवर्तनीयता (complete interchangeability) को ध्यान में रखते हुये बनाये जाते हैं, उन अवयवों के संयोजन करते समय उनके चयन (selection) तथा समायोजन (adjustment) की आवश्यकता नहीं पड़ती है। ऐसे उत्पाद पर कोई सम्पूरक क्रिया की भी जरूरत नहीं पड़ती है।

संयोजन की ऐसी स्थिति में जहाँ किसी उत्पाद की पूर्ण अन्तर्परिवर्तनीयता की आवश्यकता नहीं पड़ती है, वहाँ उत्पाद का चयन छाँटकर (sorting) उन्हें समायोजित करने की जरूरत होती है। इस प्रकार संयोजन की ऐसी विधि को चयनित संयोजन (selective assembly) कहते हैं।

इस प्रकार हम कह सकते हैं कि आधुनिक युग में औद्योगिक उत्पादन एवं निर्माण के साथ-साथ मशीनों और संयन्त्रों में भी अन्तर्परिवर्तनीयता का विशेष महत्व है और इसके अनेकों लाभ हैं।

1.6 अन्तर्परिवर्तनीयता के लाभ (Advantages of Interchangeability)

वृहद् या समूह उत्पादन के अन्तर्गत अन्तर्परिवर्तनीयता के कई लाभ हैं, जैसे—

1. उत्पाद को संयोजन (assemble) करना सरल होता है।
2. उत्पाद का निरीक्षण आसानी से हो जाता है।
3. उत्पादन में काफी कम समय लगता है।
4. उत्पाद का समायोजन (adjustment) आसानी से हो सकता है।

5. संयोजन करते समय उत्पाद के चुनाव की आवश्यकता नहीं पड़ती है।
6. एक ही आकार व माप के उत्पाद बाजार में आसानी से उपलब्ध हो जाते हैं।
7. उत्पाद का निर्माण अलग-अलग कम्पनियों द्वारा किया जा सकता है।
8. एक ही उत्पाद देश या विदेश में कहीं पर भी उपलब्ध हो जाता है।
9. किसी उत्पाद के उत्पादन में मितव्ययिता (economy) आती है तथा उच्च गुण स्तर के अच्छे, टिकाऊ एवं विश्वसनीय उत्पाद तैयार होते हैं।
10. किसी मशीन या उत्पाद के अन्तर्परिवर्तनीय पार्ट्स (interchangeable parts) का वृहद् या समूह उत्पादन (mass production) सम्भव है।
11. अन्तर्परिवर्तनीयता से समय एवं पैसे की काफी बचत होती है जो कि किसी देश की अर्थव्यवस्था को सुदृढ़ बनाये रखती है।

1.7 महत्त्वपूर्ण परिभाषायें (Important Definitions)

(1) अल्पतमांक (Least Count)—किसी मापन यन्त्र द्वारा मापी जा सकने वाली सूक्ष्मतम माप उस यंत्र की अल्पतमांक (Least Count) कहलाती है। दूसरे शब्दों में किसी मापन यन्त्र के मापन स्केल पर अंकित एक विभाजन के बराबर माप के मान (value) को उस यन्त्र का अल्पतमांक कहा जाता है।

वर्नियर कैलीपर (Vernier caliper) तथा माइक्रोमीटर का अल्पतमांक छात्रों द्वारा बिना यन्त्र देखे ही 0·1 मिमी व 0·01 मिमी क्रमश: बता दिया जाता है, जो कि पूर्णतया सत्य नहीं है। यह मान हो भी सकता है और नहीं भी क्योंकि इन दोनों मापन यन्त्रों के देखने के बाद पता चलेगा कि वर्नियर स्केल पर या वृत्तीय स्केल पर कितने खाने बने हैं और मुख्य स्केल पर बने एक खाने का मान क्या है।

(2) परास (Range)—किसी मापन यंत्र के परास (range) का अर्थ है कि उस यंत्र द्वारा न्यूनतम से लेकर अधिकतम माप तक मापी जा सकने वाली माप को व्यक्त करना। जैसे—माइक्रोमीटर की परास (range) 0–25 मिमी, 25–50 मिमी, 50–75 मिमी तथा 75–100 मिमी होती है।

(3) सूक्ष्मता (Precision)—किसी मापन यन्त्र द्वारा किसी माप को एक ही प्रकार से कई बार मापा जाये और माप हर बार एक समान हो तो इस प्रकार ली गई मापों की समानता उसकी सूक्ष्मता (precision) कहलाती है।

दूसरे शब्दों में, मापन यंत्र द्वारा मापी गई किसी माप के कई पाठ्यांक लेने में जितनी समानता होगी अर्थात् एक ही माप प्राप्त होगा तो वह उतना ही सूक्ष्म कहलायेगा। सूक्ष्मता को किसी माप के अधिकतम मान (maximum value) और मध्यमान (mean value) के अन्तर से व्यक्त करते हैं।

(4) बारम्बारता (Repeatability)—किसी मापन यंत्र द्वारा समान परिस्थितियों में मापी जाने वाली किसी माप के पाठ्यांकों को बार-बार दोहराने की क्रिया उस यंत्र की बारम्बारता (Repeatability) कहलाती है।

यह एक विशेष गुण है। जैसे—ट्रान्सड्यूसर (Transducer) के पाठ्यांकों के निवेश (input) तथा दिशा (direction) को क्रमश: समरूपी परिस्थितियों में बार-बार दोहराया जा सकता है।

(5) यथार्थता (Accuracy)—किसी यन्त्र द्वारा मापी गई प्रेक्षित माप व वास्तविक माप में जितनी समानता होगी, वह यन्त्र उतना ही यथार्थ (acurate) होगा अर्थात्, किसी मापन यन्त्र द्वारा मापी गई प्रेक्षित माप (observed measurement) को वास्तविक माप (real or actual or true measurement) से निकटता ही उस यन्त्र की यथार्थता (accuracy) कहलाती है।

वास्तविक माप तथा प्रेक्षित माप के अन्तर को उस माप की त्रुटि (error of measurement) कहते हैं। इस प्रकार जिस यन्त्र की मापन की त्रुटि जितनी कम होगी वह यंत्र उतना ही अधिक यथार्थ वाला होगा।

(6) सुग्राहिता (Sensitivity)—किसी मापन यन्त्र द्वारा मापी गई किसी माप के छोटे से छोटे अन्तर को मापने की सूक्ष्मता ही उसकी सुग्राहिता (sensitivity) कहलाती है।

दूसरे शब्दों में किसी मापन यन्त्र के स्केल-अन्तराल (scale spacing) तथा स्केल-विभाजन मान (scale division value) के अनुपात को उस यन्त्र की सुग्राहिता कहते हैं।

(7) सूचित मान (Indicated Value)—किसी मापन यन्त्र द्वारा जब किसी परिवर्तनशील मात्रा के परिमाण को व्यक्त किया जाता है अथवा सूचित किया जाता है तो उस मान (value) को सूचित मान (indicated value) कहते हैं।

(8) वास्तविक मान (True or Actual or Real Value)—किसी मापन यन्त्र में उसके मापन प्रणाली (system) में निवेश-संकेत (input signal) के परिमाण को उसका वास्तविक मान कहते हैं। किसी भी मापन प्रणाली द्वारा सही वास्तविक मान ज्ञात करना सम्भव नहीं है, सिर्फ इसके निकटतम मान का ही मान (value) ज्ञात किया जा सकता है।

(9) अंशांकन (Calibration)—किसी मापन यंत्र की यथार्थता (accuracy) को बनाये रखने के लिये उस यंत्र की किसी अन्य प्राथमिक मानक (primary standard) या द्वितीयक मानक (secondary standard) से तुलना करके यंत्र को ठीक करने की क्रिया को अंशांकन (calibration) कहते हैं।

उदाहरण—अंशांकन करने के लिये मापन यंत्र (वर्नियर कैलिपर) को किसी मानक स्लिप गेज (standard slip gauge) की सहायता से उस माप की तुलना करके यंत्र को सही/यथार्थ (accurate) किया जाता है।

(10) प्रतिक्रिया समय (Response Time)—किसी यन्त्र या मापन यन्त्र (measuring instrument) से कोई इनपुट (input) मापन लिया जाता है तो वह तुरन्त ही उसको परिवर्तित करके रिजल्ट नहीं बताता (respond) है, अपितु इसमें कुछ समय लेता है। यह समय उसके डाटा को परिवर्तित करने में लगता है जो कि प्रतिक्रिया चाल (response speed) पर निर्भर करता है। दूसरे शब्दों में—

Speed of Response is defined as the rapidity with which an instrument or measurement system responds to changes in measured quantity.

Response time—किसी मापन यन्त्र द्वारा इनपुट एप्लीकेशन (input application) के डाटा को फाइनल स्थिति (final position) में परिवर्तित करने में लगे समय को उस यन्त्र का प्रतिक्रिया समय (response time) कहते हैं। अन्य शब्दों में —

Response Time is the time required by instrument or system to settle to its final steady position after the application of the input. It is the time taken by the instrument to settle to a specified percentage of the quantity being measured.

(11) मापन की बारम्बारता (Repeatability)—किसी मापन प्रणाली की परिशुद्धता (precision) का अर्थ यह है कि अपरिवर्तित स्थितियों में, कई बार, उसी राशि का मापन करने पर प्राप्त मान, एक निश्चित मान (value) के कितना आस-पास बने रहते हैं। इस प्रकार एक ही मान (value) के बार-बार repeat करने को बारम्बारता या पुनरुत्पादकता (repeatability or reproducibility) कहते हैं।

अन्य शब्दों में—***The Repeatability is defined as the closeness of agreement between the results of succesive measurements of the same measured carried out subject to the same measurement procedure.***

(12) हिस्टेरिसिस (Hysteresis)—किसी मापन यंत्र द्वारा निश्चित परास (specified range) के अन्दर मापे गये मान (measured value) के आउटपुट के उच्चतम मान (highest value), जहाँ से इनपुट घटने (decrease) लगता है, को हिस्टेरिसिस (hysteresis) कहते हैं। अन्य शब्दों में—***Hysteresis is the difference between two separate measurements taken at the same point, the first is taken during a series of increasing measured values and the other during a series of decreasing measured values.***

हिस्टेरिसिस के अंकीय मान (Numerical value) को आउटपुट या इनपुट के पूर्व माप के प्रतिशत (percentage of full scale) में व्यक्त करते हैं।

(13) माप की अनिश्चितता (Uncertainty of Measurement)—क्वाण्टम यान्त्रिकी (Quantum mechanics) के सिद्धान्त के अनुसार, किसी कण की स्थिति एवं संवेग को एक साथ एकदम ठीक-ठीक नहीं मापा जा सकता है। इस प्रकार यदि एक राशि अधिक शुद्धता से मापी जायेगी तो दूसरी के मापन में उतनी ही अशुद्धता बढ़ जायेगी, चाहे इसे मापने में कितनी ही कुशलता क्यों न बरती जाये। अन्य शब्दों में—***Uncertainty of measurement is the expression of the statistical dispersion of the values attributed to a measured quantity.***

All measurements are subject to uncertainty and a measurement result is complete only when it is accompanied by a statement of the uncertainty which is known as standard deviation. It reflects incomplete knowledge of the quantity value. It is a non-negative parameter.

1.8 मापन की त्रुटियाँ (Errors of Measurement)

किसी यन्त्र द्वारा ली गई माप के सूचित मान (indicated value) एवं वास्तविक मान (true value) के अन्तर को माप की त्रुटियाँ (errors of measurement) कहते हैं।

किसी भी यन्त्र द्वारा कोई भी माप पूर्णतया त्रुटि रहित नहीं हो सकता अर्थात् कभी भी 100% शुद्ध माप नहीं मापा जा सकता है। उसमें कोई न कोई त्रुटि अवश्य होगी।

त्रुटियाँ होने के कारणों के बारे में जानकारी करके इन त्रुटियों को कम या न्यूनतम किया जा सकता है। यन्त्र द्वारा मापने पर त्रुटियाँ जितनी कम होंगी उस माप का सूचित मान उतना ही शुद्ध होगा।

इस प्रकार मापन में कम से कम या न्यूनतम त्रुटि के लिए त्रुटियों के स्रोत तथा उनके कारणों के बारे में जानकारी रखना अति आवश्यक होता है।

मापन की त्रुटियों के कारणों के आधार पर माप की त्रुटियों को निम्न वर्गों में बाँटा जा सकता है—

1. परिवेश त्रुटियाँ (Environmental Errors)
2. संयोगिक त्रुटियाँ (Random Errors)
3. रूपान्तरण त्रुटियाँ (Translation Errors)
4. यन्त्र अवस्थापन त्रुटियाँ (Instrument Location Errors)
5. समुच्चय त्रुटियाँ (Assemble Errors)
6. नियन्त्रणीय त्रुटियाँ (Controllable Errors)

1. परिवेश त्रुटियाँ (Environmental Errors)—ये त्रुटियाँ यन्त्रों के परिवेश एवं स्थान पर निर्भर करती हैं एवं समय व स्थान के साथ बदलती भी रहती हैं। ऐसी त्रुटियों का पूर्वानुमान लगाना सम्भव नहीं होता है।

ऐसी त्रुटियाँ यन्त्र रखने या मापने के परिवेश जैसे—तापमान (temperature), आर्द्रता (humidity), ऊँचाई (altitude), मौसम (weather) आदि पर निर्भर करती है जिस कारण ये त्रुटियाँ यन्त्रों के परिवेश की विभिन्न अवस्थाओं में प्रयोग करने से उत्पन्न होती हैं।

इन त्रुटियों को, निम्न उपायों को अपनाकर कम या दूर किया जा सकता है—

(i) नई परिवेश के आधार पर मापन यन्त्रों का अंशांकन (calibration) करना चाहिए।

(ii) मापन यन्त्रों को जिस तापमान, आर्द्रता आदि के परिवेश में समुच्चय व अंशांकन किया गया है उसी नियन्त्रित परिवेश की अवस्था में प्रयोग करना चाहिए।

(iii) यदि उसी नियन्त्रित परिवेश की अवस्था में प्रयोग करना सम्भव न हो तो मापन यन्त्रों के प्रयोग के स्थान के आधार पर प्रेक्षित मान (observation value) में आवश्यक संशोधन कर लेना चाहिए।

2. संयोगिक त्रुटियाँ (Random Errors)—जैसा कि नाम से विदित है, ये त्रुटियाँ संयोगी या अप्रत्याशित होती हैं और कभी भी घट सकती हैं। इनका पूर्वानुमान लगाना काफी कठिन होता है। ये इतनी अधिक संख्या में होती हैं कि इनके सभी कारणों का पता चलना मुश्किल होता है।

ये त्रुटियाँ निम्न कारणों से उत्पन्न होती हैं—

(i) मापन यंत्रों के पैमाने के विभाजनों की सीमित-विमायें (Finite Dimensions)

(ii) यंत्र की चालों में पिच्छट (Backlash)

(iii) यन्त्र की चालों में घर्षण (Friction)

(iv) यान्त्रिक कम्पन (Mechanical Vibration)

(v) यंत्र के सूचक (Pointer/Indicator) तथा उसके पैमाने (Scale) के बीच लम्बन-त्रुटियाँ (Parallax Errors) के कारण।

3. रूपान्तरण त्रुटियाँ (Translation Errors)—मापन यन्त्रों द्वारा निवेश-संवेदन (Input Signal) का पूर्ण रूप से रूपान्तरित न हो पाने के कारण जो त्रुटि उत्पन्न होती है, वह रूपान्तरण त्रुटि कहलाती है।

ये त्रुटियाँ मापन यन्त्र की घर्षण मंदन (Hysteresis) जड़ता (Inertia) आदि के कारणों से हो सकती है जिस कारण यन्त्र का रूपान्तरक (Translator) यन्त्र द्वारा भेजे गये निवेश संवेदन (Input Signal) को पूर्णरूप से दूसरे वांछित संवेदन (Required Signal) में रूपान्तरित नहीं कर पाता है।

4. यन्त्र अवस्थापन त्रुटियाँ (Instrument Location Errors)—इस प्रकार की त्रुटि मापन यन्त्रों को उनके उचित स्थान पर न रखने या न लगाने के कारण उत्पन्न होती है। जैसे—किसी बॉयलर (Boiler) में भाप (Steam) का दाब (Pressure) मापने के लिए दाबमापी (Pressure Gauge) को ऐसे स्थान पर नहीं लगाया गया हो जहाँ भाप का दाब अधिकतम (maximum) हो; ऐसी अवस्था में दाबमापी द्वारा दर्शाया गया दाब सही नहीं होगा और दाब मापने में अवस्थापना त्रुटि आ जायेगी।

5. समुच्चय त्रुटियाँ (Assemble Errors)—ऐसी त्रुटियाँ प्रायः मापन यन्त्रों के विभिन्न पार्ट्स (Parts) के सही ढंग से फिट अथवा समुच्चय (Assemble) न होने के कारण होती हैं। इसके अलावा भी इन त्रुटियों के कई कारण हैं जो निम्न हैं—

(i) मापन यन्त्र के पैमाने (scale) का असमान (non-uniform) विभाजन (division)।

(ii) सूचक (pointer) का मुड़ जाना या विरूपित (distorted) हो जाना।

(iii) मापन यन्त्र के पैमाने का वास्तविक स्थान से हट जाना या फिर पैमाने का गलत ढंग से फिट हो जाना जिस कारण पैमाने का वास्तविक शून्य स्थिति अपने स्थान से अलग हट जाती है।

6. नियन्त्रणीय त्रुटियाँ (Controllable Errors)—मापन यन्त्रों में पायी जाने वाली जिन त्रुटियों को कम किया जा सकता है अथवा नियन्त्रित किया जा सकता है, वे त्रुटियाँ नियन्त्रणीय त्रुटियाँ (Controllable Errors) कहलाती हैं। इन त्रुटियों को व्यवस्थित त्रुटियाँ (Systematic Errors) भी कहा जाता है। ये त्रुटियाँ निम्न कारणों से उत्पन्न होती हैं—

(i) लम्बाई मापने के मानक जैसे स्लिप गेज (slip gauge) तथा मापन यंत्र के पैमाने (scale) के माप में अंशांकन (calibration) त्रुटि के कारण माप में अन्तर आता है।

(ii) यंत्रों द्वारा संवेदनों (signals) को एक स्थान से दूसरे स्थान तक भेजने में ट्रान्समिशन त्रुटियाँ (transmission errors) हो जाने के कारण। जैसे—बिजली के तारों (wires) में वोल्टता-ड्रॉप (voltage drop or line loss)।

(iii) परिवेशी दशाओं (ambient conditions) के कारण, जैसे—कुछ प्राचालों (parameters) के मान सार्वत्रिक (universally) रूप से सर्वमान्य हैं, जैसे—बैरोमीटर दाब-760 मिमी (Hg) या तापमान-20°C आदि। इन प्राचालों की दशा में उनके मान परिवर्तन के बाद मापन-यन्त्रों द्वारा लिये गये माप में अन्तर आ जाना।

1.9 त्रुटियों के स्रोत (Sources of Errors)

मापन यन्त्रों में पायी जाने वाली त्रुटियाँ मुख्य रूप से भौतिक (Physical), यांत्रिक (Mechanical) तथा यंत्रों के दोषपूर्ण अंशांकन (Wrong Calibration) के कारण होती हैं। ये सभी त्रुटियाँ किसी न किसी स्रोतों (Sources) के कारण उत्पन्न होती हैं जिनका विवरण अग्र प्रकार है—

(i) **ध्वनि (Noise) के कारण**—तेज ध्वनि के कारण उत्पन्न होने वाली तरंगों से मापन यंत्रों के संवेदन (Signal) प्रभावित हो सकते हैं। इसलिए माप विज्ञान प्रयोगशाला को एकांत स्थल व ध्वनिरोधक (Sound Proof) बनाना चाहिए।

(ii) **तापमान (Temperature) के कारण**—तापमान में उतार-चढ़ाव के कारण मापन यंत्रों की विमाओं (dimensions) तथा उसके पदार्थ के भौतिक गुणों में परिवर्तन आ जाने के कारण मापन में त्रुटियाँ आ सकती हैं।

(iii) **मापन प्रणाली पर परिवेशी प्रभाव के कारण**—इसके कारण मापन यंत्रों का अंशांकन प्रभावित हो जाता है। जैसे—दाब, आर्द्रता, धूल, धुएँ आदि के कारण माप में अन्तर आ सकता है।

(iv) **प्रत्युत्तर समय (response time) के कारण**—प्रत्येक मापन प्रणाली का कुछ प्रत्युत्तर समय होता है जिसमें मापन प्रणाली को दिये गये निवेश संवेदन (Input Signal) का प्रत्युत्तर तुरन्त नहीं मिलता है। इसमें कुछ समय लगता है जिसे प्रत्युत्तर समय (response time) कहते हैं। इस समयान्तर के कारण भी त्रुटियाँ सम्भव हैं।

(v) **प्रेक्षण तथा भाषांतरण के कारण**—ऑपरेटर द्वारा लिये गये प्रेक्षण तथा उसके भाषांतरण करने में होने वाली गलतियों के कारण इस प्रकार की त्रुटि सम्भव है।

(vi) **मापन प्रणाली की खराबी के कारण**—मापन यन्त्र के मापन प्रणाली के किसी पार्ट (part) में उत्पन्न खराबी के कारण ऐसी त्रुटियाँ सम्भव हो जाती हैं जो उस पार्ट (part) में भौतिक अथवा रासायनिक अथवा लाक्षणिक परिवर्तन के कारण उत्पन्न होती हैं।

1.10 मापन-यन्त्रों की त्रुटियों का समायोजन (Adjustment of Errors of Measuring Instrument)

मापन यंत्रों के मापन में उपरोक्त आधार पर त्रुटियों का होना निश्चित है। मापन यन्त्रों से यथार्थ मापन (Accurate Measurement) के लिए इन त्रुटियों को समायोजन (Adjustment) द्वारा कम या न्यूनतम किया जा सकता है। त्रुटियों का समायोजन निम्नलिखित तरीकों से किया जा सकता है—

(i) किसी मापन यन्त्र का समुच्चय या फिट होने वाला कोई पार्ट यदि खराब हो गया है या फिर काफी पुराना हो गया है तो उस पार्ट (part) को बदलकर मापन में त्रुटि का समायोजन किया जा सकता है।

(ii) मापन यंत्रों का शून्य त्रुटि (zero error) तथा बैक-लैश (back lash) त्रुटि का समायोजन कर मापन यंत्र को ठीक किया जा सकता है।

(iii) मापन यन्त्रों को तापमान के प्रभावों से बचाने के लिए उसे वातानुकूलन (A.C.) द्वारा तापमान का नियंत्रण करके अन्तर्राष्ट्रीय मानक तापमान 20°C पर ही रखा व अंशांकन (calibration) किया जा सकता है।

(iv) डायल सूचक (dial indicator) से माप लेने वाले मापन यन्त्रों के कोज्या त्रुटि (cosine error) का समायोजन करके त्रुटि को कम किया जा सकता है।

1.11 मानकीकरण (Standardisation)

किसी देश की अर्थव्यवस्था, उस देश में लगे उद्योगों की उत्पादकता और क्षमता (productivity and efficiency) पर निर्भर करती है। इसके लिए ये जरूरी है कि उद्योगों में बनने वाले या लगने वाले पार्ट्स (parts) के बीच अन्तर्परिवर्तनीयता (interchangeability) अधिकतम हो और विविधता (diversity) कम से कम हो। ये सब मानकीकरण (standardization) से ही संभव है। मानकीकरण कई स्तर पर होता है; जैसे—अन्तर्राष्ट्रीय, राष्ट्रीय, संस्था या फिर कम्पनी के स्तर पर।

1.12 मानकीकरण संस्थायें (Standardising Organisation)

मापिकी उपकरणों (metrological instruments) के मानक (standard) की जाँच करने के लिये, भारत में एक मुख्य संस्था 'ब्यूरो ऑफ इण्डियन स्टैण्डर्ड' (Bureau of Indian Standard - BIS) है। इस संस्था में कई शाखायें हैं जिसमें

अलग-अलग काम के लिये एवं विभिन्न प्रकार के उद्योगों के लिये एक्सपर्ट लोगों की कमेटियाँ हैं। इस प्रकार भारत में मानकीकरण के लिये, 'ब्यूरो ऑफ इण्डियन स्टैण्डर्ड' राष्ट्रीय संस्था है।

1.13 ब्यूरो ऑफ इण्डियन स्टैण्डर्ड के कार्य (Function of Bureau of Indian Standard)

इस संस्था के मुख्य कार्य निम्न हैं—

(i) भारतीय मानकों का बनाना, प्रकाशित करना एवं हर जगह प्रचार करना।
(ii) सर्टिफिकेट के लिये दिये गये लेखों एवं सामानों की जाँच करना।
(iii) लैबों की स्थापना, मरम्मत एवं पहचान (Recognition) करना।
(iv) उत्पाद एवं उत्पाद प्रक्रिया को बेहतर बनाना एवं क्वालिटी को बढ़ाना।
(v) किताबों, गाइडों एवं लेखों की प्रामाणिकता की जाँच करना, इत्यादि।

Engineering Metrology Sectional Commitee सन् 1958 में बनी। BIS इसी कमेटी के अन्दर काम करता है।

BIS की तरह ब्रिटेन (Britain) में British Standards Institution काम करता है। यूरोप में, International Federation of National Standardising Association जो कि I.S.A के नाम से जाना है, काम करता है। I.S.A में UK, USA और रूस ने भी अपना काम शुरू कर दिया। सन् 1946 में I.S.A को बदलकर नये रूप International Organisation for Standardisation (I.S.O) बना दिया गया। आजकल बहुत से देश I.S.O के सदस्य हैं। इंजिनियरिंग मेट्रोलॉजी के क्षेत्र में I.S.O Certification का अन्तर्राष्ट्रीय स्तर पर बहुत महत्व है।

प्रमुख Standardizing Organizations निम्न हैं—

(i) International Organisation of Weights and Measures (IOWM)
(ii) General Conference of Weights and Measures (GCWM)
(iii) International Committee of Weights and Measures (ICWN)
(iv) Bureau International des Poids et Measures (BIPM)
(v) International Laboratory Accreditation Conference (ILAC)
(vi) International Electrotechnical Commission (IEC)
(vii) International Organisation for Standardisation (ISO)
(viii) National Metrology Institute (NMI)
(ix) International Organisation of Lgal Metrology (OIML)
(x) Bureau of Indian Standard (BIS)

1.14 मात्रक (Units)

S.I. आधार मात्रक (S.I. Base Units)

	Quantity	Name of Unit	Symbol
1.	Length	Metre	m
2.	Time	Second	s
3.	Mass	Kilogram	kg
4.	Thermodynamic temperature	Kelvin	K
5.	Electric current	Ampere	A
6.	Luminous intensity	Candela	cd
7.	Amount of substance	Mole	mol

S.I. परिणामी मात्रक (S.I. Derived Units)

	Quantity	Name of Unit	Symbol
1.	Area	Square metre	m^2
2.	Volume	Cubic metre	m^3
3.	Velocity/speed	Metre per second	m/s
4.	Acceleration	Metre per second square	m/s^2
5.	Density	Kilogram per cubic metre	kg/m^3
6.	Specific volume	Cubic metre per kilogram	m^3/kg
7.	Concentration	Mole per cubic metre	mol/m^3
8.	Redioactive activity	1 per second	s^{-1}
9.	Luminance	Candela per square metre	cd/m^2

विशेष नाम के S.I. परिणामी मात्रक (S.I. Derived Units with Special name)

	Quantity	Name of Unit	Symbol	Expression in term of other Unit
1.	Force	Newton	N	—
2.	Frequency	Hertz	Hz	—
3.	Pressure	Pascal	Pa	N/m^2
4.	Energy, Work	Joule	J	N·m
5.	Quantity of electricity	Watt	W	J/s
6.	Electric charge	Colomb	C	A·s
7.	Electric resistance	Ohm	Ω	V/A
8.	Electric potential	Volt	V	W/A
9.	Capacitance	Farad	F	C/V
10.	Magnetic flux	Weber	Wb	V.S

S.I. पूरक मात्रक (S.I. Supplimentary Units)

	Quantity	Name of Unit	Symbol
1.	Plane angle	Radian	rad
2.	Solid angle	Steradian	sr
3.	Radiant intensity	Watt per steradian	W/sr
4.	Angular velocity	Radian per second	rad/s
5.	Angular acceleration	Radian per second square	rad/s^2
6.	Radiance	Watt per square metre steradian	$W\text{-}m^{-2}.sr^{-1}$

1.15 ग्रीक वर्णमाला

छात्रों की सुविधा के लिए यहाँ ग्रीक वर्णमाला (Greek Alphabets) उसके चिन्ह (Symbol) एवं उच्चारण (Pronunciation) दिये जा रहे हैं जिसका प्रयोग बहुतायत में किया जाता है।

Greek Alphabets	Symbol	Pronunciation	Hindi
A	α	alpha	अल्फा
B	β	beta	बीटा
Γ	γ	gamma	गामा
Δ	δ	delta	डेल्टा
E	ε	epsilon	एप्साइलन
Z	ζ	zeta	जेटा
H	η	eta	ईटा
Θ	θ	theta	थीटा
I	ι	iota	आयोटा
K	κ	kappa	काप्पा
Λ	λ	lambda	लैम्ब्डा
M	μ	mu	म्यू
N	ν	nu	न्यू
Ξ	ξ	xi	जाई
O	ο	omicron	ओमाइक्रान
Π	π	pi	पाई
P	ρ	rho	रो
Σ	σ	sigma	सिग्मा
T	τ	tau	टाओ
Y	υ	upsilon	यूप्साईलन
Φ	ϕ	Phi	फाई
X	χ	Chi	काई
Ψ	ψ	psi	साई
Ω	ω	omega	ओमेगा

1.16 रूपान्तरण गुणक (Conversion Factors)

1. बल (Force)—

$$1 \text{ न्यूटन} = kg.m/sec^2 = 0{\cdot}012 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ kgf} = 9{\cdot}81 \text{ N}$$

2. ऊर्जा, कार्य या ऊष्मा (Energy, Work or Heat)—

$$1 \text{ जूल} = 1 \text{ न्यूटन मीटर} = 1 \text{ वाट-से०}$$

$$= 2{\cdot}7778 \times 10^{-7} \text{ kW-h} = 0{\cdot}239 \text{ cal}$$

$= 0.239 \times 10^{-3}$ kcal

1 cal $= 4.184$ joule

$= 1.1622 \times 10^{-6}$ kWh

1 kcal $= 4.184 \times 10^{3}$ joule $= 427$ kgf.m

$= 1.1622 \times 10^{-3}$ kWh

1 kWh $= 8.6042 \times 10^{3}$ cal $= 860.42$ kcal

$= 3.6 \times 10^{6}$ joule

1 kgf·m $= \frac{1}{427}$ kcal $= 9.81$ joule

3. दाब (Pressure)—

1 bar $= 750.05$ mmHg $= 0.9869$ atm $= 10^{5}$ N/m^2

$= 103$ kg/m-sec^2

1 N/m^2 = 1 pascal $= 10^{-5}$ bar $= 10^{-2}$ kg/m-sec^2

1 atm $= 760$ mmHg $= 1.03$ kgf/cm^2 $= 1.01325$ bar

$= 1.01325 \times 10^{5}$ N/m^2

4. विशिष्ट ऊष्मा (Specific heat)—

1 kcal/kg.°K = 4184 joule/kg.K

5. शक्ति (Power)—

1 watt = 1 joule/sec = 0·86 kcal/h

1 h.p. = 75 m kgf/sec = 0·1757 kcal/sec.

= 735·5 watt

1 kW = 1000 watt = 860 kcal/h

6. भार और घनत्व (Mass and Density)—

1 kg $= 1000$ g $= 6.02 \times 10^{26}$ u

1u $= 1.66 \times 10^{-27}$ kg

1 kg/m^3 $= 10^{-3}$ g/cm^3

7. समय (Time)—

1 d = 86400 s

1 y $= 365\frac{1}{4}$ d $= 3.16 \times 10^{7}$ s

8. कोणीय माप (Angular Measure)—

1 rad = 57·3° = 0·159 rev

π rad $= 180° = \frac{1}{2}$ rev

9. लम्बाई एवं आयतन (Length and Volume)—

1 m = 100 cm = 39·4 in = 3·28 ft

1 mile = 1·61 km = 5280 ft

1 in = 2·54 cm

1 nm $= 10^{-9}$ m

1 pm $= 10^{-12}$ m

1 light-year $= 9.46 \times 10^{15}$ m

1 m^3 = 1000 L = 35·3 ft^3 = 264 gal

10. चाल (Speed)—

1 m/s = 3·28 ft/s = 2·24 mile/h

1 km/h = 0·621 mile/h = 0·278 m/s

1.17 Important Engineering Constants And Expressions in S.I. Units

S.No.	Engineering constant and expressions	In M.K.S. System	In S.I. Unit
1.	Value of g_0	9·81 kg.m/kgf. sec^2	1 kg.m/N.sec^2
2.	Gas constant (R)	29·27 kgf.m/kg.°k	$\frac{8314}{29} = 287$ joules/kg.K
3.	Refrigeration 1 ton	= 50 k.cal/min	= 210 k.J/min
4.	Universal gas constant	848 kg.f.m/kg mole	°K, 848 × 9·81 = 8341 j/kg. mol. °K (∵ 1 kg f. m = 9·81 joules)
5.	Specipic heat (for air)	$c_v = 0.17$ k.cal/kg °K	$c_v = 0.17 \times 4.814$ $= 0.71128$ k.j/kg°K
6.	Flow through nozzle exit velocity (c_2)	91·5 U, where U is in k.cal	$44.7\sqrt{U}$, where U is in kj

1.18 CONVERSION FACTORS TO CONVERT FROM NON S.I. UNITS INTO S.I. UNITS

To convert	*To*	Multiply by
angstroms	m	10^{-10}
atmospheres	kg/m^2	10332
bars	kg/m^2	1.02×10^{4}
Btu	joules	1054·8

Btu	kWh	$2{\cdot}928 \times 10^{-4}$
circular mils	m^2	$5{\cdot}067 \times 10^{-10}$
cubic feet	m^3	0·02831
dynes	newtons	10^{-5}
ergs	joules	10^{-7}
ergs	kWh	$0{\cdot}2778 \times 10^{-13}$
feet	m	0·3048
foot-pounds	joules	1·356
foot-pounds	kg-m	0·1383
gauss	tesla	10^{-4}
grams (force)	newton	$9{\cdot}807 \times 10^{-3}$
horse power (metric)	watts	735·5
lines/sq. inch	tesla	$1{\cdot}55 \times 10^{-5}$
Maxwell	webers	10^{-8}
mho	Siemens	1
micron	metre	10^{-6}
miles	km	1·609
mils	cm	$2{\cdot}54 \times 10^{-3}$
poundals	newton	0·1383
pounds	kilogram	0·454
pounds (force)	newtons	0·448
pounds/sq. ft.	N/m^2	47·878
pounds/sq. inch	N/m^2	6894·43

1.19. Dimensions of Quantities

Different units can be represented dimensionally in terms of units of length L, mass M, and time T and current I. The dimensions can be derived as under :

1. Velocity = length/time = $L/T = LT^{-1}$
2. Acceleration = velocity/time = $LT^{-1}/T = LT^{-2}$

3. Force = mass × acceleration = MLT^{-2}
4. Charge (coulomb) = current × time = IT
5. Work or energy = force × distance = ML^2T^{-2}
6. EMF or potential = work/charge = $ML^2T^{-2} / IT = ML^2I^{-1}T^{-3}$
7. Power = work/time = $ML^2T^{-2} / T = ML^2T^{-3}$
8. Current density = current/area = $I / L^2 = IL^{-2}$
9. Resistance = emf/current = $ML^2I^{-1}T^{-3} / I = ML^2I^{-2}T^{-3}$
10. Electric flux density = electric flux or charge/area = $IT / L^2 = ITL^{-2}$
11. MMF = current × number of turns = I
12. Conductance = I /resistance= $I / ML^2I^{-2}T^{-3} = I^{-3}T^3M^{-1}L^{-2}$
13. Electric field intensity = volt/metre = $ML^2I^{-1}T^{-3} / L = MLI^{-1}L^{-3}$
14. Resistivity = $\frac{\text{resistance} \times \text{area}}{\text{length}} = (ML^2I^{-2}T^{-3})(L^2) / L = ML^3I^{-2}T^{-3}$
15. Magnetic field intensity (H) = MMF /length = $I / L = IL^{-1}$
16. Magnetic flux = emf × time = $(ML^2I^{-1}T^{-3})(T) = ML^2I^{-1}T^{-2}$
17. Magnetic flux intensity = magnetic flux/area = $(ML^2I^{-1}T^{-2}) / L^2 = MI^{-1}T^{-2}$
18. Impedance = emf/current = $ML^2I^{-2}T^{-3}$
19. Admittance = 1/impedance = $I^2T^3M^{-1}L^{-2}$
20. Inductance = magnetic flux/current = $ML^2T^{-1}I^{-1} / I = ML^2T^{-2}I^{-2}$
21. Capacitance = electric charge/potential = $IT / ML^2T^{-3}I^{-1} = M^{-1}L^{-2}T^4I^2$

अभ्यास-प्रश्न (Exercise)

1. मेट्रोलॉजी से आप क्या समझते हैं? इंजीनियरी के क्षेत्र में मापनिकी का क्या प्रयोग है, वर्णन करें। **(BTE 1995, 2002, 2009)**
2. मापन से आप क्या समझते हैं? मापन एवं मापनिकी में अन्तर स्पष्ट करें। **(BTE 1994, 98)**
3. मेट्रोलॉजी के कार्य-क्षेत्र का वर्णन करें। **(2009)**
4. मेट्रोलॉजी के उद्देश्य से आपका क्या अभिप्राय है?
5. मापन के विभिन्न मानकों के विषय में वर्णन करें। **(BTE 1999)**
6. मापन की श्रेणियों का वर्णन करें। **(BTE 1995, 97, 99, 2000)**
7. मापन की श्रेणियों में अन्तर स्पष्ट करें।
8. निम्न पर संक्षिप्त टिप्पणी करें—
   - (i) रेखा मानक (Line Standard) **(BTE 1993)**
   - (ii) सिरा मानक (End Standard) **(BTE 1993, 97)**
   - (iii) तरंगदैर्ध्य मानक (Wavelength Standard) **(BTE 1991, 93)**

(iv) प्रथम श्रेणी की माप (Primary Measurement) (BTE 1999, 2006, 08, 10, 12, 1
(v) द्वितीय श्रेणी की माप (Secondary Measurement) (BTE 2000, 06, 08, 10, 12, 1
(vi) तृतीय श्रेणी की माप (Tertiary Measurement) (2006, 08, 10, 12, 1

9. अन्तर्परिवर्तनीयता (Interchangeability) को स्पष्ट रूप से समझाइये तथा इसके महत्व का वर्णन करें। (BTE 1992, 95, 2000, 04, 05, 06, 07, 1

10. निम्न में अन्तर स्पष्ट करें— (BT
(i) रेखीय मानक (Line Standard) एवं सिरेवार मानक (End Standard) (BTE 200
(ii) सूक्ष्मता (Precision) एवं यथार्थता (Accuracy)
(iii) असूक्ष्म (Non-Precision) यन्त्र एवं सूक्ष्म (Precision) यन्त्र (BTE 2007, 1
(iv) रेखीय तथा तरंगदैर्ध्य मापन मानकों के बीच अन्तर

11. निम्नलिखित को परिभाषित करें—
(a) यथार्थता (Accuracy) (BTE 2005) (b) सूक्ष्मता (Precision) (BTE 2005, 1
(c) सुग्राहिता (Sensitivity) (d) संरेखन (Alignment) (BT

12. मापन क्रिया में, दोष के स्रोतों के क्या कारण हैं? (BTE 200

13. मानकीकरण को संक्षेप में समझाइये।

14. भारत की मानकीकरण संस्था का नाम क्या है?

15. भारत की मानकीकरण संस्था BIS के क्या कार्य हैं?

अध्याय 2

रेखीय एवं कोणीय मापन
(Linear And Angular Measurement)

2.1 परिचय (Introduction)

मापनिकी में विशेष रूप से मापन यन्त्रों का अध्ययन किया जाता है। इस प्रकार इसमें मापन यन्त्रों का विशेष महत्व है। आधुनिक समय में उत्पादन प्रक्रियाओं में उत्पादों को बनाने में अत्यधिक यथार्थता (accuracy) रखी जाती है। इंजिनियरी के सामान्य उत्पादों में भी 0·001 मिमी० से 0·005 मिमी० सीमान्तर रखा जाता है जिसके लिये प्रयोग होने वाले मापन यन्त्रों में यथार्थता (accuracy), सूक्ष्मता (precision), पठनीयता (readability) तथा सुग्राहता (sensitivity) आदि गुण (qualities) होने चाहिए।

उच्च यथार्थता को बनाये रखने के लिये यह आवश्यक हो गया है कि मापन यन्त्रों का डिजाइन (design) इस प्रकार किया जायें कि वे माप के अतिसूक्ष्म परिवर्तन का भी यथार्थतापूर्वक प्रेक्षण (reading) दे सकें।

इंजिनियरी के विभिन्न क्षेत्रों के लिये उससे संबन्धित मापन-यंत्रों का ही उपयोग किया जाता है। इन मापन यन्त्रों में माप के सूक्ष्म परिवर्तन को आवर्धित (magnify) करने के लिये कई तरह की आवर्धन विधियों (magnifying methods) का प्रयोग किया जाता है। ये विधियाँ वैद्युत (electrical), यांत्रिक (mechanical), द्रवीय (hydraulic), वायवीय (pneumatic) तथा प्रकाशीय (optical) के सिद्धान्तों पर कार्य करती हैं। इस प्रकार जो यन्त्र, जिस मापन राशि को मापता (measure) है, वह यन्त्र उस राशि का मापयन्त्र (measuring instrument) कहलाता है। क्रिया सिद्धान्त एवं आवर्धन विधियों के आधार पर मापन यन्त्रों को निम्न वर्गों में बाँटा जाता है—

(i) यांत्रिक मापन यन्त्र (Mechanical Measuring Instruments)
(ii) प्रकाशीय मापन यन्त्र (Optical Measuring Instruments)
(iii) वैद्युत मापन यन्त्र (Electrical Measuring Instruments)
(iv) द्रवीय मापन यन्त्र (Hydraulic Measuring Instruments)
(v) वायवीय मापन यन्त्र (Pneumatic Measuring Instruments)

परिशुद्धता (Accuracy) के आधार पर मापन-यन्त्रों को निम्न दो वर्गों में वर्गीकरण किया जा सकता है—

A. साधारण मापन यन्त्र (Non-Precision Measuring Instruments)
B. सूक्ष्ममापी/सूक्ष्म मापन यन्त्र (Precision Measuring Instruments)

(A) साधारण मापन यन्त्र (Non-Precision Measuring Instruments)

इस वर्ग में कई प्रकार के यन्त्र आते हैं; जैसे—

(i) इस्पाती पैमाना (Steel Rule)—यह यन्त्र किसी उत्पाद (Product) की लम्बाई, चौड़ाई तथा ऊँचाई को मापने में प्रयोग किया जाता है।

(ii) बाह्य कैलीपर्स (Outside Calipers)—इय यन्त्र का प्रयोग किसी वृत्ताकार खण्ड का वाह्य व्यास मापने में किया जाता है।

(iii) अन्त: कैलीपर्स (Inside Calipers)—इस यन्त्र का प्रयोग छिद्रों (Holes) का व्यास मापने में किया जाता है।

(iv) हर्माफ्रोडाइट कैलीपर्स (Hermaphrodite Calipers)—इस यन्त्र का प्रयोग किसी किनारे या सिरे (ends) के सापेक्ष समान्तर रेखायें खींचने में होता है।

(v) सरफेस प्लेट (*Surface Plate*)—इसकी ऊपरी सतह पूर्णरूप से परिष्कृत एवं समतल (Flat) होती है, ... ऊपर कार्यखण्ड को रखकर मापन तथा चिह्न (Marking) क्रियायें करते हैं। इस पर कार्यखण्ड की चपटी सतहों की समतलता (Flatness) की भी जाँच की जाती है।

(vi) एंगल प्लेट (*Angle Plate*)—यह दो प्लेटों को समकोण (90°) पर जोड़कर बनाया जाता है। इसका प्रयोग ... कार्य में कार्यखण्ड को समकोण (90°) पर सहारने में किया जाता है।

(vii) काम्बिनेशन सेट (Combination Set)—इस यन्त्र का प्रयोग सरल रेखा, समकोण तथा सतह समतलता जाँच करने, मापने एवं चिन्हन कार्य करने में किया जाता है। इन सबके अलावा अन्य कई प्रकार के यन्त्रों का प्रयोग भी ... जाता है।

(B) सूक्ष्म मापन यन्त्र (Precision Measuring Instruments)

इस वर्ग में कई प्रकार के मापन यन्त्र आते हैं, जो निम्न हैं—

(i) वर्नियर कैलीपर (Vernier Caliper)—इसका प्रयोग परिशुद्ध मापन में लम्बाई, चौड़ाई, मौटाई, वाह्य व्यास, आन्तरिक व्यास आदि मापने में किया जाता है। इसकी परिशुद्धता 0.10 mm से लेकर 0.02 mm तक होती है।

(ii) माइक्रोमीटर (Micrometer)—इसका प्रयोग वाह्य व्यास मापने में किया जाता है। इसकी परिशुद्धता 0.01 mm से लेकर 0.005 तक होती है।

(iii) डॉयल गेज (Dial Gauge)—डायल गेज का प्रयोग परिशुद्ध मापन में किया जाता है। इसके कई अन्य प्रयोग होते हैं। इसके द्वारा 0.001 mm तक शुद्धता की मापन की जा सकती है।

(iv) स्लिप गेज (Slip Gauge)—इनकी सहायता से 0.005 mm से लेकर 125 mm तक की लम्बाई को यथार्थता (accuracy) से मापा जा सकता है।

(v) वर्नियर हाइट गेज (Vernier Height Gauge)—इसका प्रयोग कार्यखण्ड की ऊँचाई को 0.01 mm के परिशुद्ध मापन एवं चिन्हन कार्य में किया जाता है।

(vi) साइन बार (Sine Bar)—इसका प्रयोग स्लिप गेजों की सहायता से कार्यखण्ड का टेपर (Taper) मापने में होता है।

(vii) एंगल ब्लाक गेज (Angle Block Gauge)—इसका प्रयोग कोणों (Angles) को मापने में किया जाता है। ... 1 Second की शुद्धता तक माप सकते हैं।

(viii) तुलनित्र (Comparator)—इसकी सहायता से किसी कार्यखण्ड के मापों की तुलना मानक-माप (Standard) पिण्ड से अधिक यथार्थता पूर्वक की जाती है।

इन सबके अतिरिक्त अन्य कई प्रकार के सूक्ष्म मापन यन्त्रों का प्रयोग भी किया जाता है।

2.2 रेखीय मापन में प्रयोग होने वाले साधारण मापन यन्त्रों की बनावट एवं उपयोग (Construction, Features And Uses of Instruments For Non-precision Linear Measurement)

रेखीय मापन में प्रयोग होने वाले साधारण यन्त्रों का विवरण निम्न है—

1. इस्पाती पैमाना (Steel Rule)
2. कैलीपर्स (Calipers)
3. सरफेस प्लेट (Surface Plate)
4. एंगल पलेट (Angle Plate)
5. वी-ब्लॉक (V-Block)
6. काम्बिनेशन सेट (Combination Set)
7. यूनिवर्सल बेवेल प्रोट्रेक्टर (Universal Bevel Protractor)

इन सबके अतिरिक्त कुछ अन्य यन्त्र भी इस श्रेणी में आते हैं जिनका प्रयोग बहुतायत होता है; जैसे—Radius Gauge, Spirit Level, Universal Surface Gauge, Straight Edge etc.

1. इस्पाती पैमाना (Steel Scale)—यह पैमाना एक सीधे इस्पात ब्लेड का बना होता है। यह एक रेखीय मापन यन्त्र है। इसके दोनों तरफ रेखीय मापन के लिये मिमी० (mm), सेमी० (Cm) तथा इंच (Inches) के निशान (Line graduation) खुदे हुए (Engraved) होते हैं।

बाजार में उपलब्ध इस्पाती पैमाना 150 mm, 300 mm, 600 mm एवं 1000 mm माप तक मिलते हैं। इनका प्रयोग साइजों या लम्बाई को मापने तथा विमाओं को निश्चित करने के लिये किया जाता है। इसको निम्न चित्र में दिखाया गया है।

चित्र 1 : इस्पाती पैमाना

स्टील स्केल के प्रयोग (Proper Uses of Steel Scale)

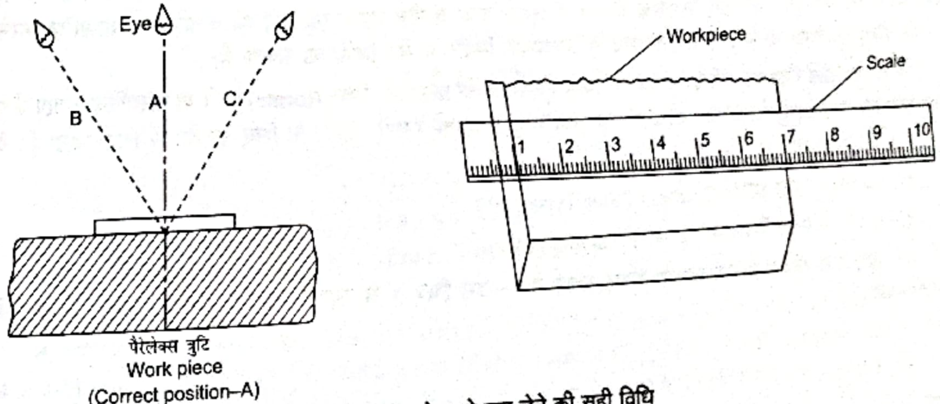
स्टील स्केल से सही माप प्राप्त करने के लिये निम्न तरीका अपनाना चाहिए ताकि परिणाम में किसी प्रकार की त्रुटि न आने पाये।

(i) प्रयोग करते रहने से स्टील स्केल के किनारे (Ends) घिस सकते हैं जिससे मापन में त्रुटि आ सकती है। इसको रोकने के लिये, स्केल के सिरे को माप लेने वाले पार्ट के सिरे से सेट नहीं करना चाहिए क्योंकि ऐसे मान लेते समय स्केल के सिरे एवं पार्ट के साथ सही-सही लाइन अप (Line-up) करना कठिन होता है। इसलिये किनारे के माप से अच्छा होता है कि स्केल को आगे रखकर किसी भी माप सीमा से शुरू करना चाहिए।

(ii) स्केल को पार्ट की सतह पर चपटी स्थिति में नहीं रखना चाहिए। ऐसा करने से स्केल पर बने माप अंशांकन (Graduations) पार्ट की सतह के सीधे सम्पर्क में नहीं आते हैं जिससे विमाओं को सही-सही पढ़ने में परेशानी होती है।

(iii) मापन त्रुटि को कम करने के लिये स्केल पतला होना चाहिए।

(iv) किसी पार्ट की माप लेते समय या सभी मापन क्रियाओं में अपने आँखों को क्रिया बिन्दु पर लम्बवत् रखना चाहिए ताकि माप लेने में त्रुटि न हो। आँखों के माप बिन्दु के लम्बवत् न होने पर माप लेने में त्रुटि होगी, इस प्रकार की त्रुटि को पैरेलेक्स त्रुटि (parallax error) कहते हैं। माप लेने की सही विधि को निम्न चित्र में दिखाया गया है।



चित्र 2 : स्केल से माप लेने की सही विधि

स्टील स्केल के गुण (Qualities of Steel Scale)

एक अच्छे स्टील स्केल में निम्न गुण होने चाहिएँ—

(i) स्टील स्केल उत्तम क्वालिटी के स्टील से बना होना चाहिए।

(ii) स्टील स्केल की मोटाई (thickness) कम-से-कम होनी चाहिए।

(iii) mm, cm या inches के निशान स्पष्ट रूप से खुदे हुए (engraved) होने चाहिएँ।

(iv) स्टील स्केल के दोनों सिरों पर अंशांकन (graduations) होना चाहिए।

(v) स्टील स्केल के दोनों सिरे चपटे एवं सीधे (flat and straight) होने चाहिएँ।

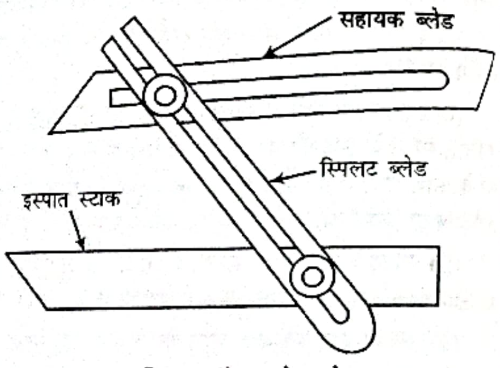
सावधानियाँ (Precautions)

(i) स्टील स्केल का प्रयोग किसी पार्ट की सफाई आदि के लिये या स्क्रू ड्राइवर की तरह प्रयोग नहीं करना चाहिए। ऐसा करने से इसके सिरे खराब हो सकते हैं।

(ii) स्टील स्केल को मोड़ने से बचाना चाहिए।

(iii) किसी भी तरह से खराब स्केल का प्रयोग नहीं करना चाहिए।

2. संयुक्त बेवल वर्ग (Combined Bevel Square)—इस औजार का उपयोग कोणीय मापन में होता है। इसे जॉब पर कोई भी कोण की जाँच तथा स्थानान्तरित करने के लिए प्रयोग में लाया जाता है। इसे बेवल गेज (bevel gauge) भी कहा जाता है। यह इस्पात स्टॉक से हिन्ज द्वारा जुड़े स्प्लिट ब्लेड (split blade) तथा स्प्लिट ब्लेड पर क्लेम्प किये हुए सहायक स्लाटिड ब्लेड से बना होता है। इस स्प्लिट ब्लेड व स्टॉक को परस्पर किसी भी कोण पर समायोजित किया जा सकता है जबकि इस कोण को चाँदे की सहायता से पढ़ लिया जाता है।



चित्र 3 : संयुक्त बेवल गेज

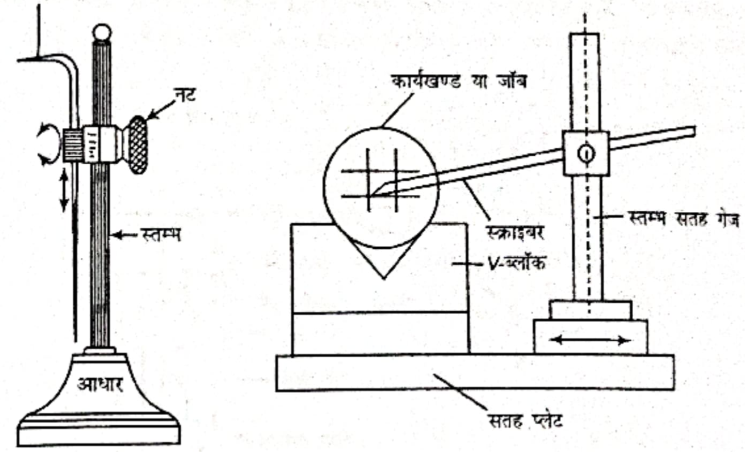
3. सतह गेज (Surface Gauge)—यह ढलवाँ लोहा के बने आधार (base) से जुड़ा हुआ ऊर्ध्वाधर स्तम्भ तथा नरलन नट (knurling nut) द्वारा नियंत्रित समायोजन होल्डर में लगे स्क्राइबर से बना होता है। इसे चिन्हन ब्लॉक (marking block) या स्क्राइबिंग ब्लॉक (scribing block) भी कहा जाता है। इसमें लगे नट को चलाकर स्क्राइबर को स्तम्भ के सापेक्ष वांछित कोण पर सेट करने के लिए या इसके होल्डर में इसको ऊपर व नीचे करके स्क्राइबर की ऊँचाई को समायोजित करने के लिए ढीला या कसा जा सकता है तथा बाद में आवश्यक स्थिति में सेट किया जा सकता है।

सतह गेज सतह प्लेट पर रखे V-ब्लाक में पकड़े हुए शाफ्ट के केन्द्रों को स्थित (locate) करने या वास्तविक सतहों जैसे सतह प्लेट या कोई अन्य से विभिन्न ऊँचाइयों पर तथा सीधी समान्तर रेखाएँ खींचने के लिए उपयोग में लाया जाता है। ये सामान्यत: दो प्रकार के होते है—

(i) ऊर्ध्वाधर स्तम्भ प्रकार (Vertical Pillar Type) तथा

(ii) सार्वत्रिक सतह गेज (Universal Pillar Gauge)

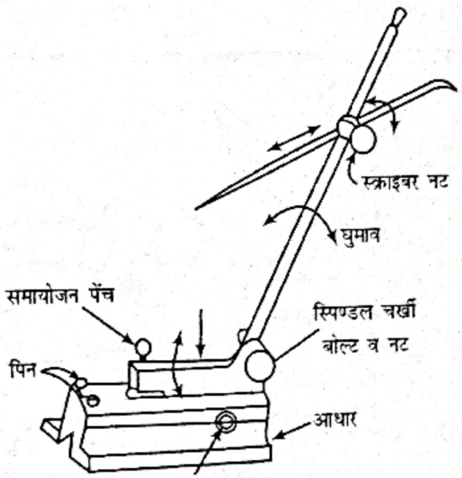
(i) ऊर्ध्वाधर स्तम्भ प्रकार अर्थात् सरल सतह गेज—इसे चित्र 4 में दर्शाया गया है, जिसमें इसका उपयोग भी दिखाया गया है।



(अ) सरल सतह गेज (ब) सरल सतह गेज का उपयोग

चित्र 4: ऊर्ध्वाधर स्तम्भ प्रकार सरल सतह गेज

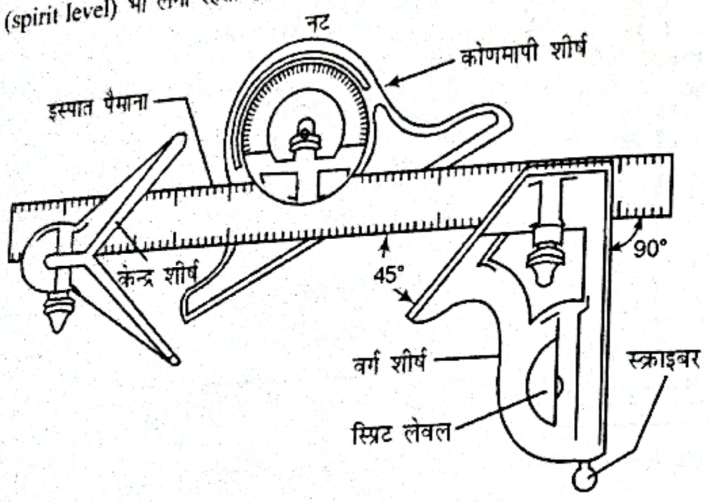
(ii) सार्वत्रिक सतह गेज (Universal Surface Gauge)—यह ऊर्ध्वाधर स्तम्भ का सुधरा हुआ रूप (form) होता है। इसके आधार के निचले तल पर वी-खाँचा (V-Groove) बना रहता है जिसे गोलाकार सतह पर भी रखा जा सकता है। निम्न चित्र 5 में यह गेज दर्शाया गया है।



चित्र 5 : सार्वत्रिक सतह गेज

4. संयुक्त सेट (Combination Set)—यह कई शीर्षों जैसे वर्ग शीर्ष (square head), कोणमापी शीर्ष तथा केन्द्र शीर्ष का संयोजन (combination) है। इन तीनों शीर्षों में एक खाँचेदार इस्पात पैमाना (grooved steel rule) फिट रहता है। इसमें वर्ग शीर्ष परीक्षण वर्ग के रूप में वर्गता तथा लम्ब कोण की जाँच करता है। इसमें कोणमापी शीर्ष कोणों के मापन का कार्य

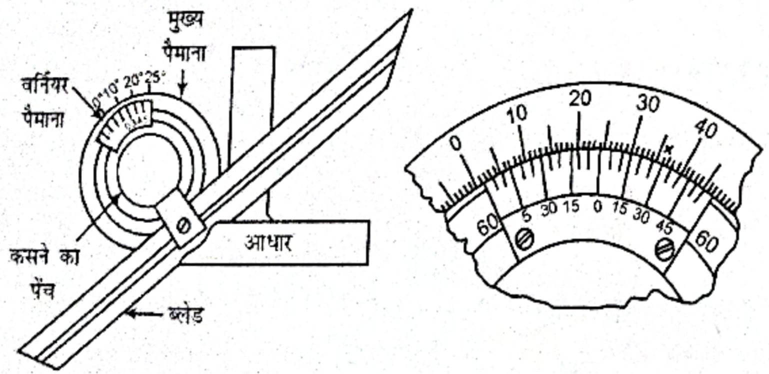
करता है तथा इसमें लगे केन्द्र शीर्ष का कार्य शाफ्ट जैसे—गोल बेलनाकार कार्यों के सिरों पर केन्द्र ज्ञात करना होता है। इसमें एक स्प्रिट लेवल (spirit level) भी लगा रहता है। इसे निम्न चित्र 6 में दिखाया गया है।



चित्र 6 : संयुक्त सेट

5. सार्वत्रिक बेवल कोणमापी (Universal Bevel Protractor)—यह 5 मिनट ($\frac{1}{12}$ डिग्री) की यथार्थता से सीधे ही कोण का मापन करता है। इसे वर्नियर बेवल कोणमापी (vernier bevel protractor) भी कहा जाता है। कोणमापी की डिस्क मुख्य पैमाना कहलाती है और यह कोणमापी की डिस्क 180° के चाप पर अंशांकित रहती है जो प्रत्येक तरफ 0° से 90° तक पढ़ सकती है।

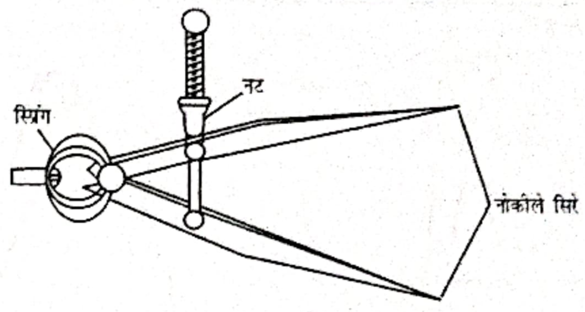
चित्र 7 में सार्वत्रिक बेवल कोणमापी तथा उसके कोणमापी द्वारा मापन को दर्शाया गया है।



(अ) सार्वत्रिक बेवल कोणमापी (ब) कोणमापी द्वारा मापन

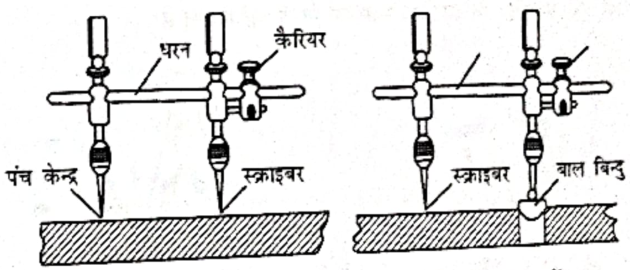
चित्र 7

6. विभाजक (Divider)—यह एक प्रकार का उपयोगी चिन्हन औजार है जिसकी सहायता से धातु सतह पर वृत्त या चाप का चिन्हन करने, छिद्रों के स्थल (spacing) की जाँच करने तथा अन्य रैखिक विमाओं का मापन किया जाता है। यह स्प्रिंग प्रकार (spring type) या दृढ़ जोड़ प्रकार के हो सकते हैं। इसमें एक नर्लित (knurled) नट (nut) लगा होता है जो सरलता से खोलने या कसने के काम आता है।



चित्र 8 : विभाजक

7. ट्रेमल (Trammel)—इसका उपयोग बड़े वृत्तों तथा चापों को खींचने के लिए किया जाता है। यह वास्तव में एक धरन कम्पास होता है। जिस स्थान पर विभाजक कार्य करने में असमर्थ हो जाता है वहाँ ट्रेमल का ही प्रयोग किया जाता है। इसके निर्माण में मुख्य अंग धरन, कैरियर एवं दो भुजाएँ होती हैं। चित्र 9 में ट्रेमल द्वारा वृत्त खींचना तथा छिद्र द्वारा वृत्त खींचना दर्शाया गया है।



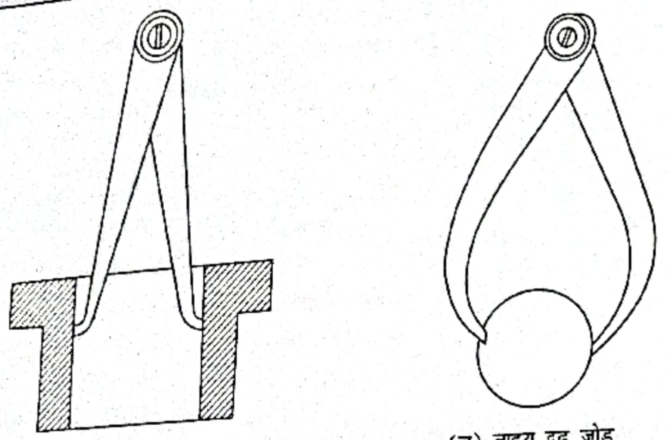
(अ) ट्रेमल द्वारा वृत्त खींचना (ब) छिद्र द्वारा वृत्त खींचना

चित्र 9 ट्रेमल

8. कैलीपर (Calipers)— इनकी सहायता से बाह्य या आन्तरिक व्यासों या लम्बाइयों को मापा या जाँचा जा सकता है। कैलीपर्स की सहायता से जॉब की माप लेकर उसकी भुजाओं के बीच की दूरी किसी अन्य उपयुक्त पैमाने पर पढ़ ली जाती है।

कैलीपर के प्रकार (Types of Calipers)

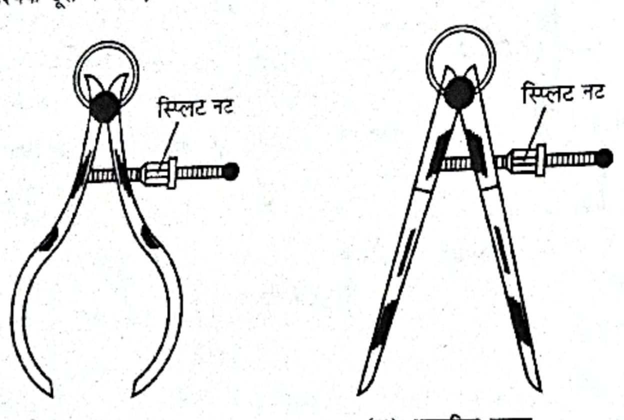
(i) दृढ़ जोड़ कैलीपर्स (Firm Joint Calipers)—इस प्रकार के कैलीपर्स सामान्य मापन कार्यों के लिए प्रयुक्त होते हैं। ये दो प्रकार के होते हैं—(अ) आन्तरिक प्रकार (Inside Type) (ब) बाह्य प्रकार (Outside Type)। आन्तरिक दृढ़ जोड़ कैलीपर्स की सहायता से आंतरिक विमाओं को मापा जाता है तथा बाह्य दृढ़ जोड़ की सहायता से बाह्य विमाओं को मापा जाता है।



(अ) आन्तरिक दृढ़ जोड़ (ब) बाह्य दृढ़ जोड़

चित्र 10 : दृढ़ जोड़ कैलीपर्स

(ii) स्प्रिंग जोड़ कैलीपर्स (Spring Joint Calipers)—सूक्ष्म मापन के लिए स्प्रिंग जोड़ कैलीपर्स ही उपयोग में लाये जाते हैं। इनकी भुजाएँ स्प्रिंग की सहायता से एक बिन्दु पर जुड़ी रहती हैं। इन भुजाओं को स्प्लिट नट (Split Nut) द्वारा आवश्यक दूरी के लिए फैलाया या नजदीक किया जा सकता है।

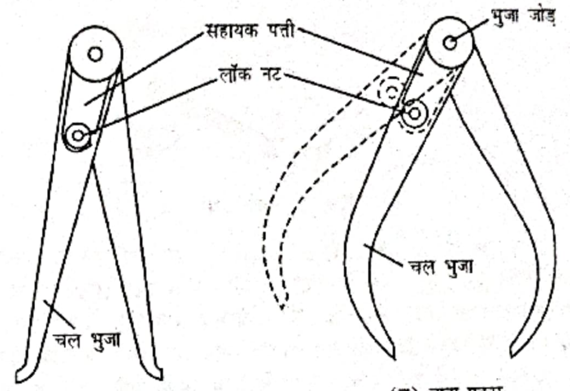


(अ) बाह्य प्रकार (ब) आन्तरिक प्रकार

चित्र 11 : स्प्रिंग जोड़ कैलीपर्स

(iii) स्थानान्तरण कैलीपर्स (Transfer Calipers)—ये ताला जोड़ कैलीपर्स (Lock joint callipers) भी कहलाते हैं। इनको किसी विशेष स्थितियों में आन्तरिक गुहा तथा बाह्य उभार के मापन में प्रयोग किया जाता है। इसके द्वारा मापन लेते समय इसकी चल भुजा को उस पर लगी सहायक पत्ती तथा लॉक नट (lock nut) की सहायता से उसी स्थिति में कसा जा सकता है।

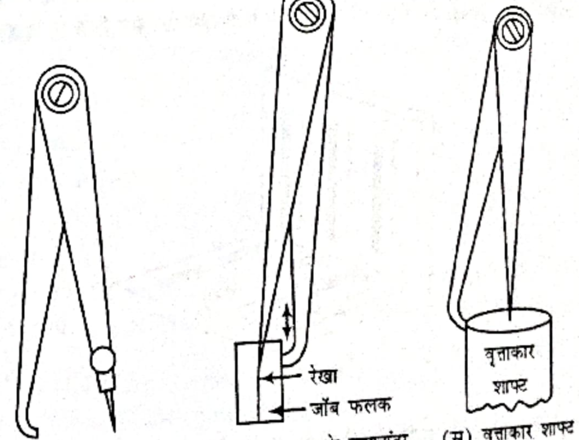
ये आन्तरिक तथा बाह्य दोनों प्रकार के होते हैं, जो चित्र 12 में प्रदर्शित हैं।



(अ) आन्तरिक प्रकार (ब) बाह्य प्रकार

चित्र 12

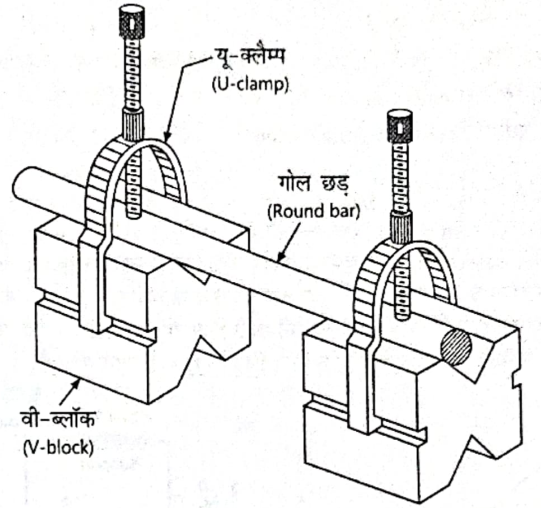
(iv) हर्माफ्रोडाइट कैलीपर्स (Hermaphrodite Calipers)—यह ऑड लेग कैलीपर्स (Odd leg calipers) या जेनी (Jenny) या लेग प्वांइट (Leg point) कैलीपर्स भी कहलाता है। इसकी एक भुजा आन्तरिक कैलीपर की भाँति तथा दूसरी भुजा सीधी व नोंकदार (straight and pointed) होती है। यह वृत्ताकार कार्यखण्डों के केन्द्र ज्ञात करने या जॉब के फलक के समानान्तर रेखाएँ खींचने तथा छिद्रों की किनार से दूरी लेने के लिए प्रयोग किया जाता है।



(अ) जैनी कैलीपर (ब) जॉब के फलक के समानांतर रेखा खींचना (स) वृत्ताकार शाफ्ट

चित्र 13 : हर्माफ्रोडाइट या ऑड लेग कैलीपर्स

9. सरफेस प्लेट (Surface Plate)—सरफेस प्लेट का प्रयोग कार्यखण्ड (workpiece) पर चिन्हन करने, मापन यंत्रों की यथार्थता का मापन एवं परीक्षण करने, कार्यखण्ड की सतहों की समतलता (flatness) की जाँच करने तथा मापन करते समय कार्यखण्ड को टेकने के काम आता है। इसको चित्र 14 में दिखाया गया है।



चित्र 16 : वी-ब्लॉक (V-Block)

2.3 सूक्ष्म मापन यन्त्र (Precision Measuring Instruments)

ऐसे मापन यन्त्र जो किसी पार्ट का माप 0.02 mm या उससे अधिक यथार्थता तक लेने की क्षमता रखते हों, सूक्ष्म मापन यन्त्र (Precision measuring instruments) कहलाते हैं। कुछ प्रमुख सूक्ष्म मापन यन्त्रों का विवरण नीचे दिया जा रहा है—

(i) वर्नियर कैलीपर (Vernier Caliper)
(ii) वर्नियर हाइट गेज (Vernier Height Gauge)
(iii) वर्नियर डेप्थ गेज (Vernier Depth Gauge)
(iv) माइक्रोमीटर (Micrometer)
(v) डायल गेज (Dial Gauge)

इन सबके अतिरिक्त भी कई गेजें (Gauges) होती हैं; जैसे—फिलर गेज (Filler gauge), स्क्रू पिच गेज (Screw pitch gauge), रेडियस या फिलेट गेज (Radius or fillet gauge), वायर गेज (Wire gauge) आदि।

2.4 यान्त्रिक मापन यन्त्रों के सिद्धान्त (Principles of Mechanical Measuring Instruments)

किसी माप को सीधे प्रेक्षण द्वारा मापन, साधारण पैमाने से किया जा सकता है जिससे अधिकतम 0·25 मिमी० की शुद्धता तक माप लिया जा सकता है। इससे अधिक शुद्धता तक माप लेने के लिये, यदि पैमाने के अंशांकन को और नजदीक बनाया जाये तो प्रेक्षक (observer) द्वारा माप लेते समय उसमें लम्बन (parallax) के कारण भी त्रुटि हो सकती है, जिस कारण उसके प्रेक्षण में यथार्थता आने के बजाय उसमें और कमी आ सकती है। इसके लिये साधारण पैमाने के अंशांकित सिरे (calibrated) को पतला (bevelled) करके लम्बन त्रुटि को कम किया जाता है।

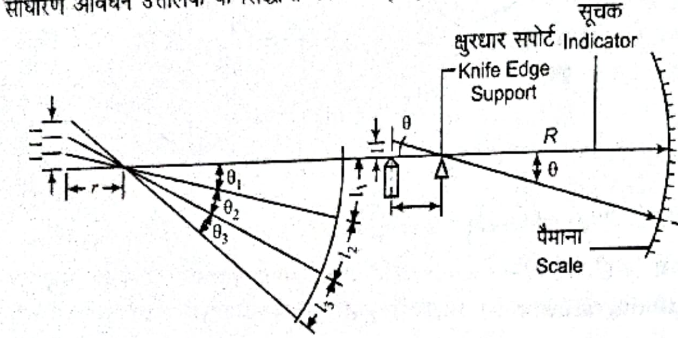
अत: सीधे प्रेक्षण को और अधिक यथार्थ (accurate) बनाने के लिये यांत्रिक मापन यन्त्र, आवर्धक (magnifying) के निम्न सिद्धान्तों पर काम करता है—

(1) उत्तोलक विधि (Lever Method)

(2) वर्नियर विधि (Vernier Method)
(3) पेंच चूड़ी एवं पेंच चूड़ी नट विधि (Screw thread and Screw thread Nut Method)
(4) संयुक्त गियर विधि (Compound Gear Method)
(5) कुण्डलीदार पत्ती विधि (Helical Strip Method)

2.5 उत्तोलक विधि (Lever Method)

उत्तोलक का सिद्धान्त (Principle of Lever)—साधारण आवर्धन उत्तोलक (magnifying lever) में एक आ उत्तोलक तथा एक पैमाना (scale) होता है। आवर्धन उत्तोलक एक धुरदार आलम्ब (knife edge support) पर आल (supported) होता है। आलम्ब के एक तरफ छोटी भुजा तथा दूसरी तरफ बड़ी भुजा होती है। बड़ी भुजा सूचक (pointer कार्य करती है। जिसको मापना होता है उसको उत्तोलक की छोटी भुजा की ओर रखा जाता है, जबकि उत्तोलक की बड़ी प्रेक्षण देती है। साधारण आवर्धन उत्तोलक के सिद्धान्त को चित्र (17) में दिखाया गया है।



चित्र 17 : साधारण आवर्धन उत्तोलक का सिद्धान्त

इस प्रकार यदि मापी जाने वाली माप की लम्बाई l हो तथा उत्तोलक की छोटी भुजा की लम्बाई r एवं बड़ी भुजा लम्बाई R हो और बड़ी भुजा सूचक का विस्थापन $\theta°$ दिया जाये तो—

$$\text{आवर्धन अनुपात (Magnifying Ratio)} = \frac{\text{पैमाने का पाठ्यांक } (l_1)}{\text{मापी जाने वाली माप } (l)}$$

$$= \frac{R\theta}{r\sin\theta}$$

यदि θ कोण काफी छोटा हो, तब—

$$\text{आवर्धन अनुपात } (\mu) = \frac{\text{उत्तोलक की बड़ी भुजा}}{\text{उत्तोलक की छोटी भुजा}}$$

$$\therefore \quad \mu = \frac{R}{r}$$

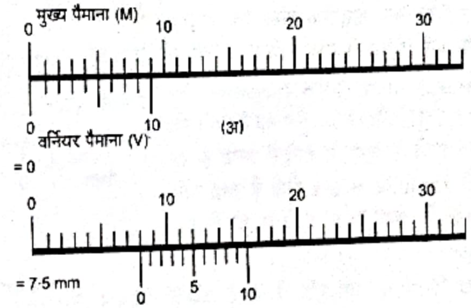
आवर्धन अनुपात को बढ़ाने के लिए उत्तोलक की बड़ी भुजा की लम्बाई को बढ़ाया जा सकता है। उत्तोलक की बड़ी भु की लम्बाई को एक सीमा तक ही बढ़ाया जा सकता है क्योंकि सीमा से अधिक बढ़ाने पर उत्तोलक का भार काफी बढ़ जाता जिससे उत्तोलक के आलम्ब पर घर्षण भी काफी बढ़ सकता है, जिस कारण प्रेक्षण लेते समय उसमें त्रुटि भी बढ़ सकती है।

सामान्य तौर पर उत्तोलक विधि से 10 गुना तक आवर्धन प्राप्त किया जा सकता है। इसके लिए विशेष पीवट (speci pivot) एवं बियरिंग (bearing) का प्रयोग करके आलम्ब पर घर्षण को कम कर दिया जाता है। इस विधि का प्रयोग मुख्य रू से दाब मापन मशीन (Pressure measuring machine), प्लेटफार्म भार मापन मशीन (Platform load measuri machine), पेन्टोग्राफ (Pantograph), स्टील यार्ड (Steel yard), यान्त्रिक विकृति गेज (Mechanical strain gauge), पि टेस्ट सूचक (Pick test indicator) इत्यादि में किया जाता है।

2.6 वर्नियर विधि (Vernier Method)

व्यावहारिक रूप से साधारण पैमाने द्वारा हम 1 मिमी० या 1/16 इन्च तक की ही माप आसानी से ले सकते हैं, परन्तु इससे कम की माप को यथार्थतापूर्वक मापने के लिये वर्नियर पैमाने (Vernier scale) का प्रयोग किया जाता है जो कि वर्नियर के सिद्धान्त (Principle of Vernier) पर कार्य करता है।

वर्नियर का सिद्धान्त (Principle of Vernier)—इसके सिद्धान्त को चित्र (18) में दिखाया गया है। इसमें एक मुख्य पैमाना (Main Scale) M होता है जो 1 मिमी० अंश में विभाजित या अंशांकित होता है। इसके अतिरिक्त इसमें एक और पैमाना होता है जो वर्नियर पैमाना (Vernier scale) V कहलाता है। वर्नियर पैमाना, मुख्य पैमानें के साथ लगा होता है जो आगे-पीछे चल सकता है।



चित्र : 18

यदि वर्नियर पैमाने की लम्बाई 9 मिमी० हो तथा वह 10 बराबर भागों में विभाजित हो, तब—

$$\text{वर्नियर के एक भाग की लम्बाई} = \frac{9}{10} \text{ मिमी०} = 0{\cdot}9 \text{ मिमी०}$$

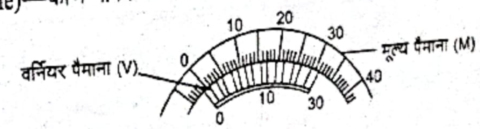
$$\text{तथा मुख्य पैमाने एवं वर्नियर पैमाने के एक भाग का अन्तर} = 1{\cdot}0 - 0{\cdot}9$$
$$= 0{\cdot}1 \text{ मिमी०} = 0{\cdot}01 \text{ सेमी}$$

यही इस वर्नियर का अल्पतमांक (Least Count) होगा।

इस प्रकार वर्नियर का अल्पतमांक, वर्नियर पैमाने पर बने खानों की संख्या पर निर्भर करता है। आमतौर पर वर्नियर से 0·1 मिमी० से 0·02 मिमी० तक की शुद्धतापूर्वक माप ली जा सकती है।

वर्नियर के सिद्धान्त का उपयोग वर्नियर कैलिपर्स (Vernier calipers), वर्नियर ऊँचाई गेज (Vernier height gauge) तथा वर्नियर गहराई गेज (Vernier depth gauge) यन्त्रों में किया जाता है।

वृत्तीय वर्नियर पैमाना (Circular Vernier Scale)—कोण मापन की यथार्थता बढ़ाने के लिये भी वर्नियर के सिद्धान्त का प्रयोग किया जाता है। इसके प्रयोग से किसी कोण को मापने में 1′ मिनट की शुद्धता तक कोण को मापा जा सकता है। वृत्तीय वर्नियर पैमाने में मुख्य पैमाना M 0° से लेकर 360° तक आधा डिग्री $\left(\frac{1°}{2}\right)$ के अंश में अंशांकित अथवा विभाजित होता है। वर्नियर पैमाना (Vernier scale) V की लम्बाई मुख्य पैमाने M के 14·5° कोण के बराबर होती है। वर्नियर पैमाना 30 बराबर भागों में विभाजित होता है।



चित्र : 19

इस प्रकार, मुख्य पैमाने M के एक भाग और वर्नियर पैमाने V के एक भाग का अन्तर

$$= \frac{1}{30}(15° - 14{\cdot}5°)$$

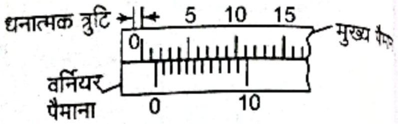
$$= \frac{1}{30} \times 0.5^\circ$$

$$= \frac{1}{60^\circ} = \text{चाप का एक मिनट } (')$$

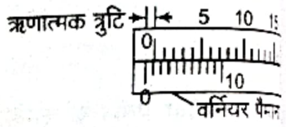
अतः इस वृत्तीय वर्नियर पैमाने (Circular Vernier Scale) का अल्पतमांक (least count) 1 मिनट (1') है।

साधारण वर्नियर पैमाने की तरह ही वृत्तीय वर्नियर पैमाने से पाठ्यांक लिया जाता है। वृत्तीय वर्नियर पैमाने का प्रयोग सेक्सटेन्ट (Sextent), स्पेक्ट्रोमीटर (Spectrometer) इत्यादि में किया जाता है।

वर्नियर पैमाने की शून्य त्रुटि (Zero Error of Vernier Scale)—माप न लेने की स्थिति में, वर्नियर पैमाने का एवं मुख्य पैमाने के शून्य (zero) को आपस में मिलाया जाये तब यदि दोनों शून्य एक-दूसरे के बराबर अथवा सम्पाती नहीं हैं तब ऐसी स्थिति में वर्नियर द्वारा लिया गया पाठ्यांक वास्तविक पाठ्यांक से भिन्न होगा। इस प्रकार, इस दशा में लिया पाठ्यांक और वास्तविक पाठ्यांक का अन्तर ही यन्त्र अथवा वर्नियर की शून्य त्रुटि (zero error) कहलाता है।



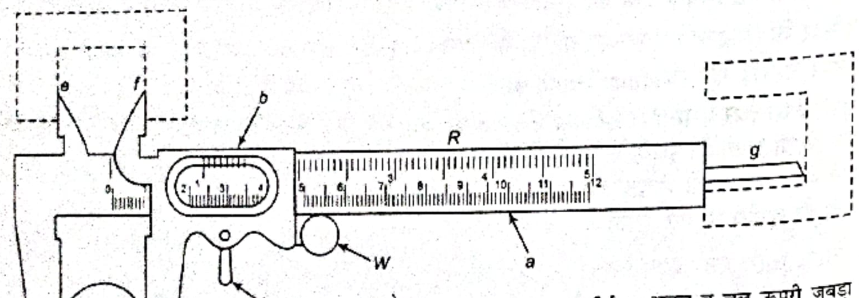
शून्य त्रुटि धनात्मक (positive) या ऋणात्मक (negative) हो सकती है। वर्नियर पैमाने का शून्य एवं मुख्य पैमाने के शून्य को मिलाने पर यदि वर्नियर पैमाने का शून्य मुख्य पैमाने के शून्य के दाहिनी तरफ हो तो इस प्रकार की त्रुटि धनात्मक त्रुटि (positive error) होती है तथा यदि वर्नियर पैमाने का शून्य मुख्य पैमाने के शून्य के बायीं तरफ हो तो इस प्रकार की त्रुटि ऋणात्मक त्रुटि (negative error) होती है।



चित्र : 20

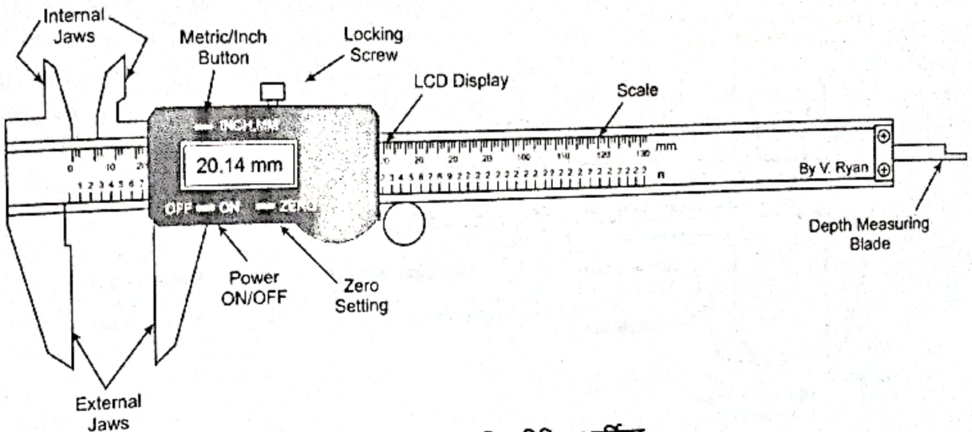
यन्त्र में शून्य त्रुटि होने की स्थिति में सही माप के लिये उसके पाठ्यांक में संशोधन (correction) करना आवश्यक होता है अन्यथा प्रेक्षण गलत होगा। इसके लिये धनात्मक त्रुटि होने की स्थिति में लिये गये पाठ्यांक में से धनात्मक त्रुटि के पाठ्यांक को घटा दिया जाता है तथा ऋणात्मक त्रुटि होने की स्थिति में लिये गये पाठ्यांक में से ऋणात्मक त्रुटि के पाठ्यांक को जोड़ दिया जाता है।

(1) वर्नियर कैलीपर्स (Vernier Calipers)—यह एक बहुत ही उपयोगी मापन यन्त्र है जो वर्नियर के सिद्धान्त (Principle of Vernier) पर कार्य करता है। यह यन्त्र लम्बाई, मोटाई, गहराई तथा बाह्य व आन्तरिक व्यास आदि मापने के काम आता है। यह 0–25, 0–150 तथा 0 से 200 मिमी० तक परास में उपलब्ध होते हैं।



W = मुख्य स्केल
b = वर्नियर स्केल
c = अचल जबड़ा, d = चल जबड़ा } बाह्य व्यास को नापने के लिए
e & f = अचल व चल ऊपरी जबड़ा आन्तरिक व्यास को नापने के लिए
g = स्ट्रिप–गहराई नापने के लिए
L = लॉक नट
W = रोलर

रचना (Construction)—इस औजार की बनावट में मुख्य अंग एक धातु की ठोस छड़ होती है। इसी ठोस छड़ पर मिमी० के चिन्हों का मुख्य पैमाना बना होता है। इस छड़ के एक सिरे पर 90° पर झुके स्थिर जबड़े बने होते हैं। इसका दूसरा चल भाग वर्नियर कहलाता है। इसी वर्नियर पर वर्नियर पैमाना बना रहता है। यह एक चल जबड़े से जुड़ा रहता है तथा इसे



चित्र 22 : आधुनिक डिजिटल वर्नियर

मुख्य पैमाने पर आगे-पीछे खिसकाया जा सकता है। चल जबड़े को किसी भी स्थान पर पेंच की सहायता से स्थित किया जा सकता है। इसमें एक समंजन पेंच (fine adjustment screw) लगा होता है जिसकी सहायता से चल जबड़े का सूक्ष्म विस्थापन किया जा सकता है। मुख्य पैमाने का पाठ्यांक व वर्नियर पैमाने का पाठ्यांक उस समय शून्य होना चाहिए जब स्थिर और चल जबड़े परस्पर मिले हों। अन्यथा कैलीपर में शून्य त्रुटि है और इसे ज्ञात करना चाहिए। मापने वाले जॉब को स्थिर जबड़े व चल जबड़े के बीच रखा जाता है और मुख्य पैमाने एवं वर्नियर पैमाने के पाठ्यांक लेकर माप ज्ञात कर ली जाती है। इसमें शून्य त्रुटि होने पर उसे पाठ्यांक में समायोजित कर लेते हैं। आजकल आधुनिक युग में डिजिटल वर्नियर कैलिपर (Digital vernier caliper) प्रयोग में लाया जाता है जिसे चित्र-22 में दिखाया गया है।

अल्पतमांक (Least Count)—किसी यन्त्र द्वारा यथार्थ मापी गयी सबसे सूक्ष्मतम दूरी उस यन्त्र का अल्पतमांक (least count) कहलाती है। इस प्रकार, वर्नियर के अल्पतमांक निकालने के लिए वर्नियर के मुख्य स्केल के एक खाने के मान को वर्नियर स्केल पर बने खानों की संख्या से भाग (divide) देने पर अल्पतमांक ज्ञात हो जाता है।

$$\text{वर्नियर का अल्पतमांक} = \frac{\text{वर्नियर के मुख्य स्केल के एक खाने का मान}}{\text{वर्नियर स्केल पर बने खानों की संख्या}}$$

(i) इस प्रकार जब वर्नियर स्केल पर 10 खाने बने होंगे, तब उस वर्नियर का अल्पतमांक $= \frac{1}{10}$ mm $= 0.1$ mm होगा।

(ii) जब वर्नियर स्केल पर 50 खाने बने होंगे तब उस वर्नियर का अल्पतमांक $= \frac{1}{50}$ mm $= 0.02$ mm होगा।

वर्नियर द्वारा माप लेना—उपरोक्त विधि से वर्नियर का अल्पतमांक निकालने के बाद उसके शून्य त्रुटि (zero error) को देखा जाता है। इसके लिये वर्नियर के दोनों जबड़ों को आपस में मिलाने के बाद, यदि वर्नियर का शून्य मुख्य स्केल के शून्य के बायीं ओर हो तो यह ऋणात्मक त्रुटि (negative error) तथा दायीं ओर हो तो धनात्मक त्रुटि (positive error) होगी।

तत्पश्चात् वर्नियर के दोनों जबड़ों के बीच जॉब को लगाकर पेंच से चल जबड़े को कस दिया जाता है। उसके बाद मुख्य पैमाने व वर्नियर पैमाने की रीडिंग लेकर निम्न तरीके से शुद्ध माप ज्ञात कर लेते हैं। (यदि वर्नियर में त्रुटि नहीं है)

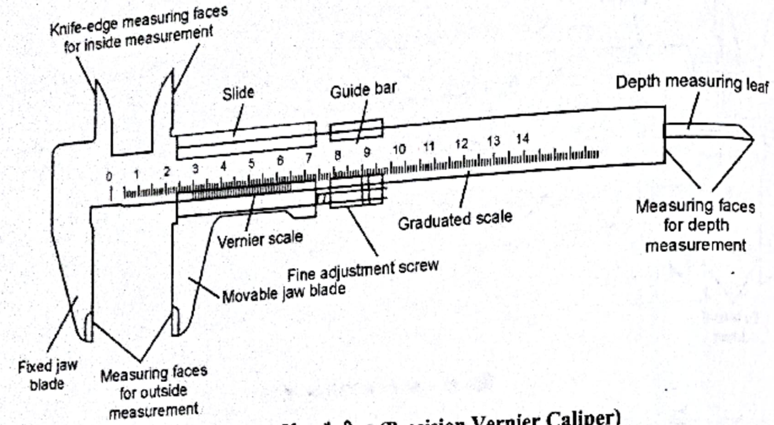
उदाहरण : मुख्य पैमाने की रीडिंग = 30 mm

वर्नियर का सीधा मिलने वाला भाग = 15

शुद्ध माप = मुख्य पैमाने की रीडिंग + वर्नियर पैमाने की रीडिंग

$= 30 + 15 \times 0{\cdot}02$ (यदि उस वर्नियर का अल्पतमांक $0{\cdot}02$ mm है)

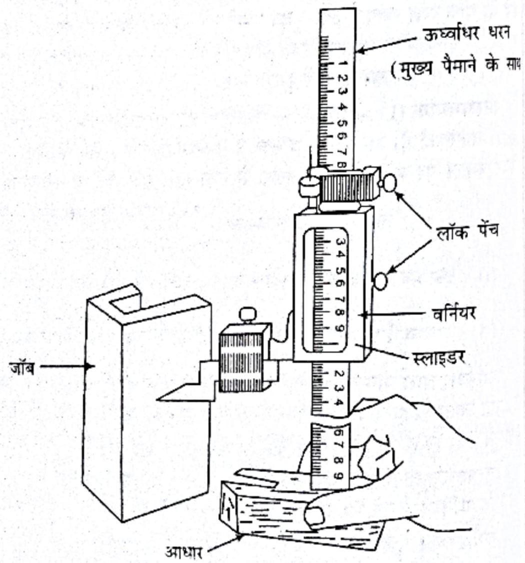
$= 30 + 0{\cdot}30 = 30{\cdot}30$ mm



चित्र 23 : परिशुद्ध वर्नियर कैलीपर (Precision Vernier Caliper)

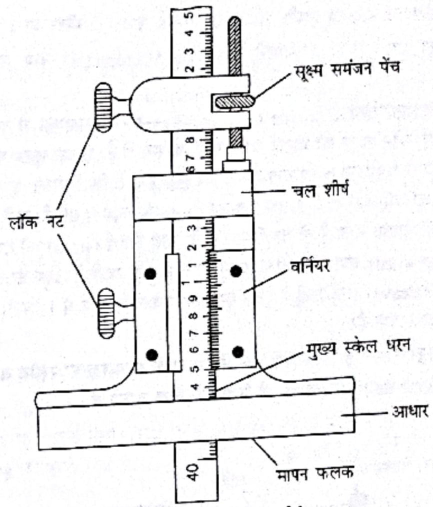
इस प्रकार वर्नियर से किसी कार्यखण्ड की लम्बाई, चौड़ाई, मोटाई, बाह्य व्यास (outer dia), आन्तरिक व्यास (inner dia) या गहराई (depth) ज्ञात किया जा सकता है।

(2) वर्नियर ऊँचाई गेज (Vernier Height Gauge)—इसका उपयोग अवयवों की ऊँचाई मापने एवं जॉब का यथार्थ चिन्हन (marking) करने के लिए किया जाता है। इसके नीचे एक भारी आधार होता है जिसकी निचली सतह समतल एवं परिष्कृत होती है। आधार पर एक ऊर्ध्वाधर धरन लगी होती है जिस पर मुख्य पैमाना बना होता है। ऊर्ध्वाधर धरन पर एक स्लाइडर (slider) लगा रहता है जिस पर वर्नियर पैमाना बना होता है। स्लाइडर पर मापन जबड़ा लगा होता है। इस पर लगे स्क्राइबर को एक क्लेम्प द्वारा जॉब की स्थिति के अनुसार आगे खिसकाकर कस दिया जाता है। इसमें मुख्य पैमाने और वर्नियर की रीडिंग से ऊँचाई का मापन ज्ञात किया जाता है। इसको चित्र-24 में दिखाया गया है।



गहराई गेज (Depth Gauge)—इसका उपयोग खोखले स्थानों, छिद्रों व स्लॉट की गहराई तथा सोल्डर्स की दूरी का मापन सूक्ष्मता से करने के लिए किया जाता है। वर्नियर के सिद्धान्त पर कार्य करने वाला वर्नियर गहराई गेज तथा माइक्रोमीटर के सिद्धान्त पर कार्य करने वाला माइक्रोमीटर गहराई गेज कहलाता है।

(3) वर्नियर गहराई गेज (Vernier Depth Gauge)—इसमें एक चल शीर्ष (movable head) होता है जो आधार के साथ धरन (beam) के सहारे ऊपर-नीचे खिसकता है। धरन पर ही मुख्य पैमाना बना रहता है और चल शीर्ष पर वर्नियर पैमाना लगा रहता है। गहराई मापने के लिए आधार की समतल सतह को छिद्र आदि की ऊपरी सतह पर रखा जाता है। इसके बाद धरन को नीचे करके उसकी निचली कोर को छिद्र की निचली सतह से स्पर्श कराते हैं तथा मुख्य पैमाने व वर्नियर की सहायता से रीडिंग ले ली जाती है। यह वर्नियर के सिद्धान्त पर कार्य करता है। इसको चित्र 25 में दिखाया गया है।



चित्र 25 : वर्नियर गहराई गेज

2.7 पेंच चूड़ी एवं पेंच चूड़ी नट विधि (Screw thread and Screw thread Nut Method)

वर्नियर विधि से भी ज्यादा यथार्थतापूर्वक माप लेने के लिए पेंच चूड़ी एवं पेंच चूड़ी नट विधि का प्रयोग किया जाता है। यह पेंच चूड़ी के सिद्धान्त (Principle of screw threads) पर कार्य करता है। इसके अनुसार जब किसी पेंच को उसी पिच (pitch) की ढिबरी या नट (nut) में एक चक्कर घुमाया जाता है तो पेंच चूड़ी का कोई बिन्दु या निशान (point) उस पेंच की पिच के बराबर उसकी अक्ष की दिशा में आगे या पीछे चलता है। दूसरे शब्दों में, पेंच चूड़ी (screw thread) के एक पूरे चक्कर में पेंच जितनी दूरी तक आगे या पीछे चलता है वह उसकी चूड़ी का चूड़ी अन्तराल या पिच (pitch) कहलाता है।

यदि पेंच चूड़ी की परिधि को n बराबर भागों में बाँटा जाये तथा पेंच चूड़ी का पिच p हो, तब

यदि पेंच चूड़ी की परिधि को n बराबर भागों में बाँटा जाये तथा पेंच चूड़ी द्वारा चली गई दूरी = p

पेंच चूड़ी को एक चक्कर घुमाने पर पेंच चूड़ी द्वारा चली गई दूरी = $\frac{p}{n}$

∴ पेंच चूड़ी की परिधि के n भाग घुमाने पर पेंच चूड़ी द्वारा चली गई दूरी = $\frac{p}{n}$

या पेंच चूड़ी का अल्पतमांक (Least Count) = $\frac{p}{n}$

इस प्रकार

पेंच चूड़ी का अल्पतमांक (Least Count) = पेंच चूड़ी की परिधि पर बने भागों की संख्या [illegible]

पेंच चूड़ी का अल्पतमांक (screw thread micrometer) में, यदि p का मान 0.5 मिमी० [illegible]

इस तरह यदि किसी पेंच चूड़ी माइक्रोमीटर [illegible] चूड़ी की परिधि पर बने भागों की संख्या (n) 50 हो, तब—

$$\text{अल्पतमांक (Least Count)} = \frac{p}{n} = \frac{0.5}{50}$$

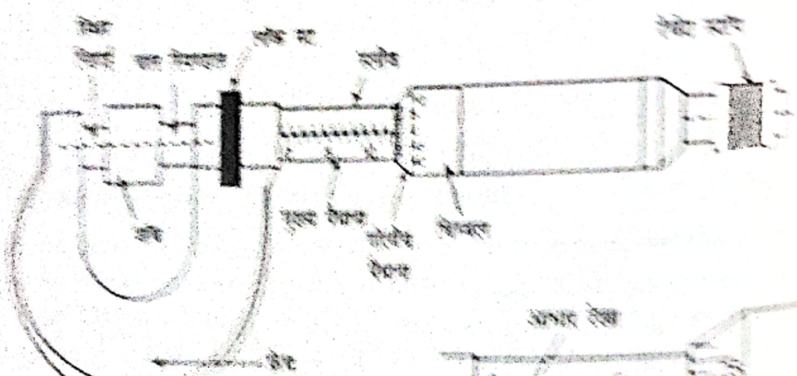
$$= 0.01 \text{ मिमी०} = 0.001 \text{ सेमी०}$$

अर्थात् इस यन्त्र का अल्पतमांक 0.01 मिमी० या 0.001 सेमी० या 10^{-5} मीटर या 1 माइक्रोन होगा।

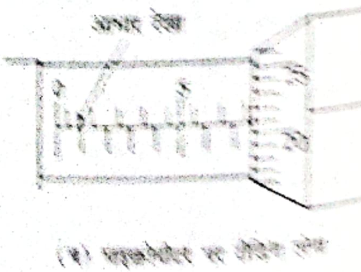
पेंच चूड़ी सिद्धान्त का प्रयोग बाह्य सूक्ष्ममापी (Outside Micrometer) तथा आन्तरिक सूक्ष्ममापी (Inside Micrometer) में होता है।

(1) बाह्य सूक्ष्ममापी माइक्रोमीटर (Outside Micrometer)—इसकी सहायता से छड़ का व्यास, [illegible] आदि मापी जा सकती हैं। इसका मुख्य भाग इस्पात [illegible] हैं कि थिम्बल को घुमाने पर स्पिण्डल [illegible] का कार्य करती है। इसी नट में स्पिण्डल [illegible] स्पिण्डल के साथ निहाई (anvil) की तरफ बढ़ती है [illegible] के बेवल (bevelled) भाग की परिधि समान भागों में बँटी रहती है। फ्रेम के एक सिरे पर [illegible] स्लीव (sleeve) लगी होती है जिस पर मुख्य स्केल के रूप में 1 मिमी० या 1/2 मिमी० [illegible] चित्र-26 में दिखाया गया है।

[illegible] निहाई तथा स्पिण्डल के बीच रखकर स्लीव व थिम्बल के पाठ्यांक [illegible] लॉक नट (lock nut) द्वारा किसी भी स्थिति में [illegible] सकते हैं।



(अ) बाह्य माइक्रोमीटर



(ब) माइक्रोमीटर पर [illegible]

रैचेट स्टॉप (ratchet stop) की सहायता से स्पिण्डल व निहाई के बीच लगे कार्यखण्ड पर अधिक दबाव लगने से बचाया जा सकता है।

यह इंच व मिमी० में उपलब्ध होते हैं परन्तु आजकल प्रायः मीट्रिक अर्थात् मिमी० वाले ही उपयोग में लाये जाते हैं। इस माइक्रोमीटर में स्पिण्डल चूड़ी का पिच 0.5 मिमी० तथा स्लीव पर 1/2 मिमी० व 1 मिमी० के चिह्न बने होते हैं। थिम्बल के बेवेल सिरे की परिधि पर 50 बराबर भाग बने होते हैं।

जब थिम्बल को एक चक्कर घुमाया जाता है तब स्पिण्डल का स्क्रू अक्ष की दिशा में 0.5 मिमी० आगे या पीछे चलता है।

$$\text{इस प्रकार यन्त्र का अल्पतमांक (least count)} = \frac{\text{स्क्रू का पिच}}{\text{परिधि के भागों की संख्या}}$$

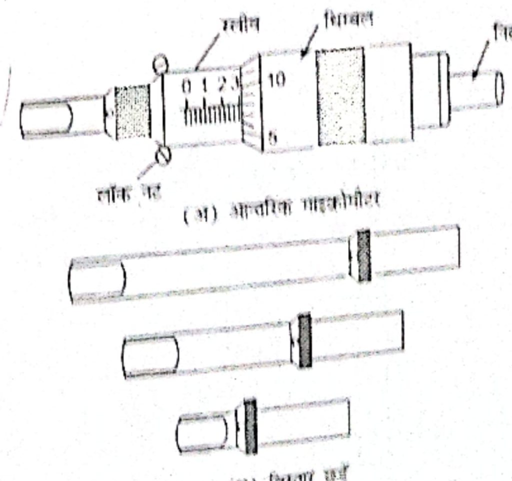
$$= \frac{0.5}{50} = 0.01 \text{ मिमी०}$$

माइक्रोमीटर की सहायता से जॉब की माप लेने के लिए जॉब को निहाई एवं स्पिण्डल के बीच रखकर स्लीव पर बने मुख्य पैमाने पर पूर्ण विभाजन तथा 1/2 मिमी० के उपविभाजन का पाठ्यांक ले लिया जाता है फिर थिम्बल के बेवेल सिरे का जो भाग स्लीव की आधार रेखा से मिलता है उसे नोट कर लिया जाता है। यह कई परासों जैसे 0–25, 25–50, 50–75, 75–100 मिमी० आदि में उपलब्ध रहते हैं।

शून्य त्रुटि (Zero Error)—माइक्रोमीटर के पूर्णतया बन्द होने पर स्पिण्डल के निहाई से स्पर्श करने पर, यदि थिम्बल के बेवेल सिरे पर बना शून्य (zero) स्लीव पर बने शून्य से नहीं मिलता है तो इस यन्त्र में शून्य त्रुटि रहती है।

पिच्छल त्रुटि (Backlash Error)—माइक्रोमीटर में नट और स्क्रू की सापेक्ष गति के कारण उत्पन्न त्रुटि पिच्छल त्रुटि कहलाती है। स्क्रू को एक दिशा में घुमाते-घुमाते जब उसे उल्टा घुमाते हैं तो आगे बढ़ता हुआ स्क्रू तुरन्त ही पीछे नहीं लौटता है और शीर्ष घूमता रहता है। इसका कारण स्क्रू की चूड़ियों तथा नट की चूड़ियों में कुछ ढीलापन का होना है। इस त्रुटि से पाठ्यांक प्रभावित होता है।

(2) आन्तरिक सूक्ष्ममापी/माइक्रोमीटर (Inside Micrometer)—यह यन्त्र भी पेंच चूड़ी के सिद्धान्त पर कार्य करता है। इसका उपयोग 50 mm से अधिक व्यास के छिद्रों के व्यास मापन के लिए किया जाता है। इसमें फ्रेम नहीं होता है बल्कि थिम्बल के एक तरफ निहाई तथा दूसरी तरफ स्पिण्डल या विस्तार छड़ रहती है। चित्र चित्र-27 में आन्तरिक माइक्रोमीटर व विस्तार छड़ें दिखायी गयी हैं।

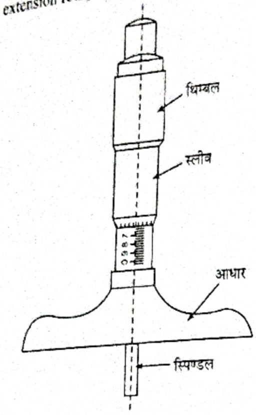


(अ) आन्तरिक माइक्रोमीटर

(ब) विस्तार छड़ें

चित्र 27 : आन्तरिक माइक्रोमीटर व विस्तार छड़ें

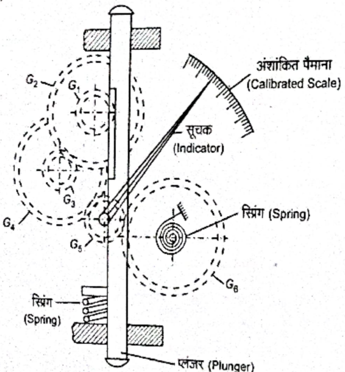
(3) **सूक्ष्ममापी/माइक्रोमीटर गहराई गेज** (Micrometer depth Gauge)—यह एक सूक्ष्ममापी यन्त्र है जि... सहायता से छिद्रों, स्लॉट आदि की गहराई मापी जाती है। यह बाह्य माइक्रोमीटर के सिद्धान्त पर कार्य करता है। इसमें ... आधार पर एक माइक्रोमीटर लगा रहता है। इसमे फ्रेम व निहाई नहीं होता है। विभिन्न परासों में मापन के लिए परिवर्ती... विस्तार छड़ (interchangeable extension rods) का प्रयोग होता है। इसे चित्र 28 में दिखाया गया है।



चित्र 28 : माइक्रोमीटर गहराई गेज

2.8 संयुक्त गियर विधि (Compound Gear Method)

किसी माप का उच्च आवर्धन प्राप्त करने के लिये इस विधि में रैक (rack), पिनियन (pinion) तथा गियर (gear) का प्रयोग किया जाता है। रैक, पिनियन एवं गियर के सामंजस्य (setting) को चित्र 29 में दिखाया गया है।



चित्र 29 : संयुक्त गियर विधि

इस यंत्रावली (mechanism) में एक प्लंजर (plunger) लगा होता है। प्लंजर पर बने रैक (rack) के साथ एक पिनियन (pinion) लगा होता है। प्लंजर को अपने अक्ष पर घुमाने से रोकने के लिए इसके रैक गाइड में पिन (pin) लगा होता है। प्लंजर के ऊपर-नीचे की गति को एक स्प्रिंग लगा कर नियंत्रित किया जाता है। प्लंजर के दूसरे सिरे के पास एक स्पिण्डल (spindle) लगा होता है। स्पिण्डल की रेखीय गति (linear motion) प्लंजर पर बने रैक के माध्यम से पिनियन G_1 को पारेषित (transmit) करती है। इसी स्पिण्डल पर ही एक बड़ा गियर G_2 जुड़ा रहता है। बड़ा गियर G_2 एक अन्य पिनियन G_3 से मिला होता है। यहीं पिनियन G_3 पिनियन G_1 की गति का आवर्धन करता है। G_1 व G_2 की भाँति ही पिनियन G_3 के स्पिण्डल पर भी एक अन्य गियर G_4 लगा रहता है जो दूसरे पिनियन G_5 से जुड़ा रहता है। पिनियन G_5 पर ही एक सूचक (pointer/indicator) लगा होता है। गियर G_4 ही पिनियन G_5 पर लगे सूचक को आवर्धित गति (magnifying motion) देता है जिसे वृत्ताकार अंशांकित पैमाने (circular calibrated scale) पर पढ़ा जा सकता है।

इस प्रकार यदि गियर G_2, G_3, G_4 एवं G_5 के दाँतों की संख्या क्रमशः T_2, T_3, T_4 और T_5 हो, तो—

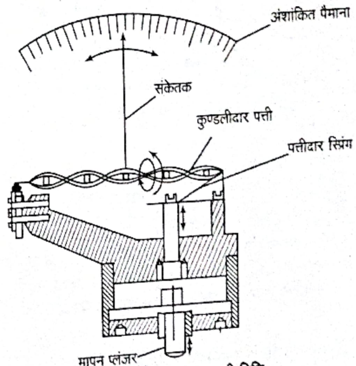
$$\text{कुल आवर्धन (Total Magnification)} = \frac{T_2}{T_3} \times \frac{T_4}{T_5}$$

आवर्धन की यथार्थता की वृद्धि करने के लिए सूचक की लम्बाई बढ़ायी जा सकती है। कुछ समय के उपयोग के बाद यन्त्र में बैकलैश त्रुटि (backlash error) आ सकती है। बैकलैश त्रुटि को कम करने के लिये पिनियन G_5 से लगा हुआ गियर G_6 होता है जिस पर एक स्प्रिंग लगी रहती है। गियर G_6 का साइज गियर G_4 के लगभग बराबर होता है।

संयुक्त गियर विधि का प्रयोग डायल गेज (dial gauge) में किया जाता है।

2.9 कुण्डलीदार पत्ती विधि (Helical Strip Method)

जब किसी इस्पात की पत्ती की बनी स्प्रिंग (spring) को कुण्डली के रूप में ऐंठकर उसके एक सिरे को स्थिर (fixed) करके तत्पश्चात् दूसरे सिरे को खींचा जाये तो पत्ती की कुण्डली के मध्य पर लगे सूचक (indicator/pointer) में कुण्डली के जरा से भी खिंचाव के कारण तीव्र गति से कोणीय विस्थापन (angular displacement) होगा। सूचक द्वारा दिखाया गया कोणीय विस्थापन ही माप का आवर्धन होता है। कुण्डलीदार पत्ती विधि को चित्र 30 में दिखाया गया है।



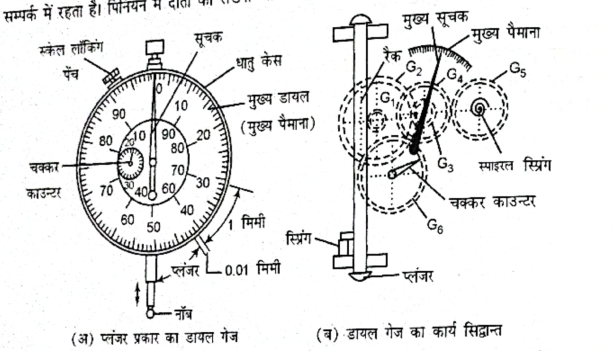
चित्र 30 : कुण्डलीदार पत्ती विधि

इस विधि में इस्पात की एक आयताकार काट वाली पत्ती को कुण्डली के रूप में मरोड़कर या ऐंठकर इसके एक सिरे को स्थिर (fixed) कर दिया जाता है तथा पत्ती के दूसरे सिरे को मापन प्लंजर (measuring plunger) द्वारा जोड़ दिया जाता है। ऐंठी या मरोड़ी गई पत्ती के बीच (centre) में एक सूचक (indicator)/संकेतक लगा दिया जाता है। यह संकेतक/सूचक वृत्ताकार अंशांकित (circular calibrated) पैमाने पर घूमता है और आवर्धित माप (magnifying measure) को दर्शाता है।

मापन प्लंजर के जरा से विस्थापन से ही कुण्डलीदार पत्ती में अक्षीय तनाव (axial tension) उत्पन्न होता है। यही तनाव ही संकेतक को समानुपाती आवृत्ति गति देता है। इस प्रकार यन्त्र में लगे प्लंजर के विस्थापन से कुण्डलीदार पत्ती में जितना अधिक तनाव होगा उसी अनुपात में संकेतक/सूचक भी वृत्तीय पैमाने पर कोणीय गति करेगा। इस प्रकार प्लंजर के जरा-से विस्थापन को भी वृत्तीय पैमाने पर आवर्धित माप के रूप में प्राप्त किया जा सकता है। कुण्डलीदार पत्ती से और अधिक आवर्धन प्राप्त करने के लिये उसके पत्ती को छिद्रयुक्त बनाया जाता है।

इस विधि द्वारा माइक्रॉन (micron) में भी शुद्ध माप लिया जा सकता है। इस विधि में घिसने वाले (bearable) भाग (parts) जैसे—पिन (pin), बियरिंग (bearing) इत्यादि न होने के कारण, यह यन्त्र जल्दी खराब नहीं होता है जिस कारण इस विधि का प्रयोग अधिक होता है।

2.9.1. डायल गेज (Dial Gauge)—यह डायल गेज सूचक (Dial gauge indicator) भी कहलाता है। इसका उपयोग समानान्तरता (parallelism) तथा छड़ों व छिद्रों की संकेन्द्रता तथा सतहों का चपटापन की जाँच करने में किया जाता है। इसके धातु केस में अंशांकित डायल गेज की चालन यंत्रावली लगी रहती है। इसी चालन यंत्रावली में रैक तथा पिनियन द्वारा व्यवस्थित एक प्लंजर लगा रहता है जिसका एक सिरा धातु केस से बाहर रहता है। इसके प्लंजर से रैक (rack) लगा होता है जो पिनियन गियर से सम्पर्क में रहता है। पिनियन में दाँतों की संख्या आवश्यक आवर्धन (magnification) पर निर्भर करती है।



(अ) प्लंजर प्रकार का डायल गेज (ब) डायल गेज का कार्य सिद्धान्त

चित्र 31 : डायल गेज

इसका मुख्य डायल (main scale) प्लंजर के 0·01 मिमी० चाल के संगत समान भागों में अंकित रहता है। मुख्य डायल का एक चक्कर प्लंजर के एक मिमी० विस्थापन को प्रदर्शित करता है इसमें एक छोटा डायल भी लगा होता है जो मुख्य डायल के सूचक के चक्करों की संख्या बताता है। इसे चक्कर काउन्टर कहते हैं। अंशांकित मुख्य डायल को किसी भी स्थिति में घुमाकर सूचक को शून्य पर सेट किया जा सकता है तथा स्केल को लॉकिंग पेंच द्वारा किसी भी स्थिति में लॉक किया जा सकता है।

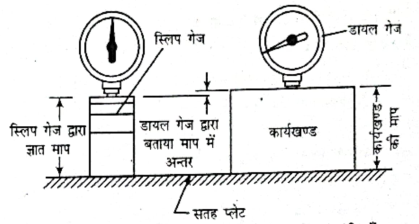
डायल गेज का कार्य सिद्धान्त (Working Principles of Dial Gauge)

इसमें रैक, पिनियन तथा गियर की सहायता से उच्च आवर्धन प्राप्त किया जाता है। यह संयुक्त गियर सिद्धान्त पर कार्य करता है। इसमें एक प्लंजर पर बने रैक का सम्पर्क एक पिनियन (G_1) से होता है। प्लंजर की गति स्प्रिंग द्वारा ऊपर-नीचे

सीमित रहती है। प्लंजर की रैखिक गति उस पर बने रैक के माध्यम से पिनियन G_1 को पारेषित होती है। पिनियन G_1 के स्पिण्डल पर ही एक बड़ा गियर G_2 जुड़ा रहता है। बड़ा गियर G_2 दूसरे पिनियन G_3 जिस पर सूचक लगा रहता है, से मिलान करता है जो पिनियन G_1 की गति का आवर्धन करता है। इसे वृत्ताकार अंशांकित मुख्य पैमाने पर पढ़ा जा सकता है। एक अन्य गियर G_4 पिनियन G_3 के स्पिंडल पर जुड़ा रहता है जो अन्य गियर G_5 पर लगी स्पाइरल स्प्रिंग से यन्त्र की बैकलैश त्रुटि को कम करता है। एक गियर G_6 भी गियर G_3 से मिलान करता है। गियर G_6 पर अन्य सूचक जिसे चक्कर काउन्टर कहते हैं, लगा रहता है।

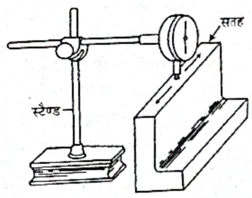
डायल गेज के अनुप्रयोग (Applications of Dial Gauge)

(अ) कार्यखण्ड की जाँच करना—इंजीनियरी में बड़े पैमाने पर निर्माण कार्यों में किसी अंग या कार्यखण्ड की अमुक माप लेने के लिए सर्वप्रथम डायल गेज के नीचे आवश्यक स्लिप गेज रखकर यन्त्र के सूचक को शून्य पर सेट कर लेते हैं। अब स्लिप गेजें हटाकर जाँच किये जाने वाले कार्यखण्ड को डायल गेज के नीचे रखा जाता है यदि डायल गेज के सूचक में कोई परिवर्तन नहीं है तो कार्यखण्ड की माप वही है जो स्लिप गेज द्वारा सेट की गयी थी। अन्यथा डायल गेज की माप में परिवर्तन को पढ़ लिया जाता है तथा आवश्यकतानुसार इसे सेट की गयी माप में से घटाकर अथवा उसमें जोड़कर कार्यखण्ड की सतह की शुद्ध माप प्राप्त की जाती है।



चित्र 32 : डायल गेज द्वारा मानक स्लिप गेज से कार्य-खण्ड की जाँच

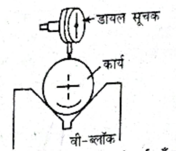
(ब) समानता की जाँच करना—सतह की समानता की जाँच के लिए डायल गेज को संलग्न चित्र 33 की भाँति स्टैण्ड पर स्थापित करके सतह पर सम्पर्क कराते हुए चलाते हैं। डायल गेज की माप में परिवर्तन सतह की असमानता प्रदर्शित करता है।



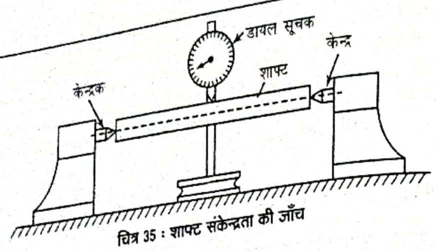
चित्र 33 : समानता जाँचना

(स) गोलाई जाँचना—गोलाई जाँचने के लिए चित्र 34 की भाँति बेलनाकार कार्यखण्ड को वी-ब्लॉक (V- Block) पर रखकर डायल गेज स्थापित करते हैं। डायल गेज को शून्य पर लाकर सेट करते हैं। अब कार्यखण्ड को घुमाये जाने पर यदि डायल गेज सूचक पर माप स्थिर रहती है तो समझना चाहिए कि कार्यखण्ड पूर्णतया गोल है।

(द) संकेन्द्रता जाँचना—शाफ्टों के लिए यह जाँचने की आवश्यकता पड़ सकती है कि उनका घुमाव केन्द्रीय है अथवा नहीं। इसके अतिरिक्त खोखले शाफ्टों तथा बुशों आदि पर भी केन्द्रीय छिद्र की जाँच की आवश्यकता पड़ सकती है अर्थात् कार्यखण्ड के विभिन्न व्यासों का केन्द्र एक ही बिन्दु पर है या नहीं।



चित्र 34 : डायल गेज द्वारा गोलाई जाँचना



चित्र 35 : शाफ्ट संकेन्द्रता की जाँच

2.10 गेज (Gauge)

किसी उत्पाद (product) के ज्यादा माँग (demand) को पूरा करने के लिये उस उत्पाद को ज्यादा मात्रा में बनाया है। वृहद् उत्पादन विधि (Mass production method) द्वारा अधिक उत्पाद बनने के दौरान यदि उत्पादों के मापों की कैलिपर्स या माइक्रोमीटर द्वारा किया जाये तो उसमें काफी समय लगेगा। इस प्रकार मापों की जाँच में लगने वाले समय बचाने के लिए अथवा शीघ्रतापूर्वक जाँच करने के लिए जिस यन्त्र का प्रयोग किया जाता है उसे ही गेज (gauge) कहा जाता

2.10.1 गेजों का वर्गीकरण (Classification of Gauges)

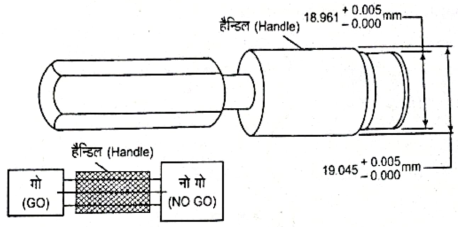
1. **गेजों के प्रयोजन के आधार पर—**
   (a) कार्यशाला गेज (Workshop Gauge)
   (b) निरीक्षण गेज (Inspection Gauge)
   (c) मास्टर गेज (Master Gauge)
2. **गेजों के प्रकार के आधार पर—**
   (a) सीमा गेज (Limit Gauge)
   (b) मानक गेज (Standard Gauge)
3. **टेस्ट की जाने वाली सतह के आधार पर—**
   (a) प्लग गेज (Plug Gauge)
   (b) स्नैप एवं रिंग गेज (Snap & Ring Gauge)
4. **डिजाइन के आधार पर—**
   (a) एक-सीमा तथा द्वि-सीमा गेज (Single Limit and Double Limit Gauge)
   (b) एक-सिरा तथा द्वि-सिरा गेज (Single-Ended and Double Ended Gauge)
   (c) स्थिर एवं समंजनीय गेज (Fixed and Adjustable Gauge)

2.11 सीमा गेज (Limit gauge)

प्रत्येक माप के लिये उस माप की दो सीमायें (limits) रखी जाती हैं—एक उच्च सीमा (upper limit) तथा दूसरा निम्न सी (lower limit)। किसी उत्पाद को वृहद् मात्रा में उत्पादन करने के लिए ऑपरेटर (operator or worker) को इन्हीं सीमाओं अन्दर उत्पाद को बनाना होता है। इस कार्य के मापन के लिये जिस गेज का प्रयोग होता है वह सीमा गेज (limit gauge) कहला है। सीमा गेज द्वारा किसी उत्पाद को मापने में उसके वास्तविक माप का मान नहीं पता चलता है वरन् उस उत्पाद की निश्चि सीमान्तर (tolerance) का पता चलता है जिसमें उत्पाद की जाँच सही पायी जाती है। सीमा गेज में एक ही खण्ड (piece) के सिरे होते हैं जिसका एक सिरा 'गो' सिरा (Go End) तथा दूसरा सिरा 'नो गो' सिरा (No Go End) होता है।

प्रमुख रूप में प्रचलित सीमा गेज का वर्णन आगे दिया जा रहा है।

1. **सीमा प्लग गेज** (Limit Plug Gauge)—किसी उत्पाद में बने छिद्रों (hole) के आन्तरिक व्यास (Internal Diameter) के माप की जाँच के लिये सीमा प्लग गेज का उपयोग किया जाता है। इस गेज के बीच में एक हैण्डिल (handle) लगा होता है जहाँ से इस गेज को पकड़ा जाता है। प्राय: यह दो सिरों वाला सीमा प्लग गेज होता है जबकि एक सिरा वाला सीमा प्लग गेज भी होता है। दो सिरे वाले गेज का एक सिरा 'गो' (Go) एवं दूसरा सिरा 'नो गो' (No Go) होता है जो कि बेलनाकार एवं कठोरीकृत किया होता है। एक सिरे वाले गेज का गो एवं नो गो सिरा एक ही तरफ बने होते हैं। एक सिरे वाले सीमा प्लग गेज को प्रयासी गेज (Progressive Gauge) भी कहते हैं। उत्पाद की माप के अनुसार ये अलग-अलग माप के बनाये जाते हैं। इसको चित्र 36 में दिखाया गया है।



चित्र 36 : सीमा प्लग गेज

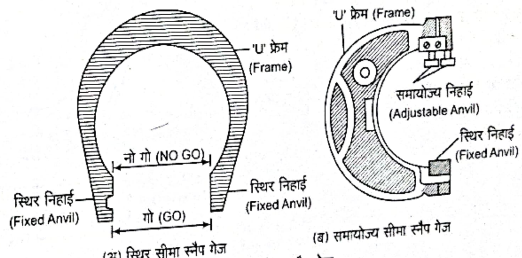
2. **सीमा स्नैप गेज** (Limit Snap Gauge)—यह गेज U-आकार के फ्रेम का बना होता है। वांछित माप को मापने के लिये इसमें दो समान जबड़े (jaws) या निहाई (anvil) बने होते हैं जिसका उपयोग किसी उत्पाद की बाहरी मापन (external measurement) जैसे—लम्बाई, चौड़ाई या मोटाई आदि मापने के लिये किया जाता है। इसका उपयोग शाफ्ट (shaft) के व्यास को मापने के लिये भी किया जाता है।

मुख्य रूप से ये गेज दो प्रकार के होते हैं—

(अ) स्थिर सीमा स्नैप गेज (Fixed Limit Snap Gauge)

(ब) समायोज्य सीमा स्नैप गेज (Adjustable Limit Snap Gauge)

चित्र 37 में इन गेजों को दिखाया गया है।

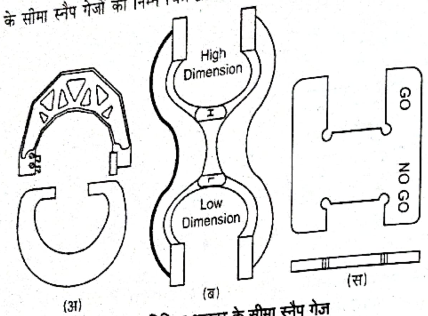


चित्र 37 : सीमा स्नैप गेज

(अ) स्थिर सीमा स्नैप गेज—इसमें दो समानान्तर स्थिर जबड़े या निहाई बने होते हैं जिसका एक सिरा गो (Go) ... दूसरा सिरा नो गो (No Go) होता है। इस गेज को कैलीपर गेज (Calliper Gauge) भी कहते हैं। इसका उपयोग बड़ी माप... जाँचने में किया जाता है।

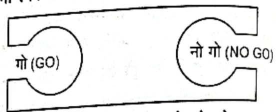
(ब) समायोज्य सीमा स्नैप गेज—इसमें एक तरफ स्थिर निहाई (Fixed Anvil) होता है तथा दूसरी तरफ समायो... निहाई (Adjustable Anvil) बना होता है। पेंचों की सहायता से एक निश्चित परास (Range) तक गो (Go) एवं नो गो (No Go) सिरों की माप को समायोजित (Adjust) किया जा सकता है। वांछित माप की स्थिति में समायोजित करने के बाद पेंचों... कसकर निहाइयों को स्थिर कर दिया जाता है। इसका उपयोग अधिकतर बड़ी मापों की जाँच करने में किया जाता है।

विभिन्न आकार के सीमा स्नैप गेजों को निम्न चित्र 38 में दिखाया गया है।



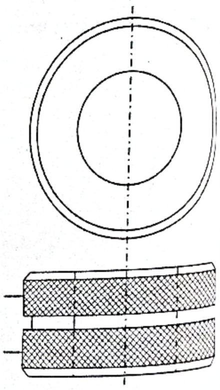
चित्र 38 : विभिन्न आकार के सीमा स्नैप गेज

3. दोहरे सिरे वाले स्नैप गेज (Double Ended Snap Gauge)—इसका उपयोग छोटे मापों की जाँच करने में किया जाता है। ये एक ही खण्ड (Piece) का बना होता है जिसका एक सिरा गो (Go) तथा दूसरा सिरा नो गो (No Go) होता है। चित्र 39 में इसको दिखाया गया है।



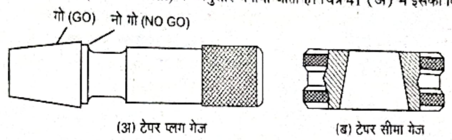
चित्र 39 : दोहरे सिरे वाले स्नैप गेज

4. रिंग गेज (Ring Gauge)—जिस प्रकार आन्तरिक व्यास की माप को जाँचने के लिए सीमा प्लग गेज का प्रयोग करते हैं उसी प्रकार, बाह्य व्यास (External Diameter) की माप को जाँचने के लिए रिंग गेज (Ring Gauge) का प्रयोग किया जाता है। ये हमेशा एक जोड़े (One Pair) में होते हैं जिसका एक खण्ड (Piece) गो (Go) तथा दूसरा खण्ड नो गो (No Go) होता है। चित्र 40 में इसको दिखाया गया है।



चित्र 40 : रिंग गेज

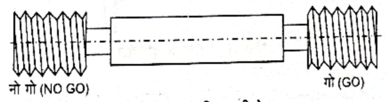
5. टेपर प्लग गेज (Taper Plug Gauge)—किसी उत्पाद के टेपरित छिद्र के टेपर की माप को जाँचने के लिये जिस गेज का उपयोग करते हैं वह टेपर प्लग गेज कहलाता है। इस गेज पर गो (Go) तथा नो गो (No Go) को उच्च सीमा (Higher Limit) तथा निम्न सीमा (Lower Limit) के अनुसार बनाया जाता है। चित्र 41 (अ) में इसको दिखाया गया है।



चित्र 41 : टेपर प्लग एवं सीमा गेज

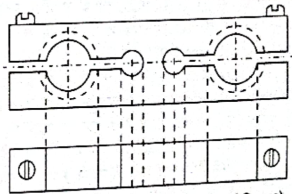
इसी प्रकार किसी टेपरित शाफ्ट के टेपर की माप को जाँचने के लिए जिस गेज का प्रयोग करते हैं वह टेपर सीमा गेज (Taper Limit Gauge) कहलाता है। चित्र 41 (ब) में इसको दिखाया गया है।

6. आन्तरिक चूड़ी गेज (Internal Thread Gauge)—किसी उत्पाद पर बने आन्तरिक चूड़ियों (Internal Threads) के मापन के लिए जिस गेज का प्रयोग किया जाता है वह आन्तरिक चूड़ी गेज (Internal Thread Gauge) कहलाता है, जिसके एक सिरे पर अधिकतम पिच (Maximum Pitch) तथा दूसरे सिरे पर न्यूनतम पिच (Minimum Pitch) की बाह्य चूड़ियाँ बनी होती हैं। अधिकतम पिच वाला सिरा नो गो (No Go) तथा न्यूनतम पिच वाला सिरा गो (Go) सिरा होता है। चित्र 42 में इसको दिखाया गया है।



चित्र 42 : आन्तरिक चूड़ी गेज

7. बाह्य चूड़ी गेज (External Thread Gauge)—किसी उत्पाद पर बने बाह्य चूड़ियों (External Threads) के मापन की जाँच करने के लिये जिस गेज का प्रयोग किया जाता है वह बाह्य चूड़ी गेज (External Thread Gauge) कहलाता है। इसके भी एक सिरे पर अधिकतम पिच तथा दूसरे सिरे पर न्यूनतम पिच की आन्तरिक चूड़ी बनी होती है। अधिकतम पिच वाला सिरा गो (Go) तथा न्यूनतम पिच वाला सिरा नो गो (No Go) होता है। चित्र 43 में इसको दिखाया गया है।

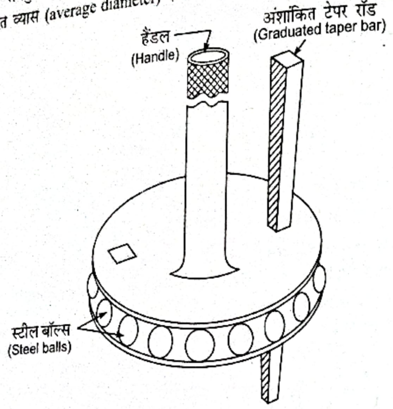


चित्र 43 : बाह्य चूड़ी गेज (External Thread Gauge)

8. सिलिण्डर बोर गेज (Cylinder Bore Gauge)—सिलिण्डर बोर गेज मुख्य रूप से ऑटोमोबाइल इन्जन तथा I.C. इन्जन के सिलिण्डरों की भीतरी घिसावट (wear) की माप को तुरन्त ज्ञात करने के लिये किया जाता है। इस गेज में स्टील बॉल्स (steel balls) लगे होते हैं जो एक सर्कुलर होल्डर (circular holder) में व्यवस्थित (assembled) होते हैं। यही बॉल्स, सिलिण्डर बोर की सतह के सम्पर्क में आते हैं। माप के समय सिलिण्डर में गेज को प्रवेश कराने के लिये इसे एक लम्बे हैण्डल से पकड़ कर बोर में डालते हैं।

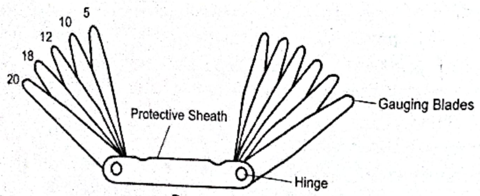
इसके सर्कुलर होल्डर में एक आयताकार आर-पार छिद्र होता है जिसमें एक अंशांकित टेपर बार (graduated taper bar) प्रवेश कर सकती है। यह टेपर बार, जब बॉल्स पर दाब डालती है तब सर्कुलर होल्डर का प्रभावी व्यास बढ़ने लगता है। इस गेज का प्रयोग करते समय, इसे सिलिण्डर में प्रवेश कराते हैं और टेपर बार को इस प्रकार धीरे-धीरे अन्दर ले जाते हैं कि

बाल्स का सम्पर्क सिलिण्डर वाल (cylinder wall) से बन जाये। ऐसी स्थिति में टेपर बार के अंशांकन की रीडिंग को ... लेते हैं। तत्पश्चात् इसके समतुल्य रीडिंग, गेज के कैलीब्रेशन (calibration) चार्ट पर देखकर ज्ञात कर लेते हैं। इसे ... सिलिण्डर बोर का औसत व्यास (average diameter) ज्ञात हो जाता है। इसे निम्न चित्र में दिखाया गया है।



चित्र 44 : सिलिण्डर बोर गेज

9. फीलर गेज (Feeler Gauge)—फीलर गेज में विभिन्न मोटाई की पतली स्ट्रिप (strip) होती है जो कि इस्पात पत्ती से बनी होती है। फीलर गेज के एक सेट में विभिन्न मोटाइयों के अनेक गेजिंग ब्लेड्स (gauging blades) एक हिन्ज सहायता से जुड़े हुये (assembled) होते हैं। ये गेजिंग ब्लेड्स फीलर गेज के दोनों सिरों (ends) पर हिन्ज किये हुये होते हैं। गेजिंग ब्लेड्स अलग-अलग ग्रेड में 0.03 mm से 1 mm तक की मोटाइयों (thickness) में होते हैं, जो एक ... (protective sheath) में बन्द होते हैं। इसके ब्लेड की लम्बाई 100 mm तक होती है। इसकी चौड़ाई हील (heel) पर 12 m... तथा टिप (tip) पर 6 mm होती है। ये ब्लेड चौड़ाई में टेपरित (tapered) होते हैं। प्रयोग के समय इसके ब्लेड्स को ... (protective sheath) से बाहर निकाल कर प्रयोग करते हैं तथा बाद में पुन: खोल के अन्दर कर देते हैं। इसके प्रत्येक ... पर इसकी मोटाई अंकित रहती है। प्रत्येक सेट में फीलर गेज की पत्तियों (blades) की संख्या तथा उसके मोटाई के ... (range) अलग-अलग होते हैं। फीलर गेज का मुख्य प्रयोग दो समान्तर चपटी सतहों के बीच अवकाश (gap) के स्थान ... माप लेने में होता है। फीलर गेज को सतहों के बीच बलपूर्वक नहीं लगाना चाहिए और न ही ढीला लगाना चाहिए। इसे ... लगाना चाहिए कि गेज फिट (gauge fit) का अनुभव होना चाहिए। क्योंकि फीलर गेज की क्रिया स्पर्श संवेदन (sense feel) के आधार पर होती है। इस निम्न चित्र में दिखाया गया है।

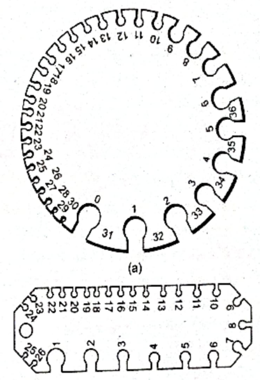


चित्र 45 : फीलर गेज

10. वायर गेज (Wire Gauge)—वायर गेज चपटा या वृत्ताकार आकार में बना होता है, जिसकी सहायता से तार का व्यास या धातु चादर (metal sheet) की मोटाई मापी जाती है। सामान्य तौर पर प्रयोग में आने वाली वायर गेज Emperial standard wire gauge होती है। इसे SWG नाम से भी जाना जाता है। इसकी परिधि पर विभिन्न माप के अनेक खाँचे (slots) कटे होते हैं जो विभिन्न मोटाइयों या व्यास को दर्शाते हैं। धातु चादर के कार्य में सामान्य तौर पर प्रयोग होने वाले वायर गेज में 21 स्लॉट्स (slots) बने होते हैं। जिसमें 4 से 24 गेज के तार या शीट्स की जाँच की जाती है। वायर गेज अलग-अलग परास के होते हैं, उसी आधार पर उनमें खाँचे (slots) बने होते हैं। चित्र 46 में दो तरह के वायर गेज दिखाये गये है तथा तालिका में SWG No. एवं उससे संबधित माप को दिखाया गया है।

तालिका : स्टैंडर्ड वायर गेज साइज

SWG. No.	Size in mm	SWG No.	Size in mm	SWG No.	Size in mm
4	6.0	11	3.0	18	1.25
5	5.5	12	2.7	19	1.05
6	4.8	13	2.4	20	0.95
7	4.5	14	2.1	21	0.85
8	4.0	15	1.9	22	0.72
9	3.6	16	1.65	23	0.62
10	3.3	17	1.45	24	0.58

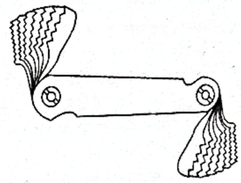


(a)

(b)

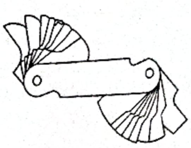
चित्र 46 : वायर गेज

11. स्क्रू पिच गेज (Screw Pitch Gauge)—इसकी सहायता से विभिन्न अवयवों पर काटी गयी चूड़ियों का पिच मापा व जाँचा जाता है। ये एक केसनुमा पत्ती के दोनों किनारों पर इस्पात की अनेक ब्लेड पत्तियों से बने होते है। इन पत्तियों के एक किनारे पर चूड़ियों के विभिन्न पिच तथा आकार के खाँचे कटे रहते हैं। ये गेज विभिन्न चूड़ियों के सिस्टम के अन्तर्गत विभिन्न चूड़ी के प्रोफाइल के लिए बनाये जाते हैं।



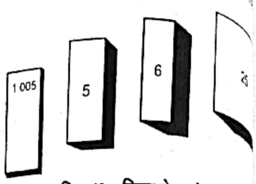
चित्र 47 : स्क्रू पिच गेज

12. त्रिज्या या फिलेट गेज (Radius or Fillet Gauges)—यह भी स्क्रू पिच गेज की तरह होता है लेकिन इसके एक सिरे पर एक सेट में अवतल सिरे के फलक तथा दूसरे पर दूसरे सेट में उत्तल सिरे के फलक बने रहते हैं। वस्तु की भीतरी गोलाई (concave roundness) तथा बाहरी गोलाई (convex roundness) की जाँच करने के लिए इसका प्रयोग किया जाता है।



चित्र 48 : त्रिज्या या फिलेट गेज

13. स्लिप गेज (Slip Gauge)—स्लिप गेज, कठोरीकृत इस्पात (Hardened Steel) के आयताकार बने होते हैं। ये विभिन्न एवं निश्चित मोटाई के छोटे-छोटे खण्ड (Pieces) होते हैं। निश्चित एवं स्थिर (Fixed) मोटाई की माप ही इनकी माप कहलाती है। प्रत्येक गेज के दो विपरीत सतह समतल तथा एक-दूसरे के समानान्तर होते हैं। ये सतह पूर्णतया परिष्कृत एवं यथार्थ (Finished and Accurate) माप के बनाये जाते हैं। इनका प्रयोग मानक यन्त्रों (Standard Instruments) के अंशांकन (Calibrate) करने के लिये, परिशुद्धता की जाँच करने के लिये तथा तुलनित्रों (Comparator), साइन बार (Sine Bar) आदि के साथ प्रयोग करने में किया जाता है।

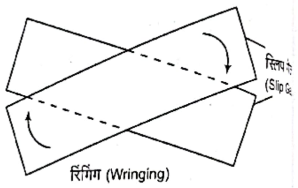


चित्र 49 : स्लिप गेज (गेज ब्लॉक)

स्लिप गेज को गेज ब्लॉक (Gauge Block) भी कहा जाता है। ये आयताकार काट वाले होते हैं जो 10 मिमी॰ तक 30 × 9 मिमी॰ तथा 10 मिमी॰ से अधिक लम्बाई तक 35 × 9 मिमी॰ की माप में होते हैं। इनकी लम्बाई (Range) 5 मिमी॰-10 मिमी॰ तक होता है। विभिन्न स्लिप गेजों को चित्र 49 में दिखाया गया है।

14. रिंगिंग (Wringing)—स्लिप गेज अथवा गेज ब्लॉक की सतह समतल, परिष्कृत तथा यथार्थ होते अलग-अलग खण्ड के स्लिप गेज की दो सतहों को थोड़ा-सा एक-दूसरे के विपरीत हल्के-हल्के रगड़ कर एवं आपस में आसंजित (Adhere) किया जा सकता है। ऐसे में उन दो गेजों की कुल मोटाई भी यथार्थ ही होगी।

इस प्रकार दो स्लिप गेज की समतल सतहों को साफ करके एक-दूसरे पर रखकर सावधानीपूर्वक हल्के-हल्के थोड़ा-सा दबाव डालकर रगड़कर एवं मरोड़कर आपस में आसंजित (Adhere) करते हैं तब इस क्रिया को रिंगिंग (Wringing) कहते हैं। रिंगिंग क्रिया के दौरान स्लिप गेज की दो सतह मजबूती से एक खण्ड के रूप में आसंजित हो जाती हैं।



चित्र 50

गेजों के बीच आसंजित हो जाने की क्रिया उनके अणुओं के आकर्षण के कारण होती है। कार्य करने के दौरान गेजों को आसंजित किया जाता है तथा कार्य हो जाने के पश्चात् उनको अलग-अलग रख दिया जाता है। आसंजित खण्डों को यदि काफी समय तक छोड़ दिया जाये तो वे गेज खराब हो सकते हैं। उदाहरण—तु (Comparator) तथा साइन बार (Sine Bar) के प्रयोग के समय गेजों को रिंगिंग क्रिया द्वारा आसंजित करके लगाया जाता क्रिया को चित्र 50 में दिखाया गया है।

स्लिप गेजों या गेज ब्लॉकों के सतहों की यथार्थता, समानान्तरता एवं उनके उपयोग के आधार पर गेज ब्लॉक को भागों में बाँटा जा सकता है—

(i) रेफरेन्स गेज ब्लॉक (Reference Gauge Block)—ये गेज ब्लॉक निर्माताओं द्वारा मानक गेज के रू प्रयोग किये जाते हैं। इनका भण्डारण काफी सावधानीपूर्वक एवं उचित तापमान पर किया जाता है।

(ii) कैलीब्रेशन गेज ब्लॉक (Calibration Gauge Block)—ये गेज ब्लॉक इन्जीनियरिंग प्रैक्टिस में उच्च यथार्थता के लिये मानक मापन यंत्रों के अंशांकन (Calibration) के लिये प्रयोग किये जाते हैं।

(iii) ग्रेड 0, I तथा II गेज ब्लॉक—ये गेज ब्लॉक आमतौर पर हर जगह इंजीनियरिंग प्रयोग में निरीक्षण एवं परीक्षण वर्गों में प्रयोग किये जाते हैं।

I.S.S. No. 2984–1966 के अनुसार गेज ब्लॉकों के दो सेट का विवरण आगे दिया जा रहा है।

1. सामान्य सेट (Normal Set)—46 खण्डों का सेट

क्रम संख्या	साइज (मिमी॰ में)	वृद्धि (Increment) (मिमी॰ में)	खण्डों की संख्या (No. of Pieces)
1.	1·001 – 1·009	0·001	9
2.	1·01 – 1·09	0·01	9
3.	1·1 – 1·9	0·1	9
4.	1 – 9	1·0	9
5.	10 – 90	10	9
6.	100	–	1
	कुल खण्डों की संख्या		46

2. विशेष सेट (Special Set)—87 खण्डों का सेट

क्रम संख्या	साइज (Size) (मिमी॰ में)	वृद्धि (Increment) (मिमी॰ में)	खण्डों की संख्या (No. of Pieces)
1.	1·001 – 1·009	0·001	9
2.	1·01 – 14·9	0·01	49
3.	0·5 – 9·5	0·5	19
4.	10 – 90	10	9
5.	100	–	1
	कुल खण्डों की संख्या		87

3. अन्य सेट (Other Sets)—

क्रम संख्या	साइज (Size) (मिमी॰ में)	वृद्धि (Increment) (मिमी॰ में)	खण्डों की संख्या (No. of Pieces)
1.	1·001 – 1·009	0·001	9
	1·01–1·09	0·01	9
	1·1 – 1·9	0·1	9
	1 – 24	1	24
	25 – 100	25	4
	0·5	—	1
	कुल खण्डों की संख्या		56
2.	1·01 – 1·49	0·01	49
	0·5–9·5	0·5	19
	10 – 40	10	4
	50 – 100	25	3
	1·005	—	1
	कुल खण्डों की संख्या		76

3.	1·01 – 1·49	0·01	49
	0·5 – 24·5	0·5	49
	25 – 100	25	4
	1·005	—	1
कुल खण्डों की संख्या			**103**
4.	1·001 – 1·009	0·001	9
	1·01 – 1·49	0·01	49
	0·5 – 24·5	0·5	49
	25 – 100	25	4
	1·0005	—	1
कुल खण्डों की संख्या			**112**
5.	1·001 – 1·009	0·001	9
	1·01 – 1·49	0·01	49
	1·6 – 1·9	0·1	4
	0·5 – 24·5	0·5	49
	30 – 100	10	8
	25	—	1
	75	—	1
	1·0005	—	1
कुल खण्डों की संख्या			**122**

2.12 स्लिप गेज ब्लॉक तैयार करना (Preparation of Slip Gauge Block)

स्लिप गेजों को जब एक से अधिक लगाना पड़ता है तब उनको रिंगिंग (wringing) विधि से एक दूसरे स्लिप गेज ब्लॉक तैयार करते हैं।

आवश्यकतानुसार किसी माप का स्लिप गेज ब्लॉक तैयार करने के लिए निम्न बिन्दुओं का ध्यान रखना

(i) माप के अनुसार स्लिप गेजों का चुनाव दशमलव के अंतिम अंक से शुरू करना चाहिए।

(ii) स्लिप गेज ब्लॉक में, स्लिप गेजों की संख्या कम से कम रहे।

(iii) स्लिप गेजों को आपस में लगाने के लिए, रिंगिंग विधि द्वारा ही आपस में चिपकाना चाहिए।

उदाहरण के लिए—यदि 42·567 मिमी के माप का स्लिप गेज ब्लॉक बनाना हो, तो 112 स्लिप गेज वाले स्लिप गेजों का प्रयोग करेंगे,

$$1{\cdot}007 + 1{\cdot}06 + 15{\cdot}5 + 25{\cdot}0 = 42{\cdot}567 \text{ मिमी}$$

2.13 स्लिप गेज का उपयोग (Uses of Slip Gauges)

(1) मापन यन्त्रों की परिशुद्धता की जाँच करने में।

(2) मापन यन्त्रों जैसे—वर्नियर, माइक्रोमीटर आदि का calibration करने में।

(3) कोणीय मापन (angular measurement) के समय साइन बार (Sine bar) को सेट करने में।

(4) सूक्ष्म मापन मशीनों जैसे-टूल रूम माइक्रोस्कोप (Tool room microscope) आदि के साथ इसका प्रयोग करने में।

(5) पंच (punch) एवं डाइयों (Dies) आदि के निर्माण करने में उनका परिशुद्ध मापन करने में।

(6) मापन यन्त्र के माप की तुलना करते समय मानक के रूप में।

.14 ज्यामितीय आकार (Geometrical Forms)

इन्जीनियरी में अवयवों के सही ज्यामितीय माप के साथ-साथ उनका सही ज्यामितीय आकार भी होना जरूरी होता है। वयवों की परिशुद्धता एवं यथार्थता के लिये उनके ज्यामितीय आकारों में जिन मुख्य आकारों/तत्वों (Forms/Elements) की रिशुद्धता जरूरी होती है वे निम्न हैं—

(i) सीधापन (Straightness)
(ii) चपटापन या समतलता (Flatness)
(iii) गोलीयता (Circularity)
(iv) वर्गता (Squareness)
(v) समान्तरता (Parallelism)
(vi) ऊर्ध्वाधर गति (Vertical movement)
(vii) क्षैतिज गति (Horizontal movement)
(viii) कोणीय गति (Angular movement)
(ix) घूर्णी अंगों की चक्रीयता (Rotation of Rotary Parts)

2.15 ज्यामितीय त्रुटियाँ (Geometrical Errors)

ज्यामितीय आकारों के माप के ज्यामितीय यथार्थता (geometrical accuracy) में दो प्रकार की त्रुटियाँ पायी जाती हैं—

(i) सूक्ष्म ज्यामितीय त्रुटियाँ (Micro-geometrical Errors)
(ii) दीर्घ ज्यामितीय त्रुटियाँ (Macro-geometrical Errors)

(i) सूक्ष्म ज्यामितीय त्रुटियाँ (Micro-geometrical Errors)—मशीनन क्रिया के दौरान अवयवों की सतहों में सूक्ष्म अनियमितताओं के कारण होने वाली त्रुटि को सूक्ष्म ज्यामितीय त्रुटि (micro-geometrical errors) कहते हैं, जिन्हें सतह रूक्षता (surface roughness) के नाम से भी जाना जाता है। सतह रूक्षता के बारे में विस्तृत अध्ययन, अध्याय-5 में किया जा चुका है। सूक्ष्म ज्यामितीय त्रुटियों को 1 वर्ग मिमी० क्षेत्रफल के लिये मापा जा सकता है।

(ii) दीर्घ-ज्यामितीय त्रुटियाँ (Macro-geometrical Errors)—अवयवों पर मशीनन क्रिया के दौरान उसकी कोई सतह आदर्श रूप से ज्यामितीय चौरस और चिकनी नहीं बनती है तथा किसी गोल अवयव का ज्यामितीय कंटूर (geometrical contour) आदर्श रूप से गोल नहीं होता है। इस प्रकार अवयव में उत्पन्न होने वाली चौरसपन (flatness), सीधापन (straightness) तथा गोलीयता (roundness) आदि त्रुटियों को दीर्घ ज्यामितीय त्रुटियाँ (macro-geometrical errors) कहते हैं।

इस प्रकार प्रत्येक अवयव की माप की यथार्थता को बनाये रखने के लिए उसमें पाये जाने वाले दीर्घ-ज्यामितीय त्रुटियों का मापन एवं अध्ययन करना अति आवश्यक है जिनका विवरण आगे दिया जा रहा है।

2.16 महत्त्वपूर्ण परिभाषायें (Important Definitions)

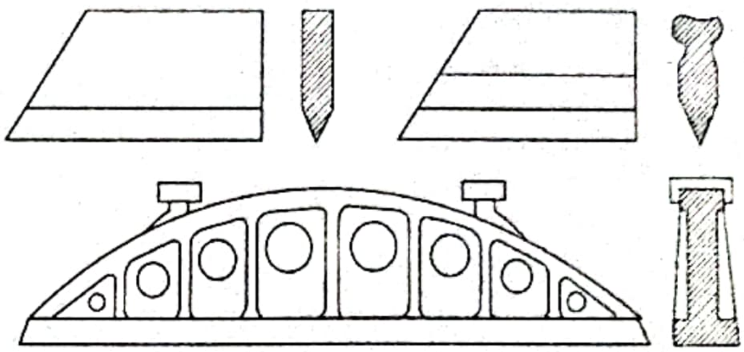
(i) सीधापन (Straightness)—जब एक पूरी तरह चौरस सतह दूसरे समतल को 90° पर काटती (intersect) है तब प्रतिच्छेदन रेखा (line of intersection) हर स्थिति में सीधी रेखा (straight line) कहलायेगी। सीधी रेखा न होने की दशा में प्रतिच्छेदन रेखा छेदन की दिशा में सीधेपन की त्रुटि (straightness error) को दर्शायेगा। जब किसी दी गई लम्बाई के लिये रेखा पर स्थित सभी बिन्दु मध्य रेखा के समान्तर होते हैं तथा रेखा की प्रोफाइल (profile) के उच्चतम एवं निम्नतम

1. सीध रेखक विधि (Straight Edge Method)
2. स्प्रिट लेवल विधि (Spirit Level Method)
3. ऑटो-कॉलीमेटर विधि (Auto-collimator Method)

2.18 सीध रेखक विधि (Straight Edge Method)

सतह के सीधेपन की जाँच करने अथवा मापने के लिये सबसे अधिक सीध रेखक (straight edge) का प्रयोग किया जाता है। यह हार्ड एवं लैप स्टील (hardened and lapped steel) का बना होता है। इसका सेक्शन पतला एवं गहरा (narrow and deep) होता है। सीध रेखक के किनारों को थोड़ा वक्र (curve) बना दिया जाता है जिसमें उसके एज (edge) के किनारों की तीक्ष्णता (sharpness) समाप्त हो जाती है। इस प्रकार यह एक ब्लंट चाकू (blunt knife) की तरह बन जाता है।

इस यंत्र की यथार्थता (accuracy) उच्च (high) होती है। इसके मापन सिरा (measuring edge) का वास्तविक सीधी रेखा (actual straight line) से अनुमत विचलन (permissible deviation) $\pm\left(0{\cdot}001+\dfrac{L}{500000}\right)$ से अधिक नहीं होनी चाहिये, यहाँ सीध रेखक की लम्बाई L मिमी० है। विभिन्न प्रकार के सीधरेखकों को चित्र 52 में दिखाया गया है।



चित्र 52 : विभिन्न प्रकार के सीध रेखक

सतहों के सीधेपन की इस विधि से निरीक्षण करते समय काफी सावधानी बरतनी चाहिए ताकि जाँच की परिशुद्धता बनी रहे।

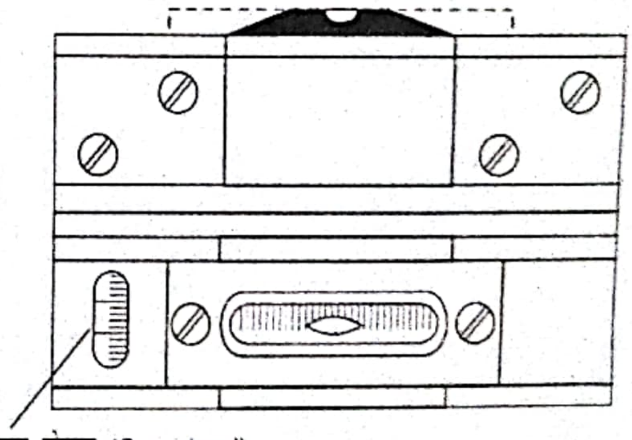
बड़ी सीध रेखक ढलवाँ लोहे (cast iron) की बनी होती है जो पतली होती है तथा बीच में परवलयाकार होती है। परवलयाकार बनाने से इसके प्रत्येक बिन्दु का नमन (bending) इसके भार के कारण उत्पन्न नमन घूर्ण (bending moment) के समानुपाती रहकर सन्तुलित रहता है।

सीध रेखक अथवा स्ट्रेट एज से जाँच करते समय इसको समतल सतह पर रखकर प्रकाश के विपरीत देखा जाता है। यदि जाँची जाने वाली सतह पूर्ण रूप से सीधी होगी तो प्रकाश नहीं दिखायी देगा परन्तु यदि सतह और सीध रेखक के बीच में गैप (gap) है या जगह दिखायी दे तब प्रकाश की रोशनी इस पार से दिखायी देगी जो प्रकाश के विवर्तन (diffraction) के कारण लाल या नीला प्रकाश दिखायी देगा। यदि लाल रंग का प्रकाश दिखायी दे तो गैप लगभग $1{\cdot}0\,\mu m$ से $1{\cdot}5\,\mu m$ के बीच होता है। इसी प्रकार यदि नीला रंग का प्रकाश दिखायी दे तो गैप लगभग $0{\cdot}5\,\mu m$ का होता है या माना जाता है।

2.19 स्प्रिट लेवल विधि (Spirit Level Method)

सतहों के सीधापन को जाँचने के लिये इस विधि में स्प्रिट लेवल (Spirit Level) का प्रयोग किया जाता है। इसमें जाँची जाने वाली सतह पर स्प्रिट लेवल को रखकर पाठ्यांक लिया जाता है।

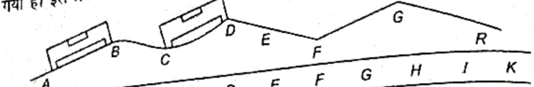
स्प्रिट लेवल रखने के बाद यदि सतह सीधा नहीं है तब स्प्रिट लेवल का बुलबुला (air bubble) बीच में नहीं रहेगा अर्थात् स्प्रिट लेवल का जो सिरा उठा होगा बुलबुला उसी ओर होगा। इस प्रकार बुलबुले का मध्य से विचलन उसमें लगे पैमाना द्वारा पढ़कर ज्ञात कर लिया जाता है।



चित्र 53 : स्प्रिट लेवल (Spirit level)

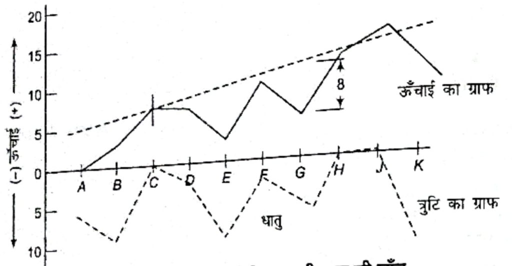
पूरी सतह की समतलता या सीधापन की जाँच के लिये सबसे पहले सतह पर एक सरल रेखा खींच ली जाती है, फिर

इस रेखा को कई बराबर भागों में इस प्रकार बाँटा जाता है कि हर एक भाग स्प्रिट लेवल के आधार की लम्बाई के बराबर आमतौर पर इस तरह की जाँच के लिये पायेदार (legs) स्प्रिट लेवल का प्रयोग किया जाता है ताकि सतह से सिर्फ उसके (leg) ही सम्पर्क में रहें। इस तरह स्प्रिट लेवल के आधार का पूरा सतह, जाँची जाने वाली सतह को नहीं छूता है। उसके सतह पर खींची रेखा के प्रत्येक भाग पर क्रम से चित्र 54 (अ) के अनुसार स्प्रिट लेवल को रखते जाते हैं तथा हर पा पाठ्यांक नोट करते जाते हैं। पाठ्यांक को सारणी बनाकर नोट करने बाद उसका ग्राफ खींच लिया जाता है। जिसको चि (ब) में दिखाया गया है। इस प्रकार ग्राफ को देखकर सतह के सीधापन की जाँच की जाती है।



स्थिति	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K
संचयी मान	O + 1	+ 8	+ 8	+ 2	+ 12	+ 8	+ 17	+ 19	+ 12	

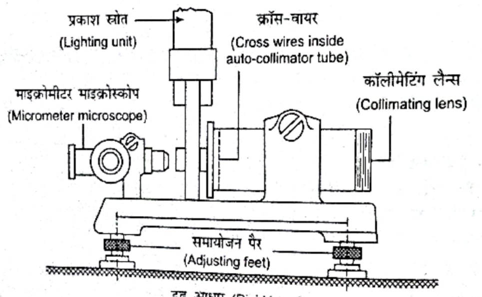
चित्र 54 (अ)



चित्र 54 (ब) : स्प्रिट लेवल विधि द्वारा सीधापन की जाँच

2.20 ऑटो-कॉलीमेटर विधि (Auto-collimator Method)

सतहों के सीधापन (Straightness) को जाँचने की इस विधि में ऑटो-कॉलीमेटर का प्रयोग किया जाता है। इस विधि जिस सतह की जाँच करनी होती है, उस सतह से कुछ दूरी (लगभग 75 सेमी०) पर एक दृढ़ आधार पर ऑटो-कॉलीमेटर

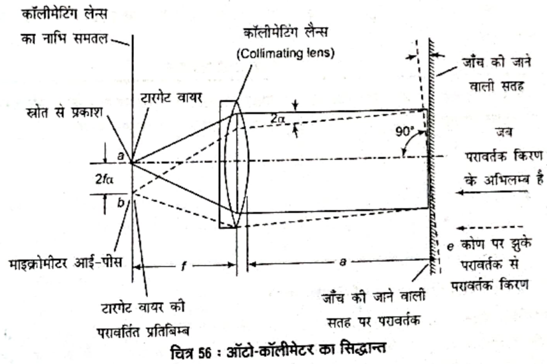


चित्र 55 : ऑटो-कॉलीमेटर (Auto-colli...

रखा जाता है। ऑटो-कॉलीमेटर एक प्रकाशीय यन्त्र (optical instrument) है जिसके द्वारा सूक्ष्म कोणों का अन्तर (differences), परिवर्तन (change) या विस्थापन (deflection) का मापन किया जाता है। यह यंत्र भी स्प्रिट लेवल को ही तरह जाँची जाने वाली सतह के कई भागों पर सापेक्ष कोणीय स्थिति को मापकर सीधापन (straightness) ज्ञात करने के लिये प्रयोग किया जाता है। ऑटो-कॉलीमेटर द्वारा किसी भी समतल में सतहों की जाँच की जा सकती है जबकि स्प्रिट लेवल द्वारा केवल क्षैतिज सतहों के सीधापन की जाँच की जाती है। चित्र 55 में ऑटो-कॉलीमेटर को दिखाया गया है।

रचना—ऑटो-कॉलीमेटर एक नलीदार बॉडी (tubular body) का बना होता है जिसके एक सिरे पर कॉलीमेटिंग लेंस (collimating lens) लगा होता है। जब सतहों की जाँच की जाती है तब यंत्र में लगे प्रकाश स्रोत से कॉलीमेटिंग लेंस द्वारा प्रकाश की समान्तर किरणें सतह पर डाली जाती है। नलीदार बॉडी के दूसरे सिरे पर माइक्रोमीटर माइक्रोस्कोप (micrometer microscope) लगा होता है। इस माइक्रोस्कोप के आई-पीस (eye-piece) में स्केल पैमाना या माइक्रोमीटर लगा होता है।

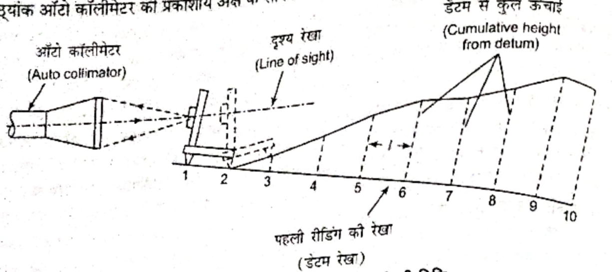
ऑटो-कॉलीमेटर का सिद्धान्त (Principle of Auto-Collimator)—ऑटो-कॉलीमेटर प्रकाशीय सिद्धान्त पर कार्य करता है। इस सिद्धान्त के अनुसार, प्रकाश स्रोत से कॉलीमेटिंग लेंस द्वारा प्रकाश की समान्तर पुंज प्राप्त करके प्रोजेक्ट (project) किया जा सकता है तथा प्रकाश परावर्तित करने वाली सतह के कोण के परिवर्तन से परिवर्तित प्रकाश पुंज अपनी दिशा बदल देता है। ऑटो-कॉलीमेटर के सिद्धान्त को चित्र 56 में दिखाया गया है।



चित्र 56 : ऑटो-कॉलीमेटर का सिद्धान्त

कार्यविधि (Working Method)—जैसा कि पहले बताया जा चुका है कि जिस सतह की जाँच करनी होती है उस सतह से लगभग 75 सेमी० की दूरी पर एक मजबूत दृढ़ आधार पर ऑटो-कॉलीमेटर को रखा जाता है। दो पाये (legs) वाला एक ब्लॉक होता है जिस पर एक समतल ऊर्ध्वाधर परावर्तक लगा होता है। जाँच की जाने वाली सतह पर इस ब्लॉक को लगाया जाता है तथा सतह की लम्बाई में प्रकाश स्रोत से कॉलीमेटिंग लेंस द्वारा प्रकाश की समान्तर पुंज को प्रोजेक्ट (project) किया जाता है। तत्पश्चात् स्प्रिट लेवल विधि की तरह परावर्तक को दो पायों (legs) के बीच की दूरी के बराबर दूरी से हटाकर परावर्तक का झुकाव कोण (angle of inclination) चित्र 57 में दिखाये गये तरीके से क्रमशः 1–2, 2–3, 3–4, 4–5, 5–6 आदि स्थितियों पर ब्लॉक को रखकर माइक्रोमीटर का पाठ्यांक ले लिया जाता है। यह क्रिया जाँची जाने वाली पूरी सतह पर की जाती है। इसी प्रकार परावर्तक को विपरीत दिशा में रखकर फिर माइक्रोमीटर का पाठ्यांक ले लिया जाता है। इस प्रकार दोनों पाठ्यांकों का औसत लेने से यथार्थ मापन मिल जाता है तथा जाँच में त्रुटि आने की सम्भावना नहीं रहती है। इस प्रकार प्राप्त पाठ्यांकों को आगे दी गयी तालिका के अनुसार लिख दिया जाता है। यह

औसत पाठ्यांक ऑटो कॉलीमेटर की प्रकाशीय अक्ष के सापेक्ष परावर्तक की कोणीय स्थिति को सेकेण्डों (″) में दर्शाता है।



चित्र 57 : ऑटो कॉलीमेटर द्वारा सीधापन मापने की विधि

इस प्रकार, यदि ब्लॉक के दो पायों (legs) के बीच की दूरी l हो तो एक सेकेण्ड चाप (arc) के लिये उतार या चढ़ाव $0{\cdot}000006 \times l$ मिमी होगा।

ऑटो-कॉलीमेटर के लिये तालिका

स्थिति	ऑटो-कॉलीमेटर का औसत पाठ्यांक	पहले पाठ्यांक से अन्तर	l लम्बाई के लिए उतार/चढ़ाव	शून्य पर लाने के लिए समायोजन	सरल रेखा से त्रुटि

2.21 चपटेपन का परीक्षण (Testing of Flatness)

औसत वास्तविक समतल (mean true plane) एवं मापी जाने वाली सतह (measured plane) के दो समतलों के उच्चतम एवं न्यूनतम बिन्दुओं से गुजरने वाले वास्तविक कंटूर (true contour) के समान्तर के बीच के न्यूनतम अलगाव (separation) को उस सतह का चपटापन त्रुटि (flatness error) कहते हैं।

भारतीय मानक 2063–1962 के अनुसार, मापन के किसी परास (range) के लिये, जब किसी ज्यामितीय समतल (geometrical plane) से परीक्षण वाले तल के पथ के समान्तर उसके बिन्दुओं की लम्बवत् दूरी (perpendicular distance) एक निश्चित मान से कम होती है, तब वह सतह चपटी (flat) कही जाती है।

2.21.1 चपटेपन की त्रुटि की माप (Measurement of Flatness Error)

चपटेपन का परीक्षण करते समय उसके मान को निम्न इकाई के रूप में प्रदर्शित करते हैं—

(i) **µ या मिमी० उत्तल** (Convex)—जब उनके सिरों के बीच केवल उत्तल सतहें (convex surface) अनुमन्य हों।

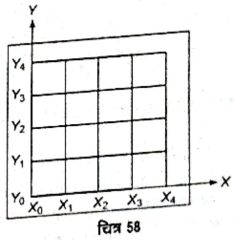
(ii) **µ या मिमी० अवतल** (Concave)—जब उनके सिरों के बीच केवल अवतल सतहें (concave surface) अनुमन्य हों।

(iii) **±µ या प्रति मीटर**—जब सतह में या उनके सिरों के बीच उत्तलता (convexity) एवं अवतलता (concavity) दोनों सतहें अनुमन्य (permisible) हों।

2.21.2 चपटेपन का मापन (Measurement of Flatness)

चपटेपन का मापन, सीधापन मापने जैसा ही होता है। इसके लिये कई विधियाँ अपनायी जाती हैं। चपटेपन को सरफेस प्लेट (surface plate) की सहायता से भी मापा या जाँचा जा सकता है।

मापन के कार्य में सरफेस प्लेट, निर्देश सतहों (reference surface) का कार्य करती हैं। सरफेस प्लेट काफी परिशुद्ध (accurate) होती है तथा इनकी परिशुद्धता 0·005 मिमी० या इससे भी कम होती है। जाँची जाने वाली सतह पर, सरफेस प्लेट को स्प्रिट लेवल के पायों (legs) की तरह बराबर दूरी में अनेक खण्डों में बाँट दिया जाता है। चित्र 58 में इसको दर्शाया गया है।



चित्र 58

चित्र के अनुसार y–रेखा पर चपटेपन की माप $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, ...$ आदि रेखाओं पर ले लिया जाता है। उसके बाद इसी तरह x–रेखा पर चपटेपन की माप $x_0, x_1, x_2, x_3, x_4, ...$ आदि रखाओं पर भी ले लिया जाता है। इसके बाद x–रेखा पर $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, ...$ बिन्दु के मान को तथा y–रेखा पर $x_0, x_1, x_2, x_3, x_4, ...$ बिन्दु के मान को प्रयुक्त किया जाता है। इस प्रकार xy तल में सरफेस प्लेट के सभी बिन्दुओं का मान प्राप्त हो जाता है। इस प्रकार सतह के चपटेपन की त्रुटि का मान किसी भी बिन्दु पर ज्ञात किया जा सकता है।

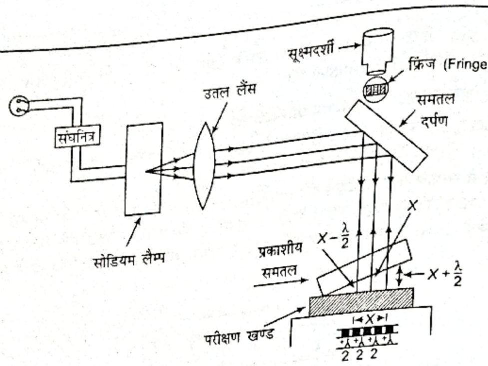
2.21.3 चपटेपन को जाँचने की विधियाँ (Methods of Testing of Flatness)

चपटेपन को जाँचने के लिये कई प्रकार की विधियाँ प्रयोग की जाती हैं जो निम्न हैं—

(i) व्यतिकरण द्वारा चपटेपन का परीक्षण (Testing of Flatness by Interferometric Method)
(ii) ऑटोकॉलीमेटर विधि (Auto-Collimator Method)
(iii) डायल गेज विधि (Dial Gauge Method)
(iv) चपटापन तुलनित्र विधि (Flatness Comparator Method)
(v) तरल द्रव विधि (Liquid Method)
(vi) प्रकाशीय परीक्षण विधि (Optical Testing Method)

2.21.4 व्यतिकरण द्वारा चपटेपन का परीक्षण (Testing of Flatness by Interferometric Method)

चपटेपन मापने की इस विधि में व्यतिकरणमापी (interferometer) का प्रयोग किया जाता है। यह यन्त्र प्रकाशीय फ्लैट (optical flat) के सिद्धान्त पर कार्य करता है। इसके द्वारा छोटी सतहों के चपटेपन की जाँच एवं उसके यथार्थता की भी जाँच की जाती है। इस यन्त्र की प्रकाशीय प्रणाली के रेखाचित्र को चित्र-59 में दिखाया गया है जिसमें इस प्रणाली के साथ व्यतिकरणमापी की कार्य व्यवस्था को दर्शाया गया है।

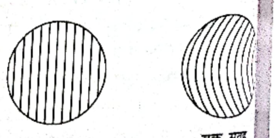


चित्र 59 : व्यतिकरण द्वारा चपटेपन का परीक्षण

जिस सतह के चपटेपन की जाँच करनी होती है उसको सरफेस प्लेट (surface plate) के ऊपर रखा जाता है। उस बाद, उसके ऊपर एक प्रकाशीय फ्लैट (optical flat) को फन्नी (wedge) की तरह रखते हैं और प्रत्येक लीड (lead) प्लग में लगाते हैं। वोल्टता (voltage) को निम्न एवं उच्च मान (low and high value) प्रदान करने के लिये लीड से संघनित्र (condenser) को जोड़ देते हैं। संघनित्र से सोडियम लैम्प (sodium lamp) को जोड़कर प्रदीप्त किया जाता है। व्यवस्था को चित्र 8 में दिखाया गया है।

इस यंत्र में लगे सोडियम लैम्प को इस प्रकार रखते हैं कि उससे उत्पन्न एक-वर्णी प्रकाश (monochromatic light) किरणें एक अभिदृश्य (उत्तल लेंस) के फोकस पर से निकले अर्थात् प्रकाश स्रोत को उत्तल लेंस के फोकस पर रखे। तत्पश्चात् अभिदृश्य लेंस के दूसरी तरफ एक समतल दर्पण (plane mirror) को उचित अथवा वांछित कोण पर इस प्र समायोजित (adjust) करके लगाते हैं कि प्रकाश स्रोत से आने वाली किरणों को यह दर्पण लम्बवत् परावर्तित कर सके।

सतह को जाँचते समय जब प्रकाश स्रोत से वर्णी प्रकाश की किरणें निकलकर अभिदृश्य पर पड़ती हैं तब लेंस इन किर को अनन्त (infinite) पर भेज देता है। तत्पश्चात् जब ये किरणें समतल दर्पण पर पड़ती है तब दर्पण उन किरणों को 90° के कोण पर अर्थात् लम्बवत् प्रकाशीय समतल पर परावर्तित कर देता है। जाँची जाने वाली सतह पर जब ये किरणें पड़ती हैं तब परीक्षण सतह इन किरणों को उसी मार्ग से परावर्तित कर देती हैं। इन परावर्तित किरणें को सूक्ष्मदर्शी (microscope) की सहायता से देखकर सतह के चपटेपन का परीक्षण किया जाता है।



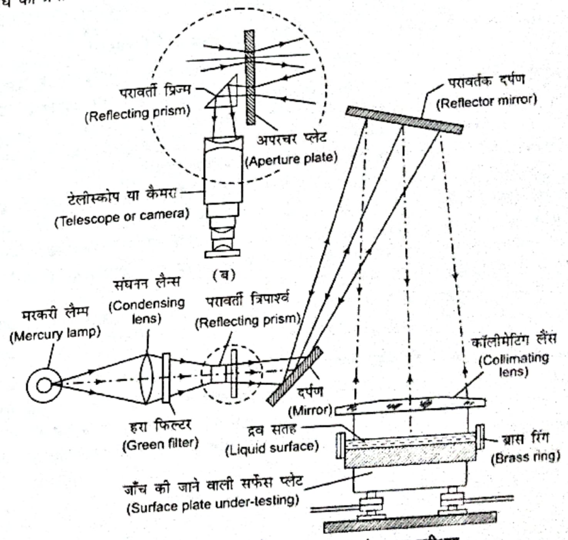
समतल सतह (Flat surface) वक्र सतह (Curved surfa

चित्र 60

सूक्ष्मदर्शी से देखने पर काली और चमकीली रंग की फ्रिंज (frings) या पट्टिका (bands) दिखायी देती है। फ्रिंज या पट्टिकायें सीधी हों तो चपटेपन में त्रुटि नहीं होती है तथा अगर ये फ्रिंज या पट्टिकायें सीधी न हों तो चपटेपन में त्रुटि होती है। इस प्रकार सतह के प्रत्येक बिन्दु पर जाँच कर ली जाती है तथा जिन बिन्दुओं पर ये फ्रिंज या पट्टिकायें (frings bands) सीधे नहीं होते है, उन्हें मालूम करके उन जगहों पर चपटेपन की त्रुटियों को दूर कर लिया जाता है। सूक्ष्मदर्शी द्वा दिखायी देने वाली फ्रिंज या पट्टिकाओं को चित्र 60 में दिखाया गया है।

2.21.5 द्रव सतह व्यतिकरणमापी द्वारा चपटेपन का परीक्षण (Testing of Flatness by Liquid Surface Interferometer)

चपटेपन को जाँचने के लिये इस विधि में द्रव सतह व्यतिकरणमापी (liquid surface interferometer) यन्त्र का प्रयोग किया जाता है। इस विधि में द्रव सतह को प्रकाशीय फ्लैट की तरह प्रयोग किया जाता है। बड़ी सतहों के चपटेपन की जाँच के लिए इस विधि का प्रयोग किया जाता है। द्रव सतह व्यतिकरणमापी की कार्य व्यवस्था को चित्र 61 में दिखाया गया है।



चित्र 61 : द्रव सतह व्यतिकरणमापी द्वारा चपटेपन का परीक्षण

इस विधि में द्रव सतह के लिये मेडिकल द्रव पेराफिन (paraffin) का सबसे ज्यादा प्रयोग किया जाता है। इस यन्त्र में ढलवाँ लोहे की सरफेस प्लेट (surface plate) लगी होती है जिस पर पीतल की रिंग (brass ring) रखी जाती है। इसी रिंग में मेडिकल द्रव पेराफिन को थोड़ा-सा भरकर लगभग 10 मिमी० मोटी फिल्म बनाई जाती है। इस प्रकार से रिंग में भरे इस द्रव की ऊपरी सतह प्रथम परावर्तक सतह (reflecting surface) के रूप में कार्य करती है, जैसा कि प्रकाशीय फ्लैट के नीचे की सतह होती है।

सतह के चपटेपन की जाँच के समय इसमें लगे मरकरी वाष्प लैम्प (mercury vapour lamp) द्वारा एक-वर्णी प्रकाश (mono-chromatic light), संघनन लेंस (condensing lens) तथा हरे फिल्टर (green filter) से होता हुआ परावर्ती प्रिज्म (reflecting prism) पर डाला जाता है। तत्पश्चात् लेंस के दूसरी तरफ एक समतल दर्पण (plane mirror) को उचित कोण पर इस प्रकार समायोजित (adjust) करके लगाते हैं कि एक वर्णी प्रकाश परावर्ती प्रिज्म से होता हुआ दर्पण पर पड़ता है जो दर्पण से परावर्तित होकर सरफेस प्लेट से होकर वापस लौटता है।

इस यंत्र में सूक्ष्मदर्शी की जगह टेलिस्कोप (telescope) या कैमरा (camera) लगा होता है। परावर्ती प्रिज्म से लौटने
प्रकाश को इसी टेलिस्कोप या कैमरे से देखा जाता है। इस प्रकार द्रव की ऊपरी एवं निचली सतहों से होकर वापस आने
प्रकाश की किरणें अलग-अलग लम्बाई के मार्ग को पूरा करती है जिससे व्यतिकरण उत्पन्न होता है तथा उत्पन्न व्यतिकरण
कारण पट्टियाँ (bands) बनती हैं जिन्हें टेलीस्कोप पर कैमरे से देखकर चपटेपन की जाँच की जाती है। चपटेपन को जाँचने
विधि चपटापन व्यतिकरणमापी की तरह ही होता है। इस यंत्र द्वारा बड़े सतह के चपटेपन की यथार्थतापूर्वक जाँच की जा सकती
है।

2.22 सतहों की वर्गता का परीक्षण (Testing of Squareness of Surface)

इंजीनियरी में किसी उत्पाद (product) के उत्पादन (production) में 90° कोण का मापन बहुत ही महत्त्वपूर्ण होता
इसको कई नामों से जाना जाता है जैसे—समकोण (right angle), अभिलम्ब (normal), वर्ग (square) इत्यादि।

इस प्रकार कोई दो समतल (planes), सिरे (edges), सतह (surfaces), अक्ष (axes), दो रेखायें (two lines) अथवा
एक रेखा व एक समतल तब लम्बवत् कहे जाते हैं जब एक मानक चौकोर (standard square) के सापेक्ष उनकी समान्तरता
की त्रुटि एक निश्चित सीमा के अन्दर अथवा एक निश्चित मान तक सीमित रहती है।

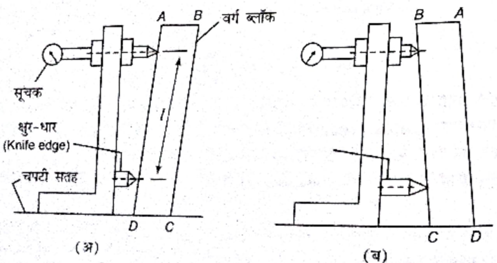
वर्गता (squareness) की जाँच करने के लिये कई विधियाँ अपनायी जाती हैं। जिस जगह वर्गता की अधिक परिशुद्धता
करना आवश्यक नहीं होता है वहाँ पर इन्जीनियर्स-वर्ग (engineer's square), रेफरेन्स वर्ग (reference square), समकोण
लेवल (right angle level) या मेट्रोलॉजिकल वर्ग (metrological square) इत्यादि का प्रयोग किया जाता है। परन्तु किसी
के वर्गता की त्रुटि ज्ञात करने के लिये तथा स्लिप गेज या गेज ब्लॉक (slip gauge or gauge block) इत्यादि को चेक करने
लिये अन्य कई प्रकार की विधियाँ अपनायी जाती हैं जो निम्न हैं—

(i) डायल-सूचक द्वारा वर्गता की जाँच करना (Checking/Testing of Squareness by Dial Indicator)

(ii) वर्गता की प्रकाशीय जाँच (Optical Test for Squareness)

2.22.1 डायल सूचक द्वारा वर्गता की जाँच करना (Checking/Testing of Squareness by Dial Gauge)

बड़े ब्लॉक (big size block) की सतहों की वर्गता की जाँच इस विधि से की जाती है। इस विधि द्वारा यह भी सुनिश्चित
हो जाता है कि ब्लॉक की दोनों सतहें आपस में समान्तर हैं या नहीं। सामान्यत: इस विधि से ऐसे ब्लॉकों की वर्गता की जाँच
जाती हैं जिनको इंजीनियर्स वर्ग (Engineer's square) से पहले ही जाँच लिया गया हो। इस विधि द्वारा वर्गता जाँचने
व्यवस्था को चित्र 62 में दिखाया गया है।



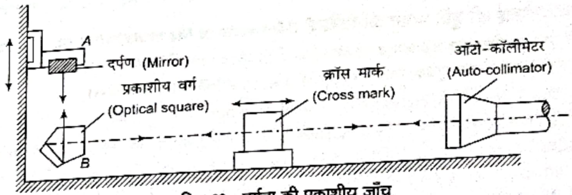
चित्र 62 : डायल-सूचक द्वारा वर्ग-ब्लॉकों की जाँच

इस यंत्र में एक फ्रेम (frame) होता है जिसका आधार (base) समतल रहता है। इस यंत्र में नीचे की तरफ एक क्षुर-धार
(knife-edge) होता है। इसमें नियत दूरी पर डायल सूचक (dial indicator) लगाने की व्यवस्था भी रहती है। डायल सूचक
समान्तर पट्टी पर लगा होता है। जिस वर्ग ब्लॉक के वर्गता की जाँच करनी होती है उसके ऊपरी सिरे पर डायल सूचक को
टिकाते हैं तथा क्षुर-धार को निचले सिरे पर टिकाकर सूचक का पाठ्यांक (reading) नोट कर लिया जाता है। इस व्यवस्था को
चित्र 62 (अ) में दिखाया गया है। इस तरह पाठ्यांक नोट कर लेने के बाद ब्लॉक को पलटकर इस प्रकार रख देते हैं ताकि
उसका दूसरा समान्तर फलक (face) डायल सूचक की तरफ आ जाये। तत्पश्चात् पहले की तरह सूचक को ब्लॉक पर रखकर
फिर पाठ्यांक नोट कर लिया जाता है। इस व्यवस्था को भी चित्र 62 (ब) में दिखाया गया है।

अब यदि ब्लॉक की दोनों सतहें AD एवं BC (चित्रानुसार) परस्पर समान्तर हैं तो दोनों पाठ्यांक भी बराबर होंगे और
ब्लॉक के प्रत्येक कोण 90° के होंगे। इसी प्रकार यदि दोनों पाठ्यांकों में अन्तर होगा तो ब्लॉक की सतहें समान्तर नहीं होंगी तथा
उनके कोण भी 90° के नहीं होंगे तथा यह अन्तर ब्लॉक के l लम्बाई में वर्गता की त्रुटि का दुगना होता है।

2.22.2 वर्गता की प्रकाशीय जाँच (Optical Test for Squareness)

इस विधि को ऑटा-कॉलीमेटर विधि (auto-callimator method) भी कहते हैं। वर्गता जाँच करने की यह विधि काफी
सुग्राही (sensitive) होती है। इस विधि में परस्पर लम्बवत् दो मशीनित सतहों की वर्गता की जाँच करने के लिये
ऑटो-कॉलीमेटर का प्रयोग किया जाता है। वर्गता की प्रकाशीय जाँच की व्यवस्था को चित्र 63 में दिखाया गया है।



चित्र 63 : वर्गता की प्रकाशीय जाँच

मापन या जाँचने के समय ऑटो-कॉलीमेटर के प्रकाशीय अक्ष, मापन-डैटम (measuring datum) का कार्य करते हैं।
इस व्यवस्था से वर्गता की जाँच करने में एक प्रकाशीय वर्ग (optical square) का भी प्रयोग किया जाता है जिसका उपयोग
संपाती-पुँज (incident beam or incident ray) को 90° पर मोड़ने के लिये होता हैं। प्रयोग के समय यह माना जाता है कि
जाँची जाने वाली सतहों के दोनों पृष्ठ (face) पूर्णतया सीधे हैं।

जाँची जाने वाली सतह पर ऑटो-कॉलीमेटर के संरेखन (alignment) के लिये एक स्टेनलेस स्टील (stainless steel)
का दर्पण-ब्लॉक (mirror block) प्रयोग किया जाता है जिसका आधार चपटा होता है। इस प्रकार दर्पण को चित्रानुसार स्थिति
A पर रखकर ऑटो-कॉलीमेटर का पाठ्यांक नोट कर लिया जाता है। तत्पश्चात् दर्पण को ऊर्ध्वाधर सतहों पर टिका दिया जाता
है। अब चित्रानुसार प्रकाशीय वर्ग को सतहों के बीच B स्थान पर रखा जाता है तथा पुन: ऑटोकॉलीमेटर का पाठ्यांक नोट कर
लिया जाता है। इस प्रकार ऑटो-कॉलीमेटर के दोनों पाठ्यांकों से सतहों की वर्गता का पता चल जाता है। वर्गता में त्रुटि होने पर
पाठ्यांकों से उस त्रुटि का मान (error value) भी ज्ञात हो जाता है।

2.22.3 प्रकाशीय जाँच की सावधानियाँ (Precautions of Optical Test)

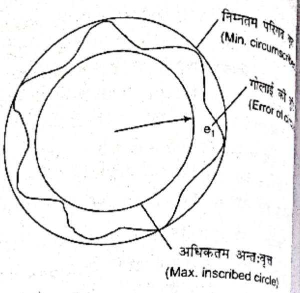
इस विधि से जाँच करते समय निम्न सावधानियाँ बरतनी चाहिएँ—

(1) ऑटो-कॉलीमेटर में लगा टेलिस्कोप (telescope) क्षैतिज सतह के समान्तर संरेखित (aligned) होना चाहिए
अन्यथा पाठ्यांक में त्रुटि आयेगा।

(2) इस व्यवस्था में प्रकाशीय वर्ग को इस प्रकार लगाना चाहिए कि उसकी एक भुजा टेलिस्कोप की प्रकाशीय अक्ष
के लम्बवत् रहे।

2.23 सतहों की गोलीयता का परीक्षण (Testing of Roundness of Surface)

किसी सतह की घूर्णन स्थिति को गोलीयता (roundness) कहते हैं। जैसे—सिलिण्डर, कोर या गोला। इस प्रकार किसी वस्तु की गोलीयता, उस वस्तु के सभी तीन दिशाओं में घूर्णन (rotary) की व्यक्तिगत ज्यामितीय आकृति को दर्शाता है जबकि किसी वस्तु की पूरी परिधि की विशिष्ट आकृति वृत्तीय कन्टूर (circular contour) कहलाती है।



चित्र 64 : गोलाई की त्रुटि

गोलाई की त्रुटि (Roundness Error)—किसी वस्तु के वास्तविक कन्टूर को ढकने वाले माध्य वास्तविक वृत्त (mean real circle) से संकेन्द्रीय दो वृत्तों के बीच की त्रैज्यिक दूरी को गोलाई की त्रुटि (roundness error) कहते हैं।

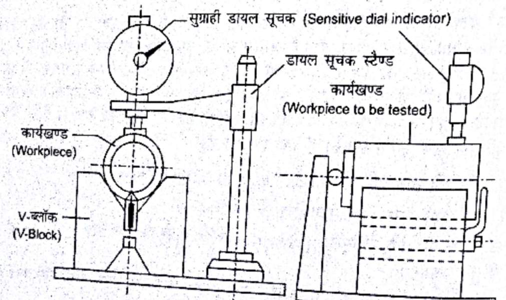
दूसरे शब्दों में, किसी वस्तु की गोलीय त्रुटि (roundness error), मध्यमान वक्र के साथ दो समकेन्द्रीय वृत्तों (concentric circles) के बीच की वह त्रैज्यिक दूरी (radial distance) होती है जो उसके वास्तविक सतह को ढकती है। गोलीय त्रुटि को चित्र 64 में e_1 के द्वारा दर्शाया गया

2.23.1 गोलीयता/गोलाई की त्रुटि मापन की विधियाँ (Methods of Measurement of Roundness E

गोलाई की त्रुटि या गोलीयता को जाँचने या मापने के लिये निम्न विधियाँ प्रयोग में लायी जाती हैं—

1. V-ब्लॉक एवं डॉयल सूचक विधि (V-Block and Dial Indicator Method)
2. उत्केन्द्रता परीक्षण विधि (Eccentricity Testing Method)
3. परिशुद्ध मापन यन्त्र/टेलीरोंड विधि (Precision Measuring Instrument/Talyrond Method)

1. V-ब्लॉक एवं डॉयल सूचक विधि (V-Block and Dial Indicator Method)—गोलाई की त्रुटि मा लिए V-ब्लॉक एवं डायल सूचक विधि सबसे अच्छा एवं यथार्थ माना जाता है। इस विधि में सबसे पहले V- (V-Block) को सरफेस प्लेट (surface plate) पर रखा जाता है उसके बाद कार्यखण्ड या जॉब (workpiece or jo V-ब्लॉक पर रख दिया जाता है। तत्पश्चात् एक संवेदनशील डायल सूचक (sensitive dial indicator) को एक स्टै मजबूती से पकड़ कर इस प्रकार सेट किया जाता है कि उसका मापन प्लंजर (measuring plunger) कार्यखण्ड की स टिका रहे। इस व्यवस्था को चित्र 65 में दिखाया गया है।



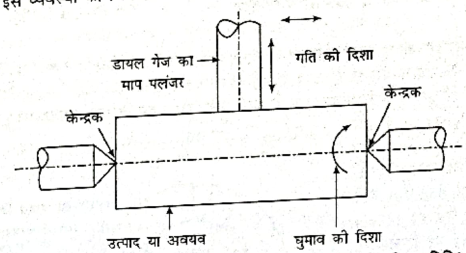
चित्र 65 : V-ब्लॉक एवं डायल सूचक

जब कार्यखण्ड के गोलाई की त्रुटि का मापन करना होता है तब कार्यखण्ड को धीरे-धीरे एक दिशा में घुमाया जाता है तथा कार्यखण्ड की सतह के उतार-चढ़ाव को डायल सूचक की सहायता से उसके पाठ्यांक को पढ़ लिया जाता है।

उसके बाद कार्यखण्ड की सतह पर बने पिण्डकों (lobes) की संख्या को ज्ञात किया जाता है। इसके लिये कार्यखण्ड को पहले 60° वाले V-ब्लॉक पर रखकर परीक्षण किया जाता है, उसके बाद कार्यखण्ड को 90° वाले V-ब्लॉक पर रखकर परीक्षण किया जाता है। इस प्रकार कार्यखण्ड को 360° घुमाने पर डायल सूचक के सूचक द्वारा विक्षेप (deflection) को दिखाया जाता है। सूचक में जितनी बार विक्षेप होगा, कार्यखण्ड की सतह पर उतनी ही पिण्डकों की संख्या होगी।

मापन की यथार्थता के लिये ही कार्यखण्ड की गोलाई की त्रुटि का मापन दो V-ब्लॉकों द्वारा किया जाता है क्योंकि जब एक दीर्घवृत्तीय आकृति (elliptically shaped) का कोई कार्यखण्ड या जॉब 60° वाले V-ब्लॉक पर घुमाया जाता है तब सूचक द्वारा दिखाये गये पाठ्यांक में कोई परिवर्तन नहीं होता है, जबकि उसी कार्यखण्ड को जब 90° वाले V-ब्लॉक पर रखकर घुमाते हैं, तब सूचक द्वारा दो अधिकतम एवं दो न्यूनतम पाठ्यांक मिलता है। इस प्रकार कार्यखण्ड की गोलाई की त्रुटि का मापन किया जाता है।

2. उत्केन्द्रता परीक्षण विधि द्वारा गोलाई की त्रुटि का मापन (Measurement of Roundness Error by Eccentricity Testing Method)—इस विधि में गोलाई त्रुटि का मापन करने के लिये उत्केन्द्रता टेस्टर (eccentricity tester) का प्रयोग किया जाता है। इस विधि में कार्यखण्ड की गोलाई की त्रुटि के मापन के लिये उसे दो केन्द्रकों (centres) के बीच पकड़ा जाता है। इस व्यवस्था को चित्र 66 में दर्शाया गया है।



चित्र 66 : दो केन्द्रकों के बीच गोलीयता का परीक्षण (उत्केन्द्रता परीक्षण विधि)

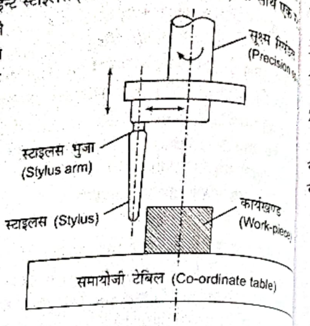
उपरोक्त चित्र के अनुसार मापे जाने वाले कार्यखण्ड को केन्द्रकों के बीच लगाकर डायल सूचक को इस प्रकार सेट करते हैं कि उसका मापन प्लंजर कार्यखण्ड पर टिका रहे तथा डायल सूचक को चित्रानुसार कार्यखण्ड के अक्ष के समान्तर भी चलाते हैं। मापन के समय कार्यखण्ड को धीरे-धीरे घुमाया जाता है। इस प्रक्रिया में डायल सूचक के सूचक द्वारा गोलीयता-त्रुटि एवं उत्केन्द्रता (roundness error & eccentricity) का पाठ्यांक दर्शाया जाता है। इस प्रकार गोलीयता त्रुटि एवं उत्केन्द्रता का मापन कर लिया जाता है। जब घुमाव अक्ष एवं कार्यखण्ड के ज्यामितीय अक्ष सम्पाती नहीं होते हैं तब उत्केन्द्रता त्रुटि और गोलीयता त्रुटि पैदा होता है, जिसको पाठ्यांक द्वारा पढ़ लिया जाता है।

3. परिशुद्ध मापन यन्त्र/टेलीरोंड विधि (Precision Measuring Instrument/Talyrond Method)—छोटे कार्यखण्ड की गोलीयता को मापने के लिये तथा अधिक यथार्थ (accurate) एवं विश्वसनीय (relaible) परिणाम के लिये परिशुद्ध मापन यन्त्र (precision measuring instrument) का प्रयोग किया जाता है। इस विधि से गोलाई की त्रुटि का मान जानने के लिये काफी कम समय लगता है।

इस विधि में टेलीरोंड यन्त्र (talyrond instrument) का प्रयोग किया जाता है, इसलिये इस विधि को टेलीरोंड विधि भी कहते हैं। इस यन्त्र को टेलर हॉबसन (Taylor Hobson) नामक वैज्ञानिक ने बनाया था। इस विधि का प्रयोग छोटे कार्यखण्ड एवं बियरिंग (bearing) बनाने वाली फैक्ट्रियों में बहुत होता है।

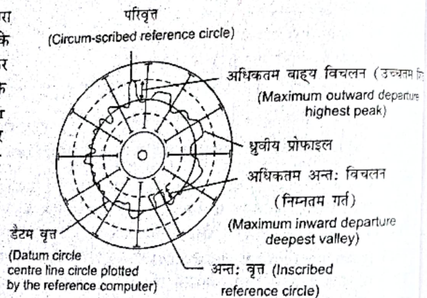
रचना (Construction)—इस यंत्र में एक सूक्ष्म एवं परिशुद्ध स्पिण्डल (Spindle) होता है जो यथार्थतापूर्वक एक डायमण्ड प्वाइन्ट स्टाइलस (diamond point stylus) के साथ एक अक्ष के परितः घूमता है। इसी स्पिण्डल पर एक डायमण्ड प्वाइन्ट स्टाइलस भुजा इस प्रकार लगा होता है कि परीक्षण किये जाने वाले कार्यखण्ड की त्रिज्या (radius) के अनुसार स्टाइलस की स्थिति परिवर्तित हो सके। कार्यखण्ड की अलग-अलग ऊँचाइयों के लिये स्पिण्डल को ऊपर या नीचे किया जा सकता है। इस यन्त्र द्वारा कार्यखण्ड के सीधापन (straightness) की भी जाँच की जा सकती है।

कार्यविधि (Working Method)—जिस कार्यखण्ड का परीक्षण करना होता है उसे यन्त्र में लगे समायोजी टेबल (adjustable table) पर रखकर केन्द्रित (centered) कर लिया जाता है ताकि कार्यखण्ड की अक्ष एवं स्पिण्डल की अक्ष संपाती (coincident) हो जाये। इसके स्पिण्डल की चालन यथार्थता या अनुमत उत्केन्द्रता (permissible eccentricity) 0·01 μm (micron) से अधिक नहीं होनी चाहिए। टेलीरोंड विधि से गोलीयता मापन की व्यवस्था को चित्र 67 में दिखाया गया है।



चित्र 67 : टेलीरोंड विधि से मापन

मापन के समय स्पिण्डल को घुमाकर डायमण्ड स्टाइलस के द्वारा परीक्षण किये जाने वाले कार्यखण्ड के संदर्भ में यथार्थ वृत्त बनाया जाता है। यदि कार्यखण्ड पूर्णतया गोल है तो स्टाइलस में त्रैज्यिक विक्षेप (radial deflection) नहीं परन्तु यदि सतह पर कोई भी त्रुटि होती तो स्टाइलस में त्रैज्यिक विक्षेप होगा। इस विक्षेप को स्टाइलस भुजा में लगे दो इन्डक्टिव अवयवों (inductive elements) के द्वारा विद्युत सिग्नल (electrical signals) के रूप में परिवर्तित कर लिया जाता है। फिर इस सिग्नल को आवर्धित (amplify) करके ध्रुवीय को-आर्डिनेट रिकार्डर (Polar co-ordinate recorder) पर रिकार्ड कर लिया जाता है। ध्रुवीय को-ऑर्डिनेट रिकार्डर के चक्र (rotation) यन्त्र में लगे स्पिण्डल से समकालिक (synchronized) होने के कारण इससे एक ध्रुवीय ग्राफ (polar plot) सीधे ही प्राप्त हो जाता है। इस प्रकार कार्यखण्ड की वास्तविक प्रोफाइल (profile) बन जाती है, जैसा कि चित्र 68 में दिखाया गया है।



चित्र 68 : कार्यखण्ड की वास्तविक प्रोफाइल

इस ग्राफ के द्वारा परीक्षण किये जाने वाले कार्यखण्ड की परिधि, वास्तविक वृत्तीय आकृति से कितनी अलग है पता लगाया जा सकता है। विद्युत आवर्धन (electrical magnification) के द्वारा इस यन्त्र को एक लाख गुना तक आवर्धित किया जा सकता है। इस कारण सतहों का मैक्रो (macro) एवं माइक्रो (micro) अनियमितताओं की स्थिति भी ग्राफ पर देखी जा सकती है।

कार्यखण्ड की गोलीयता त्रुटि को ज्ञात करने के लिये ध्रुवीय ग्राफ (polar plot) को दो समकेन्द्रित वृत्तों के बीच में इस प्रकार सेट किया जाता है कि उनके बीच त्रिज्यक दूरी (radial distance) कम से कम हो और यही कम से कम दूरी गोलीयता

की त्रुटि (roundness error) कहलाती है। इस विधि को न्यूनतम त्रिज्यक अन्तर विधि (minimum radial difference method) भी कहा जाता है। कार्यखण्ड की आदर्श स्थिति के लिये ध्रुवीय ग्राफ पर एक डेटम वृत्त (datum circle) बनाकर उसकी पूरी परिधि को 12 बराबर भागों में विभाजित करके उसका अध्ययन किया जाता है तथा उसके बाद गोलीयता के त्रुटि का मान निकाला जाता है।

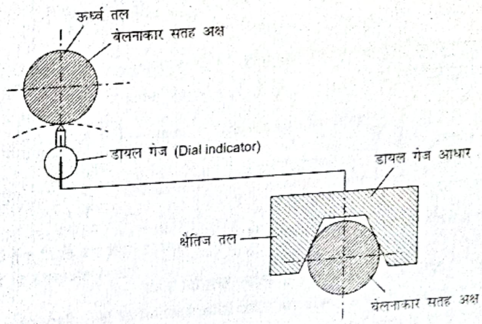
2.24 सतहों की समान्तरता का परीक्षण (Testing of Parallelism of Surfaces)

इंजीनियरी में किसी कार्यखण्ड या मशीनों के पार्ट्स में उसके अक्ष (axis) एवं तल (planes) की समान्तरता की जाँच करना अत्यन्त जरूरी होता है। इस प्रकार किसी पार्ट या कार्यखण्ड के अक्ष एवं तल की समान्तरता की जाँच के लिये कई प्रकार की विधियों का प्रयोग किया जाता है जो कि निम्न हैं—

1. **डायल गेज विधि** (Dial Gauge Method)—इस विधि में कई तरह की समान्तरता की जाँच की जाती है—
   - (i) दो अक्षों की समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism of two axes)
   - (ii) दो तलों की समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism of two planes)
   - (iii) एक अक्ष की एक तल से समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism of an axis to a plane)
   - (iv) एक अक्ष की दो तलों के प्रतिच्छेद-रेखा से समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism of an axis with the intersection of two planes)
   - (v) दो प्रतिच्छेद तलों की तीसरे तल से समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism of the intersection of two planes to third plane)
   - (vi) दो सीधी रेखाओं की समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism of two straight line)
2. **गहराई माइक्रोमीटर विधि** (Depth Micrometer Method)

2.24.1 दो अक्षों की समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism of Two Axes)

यह जाँच ऐसे दो तलों पर की जाती है जिसमें एक तल दूसरे तल के लम्बरूप हो एवं उसके पास हो। एक ऊर्ध्व तल एवं एक क्षैतिज तल को चित्र 69 में दिखाया गया है।



चित्र 69 : दो अक्षों में समान्तरता की जाँच

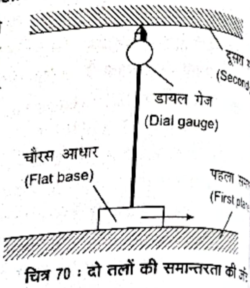
इस विधि में डायल गेज को V-आकार के आधार पर लगाया जाता है। उसके बाद डायल गेज के सूचक (poi... मापे जाने वाले सिलिण्डर पर इस प्रकार टिकाया जाता है कि उसका सूचक सिलिण्डर पर स्लाइड कर सके। इस प्रका... को स्लाइड करके अक्षों की समान्तरता की जाँच की जाती है तथा डायल गेज द्वारा दिखाये गये विचलन (deviation)... कर लिया जाता है। इस विचलन के पाठ्यांक द्वारा दोनों अक्षों के समान्तरता की त्रुटि को ज्ञात कर लिया जाता है।

2.24.2 दो तलों की समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism of Two Planes)

दो तल समान्तर तब कहे जाते हैं जब उनके बीच की दूरी कम से कम दो दिशाओं में मापकर यह ज्ञात किया जाये कि उनके बीच अधिकतम एवं न्यूनतम दूरियों का मान एक निश्चित सीमा से अधिक न हो, अर्थात् समान्तरता की त्रुटि एक निश्चित सीमा या मान से अधिक न हो।

दो तलों के बीच समान्तरता के परीक्षण के लिये उसके किसी एक तल पर डायल गेज के आधार को इस प्रकार रखा जाता है कि उसका मापन प्लंजर दूसरे तल को छूता हुआ चले। इसको चित्र 70 में दिखाया गया है।

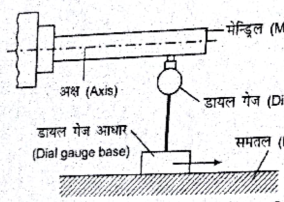
इस प्रकार डायल गेज द्वारा दिखाये गये विक्षेप के पाठ्यांक से समान्तरता की जाँच की जाती है।



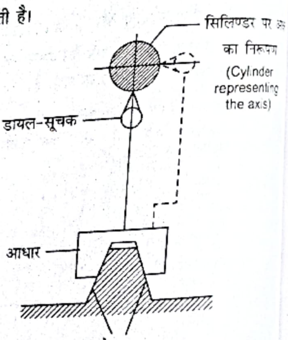
चित्र 70 : दो तलों की समान्तरता की जाँच

2.24.3 एक अक्ष की एक तल से समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism of an axis to a plane)

एक अक्ष से एक तल की समान्तरता की जाँच को चित्र 71 में दिखाया गया है। इस विधि में डायल गेज के मापन... को अक्ष पर तल के सापेक्ष इस प्रकार चलाया जाता है कि उसका मापन प्लंजर छूता हुआ चले और इस प्रकार डायल गेज... दिखाये गये विक्षेप के पाठ्यांक से समान्तरता की जाँच कर ली जाती है।



चित्र 71 : एक अक्ष की एक तल से समान्तरता की जाँच



चित्र 72 : एक अक्ष की दो तलों के प्रतिच्छेदन रेखा में समान्तरता की जाँच

2.24.4 एक अक्ष की दो तलों के प्रतिच्छेद रेखा से समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism of an axis with the intersection of two planes)

एक अक्ष की दो तलों के प्रतिच्छेद रेखा से समान्तरता की जाँच को चित्र 72 में दिखाया गया है। इस विधि में डायल... को चित्र में दिखाये गये व्यवस्था के अनुसार आधार पर लगाकर उसके मापन प्लंजर को बेलन पर सम्पर्क कराते हुये वि... बिन्दुओं पर पाठ्यांक नोट करके समान्तरता की जाँच की जाती है।

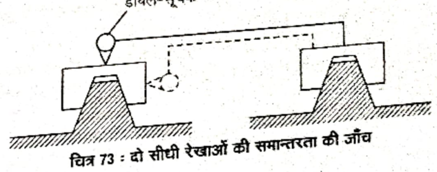
2.24.5 दो प्रतिच्छेद तलों की तीसरे तल से समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism of the Intersections of two planes to third plane)

इस विधि में दो प्रतिच्छेद तलों की तीसरे तल से समान्तरता की जाँच ऊपर बतायी विधि के अनुसार ही किया जाता है। इसमें डायल गेज के मापन प्लंजर को तीसरे तल पर प्रतिच्छेद के सापेक्ष चलाकर मापन प्लंजर के विक्षेप के पाठ्यांक को नोट कर लिया जाता है। डायल गेज के मापन प्लंजर को तल के लम्बरूप टिकाया जाता है। इस प्रकार विक्षेप के पाठ्यांक से समान्तरता की जाँच की जाती है।

2.24.6 दो सीधी रेखाओं की समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism of two Straight Lines)

इस विधि में दो सीधी रेखाओं की समान्तरता की जाँच डायल गेज द्वारा की जाती है जिसकी व्यवस्था को चित्र 73 में दिखाया गया है।

दो सीधी रेखाओं में समान्तरता प्रत्येक दो समतलों के प्रतिच्छेदन से बनती है। चित्र 73 के अनुसार दो समतलों के प्रतिच्छेदन से बनने वाली दो सीधी रेखाओं के समान्तरता की जाँच की जाती है। दो रेखाओं के बीच कम दूरी होने पर यह विधि सबसे अच्छी मानी जाती है।



चित्र 73 : दो सीधी रेखाओं की समान्तरता की जाँच

2.24.7 गहराई माइक्रोमीटर की सहायता से समान्तरता की जाँच (Checking of Parallelism by Depth Micrometer)

इस विधि से समान्तरता की जाँच गहराई माइक्रोमीटर की सहायता से ज्ञात की जाती है। इस विधि में एक मानक यथार्थ गेंद (standard accurate ball) का व्यास, माइक्रोमीटर निहाई फलक (anvil face) पर रखकर कम से कम तीन अलग-अलग जगहों पर मापा जाता है। इसके बाद माइक्रोमीटर की मापन अक्ष से उसके निहाई का चौकोरपन जाँचा जाता है। इसी तरह अलग-अलग स्थानों पर पाठ्यांक लेकर नोट कर लिया जाता है तथा समान्तरता की जाँच की जाती है।

2.25 विभिन्न मापन यन्त्र (Different Types of Measuring Instruments)

किसी सतह का सीधापन, चपटापन, वर्गता, समान्तरता, गोलीयता आदि मापने में निम्न यन्त्रों का प्रयोग आवश्यकतानुसार किया जाता है—

1. सरफेस प्लेट (Surface Plate)
2. डायल सूचक/डायल गेज (Dial Indicator/ Dial Gauge)
3. स्प्रिट लेवल (Sprit Level)
4. ऑटो-कॉलीमेटर (Auto-Collimator)
5. प्रकाशीय विभाजक शीर्ष (Optical dividing Head)
6. सीध-रेखक (Straight Edge)
7. उत्केन्द्रता परीक्षण (Eccentricity Tester)
8. स्क्वायर गेज (Square Guage)
9. टैस्ट मैण्ड्रिल (Test Mandrel)
10. माइक्रोमीटर (Micrometer)।

2.26 प्रकाशीय मापन यन्त्रों के सिद्धान्त (Principles of Optical Measuring Instruments)

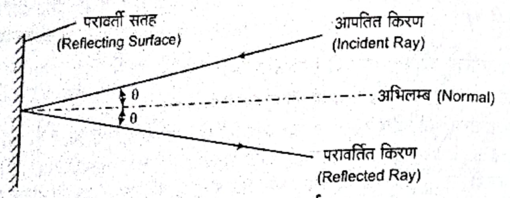
इंजीनियरिंग में प्रयोग होने वाले कई मापन यन्त्र प्रकाशीय सिद्धान्त (optical principles) पर कार्य करते हैं। सिद्धान्तों पर कार्य करने वाले मापन यन्त्र प्रकाश के निम्न नियम पर आधारित होते हैं—

1. परावर्तन (Reflection)
2. वर्तन (Refraction)
3. व्यतिकरण (Interference)

2.26.1 परावर्तन (Reflection)

जब प्रकाश की किरणें किसी समतल सतह से टकराकर उसी माध्यम में लौटकर आती हैं, तो यह क्रिया परावर्तन (reflection of light) कहलाती है। प्रकाशीय मापन यन्त्रों में उपयोग की जाने वाली यह क्रिया प्रकाश के निम्न नियमों के अन्तर्गत होती है—

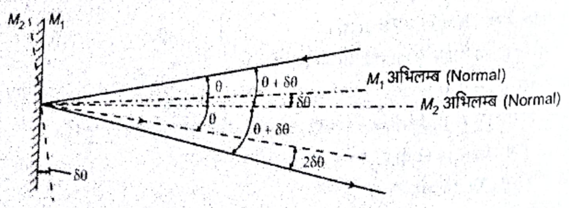
(i) टकराने वाली सतह या परावर्ती सतह (reflecting surface) के अभिलम्ब (normal) से परावर्तित (reflected ray) उतना ही कोण बनाती है, जितना कि अभिलम्ब से आपतित किरण (incident ray) बनाती है। इसे चित्र 74 में दिखाया गया है।



चित्र 74 : प्रकाश का परावर्तन

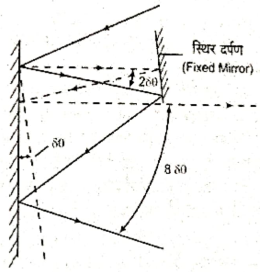
(ii) आपतित किरण, अभिलम्ब एवं परावर्तित किरण एक ही समतल में होते हैं।

(iii) यदि परावर्ती सतह को चित्र 75 की भाँति δθ कोण पर झुकाया जाये तो अभिलम्ब भी δθ कोण पर झुक जायेगा परन्तु आपतित किरण उसी स्थिति में रहेगी। इसलिए अभिलम्ब के सापेक्ष आपतन कोण उतनी ही मात्रा में झुक जायेगा ठीक उसी तरह परावर्तन कोण भी उतनी ही मात्रा में झुक जायेगा। इस तरह, आपाती किरण और परावर्तित किरण के बीच परिणामी कोण 2 δθ हो जायेगा। अतः झुके हुये दर्पण के उपयोग से छोटी कोणीय गतियों को अधिक मात्रा में आवर्धित कर सकते हैं। दूसरे शब्दों में छोटी से छोटी कोणीय गति को अधिक मात्रा में आवर्धित करने के लिए दर्पण (परावर्ती सतह) को झुकाना पड़ेगा।



चित्र 75

(iv) परावर्तित किरण को एक अन्य स्थिर दर्पण की सहायता से यदि चित्र (76) के अनुसार घूमने वाले दर्पण पर डाला जाये तो आपतित किरण के कोण से 4 δθ का परावर्तन होगा। इस प्रकार यदि ऐसी व्यवस्था कर दी जाये कि स्थिर दर्पण भी उतनी ही मात्रा में घूम सके जितना कि घूमने वाला दर्पण घूमता है तो ऐसी स्थिति में कुल कोणीय विस्थापन (Angular Displacement) 8 δθ होगा। परावर्तित किरण का अधिक कोणीय आवर्धन, प्रयोग होने वाले दर्पण के साइज एवं चौरसपन पर निर्भर करता है। इंजिनियरो में प्रयोग आने वाले प्रकाशीय मापन यन्त्रों में उच्च कोटि की पॉलिश वाले धातु के दर्पण या बहुत पतले काँच के दर्पण प्रयोग किये जाते हैं। प्रकाश के परावर्तन के सिद्धान्त का प्रयोग प्रकाशीय तुलनित्र (optical comparator), टेलीस्कोप (telescope), दूरबीन (binocular), गेल्वेनोमीटर (galvanometer) इत्यादि यन्त्रों में किया जाता है।

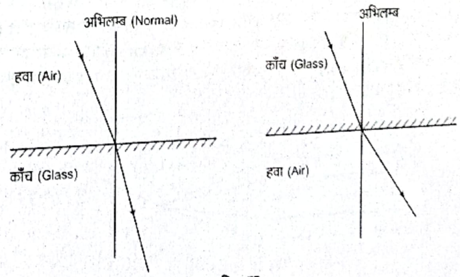


चित्र 76

2.26.2 वर्तन (Refraction)

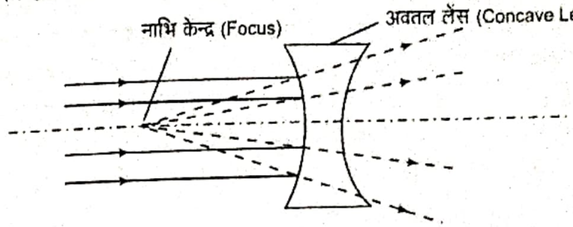
जब प्रकाश की किरण (ray) एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाती हैं तो उनकी दिशा में परिवर्तन होता है। यह परिवर्तन की क्रिया ही वर्तन (refraction) कहलाती है। यह वर्तन की क्रिया निम्नलिखित नियमों के अनुसार कार्य करती है।

(i) प्रकाश की किरण यदि विरल माध्यम (lighter medium) से सघन माध्यम (dense medium) में जाती है तो अभिलम्ब (normal) की ओर झुक जाती है तथा इसके विपरीत यदि सघन माध्यम से विरल माध्यम मे जाती है तो अभिलम्ब से दूर की तरफ झुक जाती है, जिसको चित्र 77 में दिखाया गया है।



चित्र 77

(c) **अवतल लेंस** (Concave Lens)—अवतल लेंस (concave lens) किनारे पर मोटा होता है तथा बीच में पतला होता है। इससे वर्तित होने वाला समानान्तर प्रकाश पुंज लेंस के एक ओर से अर्थात् प्रकाश के प्रवेश होने की दिशा में अपसृत (diverge) हो जाता है। अवतल लेंस से आभासी प्रतिबिम्ब (virtual image) ही बनता है। अवतल लेंस को चित्र 81 में दिखाया गया है।



चित्र 81 : अवतल लेंस

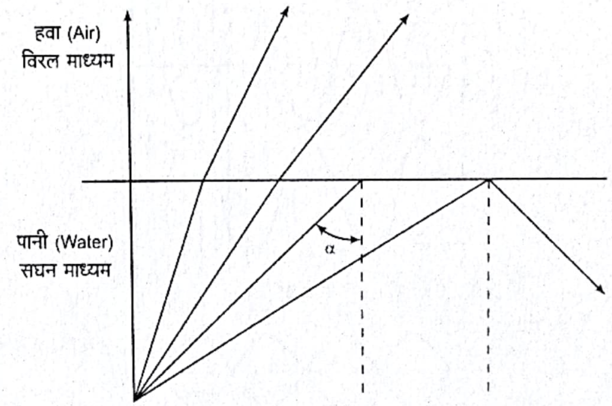
(3) पूर्ण परावर्तन का नियम (Rule of Total Reflection)—जैसा कि वर्तन के पहले दोनों बिन्दुओं में बताया जा चुका है कि जब प्रकाश की किरणें विरल माध्यम से सघन माध्यम में वर्तित होती है तब प्रत्येक आपतित किरण के लिए वर्तित किरण होती है परन्तु प्रकाश की किरणें जब सघन माध्यम से विरल माध्यम में जाती है तब ऐसा नहीं होता है। जैसे पानी से वायु में जाने पर ऐसा नहीं होता है। ऐसी स्थिति में जैसे-जैसे आपतन कोण (angle of incident) को बढ़ाया जाता है, वैसे-वैसे वर्तन कोण (angle of refraction) भी बढ़ता जाता है।

आपतन कोण को बढ़ाते-बढ़ाते एक ऐसी स्थिति आ जाती है जिसमें किरण, अभिलम्ब (normal) से इस प्रकार α-कोण बनाती है कि इससे अधिक कोण पर वर्तन नहीं होता है। ऐसी स्थिति में आपतन कोण को क्रान्तिक कोण (critical angle) कहते हैं।

इस प्रकार किरण, वर्तन के स्थान पर तल के साथ छूती हुई चली जाती है। वर्तन कोण का मान α से अधिक हो जाने पर आपतित किरणों का उसी माध्यम में पूर्ण परावर्तन होने लगता है। इस क्रिया को ही पूर्ण परावर्तन (Total Reflection) कहते हैं।

$\therefore$ पूर्ण परावर्तन की दशा में, $\sin\alpha = \dfrac{\mu\,(\text{सघन})}{\mu\,(\text{विरल})}$

चित्र 82 में इसको दिखाया गया है।

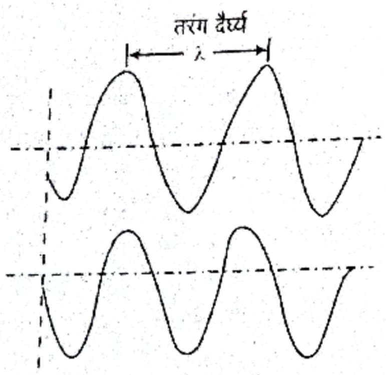


चित्र 82 : पूर्ण परावर्तन

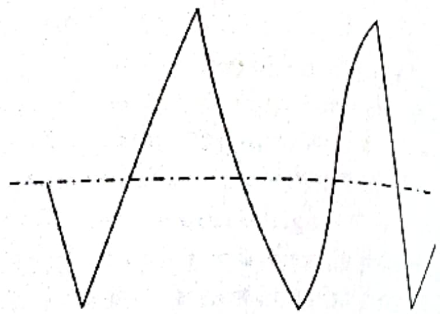
2.26.3 व्यतिकरण (Interference)

प्रकाश के तरंग के सिद्धान्त (wave theory of light) के अनुसार प्रकाश का पारेषण (transmission) ईथर में, चुम्बकीय कम्पनों (electromagnetic vibrations) के माध्यम से, एक स्थान से दूसरे स्थान तक होता है। इंजिनियरी में प्रकाश को बहुत छोटे आयाम (very low amplitude) की अनुदैर्ध्य विद्युत-चुम्बकीय तरंगों (transverse electromagnetic waves) से बना हुआ ऊर्जा का ही एक रूप माना जा सकता है तथा इसका रंग प्रकाश की तरंगों की आवृत्ति (frequency) पर निर्भर करता है। प्रकाश की एक किरण को सीधी रेखा में गतिशील होने पर ज्या-तरंग (sine wave) माना जाता है।

चित्र 83 में दो तरंगें एक ही कला (phase) में दिखाई गई हैं। ऐसी स्थिति में उनके धनात्मक (+ive) एवं ऋणात्मक (–ive) आयाम एक-दूसरे को सशक्त करते हैं। इस तरह चित्र 84 के अनुसार उनकी परिणामी तरंग (resultant wave) तरंगों की दुगुनी (double) होती है।



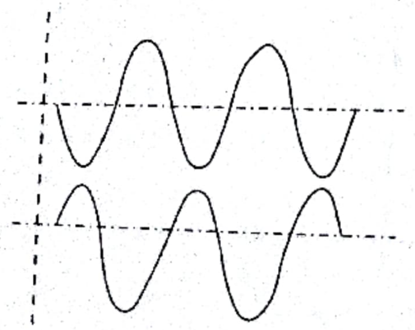
चित्र 83



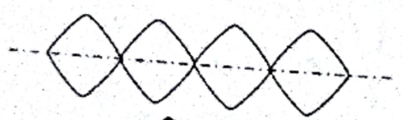
परिणामी तरंग

चित्र 84

चित्र 85 के अनुसार प्रकाश की दो तरंगें 180° कलान्तर (phase difference) में दिखाई गयी हैं तथा चित्र 86 में एक ही सरल रेखा में चलती हैं। इस प्रकार यदि प्रकाश की तरंगें 180° कलान्तर में हों तो एक तरंग का प्रत्येक बिन्दु दूसरी तरंग पर बराबर परन्तु विपरीत दिशा के बिन्दु पर होगा। तरंगों की दिशा में कोई भी प्रकाश दिखाई नहीं देगा अर्थात् वहाँ केवल अंधेरा दिखायी देगा। प्रकाश तरंगों के इस प्रकार के विशेष संयोग को व्यतिकरण (interference) कहते हैं।

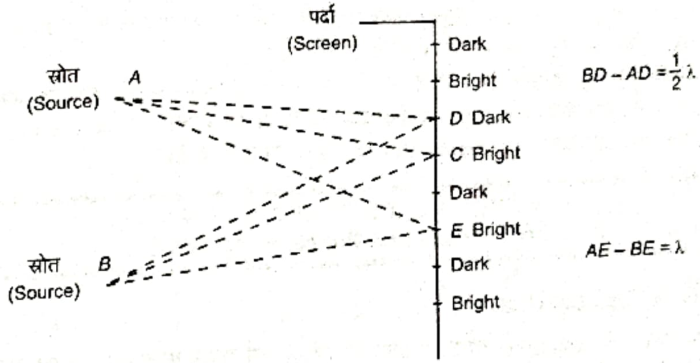


चित्र 85

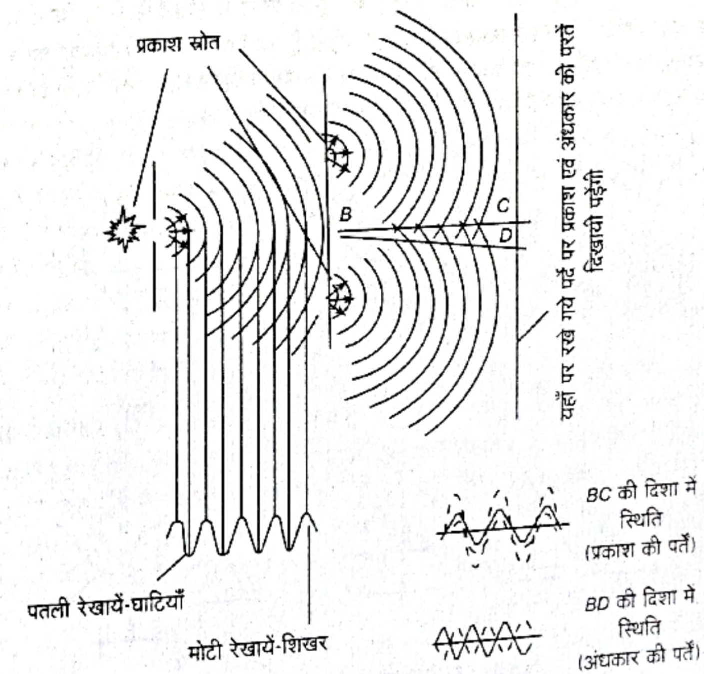


चित्र 86

चित्र 87 में प्रकाश के दो स्रोत A एवं B हैं जिनमें सभी तरंगें एक ही कला (phase) में दिखायी गयी हैं और एक पर्दा (screen) प्रकाश के स्रोतों को मिलाने वाली रेखा के समानान्तर (parallel) रखा गया है। पर्दे के बिन्दु D पर दोनों स्रोतों की दूरी का अन्तर तरंग की आधी लम्बाई के बराबर होता है जिस कारण पर्दा अंधकारमय रहेगा। बिन्दु D से कुछ दूरी पर स्थित बिन्दु C है, जहाँ से दोनों स्रोतों की दूरी का अन्तर पूर्ण तरंग की लम्बाई के बराबर है जिस कारण पर्दा प्रकाशमान रहेगा तथा इस पर्दे पर काली एवं चमकदार धारियाँ (fringes) की एक शृंखला दिखायी देगी। ये समानान्तर पट्टियों की समकेन्द्रित वृत्तों (concentric circles) के रूप में होती है जिन्हें चित्र 88 में दिखाया गया है जिन्हें व्यतिकरण पट्टियाँ (interference bands) या न्यूटन रिंग (Newton Rings) कहते हैं।



चित्र 87



चित्र 88

व्यतिकरण प्रकाश तरंग के लिये प्रतिबन्ध (Conditions for Interference of Light Wave)— व्यतिकरण प्रकाश तरंग (interference light waves) उत्पन्न कि

1. ऐसे दो स्रोत (sources) जिनके द्वारा व्यतिकरण प्रकाश तरंग (interference light waves) उत्पन्न कि है, एक-दूसरे के काफी नजदीक होने चाहिएँ।
2. दोनों स्रोत बहुत संकीर्ण होने चाहिएँ।
3. दो स्रोतों द्वारा लगातार समान आवृत्ति की तरंग या समान तरंगदैर्ध्य उत्पन्न करना चाहिए।
4. दो स्रोतों से उत्पन्न होने वाले दोनों तरंगों का समूह या तो एक ही कला (phase) में होने चाहिए या परस्पर कला में होने चाहिए।
5. व्यतिकरण पट्टियाँ (interference strips) प्राप्त करने के लिये दो व्यतिकारित तरंग शृंखलाओं (interf wave train) का आयाम लगभग एक समान होना चाहिए।

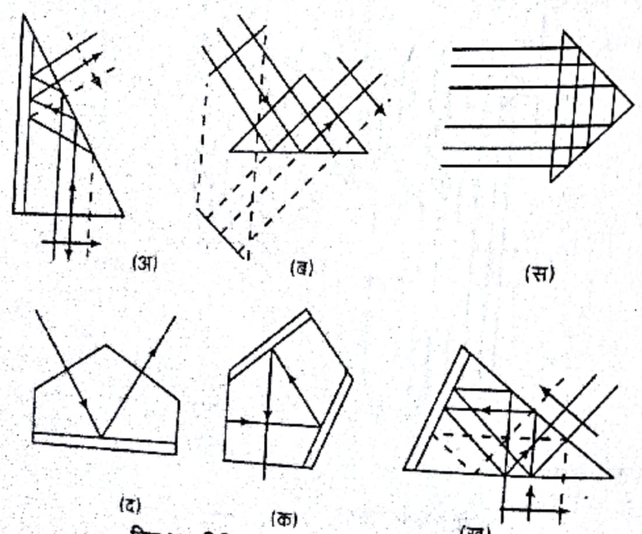
इंजिनियरी में व्यतिकरण के सिद्धान्त का उपयोग गेज ब्लॉक (gauge block) के सापेक्ष परम अंशांकन (abs calibration) करने के लिये, प्रकाशीय फ्लैट (optical flat) द्वारा सतह की यथार्थ ज्यामिति (accurate or real geom की तुलना के लिये तथा इन्टरफेरोमीटर (interferometer) इत्यादि में किया जाता है।

प्रकाशीय सिद्धान्त पर आधारित यंत्र
(Instruments based on Principle of Optical)

2.27 प्रकाशीय प्रिज्म (Optical Prism)

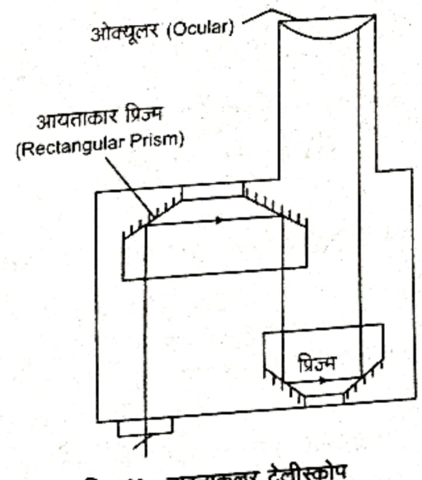
प्रकाशीय प्रिज्म उच्च गुणों (qualities) वाला, अत्यन्त पारदर्शी व एक समान काँच (glass) का ठोस टुकड़ा होत इसकी तीन या तीन से अधिक पॉलिश की हुई सतहें होती हैं। इसका उपयोग प्रकाशीय मापन यन्त्रों के निर्माण करने में प्रति को सीधा करने के लिये तथा प्रकाश की पड़ने वाली किरणों को दूसरी दिशा में मोड़ने के लिये किया जाता है।

इसकी सतह पर जब प्रकाश की किरणें लम्बवत् स्थिति में पड़ती हैं तब प्रिज्म के अन्दर किरणों का कई बार आन्त परिवर्तन होता है। ये आन्तरिक परिवर्तन ज्यादांतर पूर्ण होता है जिससे किरणों का ह्रास (loss) नहीं होता है। चित्र 89 में भि प्रकार के प्रकाशीय प्रिज्म एवं उनके आन्तरिक परिवर्तन को दिखाया गया है।



चित्र 89 : विभिन्न प्रकार के परावर्तन प्रिज्म

प्रकाशीय प्रिज्म का उपयोग दूरबीन टेलीस्कोप (binocular telescope) में किया गया है। इस प्रकार के टेलीस्कोप के ट्यूब (tube) में दो आयताकार प्रिज्म (rectangular prisms) को ऑबजेक्टिव (objective) व ओक्यूलर (ocular) के बीच रखा जाता है जिनके संयोजन को चित्र 90 में दिखाया गया है। ऐसे प्रकाशीय यन्त्रों में प्रतिबिम्ब को सीधा करने के लिए आयताकार प्रिज्म का संयोजन इस प्रकार किया जाता है कि उनकी मुख्य काटें (principal sections) एक-दूसरे के लम्बवत् हों।



चित्र 90 : बाइनाकुलर टेलीस्कोप

2.28 प्रकाशीय प्रोजेक्टर (Optical Projector)

प्रकाशीय सिद्धान्तों का सबसे अच्छा प्रयोग प्रकाशीय प्रोजेक्टर या प्रक्षेपकों (projectors) में किया जाता है। इनका उपयोग नियमित व अनियमित आकार के उत्पादित अवयवों (parts) जैसे—फॉर्म गेज (form gauge), हॉब्स (hobs), फॉर्म टूल्स (form tools), गियर्स (gears) व पेंच चूड़ी (screw) आदि की परिशुद्ध मापन एवं जाँच करने के लिए किया जाता है। प्रकाशीय प्रोजेक्टर तीन प्रकार के होते हैं—

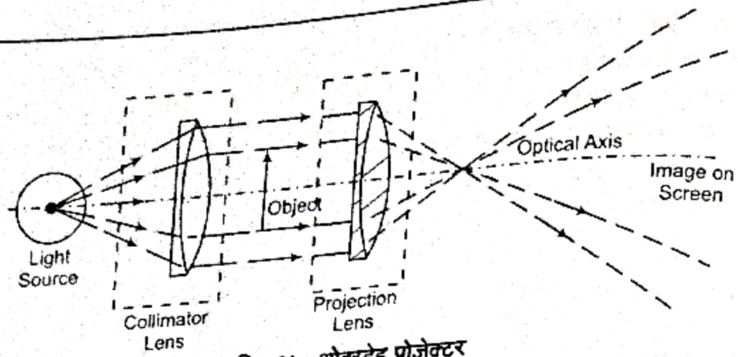
(A) ओवरहेड प्रोजेक्टर (Overhead Projector) (B) एपिडायास्कोप (Epidiascope)

(C) स्लाइड प्रोजेक्टर (Slide Projector)

इंजीनियरी में ओवरहेड प्रोजेक्टर का ज्यादा उपयोग किया जाता है। अत: यहाँ प्रकाशीय प्रोजक्टरों में से ओवरहेड प्रोजेक्टर का वर्णन किया जा रहा है।

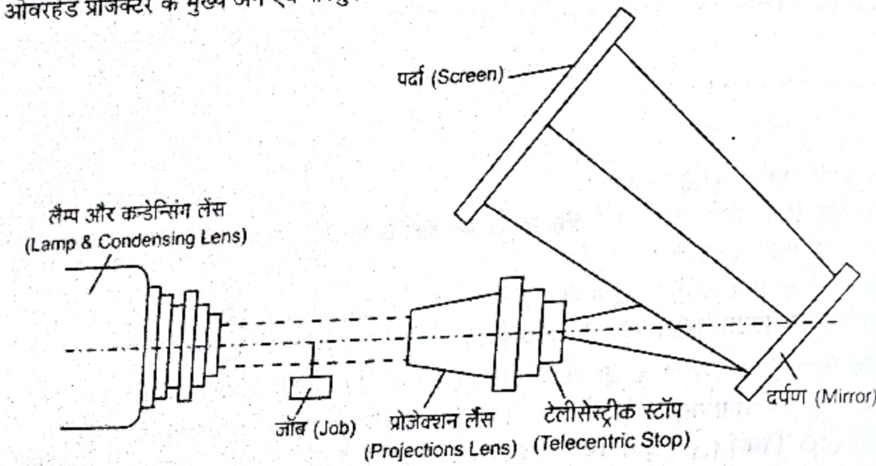
2.28.1 ओवरहेड प्रोजेक्टर (Overhead Projector)

किसी इंजीनियरी उत्पाद का अधिक परिशुद्ध मापन व जाँच के लिए प्रकाश (light) को उत्पाद (product) के दूसरी ओर भेजने के लिए एवं लेंस व दर्पणों से युक्त प्रकाशीय सिस्टम में भेजने के लिए, इस प्रोजेक्टर में प्रकाश स्रोत (light source) तथा कन्डेंसर (condenser) अथवा कॉलीमेटिंग लेंस (collimating lens) की व्यवस्था बनी रहती है। ओवरहेड प्रोजेक्टर का कार्य सिद्धान्त चित्र 91 में दिखाया गया है।



चित्र 91 : ओवरहेड प्रोजेक्टर

ओवरहेड प्रोजेक्टर के मुख्य अंग एवं परिशुद्ध मापन के लिये बनने वाले प्रतिबिम्ब (image) को चित्र 92 में दिखाया गया है।



चित्र 92

जिस उत्पाद या जॉब (Job) का परिशुद्ध मापन या जाँच करना होता है, उसे कार्य-मेज (work table) पर रखा जाता है। ये कार्य मेज स्थिर या गतिशील दोनों तरह के हो सकते हैं। इसमें एक पर्दा (screen) लगा रहता है जिस पर प्रोजेक्टेड प्रतिबिम्ब (projected image) बनता है। जब मापन करना होता है तब प्रकाश स्रोत से प्रकाश (light) कन्डेंसर या कोलोमेटिंग लेंस (condenser or collimating lens) द्वारा जॉब पर पड़ता है, उसके बाद प्रोजेक्शन लेंस (projection lens) से होता हुआ तिरछे दर्पण (mirror) पर पड़ता है। तिरछे दर्पण से प्रकाश, जॉब के आवर्धित प्रतिबिम्ब (magnified image) को पर्दे पर प्रोजेक्ट कर देता है या बना देता है। इसके लिये कुछ अन्य मापन यन्त्र भी प्रयोग किये जाते हैं।

ओवरहेड प्रोजेक्टर का उपयोग टूल रूम में कार्यखण्ड (work piece) की जाँच करने व परिशुद्ध मापन के लिये किया जाता है। इसका प्रयोग किसी अन्य यन्त्र द्वारा लिये गये मापन के साथ तुलनात्मक मापन (comparative measurement) के लिये भी किया जाता है।

2.29 वैद्युत मापन यन्त्रों का सिद्धान्त (Principles of Electrical Measuring Instruments)

मापनिकी में प्रयोग में आने वाले विद्युत प्राचालों (electrical parameters) जैसे—वोल्टता (voltage), धारा (current), प्रेरकत्व (inductance), धारिता (capacitance) तथा प्रतिरोध (resistance) आदि राशियों को मापने के लिये क्रमशः वोल्टमीटर (voltmeter), एमीटर (ammeter), प्रेरकत्वमापी (inductance meter), धारिता मापक (capacitance meter) तथा ओह्म मीटर (ohm-meter) आदि वैद्युत मापन उपयन्त्रों का उपयोग किया जाता है। उपरोक्त मापन के लिए जिन मापन उपयन्त्रों का उपयोग किया जाता है, उन्हें वैद्युत मापन यन्त्र (electrical measuring instruments) कहते हैं। ये यन्त्र अपने कार्य के लिये धारा (current) के वैद्युत-चुम्बकीय प्रभावों (electro-magnetic effects) पर निर्भर करते हैं। ये मापन यन्त्र वैद्युत-चुम्बकीय प्रभावों के साथ-साथ रासायनिक (chemical) तथा ऊष्मा (heat) प्रभावों से भी प्रभावित होते हैं।

वैद्युत मापन यन्त्रों की कार्य-प्रणाली दो सिद्धान्तों पर कार्य करती है—

1. ऊर्जा का रूपान्तरण (Transformation of Energy)
2. वैद्युत प्राचालों में परिवर्तन (Variation in Electrical Parameters)

2.29.1 ऊर्जा का रूपान्तरण (Transformation of Energy)

इंजीनियरी में काम आने वाली सभी प्रकार की ऊर्जा को वैद्युत ऊर्जा में रूपान्तरित किया जा सकता है तथा इन्हें वैद्युत मापन यन्त्रों द्वारा मापा जा सकता है। एक प्रकार की ऊर्जा से दूसरे प्रकार की ऊर्जा में रूपान्तरित करने के लिये जिस यन्त्र का प्रयोग किया जाता है, उसे ट्रान्सड्यूसर (Transducer) कहते हैं।

2.29.2 वैद्युत प्राचालों में परिवर्तन (Variation in Electrical Parameters)

मापनिकी में कभी-कभी प्राचालों को मापने के लिये उनके संकेतों का रूपान्तरण या परिवर्तन करते हैं। इस तरह कई यान्त्रिक प्राचालों (Mechanical Parameters) को मापने के लिये उनके संकेतों को वैद्युत प्राचालों (Electrical Parameters) में परिवर्तित करके उन्हें वैद्युत यन्त्रों द्वारा मापा जा सकता है। जैसे—व्हीटस्टोन ब्रिज (Wheatstone Bridge) की सहायता से तापमान में परिवर्तन होने के साथ होने वाले प्रतिरोध के परिवर्तन को मापा जा सकता है। ठीक इसी तरह जब किसी पदार्थ पर कोई बल लगाया जाता है तो उसकी लम्बाई में परिवर्तन होता है जिस कारण उसके प्रतिरोध में भी परिवर्तन होता है जिसे वैद्युत यन्त्रों द्वारा मापा जा सकता है।

वैद्युत मापन यन्त्रों की सहायता से भौतिक राशियों को वैद्युत प्राचालों में परिवर्तन करके मापने के सिद्धान्त को तीन भागों में बाँटा जा सकता है—

1. चालक के प्रतिरोध में परिवर्तन (Variation in resistance of conductor)
2. धारित्र की धारिता में परिवर्तन (Variation in capcitance of condenser)
3. कुण्डली के प्रेरकत्व में परिवर्तन (Variation in inductance of the coil)

2.29.2.1 चालक के प्रतिरोध में परिवर्तन (Variation in resistance of conductor)

इस सिद्धान्त का प्रयोग यंत्रों में दिये गये निम्न तरीके से किया जाता है—

(a) चालक की विमाओं और प्रतिरोध में परिवर्तन (Variation in size and resistance of conductor)—जब किसी तार में बाह्य बल लगाकर तनन विकृति (tensile strain) उत्पन्न किया जाता है तो उसकी लम्बाई में भी वृद्धि होती है जिस कारण उसके अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल (area of cross-section) में भी कमी हो जाती है।

तार के प्रतिरोध के परिवर्तन को विकृति के रूप में नीचे दिये गये सूत्र की सहायता से निकाला जा सकता है—

$$R = \rho \times \frac{l}{a}$$

जहाँ— R = तार के प्रतिरोध में परिवर्तन,

ρ = तार के पदार्थ की प्रतिरोधकता या विशिष्ट प्रतिरोध,

l = तार की लम्बाई,

a = तार की अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल

इस प्रकार उपरोक्त सूत्र से व्हीटस्टोन ब्रिज की सहायता से प्रतिरोध का मान निकालने के बाद उसे आंशिक विकृति का मान निकाला जा सकता है।

(b) चालक के तापमान और प्रतिरोध में परिवर्तन (Variation in temperature and resistance of conductor)—पदार्थों में तापमान परिवर्तन से उसके प्रतिरोध में होने वाला परिवर्तन बहुत अधिक होता है। चालक के तापमान और प्रतिरोध को निम्न सूत्र द्वारा व्यक्त जाता है—

$$R_t = R_0 [1 + \alpha \Delta t]$$

जहाँ, $R_t = t°$ तापमान पर प्रतिरोध

$R_0 = 0°$ तापमान पर प्रतिरोध

α = प्रतिरोध ताप गुणांक (Temperature co-efficient of resistance)

Δt = तापमान में परिवर्तन

इस सूत्र का प्रयोग तप्त तार माइक्रोमीटर (hot wire micrometer) में किया जाता है। इसकी सहायता से 0·001 शुद्धता तक व्यास या लम्बाई को मापा जा सकता है।

(c) चालक का प्रतिरोध और प्रकाश में परिवर्तन (Variation in light and resistance of conductor)—चालक (conductor) एवं अर्द्धचालक (semiconductor) ऐसे होते हैं, जिन पर प्रकाश डालने से उनका प्रतिरोध परिवर्तित हो जाता है। प्रकाश की मात्रा से प्रतिरोध में होने वाला परिवर्तन प्रभावित होता है।

इसका प्रयोग फोटो-चालक सेल (photo-conductor cell) में किया जाता है।

2.29.2.2 धारित्र की धारिता में परिवर्तन (Variation in Capacitance of the Capacitor)—जब किसी धारित्र (capacitor) की दो प्लेटों को एक-दूसरे के पास लाया जाता है तब दोनों प्लेटों की धारिता (capacitance) में ... होगी यदि उसके अन्य सभी गुणांक को स्थिर रखा जाये।

इस प्रकार यदि किसी धारित्र की एक प्लेट को स्थिर रख दिया जाये और उसके दूसरी प्लेट को गतिशील सतह में दिया जाये तो ऐसी स्थिति में सतह की स्थिति में होने वाले परिवर्तन से प्लेटों की बीच की दूरी में भी परिवर्तन होगा, जिससे उसकी धारिता में भी परिवर्तन होगा। यन्त्र के सूचक (indicator) द्वारा, इस परिवर्तन को सीधे लम्बाई के रूप में पढ़ा जा सकता है।

इसका प्रयोग अन्तर्दहन इन्जन (I.C. Engine) के सिलिण्डर के अन्दर के दाब के परिवर्तन को मापने में किया जाता है।

2.29.2.3 कुण्डली के प्रेरकत्व में परिवर्तन (Variation in inductance of the coil)—इस प्रणाली (system) में त्वरण (acceleration), दाब (pressure), वेग (velocity), विकृति (strain) एवं गति के आयाम (amplitude of motion) आदि में होने वाले परिवर्तन को पिक-अप (pick-up) में भेजकर प्रेरकत्व (inductance) में परिवर्तन उत्पन्न किया जाता है तथा इस उत्पन्न परिवर्तन को गैल्वेनोमीटर (galvanometer) द्वारा मापा जा सकता है। इसमें प्रेरकत्व की कोर (core) के उसके पास एक लौह चुम्बकीय तत्व (ferromagnetic element) लगा होता है। यही लौह चुम्बकीय तत्व विकृति, दाब, त्वरण आदि के कारण प्रभावित होकर परिवर्तित होता रहता है।

2.30 वैद्युत प्राचालें (Electrical Parameters)

1. वोल्टता (Voltage)—यह इलेक्ट्रॉनों (electrons) द्वारा उत्पन्न किया जाने वाला एक प्रकार का वैद्युत दाब होता है। इसे V अथवा v संकेताक्षर द्वारा प्रकट (denote) किया जाता है। इसका मात्रक (unit) वोल्ट (volt) होता है। इसको वोल्टमीटर (voltmeter) द्वारा मापा जाता है। वोल्टमीटर निम्न प्रकार के होते हैं—

(i) **एoसीo वोल्टमीटर** (A.C. Voltmeter)—इससे एoसीo वोल्टेज को ही मापा जाता है।

(ii) **डीoसीo वोल्टमीटर** (D.C. Voltmeter)—इससे डीoसीo वोल्टेज को ही मापा जाता है।

(iii) **एoसीo/डीoसीo वोल्टमीटर** (A.C./D.C. Voltmeter)—इससे एoसीo एवं डीoसीo दोनों वोल्टेज को मापा जा सकता है।

2. धारा (Current)—इलेक्ट्रॉनों के प्रवाह को धारा (current) कहा जाता है। इसे I अथवा i संकेताक्षर द्वारा प्रकट किया जाता है। इसका मात्रक ऐम्पियर (ampere) होता है। इसको एमीटर (ammeter) द्वारा मापा जाता है। एमीटर निम्न प्रकार के होते हैं—

(i) **एoसीo ऐमीटर** (A.C. Ammeter)—इससे प्रत्यावर्ती धारा (Alternative Current) को ही मापा जाता है।

(ii) **डीoसीo ऐमीटर** (D.C. Ammeter)—इससे दिष्ट धारा (Direct Current) को ही मापा जाता है।

(iii) **एoसीo/डीoसीo ऐमीटर** (A.C./D.C. Ammeter)—इससे एoसीo एवं डीoसीo दोनों ही धाराओं (Current) को मापा जा सकता है।

3. शक्ति गुणक (Power Factor)—किसी प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) परिपथ (circuit) में सक्रिय शक्ति (W) एवं आभासी शक्ति (VI) के अनुपात को शक्ति गुणक (Power Factor) कहते हैं।

$$\text{शक्ति गुणक (PF)} = \frac{W}{VI} = \frac{VI\cos\theta}{VI} = \cos\theta$$

दूसरे शब्दों में, किसी प्रत्यावर्ती धारा परिपथ (A.C. Circuit) में कला कोण (Phase angle) 'θ' की कोज्या (cosine) को शक्ति गुणक (cosθ) कहते हैं।

$$PF = \cos\theta$$

इसे शक्ति गुणक मापी (Power Factor Meter) द्वारा मापा जाता है। इसका कोई मात्रक नहीं होता है। चूँकि दिष्ट धारा परिपथ (D.C. Circuit) में शक्ति गुणक का मान एकांक होता है इसलिए सिर्फ प्रत्यावर्ती धारा परिपथ में ही शक्ति-गुणक मापने की आवश्यकता पड़ती है।

4. शक्ति (Power)—यान्त्रिकी में कार्य करने की दर को यान्त्रिक शक्ति कहते हैं। वैद्युत में वोल्टता (voltage) 'V', धारा (current) 'I' तथा शक्ति गुणक (power factor) 'cosθ' के गुणनफल को वैद्युत शक्ति (electric power) कहते हैं। इसे 'P' से व्यक्त करते हैं।

∴ वैद्युत शक्ति, $P = VI\cos\theta$ वॉट (जूल/सेकण्ड)

वैद्युत शक्ति को मापने के लिये डाइनेमोमीटर (Dynamometer) टाइप 'वॉट मीटर' (Watt meter) यन्त्र का प्रयोग किया जाता है। इसका मात्रक 'वॉट' (watt) है। अलग-अलग वैद्युत शक्ति निकालने के लिये निम्न सूत्रों का प्रयोग किया जाता है।

दिष्टधारा शक्ति $P_{dc} = VI$ वॉट या जूल/सेकण्ड

एकल कला शक्ति $P_{1-\theta} = V_P I_P \cos\theta$ वॉट (watt)

त्रिकला शक्ति (Three Phase Power)

$$P_{3-\theta} = 3\,V_P I_P \cos\theta \text{ वॉट}$$

$$P_{3-\theta} = \sqrt{3}\,V_l I_l \cos\theta \text{ वॉट}$$

$$P_{3-\theta} = \sqrt{3}\,VI\cos\theta \text{ वॉट}$$

5. प्रतिरोध (Resistance)—किसी परिपथ में, पदार्थ का वह वैद्युत गुण, जो पदार्थ में धारा के ... प्रतिरोध करता है, प्रतिरोध (Resistance) कहलाता है। इसको मापने के लिए ओह्म मीटर (Ohm meter) एवं व्हीटस्टोन ... (Wheatstone bridge) मापन यन्त्रों का प्रयोग किया जाता है। इसको R या r से व्यक्त करते हैं। इसका मात्रक ... होता है। अति उच्च प्रतिरोध को मापने के लिये मेगर का प्रयोग किया जाता है जो कि ओह्ममीटर का ही विकसित रूप ... मेगर (Megger) अति उच्च प्रतिरोध को मेगा ओह्म (Mega ohm) मात्रक में मापता है।

6. ऊर्जा (Energy)—वैद्युत में कार्य करने की क्षमता को ऊर्जा (Energy) कहते हैं। वोल्टता (V), ... शक्ति गुणक (cosθ) तथा समय (t) के गुणनफल से वैद्युत ऊर्जा का मान ज्ञात किया जाता है। इसको मापने के लिए ... (Energy meter) नामक यन्त्र का प्रयोग किया जाता है। इसे 'U' से व्यक्त करते हैं। इसका मात्रक किलोवॉट ... (kilowatt hour) 'kWh' होता है। मापन राशि की प्रकृति के अनुसार ऊर्जामापी अथवा इनर्जी मीटर तीन प्रकार के होते ...

1. **ए०सी० इनर्जी मीटर**—केवल ए०सी० इनर्जी के लिये।
2. **डी०सी० इनर्जी मीटर**—केवल डी०सी० इनर्जी के लिये।
3. **ए०सी०/डी०सी० इनर्जी मीटर**—ए०सी० व डी०सी० दोनों प्रकार की इनर्जी के लिये।

वैद्युत ऊर्जा $U = V.I.\cos\theta \times t$ वॉट-सेकण्ड (जूल)

$$U = \frac{V.I.\cos\theta.t}{3600} \text{ वॉट आवर (W h)}$$

$$U = \frac{V.I.\cos\theta.t}{3600 \times 1000} \text{ किलोवॉट आवर (kW h)}$$

7. आवृत्ति (Frequency)—किसी धारा में, प्रति सेकण्ड चक्रों (cycles) की संख्या को आवृत्ति (frequency) कहते हैं। इसे 'f' से व्यक्त किया जाता है। इसका मात्रक चक्र/सेकण्ड (c/s) या हर्ट्ज (Hz) होता है। इसको मापने ... आवृत्तिमापी (Frequency meter) का प्रयोग किया जाता है। यह सिर्फ प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) में ही आवृत्ति को मापने ... आता है क्योंकि दिष्टधारा (D.C.) में प्रदाय की आवृत्ति शून्य (zero) होती है।

8. धारिता (Capacitance)—किसी धारित्र (capacitor) की धारिता (capacitance), उस पर आवेश ... तथा उसके सापेक्ष वोल्टता (V) के अनुपात को कहते हैं। इसको मापने के लिये धारितामापी (capacitance meter) या ... ब्रिज (A.C. Bridge) यन्त्रों का प्रयोग किया जाता है। इसे 'C' से व्यक्त करते हैं। इसका मात्रक फैराड (F) होता ...

9. प्रेरकत्व (Inductance)—किसी वैद्युत परिपथ में, प्रति ऐम्पियर की धारा पर कुण्डली (coil/circuit) ... जुड़ने वाले फ्लक्स (flux) को प्रेरकत्व (inductance) कहते हैं। इसे 'L' से व्यक्त करते हैं। इसका मात्रक हेनरी (H) है। इसको मापने के लिये प्रेरकत्वमापी (Inductance meter) का प्रयोग किया जाता है।

$$\therefore \quad L = \frac{N\phi}{I} \text{ henry (H) unit}$$

जहाँ, L = Inductance,

$N\phi$ = Weber turns,

I = Current in amperes

$$\text{Inductance} = \frac{\text{Flux linked with the coil}}{\text{Magnitude of current}}$$

10. अधिकतम माँग (Maximum Demand)—जैसा कि नाम से विदित है कि उपभोक्ता (consumer) ... प्रदायक (supplier) से की जाने वाली अधिकतम वैद्युत शक्ति की माँग ही अधिकतम माँग (maximum demand) कहलाती है।

2.31 कार्य सिद्धान्त के आधार पर वैद्युत मापन यन्त्रों का वर्गीकरण (Classification of electrical measuring instruments on the basis of work principles)

(A) ऐमीटर और वोल्टमीटर (Ammeter and Voltmeter)

1. **वैद्युत चुम्बकीय चल लौह यन्त्र** (Electro-magnetic moving iron instruments)—ये यन्त्र प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) व दिष्ट धारा (D.C.) दोनों पर प्रयोग किये जा सकते हैं। ये दो प्रकार के होते हैं—
   - (i) आकर्षण प्रकार के चल-लौह यन्त्र (Attraction type moving iron instruments)
   - (ii) विकर्षण प्रकार के चल-लौह यन्त्र (Repulsion type moving iron instruments)
2. **वैद्युत चुम्बकीय चल-कुण्डली यन्त्र** (Electro-magnetic moving coil instruments)—ये यन्त्र भी दो प्रकार के होते हैं—
   - (i) स्थायी चुम्बकीय प्रकार के यन्त्र (Permanent magnetic type instrument)
   - (ii) वैद्युत डायनोमापी या डायनेमोमीटर प्रकार के यन्त्र (Electro dynamic or dynamometer type instrument)
3. गर्म तार यन्त्र (Hot wire instrument)
4. थर्मोकपल यन्त्र (Thermocouple instrument)
5. स्थिर वैद्युतिकी प्रकार के यन्त्र (Electro-static type instrument)
6. **प्रेरण प्रकार के यन्त्र** (Induction type instrument)—ये दो प्रकार के होते हैं :
   - (i) स्प्लिट कला प्रकार के यन्त्र (Split phase type instruments)
   - (ii) रेखाच्छादित ध्रुव प्रकार के यन्त्र (Shaded pole type instruments)

(B) वॉटमीटर (Wattmeter)

1. डायनेमोमीटर प्रकार के (Dynamometer type)
2. प्रेरण प्रकार के (Induction type)
3. स्थिर वैद्युत प्रकार के (Electrostatic type)

(C) ऊर्जामापी या इनर्जी मीटर (Energy meter)

1. प्रेरण प्रकार के (Induction type)
2. मोटर मीटर प्रकार के (Motor meter type)—ये दो प्रकार के होते हैं :
   - (i) मरकरी मोटर मीटर (Mercury Motor meter)
   - (ii) दिक् परिवर्तन मोटर मीटर (Commutator Motor meter)
3. घड़ी मीटर प्रकार के (Clock-meter type)

2.32 वैद्युत मापन यन्त्रों की मूल चालन विधि (Basic Operation of Electrical Measuring Instruments)

सभी प्रत्यक्ष वैद्युत मापन यन्त्रों का मूल चालन निम्न दो बातों पर निर्भर करता है—

1. मापन परिपथ (Measuring Circuit)
2. चालन प्रणाली (Moving System)

2.32.1 मापन परिपथ (Measuring Circuit)

मापन परिपथ द्वारा, मापी जाने वाली राशि को एक सहायक राशि (Auxiliary Quantity) में परिवर्तित करने का कार्य किया जाता है। यह सहायक राशि, पहली राशि की एकल मूल्य फलन (Single Valued Function) होती है।

2.32.2 चालन प्रणाली (Moving System)

चालन प्रणाली द्वारा सहायक राशि (auxiliary quantity) से प्राप्त वैद्युत ऊर्जा (electrical energy) को यां (mechanical energy) में बदला जाता है जो चल अंगों (moving elements) में विस्थापन करके सूचक (poi घूर्णन गति (rotary motion) द्वारा ज्ञात होता है।

इस प्रणाली में मापी जाने वाली राशि की कुछ ऊर्जा चल अंगों को दी जाती है। ये चल अंग चालक घुमाऊ घूर्ण operating torque) उत्पन्न करके चल अंगों को तब तक घुमाऊ गति देता है जब तक यह पुनः स्थापित घु (restoring operating torque) द्वारा संतुलित (balanced) नहीं हो जाता है। इसमें एक स्प्रिंग (spring) लगा होता है स्थापित घुमाऊ घूर्ण गति प्रदान करता है और यह चालक अंगों (driver elements) के विक्षेप कोण पर निर्भर करता है

चालन प्रणाली की कार्यविधि के आधार पर वैद्युत मापन यन्त्र निम्न प्रकार के होते हैं—

1. स्थायी चुम्बक यन्त्र (Parmanent Magnet Instrument)—ये यन्त्र दो प्रकार के होते हैं—

(i) चल कुण्डली (Moving Coil)

(ii) चल चुम्बक (Moving Magnet)

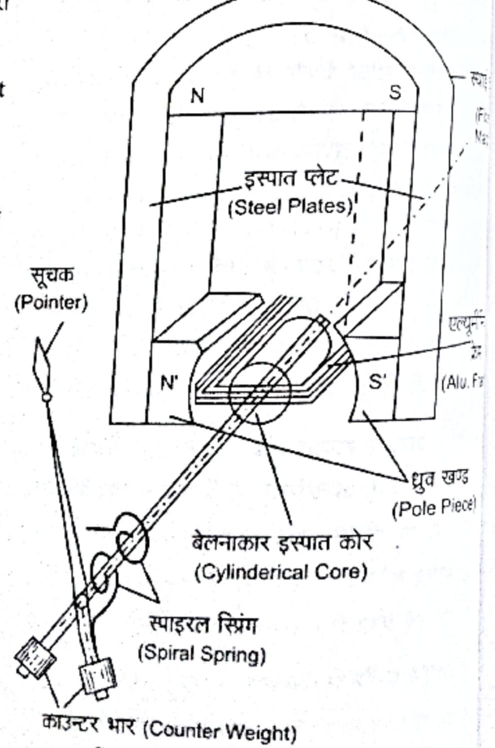
2. चल-लौह यन्त्र (Moving Iron Instrument)—पाठ्यक्रम (Syllabus) के आधार पर सीमित यन्त्रों के यहाँ वर्णन किया जा रहा है।

2.32.2.1 स्थायी चुम्बक चल कुण्डली यन्त्र (Parmanent Magnet Moving Coil Instrument)—कार्यविधि को समझने के लिए इसके भागों का वर्णन जरूरी है। इस यन्त्र में दो भाग होते हैं—

(i) स्थायी चुम्बक परिपथ (Parmenent Magnet Circuit)

(ii) चल तत्व (Moving Element)

चित्र 93 में दिखाये गये स्थायी चुम्बक परिपथ में एक घोड़े की नाल वाला शक्तिशाली चुम्बक NS होता है जिसमें दो इस्पात प्लेट होता है जिसके सिरे पर ध्रुवखण्ड (Pole Piece) $N'S'$ जुड़े रहते हैं तथा इन ध्रुवखण्डों के बीच इस्पात सिलिण्डर कोर लगे होते हैं। ध्रुव-खण्डों एवं सिलिण्डर कोर (cylinder core) के बीच एक समरूप और त्रिज्यक चुम्बकीय क्षेत्र (uniform and radial magnetic field) उत्पन्न होता है। घोड़े की नाल वाला स्थायी चुम्बक उच्च पारगम्यता (high permeability) वाले उच्च श्रेणी के निकिल कोबाल्ट चुम्बक इस्पात का बना होता है तथा इसका दूसरा भाग मृदु चुम्बक इस्पात (mild magnet steel) का बना होता है।



चित्र 93 : स्थायी चुम्बक चल कुण्डली यंत्र

स्थायी चुम्बक चल कुण्डली यन्त्र का दूसरा भाग, चल तत्व (moving element) हल्के ऐल्यूमिनियम का बना आयताकार फ्रेम (frame) होता है जिस पर 0·02 मिमी० से लेकर 0·2 मिमी० तक व्यास के इन्सुलेटेड (insulated) ऐल्यूमिनियम या ताँबे के तार की कुण्डली लिपटी होती है। चल तत्व के फ्रेम से जुड़े चल प्रणाली (moving system) में दो पिवट (pivot) लगे रहते हैं जो बियरिंग (bearing) में टिके होते हैं। इसमें एक सर्पिल स्प्रिंग (spiral spring) होता है जिसके भीतरी सिरे तथा बुश (bush), जिस पर यन्त्र का सूचक (pointer) तथा विरोधी भार (counter weight) लगा होता है, कुण्डली स्पिण्डल (coil spindle) के आधे भाग से जुड़ा रहता है।

कार्य प्रणाली (Working System)—इस मापन यन्त्र के एक सिरे से दूसरे सिरे पर कुण्डली वाइंडिंग (coil winding), सर्पिल स्प्रिंग (spiral spring) या दूसरी स्प्रिंग के द्वारा मापन धारा बहती है। वायु गैप (air gap) एवं कुण्डली वाइंडिंग के बीच उत्पन्न होने वाले चुम्बकीय क्षेत्र के द्वारा मापन धारा (measuring current) प्रवाहित होने से उपजे उनके अन्तः सम्बन्ध से वैद्युत चुम्बकीय बल पैदा होता है जिसके कारण कुण्डली, विक्षेपण घुमाऊ घूर्ण (deflecting torque) उत्पन्न करता है। यही विक्षेपण घुमाऊ घूर्ण चल तत्व को कोणीय गति प्रदान करता है।

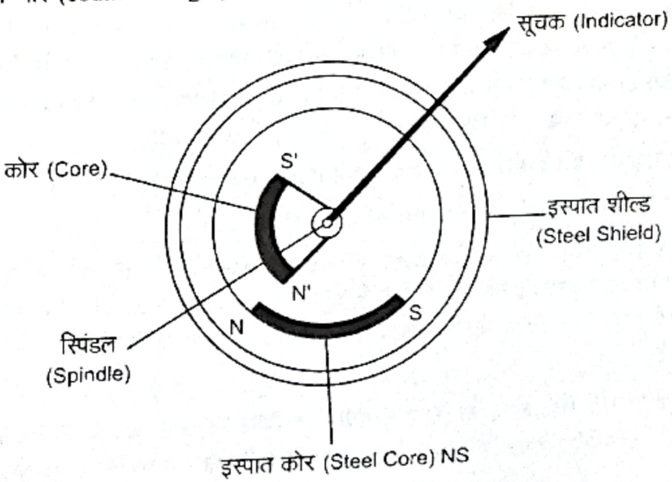
विक्षेपण घुमाऊ घूर्ण एवं पुनः स्थापित (restoring) घुमाऊ के सन्तुलन होने पर चल तत्व एक स्थिति में आकार रुक जाता है। चूँकि चल तत्व का कोणीय विक्षेप प्रवाहित धारा के समानुपाती होता है, इसलिये यन्त्र का पैमाना रेखीय होता है।

2.32.2.2 चल लौह यन्त्र (Moving Iron Instrument)—चल लौह यन्त्र प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) व दिष्ट धारा (D.C.) दोनों पर प्रयोग किया जा सकता है। इसकी कार्य प्रणाली लौह चुम्बकीय पदार्थ के एकल या बहु चल कोर (Single or Multi Moving Core) की कुण्डली में प्रवाहित होने वाली वैद्युत धारा से पैदा होने वाली चुम्बकीय क्षेत्र की प्रतिक्रिया पर निर्भर करती है। ये यन्त्र दो प्रकार के होते हैं—

(i) आकर्षण चल लौह यन्त्र (ii) विकर्षण चल लौह यन्त्र

विकर्षण चल लौह यन्त्र का प्रयोग आकर्षण चल लौह यन्त्र की अपेक्षा अधिक होता है। यह यन्त्र ज्यादा टिकाऊ व परिशुद्ध माप देने वाला होता है।

विकर्षण चल लौह यन्त्र (Repulsion moving iron instrument) में एक स्थिर कुण्डली (fixed coil) होता है जिसके अन्दर की तरफ इस्पात कोर (steel core) NS लगा होता है। बाहरी क्षेत्र के प्रभाव को कम करने के लिये, कुण्डली की बाहरी सतह एक इस्पात के खोल/शील्ड (steel shield) से ढकी रहती है। चल तत्व में एक सर्पिल स्प्रिंग, कोर की कुण्डली $N'S'$, भंवर धारा (eddy current), यन्त्र का सूचक (indicator) डेम्पर का ऐल्यूमिनियम वेन तथा चल तत्व को सन्तुलित बनाये रखने के लिये विरोधी भार (counter weight) लगे होते हैं। इसके यन्त्र विन्यास को चित्र 94 में दिखाया गया है।



चित्र 94 : विकर्षण चल लौह यंत्र

कार्य प्रणाली (Working System)—जिस प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) या दिष्ट धारा (D.C.) को मापना होता ... यन्त्र से जोड़ देते हैं। मापी जाने वाली धारा जब कुण्डली में प्रवाहित होती है तब वह चुम्बकीय क्षेत्र (magnetic fi...) करता है तथा कोर को चुम्बक बना देता है। तत्पश्चात् परिणामी बल कोर को कुण्डली में खींचता है और इसे ... है। इय यन्त्र की चल लौह की छड़ के साथ एक सूचक (indicator) जुड़ा होता है जो इसकी गति को अंशांकि... विक्षेपित कर देता है। चूँकि सूचक का विक्षेप प्रवाहित धारा के वर्ग के समानुपाती होता है, इसलिये सूचक पर लगा ... नियम के अनुसार अंशांकित रहता है।

2.33 द्रवीय यन्त्रों के सिद्धान्त (Principles of Hydraulic Instruments)

द्रवीय क्षेत्र (Hydraulic field) में काम आने वाली द्रवीय राशियों (hydraulic quantities) जैसे—... (velocity of flow), विसर्जन (discharge), द्रव दाब (fluid pressure) आदि के मापन के लिये द्रवीय माप... उपयोग किया जाता है।

2.33.1 द्रवीय राशियाँ एवं उनके मापन यन्त्र (Hydraulic Quantities is its Measuring Instrume...)

द्रवीय राशियों को मापने के लिये उपयोग में आने वाले मापन यन्त्रों को निम्न तालिका में दिखाया गया है

	द्रवीय राशियाँ (Hydraulic Quantities)	मापन यन्त्र (Measuring Instrumen...)
1.	खुली चैनल में प्रवाह वेग (velocity of flow in open channels)	करन्ट मीटर (current meter), विस्थापन प्र... (displacement flow meter)
2.	नलों में विसर्जन (discharge through pipes)	वेन्टुरी मीटर (venturi meter)
3.	चैनलों में विसर्जन (discharge through channels)	वी-नॉच (V-notch), आयताकार-नॉच (recta... notch)
4.	नलों में द्रव दाब (fluid pressure in pipes)	पीजोमीटर नली (piezometer tube), मैनोमीटर ... meter)

2.33.2 प्रवाह वेग (Velocity of Flow)

किसी द्रव का प्रवाह वेग मापने के लिये यान्त्रिक प्रवाह मीटर (mechanical flow meters) का प्रयोग किया ... द्रव को अपने मार्ग (way) में प्रवाह के दर के समानुपाती गति से लगातार प्रवाहित होने के लिये इसमें यन्त्र... (mechanism) का प्रयोग किया जाता है। ये प्रवाह मीटर द्रवीय सिद्धान्तों (Principles of hydraulics) पर कार्य ... यान्त्रिक प्रवाह मीटर को दो भागों में बाँटा जाता है—

(i) विस्थापन प्रकार के प्रवाह मीटर (displacement type flow meter)

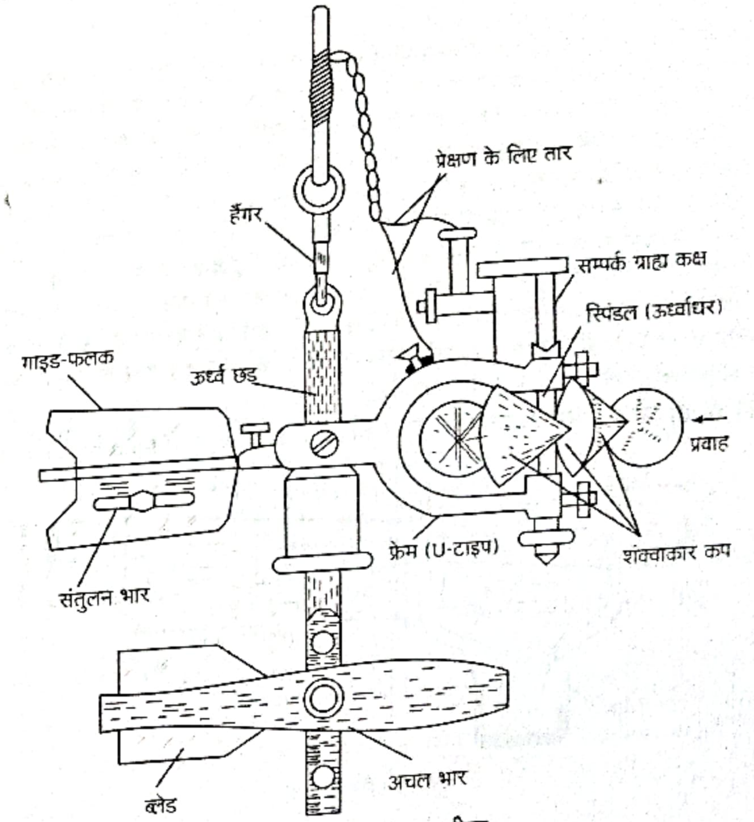
(ii) धारा प्रकार के प्रवाह मीटर (current type flow meter)

(i) विस्थापन प्रवाह मीटर (Displacement Flow meter)—इस मीटर की कार्य प्रणाली आय... (volumetric) सिद्धान्त पर कार्य करती है जो मापे जाने वाले तत्व (detecting elements) के विस्थापन से सम्बन्धित ... जैसे—सिलिण्डर में लगे पिस्टन (piston) का विस्थापन, प्रत्येक चक्र (cycle) में मीटर से गुजरने वाले द्रव के आ... सीधे समानुपाती होता है।

इस प्रकार द्रव का प्रवाह वेग मापने के लिये पश्चाग्र गति पिस्टन (reciprocating piston), अर्द्ध-घुमाऊ (semi-rotary piston), कुण्डलीय प्रकार के (helix type) तथा अन्य विस्थापन प्रवाह मीटर (displacement flow ... प्रयोग में लाये जाते हैं।

(ii) धारा प्रवाह मीटर (Current Flow Meter)—इस मीटर में एक रोटर (rotor) लगा होता है जिसे इस प्रकार डिजाइन किया जाता है व जोड़ा जाता है कि द्रव को मीटर से गुजारने पर, वह मीटर के द्वारा प्रवाह वेग के समानुपाती घूमे। इस प्रकार रोटर, चालक बल आघूर्ण (driver torque) के प्रभाव से घुमाऊ गति (rotate or rotary motion) करता है। द्रव घर्षण (fluid friction) एवं यान्त्रिक घर्षण (mechanical friction) के कारण, चालक का अवमन्दन (damping) बल आघूर्ण का विरोध करता है। परिशुद्ध मापन के लिये यांत्रिक घर्षण के कारण बल आघूर्ण को काफी कम किया जा सकता है।

इस श्रेणी में द्रव प्रवाह वेग को मापने के लिये टरबाइन (turbine), एकल या बहुल जेट फैन (single or multi jet fan) आदि का प्रयोग किया जाता है। खुली चैनल (open channel) में द्रव का प्रवाह वेग मापने के लिये करन्ट मीटर (current meter) का प्रयोग किया जाता है। इसको चित्र 95 में दिखाया गया है।



चित्र 95 : धारा प्रवाह मीटर

2.34 विसर्जन (Discharge)

किसी क्षैतिज (horizontal), ऊर्ध्वाधर (vertical) या चल स्थिति (moving position) वाले पाइप में बहते हुये द्रव की मात्रा की दर (rate), विसर्जन (discharge) कहलाती है। इसे Q से व्यक्त करते हैं। पाइप में विसर्जन को ज्ञात करने के लिये वेन्टुरीमीटर (venturimeter) का प्रयोग करते हैं जबकि चैनल में विसर्जन ज्ञात करने के लिये वी-नॉच (V-notch) या आयताकार-नॉच (rectangular notch) का प्रयोग करते हैं।

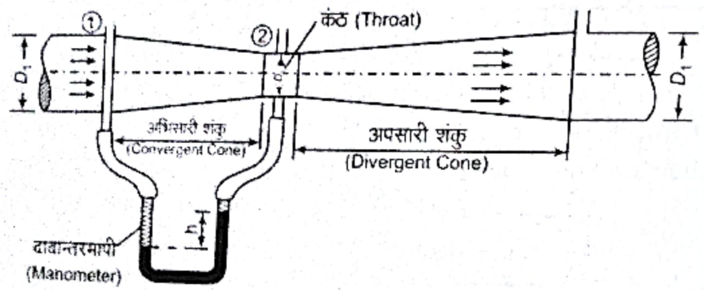
2.34.1 वेन्चुरीमीटर की रचना (Construction of Venturimeter)

वेन्चुरीमीटर का बनावट एक खोखले ट्यूब जैसा होता है जिसके बीच का व्यास किनारों से कम व एक समान... जिसे कंठ (throat) कहते हैं। इसका एक सिरा छोटा होता है जिसे अभिसारी शंकु (convergent cone) कहते हैं तथा... सिरा बड़ा होता है जिसे **अपसारी शंकु** (divergent cone) कहते हैं। चित्र 33 में इसको दिखाया गया है।

वेन्चुरीमीटर के अभिसारी शंकु की तरफ के बड़े व्यास वाले सिरे को मुख्य पाइप से जोड़ दिया जाता है, जिसके... द्रव का विसर्जन निकालना होता है तथा उसके छोटे व्यास वाले सिरे को कंठ से जोड़ दिया जाता है। कंठ के दूसरी तरफ... सिरे को अपसारी शंकु के छोटे व्यास वाले सिरे से जोड़ दिया जाता है तथा इसके बड़े व्यास वाले सिरे को मुख्य पाइप में... दिया जाता है। अभिसारी शंकु की लम्बाई, अपसारी शंकु की लम्बाई के $\frac{1}{3}$ से $\frac{1}{4}$ गुना तक होती है तथा इसके छोटे... व्यास का अनुपात $\frac{1}{2}$ से $\frac{1}{3}$ के बीच रखा जाता है।

क्रिया सिद्धान्त (Working Principle)—वेन्चुरीमीटर के अभिसारी शंकु की तरफ से जब द्रव कंठ की तरफ... तब प्रवाहित होने वाली द्रव की गति में त्वरण उत्पन्न होता है, जिस कारण कंठ की काट पर द्रव की गति, मुख्य पाइप के... की गति से अधिक हो जाता है। कंठ की काट पर प्रवाहित द्रव की गति अधिक हो जाने के कारण उस जगह द्रव का दाब... हो जाता है। द्रव के दाब में होने वाली कमी के कारण अलगाव को कम करने के लिये वेन्चुरीमीटर के अभिसारी शंकु के... व बड़े व्यास का अनुपात एक सीमा तक ही रखा जाता है। वेन्चुरीमीटर के दूसरे भाग अपसारी शंकु से द्रव छोटे-व्यास से... व्यास की तरफ बहता है जिस कारण द्रव के प्रवाह में मंदन (Retardation) हो जाता है, जिस कारण अपसारी शंकु के... व्यास की काट पर प्रवाहित द्रव की गति कम हो जाती है और इसके दाब में वृद्धि हो जाती है। द्रव के दाब में होने वाले... के कारण वेन्चुरीमीटर व पाइप के दीवार को नुकसान हो सकता है इसलिये नुकसान से बचाने के लिये अपसारी शंकु की... लम्बाई अधिक रखी जाती है। इस प्रकार अपसारी शंकु की लम्बाई अभिसारी शंकु की लम्बाई से 3 से 4 गुना अधिक... रखी जाती है। अभिसारी शंकु के बड़े व्यास एवं छोटे व्यास की काट के बीच द्रव दाब के अन्तर को भेददर्शी दाबान्तरमापी (differential manometer) द्वारा ज्ञात कर लिया जाता है।

वेन्चुरीमीटर से द्रव का विसर्जन ज्ञात करना (To Calculate discharge of fluid by Venturimeter)—



चित्र 96 : वेन्चुरीमीटर

उपरोक्त चित्र 96 में वेन्चुरीमीटर से द्रव को प्रवाहित होते दिखाया गया है।

माना, काट '1' पर

P_1 = द्रव का दाब

v_1 = द्रव का वेग

z_1 = आधार शीर्ष (Datum head)

एवं a_1 = वेन्चुरीमीटर का क्षेत्रफल

तथा काट '2' पर

P_2 = द्रव का दाब

v_2 = द्रव का वेग

z_2 = आधार शीर्ष

एवं a_2 = वेन्चुरीमीटर का क्षेत्रफल

काट '1' एवं काट '2' पर बरनॉली समीकरण द्वारा—

$$\frac{P_1}{W} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{W} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad \text{... (1)}$$

यदि वेन्चुरीमीटर की सेन्टर लाइन को डेटम लाइन मान लिया जाये, तब—

$$z_1 = z_2 = 0$$

इस प्रकार

$$\frac{P_1}{W} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{W} + \frac{v_2^2}{2g}$$

या

$$\frac{1}{W}(P_1 - P_2) = \frac{1}{2g}(v_2^2 - v_1^2) \quad \text{... (2)}$$

काट '1' एवं काट '2' पर यदि द्रव का प्रवाह लगातार बना रहता है, तब सतत् समीकरण (equation of continuity) का प्रयोग करने पर

काट '1' का विसर्जन = काट '2' का विसर्जन

या

$$a_1 v_1 = a_2 v_2$$

या

$$v_1 = \frac{a_2 v_2}{a_1}$$

इस प्रकार v_1 का मान समीकरण (2) में रखने पर

$$\frac{1}{W}(P_1 - P_2) = \frac{1}{2g}\left[v_2^2 - \frac{a_2^2 v_2^2}{a_1^2}\right]$$

$$\frac{P_1 - P_2}{W} = \frac{v_2^2}{2g}\left[1 - \frac{a_2^2}{a_1^2}\right]$$

$$\frac{P_1 - P_2}{W} = \frac{v_2^2}{2g}\left[\frac{a_1^2 - a_2^2}{a_1^2}\right] \quad \text{... (3)}$$

यहाँ पर $\frac{P_1 - P_2}{W}$ काट '1' एवं काट '2' के बीच के दाबान्तर को दर्शाता है जो पाइप की क्षैतिज अवस्था में वेन्चुरी शीर्ष (Venturi head) कहलाता है। वेन्चुरी शीर्ष को h से व्यक्त करते हैं।

इस प्रकार

$$\frac{P_1 - P_2}{W} = h = \frac{v_2^2}{2g}\left[\frac{a_1^2 - a_2^2}{a_1^2}\right]$$

या

$$v_2^2 = 2gh\left[\frac{a_1^2}{a_1^2 - a_2^2}\right]$$

$$\therefore \quad v_2 = \sqrt{2gh\left(\frac{a_1^2}{a_1^2 - a_2^2}\right)}$$

$$v_2 = \sqrt{2gh}.\frac{a_1}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}}$$

तथा काट '2' पर द्रव का विसर्जन (discharge)

$$Q = a_2 v_2$$

या

$$Q = \frac{a_2 a_1}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \times \sqrt{2gh} \qquad (V_2 \text{ का मान रखने पर})$$

$$Q = K\sqrt{h}$$

जहाँ

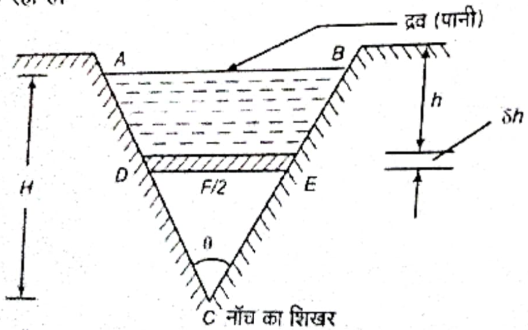
$$K = \frac{a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \times \sqrt{2g}$$

विसर्जन के लिये समी० (5) में घर्षण के कारण हानि को नगण्य माना गया है जबकि वास्तविक विसर्जन समी० ... निकाले गये विसर्जन से कम ही होगा।

$\therefore$ वास्तविक विसर्जन $\quad Q = C_d K\sqrt{h}$

जहाँ पर C_d विसर्जन गुणांक (Co-efficient of discharge) है। इसका मान 0·95 या 0·97 लिया जाता है। वेन्चुरीमीटर के काट '1' एवं '2' के दाबान्तर को भेददर्शी दाबमापी (differential manometer) या पीज़ो... (piezometer) की सहायता से ज्ञात कर लिया जाता है।

वी-नॉच या त्रिभुजाकार नॉच से विसर्जन ज्ञात करना (To Calculate discharge over V-notch ... triangular-notch)—निम्न चित्र 97 में ABC के रूप में एक वी-नॉच या त्रिभुजाकार नॉच दिखाया गया है जिससे ... रूप में एक द्रव प्रवाहित हो रहा है।



चित्र 97 : वी-नॉच से विसर्जन

माना $\quad H$ = नॉच के शिखर C से ऊपर द्रव की ऊँचाई

θ = V-नॉच का कोण

C_d = विसर्जन गुणांक

द्रव (पानी) के स्वतन्त्र तल AB से 'h' गहराई पर 'δh' मोटाई की तथा 'b' चौड़ाई की एक पतली द्रव पट्टी ... कन्सीडर (consider) करने पर यदि द्रव का आगमन वेग शून्य एवं द्रव का प्रवाह वेग एकसमान (uniform velocity flow) मानने पर

ΔCDE में, $\quad \tan\frac{\theta}{2} = \frac{DE}{CD} = \frac{b/2}{H-h}$

या $\quad b = 2(H-h)\tan\frac{\theta}{2}$

पट्टी का क्षेत्रफल $\quad b \times \delta h = \left[2(H-h)\tan\frac{\theta}{2}\right]\delta h$

तथा पट्टी पर द्रव का सैद्धान्तिक वेग $= \sqrt{2gh}$

तब पट्टी से विसर्जन $\quad \delta Q = C_d \times$ पट्टी का क्षेत्रफल × पट्टी पर द्रव का वेग

$$\delta Q = C_d \times \left[2(H-h)\tan\frac{\theta}{2}\right]\delta h \times \sqrt{2gh}$$

$$\delta Q = 2C_d\sqrt{2g}\tan\frac{\theta}{2}.(H-h)\,h^{1/2}.\delta h \qquad \ldots(1)$$

नॉच से पूर्ण विसर्जन निकालने के लिये नॉच की काट को अनेक पतली पट्टीयों से बना हुआ मान सकते हैं। अतः नॉच से पूर्ण विसर्जन के लिये समीकरण (1) का समाकलन $h = 0$ तथा $h = H$ के बीच करने पर

$$Q = \int_0^H 2C_d\sqrt{2g}.\tan\frac{\theta}{2}(H-h).h^{1/2}.\delta h$$

$$= 2C_d\sqrt{2g}\tan\frac{\theta}{2}\int_0^H (Hh^{1/2} - h^{3/2}).\delta h$$

$$= 2C_d\sqrt{2g}\tan\frac{\theta}{2}\left[\frac{2}{3}Hh^{3/2} - \frac{2}{5}h^{5/2}\right]_0^H$$

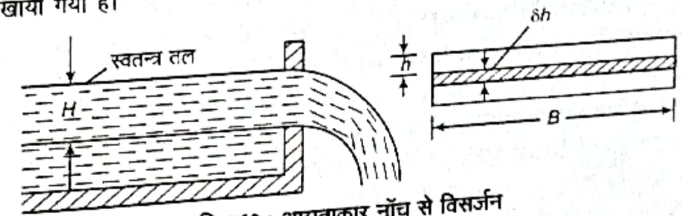
$$= 2C_d\sqrt{2g}\tan\frac{\theta}{2}\left[\frac{2}{3}H^{5/2} - \frac{2}{5}H^{5/2}\right]$$

$$\therefore \quad Q = \frac{8}{15}.C_d\sqrt{2g}\tan\frac{\theta}{2}H^{5/2}$$

यदि $\theta = 90°$, तब $\tan\frac{\theta}{2} = \tan 45° = 1$

$$\therefore \quad Q = \frac{8}{15}C_d.\sqrt{2g}.H^{5/2}$$

आयताकार नॉच से विसर्जन (Discharge over Rectangular Notch)—निम्न चित्र 98 में चैनल के सिरे पर आयताकार नॉच दिखाया गया है।



चित्र 98 : आयताकार नॉच से विसर्जन

माना, $\quad B$ = नॉच की चौड़ाई

H = नॉच के शिखर से स्वतन्त्र तल की ऊँचाई

C_d = विसर्जन गुणांक

आगमन वेग = शून्य (मानने पर)

द्रव की स्वतन्त्र तल से 'h' गहराई पर δh मोटाई की एक क्षैतिज पट्टी को कन्सीडर (consider) करने पर

पट्टी का क्षेत्रफल $= B \times \delta h$

पट्टी पर शीर्ष h के लिये द्रव का सैद्धान्तिक वेग, $v = \sqrt{2gh}$

तब, पट्टी से विसर्जन

$$\delta Q = C_d \times \text{पट्टी का क्षेत्रफल} \times \text{पट्टी पर द्रव का सैद्धान्तिक वेग}$$

$$= C_d \times B \times \delta h \times \sqrt{2gh}$$

$$= C_d \times B \times \sqrt{2g}.h^{1/2}.\delta h$$

नॉच से पूर्ण विसर्जन निकालने के लिये, नॉच की काट को अनेक पतली पट्टीयों से बना हुआ मान सकते हैं। अतः पूर्ण विसर्जन के लिये समीकरण (1) का समाकलन $h = 0$ तथा $h = H$ के बीच करने पर

कुल विसर्जन
$$Q = \int_0^H C_d.B.\sqrt{2g}.h^{1/2}.\delta h$$

$$= C_d B\sqrt{2g}\int_0^H h^{1/2}.\delta h$$

$$= C_d\, B\sqrt{2g}\left[\frac{2}{3}h^{3/2}\right]_0^H$$

$$Q = \frac{2}{3}C_d.B.\sqrt{2g}.H^{3/2}$$

$$\therefore \quad Q = K.H^{3/2}$$

जहाँ $K = \frac{2}{3}C_d B.\sqrt{2g}$ = नॉच स्थिरांक (constant)

2.35 द्रव दाब (Fluid Pressure)

द्रवीय यन्त्रों के सिद्धान्त पर कार्य करने वाले यन्त्र जोकि द्रव दाब मापने के लिये प्रयोग किये जाते हैं, निम्न हैं-

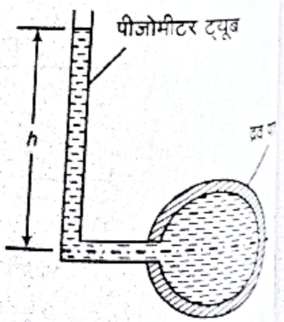
(i) पीजोमीटर ट्यूब (Piezometer Tube)

(ii) मैनोमीटर (Manometer)

(iii) माइक्रो मैनोमीटर (Micro Manometer)

(iv) भेददर्शी मैनोमीटर (Differential Manometer)

(i) पीजोमीटर ट्यूब (Piezometer Tube)—किसी बिन्दु पर द्रव के कम दाब को आसानी से मापने के लिये पीजोमीटर ट्यूब का प्रयोग किया जाता है। यह काँच की बनी हुई एक साधारण ट्यूब होती है जिसके एक सिरे को उस पात्र (container) से जोड़ दिया जाता है, जिसमें भरे द्रव का दाब निकालना होता है तथा इसके दूसरे सिरे को वायुमण्डल में खुला रखते हैं; जिसको चित्र 99 में दिखाया गया है।



चित्र 99 : पीजोमीटर ट्यूब

द्रव के दाब के कारण पात्र का द्रव पीजोमीटर ट्यूब में स्वतन्त्र रूप में ऊपर चढ़ जाता है। ट्यूब में द्रव जिस ऊँचाई तक चढ़ता है, वह पात्र में भरे हुये द्रव के दाब शीर्ष (pressure head) को बताता है।

यदि पात्र में भरे द्रव का आपेक्षिक भार w हो तथा उसकी दाब तीव्रता 'p' हो, तब ट्यूब में स्वतन्त्रतापूर्वक चढ़े द्रव की ऊँचाई $h = \frac{p}{w}$ या $p = h \times w$ इस सूत्र द्वारा h का मान निकाल कर द्रव की दाब तीव्रता का मान निकाला जा सकता है। यही दाब, गेज दाब (gauge pressure) होता है क्योंकि ट्यूब का दूसरा सिरा वायुमण्डल में खुला रहता है। उच्च दाब तथा बहुत ही कम दाब मापने के लिये यह ठीक नहीं रहता है।

(ii) मैनोमीटर (Manometer)—पीजोमीटर ट्यूब के विकसित रूप को मैनोमीटर (Manometer) कहते हैं। यह U-ट्यूब के आकार का होता है। मैनोमीटर का प्रयोग किसी बिन्दु पर अधिक उच्च दाब तथा कम या ऋणात्मक दाब को मापने के लिये किया जाता है। रचना के आधार पर मैनोमीटर दो तरह के होते हैं—

(i) सरल मैनोमीटर (Simple Manometer)

(ii) माइक्रो मैनोमीटर (Micro Manometer)

(i) सरल मैनोमीटर (Simple Manometer)—इसकी बनावट U-आकार की होती है तथा इसका प्रयोग उच्च दाब या ऋणात्मक दाब मापने में किया जाता है। इसमें कोई भी भारी द्रव भरा जाता है जो दाब मापे जाने वाले द्रव में घुलनशील न हो, जैसे—पारा आदि। इसका एक सिरा उस पात्र से जोड़ दिया जाता है, जिसमें दाब मापे जाने वाला द्रव भरा रहता है तथा इसका दूसरा सिरा वायुमण्डल में खुला रहता है।

(ii) उच्च दाब या धनात्मक दाब मापना (To measure high pressure or positive pressure)—चित्र 100 (अ) के अनुसार यदि पात्र में उच्च या धनात्मक दाब वाला कोई हल्का द्रव भरा है जिसका मान निकालना है। ऐसी स्थिति में—

माना, पात्र में भरे द्रव का आपेक्षिक घनत्व (specific density) ρ_1 है और मैनोमीटर में भरे द्रव (पारा) का आपेक्षिक घनत्व ρ_2 है। पात्र में भरे उच्च दाब वाले द्रव से मैनोमीटर में भरे भारी द्रव पर बल लगने के कारण उसके दाहिनी भुजा में द्रव तल नीचे की ओर गिरता है जबकि उसकी बायीं भुजा में तल ऊपर चढ़ता है। दोनों एक सामान्य तल $Z-Z$ पर मिलते हैं जिसे आधार रेखा कहते हैं।

$\therefore$ h_1 = मैनोमीटर की दाहिनी भुजा में आधार रेखा से हल्के द्रव की ऊँचाई (सेमी० में)

h_2 = मैनोमीटर की बायीं भुजा में आधार रेखा से भारी द्रव की ऊँचाई (सेमी० में)

h = पात्र में द्रव का दाबशीर्ष (सेमी० में)

इस प्रकार दाहिनी भुजा में आधार रेखा ZZ पर दाब $= h + \rho_1 h_1$ सेमी० (जल) ... (1)

इसी प्रकार बायीं भुजा में आधार रेखा ZZ पर दाब $= \rho_2 h_2$ सेमी० (भारी द्रव) ... (2)

आधार रेखा ZZ पर दाब बराबर होने पर

$$h + \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$$

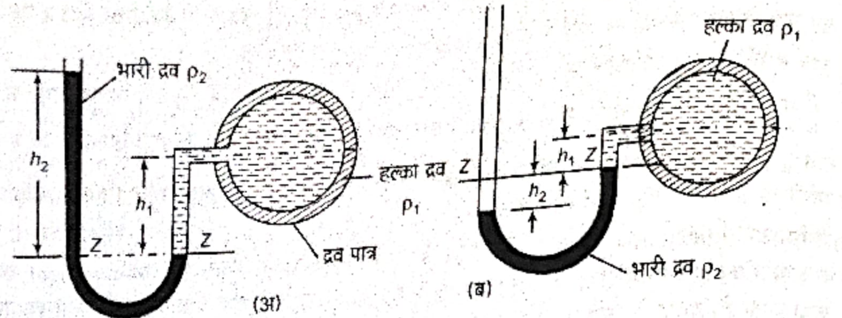
या
$$h = \rho_2 h_2 - \rho_1 h_1 \text{ सेमी० (जल)}$$

ऋणात्मक दाब ज्ञात करना (To measure negative pressure)—जब पात्र में भरे द्रव का दाब काफी कम या ऋणात्मक दाब होता है तो इस दाब के कारण मैनोमीटर की दाहिनी भुजा का हल्का द्रव पात्र में खींचता है और भारी द्रव उसमें ऊपर की ओर चढ़ता है, जबकि भारी द्रव बायीं भुजा में नीचे गिर जाता है। चित्र 100 (ब) में इसको दिखाया गया है।

माना आधार रेखा $Z-Z$ है—

तब दाहिनी भुजा में आधार रेखा के ऊपर द्रव का दाब

$$= h + \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 \text{ सेमी० (पानी)}$$



चित्र 100

बायीं भुजा में दाब = 0

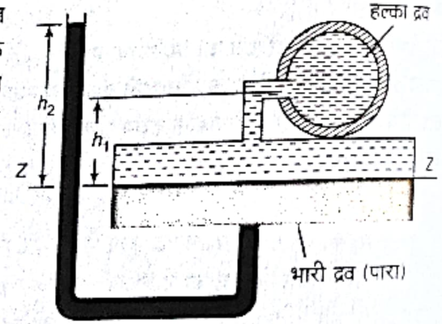
$$\therefore \quad h + \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 = 0$$

या
$$h = -(\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2)$$

(iii) माइक्रो मैनोमीटर (Micro Manometer)—जैसे पीजोमीटर ट्यूब का सुधरा रूप मैनोमीटर होता है, उसी तरह सरल मैनोमीटर (simple manometer) का विकसित रूप ही माइक्रो मैनोमीटर (micro manometer) कहलाता है।

इसका उपयोग द्रव पात्र के किसी बिन्दु पर अतिसूक्ष्म दाब (micro pressure) मापने के लिये किया जाता है। इसके द्वारा ली गई माप काफी परिशुद्ध होती है।

माइक्रो मैनोमीटर में इसकी एक भुजा की काट का क्षेत्रफल (area) दूसरी भुजा की काट के क्षेत्रफल की अपेक्षा कई गुना अधिक होता है, जो जरूरत पड़ने पर सौ गुना तक हो सकता है। इसकी कम काट वाली या कम क्षेत्रफल वाली भुजा को ऊर्ध्वाधर (vertical) या नत (inclined) रखा जाता है। ऊर्ध्वाधर भुजा वाले माइक्रो मैनोमीटर की अपेक्षा नत भुजा वाले माइक्रो मैनोमीटर अधिक सुग्राही और परिशुद्ध होते हैं।



चित्र 101 : ऊर्ध्वाधर माइक्रो मैनोमीटर

चित्र 101 में एक ऊर्ध्वाधर माइक्रो मैनोमीटर को दिखाया गया है जिसके पात्र में उच्च दाब वाले हल्के द्रव के भरे होने के कारण बड़ी काट वाली भुजा के द्रव का तल नीचे गिरता है जबकि छोटी काट वाली भुजा में द्रव तल अपेक्षाकृत अधिक ऊपर चढ़ता है।

इस प्रकार

h_1 = आधार रेखा $Z-Z$ के ऊपर हल्के द्रव तल की ऊँचाई (सेमी० में)

h_2 = आधार रेखा $Z-Z$ के ऊपर भारी द्रव तल की ऊँचाई (सेमी० में)

ρ_1 = हल्के द्रव का आपेक्षिक घनत्व

ρ_2 = भारी द्रव का आपेक्षिक घनत्व

h = पात्र में द्रव का दाब शीर्ष (सेमी० में)

$$\therefore \quad h = \rho_2 h_2 - \rho_1 h_1 \text{ सेमी० (जल)}$$

यदि माइक्रोमीटर की कम काट के क्षेत्रफल वाली भुजा ऊर्ध्वाधर न होकर क्षैतिज (horizontal) से 'θ' कोण पर झुकी हो, तब

$h_2 = l.\sin\theta$ जहाँ l = नत भुजा में द्रव की लम्बाई

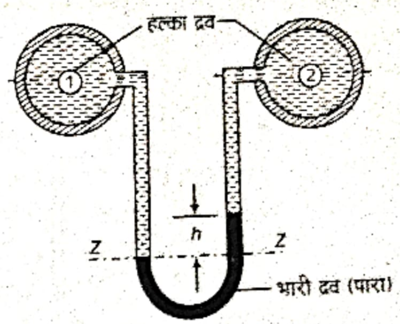
$$h = \rho_2 h_2 - \rho_1 h_1$$

∴ दाब शीर्ष
$$h = \rho_2 . l \sin\theta - \rho_1 h_1 \text{ सेमी० (जल)}$$

या इस तरह दाब शीर्ष h का मान उपरोक्त सूत्रों से निकाला जा सकता है।

(iv) भेददर्शी मैनोमीटर (Differential Manometer)—किसी पाइप में प्रवाहित होने वाले द्रव का दो बिन्दुओं के बीच अथवा दो पाइपों में प्रवाहित होने वाले द्रव के दाब का अन्तर/दाबान्तर (pressure difference) को मापने के लिये भेददर्शी मैनोमीटर का प्रयोग किया जाता है।

इसकी बनावट भी U-आकार के ट्यूब जैसी ही होती है जिसमें दो सिरे होते हैं। उन बिन्दुओं को पाइप से जोड़ दिये जाते हैं, जिनके बीच दाबान्तर निकालना होता है या मापा जाना है। चित्र 102 में भेददर्शी माइक्रोमीटर को दिखाया गया है।



चित्र 102 : भेददर्शी माइक्रोमीटर

इसके U-ट्यूब में भारी द्रव के रूप में पारा भरा रहता है। चित्र 102 के अनुसार यदि पाइप (1) में पाइप (2) की अपेक्षा अधिक दाब वाला द्रव भरा रहता है, तब पाइप (1) में अधिक दाब वाला द्रव U-ट्यूब में पहले से भरे पारा (भारी द्रव) को नीचे की ओर धकेलता है, जिस कारण U-ट्यूब के दायीं तरफ का पारा (भारी द्रव) ऊपर उठ जाता है।

भेददर्शी मैनोमीटर के बायीं तरफ जहाँ पर दोनों प्रकार के द्रवों (हल्का द्रव व भारी द्रव) के तल आपस में मिलते हैं, उस जगह $Z-Z$ को आधार रेखा लेने पर

माना, h_1 = पाइप (1) में द्रव का दाब

h_2 = पाइप (2) में द्रव का दाब

ρ_1 = हल्के द्रव का आपेक्षिक घनत्व

ρ_2 = भारी द्रव का आपेक्षिक घनत्व

h = मैनोमीटर की दोनों भुजाओं में भारी द्रव (पारा) के तलों का अन्तर (सेमी० में)

तथा आधार रेखा $Z-Z$ के ऊपर मैनोमीटर की दोनों भुजाओं में यदि दाब को बराबर मान लिया जाये—

तब
$$h_1 + h\rho_1 = h_2 + h\rho_2$$

$$(h_1 - h_2) = h(\rho_2 - \rho_1) \text{ सेमी० (जल का शीर्ष)}$$

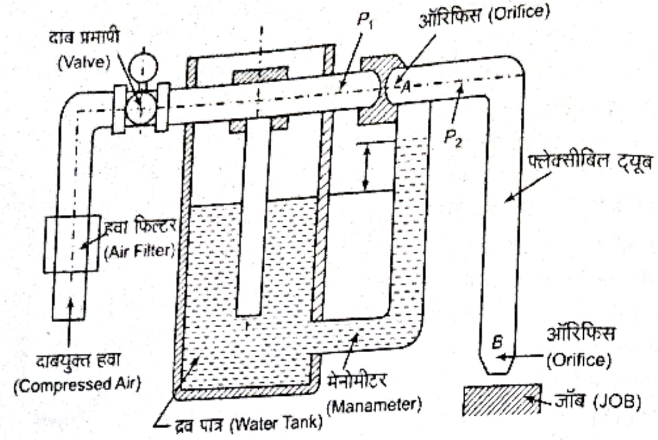
इस प्रकार h का मान ज्ञात करके दो बिन्दुओं या दो पाइपों के बीच के दाबान्तर को निकाला जा सकता है।

2.36 वायवीय मापन यन्त्रों का सिद्धान्त (Principle of Pneumatic Measuring Instruments)

सिद्धान्त (Principle)—इस सिद्धान्त में मापी जाने वाली सतह पर वायु के एक जेट (jet) या कई जेटों द्वारा तथा नियन्त्रित वायुदाब (controlled air pressure) को आवर्धित माध्यम (magnifying medium) के रूप में उपयोग करके मापन कार्य किया जाता है।

इसमें जेट छिद्र (jet orifice) को मापे जाने वाले कार्यखण्ड (work piece) के बहुत पास इस प्रकार रखा जाता है कि वह कार्यखण्ड को छूता हुआ न हो। कार्यखण्ड की विमाओं में परिवर्तन होने से वायु के निकास का छिद्र प्रभावित होता है जिसके कारण पड़ने वाला पृष्ठ दाब (back pressure) के परिवर्तन से माप में होने वाले आवश्यक परिवर्तन की मात्रा को निकाल लिया जाता है।

इसके कार्य करने के सिद्धान्त को चित्र 103 में दिखाया गया है।



चित्र 103

इसमें मध्यवर्ती दाब (intermediate pressure) P_2, मुख्य दाब P_1, तथा छिद्र या ऑरफिस (orifice) 1 एवं 2 के बीच के दाबान्तर पर निर्भर करता है तथा ऑरिफिस या छिद्र 2 की वास्तविक माप दूरी d पर निर्भर करता है।

इस प्रकार जब d का मान (value) बढ़ेगा तब दाब P_2 भी रैखिक अनुपात (linear proportionality or linear ratio) में बढ़ेगा। इसलिये दाब P_2 का परिवर्तन माप d के परिवर्तन को बताता है।

माना, a_1 = छिद्र (orifice) 1 का क्षेत्रफल

a_2 = छिद्र 2 का क्षेत्रफल

P_1 = मुख्य दाब

P_2 = मध्यवर्ती दाब

दोहरे छिद्रों (double orifice) के लिये माप के परिवर्तन को निम्न सूत्र द्वारा निकाला जाता है—

$$\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 = \frac{P_1}{P_2} - \frac{P_2}{P_1}$$

जब $\frac{P_1}{P_2}$ का मान 0·4 व 0·9 के बीच परिवर्तित होता है तब उपरोक्त सम्बन्ध लगभग सरल रैखिक (straight line) मान लिया जाता है जिसे निम्नानुसार लिख सकते हैं—

$$\frac{P_2}{P_1} = 1{\cdot}1 - \frac{a_2}{2a_1}$$

इस सिद्धान्त का प्रयोग सोलेक्स तुलनित्र (Solex comparator) में किया जाता है जिसमें वायु के जेट (jet) को जॉब की सतह के काफी पास रखकर प्रवाहित किया जाता है। जिस जगह जॉब की विमाओं में परिवर्तन होगा उसी के अनुसार वायु का निकास दाब भी परिवर्तित होगा। यही परिवर्तन ही जॉब की विमाओं के परिवर्तन को दर्शाता है।

सोलेक्स तुलनित्र में जेट की साइज और मापन प्लग की साइज, छिद्र की साइज और मापन की सीमा के आधार पर बनायी जाती है जिस कारण इसका प्रयोग मापनिकी कार्य के साथ-साथ परिमाण उत्पादन के लिये एवं साधारण गेजिंग (general gauging) आदि के लिये भी किया जाता है।

2.37 तुलनित्र (Comparator)

जो यन्त्र तुलनात्मक-मापन के आधार पर कार्य करता है उसे तुलनित्र कहते हैं। दूसरे शब्दों में, एक ऐसा यन्त्र जो किसी राशि की विमाओं (dimensions) को लम्बाई के मानक से तुलना करने के काम आता है तुलनित्र (comparator) कहलाता है।

किसी माप को सीधा दर्शाने के लिये इनका प्रयोग नहीं होता है। ये तुलनित्र किसी मूल साइज (basic size) के सापेक्ष वास्तविक साइज (actual size) के अन्तर को दर्शाते हैं। तुलनित्र द्वारा प्रयोग किये जाने वाले लम्बाई के मानक स्लिप गेज तथा वांछित पार्ट (part) की लम्बाई के बीच अन्तर मापने का कार्य लिया जाता है। आमतौर पर यह अन्तर कुछ माइक्रॉन (micron) तक ही होते हैं। इसलिये इसमें एक अति सुग्राही माप शीर्ष (high sensitive measuring head) लगा होता है। यह माप शीर्ष माप के अन्तर को कई गुना आवर्धित (magnify) करके दर्शाता है जिससे इसके द्वारा दर्शाये गये पाठ्यांक को आसानी से एवं यथार्थतापूर्वक पढ़ा जा सके।

मापन यन्त्र की तरह तुलनित्र को बार-बार अंशांकित (calibrate) करने की जरूरत नहीं होती है। इसके द्वारा शीघ्रतापूर्वक एवं पूर्ण विश्वसनीयता के साथ मापन किया जा सकता है। आवश्यकतानुसार स्लिप गेज (slip gauge) से इसके सेटिंग (setting) को जाँचा जा सकता है।

2.38 तुलनित्र के अभिलक्षण (Characteristics of Comparator)

एक अच्छे तुलनित्र में निम्नलिखित गुण होने चाहियें—

(i) तुलनित्र का डिजाइन व निर्माण मजबूत एवं टिकाऊ होना चाहिये ताकि प्रयोग करते रहने से इसकी यथार्थता में परिवर्तन नहीं होना चाहिए।

(ii) इसका मापन स्केल रेखीय एवं एक समान होना चाहिए।

(iii) इसका आवर्धन उच्च होना चाहिए ताकि सूक्ष्म से सूक्ष्म परिवर्तन को भी पढ़ा जा सके।

(iv) तुलनित्र को सुग्राही (sensitive) होना चाहिए।

(v) तुलनित्र द्वारा 0·0025 मिमी० तक यथार्थ मापन लिया जा सकने वाला होना चाहिये।

(vi) इसके सूचक (indicator) को शून्य पर वापस लौटने पर स्थिर हो जाना चाहिए।

(vii) इसके मापन प्लंजर (plunger) एवं रिकार्डिंग यंत्रावली की गति में किसी प्रकार का लैग (lag) या बैकलैश (back lash) नहीं होना चाहिये।

(viii) इसका मापन प्लंजर कठोर स्टील (hard steel) या हीरे (diamond) का बना होना चाहिए।

(ix) तापमान परिवर्तन से तुलनित्र की यथार्थता प्रभावित नहीं होनी चाहिये।

(x) तुलनित्र को बड़े मापन परास (wide measuring range) के योग्य होना चाहिये।

2.39 तुलनित्र के उपयोग (Uses of Comparator)

मापनिकी में तुलनित्र का व्यापक एवं वृहद रूप से उपयोग किया जाता है। तुलनित्र के कुछ महत्त्वपूर्ण उपयोग निम्नलिखित हैं—

(i) मेट्रोलॉजी लैब (Metrology lab) में मानक (standard) के रूप में तुलनित्र का प्रयोग किया जाता है।

(ii) इसकी सहायता से मापन यन्त्रों एवं गेजों का अंशांकन (calibration) किया जाता है।

(iii) वृहद् उत्पादन (mass production) में अवयवों के विमाओं की तेजी से जाँच करने के लिये तुलनित्र का प्रयोग किया जाता है।

(iv) नये खरीदे गये गेजों की जाँच करने के लिये इसका प्रयोग होता है।

(v) चयनित असेम्बली (selected assembly) में अवयवों के विमाओं की जाँच करने में इसका प्रयोग होता है।

(vi) उत्पादन के सभी महत्वपूर्ण स्तरों पर आवश्यक टॉलरेन्स (tolerance) बनाये रखने के लिये, कार्यकारी (working gauge) के रूप में तुलनित्र का प्रयोग किया जाता है।

2.40 मापन यन्त्र की तुलना में तुलनित्र के लाभ (Advantages of Comparator in Comparison to Measuring Instruments)

(i) मापन यन्त्रों की अपेक्षा तुलनित्र को बड़े परास (range) का बनाया जा सकता है, इसलिये ये ज्यादा उपयोगी हैं।

(ii) मापन यन्त्रों की अपेक्षा तुलनित्र में अधिक आवर्धन (more magnification) प्राप्त किया जा सकता है, इसलिये तुलनित्र की यथार्थता अधिक होती है।

(iii) तुलनित्र अधिक सुग्राही (sensitive) होते हैं। यथार्थ मापन के लिये ये ज्यादा उपयोगी होते हैं।

(iv) तुलनित्र से मापन में काफी कम समय लगता है जिस कारण जाँच या निरीक्षण में ये बहुत उपयोगी होते हैं।

(v) तुलनित्र को एक स्थान से दूसरे स्थान तक आसानी से ले जाया जा सकता है।

(vi) इसमें गतिशील अंग (moving parts) काफी कम होते हैं, इसलिये इनमें टूट-फूट या घिसाव की सम्भावना काफी कम होती है।

2.41 तुलनित्र, सीमा गेज एवं मापन यन्त्र में अन्तर (Difference among Comparator, Limit Gauge and Measuring Instrument)

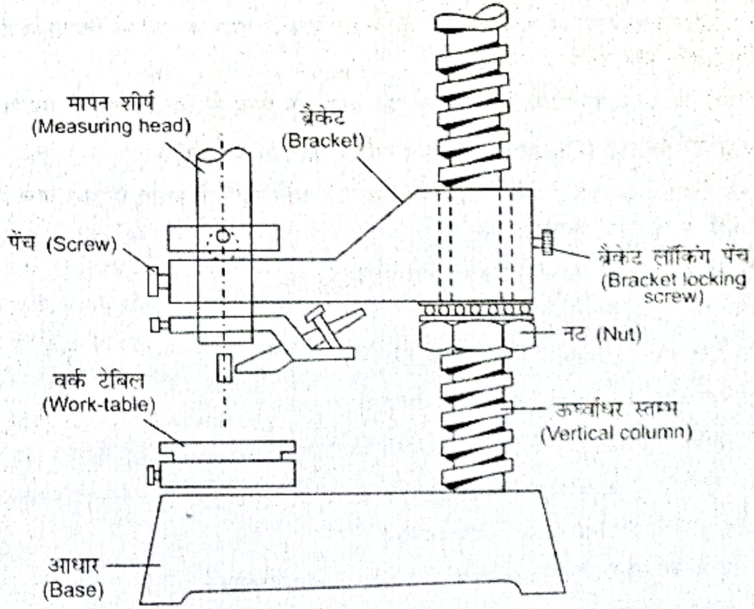
	तुलनित्र (Comparator)	सीमा गेज (Limit Gauge)	मापन यंत्र (Measuring Instrument)
1.	इनकी कीमत अधिक होती है।	कीमत कम होती है।	कीमत अपेक्षाकृत और कम होती है।
2.	मापन प्रक्रिया में कम समय लगता है।	मापन प्रक्रिया में कम समय लगता है।	मापन प्रक्रिया में अधिक समय लगता है।
3.	वृहद् उत्पादन में बहुत उपयोगी होता है।	वृहद उत्पादन में प्रयोग होता है।	वृहद उत्पादन के लिए उपयोगी नहीं है।
4.	इससे अधिक यथार्थ मापन संभव है।	यथार्थता सीमा गेज की यथार्थता पर निर्भर करता है।	यथार्थता निश्चित सीमा तक ही संभव है।
5.	मापन की शुद्धता व्यक्ति की कार्य कुशलता पर निर्भर नहीं करता।	मापन की शुद्धता व्यक्ति की कार्य कुशलता पर आंशिक रूप से निर्भर करता है।	मापन की शुद्धता पूरी तरह से कारीगर पर निर्भर करता है।
6.	इनके द्वारा मापी जाने वाली विमा की तुलना किसी मानक से की जाती है।	इसके द्वारा यह पता चलता है कि माप अपनी उच्च एवं निम्न सीमा में है या नहीं।	इसके द्वारा किसी माप की सही नाप ज्ञात कर लिया जाता है।
7.	किसी अवयव की विमा का वास्तविक माप गणना द्वारा निकाला जाता है।	अवयव की विमा का वास्तविक माप नहीं ज्ञात हो पाता है।	ये सिर्फ वास्तविक माप ही बताते हैं।
8.	स्लिप गेज, सीमा गेज आदि के निर्माण एवं अंशाकन में इनका प्रयोग किया जाता है।	अवयवों की जाँच एवं परीक्षण में इनका प्रयोग किया जाता है।	अंशांकन में इनका प्रयोग नहीं होता है।
9.	विशेष प्रोफाइल की जाँच संभव है।	जिस प्रोफाइल के लिये बनाये जाते हैं सिर्फ उसी के मापन में प्रयुक्त होते हैं।	इसके द्वारा विशेष प्रोफाइल की जाँच संभव नहीं है।
10.	अधिक समय तक उपयोग के बाद भी शून्य त्रुटि की संभावना नहीं होती है।	अधिक समय तक प्रयोग के बाद घिसकर बेकार हो जाते हैं।	अधिक समय तक प्रयोग के बाद शून्य त्रुटि हो जाती है।
11.	इसके द्वारा किसी अवयव की विभिन्न मापों की जाँच संभव है।	इनके द्वारा सिर्फ उन्हीं मापों की जाँच संभव है जिसके लिये ये बनाये जाते हैं।	इसके द्वारा विभिन्न प्रकार की मापन प्रक्रियायें की जा सकती हैं।
12.	इससे प्राप्त रीडिंग को उपयुक्त विधि द्वारा आवर्धित किया जा सकता है।	इसका आवर्धन संभव नहीं है।	इसका भी आवर्धन संभव नहीं है।

2.42 तुलनित्र के आवश्यक अंग (Essential Parts of Comparator)

एक सामान्य तुलनित्र की संरचना को चित्र 104 में दर्शाया गया है। तुलनित्र क्षैतिज या ऊर्ध्वाधर सिद्धान्त पर कार्य करते हैं। इनकी डिजाइन सही तरीके से मानकीकृत होती है। ऊर्ध्वाधर सिद्धान्त पर आधारित तुलनित्र का प्रयोग ज्यादा होता है। इस प्रकार तुलनित्र के निम्नलिखित आवश्यक अंग होते हैं—

(i) आधार (Base)—तुलनित्र का मुख्य अंग आधार होता है, जो वजन में काफी भारी होता है। इसको टिकाऊ, मजबूत एवं दृढ़ (rigid) बनाया जाता है क्योंकि आधार पर ही तुलनित्र के बाकी सभी आवश्यक अंग लगाये जाते हैं।

(ii) कार्य मेज (Work Table)—तुलनित्र के आधार पर एक कार्य मेज या वर्क टेबिल लगा होता है जिस पर कार्यखण्ड या जॉब (workpiece or job) को रखकर उसकी माप या पाठ्यांक आदि लेने का कार्य होता है। कार्य मेज को आवश्यकतानुसार मापन शीर्ष (measuring head) की अक्ष के अभिलम्ब किसी भी स्थिति में आगे-पीछे करके सेट किया जा सकता है।



चित्र 104 : तुलनित्र की सामान्य रचना

(iii) ऊर्ध्वाधर स्तम्भ (Vertical Column)—ऊर्ध्वाधर स्तम्भ तुलनित्र के आधार पर लगा होता है, जिस पर वर्गाकार चूड़ियाँ (square threads) कटी रहती हैं। स्तम्भ पर लगे ब्रेकेट (bracket) को आवश्यकतानुसार ऊपर-नीचे खिसकाया जा सकता है। ब्रेकेट को वांछित स्थिति में रखकर क्लेम्पिंग स्क्रू (clamping screw) द्वारा कसकर स्थिर (fix) कर दिया जाता है। ब्रेकेट के दूसरे सिरे पर मानक व्यास (standard dia) का एक छिद्र बना होता है जिस पर आवश्यकतानुसार मापन शीर्ष (measuring head) को लगाया जाता है।

(iv) मापन शीर्ष (Measuring Head)—ऊर्ध्वाधर स्तम्भ पर लगे ब्रेकेट के स्वतन्त्र सिरे पर मापन शीर्ष को लगाया जाता है। मापन शीर्ष को आवश्यकतानुसार ऊपर-नीचे करके ब्रेकेट में बने छिद्र में किसी भी स्थिति पर कस दिया जाता है। ब्रेकेट के सिरों पर अलग-अलग तरह के जॉब के अनुसार अलग-अलग मापन शीर्ष लगाने की व्यवस्था रहती है। मापन शीर्ष में लगे प्लंजर को जॉब या कार्यखण्ड के सम्पर्क में लाने पर उसकी माप ली जाती है।

(v) आवर्धन एवं सूचक युक्ति (Magnification and Indicating Unit)—तुलनित्र की डिजाइन एवं उपयोग के अनुसार उसमें लगे मापन शीर्ष के प्लंजर को कार्यखण्ड के सम्पर्क में लाने पर होने वाले विस्थापन (displacement) को दिखाने के लिये बहुत ही उच्च सुग्राही (high sensitive) की सूचक इकाई (indicating unit) एवं आवर्धन युक्ति (magnification device) लगी रहती है जो उस विस्थापन को कई गुना तक आवर्धित (magnify) करके पाठ्यांक लेने या माप की तुलना करने में सहायक होती है। एक सामान्य तुलनित्र की संरचना को चित्र (104) में दिखाया गया है।

2.43 मापन शीर्ष के गुण (Qualities of Measuring Head)

एक अच्छे मापन शीर्ष में निम्न गुण होने चाहियें—

(i) इसके पैमाने पर टॉलरेन्स (tolerance) की उच्च एवं निम्न सीमा के चिन्ह होने चाहिए।

(ii) मापने के लिये लगाया गया बल 100 gram से लेकर 300 gram तक ही होना चाहिए ताकि यंत्र की टिप (tip) खराब न हो तथा कार्यखण्ड पर खरोंच भी न पड़े।

(iii) सुग्राहिता के लिये इसमें प्लंजर लीवर लगा होना चाहिए।

(iv) इसका डिजाइन इस प्रकार होना चाहिए कि पैमाने पर माप के परास से अधिक विस्थापन होने पर यन्त्र को किसी प्रकार की क्षति नहीं होनी चाहिए।

(v) मापन शीर्ष की प्रथम सेटिंग के बाद सूचक को पैमाने के शून्य से मिलाने का भी प्रबन्ध होना चाहिए।

2.44 तुलनित्रों का वर्गीकरण (Classification of Comparators)

मापी जाने वाली विमाओं के सापेक्ष सूचक इकाई का आवर्धन करने के लिये प्रयोग में आने वाले सिद्धान्तों के आधार पर तुलनित्रों को निम्न वर्गों में बाँटा जा सकता है—

(i) यान्त्रिक तुलनित्र (Mechanical Comparator)
(ii) प्रकाशीय तुलनित्र (Optical Comparator)
(iii) विद्युतीय तुलनित्र (Electrical Comparator)
(iv) इलेक्ट्रॉनिक तुलनित्र (Electronic Comparator)
(v) द्रव विस्थापन तुलनित्र (Fluid Displacement Comparator)
(vi) वायवीय तुलनित्र (Pneumatic Comparator)
(vii) प्रोजेक्शन तुलनित्र (Projection Comparator)
(viii) स्वचालित गेजिंग तुलनित्र (Automatic Gauging Comparator)

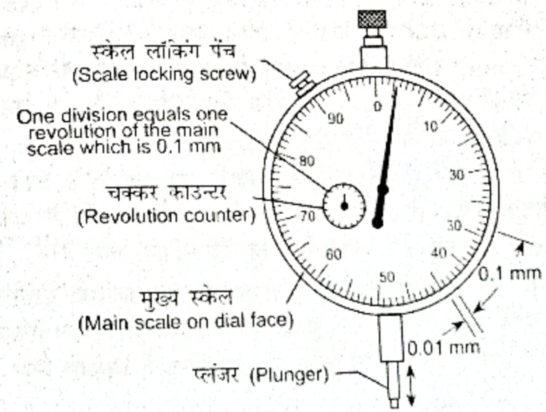
2.45 यान्त्रिक तुलनित्र (Mechanical Comparator)

यान्त्रिक तुलनित्र में आवर्धित पाठ्यांक (magnified reading) प्राप्त करने के लिये यान्त्रिक विधियों का प्रयोग किया जाता है; जैसे—लीवर (lever), गियर (gear), कड़ी (link), पिनियन (pinion) इत्यादि। इसको बनाने में उच्च गुणवत्ता एवं यथार्थता (high quality and accuracy) की आवश्यकता होती है। इसके द्वारा 250 से 1000 गुना तक आवर्धन किया जा सकता है। इस श्रेणी में निम्न तुलनित्र आते हैं—

(i) डायल गेज (Dial Gauge)
(ii) सिग्मा तुलनित्र (Sigma Comparator)
(iii) माइक्रोकेटर तुलनित्र (Microkator Comparator)
(iv) रीड टाइप यान्त्रिक तुलनित्र (Reed Type Mechnical Comparator)

2.45.1 डायल गेज (Dial Gauge)

यान्त्रिक तुलनित्र में डायल गेज एक महत्त्वपूर्ण यन्त्र है। ये इस सिद्धान्त पर काम करते हैं कि सम्पर्क बिन्दु पर प्राप्त सूक्ष्म से सूक्ष्म विस्थापन को प्लंजर के द्वारा इससे सम्बद्ध गियर यन्त्रावली (gear mechanism) से इस प्रकार आवर्धित किया जाता है कि डायल के फेस (face) पर सूचक द्वारा सीधे ही पाठ्यांक प्राप्त हो जाता है। निम्न चित्र 105 में प्लंजर टाइप डायल गेज इन्डिकेटर (plunger type dial gauge indicator) को दर्शाया गया है।



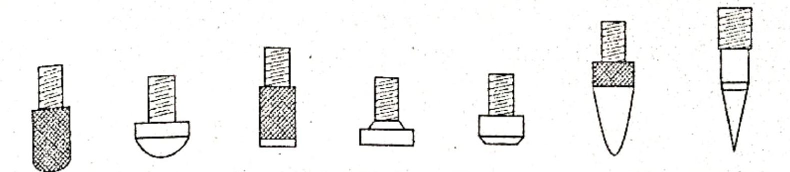
चित्र 105 : प्लंजर टाइप डायल गेज

उपरोक्त चित्र में दिखाये गये डायल गेज का मुख्य पैमाना (main scale) प्लंजर के 0·01 मिमी॰ चाल के संगत समान भागों में अंशांकित रहता है। इसके मुख्य डायल पर एक छोटा डायल लगा होता है जो मुख्य डायल पर लगे सूचक के चक्करों की संख्या को बताता है। छोटे डायल को चक्कर काउंटर (revolution counter) भी कहा जाता है। प्लंजर के 1 मिमी॰ का विस्थापन सूचक के एक चक्कर के बराबर होता है। सामान्य डायल गेज का अल्पतमांक (least count) 0·01 मिमी होता है।

डायल गेज के अंशांकित डायल को किसी भी स्थिति में घुमाकर सूचक को शून्य (zero) पर सेट किया जा सकता है। सेट करने के बाद स्केल लॉकिंग स्क्रू (scale locking screw) द्वारा डायल को लॉक (lock) किया जा सकता है।

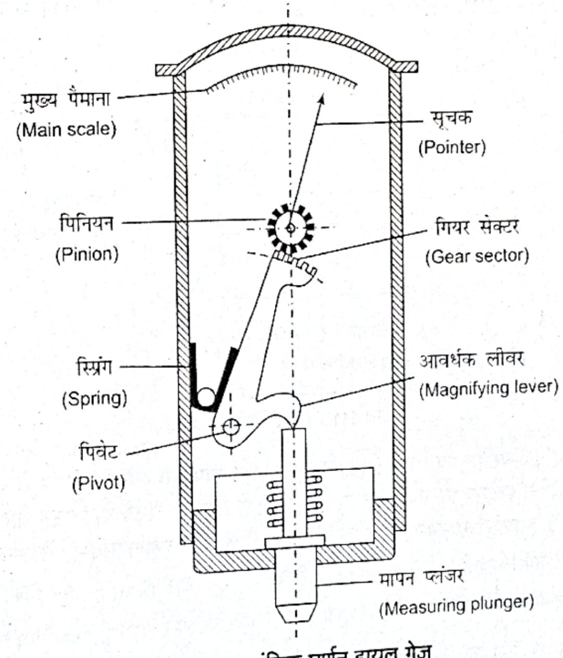
डायल गेज यन्त्रावली (Dial Gauge Mechanism) को चित्र 106 में दर्शाया गया है।

विभिन्न प्रकार के मापन कार्य के लिये अलग-अलग तरह के सम्पर्क बिन्दु (contact point) भी लगाये जाते हैं। ये सम्पर्क बिन्दु अटैचमेन्ट कठोर स्टील (hard steel) के बनाये जाते हैं। ये सम्पर्क बिन्दु अटैचमेन्ट (attachment) प्लंजर पर लगाये जाते हैं। विभिन्न प्रकार के सम्पर्क बिन्दु अटैचमेन्ट को निम्न चित्र 108 में दर्शाया गया है।



चित्र 108 : विभिन्न प्रकार के सम्पर्क बिन्दु

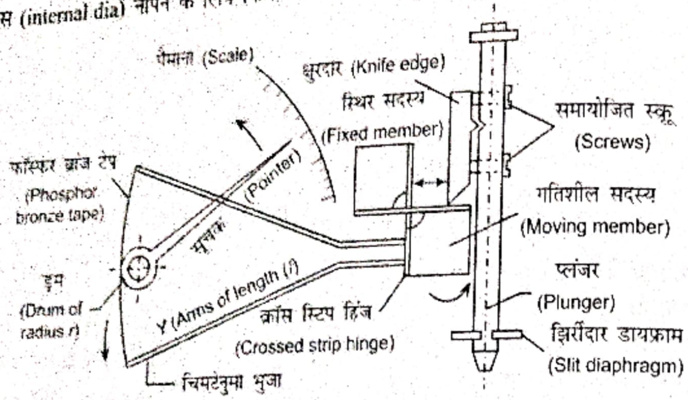
निम्न चित्र 109 में दिखाये गये विशेष प्रकार के डायल गेज को आंशिक घूर्णन डायल गेज (Part revolution dial gauge) कहा जाता है। इस डायल गेज में प्लंजर के विस्थापन को आवर्धित करने के लिये रैक और पिनियन (rack and pinion) यन्त्रावली की जगह एक आवर्धक लीवर (magnifying lever) एक पिवेट (pivot) द्वारा लगा होता है। आवर्धक लीवर पिवट पर घूमता है। आवर्धक लीवर के दूसरे सिरे पर एक बड़ा दाँतेदार सेक्टर (teethened sector) बना होता है जिसे गियर सेक्टर (gear sector) कहते हैं। यह गियर सेक्टर एक पिनियन से सम्बद्ध (contact) होकर पिनियन को घुमाता है। इसी पिनियन पर सूचक (pointer) लगा होता है। इस प्रकार प्लंजर द्वारा प्रेषित विस्थापन को गियर सेक्टर एवं पिनियन द्वारा आवर्धित होकर सूचक द्वारा दर्शाया जाता है।



चित्र 109 : आंशिक घूर्णन डायल गेज

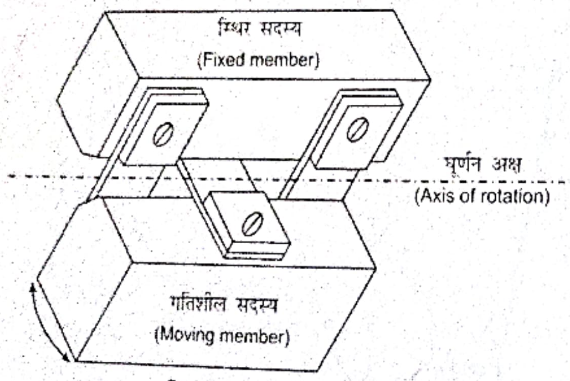
2.45.2 सिग्मा तुलनित्र (Sigma Comparator)

सिग्मा तुलनित्र, यांत्रिक प्रकार का एक तुलनित्र है जिसको निम्न चित्र 110 में दिखाया गया है। इस तुलनित्र का उपयोग विशेष प्रकार के डिजाइन किये गये सम्पर्क (contacts) एवं अटैचमेन्ट (attachment) द्वारा पेंच चूड़ी (screw thread) के आन्तरिक व्यास (internal dia) नापने के लिये किया जा सकता है।



चित्र 110 : सिग्मा तुलनित्र

इस तुलनित्र में घर्षण रहित रेखीय गति करने के लिये प्लंजर, विशेष तरह के झिर्रीदार डायफ्राम के जोड़े (pair of slit diaphragm) एवं क्रॉस स्ट्रिप हिंज (cross strip hinge) के फलक पर टिका रहता है। यहाँ क्रॉस स्ट्रिप हिंज गतिशील सदस्य (moving memeber) के रूप में कार्य करता है। क्रॉस स्ट्रिप हिंज को अलग से चित्र 111 में दिखाया गया है।



चित्र 111 : क्रॉस स्ट्रिप हिंज

गतिशील सदस्य एवं एक स्थिर सदस्य (fixed member) जो कि आपस में लम्बवत् स्ट्रिप से जुड़े होते हैं, से क्रॉस स्ट्रिप हिंज बना होता है। जब गतिशील सदस्य पर कोई बल लगाया जाता है तब यह स्ट्रिप के काटने वाली रेखा के क्रॉस हिंज पर कीलित (pivoted) रहता है। इसकी चिमटेनुमा Y-आकार की एक भुजा गतिशील सदस्य से आबद्ध रहती है।

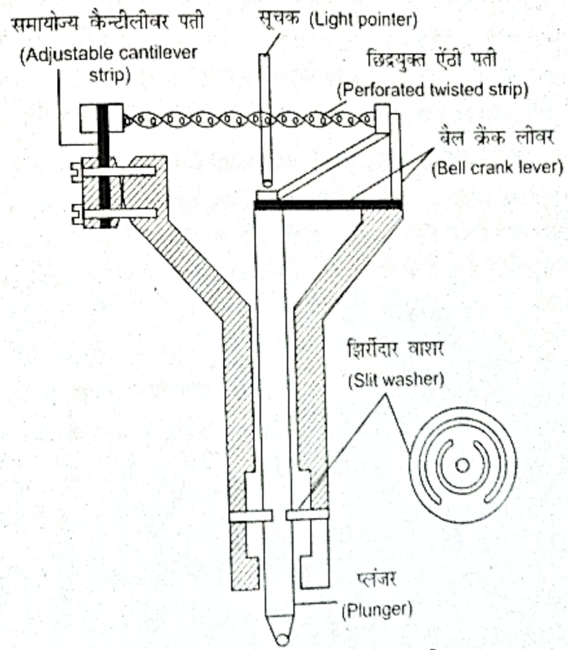
इस प्रकार माना भुजा की लम्बाई l है तथा हिंज के पिवट से छुर धार (knife edge) की दूरी a है। तब आवर्धन (magnification) की प्रथम स्टेज $\frac{l}{a}$ होगी। चिमटेनुमा भुजा के सिरे एक फॉस्फर ब्रांज (phosphor bronze) की बैंड (band) या स्ट्रिप होती है जो सूचक के स्पिंडल (spindle) के ड्रम से सम्पर्क में रहकर जुड़ी रहती है।

यदि ड्रम की त्रिज्या r हो, एवं सूचक की लम्बाई R हो, तब आवर्धन की दूसरी स्टेज $\frac{R}{r}$ होगी। इस प्रकार सिग्मा तुलनित्र का कुल आवर्धन $M = \frac{l}{a} \times \frac{R}{r}$ होगा।

प्लंजर के छुर धार पर लगे एक स्क्रू को ढीला करके एवं दूसरे स्क्रू को कस करके 'a' की दूरी को आवश्यकतानुसार बदला जा सकता है। इस यंत्र का सूचक बड़ा होने के कारण पाठ्यांक (reading) लेने में आसानी रहती है। इस यंत्र का आवर्धन काफी अधिक यानी 300 से 5000 गुना तक होता है। इस यंत्र में गतिशील पार्ट्स ज्यादा होते हैं जिससे इस यंत्र के पार्ट्स में घर्षण ज्यादा होता है जिस कारण यह कम सुग्राही (sensitive) होता है। इनके गतिशील अंगों में घिसाव भी अधिक होता है।

2.45.3 माइक्रोकेटर तुलनित्र (Microkator Comparator)

इस तुलनित्र को सी०एफ०जॉनसन (C.F. Johnssen) नामक वैज्ञानिक ने बनाया था इसलिए इसको जॉनसेन माइक्रोकेटर तुलनित्र (Johnssen Microkator Comparator) के नाम से भी जाना जाता है। यह तुलनित्र ऐंठी हुई पत्ती (twisted strip) से आवर्धन प्राप्त करने के सिद्धान्त पर कार्य करता है। इस प्रकार इससे प्लंजर पर प्राप्त रेखीय विस्थापन को ऐंठी हुई पत्ती की सहायता से सूचक पर घूर्णन विस्थापन प्राप्त कर पाठ्यांक लिया जाता है। चित्र 112 में जॉनसन माइक्रोकेटर तुलनित्र को दिखाया गया है।



चित्र 112 : जॉनसेन माइक्रोकेटर तुलनित्र

इस तुलनित्र में धातु की एक हल्की एवं पतली पत्ती होती है। यह पतली पत्ती अपने केन्द्र से दोनों तरफ विपरीत दिशाओं में ऐंठी (twisted) होती है। इसके केन्द्र पर पतले काँच (thin glass) का एक सूचक (pointer) लगा होता है। जब पत्ती पर थोड़ा-सा भी खिंचाव होता है तब इसका केन्द्र घूमने लगता है। ऐंठी पत्ती का एक सिरा समायोज्य कैन्टीलीवर पत्ती (adjustable cantilever strip) से जुड़ा रहता है जबकि पत्ती का दूसरा सिरा एक तिकोनी स्प्रिंग बेल क्रैंक लीवर (Bell crank lever) से जुड़ा रहता है। बेल क्रैंक लीवर के नीचे वाली भुजा से मापन प्लंजर लगा रहता है। जब प्लंजर पर कोई बल लगता है अथवा प्लंजर ऊपर या नीचे विस्थापित होता है तब बेल क्रैंक लीवर पत्ती की लम्बाई को परिवर्तित कर देता है। पत्ती

की लम्बाई में परिवर्तन के कारण पत्ती और अधिक ऐंठती है या खुलती है। फलस्वरूप पत्ती के केन्द्र पर लगा सूचक (pointer), पत्ती की लम्बाई में होने वाले परिवर्तन के समानुपाती एवं प्लंजर के विस्थापन के समानुपाती घूमता है। इस प्रकार केन्टीलीवर पत्ती के लम्बाई को समायोजित (adjust) करके तुलनित्र के आवर्धन (magnification) को भी समायोजित किया जा सकता है। इस तुलनित्र का आवर्धन, सूचक के कोणीय विस्थापन तथा पत्ती की लम्बाई में हुये परिवर्तन के अनुपात के बराबर होता है।

इस प्रकार माइक्रोकेटर तुलनित्र का आवर्धन

$$\frac{d\theta}{dl} \propto \frac{l}{w^2 n}$$

जहाँ $d\theta$ = सिरे के सापेक्ष पत्ती के मध्य बिन्दु की ऐंठन

dl = पत्ती की लम्बाई में परिवर्तन

l = पत्ती की उदासीन अक्ष पर लम्बाई

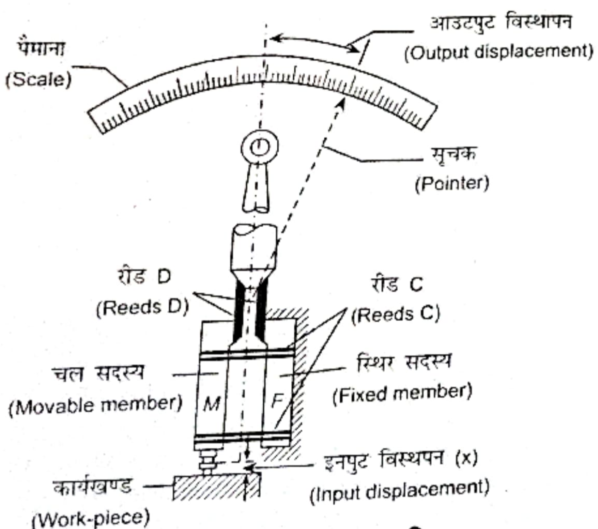
w = पत्ती की चौड़ाई

n = पत्ती के ऐंठनों की संख्या

इसलिये यन्त्र का आवर्धन बढ़ाने के लिये पत्ती की चौड़ाई को कम रखा जाता है। इसके अतिरिक्त पत्ती के मध्य बिन्दु पर प्रतिबलों को कम करने के लिये पत्ती को छिद्र युक्त बनाया जाता है। प्लंजर को नीचे की ओर सहारा देने के लिये एक झिल्लेदार वॉशर प्रयोग किया जाता है। इस तुलनित्र में यान्त्रिक घिसाव बहुत कम होता है जिस कारण इससे 5000 गुना तक आवर्धन प्राप्त किया जा सकता है। इसके पैमाने (scale) के एक भाग का मान 0·0002 mm तक होता है।

2.45.4 रीड टाइप यान्त्रिक तुलनित्र (Reed Type Mechanical Comparator)

यह यान्त्रिक तुलनित्र का एक प्रकार है। इसमें आवर्धन के लिये एक यान्त्रिक आवर्धक (Mechanical Magnifier) का प्रयोग किया जाता है। रीड टाइप यान्त्रिक तुलनित्र का मापन शीर्ष उच्च गुणवत्ता वाला बेहद सुग्राही डायल होता है। यह स्पिंडल के बहुत ही कम विस्थापन को आवर्धित करने वाली घर्षणहीन (frictionless) युक्ति (device) होती है। इस तुलनित्र को चित्र 113 में दिखाया गया है।



चित्र 113 : रीड टाइप यान्त्रिक तुलनित्र

इस तुलनित्र में एक सेंसिंग प्रोब (Sensing probe) स्पिण्डल होता है जो चल सदस्य (movable member) से लगा रहता है। चल सदस्य M एक स्थिर सदस्य (fixed member) F के सापेक्ष होने वाले इनपुट विस्थापन (input displacement) x के प्रसार से चलता है। स्थिर सदस्य F की तरफ गति करने के लिये, चल सदस्य M, रीड C द्वारा निरुद्ध रहता है, रीड C से रीड D लगा रहता है जिस पर सूचक (pointer) लगा रहता है। सेंसिंग प्रोब स्पिंडल द्वारा x इनपुट विस्थापन होने पर सूचक द्वारा गोलीय पैमाने पर आवर्धित होने के बाद आउटपुट विस्थापन 'X' प्राप्त होता है। गोलीय पैमाना स्लिप गेज (slip gauge) की सहायता से अंशांकित (calibrate) रहता है जो कि स्थिर सदस्य एवं चल सदस्य के बीच हुये विस्थापन के परिवर्तन को दिखाता है।

इस तुलनित्र द्वारा 0·00025 मिमी०/स्केल अंश की शुद्धता तक मापा जा सकता है। इस यंत्र से यांत्रिक आवर्धन 100 गुना तक प्राप्त हो सकता है। परन्तु प्रकाशीय लेंस (optical lens) अटैचमेंट (attachment) द्वारा इस यंत्र से 500 से लेकर 1000 गुना तक आवर्धन प्राप्त किया जा सकता है।

2.45.5 यान्त्रिक तुलनित्र के लाभ व हानियाँ (Advantages and Disadvantages of Mechanical Comparator)

लाभ (Advantages)

(i) ये आवर्धन की अन्य युक्तियों से सस्ते होते हैं।

(ii) इनका रेखीय पैमाना (linear scale) इन्हें सुगम एवं आसान बनाता है।

(iii) इन्हें चलाने के लिये किसी प्रकार की बाह्य विद्युत ऊर्जा की आवश्यकता नहीं होती है।

(iv) इन्हें आसानी से एक स्थान से दूसरे स्थान पर ले जाया जा सकता है।

(v) इन्हें आसानी से रिपेयर (repair) किया जा सकता है।

हानियाँ (Disadvantages)

(i) इन यन्त्रों का परास (range) सीमित होता है।

(ii) किसी पार्ट्स (parts) के ढीले (slack) हो जाने पर यन्त्र कम्पनों के प्रति अधिक संवेदनशील हो जाते हैं।

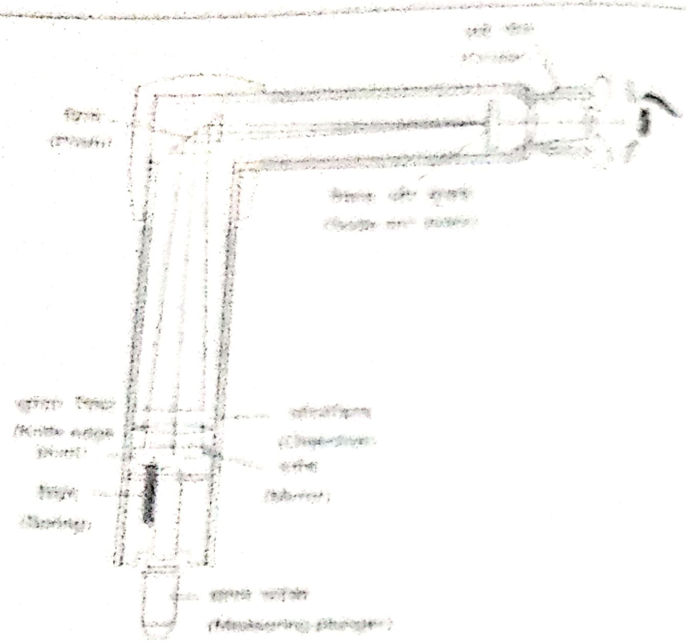
(iii) लम्बन त्रुटि की संभावना इन यंत्रों में बनी रहती है।

(iv) जड़त्व अधिक होने के कारण भी यह यन्त्र कम्पनों के प्रति अधिक संवेदनशील हो जाते हैं।

(v) इन यन्त्रों में चलायमान पुर्जे (moving parts) अधिक होने के कारण इनमें घर्षण अधिक होता है जिस कारण इनकी यथार्थता प्रभावित होती है।

2.46. प्रकाशीय तुलनित्र (Optical Comparator)

प्रकाशीय विधि से आवर्धन प्राप्त करने के सिद्धान्त के अनुसार प्रकाशीय तुलनित्र, दर्पण पर प्रकाश के परावर्तन के सिद्धान्त पर कार्य करते हैं। इसके अनुसार यदि दर्पण को किसी कोण पर घुमाया जाता है, तो दर्पण से परावर्तित किरणें, दुगुने कोण से विक्षेपित होती हैं। चित्र 114 में सामान्य प्रकाशीय तुलनित्र को दिखाया गया है।



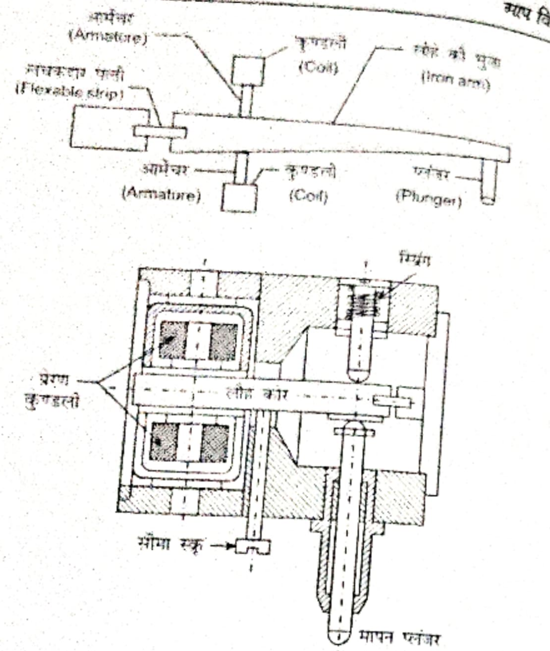
चित्र 114 : प्रकाशीय तुलनित्र (Optical Comparator)

इस तुलनित्र को ज़ीस ऑप्टिमीटर (Zeiss Optimeter) भी कहा जाता है। इस तुलनित्र में मापन प्लंजर का ऊपरी [illegible] छुरधार (knife edge) पर पिवोटित (pivoted) दर्पण से रहता है। दर्पण से प्लंजर इस प्रकार सम्पर्क में रहता है कि प्लंजर के ऊपर की ओर थोड़े से उर्ध्वाधर विस्थापन होने से दर्पण तिरछा (tilt) हो जाता है। दर्पण को अपनी पूर्व स्थिति में लाने के लिये एक स्प्रिंग की व्यवस्था बनी रहती है। दर्पण के ऊपर की ओर, एक ऑब्जेक्टिव प्रिज्म (objective prism) तथा आई-पीस (eye-piece) की भी व्यवस्था बनी रहती है। इस आई-पीस के सामने की ओर उसके फोकल प्लेन (focal plane) पर एक पैमाना (scale) लगा रहता है। लेन्सों को इस प्रकार फिट किया जाता है कि पैमाने का प्रतिबिम्ब उसी फोकल प्लेन पर बने। फोकल प्लेन पर ही एक सन्दर्भ रेखा (reference line) होती है।

प्रकाश के परावर्तन के नियम के आधार पर जब प्लंजर में विस्थापन शून्य (zero) होता है तब दर्पण अपनी [illegible] में रहता है। ऐसी स्थिति में कोई प्रकाश पुंज (light beam) डालने से, वह दर्पण से परावर्तित होकर उसी मार्ग से वापस आ जायेगा तथा पैमाने का प्रतिबिम्ब (image) सन्दर्भ रेखा पर ही बनेगा तथा आई-पीस से देखने पर प्रतिबिम्ब उसके फोकल [illegible] पर ही दिखाई देगा।

इस प्रकार जब प्लंजर को कार्यखण्ड पर रखा जाता है तब प्लंजर में ऊपर की तरफ विस्थापन होता है जिस कारण [illegible] एक तरफ झुक जाता है फलस्वरूप प्रकाश पुंज झुके दर्पण से परावर्तित होकर पैमाने का प्रतिबिम्ब सन्दर्भ रेखा से [illegible] बनाता है। प्लंजर के विस्थापन को, सन्दर्भ रेखा से प्रतिबिम्ब की सापेक्ष दूरी द्वारा दर्शाया जाता है। प्रकाशीय तुलनित्र का [illegible] आवर्धन (overall magnification) M हो तो—

$$M = \frac{2f}{D} \times \text{आई-पीस का आवर्धन}$$

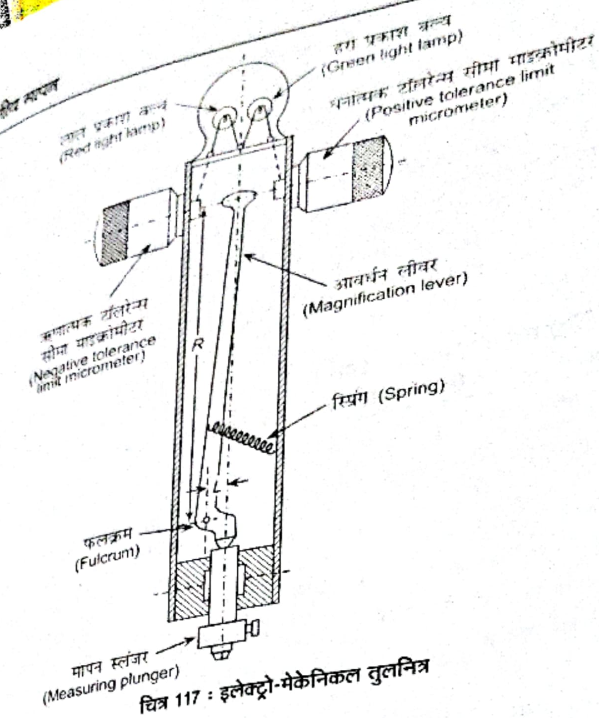


चित्र 116 : इलेक्ट्रो-लिमिट तुलनित्र

उपरोक्त चित्र 116 के अनुसार मापन शीर्ष में लगी कुण्डलियों (coils) के जोड़े से प्रेरकत्व का एक जोड़ा (pair) बनता है। कुण्डलियों के बीच में लोहे की एक कोर (iron core) लगी होती है। लौह कोर का एक सिरा मापन प्लंजर पर टिका रहता है। जब लौह कोर कुण्डलियों के बिल्कुल बीच में रहता है तब ब्रिज का परिपथ संतुलन में होता है और गैलवेनोमीटर का पाठ्यांक शून्य होता है। जब प्लंजर ऊपर उठता है तब वह एक आर्मेचर को ऊपर उठाता है। फलस्वरूप ब्रिज की एक भुजा कुण्डली के थोड़े से परिवर्तन में, संगत प्रेरकत्व परिवर्तित हो जाता है और ब्रिज असंतुलन में आ जाता है जिससे गैलवेनोमीटर में धारा प्रवाहित होने लगती है जो मापन प्लंजर के विस्थापन के सीधे समानुपाती होती है। इस यन्त्र का आवर्धन 1000 से 30,000 तक होता है। आवर्धन को अलग-अलग स्विच द्वारा प्राप्त किया जा सकता है।

2.47.2 इलेक्ट्रो-मैकेनिकल तुलनित्र (Electro-mechanical Comparator)

इस तुलनित्र में विद्युत परिपथ के साथ-साथ यान्त्रिक यन्त्रावली भी लगी होती है। इसलिए यह इलेक्ट्रो-मैकेनिकल तुलनित्र (Electro-mechanical Comparator) कहलाता है। इस तुलनित्र में मापन प्लंजर (measuring plunger) यान्त्रिक यन्त्रावली (mechanical mechanism) के सम्पर्क से उठता व गिरता है और दो विद्युत परिपथ (electrical circuits) में से एक से जुड़ जाता है और दूसरे परिपथ से अलग (detached) हो जाता है। इस प्रकार होने वाली यह क्रिया प्रकाश के अलग-अलग रंगों से, जिसे प्रकाश लैम्प कहते हैं से प्रदर्शित होती है। चित्र 117 में एक इलेक्ट्रो-मैकेनिकल तुलनित्र को दिखाया गया है।



चित्र 117 : इलेक्ट्रो-मैकेनिकल तुलनित्र

इलेक्ट्रो-मैकेनिकल तुलनित्र के मुख्य पार्ट्स निम्न हैं—

(1) मापन प्लंजर (Measuring Plunger)
(2) आवर्धन लीवर (Magnification Lever)
(3) धनात्मक टॉलरेन्स सीमा माइक्रोमीटर (Positive tolerance limit Micrometer)
(4) ऋणात्मक टॉलरेन्स सीमा माइक्रोमीटर (Negative tolerance limit Micrometer)
(5) लाल प्रकाश लैम्प (Red Light Lamp)
(6) हरा प्रकाश लैम्प (Green Light Lamp)
(7) फलक्रम (Fulcrum)

इस तुलनित्र में एक मापन प्लंजर लगा होता है। मापन प्लंजर अपने इनपुट विस्थापन से आवर्धन लीवर को उसके फलक्रम (fulcrum) पर घुमाता है। जब प्लंजर ऊपर की तरफ विस्थापित होता है तब लीवर का ऊपरी सिरा बाँयी ओर (left side) चलता है ठीक इसी प्रकार जब प्लंजर नीचे की तरफ विस्थापित होता है तब लीवर का ऊपरी सिरा दाहिनी तरफ (right side) चलता है। एक ट्यूब के आकार की आवरण (casing) में यह व्यवस्था बन्द रहती है। लीवर के ऊपरी सिरे के दाहिनी तरफ धनात्मक टॉलरेन्स सीमा माइक्रोमीटर लगा होता है तथा लीवर के बायीं तरफ ऋणात्मक टॉलरेन्स सीमा माइक्रोमीटर लगा रहता है। इन माइक्रोमीटरों की निहाई (anvil) ट्यूब आवरण के अन्दर की तरह रहती है। इन्हीं दोनों निहाइयों एवं लीवर के बीच दो अलग-अलग विद्युत परिपथ बनते हैं। दाहिनी ओर के परिपथ में हरा प्रकाश लैम्प एवं बायीं ओर के परिपथ में लाल प्रकाश लैम्प लगा रहता है।

जिस कार्यखण्ड का जाँच करना होता है उसे अधिकतम टॉलरेन्स (maximum tolerance) के लिये दायीं ओर वाले माइक्रोमीटर माप की उच्च धनात्मक टॉलरेन्स (High positive tolerance) के लिये सेट किया जाता है। इसके विपरीत न्यूनतम टॉलरेन्स (Minimum tolerance) के लिए बायीं ओर वाले माइक्रोमीटर माप की निम्न ऋणात्मक टॉलरेन्स (low negative tolerance) के लिये सेट किया जाता है।

इस प्रकार जब मापन प्लंजर लीवर के सम्पर्क को दाहिनी तरफ की निहाई से सम्पर्क कराता है तब उस विद्युत परिपथ में लगा हरा बल्ब जल जाता है। उसी प्रकार जब मापन प्लंजर लीवर के सम्पर्क को बायीं तरफ की निहाई से सम्पर्क कराता है तो उस विद्युत परिपथ में लगा लाल बल्ब जल जाता है। हरा बल्ब जलने पर माप, टॉलरेन्स की उच्च सीमा (high limit) से अधिक होता है तथा लाल बल्ब जलने पर माप, टॉलरेन्स की निम्न सीमा (low limit) से कम होता है। जब दोनों बल्ब नहीं जलता है तब मापी जाने वाली माप, उच्च एवं निम्न टॉलरेन्स सीमा के बीच रहता है।

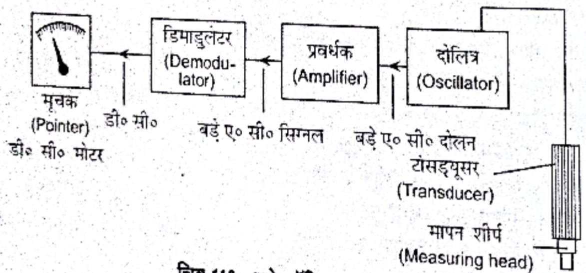
इसमें लगे माइक्रोमीटर पैमाने का एक विभाजन प्लंजर के 0·001 मिमी० विस्थापन को प्रदर्शित करता है। प्रत्येक माइक्रोमीटर का मापन परास ±0·3 मिमी० का होता है।

※ 2.48 यान्त्रिक एवं विद्युत तुलनित्र की तुलना
(Comparison between Mechanical and Electrical Comparators)

	यान्त्रिक तुलनित्र	विद्युत तुलनित्र
1.	इनमें घर्षण और घिसाव अधिक होने के कारण यथार्थता कम होती है।	इनमें घर्षण और घिसाव के कम होने के कारण यथार्थता अधिक होती है।
2.	ये यन्त्र हल्के, उठाने में आसान तथा सस्ते होते हैं। इन्हें आसानी से एक स्थान से दूसरे स्थान ले जाया जा सकता है।	चूंकि ये यन्त्र विद्युत ऊर्जा से काम करते हैं इसलिए इन्हें एक स्थान से दूसरे स्थान पर ले जाना आसान नहीं होता है।
3.	स्थिर स्केल के कारण परास अपरिवर्तित रहता है।	इनका परास बड़ा होता है।
4.	जड़त्व के कारण ये यन्त्र कम्पनों के प्रति संवेदनशील होते हैं।	सूचक के हल्के होने के कारण कम्पनों के प्रति असंवेदनशील होते हैं।
5.	इनमें चल पुर्जों (moving parts) की संख्या अधिक होती है।	इनमें चल पुर्जों की संख्या कम होती हैं।
6.	इन्हें विद्युत ऊर्जा की आवश्यकता नहीं होती है, इसलिए ये वोल्टेज, आवृत्ति के परिवर्तन से अप्रभावित रहते हैं।	ये विद्युत ऊर्जा के द्वारा ही संचालित होते हैं इसलिए वोल्टेज, आवृत्ति के परिवर्तन से प्रभावित हो जाते हैं।

2.49 इलेक्ट्रॉनिक तुलनित्र (Electronic Comparator)

इन तुलनित्र में इलेक्ट्रॉनिक अवयवों (electronic components) का प्रयोग किया जाता है। निम्न चित्र 118 में इलेक्ट्रॉनिक तुलनित्र का रेखाचित्र दिखाया गया है।



चित्र 118 : इलेक्ट्रॉनिक तुलनित्र

इस तुलनित्र के मुख्य अंग (main components) निम्न हैं—

(i) मापन शीर्ष (Measuring Head)
(ii) दोलित्र (Oscillator)
(iii) एम्प्लीफायर (Amplifier)
(iv) प्रेरकत्व ट्रांसड्यूसर (Inductance Transducer)
(v) डिमॉड्यूलेटर (Demodulator)
(vi) सूचक युक्ति (Indicating Device)

जैसा कि चित्र-118 के रेखाचित्र से स्पष्ट है इसके मापन शीर्ष में एक प्रेरकत्व ट्रांसड्यूसर लगा रहता है। एक विशेष प्रकार के दोलित्र (oscillator) से निर्धारित आवृत्ति (frequency) के A.C. दोलन उत्पन्न होते हैं। माप लेते समय, जब मापन शीर्ष ऊपर या नीचे विस्थापित होता है तो ट्रांसड्यूसर भी ऊपर या नीचे विस्थापित होता है, जिस कारण उसका प्रेरकत्व बदलता है। प्रेरकत्व बदलने से दोलनों की आवृत्ति भी बदलती है। दोलनों की आवृत्ति को प्रवर्धक (amplifier) में एम्प्लीफाई (amplify) करने के बाद डिमॉड्यूलेटर (demodulator) द्वारा संगत (relative) D.C. में परिवर्तित कर लिया जाता है जिसको एक D.C. मीटर द्वारा माप लिया जाता है। D.C. मीटर में लगा डायल सीधे लम्बाई के लिये अंशांकित (calibrated) रहता है।

इस प्रकार D.C. मीटर द्वारा प्रदर्शित विक्षेप, ट्रांसड्यूसर के विस्थापन का समानुपाती होता है।

इलेक्ट्रॉनिक तुलनित्र का उपयोग चौरसपन परीक्षण (flatness testing), मोटाई मापन, बाह्य एवं भीतरी मापन आदि के लिये होता है इसके लिये मापन शीर्ष पर विभिन्न प्रकार के एडैप्टर (adapter) लगाये जाते हैं।

उच्च आवृत्ति पर यह तुलनित्र अधिक सुग्राही (sensitive) होते हैं। आवृत्ति में परिवर्तन करके इस तुलनित्र की सुग्राहिता (sensitivity) को बदला जा सकता है।

2.49.1 इलेक्ट्रॉनिक तुलनित्र के लाभ एवं हानियाँ
(Advantages and Disadvantages of Electronic Comparator)

लाभ (Advantages)

(i) इस यंत्र से अनेक आवर्धन प्राप्त किये जा सकते हैं।
(ii) कम गतिशील अंगों के कारण इस यंत्र से उच्च आवर्धन प्राप्त किया जा सकता है।
(iii) इसके मापन यूनिट को छोटा बनाया जा सकता है।
(iv) इसका सूचक काफी हल्का होता है तथा उसमें कम्पन न होने के कारण यथार्थता ज्यादा होती है।
(v) इसके मापन युक्ति को सूचक इकाई से काफी दूर भी लगाया जा सकता है।

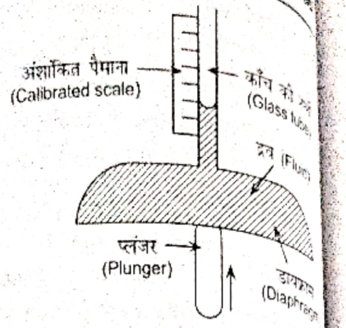
हानियाँ (Disadvantages)

(i) अन्य तुलनित्र की अपेक्षा ये तुलनित्र महँगे होते हैं।
(ii) लगातार प्रयोग होने पर कुण्डलियों के गर्म होने से अंशांकन (calibration) बदल सकता है।

2.50 द्रव विस्थापन तुलनित्र (Fluid Displacement Comparator)

इस तुलनित्र की कार्य प्रणाली काफी सरल होती है। द्रव विस्थापन तुलनित्र का सरल रूप चित्र 119 में दिखाया गया है।

इस तुलनित्र में एक चेम्बर (chamber) होता है जिसके निचले भाग की तरफ डायफ्राम (diaphragm) लगा होता है। इस यंत्र का आवर्धन डायफ्राम द्वारा विस्थापित द्रव से प्राप्त किया जाता है। डायफ्राम से एक मापन प्लंजर लगा होता है। चित्र के अनुसार चेम्बर/कक्ष से एक कम व्यास वाली काँच की नली जुड़ी रहती है। चैम्बर एवं काँच की नली में कुछ ऊँचाई तक द्रव भरा रहता है। काँच की नली पर अंशांकित पैमाना लगा रहता है। मापन के समय जब मापन प्लंजर विस्थापित होता है तब उससे लगे डायफ्राम के दबने से कक्ष के द्रव पर दाब लगता है और द्रव थोड़ा विस्थापित होकर काँच की नली में ऊपर चढ़ जाता है। काँच की नली में द्रव के तल में परिवर्तन, प्लंजर के विस्थापन के समानुपाती होता है। नली पर लगा पैमाना प्लंजर के विस्थापन से अंशांकित (calibrated) होता है। इस प्रकार काँच की नली में द्रव की ऊँचाई को देखकर प्लंजर के विस्थापन को मापा जाता है।

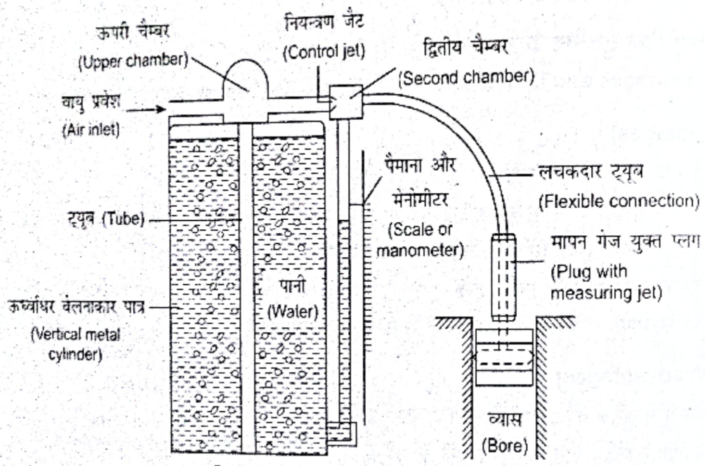


चित्र 119 : द्रव विस्थापन तुलनित्र

2.51 वायवीय तुलनित्र (Pneumatic Comparator)

वायवीय मापन यन्त्र सिद्धान्त के अनुसार मापी जाने वाली सतहों पर वायु के जेट को प्रवाहित किया जाता है। जेटों के ऑरिफिस (orifices), मापन सतह के निकट होती है, परन्तु उनके वास्तविक सम्पर्क में नहीं होती है। माप में परिवर्तन होने से वायु जेट का ओपनिंग (opening) बदलता है और उसी के अनुसार संगत पश्च दाब या पृष्ठ दाब (back pressure) में भी परिवर्तन होता है जिसे मापन के लिये प्रयोग किया जाता है।

इस सिद्धान्त पर आधारित सोलेक्स वायवीय तुलनित्र (Solex pneumatic comparator) को चित्र 120 में दिखाया गया है।



चित्र 120 : सोलेक्स वायवीय तुलनित्र

इस तुलनित्र में एक ऊर्ध्वाधर धातु के सिलिण्डर में निश्चित सीमा तक पानी भरा रहता है। सिलिण्डर के ऊपरी कक्ष से एक ट्यूब नीचे की ओर बेलनाकार पात्र की तली तक आती है। चैम्बर के ऊपरी हिस्से से वायु, स्थिर दाब पर वायु छानक (air filter) तथा दाब मापी (pressure gauge) के माध्यम से चैम्बर में प्रवेश करती है। तत्पश्चात वायु नियन्त्रक ऑरिफिस (controlled orifice) से निकल कर लचकदार ट्यूब (flexible tube) के माध्यम से कार्यखण्ड में आती है।

इस प्रकार वायु छानक एवं दाबमापी के माध्यम से सबसे पहले सम्पीडित वायु नियन्त्रक ऑरिफिस-1 में आती है। इस अवस्था में जेट के पीछे वायु का दाब स्थिर रहता है। यह दाब ऊर्ध्वाधर ट्यूब के नीचे ढकेले गये जल शीर्ष (water head) के बराबर होता है। जल टैंक से अतिरिक्त वायु ट्यूब की तली से बुलबुलों (air bubbles) के रूप में बाहर निकल जाती है।

नियंत्रक जेट या नियंत्रक ऑरिफिस-1 के सापेक्ष मापन गेज युक्त प्लग के ऑरिफिस-2 इस प्रकार के होते हैं कि इन्हें थोड़ा सा भी बन्द कर देने पर ऑरिफिस-2 पर दाब भी बदलता है। फलस्वरूप यंत्र में लगे मैनोमीटर ट्यूब में भी पानी की ऊँचाई बदलती है। इसी मैनोमीटर ट्यूब के साथ अंशांकित पैमाना लगा होता है जो दाब में होने वाले छोटे से छोटे परिवर्तन को भी बताता है।

इस तुलनित्र के मापन की सीमा के अनुसार उसके जेट और मापन प्लग की साइज तथा छिद्र के साइज बनाये जाते हैं। इनका उपयोग समान्तर सतहों के बाह्य मापन के लिये तथा साधारण गेजिंग और मापनिकी के स्थान पर परिमाण उत्पादन में होता है।

2.52 टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप (Tool Maker's Microscope)

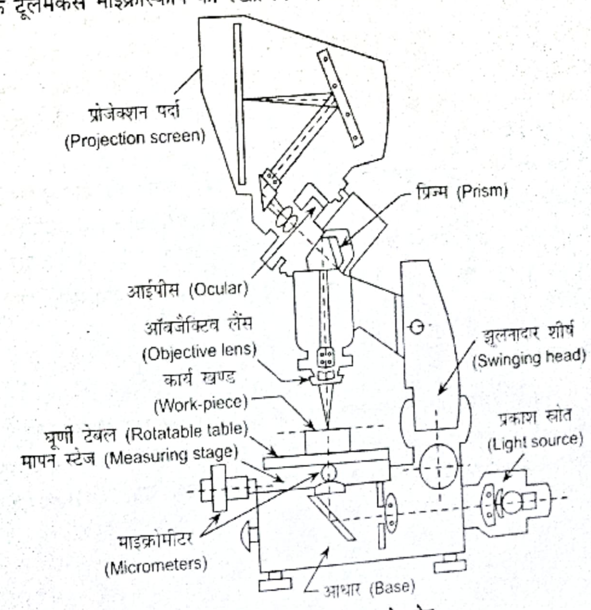
साधारण सूक्ष्मदर्शी, आवर्धक लेंस (Magnifying lens) के सिद्धान्त पर कार्य करता है जो सूक्ष्म वस्तु या माप को कई गुणा बड़ा करके दिखाता है। इस प्रकार मापन सूक्ष्मदर्शी कई प्रकार के होते हैं जो निम्न हैं—

(i) माइक्रोमीटर सूक्ष्मदर्शी (Micrometer Microscope)
(ii) टूलमेकर्स सूक्ष्मदर्शी (Toolmaker's Microscope)
(iii) कार्यशाला सूक्ष्मदर्शी (Workshop Microscope)
(iv) यूनिवर्सल सूक्ष्मदर्शी (Universal Microscope)

पाठ्यक्रम (syllabus) के अनुसार यहाँ सिर्फ **टूलमेकर्स माइक्रोस्कोप** का विवरण दिया जा रहा है।

टूलमेकर्स माइक्रोस्कोप (Toolmaker's Microscope)—टूलमेकर्स माइक्रोस्कोप प्रकाशीय सिद्धान्त पर कार्य करने वाला एक प्रकाशीय मापन मशीन (optical measuring machine) है। इसके द्वारा बाह्य लम्बाई, आन्तरिक लम्बाई, स्क्रू थ्रेड (screw threads), वक्रता (curvature), प्रोफाइल्स (profiles) एवं कोणों (angles) का मापन किया जाता है। सभी मापन क्रियाओं को करने के लिये इसके साथ कई अटैचमेंट (attachments) लगाये जाते हैं।

चित्र 121 में एक टूलमेकर्स माइक्रोस्कोप का रेखाचित्र प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 121 : टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप

टूलमेकर्स माइक्रोस्कोप के मुख्य अंग निम्न है—

1. आधार (Base)
2. मापन स्टेज (Measuring Stage)
3. घूर्णी टेबल (Rotatable Table)
4. माइक्रोमीटर (Micrometer)
5. प्रकाश स्रोत (Light source)
6. झूलनादार शीर्ष (Swingable Head)
7. ऑबजेक्टिव लेंस (Objective Lens)
8. आई-पीस या ऑकूलर (Eye-Piece or Ocular)
9. प्रिज्म (Prism)
10. प्रोजेक्शन पर्दा (Projection Screen)

इस यन्त्र में एक भारी मजबूत एवं खोखला आधार (base) होता है जिस पर झूलनादार शीर्ष (swingable head) लगा होता है। आधार के नीचे साइड में प्रकाश स्रोत (light source) लगा होता है। आधार के ऊपर मापन स्टेज (measuring stage) लगा होता है। ये मापन स्टेज बॉल बियरिंगों (ball bearings) पर टिकी हुई होती है जो दो माइक्रोमीटर (micrometers) से संचालित होती है। दोनों माइक्रोमीटर लम्बाई एवं क्रॉस-सेक्शन में आपस में लम्बवत् होते हैं। इस यंत्र के मापन स्टेज के ऊपर एक घूर्णी टेबल (rotatable table) लगा होता है। घूर्णी टेबल पर कार्यखण्ड को रखा जाता है या दो केन्द्रों के बीच पकड़ा जाता है। घूर्णी टेबल के साथ एक वर्नियर प्रोटेक्टर (Vernier protector) लगा होता है जो घूर्णी टेबल के कोणीय रोटेशन को 3′ की शुद्धता तक पढ़ सकता है। यह घूर्णी टेबल 360° तक घूम सकती है।

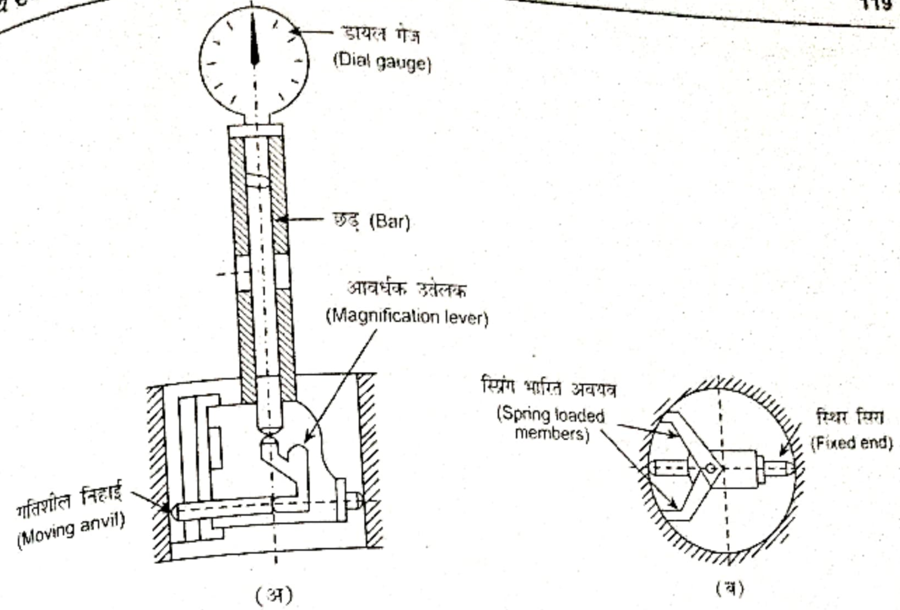
जिस कार्यखण्ड को मापना होता है उसे घूर्णी टेबल पर रखा जाता है। कार्यखण्ड को रखने के बाद आधार के नीचे साइड से प्रकाश तन्त्र द्वारा प्रकाशमान किया जाता है। प्रकाशमान करने के लिये प्रकाश स्रोत से क्षैतिज प्रकाश पुंज निकलकर एक दर्पण द्वारा 90° पर परावर्तित हो जाती है। परावर्तन के पश्चात् प्रकाश पुंज पारदर्शी काँच की घूर्णी प्लेट से होकर जाती है और कार्यखण्ड को प्रकाशमान करती है। इस तरह कार्यखण्ड का बनने वाले छाया बिम्ब या कंटूर (contour) प्रकाशीय शीर्ष के ऑब्जेक्टिव (objective) से होकर तीन प्रिज्म विधि से ऑकूलर अथवा आई-पीस तथा प्रोजेक्शन स्क्रीन पर प्रक्षेपित (projected) किया जाता है। आई-पीस में एक प्रकाशमान गोल पैमाना लगा होता है जिससे 1′ शुद्धता तक मान (reading/value) लिया जा सकता है।

स्क्रीन पर कन्टूर का स्पष्ट चित्र प्राप्त करने के लिये प्रकाशीय शीर्ष के ट्यूब को फोकस करके समायोजित (adjust) किया जा सकता है। विभिन्न तत्वों के मापन के लिये विभिन्न तरह के अंशांकित (calibrated) स्क्रीन का प्रयोग किया जाता है। स्क्रीन पर मानक प्रोफाइल बने होते हैं जिसके द्वारा कार्यखण्ड का छाया बिम्ब प्रक्षेपित करके उससे तुलना की जाती है।

टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप का आवर्धन 10 गुना से लेकर 100 गुना तक होता है। इस माइक्रोमीटर की यथार्थता 0·0025 मिमी० तक होती है।

2.53 छिद्र गेज (Bore Gauge)

जैसा कि नाम से विदित है ये गेज विभिन्न अन्तरालों पर गहरे छिद्रों का आन्तरिक व्यास मापने के काम आते हैं। ये यंत्र आन्तरिक तुलनित्र (internal comparator) की श्रेणी में आते हैं। इसलिये इन्हें सिलिण्डर गेज (cylinder gauge) एवं आन्तरिक तुलनित्र (internal comparator) भी कहा जाता है। चित्र 122 में एक छिद्र गेज (Bore gauge) को दिखाया गया है।



चित्र 122 : छिद्र गेज

इस बोर गेज में दो स्प्रिंग भारित एवं हिंजयुक्त (spring loaded and hinged) अंग (components) होते हैं। इसका एक सिरा स्थिर सिरा (fixed end) तथा दूसरा सिरा चल निहाई (moving anvil) वाला होता है। बोर गेज को मापी जाने छिद्र में चित्र 18 (ब) के अनुसार इस प्रकार लगाया जाता है कि छिद्र के एक ओर बोर गेज का स्थिर सिरा छिद्र के सम्पर्क में रहे तथा दूसरी तरफ चल निहाई वाला सिरा हो तो, निहाई में छिद्र के व्यास के अनुसार क्षैतिज विस्थापन होगा। चल निहाई द्वारा होने वाला यह विस्थापन (displacement) एक आवर्धक लीवर (magnifying lever) के द्वारा ऊर्ध्वाधर विस्थापन (vertical displacement) में रूपान्तरित हो जाता है। यह ऊर्ध्वाधर विस्थापन, बोरगेज को ट्यूब में लगे ऊर्ध्वाधर छड़ के द्वारा यंत्र के ऊपर लगे डायल गेज पर प्रदर्शित होता है। ऊर्ध्वाधर छड़ पर एक चिन्ह लगा होता है जिससे ट्यूब पर खुदे (marked) पैमाने द्वारा चल निहाई के क्षैतिज विस्थापन को पढ़ा जा सकता है। ट्यूब पर खुदा हुआ पैमाना निहाई के क्षैतिज विस्थापन से अंशांकित किया हुआ होता है। ऊर्ध्वाधर छड़ पर लगे चिन्ह को ट्यूब में कटे एक स्लाट (slot) के द्वारा देखा जा सकता है।

अलग-अलग व्यास परास के छिद्रों का आन्तरिक व्यास मापने के लिये भिन्न-भिन्न लम्बाई की प्रसार रॉड (extension rod) का प्रयोग किया जाता है। इस यंत्र का मापन परास (measuring range) 35 मिमी० से 60 मिमी० तक होता है। इस यन्त्र का मापन परास डायल गेज के परास पर निर्भर करता है।

2.54 भौतिक मापन (Physical Measurements)

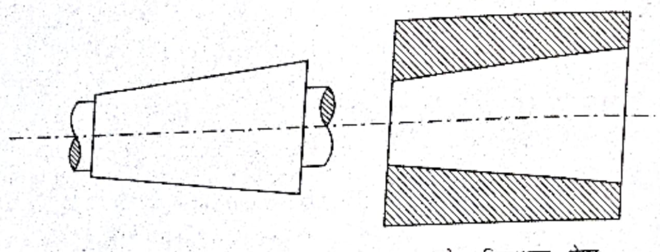
भौतिक मापन के अन्तर्गत विभिन्न प्रकार के भौतिक प्राचालों (physical parameters) तथा राशियों (quantities) का मापन किया जाता है। ये प्राचालें या राशियाँ लम्बाई (length), मोटाई (thickness), ऊँचाई (height), क्षेत्रफल (area), अन्तराल (gap), कोण (angle), वक्रता (curvature), टेपर (tapper), सतह फिनिश (surface finish), तरंगशीलता (waviness), गियरमान (gear measurement), पिच (pitch), चूड़ी (threads) इत्यादि होती हैं। उपरोक्त भौतिक राशियों में लम्बाई, मोटाई, ऊँचाई, क्षेत्रफल, अन्तराल, वक्रता आदि के मापन के बारे में सम्पूर्ण जानकारी का वर्णन पूर्व के अध्यायों में किया जा चुका है तथा कार्यशाला तकनीकी (workshop technology) के अन्तर्गत इन राशियों के मापन के बारे में भी बताया जा चुका है जिस कारण इस अध्याय में इन राशियों के मापन के बारे में बताना आवश्यक नहीं है। सतह फिनिश एवं रूक्षता आदि के मापन के विषय में विस्तृत जानकारी अगले अध्याय-3 (सतह परिष्करण का मापन) में किया गया है।

इसलिये इस अध्याय में उपरोक्त में से बचे हुये निम्न मुख्य प्राचालों के मापन के विषय में वर्णन किया जा रहा है—

1. टेपर मापन (Taper Measurement)
2. कोण मापन (Angle Measurement)
3. चूड़ी मापन (Thread Measurement)
4. गियर मापन (Gear Measurement)

2.55 टेपर मापन (Taper Measurement)

(a) टेपर का प्रयोग (Use of Taper)—मशीनी औजारों (machine tools) एवं मशीन के अंगों (parts of machine) में प्रयोग होने वाले कई प्रकार के स्पिंडल (spindle) तथा बेलनाकार सतह (cylindrical surface), छिद्र (ho... और शाफ्ट (shaft) आदि एकसमान व्यास के नहीं होते हैं, बल्कि पूरी लम्बाई में या कार्यकारी लम्बाई पर व्यास धीरे-धीरे ... या अधिक होता जाता है। इन्हीं एकसमान रूप से कम या अधिक होने वाले व्यास की सतहों को टेपर सतह (taper surfa... कहते हैं जिसका उदाहरण निम्न चित्र-123 (अ) में टेपर शाफ्ट (taper shaft) के रूप में तथा चित्र-123 (ब) में टेपर छि... (taper hole) के रूप में दिखाया गया है।



(अ) टेपर शाफ्ट/बाह्य-टेपर (ब) टेपर छिद्र/अन्त:-टेपर

चित्र 123

कुछ मशीनों में विशेष प्रकार के स्पिंडल प्रयोग किये जाते हैं जिसमें एक टेपर छिद्र (taper hole) बना होता है जिसमें ड्रिल (drill), रीमर (reamer) आदि औजारों के टेपर शैंक (taper shank) को फिट किया जाता है। कुछ विशेष मशीनों में ... बियरिंग (bearing) भी बनाये जाते हैं जो टेपरित (tapered) होते हैं। अत: कुछ उत्पादों के प्रयोग के आधार पर टेपर शाफ्ट, टेपर छिद्र या टेपरित सतह को बनाना व मापना आवश्यक हो जाता है। इस तरह किसी फैक्टरी (factory) या कारखाना के टूल रूम (tool room) में तथा उसके गुणवत्ता निरीक्षण विभाग (quality inspection department) में टेपर को सही यन्त्र से एवं उचित विधि द्वारा मापना एक महत्त्वपूर्ण कार्य होता है। टेपर मापन के लिए कई प्रकार की युक्तियाँ (devices), यन्त्रों (instruments) एवं विधियों (methods) का प्रयोग किया जाता है जिसका विस्तृत अध्ययन इस अध्याय में किया गया है। टेपर एवं टेपर मापन से जुड़ी कुछ आवश्यक पदों के बारे में कुछ अन्य बिन्दुओं को भी जानना जरूरी है।

(b) टेपर की परिभाषा (Definition of Taper)—किसी बेलनाकार मशीनी पार्ट में उसकी लम्बाई के साथ कार्य करने की अक्ष (working axis) की दिशा में व्यास (diameter) के एकसमान रूप से घटने या बढ़ने को टेपर (taper) कहते हैं। दूसरे शब्दों में किसी बेलनाकार मशीनी अवयव या पार्ट के किसी लम्बाई के लिए उसके कार्य अक्ष की दिशा में दोनों सिरों के व्यासों में होने वाले अन्तर को टेपर कहते हैं। टेपर की मात्रा को मापने के लिए उसके दोनों सिरों के व्यास का अन्तर तथा दोनों सिरों के बीच की अक्षीय लम्बाई के अनुपात द्वारा निकाला जाता है जो टेपर की शंक्वता (conicity) कहलाता है।

इस प्रकार, शंक्वता $K = \frac{D-d}{l}$

जहाँ D = बेलनाकार टेपरित अवयव के बड़े सिरे का व्यास

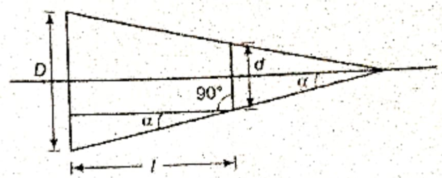
d = बेलनाकार टेपरित अवयव के छोटे सिरे का व्यास

l = टेपर की लम्बाई

K = टेपर की शंक्वता

चित्र-124 में टेपर के विभिन्न अवयव को दिखाया गया है, जिसमें कोण α को टेपर का अर्ध-कोण कहते हैं।

इस प्रकार $\tan\alpha = \frac{D-d}{2l} = \frac{K}{2}$



चित्र 124

इस तरह यदि किसी टेपरित अवयव के बड़े सिरे का व्यास (D), छोटे सिरे का व्यास (d) तथा टेपर लम्बाई (l) ज्ञात हो अथवा उसकी शंक्वता (K) ज्ञात हो तो उपरोक्त सूत्र द्वारा टेपर का अर्ध-कोण (α) को ज्ञात किया जा सकता है।

(c) मानक टेपर (Standard Taper)—अन्तर्विनिमयता (Interchangeability) के सिद्धान्त को प्रयोग करके कुछ टेपर बनाये जाते हैं जिनका मानकीकरण (Standardization) किया जाता है। इन्हीं मानकीकरण टेपर को मानक टेपर कहते हैं। सामान्यत: चार प्रकार के मानक टेपर प्रयोग किये जाते हैं—

(i) मोर्स टेपर (Morse Taper)
(ii) मीट्रिक टेपर (Metric Taper)
(iii) जार्नो टेपर (Jarno Taper)
(iv) ब्राउन एण्ड शार्प टेपर (Brown & Sharp Taper)

उपरोक्त चारों मानक टेपरों में से मोर्स टेपर एवं मीट्रिक टेपर का प्रयोग सबसे ज्यादा किया जाता है।

निम्न तालिका में 0 से 6 मोर्स टेपर नम्बरों को दिखाया गया है जिसमें टेपर नम्बर के हिसाब से उनका टेपर कोण (α) तथा टेपर की मात्रा को दिखाया गया है।

मीट्रिक टेपर मानक के लिये टेपर की मात्रा में परिवर्तन नहीं होता है, अर्थात् टेपर की मात्रा स्थिर (constant) रहती है जिसका मान 1 : 20 = 0·05 होता है।

मोर्स टेपर मानक (Morse Taper Standard)

मोर्स टेपर नम्बर	टेपर कोण (α)	टेपर की मात्रा
0	1° 29′	1:19·212 = 0·05205
1	1° 25′	1:20·047 = 0·04988
2	1° 25′	1:20·020 = 0·04995
3	1° 26′	1:19·922 = 0·05020
4	1° 20′	1:19·254 = 0·05194
5	1° 30′	1:19·002 = 0·05263
6	1° 29′	1:19·180 = 0·05214
मीट्रिक टेपर	1°26′	**1 : 20 = 0·05**

टेपर अनुपात (Taper Ratio)	0° 8′	1:200
	0° 17′	1:100
	0° 34′	1:50
	0° 57′	1:30
	1° 26′	1:20
	1° 54′	1:15
	2° 51′	1:10
	3° 34′	1:8
	4° 50′	1:7
	5° 42′	1:5
	9° 27′	1:3

(d) टेपर टॉलरेन्स एवं फिट (Taper Tolerance and Fit)—आधुनिक इन्जीनियरिंग में किसी उत्पाद के वृहद उत्पादन (mass production) के लिए उसकी सभी विमाओं में टॉलरेन्स दिया जाता है। उसी प्रकार किसी उत्पाद के टेपर के लिए भी टॉलरेन्स दिया जाता है ताकि अन्तर्विनिमयता (Interchangeability) को ध्यान में रखकर उत्पाद की गुणवत्ता बनी रहे एवं वृहद उत्पादन में कम से कम उत्पाद खराब (reject) हो।

इस प्रकार टेपर के टॉलरेन्स की गणना निम्न सूत्र द्वारा की जा सकती है—

टॉलरेन्स $$\delta K = K\left[\frac{\delta D + \delta d}{D - d} + \frac{\delta l + \delta c}{l - c}\right]$$

जहाँ $\delta K = K$ टेपर के लिये टॉलरेन्स

$\delta D = D$ व्यास (बड़ा सिरा) में टॉलरेन्स

$\delta d = d$ व्यास (छोटा सिरा) में टॉलरेन्स

$\delta l = l$ लम्बाई के लिए टॉलरेन्स

$\delta c = c$ दूरी (वांछित) के लिए टॉलरेन्स

फिट की श्रेणी के अनुसार किसी टेपर कोण की टॉलरेन्स $\pm 40''$ से लेकर $\pm 1'$ के बीच होती है। चित्र 125 में टेपर की फिटिंग को दिखाया गया है।

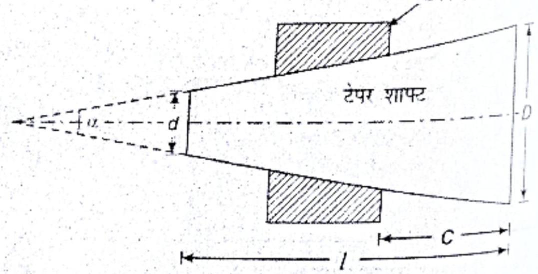
टेपर शाफ्ट (taper shaft) एवं टेपर छिद्र (taper hole) के बीच में तीन प्रकार के फिट प्रयोग किये जाते हैं—

(i) स्थिर टेपर फिट (Fixed Taper Fit)

(ii) कसा टेपर फिट (Tight Taper Fit)

(iii) अवकाश टेपर फिट (Clearance Taper Fit)

(i) स्थिर टेपर फिट (Fixed Taper Fit)—स्थिर टेपर फिट उन अवयवों के बीच होता है जिसमें एक अवयव को मेटिंग अवयव में अधिक दाब से इस प्रकार फिट किया जाता है कि उन्हें बाद में



चित्र 125 : टेपर फिटिंग

निकालने की आवश्यकता नहीं पड़ती है; जैसे—टैप, ड्रिल इत्यादि का फिटिंग।

(ii) कसा टेपर फिट (Tight Taper Fit)—कसा टेपर फिट इस प्रकार का होता है कि दोनों अवयवों को बल लगाकर फिट किया जा सके तथा जरूरत पड़ने पर अलग भी किया जा सके।

(iii) अवकाश टेपर फिट (Clearance Taper Fit)—अवकाश टेपर फिट में दोनों अवयव ढीले रहते हैं। इस फिट का उपयोग मशीन स्पिण्डल को टेपर बियरिंग में लगाने के लिए किया जाता है।

2.56 टेपर शाफ्ट का मापन (Measurement of Taper Shaft)

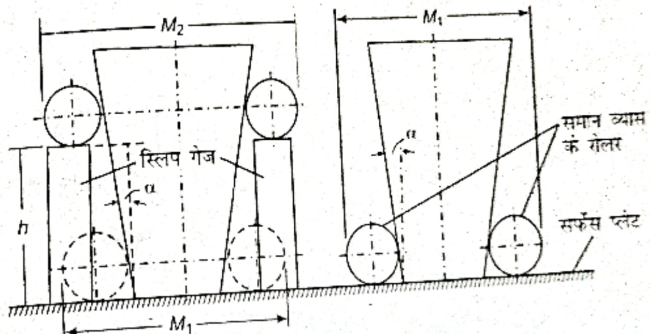
टेपर को मापने के लिए कई प्रकार के मापन यंत्र तथा विधियों का प्रयोग किया जाता है जिसमें मुख्य रूप से निम्न यन्त्रों का प्रयोग होता है—

(i) रोलर एवं बॉल (Rollers and Balls)

(ii) स्लिप गेज या गेज ब्लॉक (Slip Gauge or Gauge Block)

(iii) डॉयल इन्डीकेटर (Dial Indicator)

(i) रोलर एवं बॉल द्वारा टेपर मापन (Taper Measurement by Roller and Ball)—टेपर मापन में जिन बॉल एवं रोलरों का प्रयोग किया जाता है वे कठोरीकृत इस्पात (hardened steel) के बने होते हैं। ये अलग-अलग एवं निश्चित मापों में बने होते हैं। रोलर एवं बॉल का उपयोग टेपर शाफ्टों एवं टेपर छिद्रों के व्यास को अलग-अलग ऊँचाई पर मापने के काम आता है। इसके द्वारा टेपर शाफ्ट की लम्बाई में किसी भी स्थान का व्यास मापा जा सकता है तत्पश्चात् व्यास ज्ञात होने पर सूत्र द्वारा टेपर कोण को गणना द्वारा ज्ञात कर लिया जाता है।



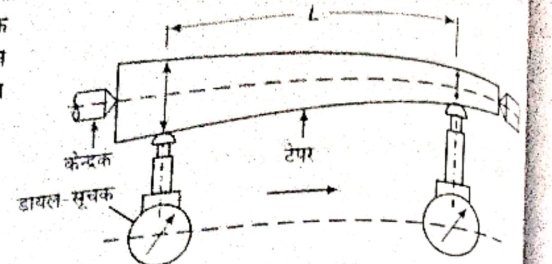
चित्र 126

इसके लिए उपरोक्त चित्र-126 के अनुसार किसी टेपर शाफ्ट का छोटे व्यास वाला सिरा सर्फेस प्लेट (surface plate) पर रखा जाता है। उसके बाद दो एकसमान व्यास के मानक रोलर (standard roller) को सर्फेस प्लेट पर इस तरह रखा जाता है कि वे टेपर शाफ्ट की सतह को दोनों तरफ विपरीत बिन्दुओं पर स्पर्श करें। तत्पश्चात् बाह्य माइक्रोमीटर की सहायता से रोलरों के बाहर की तरफ दोनों रोलरों के बीच की दूरी M_1 को माप लिया जाता है। उसके बाद इन्हीं दोनों रोलरों को दो बराबर ऊँचाई 'h' वाले स्लिप गेजों पर पूर्व की भाँति रखा जाता है और पुनः बाह्य माइक्रोमीटर की सहायता से रोलरों के बाहर की तरफ से उनके बीच की दूरी M_2 को माप लिया जाता है।

∴ $$\tan\alpha = \frac{M_2 - M_1}{2h},$$ (जहाँ α = शाफ्ट का टेपर कोण।)

(ii) डायल इण्डिकेटर द्वारा टेपर शाफ्ट का टेपर मापन (Taper Measurement of Taper Shaft by Dial Indicator)—डायल इण्डिकेटर द्वारा किसी टेपर शाफ्ट के टेपर को मापने के लिए टेपर शाफ्ट को चित्र-127 की तरह दो केन्द्रकों (centres) के बीच टिका देते हैं। उसके बाद शाफ्ट पर दो निश्चित स्थानों के बीच डायल इण्डिकेटर को चलाया जाता

है। डायल इण्डिकेटर द्वारा पाठ्यांक ज्ञात कर लिया जाता है तथा दोनों स्थानों पर डायल इण्डिकेटर के पाठ्यांक का अन्तर $(D-d)$ पता चल जाता है, तत्पश्चात् दोनों स्थानों के बीच की लम्बाई (L) को माप लिया जाता है फिर निम्न सूत्र की सहायता से टेपर अर्धकोण α को ज्ञात कर लिया जाता है।



चित्र 127 : टेपर शाफ्ट का मापन

इस प्रकार

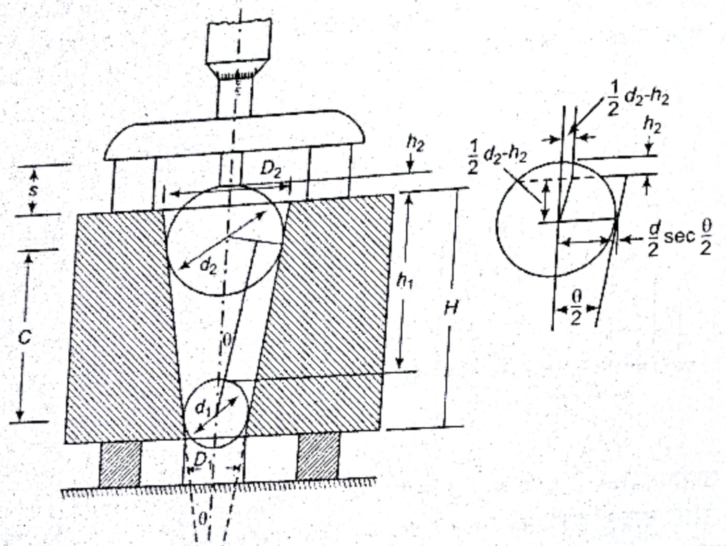
$$\tan\alpha = \frac{D-d}{2L}$$

जहाँ $D-d$ = पाठ्यांकों का अन्तर

L = दोनों स्थानों के बीच की लम्बाई

α = टेपर का अर्ध-कोण

(iii) टेपर छिद्रों का टेपर मापन (Taper Measurement of Taper Hole)—जब किसी टेपर छिद्र का टेपर मापना होता है तब अलग-अलग व्यास की मानक बॉल (standard ball) का प्रयोग किया जाता है। बॉल द्वारा टेपर के मापन को निम्न चित्र-128 में दिखाया गया है।



चित्र 128 : टेपर-छिद्रों का मापन

टेपर छिद्र का टेपर मापने के लिए उपरोक्त चित्र-6 के अनुसार दो अलग-अलग व्यास की बॉल को टेपर छिद्र में रखते हैं, उसके बाद उसके ऊपरी सिरे से उसकी दूरी h_1 एवं h_2 को गहराई मापी (depth gauge) द्वारा माप लिया जाता है। दोनों बॉलों के केन्द्र बिन्दुओं के बीच की दूरी c को ज्ञात करने के लिए निम्न सूत्र का प्रयोग किया जाता है।

$$c = h_1 + h_2 + \frac{d_1}{2} - \frac{d_2}{2}$$

या

$$c = h_1 + h_2 - \frac{1}{2}[d_2 - d_1]$$

जहाँ d_1 = छोटे बॉल का व्यास

d_2 = बड़े बॉल का व्यास

h_1 = छोटे बॉल की गहराई

h_2 = बड़े बॉल की गहराई

अब, यदि टेपर का अर्धकोण $\frac{\theta}{2}$ हो तो—

$$\sin\frac{\theta}{2} = \frac{d_2 - d_1}{2c}$$

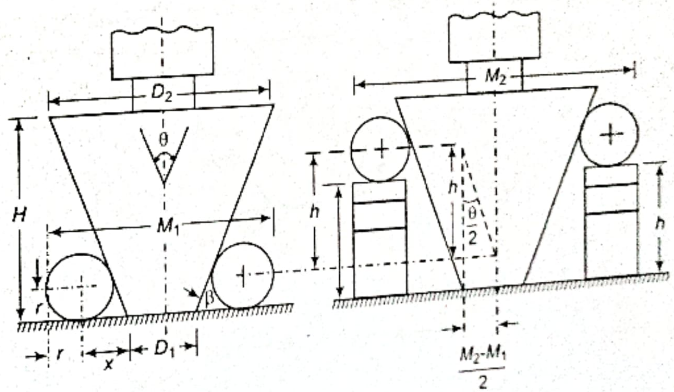
यदि टेपर छिद्र का छोटा व्यास D_1 हो तो—

$$D_1 = d_1\sec\frac{\theta}{2} - (2H - 2h_1 - d_1)\tan\frac{\theta}{2}$$

तथा यदि टेपर छिद्र का बड़ा व्यास D_2 हो तो—

$$D_2 = d_2\sec\frac{\theta}{2} + (d_2 - 2h_2)\tan\frac{\theta}{2}$$

(iv) टेपर प्लग गेज का टेपर मापन (Taper Measurement of Taper Plug Gauge)—टेपर छिद्रों की माप करने या जाँच करने के लिए टेपर प्लग गेज का प्रयोग किया जाता है। टेपर छिद्रों के शुद्ध मापन के लिए जरूरी है कि टेपर प्लग गेज भी सही माप का हो। इसलिए टेपर प्लग गेज के टेपर को भी जाँचना जरूरी हो जाता है। इसकी टेपर की जांच करने के लिए टेपर प्लग गेज को चित्र-129 के अनुसार सर्फेस प्लेट (surface plate) पर रखते हैं। तत्पश्चात् एक ही माप के दो अलग-अलग मानक रोलरों को उसी सर्फेस प्लेट पर इस तरह रखा जाता है कि वे टेपर प्लग गेज की सतह को दोनों तरफ विपरीत बिन्दुओं पर स्पर्श करें। उसके बाद बाह्य माइक्रोमीटर (outside micrometer) की सहायता से दोनों रोलरों के बीच की दूरी M_1 को माप लिया जाता है। इसी प्रकार पुनः एक ही माप के स्लिप गेजों (slip gauges) के ऊपर इन्हीं रोलरों को रखकर, सर्फेस प्लेट में उसी तरह h ऊँचाई पर रखकर बाह्य माइक्रोमीटर की सहायता से फिर दोनों रोलरों के बीच की दूरी M_2 को माप लिया जाता है। चित्र-129 में इसको दिखाया गया है।



चित्र 129 : टेपर प्लग-गेज का मापन

उपरोक्त चित्र की ज्यामिति (geometry) द्वारा स्पष्ट हो जाता है कि

$$\tan\frac{\theta}{2} = \frac{M_2 - M_1}{2h}$$

उपरोक्त चित्र से यह भी स्पष्ट हो जाता है कि टेपर प्लग गेज का छोटा व्यास

$$D_1 = M_1 - 2r - 2x$$

परन्तु $\tan\frac{\beta}{2} = \frac{r}{x}$ जबकि $\angle\beta = 90° ...$ ...(1)

या $x = \frac{r}{\tan\left(\frac{\beta}{2}\right)}$

x के मान को समीकरण (1) में रखने पर

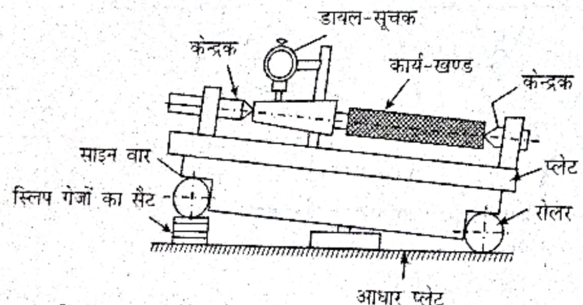
$\therefore$ $D_1 = M_1 - 2r - 2.\frac{r}{\tan\left(\frac{\beta}{2}\right)}$

$D_1 = M_1 - d - \frac{d}{\tan\left(\frac{\beta}{2}\right)}$ (d = रोलर का व्यास)

इसी प्रकार, यदि टेपर प्लग गेज की लम्बाई H हो तो उसके बड़े व्यास D_2 को भी निम्न सूत्र के अनुसार ज्ञात किया जा सकता है—

$$\tan\frac{\theta}{2} = \frac{M_2 - M_1}{2H} = \frac{D_2 - D_1}{2H}$$

(v) स्लिप गेज एवं डायल इण्डीकेटर की सहायता से टेपर मापना (Measurement of taper with the help of slip gauge and dial indicator)—स्लिप गेज एवं डायल इण्डीकेटर की सहायता से टेपर को मापने में साइन बार (sine bar) का भी प्रयोग किया जाता है। इनके द्वारा टेपर मापने की विधि को निम्न चित्र-130 में दिखाया गया है। इसमें टेपर शाफ्ट या कार्यखण्ड (work piece) के दोनों सिरों को दो केन्द्रकों (centres) के बीच टिका दिया जाता है और फिर एक प्लेट पर सहारा जाता है। तत्पश्चात् प्लेट को साइन बार पर रखते हैं तथा साइन बार को सर्फेस प्लेट पर स्लिप गेजों की सहायता से सेट कर दिया जाता है। उसके बाद कार्यखण्ड या टेपरित शाफ्ट के भाग को डायल इण्डीकेटर की सहायता से सर्फेस प्लेट के सापेक्ष समान्तरता (parallelism) की जाँच की जाती है। डायल इण्डीकेटर को शाफ्ट के अक्ष के सापेक्ष आगे से पीछे तक (दोनों सिरों तक) सरकाया जाता है तथा डायल इण्डीकेटर के पाठ्यांक को नोट कर लिया जाता है।



चित्र 130 : स्लिप गेजों तथा डायल-सूचक द्वारा टेपर मापना

इस प्रकार टेपर कोण α का मान निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात कर लिया जाता है—

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

जहाँ α = टेपर कोण

h = स्लिप गेज की सर्फेस प्लेट से ऊँचाई

l = साइन बार की लम्बाई

2.57 कोण का मापन (Measurement of Angle)

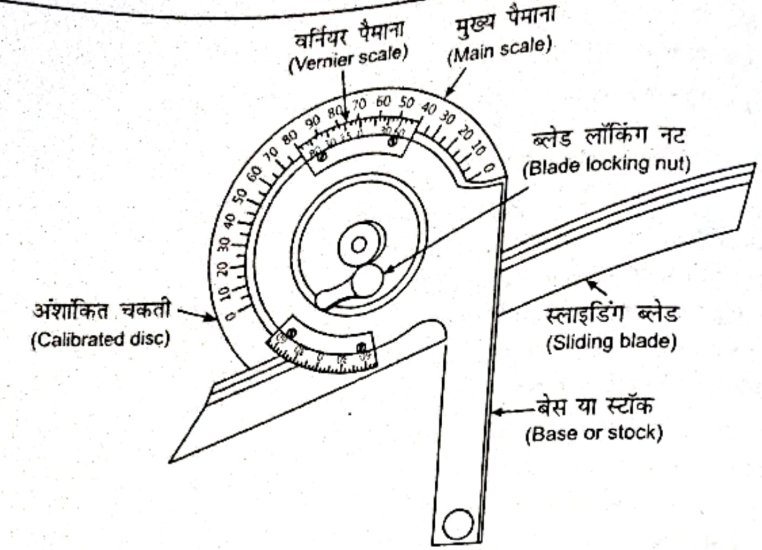
(i) कोण (Angle)—जब कोई दो रेखायें उभयनिष्ठ बिन्दु (common point) पर आकर मिलती हैं या फिर उनको बढ़ाने पर मिलती हैं, तो उन रेखाओं के बीच का अन्तर (divergence) कोण (angle) कहलाता है। कोण को डिग्री (°), मिनट (′) या सेकेण्ड (″) में व्यक्त (denote) किया जाता है। यदि किसी वृत्त को 360 समान भागों में बाँटा जाये तो प्रत्येक भाग एक डिग्री (°) कहलाता है। एक डिग्री 60 मिनट (′) के बराबर होता है तथा एक मिनट 60 सेकेण्ड (″) के बराबर होता है। गणना करने के लिए कोणों को दो रेखाओं से सम्बद्ध करके ज्यामिति द्वारा ज्ञात कर लिया जाता है परन्तु इन्जीनियरिंग में एवं वृहद् उत्पादन में कोण मापने के लिए विभिन्न प्रकार के कोणमापी यन्त्रों का उपयोग किया जाता है।

(ii) कोण तथा टेपर में अन्तर (Difference between angle and taper)—टेपर की परिभाषा के अनुसार टेपर को लम्बाई से सम्बद्ध करके मिमी/मीटर लम्बाई में व्यक्त किया जाता है जबकि कोण को डिग्री (°) में व्यक्त किया जाता है। कोण को हमेशा दो रेखाओं के सन्दर्भ में मापा जाता है।

(iii) कोणमापी यन्त्र (Angle Measuring Instruments)—इन्जीनियरिंग कार्यों में कोण मापन में निम्नलिखित यन्त्रों का प्रयोग किया जाता है—

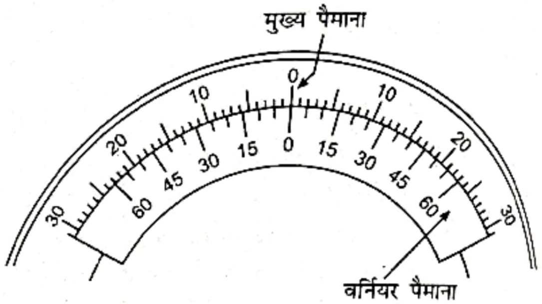
1. वर्नियर बेवेल प्रोटेक्टर (Vernier Bevel Protactor)
2. साइन बार (Sine Bar)
3. स्प्रिट लेवल (Sprit Level)
4. कोण स्लिप गेज या कोणमापी (Angle Slip Gauge or Angle Gauge)
5. क्लिनोमीटर (Clinometer)
6. विभाजक शीर्ष (Dividing Head)

1. वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर (Vernier Bevel Protractor)— इस यंत्र की सहायता से दो फलकों (faces) के बीच के कोण को आसानी से मापा जा सकता है। इस यंत्र में दो ब्लेड होते हैं जिनमें एक मापन ब्लेड तथा दूसरा घूर्णी (rotatable) ब्लेड होता है। जिन फलकों के बीच का कोण मापना होता है उन पर इन फलकों को लगाया जाता है। इस यंत्र की बॉडी (body) में एक गोल पैमाना (circular scale) लगा होता है। इसी गोल पैमाने का एक भाग बढ़ा हुआ होता है जो एक ब्लेड का कार्य करता है। घूर्णी ब्लेड को गोलाई में एवं आगे-पीछे सरकाया जा सकता है। दोनों ब्लेड को वांछित स्थिति में सेट करके बॉडी पर लगे घूर्णनशील टरेट (rotating turret) पर किसी स्थिति में रखकर कसकर लॉक (clock) कर दिया जाता है। बॉडी या टरेट में से एक पर गोल पैमाना तथा दूसरे पर वर्नियर पैमाना लगा होता है। इस यंत्र से $5'\left(5' = \frac{1°}{12}\right)$ तक की यथार्थता में कोण को मापा जा सकता है। इसकी क्रिया एवं क्रिया सिद्धान्त वर्नियर कैलिपर (Vernier caliper) के समान ही होता है। इस यंत्र को चित्र-131 में दिखाया गया है। इसे यूनिवर्सल बेवेल प्रोट्रेक्टर भी कहते हैं।

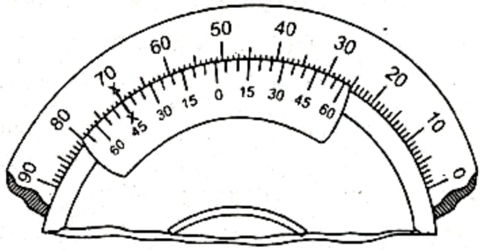


चित्र 131 : वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर

वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर पर पाठ्यांक लेना (Reading of a Vernier Bevel Protractor)—वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर के सर्कुलर डिस्क के अंशांकित चाप (calibrated arc) की आकृति में 0° से 180° तक कोणीय अंश (divisions) बने होते हैं, जिनका पाठ्यांक 0° से 90° तक दोनों तरफ लिया जा सकता है। इसके वर्नियर पैमाने पर 12 विभाजन (divisions) उसके शून्य पाठ्यांक से दाँयी तरफ एवं बाँयी तरफ भी बने होते हैं। यह 12 विभाजन मुख्य पैमाने पर अंकित 23 विभाजन के संपाती (coincide) होते हैं, जिसे चित्र 132 में स्पष्ट रूप से दिखाया गया है।



(a) वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर के पैमाने



(b) वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर पर पाठ्यांक लेना

चित्र 132

$\therefore$ वर्नियर पैमाने का 1 विभाजन $= \frac{23°}{12}$

इस प्रकार मुख्य पैमाने के 2 विभाजन और वर्नियर पैमाने के 1 विभाजन का अन्तर

$= 2 - \frac{23}{12}$

$= \frac{24-23}{12} = \frac{1}{12} = 5$ मिनट

उदाहरणस्वरूप चित्र में दिखाये गये पाठ्यांक को इस प्रकार ज्ञात करते हैं—

1. सर्वप्रथम, मुख्य पैमाने के शून्य एवं वर्नियर पैमाने के शून्य के बीच आने वाले पूर्ण अंशों (degrees) को नोट कर लेते हैं। चित्रानुसार—पूर्ण अंश 52°.

2. अब उन विभाजनों की संख्या को सावधानीपूर्वक नोट करते हैं जो उसी दिशा में वर्नियर पैमाने के शून्य से आरम्भ होने वाली रेखा के साथ, मुख्य पैमाने की अमुक रेखा के साथ संपाती (coincide) होते हैं।

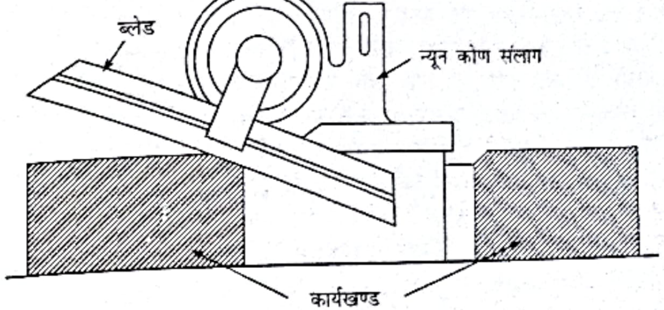
चूंकि प्रत्येक विभाजन 5 मिनट के बराबर होता है अतः संपाती होने वाले विभाजन की संख्या को 5 से गुणा (multiply) करके फिर पूर्ण अंशों में जोड़ देने पर उस पाठ्यांक का मान (value) प्राप्त हो जायेगा। चित्रानुसार, वर्नियर पैमाने का नौवा विभाजन, मुख्य पैमाने से संपाती है।

इस प्रकार वर्नियर का पाठ्यांक $= 9 \times 5' = 45$ मिनट

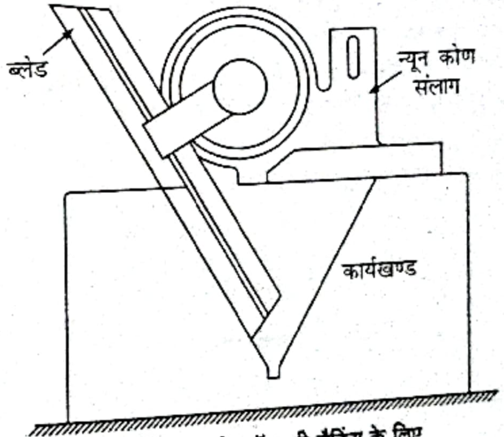
अतः कुल पाठ्यांक = पूर्ण अंश + वर्नियर का पाठ्यांक

$= 52 + 45' = 52° 45'$

वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर के उपयोग (Uses of Vernier Bevel Protractor)—विभिन्न कार्यखण्डों पर अलग-अलग स्थानों पर बेवल प्रोट्रेक्टर के प्रयोग को चित्र 133 (a), (b), (c) में दिखाया गया है।

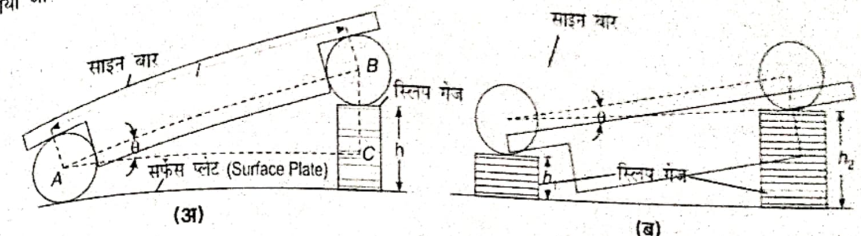


चित्र 133 (a) : कार्यखण्ड की ग्राउंड इनसाइड बेवेल फेस की चैकिंग बेवेल प्रोट्रेक्टर से करना



चित्र 133 (b) : वी-ब्लॉक की चैकिंग के लिए बेवेल प्रोट्रेक्टर का उपयोग

निम्न चित्र-136 (अ) की तरह एक रोलर स्लिप गेज पर तथा दूसरा रोलर सरफेस प्लेट पर टिकाया जाता है और अधिक यथार्थतापूर्वक माप लेने के लिए इसके दोनों सिरों को सरफेस प्लेट पर रखे स्लिप गेजों पर निम्न चित्र-136 (ब) की तरह टिकाया जाता है।



चित्र 136

इस प्रकार यदि साइन बार θ कोण पर झुका हो, तब

चित्र-12 (अ) के अनुसार यदि एक तरफ स्लिप गेज लगा हो, तब—

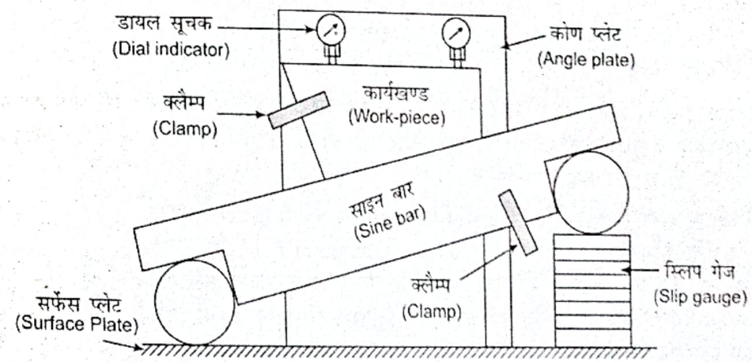
$$\sin\theta = \frac{h}{L}$$

तथा चित्र-12 (ब) के अनुसार यदि दोनों तरफ स्लिप गेज लगा हो, तब—

$$\sin\theta = \frac{h_2 - h_1}{L}$$

जहाँ L = दोनों रोलरों के केन्द्रों के बीच की दूरी

(ii) अज्ञात कोणों को मापना (Measurement of Unknown Angles)—साइन बार की सहायता से किसी कार्यखण्ड के झुकाव के अज्ञात कोण को भी मापा जा सकता है। इसके लिए कार्यखण्ड के झुकाव सतह के कोण को बेवेल स्क्वायर (Bevel Square) या किसी अन्य यन्त्र की सहायता से मापकर कोण का अनुमान लगा लेते हैं। इसके लिए कार्यखण्ड को चित्र-137 में दिखायी गयी व्यवस्था के अनुसार सेट कर लेते हैं।



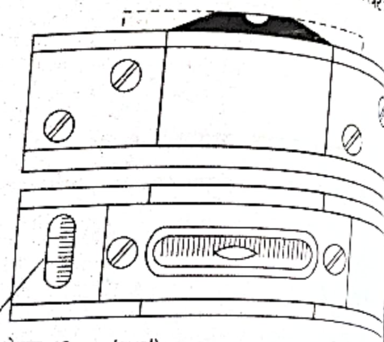
चित्र 137 : साइन बार द्वारा अज्ञात कोण का मापन

उसके बाद साइन बार को सरफेस प्लेट पर स्लिप गेज की सहायता से अनुमानित कोण के बराबर सेट करते है तत्पश्चात् कार्यखण्ड को एक कोण प्लेट (angle plate) की सहायता से साइन बार के पीछे की तरफ कसकर इस प्रकार रखते हैं कि उसकी झुकी हुई नत सतह साइन बार पर रहे। इस स्थिति में कार्यखण्ड की ऊपरी सतह पर एक सिरे से दूसरे सिरे पर डायल गेज को सेट करके उसके पाठ्यांक को देखते हैं। यदि पाठ्यांक में अन्तर है तब स्लिप गेजों को इस प्रकार से सेट करते हैं कि

डायल गेज द्वारा कार्यखण्ड के पूरी सतह पर पाठ्यांक शून्य ही रहे। यह स्थिति आ जाने पर साइन बार के सूत्र sin θ... की सहायता से कोण या यथार्थ मान प्राप्त कर लेते हैं। इस तरह से साइन बार द्वारा अधिकतम 60° तक का ही कोण मा... है क्योंकि 60° से अधिक का कोण मापने के लिए इस व्यवस्था में काफी त्रुटि आने की संभावना रहती है। इस व्यवस्था... प्लेट के साथ कार्यखण्ड को सही तरीके से सेट करके कसना चाहिए।

3. स्प्रिट लेवल (Sprit Level)—स्प्रिट लेवल वक्र काँच की नली (curved glass tube) का बना होता है... काँच की नली में कम श्यानता (low viscocity) वाला द्रव इस प्रकार भरा रहता है कि उसमें हवा का एक बुलबुला... bubble) बाकी रह जायें। प्राय: इसमें कम श्यानता वाले द्रव के रूप में स्प्रिट (spirit) भरा रहता है इसलिए इसको स्प्रिट... कहते हैं।

यह काँच की नली धातु के बक्सेनुमा बॉडी में इस प्रकार फिट रहता है कि जब बक्से की निचली सतह क्षैतिज (horizontal) अवस्था में रहती है तब हवा का बुलबुला काँच की नली के सर्वोच्च बिन्दु पर रहे अर्थात् नली के ठीक मध्य में केन्द्रित रहे। इस प्रकार जब नली को क्षैतिज से झुकाया या उठाया जाता है तब हवा का बुलबुला अपनी स्थिति बदल लेता है। काँच के नली की वक्रता त्रिज्या (radius of curvature) पूरी लम्बाई में एकसमान होती है इसलिए हवा के बुलबुले का विस्थापन (displacement) स्प्रिट लेवल के झुकाव कोण (angle on tilt) के समानुपाती होता है। चित्र-138 में बक्सेनुमा स्प्रिट लेवल को दिखाया गया है।



चित्र 138 : स्प्रिट लेवल

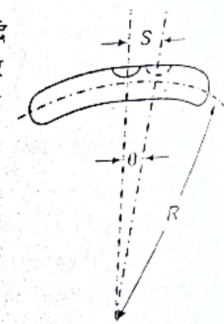
स्प्रिट लेवल की सुग्राहिता (Sensitivity of Spirit Level)—स्प्रिट लेवल का वह कोणीय झुकाव (angle of ti... जिससे वायु का बुलबुला काँच की ट्यूब पर बने पैमाने के एक विभाजन (division) तक चलता है या विस्थापित होता है... स्प्रिट लेवल की सुग्राहिता (sensitivity of sprit level) कहलाता है। स्प्रिट लेवल के झुकाव कोण को सेकेण्ड (″) में व्यक्त किया जाता है तथा सुग्राहिता (sensitivity) को झुकाव कोण की 'स्पर्ज्या' (tangent) द्वारा मिमी०/मीटर से भी व्यक्त किया जाता है। इस प्रकार—

$$\text{स्प्रिट लेवल की सुग्राह्यता} = \frac{\text{झुकाव-कोण सेकेण्ड (″) में}}{\text{नली के एक भाग की लम्बाई}}$$

वक्र की त्रिज्या (radius) बढ़ा देने से स्प्रिट लेवल की सुग्राह्यता बढ़ जाती है। काँच की नली की आन्तरिक अनुप्रस्थ काट को बढ़ा देने से एवं हवा के बुलबुले की लम्बाई को बढ़ा देने से बुलबुला और अधिक गति से ट्यूब में विस्थापित होने लगता है जिससे माप लेने में और अधिक यथार्थता आती है।

स्प्रिट लेवल से कोण मापना (Measurement of Angle by Spirit Level)—यदि किसी स्प्रिट लेवल के काँच की नली की त्रिज्या (radius of curvature) R हो, पैमाने पर विभाजन अर्थात् एक भाग की लम्बाई S हो, तब बुलबुले के एक भाग विस्थापन के संगत झुकाव कोण अर्थात् स्प्रिट लेवल का झुकाव कोण (angle of tilt) θ को निम्न सूत्र से ज्ञात किया जा सकता है। देखिये चित्र-139।

$$\theta = \frac{S}{R}$$



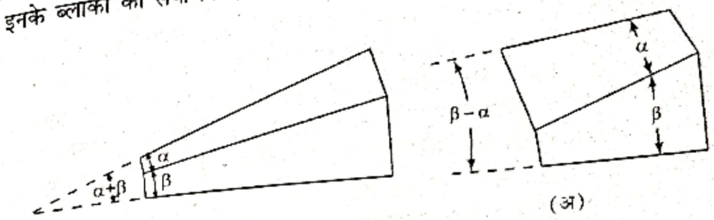
चित्र 139

इस प्रकार किसी टेपरित सतह का झुकाव कोण मापने के लिए स्प्रिट लेवल को उस सतह पर रखा जाता है। उसके बाद बुलबुले के विस्थापन का पाठ्यांक नोट कर लिया जाता है और

उपरोक्त सूत्र की सहायता से टेपरित सतह का कोण ज्ञात कर लिया जाता है। आमतौर पर स्प्रिट लेवल के पैमाने पर 2·5 मिमी के प्रत्येक भाग बने होते हैं जो चाप के 10 सेकेण्ड (10″) के झुकाव को दर्शाते हैं।

4. कोण स्लिप गेज या कोणमापी (Angle Slip Gauge or Angle Gauge)—कोण स्लिप गेज की बनावट स्लिप गेज जैसा ही होता है परन्तु फर्क सिर्फ इतना होता है कि इसके अक्ष के सदिश फलकें समानान्तर नहीं होती है वरन् एक निश्चित कोण पर झुकी होती है। स्लिप गेजों की तरह कोण गेजों का भी एक सेट होता है जिसमें अलग-अलग कोण के कई कोण स्लिप गेज होते हैं। कोण स्लिप गेजों का उपयोग वांछित कोण प्राप्त करने के लिए होता है। इसके लिए दो या दो से अधिक गेजों का समायोजन (adjustment) करके वांछित यथार्थ कोण को प्राप्त किया जाता है। इसलिए इन्हें संयुक्त कोण गेज (combination angle gauge) भी कहा जाता है। इनकी यथार्थता भी स्लिप गेजों की तरह ही होती है।

दो या अधिक कोण स्लिप गेजों को संयोजन करने के लिए इन्हें परस्पर रगड़कर (wringing) एक-दूसरे के साथ सेट किया जाता है। इनके ब्लाकों का संयोजन दो तरह से किया जाता है जिनको चित्र-140 में दिखाया गया है।



चित्र 140 : कोण स्लिप गेजों का संयोजन

चित्र-अ में धनात्मक (positive) संयोजन तथा चित्र-ब में ऋणात्मक (negative) संयोजन को दिखाया गया है।

इस प्रकार यही दो कोण स्लिप गेज जिनके कोण α एवं β हों तो धनात्मक संयोजन में यह (α + β) कोण बनाते हैं तथा ऋणात्मक संयोजन में यही दो कोण (β – α) कोण बनाते हैं। संयुक्त कोण स्लिप गेज के एक सेट में अलग-अलग कोण के 13 कोण गेज होते हैं और एक वर्गाकार ब्लॉक भी होता है। गेजों के संयोजन से $\pm 1\frac{1}{2}$ सेकेण्ड की यथार्थता से 3 सेकेण्ड के चरणों (steps) में 0° से लेकर 360° के बीच कोई भी कोण बनाया जा सकता है। कोण गेज के दो सेट *A* एवं *B* बनाये जाते हैं जिसमें *A* सेट में 13 गेज तथा *B* सेट में 12 गेज होते हैं जिनको आगे दी गई तालिका में बताया गया है।

सेट *A*—

1°, 3°, 9°, 27°, 41°,	5 नं०
1′, 3′, 9′, 27′,	4 नं०
0·1′, 0·3′, 0·5′,	3 नं०
0·05′,	1 नं०
	कुल—13 नं०

सेट *B*—

1°, 3°, 9°, 27°, 41°,	5 नं०
1′, 3′, 9′, 27′,	4 नं०
0·1′, 0·3′, 0·5′,	3 नं०
	कुल—12 नं०

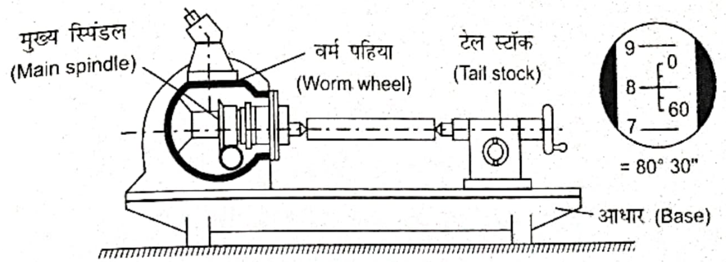
सेट *A* एवं सेट *B* के साथ कोण गेजों के अलावा एक वर्गाकार ब्लॉक (square block) भी होता है। इससे 0·1′ की यथार्थता तक कोण को बनाया जा सकता है।

(ii) यांत्रिक विभाजक शीर्ष (Mechanical Dividing Head)

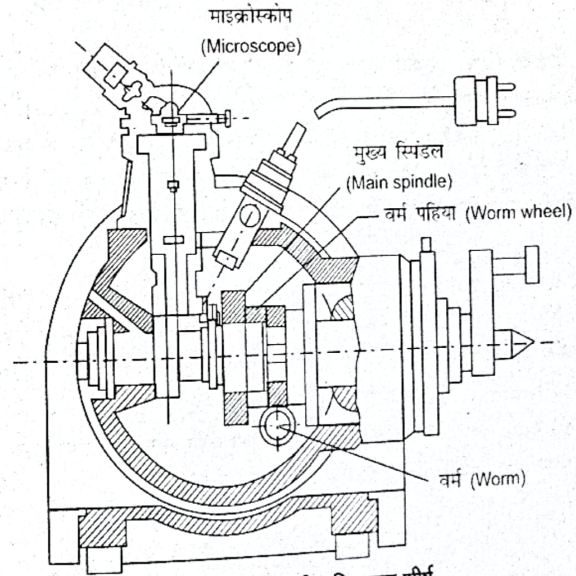
(iii) प्रकाशीय विभाजक शीर्ष (Optical Dividing Head)

साधारण एवं यांत्रिक विभाजक शीर्ष के बारे में विस्तृत जानकारी मशीन औजार तकनीकी (machine tools technology) विषय की पुस्तक में दिया गया है। इसलिए मापनिकी में प्रकाशीय विभाजक शीर्ष का वर्णन किया जा रहा है।

प्रकाशीय विभाजक शीर्ष (Optical Dividing Head)—परिशुद्ध तथा सूक्ष्म (accurate and precision) कोणीय विभाजन (angular indexing) के लिए प्रकाशीय विभाजक शीर्ष (optical dividing head) का प्रयोग किया जाता है। इस यंत्र में एक वृत्ताकार पैमाना (circular scale) होता है जो डिग्री (°) तथा उसके अंशों में अंशांकित (calibrate) किया हुआ होता है। इस यंत्र में एक मुख्य स्पिण्डल (spindle) होता है जिसको वर्म एवं वर्म व्हील (worm and worm wheel) की सहायता से चलाया जाता है। वृत्ताकार पैमाना विभाजक शीर्ष के स्पिण्डल अक्ष पर संकेन्द्रित (concentric) होता है। पाठ्यांक लेते समय इसके पैमाने को माइक्रोस्कोप की सहायता से देखकर पढ़ा जा सकता है। प्रकाशीय विभाजक शीर्ष द्वारा 12" तक के कोण को मापा जा सकता है। इसके द्वारा 3" तक की परिशुद्धता तक माप ली जा सकती है। निम्न चित्र-142 में प्रकाशीय विभाजक शीर्ष को दिखाया गया है तथा चित्र-143 एवं 144 में प्रकाशीय विभाजक शीर्ष के कार्य सिद्धान्त का रेखाचित्र दर्शाया गया है।



चित्र 142 : प्रकाशीय विभाजक शीर्ष की व्यवस्था



चित्र 143 : प्रकाशीय विभाजक शीर्ष

अभ्यास-प्रश्न (Exercise)

1. मापन यन्त्र की परिभाषा बताइये।
2. आवर्धन विधियों के आधार पर मापन यन्त्रों को कितने वर्गों में बाँटा जाता है? उनके नाम बताइये। **(BTE)**
3. यान्त्रिक मापन यन्त्रों के सिद्धान्त का संक्षेप में वर्णन कीजिए।
4. वर्नियर के सिद्धान्त को समझाइये। वर्नियर के सिद्धान्त पर कार्य करने वाले विभिन्न मापन यन्त्रों के नाम बताइये। **(BTE)**
5. वर्नियर कैलीपर की कार्य विधि एवं उसके उपयोग को समझाइये। **(BTE)**
6. वर्नियर का अल्पतमांक एवं शून्य त्रुटि निकालने की विधि को समझाइये।
7. पेंच चूड़ी तथा पेंच चूड़ी नट विधि का वर्णन करें। **(BTE 2006, 14)**
8. पेंच चूड़ी का अल्पतमांक निकालने की विधि को बताइये।
9. निम्न का सचित्र वर्णन करें—
   (a) वर्नियर कैलीपर (Vernier Caliper) **(BTE)**
   (b) वर्नियर ऊँचाई गेज (Vernier Height Gauge) **(BTE)**
   (c) बाह्य सूक्ष्ममापी (Outside Micrometer)
   (d) आन्तरिक सूक्ष्ममापी (Inside Micrometer)
10. यान्त्रिक मापन यन्त्र विधि में संयुक्त गियर विधि का सचित्र वर्णन करें। **(BTE)**
11. कुण्डलीदार पत्ती (Helical Strip) विधि को समझाइये। **(BTE 2005)**
12. निम्नलिखित को समझाइये— **(BTE 2015, 13)**
    (a) परावर्तन (Reflection) **(BTE)** (b) वर्तन (Refraction) **(BTE)**
    (c) व्यतिकरण (Interference) **(BTE 2006)** (d) प्रकाश प्रिज्म (Optical Prism) **(BTE)**
13. प्रकाशीय प्रोजेक्टर (Optical Projector) का वर्गीकरण करें तथा ओवरहेड प्रोजेक्टर (Overhead projector) का सचित्र वर्णन करें। **(BTE)**
14. प्रकाशीय मापन यन्त्रों के सिद्धान्त को समझाइये। **(BTE 2013)**
15. वैद्युत मापन यन्त्रों के सिद्धान्त को समझाइये। **(BTE 2015, 13, 06)**
16. निम्न पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिये—
    (a) ऊर्जा का रूपान्तरण (Transformation of Energy)
    (b) वैद्युत प्राचालों में परिवर्तन (Variation in Electrical Parameters) **(BTE)**
    (c) चालक के प्रतिरोध में परिवर्तन (Variation in Resistance of Conductor)
    (d) धारित्र की धारिता में परिवर्तन (Variation in Capacitance of Capacitor)
17. निम्न वैद्युत प्राचालों का वर्णन करें—
    (a) वोल्टता (Voltage) (b) धारा (Current)
    (c) शक्ति गुणक (Power Factor) **(BTE)** (d) शक्ति (Power)
    (e) प्रतिरोध (Resistance) **(BTE)** (f) ऊर्जा (Energy)
    (g) आवृत्ति (Frequecny) (h) प्रेरकत्व (Inductance) **(BTE)**
18. कार्य सिद्धान्त के आधार पर वैद्युत मापन यन्त्रों का वर्गीकरण कीजिये। **(BTE 2007)**
19. निम्न पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिये— **(BTE)**
    (a) मापन परिपथ (Measuring Circuit)
    (b) चालन प्रणाली (Moving System)
20. स्थायी चुम्बक चल कुण्डली यन्त्र की कार्यविधि का सचित्र वर्णन कीजिये। **(BTE)**

21. चल-लौह यन्त्र का सचित्र वर्णन कीजिये।
22. किन्हीं तीन द्रवीय राशियों एवं उनको मापने में प्रयुक्त मापन यन्त्रों के नाम लिखिये।
23. निम्न पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिये— **(BTE)**
    (a) प्रवाह वेग (Velocity of Flow) (b) विसर्जन (Discharge)
    (c) द्रव दाब (Fluid Pressure) (BTE)
24. वेन्चुरीमीटर की रचना एवं क्रिया सिद्धान्त का सचित्र वर्णन कीजिये। (BTE)
25. निम्न का सचित्र वर्णन करें— **(BTE)**
    (a) पीजोमीटर ट्यूब ((Piezometer Tube) (b) मैनोमीटर (Manometer) (BTE)
    (c) माइक्रो मैनोमीटर (Micro Manometer) (BTE)
    (d) भेददर्शी मैनोमीटर (Differential Manometer) (BTE 2012)
26. वायवीय मापन यन्त्रों के सिद्धान्त को चित्र सहित समझाइये।
27. किन्हीं दो बिन्दुओं या पाइपों के दाबान्तर मापने के लिये किस यन्त्र का प्रयोग किया जाता है? सचित्र वर्णन कीजिये। (BTE)
(BTE 2004)
(BTE 2005, 06)
28. माइक्रोमीटर स्क्रूगेज के प्रयोग में प्रक्रम त्रुटियों के कारकों को बताइये।
29. जालीय मापन यंत्रों के कार्य सिद्धान्त का वर्णन कीजिये।
30. मापन में आवश्यक विभिन्न भौतिक प्राचालों (Parameters) के नाम बताइये।
31. टेपर (Taper) से आप क्या समझते हैं? इंजीनियरी में इसके महत्व को समझाइये।
32. मानक टेपर को परिभाषित करें एवं उनके नाम बताइये।
33. टेपर की शंक्वता (Conicity) तथा टेपर कोण (Taper Angle) में क्या सम्बन्ध है? वर्णन करें।
34. किसी शाफ्ट के टेपर की जाँच कैसे की जाती है, समझाइये।
35. टेपर शाफ्ट के टेपर को मापने की विधियों के नाम बताइये। किसी एक विधि का सचित्र वर्णन करें।
(BTE 1990, 92, 93, 98, 2006, 09)
(BTE)
36. छोटे टेपर छिद्रों के टेपर मापन की विधि को बताइये।
37. बड़े टेपर छिद्रों के टेपर मापन की विधि को बताइये।
38. कोण को मापने के लिये प्रयोग में आने वाली विभिन्न यन्त्रों के नाम बताइये।
39. कोण को मापने की विभिन्न विधियों के नाम बताइये।
40. किसी एक कोण मापन यन्त्र का सचित्र वर्णन करें।
41. वर्नियर बेवल प्रोट्रेक्टर का सचित्र वर्णन करें।
42. साइन बार की रचना को चित्र बनाकर समझाइये तथा इसके क्या-क्या उपयोग है? वर्णन करें।
(BTE 2000, 06, 08)
43. साइन बार की सहायता से किसी शाफ्ट का टेपर सेट करने की विधि का वर्णन करें। (BTE)
44. साइन बार से कोण मापने की विधि को समझाइये। **(BTE 1991,** 97)
45. कोण गेज (angle gauge) को परिभाषित करें एवं इसके द्वारा कोण को कैसे मापा जाता है? (BTE)
46. स्प्रिट लेवल (spirit level) को चित्र बनाकर समझाइये तथा इसकी सुग्राहिता से आप क्या समझते हैं?
47. संयुक्त कोण गेज के सेट में किस माप के कितने ब्लॉक होते हैं? सूची बनाकर दिखाइये।
48. क्लिनोमीटर (clinometer) का सचित्र वर्णन करें तथा इसके अंगों को चित्र में दर्शायें। **(BTE 2014,** 09)
49. क्लिनोमीटर द्वारा कोण को कैसे मापा जाता है? समझाइये।
50. विभाजक शीर्ष कितने प्रकार के होते हैं? (BTE)

51. कोण को मापने में विभाजक शीर्ष विधि को समझाइये। **(BTE 2008)**
52. प्रकाशीय विभाजन शीर्ष का सचित्र वर्णन करें।
53. सतहों के कौन-कौन से ज्यामितीय आकार होते हैं? **(BTE)**
54. ज्यामितीय त्रुटियों को समझाइये।
55. सतहों के निम्न प्राचालों को नापने की विधियों का संक्षेप में वर्णन करें— **(BTE)**
    (i) सीधापन (Straightness)
    (ii) वर्गता (Squareness)
    (iii) समान्तरता (Parallelism)
    (iv) चौरसपन (Flatness)
    (v) गोलीयता (Roundness) **(BTE)**
56. स्प्रिट लेवल की सहायता से सतहों के सीधेपन की जाँच का सचित्र वर्णन करें। **(BTE)**
57. ऑटो-कॉलीमेटर की रचना एवं कार्यविधि का सचित्र वर्णन करें।
58. सीध रेखक की सहायता से सरफेस प्लेट की चपटेपन की जाँच कैसे की जा सकती है? समझाइये। **(BTE)**
59. समतलपन (Flatness) का क्या अर्थ है? समझाइये।
60. सीधापन जाँचने की कौन-कौन सी विधि होती हैं? किसी एक का सचित्र वर्णन करें। **(BTE)**
61. ऑटो-कॉलीमेटर के सिद्धान्त को समझाइये।
62. चपटापन जाँचने की कौन-कौन सी विधि होती हैं? किसी एक विधि का सचित्र वर्णन करें।
63. व्यतिकरण (Interferometric) द्वारा चपटेपन को जाँचने की विधि का सचित्र वर्णन करें।
64. डायलगेज द्वारा सतहों की वर्गता को जाँचने का वर्णन करें।
65. V-ब्लॉक एवं डायल गेज द्वारा गोलीयता की त्रुटि कैसे ज्ञात करेंगे? समझाइये।
66. उत्केन्द्रता परीक्षण द्वारा गोलाई की त्रुटि ज्ञात करने का सचित्र वर्णन करें। **(BTE)**
67. टेलीरॉंड (Talyrond) क्या है? इसकी सहायता से गोलाई की त्रुटि कैसे ज्ञात करते हैं?
68. सतहों की समान्तरता की जाँच की कौन-कौन सी विधियाँ हैं? किसी एक का सचित्र वर्णन करें।
69. निम्न पर टिप्पणी लिखें— **(BTE)**
    (i) चपटापन व्यतिकरणमापी (Flatness Interferometer)
    (ii) ऑटो-कॉलीमेटर (Auto-Collimator)
    (iii) डायल गेज (Dial Gauge)
    (iv) स्प्रिट लेवल (Spirit Level)
70. तुलनित्र को परिभाषित कीजिये एवं इसके उपयोग का वर्णन करें।
(BTE 1981, 84, 87, 89, 99, 2002, 04, 06, 09, 12)
(BTE 1990, 93, 96, 2006, 10)
71. तुलनित्र के अभिलक्षण को समझाइये।
72. मापन यन्त्र की तुलना में तुलनित्र के क्या लाभ हैं? **(BTE 1981, 84, 87, 89, 2005, 09)**
73. तुलनित्र, सीमा गेज व मापन यन्त्र में अन्तर स्पष्ट करें। **(BTE 1990, 93)**
74. तुलनित्र के आवश्यक अंगों का वर्णन करें।
75. तुलनित्र का वर्गीकरण कीजिए।
76. सीमा गेज एवं तुलनित्र के बीच अन्तर स्पष्ट करें।

(BTE 2012, 14

77. निम्न पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए—
    (a) डायल गेज
    (b) माइक्रोकेटर तुलनित्र
    (c) सिग्मा तुलनित्र
    (d) रीड टाइप यान्त्रिक तुलनित्र। (BTE 1996, 97, 2000, 06, 09, 10, 13)
78. डायल गेज की रचना एवं कार्य प्रणाली का सचित्र वर्णन करें। (BTE 1995, 99, 2004, 06, 08, 11, 14)
79. माइक्रोकेटर तुलनित्र का सचित्र वर्णन करें।
80. यान्त्रिक तुलनित्र के लाभ एवं हानियों का वर्णन करें।
81. प्रकाशीय तुलनित्र को सचित्र समझाइये। (BTE 1993, 95, 2004, 06, 09)
82. प्रकाशीय तुलनित्र के लाभ एवं हानि का वर्णन करें।
83. इलेक्ट्रो-लिमिट तुलनित्र का सचित्र वर्णन करें एवं उसकी उपयोगिता को भी बतायें।
84. इलेक्ट्रो-मैकेनिकल तुलनित्र को परिभाषित करें एवं चित्र बनाकर उसके आवश्यक अंगों को दर्शायें। (BTE 1993, 97, 99, 2004, 06)
    (BTE 1991, 96)
85. इलेक्ट्रॉनिक तुलनित्र का सचित्र वर्णन करें एवं इसके लाभ व हानि को भी बताइये।
86. यान्त्रिक एवं विद्युत तुलनित्र की तुलना कीजिए।
87. विभिन्न प्रकार के तुलनित्रों के नाम लिखिए एवं किसी एक यान्त्रिक तुलनित्र का सचित्र वर्णन करें। (BTE 2007, 09, 11, 13)
88. रीड टाइप यान्त्रिक तुलनित्र की कार्यप्रणाली का सचित्र वर्णन कीजिए। (BTE 1993, 95, 2003, 07, 09, 12)
89. स्वच्छ चित्र की सहायता से टूल मेकर माइक्रोस्कोप की कार्यविधि तथा उपयोगिता को समझाइये। (BTE 1990, 98, 2000, 10, 12)
90. वायवीय तुलनित्र का सचित्र वर्णन करें एवं इसकी लाभ व हानियाँ को भी बताइये। (BTE 2004, 06, 07, 12)
91. छिद्र गेज/बोर गेज की कार्यविधि का सचित्र वर्णन करें।
92. द्रव-विस्थापन तुलनित्र को सचित्र समझाइये।
93. यान्त्रिक तुलनित्र के कार्य सिद्धान्त एवं बनावट का वर्णन करें। (BTE 1994, 96, 99, 2002, 07, 09)
94. टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप का सचित्र वर्णन करें। (BTE 2015)

अध्याय 3

सतह परिष्करण का मापन
(Measurement Of Surface Finish)

3.1 परिचय (Introduction)

मशीन के अवयवों को प्रयोग करने से पहले उनको मशीनित किया जाता है। तत्पश्चात् उस अवयव की सम्पर्क सतहों का परीक्षण किया जाता है। इस प्रकार मशीनी अवयवों (components) की सतहों के परिष्करण (finishing) के आधार पर सतह परिष्करण (surface finish) को दो वर्गों में बाँटा जा सकता है—

1. चिकनी अथवा नियमित सतह (Smooth or Regular Surface)
2. रुक्ष अथवा खुरदरी अनियमित सतह (Rough or Irregular Surface)

जब मशीनी अवयवों की सतहें चिकनी और अच्छी फिनिश वाली होती हैं तब मशीन औजारों, उपकरणों, मापन यन्त्रों आदि की कार्यक्षमता (work capacity) और सेवा अवधि (service life) बढ़ जाती है। इसके विपरीत यदि सतह रुक्ष या खुरदरी होती है तब मशीन औजारों, उपकरणों, मापन यन्त्रों आदि की कार्यक्षमता पर विपरीत प्रभाव पड़ता है साथ ही साथ उपकरणों की सेवा अवधि भी घट जाती है। इस कारण आधुनिक व प्रतिस्पर्धा (competition) के युग में मशीनों या उत्पाद (product) की गुणवत्ता को बनाये रखने के लिये सतह के परिष्करण (finish) एवं रुक्षता (roughness) के विषय में अध्ययन करना बहुत जरूरी है।

सतहों पर रुक्षता के प्रभावों के कारण होने वाले किसी भी प्रकार के नुकसान के बारे में जानने के लिये, सतहों की रुक्षता का मापन भी किया जाता है, इसको मापने के लिए कई प्रकार की विधियों एवं मापन यन्त्रों का प्रयोग किया जाता है।

सतह के परिष्करण एवं रुक्षता का सीधा सम्बन्ध निम्न कारकों से होता है—

(i) स्नेहन (Lubrication)
(ii) घिसाव प्रतिरोध (Resistance of Wear)
(iii) भार वहन क्षमता (Load bearing capacity)
(iv) कम्पन (Vibration)
(v) शोर (Noise)
(vi) टूल का जीवन (Tool Life)
(vii) भंगुरता रोधी (Fatigue Resistance)
(viii) संक्षारण रोधी (Corrosion Resistance)
(ix) नमी (Humidity)
(x) मौसम (Weather)

इस प्रकार मशीनित अवयवों की सतहें जितनी चिकनी (smooth) होगी, वह उतनी ही अधिक सामर्थ्यवान एवं भार वहन क्षमता वाली होगी। धातु की भंगुरता (brittleness or fatigue) के कारण मशीनी अवयव विफल (fail) हो सकते हैं। धातु के भंगुर या टूटने या फटने का सबसे अधिक प्रभाव सतहों के नुकीले कोनों (sharp corners) व किनारों पर पड़ता है, जहाँ उसके प्रतिबलों का संकेन्द्रण (concentration) होता है। खुरदुरे या अनियमित सतह (irregular surface) एक प्रकार से नुकीले कोनों की तरह कार्य करते हैं। इस कारण सतहों के नुकीले कोने वाले भाग सबसे पहले विफल होते हैं। कुछ सतहें कार्यकारी नहीं होतीं अर्थात् उनके बीच सापेक्ष गति (relative motion) नहीं होती है, उन सतहों पर भी रुक्षता का प्रभाव पड़ता है। इस प्रकार मशीनी अवयवों की कार्य क्षमता एवं सेवा अवधि बढ़ाने के लिये सभी सतहों, चाहे वह कार्यकारी सतह (working surface) हो या फिर अकार्यकारी सतह (non-working surface) हो, का चिकना एवं परिष्कृत होना अत्यन्त आवश्यक होता है। सम्पर्की सतहों में रुक्षता के कारण भी उनके घिसाव की सम्भावना ज्यादा रहती है। उचित एवं निश्चित समयान्तराल पर स्नेहन (lubrication) द्वारा उनकी कार्यक्षमता और सेवा अवधि को और अधिक बढ़ाया जा सकता है।

रुक्ष अथवा खुरदुरी सतहों पर कुछ गड्ढे तथा कुछ उभार थोड़ी-थोड़ी दूर पर बने होते हैं। इन गड्ढों को घाटी (valley) कहते हैं तथा उभारों को शिखर (crest) कहते हैं। ऐसी सतहों को अनियमित सतह (irregular surface) कहते हैं। सतहों के घिसने की दर, सम्पर्क-सतहों के क्षेत्रफल और भार प्रति इकाई के समानुपाती होती है। उपयोगिता के आधार पर सतहों को बनाया जाता है। इस प्रकार इंजीनियरी में सतहों की आवश्यकता होती है। अलग-अलग कार्य के लिए अलग-अलग फिनिशिंग वाली सतहों की आवश्यकता होती है। बनावट (texture) एवं अनियमितताओं (irregularities) की अपडेट जानकारी रखना एवं अध्ययन करना जरूरी है।

3.2 सतहों की बनावट तथा अनियमिततायें (Surface texture and Irregularities)

सतहों की रुक्षता (Roughness) का अनुमान हम लोग आसानी से सतहों को देखकर या स्पर्श करके जान सकते हैं तथा अपने ज्ञानेन्द्रियों द्वारा भी सतहों की रुक्षता का आभास हो जाता है। इस प्रकार सतहों की रुक्षता का अहसास या अनुमान लगाना जितना सरल है, उतना ही कठिन उसको परिभाषित करना एवं मापना है। प्रयोगात्मक (Practically) रूप से एक कुशल कारीगर रुक्षता को मापने के लिए अपने अनुभव का एवं अपने ज्ञानेन्द्रियों का प्रयोग करता है।

मशीनन एवं परिष्करण क्रियाओं के बाद भी सतहें पूर्ण रूप से चिकनी नहीं हो पाती हैं जिसके कारण सतह की आदर्श स्थिति नहीं बन पाती है। मशीनन क्रिया एवं ज्यामितीय अनियमितताओं (geometrical irregularities) के आधार पर सतहों को चार वर्गों में बाँटा जा सकता है—

(i) प्रथम श्रेणी (First Order)

(ii) द्वितीय श्रेणी (Second Order)

(iii) तृतीय श्रेणी (Third Order)

(iv) चतुर्थ श्रेणी (Fourth Order)

(i) प्रथम श्रेणी (First Order)—मशीनन क्रिया के समय मशीनी औजारों, धातु कर्तन एवं पथों के सीधेपन (straightness of way) इत्यादि में किसी भी कारण से कमी होने के कारण सतहों का पूर्ण परिष्करण नहीं हो पाता है तथा उसमें कुछ-न-कुछ अनियमिततायें रह जाती हैं। इन कारणों से सतहों में होने वाली विकृति तथा पदार्थ के गुण व भार आदि के कारण होने वाली ऐसी अनियमिततायें प्रथम श्रेणी अनियमिततायें (First order irregularities) कहलाती हैं।

(ii) द्वितीय श्रेणी (Second Order)—मशीनन क्रिया के दौरान, मशीनी अवयवों में किसी भी प्रकार के कम्पन (vibration) के कारण सतहों पर दरारों के निशान पड़ जाते हैं तथा कम्पन के कारण कर्तन औजारों के चटचटाहट (chattering) से कुछ निशान बन जाते हैं जिससे सतहें अनियमित दिखाई देती हैं। ऐसी अनियमिततायें द्वितीय श्रेणी अनियमिततायें (Second order irregularities) कहलाती हैं।

(iii) तृतीय श्रेणी (Third Order)—जब मशीन ठीक हो एवं उनमें कम्पन भी न हो तथा मशीन द्वारा मशीनन क्रिया ठीक हो, परन्तु कारीगर द्वारा गलत तरीके से मशीनन क्रिया करने से एवं गलत प्रक्रम के कारण होने वाली अनियमिततायें तृतीय श्रेणी अनियमिततायें (Third order irregularities) कहलाती हैं।

(iv) चतुर्थ श्रेणी (Fourth Order)—मशीनन क्रिया के दौरान कर्तन के समय कभी-कभी धातु के टुकड़े चिप (chip) के रूप में सतह से अलग हो जाते हैं या टूट जाते हैं जिससे सतहें अनियमिमत हो जाती हैं। ऐसी अनियमिततायें चतुर्थ श्रेणी अनियमिततायें (Fourth order irregularities) कहलाती हैं।

सतहों की रुक्षता को दर्शाने के लिए उपरोक्त अनियमितताओं को पुनः दो श्रेणीयों में बाँटा जा सकता है—

(i) प्राथमिक बनावट (Primary Texture)

(ii) द्वितीयक बनावट (Secondary Texture)

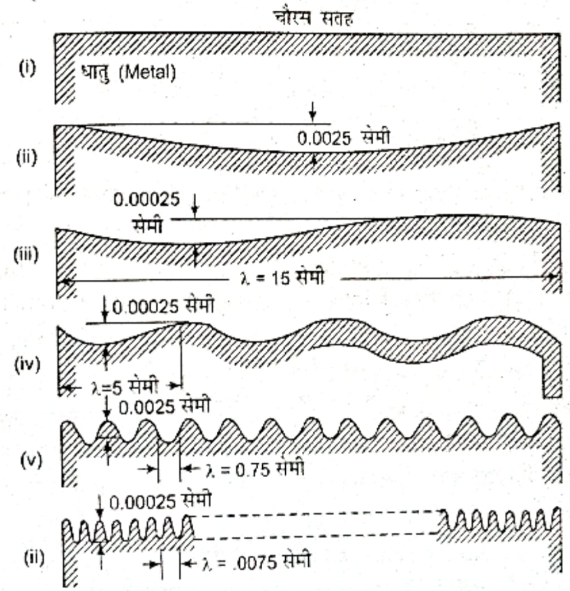
(i) प्राथमिक बनावट (Primary Texture)—मशीनित पदार्थ पर कर्तन तत्वों के कारण या किसी अन्य गड़बड़ी के कारण जैसे—टूट-फूट (Wear & tear), घर्षण (friction) अथवा संक्षारण (corrosion) आदि के कारण होने वाली अनियमिततायें प्राथमिक बनावट (primary texture) कहलाती हैं। ये अनियमिततायें माइक्रो ज्यामितीय त्रुटियाँ (Micro-geometrical errors) कहलाती हैं। उपरोक्त वर्णित तृतीय एवं चतुर्थ श्रेणी की अनियमिततायें माइक्रो ज्यामितीय त्रुटियों के अन्तर्गत आती हैं।

(ii) द्वितीयक बनावट (Secondary Texture)—मशीनन क्रिया के दौरान, उत्पादन तंत्र में यांत्रिक गड़बड़ी के कारण जो अनियमिततायें होती हैं वे द्वितीयक बनावट (secondary texture) कहलाती हैं। इन अनियमितताओं को मैक्रो ज्यामितीय त्रुटियाँ (Macro-geometrical errors) कहा जाता है। उपरोक्त वर्णित प्रथम एवं द्वितीय श्रेणी की अनियमिततायें मैक्रो ज्यामितीय त्रुटियों के अंतर्गत आती हैं। इन त्रुटियों को तरंगशीलता (waviness) भी कहा जाता है।

प्रायोगिक रूप में सतहों के परिष्करण के पश्चात् भी उसमें रुक्षता (roughness) एवं तरंगशीलता (waviness) दोनों ही पाये जाते हैं और ये दोनों परस्पर आरोपित होते हैं। इस प्रकार सतहों के परिष्करण का परीक्षण करते समय दोनों को ध्यान में रखा जाता है जिसके लिये सतहों की रुक्षता के प्राचालों (parameters) के बारे में जानना अति आवश्यक होता है।

3.3 सतह रुक्षता के प्राचाल (Parameters of Surface Roughness)

किसी सतह की रुक्षता उस पर बने शिखर (crests) एवं घाटियों (valleys) पर निर्भर करती है। सतह पर जितने अधिक शिखर एवं घाटियाँ होंगी वह सतह उतनी ही रुक्ष (rough) होंगी। इसका अध्ययन करने के लिए किसी धातु की अनुप्रस्थ काट का अध्ययन करने के पश्चात् कई तरह की सतहों को जाना जा सकता है जिसको निम्न चित्र-1 में दिखाया गया है।



चित्र 1 : सतह रुक्षता

उपरोक्त चित्र 1 (i) में पूर्णतया चपटी एवं चिकनी सतह को दिखाया गया है। इसी प्रकार चित्र 1 (ii) में इसी सतह पर 0·0025 सेमी० गहराई की एक तरंग दिखाई गई है। इस सतह को भी चिकनी सतह कहा जा सकता है जिसका चौरसपन (degree of flatness) अधिक है। चित्र-1 (iii), (iv), (v) एवं (vi) में उस सतह के अनुप्रस्थ काट को दिखाया गया है जिसमें सतह की तरंगदैर्ध्य (wavelength) की गहराई को पूर्ववत् रखते हुये क्रमशः तरंगदैर्ध्य को कम करके अर्थात् उसके उतार-चढ़ाव की आवृत्ति (frequency of undulation) को बढ़ाकर दिखाया गया है। उपरोक्त चित्रों को देखने से स्पष्ट हो जाता है कि जब काट की तरंगदैर्ध्य को धीरे-धीरे कम किया जाता है तब चपटी एवं चिकनी सतहें थोड़े से उतार-चढ़ाव के बाद धीरे-धीरे (gradually) खुरदरी या रुक्ष सतह (rough surface) के रूप में परिवर्तित हो जाती हैं, जबकि उसके तरंग की गहराई प्रत्येक स्थिति में एकसमान है। इस प्रकार हमें यह पता चलता है कि एकसमान गहराई या ऊर्ध्वाधर परिवर्तन के लिए अधिक तरंगदैर्ध्य (wavelength) वाली सतह चिकनी (smooth) होती है जो तरंगिल (wavy) कही जाती है। उसी प्रकार जब वही सतह छोटी तरंगदैर्ध्य वाली होती है तब वह सतह रुक्ष अथवा खुरदरी (rough) होती है।

वर्कशॉप में मशीनन क्रिया के दौरान या पश्चात यह जरूरी नहीं होता कि सतहों की तरंगशीलता (waviness) एकसमान हों। ये परिष्कृत सतहें एक से अधिक तरंगदैर्ध्य वाली तरंगों से आरोपित हो सकती हैं।

3.4 पृष्ठ/सतह रुक्षता का वर्गीकरण (Classification of Surface Roughness)

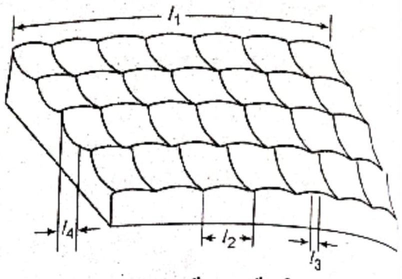
सतहों की पृष्ठीय रुक्षता दो प्रकार की होती हैं जो निम्न हैं—

(i) अनुप्रस्थ पृष्ठीय रुक्षता (Transverse Surface Roughness)

(ii) अनुदैर्ध्य पृष्ठीय रुक्षता (Longitudinal Surface Roughness)

चित्र-2 में अनुप्रस्थ पृष्ठीय रुक्षता एवं अनुदैर्ध्य पृष्ठीय रुक्षता को दिखाया गया है।

चित्र-2 में अनुप्रस्थ रुक्षता को l_1 से, तरंगशीलता के पिच को l_2 से, अनुप्रस्थ सूक्ष्म अनियमितता के पिच को l_3 से एवं अनुदैर्ध्य रुक्षता को l_4 से दर्शाया गया है। अनुप्रस्थ सूक्ष्म अनियमिततायें अनुप्रस्थ दिशा में रहती हैं जबकि अनुदैर्ध्य सूक्ष्म अनियमिततायें अनुदैर्ध्य दिशा में रहती हैं।



चित्र 2 : अनुप्रस्थ और अनुदैर्ध्य पृष्ठीय रुक्षता

§ 3.5 भारतीय मानकों के अनुसार परिभाषायें (Definitions as per Indian Standard)

भारतीय मानक 696 : 1972 के अनुसार सतह रुक्षता (surface roughness) से सम्बन्धित कुछ प्रमुख परिभाषायें निम्न हैं—

(1) वास्तविक सतह (Real Surface)—जो सतह, किसी पिण्ड का परिसीमन (limitation) करती है और पिण्ड को चारों ओर की सतह से अलग करती है, वास्तविक सतह (real surface) कहलाती है।

(2) प्रभावी सतह (Effective Surface)—यांत्रिक विधियों से प्राप्त वह सतह, जो वास्तविक सतह का निकटतम प्रतिनिधित्व (nearest representation) करती है, प्रभावी सतह (effective surface) कहलाती हैं।

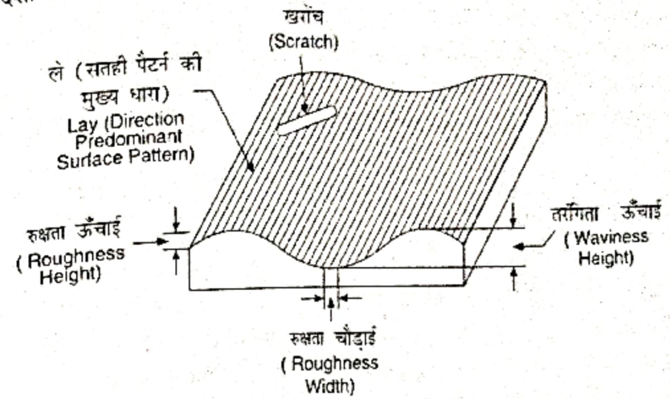
(3) ज्यामितीय सतह (Geometrical Surface)—डिजाइन एवं उत्पादन के प्रक्रम (process of design and manufacturing) के अनुसार वह प्रस्तावित सतह (proposed surface), जिसके लिये आकृति (form) एवं सतह रुक्षता की त्रुटियों को ध्यान में नहीं रखा जाता या नजरअंदाज (ignore) कर दिया जाता है, ज्यामितीय सतह (geometrical surface) कहलाता है।

(4) सतह रुक्षता (Surface Roughness)—वे सभी अनियमिततायें (irregularities) जो सतह के स्वरूप या बनावट (texture) में पायी जाती हैं, सतह रुक्षता (surface roughness) कहलाती हैं। उत्पादन प्रक्रम से उत्पन्न अनियमिततायें भी इनमें पायी जाती हैं। मशीनिंग संक्रिया (machining operations) की कमियों के कारण भी सतह रुक्षता उत्पन्न होती है।

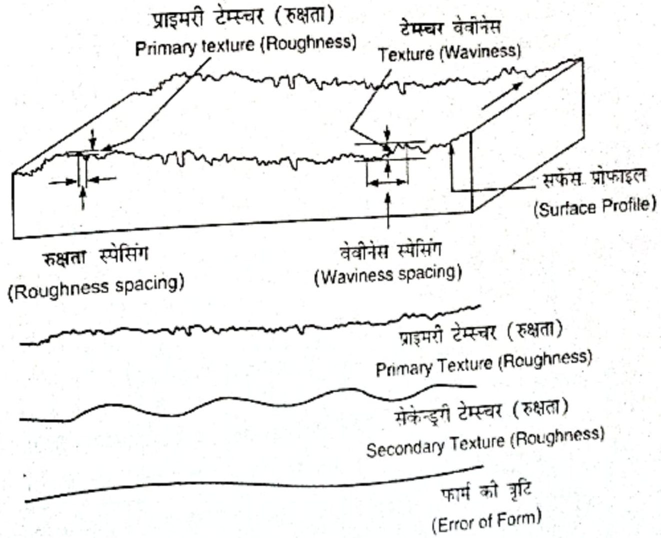
(5) प्राथमिक स्वरूप या बनावट अथवा रुक्षता (Primary Texture or Roughness)—उत्पादन प्रक्रम (manufacturing process) से उत्पन्न होने वाली सतह रुक्षता के कारण होने वाली अनियमितता प्राथमिक स्वरूप या बनावट अथवा रुक्षता (primary texture or roughness) कहलाती हैं। ऐसी अनियमितताओं में अनुदैर्ध्य भरण चिन्ह (transverse feed marks) जैसी अनियमिततायें भी सम्मिलित हैं।

(6) द्वितीयक स्वरूप या बनावट या तरंगशीलता (Secondary Texture or Waviness)—मशीनन क्रिया के दौरान या क्रिया से कार्यखण्ड (workpiece) में कम्पन (vibration), विक्षेप (deflection), चटचटाहट (chattering), ऊष्मा उपचार (heat treatment) आदि कारणों से होने वाली अनियमितताओं को द्वितीयक स्वरूप या बनावट अथवा तरंगशीलता (secondary texture or waviness) कहते हैं। इस प्रकार तरंगशीलता, सतह रुक्षता का वह अंश है जिस पर रुक्षता का आरोपण (super-imposition) किया गया हो।

(7) ले (Lay)—किसी मशीनित सतह की मशीनिंग के उपरांत प्राप्त, सबसे अधिक स्पष्ट सतह के पैटर्न (predominant surface pattern) को 'ले' कहते हैं। यह उत्पादन प्रक्रम पर निर्भर करता है। सतह की रुक्षता का मापन हमेशा 'ले' की लम्बवत् दिशा में किया जाता है। निम्न चित्र-3 व चित्र-4 में सतह की रुक्षता से सम्बन्धित विभिन्न पदों को दर्शाया गया है।



चित्र 3



चित्र 4

(8) अनियमितताओं की दूरी (Spacing of Irregularities)—सैम्पलिंग लम्बाई (sampling length) में प्रभावी प्रोफाइल के अधिक स्पष्ट अनियमितताओं के बीच की औसत दूरी को अनियमितताओं की दूरी (spacing of irregularities) कहते हैं।

(9) प्रोफाइल की माध्य रेखा (Mean line of the profile)—ज्यामितीय प्रोफाइल (geometrical profile) की आकृति वाली रेखा को प्रोफाइल की माध्य रेखा (mean line of the profile) कहते हैं। यह माध्य रेखा, प्रभावी प्रोफाइल (effective profile) को इस तरह से विभजित करती है कि माध्य रेखा तथा सेम्पलिंग लम्बाई के लिए प्रोफाइल के बिन्दुओं के बीच की दूरी $y_1, y_2, y_3, \ldots, y_n$ के वर्गों का योग न्यूनतम होता है।

(10) प्रोफाइल की केन्द्रीय रेखा (Central Line of Profile)—प्रोफाइल की सामान्य दिशा के समान्तर रेखा, जिसके लिये प्रोफाइल द्वारा रेखा के नीचे तथा ऊपर बनाये गये क्षेत्रफल बराबर होते हैं, प्रोफाइल की केन्द्रीय रेखा (central line of profile) कहलाती है। जब तरंग आवृत्ति (wave form) की पुनरावृत्ति होती है, तब माध्य रेखा एवं केन्द्रीय रेखा एक हो जाती है।

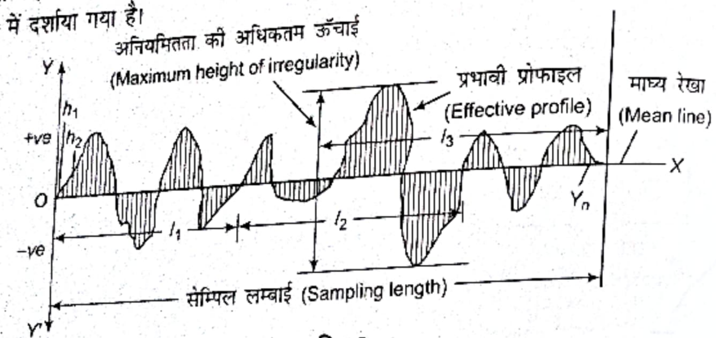
(11) प्रोफाइल की माध्य रेखा से माध्य विचलन (R_A Value) (Mean deviation from the mean line of profile)— माध्य रेखा से कोटियों (y_1', y_2', y_3', ..., y_n') के औसत मान को प्रोफाइल की माध्य रेखा से माध्य विचलन कहते हैं। इसकी गणना करते समय कोटियों की धनात्मक या ऋणात्मक (positive or negative) चिन्ह (sign) का ध्यान नहीं दिया जाता है।

इस प्रकार,

प्रोफाइल की माध्य रेखा से माध्य विचलन $R_a = \dfrac{y_1 + y_2 + y_3 + \ldots\ldots + y_n}{n}$ होगा।

जहाँ n = सैम्पलिंग लम्बाई पर विभाजनों की संख्या।

(12) सैम्पलिंग लम्बाई (Sampling Length)—सतह की अनियमितताओं की गणना के लिए, लिये जाने वाले प्रोफाइल की लम्बाई को सैम्पलिंग लम्बाई (sampling length) कहा जाता है। सैम्पलिंग लम्बाई को 'कट ऑफ लम्बाई' (cut off length) भी कहा जाता है। सैम्पलिंग लम्बाई को प्रोफाइल की सामान्य दिशा के समानान्तर दिशा में मापा जाता है जो निम्न चित्र (5) में दर्शाया गया है।



चित्र 5

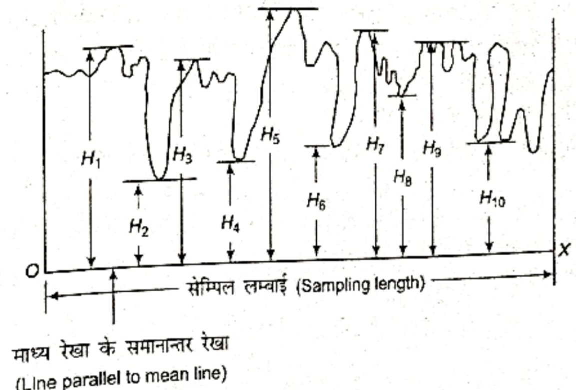
सतह की रुक्षता के मापन के लिये ऐसी मानक सैम्पल लम्बाई (sample length) ली जानी चाहिए जिसमें सतह के रुक्ष तथा चिकने दोनों तरह के अवयव सम्मिलित हो सकें। इसलिये रुक्षता के मापन के लिये दो से अधिक सैम्पल लम्बाई (l_1, l_2, l_3,.....) के मान लिये जाते हैं, तत्पश्चात् उनका औसत मान (average value) निकाल लिया जाता है।

निम्न तालिका में प्रमुख सतह निर्माण विधियों के लिए मानक सैम्पल लम्बाई दिया गया है।

क्र० सं० (S.No.)	प्रक्रम (Process)	चिन्ह (Symbol)	सैम्पल लम्बाई सेमी० में (Sample length in cm)			
1.	टर्निंग (Turning)	T	0·025	0·075	0·25	–
2.	ग्राइंडिंग (Grinding)	G	0·025	0·075	0·25	–
3.	लैपिंग (Lapping)	LP	0·025	0·075	–	–
4.	मिलिंग (Milling)	M	–	0·075	0·25	0·75
5.	प्लेनिंग (Planing)	P	–	–	0·25	–
6.	पॉलिशिंग (Polishing)	PO	–	–	0·25	–

(13) अनियमितताओं के दस बिन्दुओं की ऊँचाई (Ten points height of irregularities)—सतह रुक्षता के मापन में लिये गये किसी सैम्पलिंग लम्बाई में पाँच उच्चतम शिखर (crests) और पाँच न्यूनतम घाटियों (valleys) का औसत अन्तर, जो माध्य रेखा के समानान्तर किसी ऐसी रेखा से मापा जाता है जो प्रोफाइल को नहीं काटता है, अनियमितताओं के दस बिन्दुओं की ऊँचाई (Ten points height of irregularities) कहलाता है। इसको R_z से दर्शाया जाता है। निम्न चित्र-6 में इसको स्पष्ट रूप से दर्शाया गया है। चित्र-6 के अनुसार यदि किसी सतह की रुक्षता के मापन के लिये, सैम्पलिंग लम्बाई OX से पाँच शिखरों एवं पाँच घाटियों की ऊँचाइयाँ क्रमशः H_1, H_3, H_5, H_7, H_9 एवं $H_2, H_4, H_6, H_8, H_{10}$ हों, तो—

$$R_Z = \frac{(H_1 + H_3 + H_5 + H_7 + H_9) - (H_2 + H_4 + H_6 + H_8 + H_{10})}{5}$$



चित्र 6

3.6 सतह रुक्षता का मापन (Measurement of Surface Roughness)

सतहों के विवेचना में रुक्षता मापन के लिये कई प्रकार की संख्यात्मक विधियों का प्रयोग किया जाता है जोकि निम्न हैं—

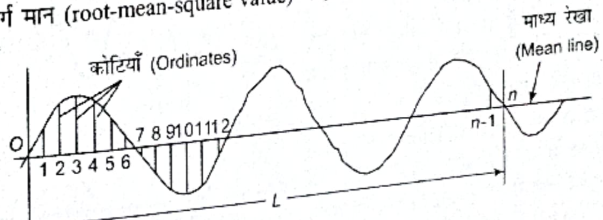
(i) मूल माध्य वर्ग मान (Root Mean Square Value or R.M.S. Value)

(ii) केन्द्र रेखा औसत विधि (Centre Line Average Method or C.L.A. Method)

(iii) अधिकतम शिखर से गर्त या घाटी तक रुक्षता की ऊँचाई (Maximum Crest to valley height of roughness)

3.6.1 मूल-माध्य-वर्ग मान (Root Mean Square Value or R.M.S. Value)

सतह रुक्षता मापन की इस विधि में प्रोफाइल की कोटियों (ordinates) के वर्गों के माध्य का वर्गमूल ही सतह की रुक्षता का मान होता है। दूसरे शब्दों में, माध्य रेखा (mean line) से सतह की कोटियों के वर्गों के माध्य औसत का वर्गमूल (square root), मूल-माध्य-वर्ग मान (root-mean-square value) कहलाता है जिसको निम्न चित्र-7 में दिखाया गया है।



चित्र 7

चित्र-7 के अनुसार प्रोफाइल लम्बाई 'L' को 'n' बराबर भागों में बाँटा गया है। प्रोफाइल की कोटियों को बिन्दु 1, 2, [illegible] 4, ... द्वारा दिखाया गया है। यदि इन बिन्दुओं पर कोटियों की ऊँचाई क्रमशः $h_1, h_2, h_3, h_4, ..., h_n$ हों, तो सतह [illegible] का R.M.S. मान (R.M.S. Value)

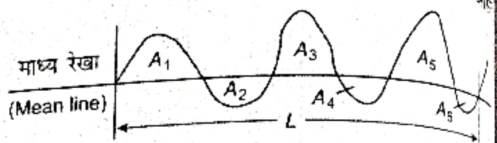
$$H_{rms} = \sqrt{\frac{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + h_4^2 + ... + h_n^2}{n}}$$

जहाँ, h = कोटियों की क्रमवार ऊँचाई

n = लम्बाई L को बराबर भागों में बाँटने की संख्या

3.6.2 केन्द्र रेखा औसत विधि (Centre Line Average Method or C.L.A. Method)

सतह के सभी कोटियों के मानों की माध्य रेखा से [illegible] कोटियों की सभी ऊँचाइयों को धनात्मक (+ve) मानने पर, ऊँचाई को C.L.A. मान (C.L.A. Value) कहते हैं। सतह रुक्षता मापन में इस विधि का प्रयोग R.M.S. की अपेक्षा अधिक होता है। चित्र-8 में इस विधि द्वारा मापन को दर्शाया गया है।



चित्र 8

चित्र-8 के अनुसार, सतह रुक्षता के प्रोफाइल को n बराबर भागों में बाँटा जाता है। माध्य रेखा से सभी बिन्दुओं की ऊँचाइयों का औसत यानी C.L.A. मान

$$\text{C.L.A. मान} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + ... + h_n}{n}$$

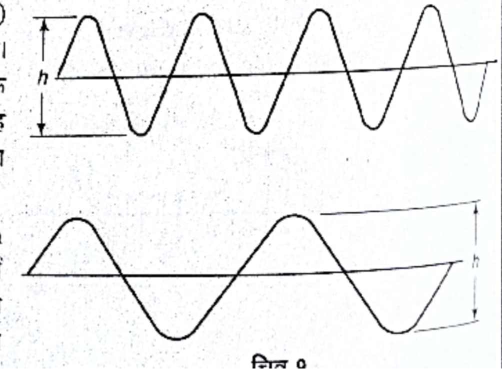
इस विधि में एक कमी यह है कि अधिक ऊँचाई वाला बिन्दु दो भागों के बीच में पड़ सकता है जिस कारण [illegible] उसके छुटने की संभावना बनी रहती है। इस कमी को दूर करने के लिए वक्रों के क्षेत्रफल को ज्ञात करके C.L.A. [illegible] निकाला जाता है। इस प्रकार यदि माध्य रेखा की L लम्बाई पर प्रोफाइल के क्षेत्रफलों का मान A_1, A_2, A_3, A_4 हो तो—

$$\text{C.L.A. मान} = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + ... + A_n}{L} = \frac{\sum A}{L}$$

उपरोक्त सूत्र में क्षेत्रफल का मान भी हमेशा धनात्मक (+ve) लिया जाता है। इस मान (value) को माइक्रॉन (micron) में निकाला जा सकता है।

3.6.3 अधिक शिखर से गर्त या घाटी तक रुक्षता की ऊँचाई (Maximum Crest to Valley Height of Roughness)

सतहों की रुक्षता को मापने के लिए यह विधि सबसे सरल है। निम्न चित्र-9 में दो सतहों को दिखाया गया है जिन [illegible] अनियमितताओं की ऊँचाई (शिखर से गर्त या घाटी तक) बराबर है, लेकिन अनियमितताओं की आवृत्ति भिन्न-भिन्न है। पहली सतह अधिक आवृत्ति वाली है जो अधिक रुक्ष है जबकि दूसरी सतह कम आवृत्ति वाली है जो कम रुक्ष है। इस तरह रुक्षता का मापन आसानी से व कम समय में हो जाता है तथा इसमें निरीक्षण व्यय भी कम आता है।



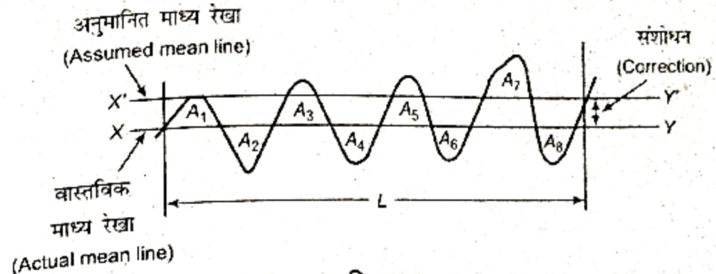
चित्र 9

माध्य रेखा ज्ञात करना (Determination of Mean Line)—सतहों की रुक्षता के मापन में ऊपर लिखित विधियों में सभी मान (values) माध्य रेखा से लिये जाते हैं। इसलिए माध्य रेखा की सही जानकारी जरूरी है। इस प्रकार माध्य रेखा ज्ञात

करने के लिए सबसे पहले कोई भी अनुमानित माध्य रेखा (assumed mean line) ले लिया जाता है। तत्पश्चात् इस अनुमानित माध्य रेखा के ऊपर के क्षेत्रफल एवं नीचे के क्षेत्रफल मापे जाते हैं। इस प्रकार

$$\text{संशोधन (Correction)} = \frac{\sum A\text{ (ऊपर)} - \sum A\text{ (नीचे)}}{L}$$

चित्र-10 में वास्तविक माध्य रेखा को निकालने की विधि को दिखाया गया है।

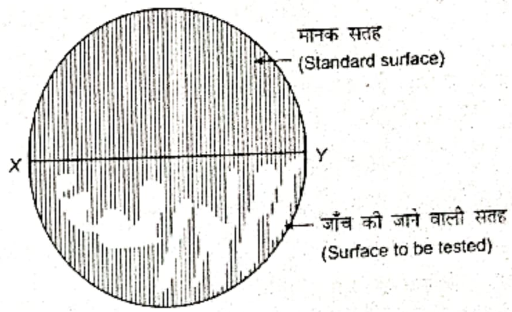


चित्र 10

इस तरह अनुमानित माध्य रेखा में संशोधन को लगाकर वास्तविक माध्य रेखा निकाल लिया जाता है।

3.6.4 R.M.S. मान निकालना (Determination of R.M.S. Value)

सतह की रुक्षता का मापन करने के लिये सतह के शिखर एवं गर्त या घाटियों का ग्राफ उपयुक्त यन्त्र स्टाइलस (Stylus) द्वारा तैयार कर लिया जाता है। उसके बाद एक केन्द्र रेखा को इस प्रकार स्थापित (plot) करते हैं कि उस रेखा के ऊपर वाला क्षेत्रफल एवं नीचे वाला क्षेत्रफल बराबर रहें जिसको चित्र 11 में $X - Y$ द्वारा दिखाया गया है।



चित्र 11

चित्र में दिखाई गई सतह, खरादन प्रक्रिया के द्वारा प्राप्त की गई है। उपरोक्त चित्र में दिखायी गयी सतह के लिये $X - Y$ अक्ष से दूरियाँ निम्न तालिका में दी गई हैं।

स्थिति	$X - Y$ अक्ष से दूरी μm	दूरी का वर्ग
a	2·0	4·00
b	0·5	0·25
c	1·0	1·00
d	2·0	4·00
e	3·0	9·00
f	4·5	22·50
g	2·5	6·25
h	3·0	9·00

(1) स्पर्श निरीक्षण (Touch Inspection)—इस विधि में मापी जाने वाली सतह की रुक्षता का अनुमान अंगुली (finger) द्वारा स्पर्श करके महसूस होने वाली संवेदना से लगाया जाता है। इस विधि से केवल दो सतहों के रुक्षता की तुलना की जाती है कि कौन सी सतह अधिक रुक्ष है या कौन सी कम रुक्ष है। इस विधि में यदि मापन सतह पर अंगुली को 25 से 50 मिमी०/से० की गति से स्पर्श करते हुये सरकाया जाये तो 0·0125 मिमी० तक की अनियमितता का अनुमान लगाया जा सकता है। इस विधि में कभी-कभी अंगुली के स्थान पर टेबिल टेनिस की बॉल को भी हाथ से पकड़कर मापी जाने वाली सतह पर सरकाकर रुक्षता की जाँच की जाती है। सतह रुक्षता का निर्णय लेने से पहले किसी मानक सतह रुक्षता वाले नमूने को स्पर्श करके, तुलना करना चाहिए। इस विधि से रुक्षता की श्रेणी (degree of roughness) का पता नहीं चलता है।

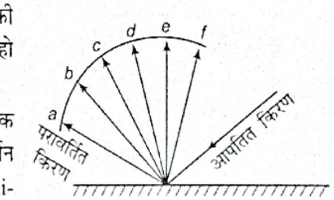
(2) खरोंच निरीक्षण (Scratch Inspection)—इस विधि में जाँची जाने वाली सतह पर कोई मृदु पदार्थ (soft material) जैसे—प्लास्टिक (plastic), लेड (lead) या बेबिट (babit) को रगड़ा जाता है। इस प्रकार से रगड़ने के कारण मृदु पदार्थ पर, सतह पर बने उभारों से खरोंच (scratch) के निशान पड़ जाते हैं, जिसे देखकर सतहों की रुक्षता का अनुमान आसानी से पता लग जाता है।

(3) दृश्य निरीक्षण (Visual Inspection)—सामान्य परिस्थितियों में खुरदरी (rough) सतहों को केवल देखकर ही उसकी रुक्षता का अनुमान लगाया जाता है। परन्तु उच्च फिनिश सतहों को आँखों से देखकर उसकी रुक्षता का अनुमान लगाना कठिन होता है। यह निरीक्षण सतह पर डाली गई प्रकाश की तीव्रता तथा तरंगदैर्ध्य पर निर्भर करता है। इस प्रकार यदि किसी सतह पर प्रकाश को डाला जाये तो उभरी हुई सतहों से अधिक प्रकाश परावर्तित होगा तथा कम उभरी सतहों से कम प्रकाश परावर्तित होगा, जिससे सतहों की अनियमितता का अनुभव किया जा सकता है। इस विधि से एक ही सतह के लिये अलग-अलग प्रेक्षकों द्वारा रुक्षता का अनुमान अलग-अलग हो सकता है जिस कारण यह विधि ज्यादा चिकनी सतह के लिये उपयुक्त नहीं है।

(4) माइक्रोस्कोपी निरीक्षण (Microscopic Inspection)—सतहों की रुक्षता के निरीक्षण के लिए यह सबसे उत्तम विधि है। इस विधि में मानक सतह एवं कार्यखण्ड को एक साथ माइक्रोस्कोप (microscope) से देखा जाता है। तत्पश्चात् कार्यखण्ड की रुक्षता की तुलना मानक सतह से की जाती है, जिसे देखकर रुक्षता का अनुमान आसानी से लगाया जा सकता है। परन्तु इस विधि में सतह का केवल छोटा-सा हिस्सा ही देखा जा सकता है। इसलिये एक औसत मान निकालने के लिये कई पाठ्यांक की आवश्यकता पड़ती है। चित्र 11 में एक तुलनात्मक माइक्रोस्कोप को कार्यखण्ड की रुक्षता की तुलना मानक सतह से करते हुये दिखाया गया है।

(5) सतह की फोटोग्राफी (Surface Photography)—इस विधि में जाँची जाने वाली सतह पर विभिन्न कोणों (angles) से प्रकाश डालकर या प्रतिदीप्त (illuminate) करके सतह की आवर्धित फोटो (magnified photographs) लिये जाते हैं। इस प्रकार जब सतह पर ऊर्ध्वाधर प्रतिदीप्त (vertical illumination) किया जाता है तब चपटी सतहें (flat surface) चमकदार (bright) दिखायी पड़ती हैं तथा सतह की अनियमिततायें जैसे—धब्बे, स्क्रैच, गर्त या घाटी इत्यादि, काले धब्बों (dark black spots) के रूप में दिखायी पड़ते हैं। इसी प्रकार जब सतह पर तिरछा प्रकाश डाला जाता है तब रुक्षता चमकदार दिखायी पड़ती है तथा चपटी सतह काले धब्बों के रूप में दिखायी पड़ते हैं। इस तरह विभिन्न कोणों से डाले गये प्रकाश से प्राप्त फोटोग्राफ्स (photographs) की तुलना करके सतहों की पहचान या परीक्षण किया जाता है।

(6) परावर्तन विधि (Reflection Method)—जब किसी चिकनी सतह पर प्रकाश आपतित होता है तब वह परावर्तन के नियम का पालन करते हुये परावर्तित हो जाता है। परावर्तित प्रकाश की तीव्रता किसी निश्चित कोण पर अधिकतम होती है जिसका मान आपतन कोण के बराबर होता है। इस प्रकार यदि प्रकाश की किरण किसी रुक्ष सतह पर आपतित हो तो प्रकाश विभिन्न कोण पर परावर्तित हो जाता है जिसको चित्र-12 में दिखाया गया है।



चित्र 12

इस चित्र से स्पष्ट हो जाता है कि उस परावर्तित किरण की तीव्रता अधिक होती है जिसका परावर्तन कोण, आपतन कोण के बराबर होता है। विभिन्न परावर्तन कोणों पर प्रकाश की तीव्रता को अर्द्धचालक युक्ति फोटोमीटर (semi-conductor/photo-electric cell) द्वारा ज्ञात कर लिया जाता है। तत्पश्चात् इसके

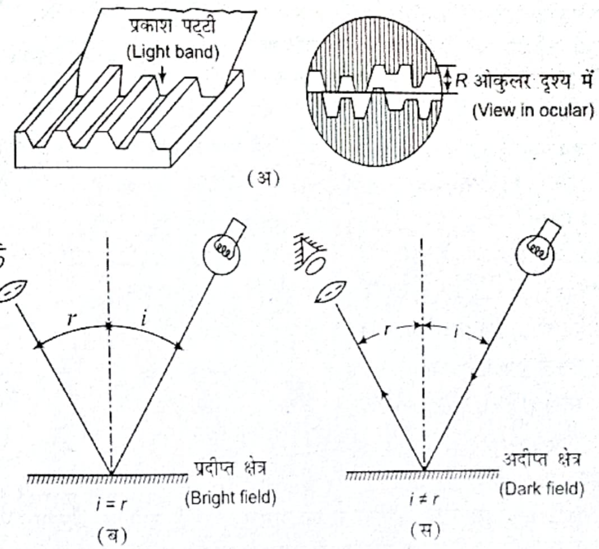
1. प्रतिच्छेदन विधि (Intersection Method)—सतह की रुक्षता को मापने की इस विधि में कार्यखण्ड को उसकी सतह के लम्बवत् (perpendicular) प्रतिच्छेदित (intersect) करके माइक्रोस्कोप में देखा जाता है। यह विधि दो प्रकार की होती हैं—

(A) अनुप्रस्थ काट विधि (Cross-section Method)—इस विधि में जाँचे जाने वाले कार्यखण्ड (workpiece) को उसकी सतह के लम्बवत् काटा जाता है। चूँकि काटते समय सतह का विरूपण (deformation) होने के कारण सतह का टेक्सचर (texture) नष्ट हो जाता है। इसलिये सतह का विरूपण होने से बचाने के लिए कार्यखण्ड के ऊपर समान कठोरता की सुरक्षात्मक परत (protective layer), क्रोमियम प्लेटिंग (chromium plating) या सफेद मेटल (white metal) काटने से पहले चढ़ा दी जाती है। तत्पश्चात् नमूने (specimen) को काटने के बाद पॉलिश किया जाता है तथा पॉलिश के बाद प्राप्त सतह के टेक्सचर को माइक्रोस्कोप से देखा जाता है।

यद्यपि यह विधि काफी यथार्थ (accurate) है, परन्तु कार्यखण्ड के नष्ट होने, अधिक समय लगने तथा प्रयोगात्मक मापन में काफी असुविधा होने के कारण यह विधि लोकप्रिय नहीं है। इन कमियों से बचने के लिये सेल्युलॉइड (celluloid) या जिलेटिन (gelatine) से उस सतह की अनुकृति (surface replica) बना लेते हैं। तत्पश्चात् इस अनुकृति को सुखाकर फिर इसकी पतली सी फाँक काटकर माइक्रोस्कोप से जाँच करके सतह की रुक्षता ज्ञात की जाती है।

(B) प्रकाश काट विधि (Light-Section Method)—प्रकाश-काट विधि सतह की रुक्षता निकालने की एक अभंजन विधि (Non-distruction method) है जिसमें सतह की टेक्स्चर को देखा जाता है। इसमें रूक्ष सतह पर एक पतली प्रकाश की पट्टी (narrow light band) डाली जाती है। प्रकाश एवं सतह के प्रतिच्छेद (intersect) से तैयार प्रतिच्छेदन कन्टूर (intersected contour) को माइक्रोस्कोप से देखा जाता है। चित्र-13 (अ) में इसको दिखाया गया है तथा चित्र-13 (ब) एवं (स) में सतह टेक्स्चर (surface texture) के प्रक्षेपण (projection) एवं प्रेक्षण (observation) की दो विधियों को दिखाया गया है।

पहली विधि (चित्र 13 ब) में आपतन कोण (angle of incidence) परावर्तन कोण (angle of reflection) के बराबर है। आपतन कोण $\angle i$ = परावर्तन कोण $\angle r$। तत्पश्चात् प्रकाश की पतली पट्टी एक स्रोत (source) से निकलकर रुक्ष सतह पर



चित्र 13

सतह की कठोरता पर निर्भर करता है। गोलाकार सतहों की जाँच के लिये स्टाइलस गोलाकार दिशा में चलता है तथा चौरस सतहों की जाँच के लिए स्टाइलस सरल रेखा में चलता है।

(ii) स्टाइलस (Stylus)—सतहों की रुक्षता के मापन यंत्र का एक महत्वपूर्ण पार्ट स्टाइलस होता है जो सुई (needle) की तरह होता है। जिस सतह की रुक्षता की जाँच करनी होती है उस सतह पर स्टाइलस गति करता है। सतह की अनियमितता जैसे—शिखर या घाटी के अनुसार स्टाइलस ऊपर उठता है या नीचे गिरता है। सतहों के अनुसार एवं मापन के अनुसार अलग-अलग आकार-प्रकार के स्टाइलस प्रयोग किये जाते हैं। स्टाइलस की नोंक (point) की माप अलग-अलग भार लगाने लिये अलग-अलग होती है। स्टाइलस के उतार-चढ़ाव को ग्राफ पर उपयुक्त युक्ति (device) द्वारा अंकित किया जा सकता है तथा सतहों की अनियमितताओं को ग्राफ द्वारा मापा जा सकता है आमतौर पर स्टाइलस का भार 1 से 2 ग्राम तक होता है तथा स्टाइलस की नोंक का व्यास 0·0125 मिमी० रखा जाता है। एक अच्छे स्टाइलस में निम्न गुण होने चाहिए—

(a) घिसाव प्रतिरोधी (wear resistant) होना चाहिए।

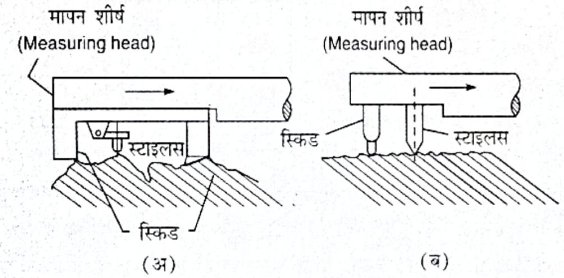
(b) मापन-सतह को कोई हानि नहीं होनी चाहिए।

(c) मापन-सतह की अनियमितताओं का ठीक प्रकार से अनुसरण करते हुये सही पाठ्यांक देना चाहिए।

(iii) मापन बल (Measuring Force)—स्टाइलस पर लगने वाले दाब की मात्रा सतह की कठोरता पर निर्भर करता है। स्टाइलस का वजन इस प्रकार का रखा जाता है कि सतह पर स्टाइलस का दाब सही ढंग से लगा रहे तथा वह सतह की अनियमितताओं का इस प्रकार अनुसरण करे ताकि जाँची जाने वाली सतह खराब न हो।

(iv) स्टाइलस की गति (Speed of Stylus)—चौरस सतहों के निरीक्षण में स्टाइलस की गति सरल रेखा में होती है तथा गोलाकार सतहों के निरीक्षण में स्टाइलस की गति गोलाकार होती है जिसमें स्टाइलस को चलने में कोई कठिनाई नहीं होती है। परन्तु यदि कैम या गियर (cam or gear) के दाँतों की सतह का परीक्षण करना हो तो स्टाइलस को गति करने में कठिनाई होगी। स्टाइलस की गति को डेटम तल (datum level) के संदर्भ में मापा जाता है। इस प्रकार सतह के अनियमितताओं के आयाम को संयोजित (adjust) करके ट्रेस (trace) की गति को तय किया जाता है।

(v) स्टाइलस स्किड (Stylus Skids)—स्टाइलस को सही गति देने के लिए जाँची जाने वाली सतह पर दो स्टाइलस चलते हैं। इनमें से एक छोटे व्यास का स्टाइलस होता है जो रुक्षता मापन में मुख्य भूमिका निभाता है तथा दूसरा स्टाइलस काफी बड़े व्यास वाला होता है। इसी बड़े व्यास वाले स्टाइलस को स्टाइलस स्किड (Stylus Skid) कहते हैं। स्किड का व्यास लगभग 5 मिमी० से लेकर 50 मिमी० तक होता है। स्किड की नोंक का आकार गोल या चपटा हो सकता है। चित्र-15 (अ) एवं (ब) में दो तरह के स्किड को दिखाया गया है। चित्र-15 (अ) में दिखाया गया स्किड स्टाइलस के दो भागों का बना होता है जो स्टाइलस के दोनों तरफ रहता है।



चित्र 15

चित्र-15 (ब) में दिखाया गया स्किड गोल मुँह वाला है, जिसके नोंक का व्यास लगभग 50 मिमी० है। स्किड की सम्पर्की सतह मोटी होने के कारण वह सूक्ष्म अनियमितताओं के अनुसार ऊपर या नीचे नहीं चलती है बल्कि इनके ऊपर उठकर या चढ़कर चलती है।

(vi) चालन युक्तियाँ (Drive Mechanism)—सतहों की रुक्षता को मापने के लिए जाँची जाने वाली सतह पर स्टाइलस को चलाना पड़ता है। स्टाइलस को चलाने के लिये अनेक प्रकार की चालन-युक्तियों का प्रयोग किया जाता है जिसमें मुख्य रूप से निम्न युक्तियाँ प्रयोग में लायी जाती हैं—

(a) हस्त चालन (Hand Drive)
(b) घर्षण चालन (Friction Drive)
(c) हाइड्रॉलिक चालन (Hydraulic Drive)
(d) चुम्बकीय प्लेट चालन (Magnetic Plate Drive)
(e) सिनक्रोनस मोटर एवं चालन स्क्रू का संयोजन (Synchronous Motor and Drive Screw Arrangement)

उपरोक्त बतायी गयी युक्तियाँ इस प्रकार होनी चाहिए कि उसमें कम से कम कम्पन हों, उसकी गति स्थिर (constant) रहे तथा स्टाइलस जाँची जाने वाली सतह के सम्पर्क में हमेशा बना रहे।

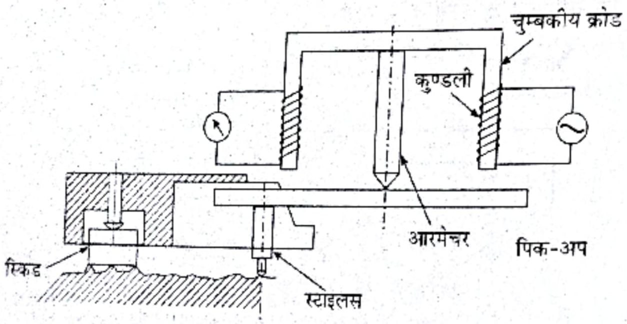
(vii) प्रवर्धक (Amplifier)—स्टाइलस द्वारा प्राप्त मापन संकेतों को प्रवर्धित (amplify) करने के लिये प्रवर्धक (amplifier) का प्रयोग किया जाता है। एक अच्छे प्रवर्धक को उच्च प्रवर्धन (high amplification) वाला एवं स्थायित्व (stability) वाला होना चाहिये।

(viii) अभिलेखक (Recorder)—स्टाइलस की गति से प्राप्त संकेतों को प्रवर्धक द्वारा प्रवर्धित करने के बाद उसे ग्राफ पर अंकित करने के लिए अभिलेखक (recroder) का प्रयोग किया जाता है। इस प्रकार अभिलेखक द्वारा प्राप्त ग्राफ के ट्रेस (trace) का विश्लेषण करके सतह की रुक्षता का मान निकाला जाता है।

3.7.3 स्टाइलस यंत्र (Stylus Instruments)

सतहों की रुक्षता के मापन के लिए विभिन्न प्रकार के स्टाइलस यंत्रों का प्रयोग किया जाता है। मुख्य रूप से प्रयोग में आने वाले यंत्रों का विवरण नीचे दिया जा रहा है—

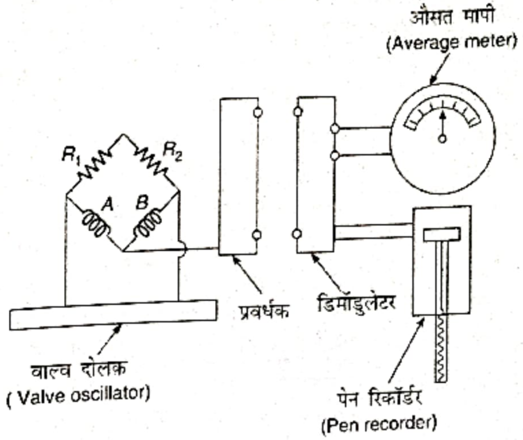
(i) टेलीसर्फ (Talysurf)—सतहों की रुक्षता का परीक्षण करने के लिए टेलर हॉबसन टेलीसर्फ (Taylor Hobson Talysurf) ने सतह रुक्षता टेस्टर (Surface Roughness Tester) यंत्र बनाया, उन्हीं के नाम पर इस यंत्र को टेलर हॉबसन टेलीसर्फ के नाम से जाना जाता है। यह यंत्र कैरियर मॉड्यूलेशन (Carrier Modulation) के सिद्धान्त पर कार्य करता है। इस यंत्र को निम्न चित्र-16 में दिखाया गया है।



चित्र 16 : टेलर हॉब्सन टेलीसर्फ

इस सिद्धान्त के अनुसार स्टाइलस की गति से उच्च आवृत्ति (frequency) की कैरियर-धारा (carrier current) मॉड्यूलेट (modulate) की जाती है। तत्पश्चात् कैरियर धारा को प्रवर्धित (amplify) करके अभिलेखन यन्त्र या सूचक यन्त्र को भेजी जाती है।

इस यंत्र में 'E' के आकार का एक मृदु लौह शीर्ष (soft iron head) होता है जो पिक-अप (pick-up) कहलाता है। पिक-अप की केन्द्रीय भुजा (central arm) से आर्मेचर (armature) पिवटित (pivoted) रहता है। आर्मेचर से ही एक नुकीला स्टाइलस लगा रहता है जो सतह की अनियमितताओं को ट्रेस करता है। टेलीसर्फ की सर्किट व्यवस्था का रेखाचित्र (Line diagram of circuite arrangement of Talysurf) को निम्न चित्र-17 में दिखाया गया है।



चित्र 17 : टेलर हॉब्सन टेलीसर्फ की ब्रिज व्यवस्था

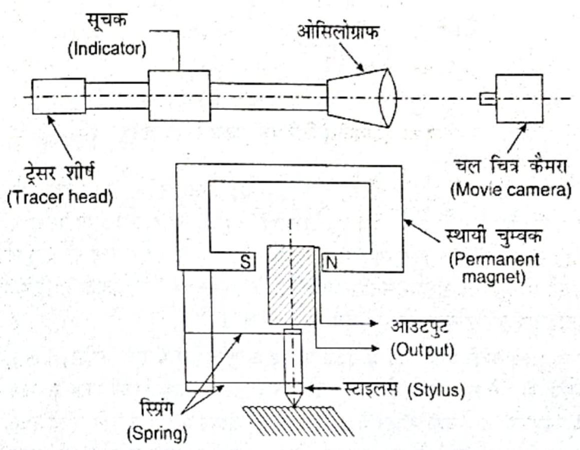
इस यंत्र में मुख्य रूप से निम्न अंग होते हैं—(a) E-आकार का मृदु लौह शीर्ष (E-shaped soft iron head), (b) स्टाइलस (Stylus), (c) आर्मेचर (Armature), (d) बेलनाकार स्किड (Cylindrical Skid), (e) प्रवर्धक (Amplifier), (f) डिमॉड्यूलेटर (Demodulator), (g) वाल्व दोलक (Valve Oscillator)।

कार्यविधि (Working Method)—स्टाइलस की नीचे गति (downward motion) या दोलन गति (oscillatory motion) विद्युत धारा में परिवर्तित हो जाती है। स्टाइलस के गति करने पर प्राइमरी कुण्डली का वायु अन्तराल (air gap) कम हो जाता है तथा सेकेण्ड्री कुण्डली का वायु अन्तराल उतनी ही मात्रा में बढ़ जाता है। वायु-अन्तराल के इसी परिवर्तन के कारण कुण्डलियों का प्रेरकत्व (inductance) भी परिवर्तित होता है जिसके कारण सेकण्ड्री कुण्डली में अतिरिक्त प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) प्रवाहित होती है। अतिरिक्त प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) की मात्रा कुण्डली में प्रेरकत्व के बदलाव द्वारा नियंत्रित (governed) होती है। अतिरिक्त प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) की मात्रा स्टाइलस के विस्थापन के समानुपाती होती है। इस प्रकार स्टाइलस की स्थिति के अनुसार कैरियर (carrier) को मॉड्यूलेट (modulate) किया जाता है तथा जिसको प्रवर्धित (amplify) करने के बाद अभिलेखन यंत्र को भेजा जाता है जो सतह की टेक्सचर (texture) का वास्तविक ग्राफ उपलब्ध कराता है। इस यंत्र में डेटम (datum) के रूप में एक बेलनाकार स्किड (cylindrical skid) लगा रहता है जो पिक-अप यूनिट को, मोटर (motor) एवं गियर बॉक्स (gear box) युक्ति द्वारा परीक्षण की जाने वाली सतह पर चलाता है जिसके द्वारा अलग-अलग मापन गति प्राप्त होती है तथा उसको ट्रेस कर लिया जाता है। इस यंत्र द्वारा अधिकतम 100 मिमी॰ लम्बी लम्बाई को ट्रेस किया जा सकता है। स्टाइलस का ऊर्ध्वाधर आवर्धन (vertical magnification) 1,000 से 50,000 गुना तक होता है तथा इसका मापन बल (measuring force) 0·1 ग्राम होता है।

(ii) टॉमिल्सन सतहमापी (Tomilson Surface meter)—इस सतहमापी का आविष्कार डॉ॰ टॉमिल्सन (Dr. Tomilson) द्वारा किया गया था। इसीलिये इसका नाम टॉमिल्सन सतहमापी (Tomilson Surface meter) पड़ा। इसमें आवर्धन के लिए यांत्रिक एवं प्रकाशीय तकनीकी (Mechanical and Optical Technology) का प्रयोग किया जाता है। इस यंत्र के मुख्य अंगों को चित्र-18 में दिखाया गया है—

इस प्रकार जब किसी परीक्षण की जाने वाली सतह को मापना होता है तब उस सतह को यंत्र के स्टाइलस के नीचे रख दिया जाता है। यंत्र की बॉडी को सतह के आर-पार सिंनक्रोनस मोटर (synchronous motor) के द्वारा चलाया जाता है। सतह की अनियमितता के अनुसार स्टाइलस ऊपर या नीचे गति करता है जिससे लैप किया हुआ सिलिण्डर रोल (roll) करता है, अर्थात घूमता है। इस प्रकार सिलिण्डर के रोल करने पर उसके सिरे पर लगी हुई हल्की इस्पात स्प्रिंग भुजा में गति होती है, जो आवर्धित (magnify) होकर स्मोक्ड काँच पर हीरक स्क्राइबर द्वारा अंकित हो जाती है। इस प्रकार स्मोक्ड काँच पर जो ट्रेस बनेगा वह स्टाइलस की ऊर्ध्वाधर गति को प्रदर्शित करता है। इस विधि से क्षैतिज गति को आवर्धित नहीं किया जा सकता है। स्मोक्ड काँच पर बने ट्रेस को 50 गुना से लेकर 100 गुना तक आवर्धित करके सतह रुक्षता का ट्रेस प्राप्त किया जा सकता है। यह ट्रेस सस्ता होता है तथा इससे यथार्थ परिणाम प्राप्त होते हैं। सीमित कार्यों के लिये यह यंत्र बहुत ही उपयोगी होता है।

(iii) एबट प्रोफाइलोग्राफ (Abbott Profilograph)—इस यंत्र का पूरा प्रबन्ध एक खोल (cabinet) के अन्दर रहता है जिसके अन्दर एक प्रवर्धक (amplifier), नियंत्रक (controller) तथा सूचक (indicator) लगा होता है। इस यंत्र में एक ट्रेसर शीर्ष (tracer head) भी होता है जिसे हाथ द्वारा (manually) या विद्युत मोटर द्वारा 8 मिमी/सेकेण्ड की गति से चलाया जाता है। दूसरे शीर्ष में ही स्टाइलस लगा होता है जिसका नोक हीरे की आकार का, शंकु-कोण 60° एवं नोंक का व्यास 25 μm होता है। स्टाइलस को ड्यूरेलुमिन (duralumin) के ट्यूब के नीचे लगाया जाता है जिस पर चल कुण्डली (moving coil) लगी होती है। चल कुण्डली एक स्थाई चुम्बक (permanent magnet) से घिरी रहती है। ड्यूरेलुमिन की ट्यूब हल्के स्प्रिंगों की सहायता से आलम्बित रहती है। एबट प्रोफाइलोग्राफ के क्रिया सिद्धान्त को चित्र-19 में दिखाया गया है।



चित्र 19 : एबट प्रोफाइलोग्राफ

जिस सतह की रुक्षता की जाँच करनी होती है उसे स्टाइलस के नीचे लगाया जाता है। स्टाइलस जब सतह पर चलता है तब सतह के अनियमितताओं के अनुसार उसमें उतार या चढ़ाव होता है जिससे ट्यूब एवं कुण्डली गतिशील हो जाती है। गतिशील होने के पश्चात् जैसे ही कुण्डली स्थायी चुम्बकीय क्षेत्र (permanent magnetic field) में चलती है तो उसमें एक विद्युत धारा उत्पन्न होती है जो कुण्डली का आउटपुट मान (output value) होता है। इसी आउटपुट मान को, रिकार्ड करने के लिए प्रवर्धित (amplify) करके, एक ऑसिलोग्राफ (oscillograph) में ले जाया जाता है तथा मोटर चालित कैमरा (motor driven camera) के द्वारा उसके फोटोग्राफ लेकर स्थायी अभिलेख तैयार कर लिया जाता है तत्पश्चात् फोटोग्राफिक अभिलेख का अध्ययन करके सतह रुक्षता का मापन किया जाता है।

यह यंत्र सतह टेक्सचर (surface texture) मापन के लिए बहुत उपयोगी है। इस यंत्र के द्वारा सतहों के गुणों का मापन आसानी से किया जा सकता है। इस यंत्र द्वारा सतहों पर बने गहरी घाटियों (valleys) को भी आसानी से मापा जा सकता है।

(v) यदि मशीन की चाल (speed), फीड (feed) एवं कट की गहराई (depth of cut) कार्यखण्ड के अनुकूल नहीं है तो भी सतह की रुक्षता बढ़ जाती है।

(vi) कार्यखण्ड, मशीन, टूल या फिक्स्चर में से किसी की भी दृढ़ता (rigidity) कम होने पर भी सतह रुक्षता बढ़ जाती है।

(vii) कटिंग के समय मशीन पर कूलेंट (coolant) का समुचित प्रयोग न होने पर सतह रुक्ष (rough) हो जाती है।

उपरोक्त बतायी गई सभी बिन्दुओं से या किसी एक बिन्दु से भी सतह की परिशुद्धता प्रभावित हो जाती है।

3.9 सतह रुक्षता का चिन्ह/संकेत (Symbol of Surface Roughness)

सतह रुक्षता मापन में सतह रुक्षता को R_a माइक्रान से दर्शाया जाता है। ये एक पार्श्विक (unilateral) या द्विपार्श्विक (bilateral) भी हो सकते हैं। एक-पार्श्विक की दशा में सतह रुक्षता R_a का मान शून्य से नीचे दिये गये न्यूनतम मान को दर्शायेगा जबकि द्विपार्श्विक की दशा में सतह रुक्षता R_a का अधिकतम तथा न्यूनतम मान दर्शायेगा। नीचे दिये गये तालिका में भारतीय मानक (Indian Standard) 3073-67 के अनुसार सतह की सैम्पल लम्बाई (sample length) और रुक्षता (roughness) R_a और R_Z के मान (value) अलग-अलग प्रकार के निर्माण विधियों के लिए दिया गया है—

क्र०सं० (S.No.)	R_a (मिमी० × 10^{-3})	R_Z (मिमी० × 10^{-3})	सैम्पल लम्बाई Sample Length (l) मिमी०	निर्माण विधि (Manufacturing Process)
1.	80	320	8	गैस कटिंग (Gas Cutting)
2.	40	160		
3.	20	80		रफ टर्निंग (Rough Cutting)
4.	10	40		
5.	5	20	2·5	टर्निंग (फाइन तथा औसत) [turning (fine and average)]
6.	2·5	10		
7.	1·25	6·4		
8.	0·64	3·2	0·8	ग्राइंडिंग (Grinding)
9.	0·32	1·6		
10.	0·16	0·8		
11.	0·08	0·4	0·25	लैपिंग, होनिंग (Lapping, Honing)
12.	0·04	0·2		
13.	0·02	0·1	0·08	पॉलिशिंग (Polishing)
14.	0·01	0·3		

3.10 भारतीय मानक के अनुसार सतह रुक्षता मापन प्रणाली (Measuring System of Surface Roughness as per Indian Standard)

भारतीय मानक के अनुसार सतह रुक्षता मापने की दो प्रणाली प्रयोग में लायी जाती हैं—

(i) 'M' प्रणाली अथवा केन्द्रीय रेखा औसत मान ('M' System of C.L.A. Value)

(ii) 'E' या एनवेलप प्रणाली (E or envelope system)

(i) 'M' प्रणाली अथवा केन्द्रीय रेखा औसत मान ('M' System or C.L.A. Value)—इस प्रणाली में सैम्पल लम्बाई (sample length) के लिये सतह के अभिलम्ब दिशा के समतल में माध्य रेखा से ऊपर की ओर एवं नीचे की ओर वास्तविक सतह (real surface) के विचलन (deviation) का औसत मान (average value) को रुक्षता के रूप में लेते हैं। इसे CLA मान (Central Line Average Value) भी कहा जाता है। इस प्रणाली में सतह रुक्षता के मान को R_a से प्रदर्शित किया जाता है एवं उसका मान (Value) माइक्रोन (micron) में होता है।

(ii) 'E' या एनवेलप प्रणाली ('E' System or Envelope System)—इस प्रणाली में सतह के माध्य वक्र (mean curve) से विचलन (deviation) के औसत को रुक्षता के रूप में लेते हैं। माध्य वक्र, सम्पर्की एनवेलप (contacting envelope) को उस स्थिति में विस्थापित करने से बनता है जहाँ माध्य वक्र, नीचे की ओर तथा ऊपर की ओर प्रोफाइल द्वारा कवर (cover) किये गये क्षेत्रफल (area) समान होते हैं।

यह सम्पर्की एनवेलप 50 मिमी० व्यास (diameter) के एक वृत्त के केन्द्र के बिन्दुपथ (locus) को r मिमी० विस्थापित करके सतह पर रोल (roll) कराने से बनता है।

उदाहरण

उदाहरण 1. सतह रुक्षता के मापन में दस क्रमागत शीर्ष एवं घाटियों की ऊँचाइयाँ किसी आधार से 20, 25, 15, 25, 22, 18, 24, 20, 23, 17 माइक्रॉन हैं। यदि सभी मान 10 mm की सैम्पल लम्बाई में प्राप्त किये गये हो तो सतह रुक्षता के C.L.A. मान एवं R.M.S. मान ज्ञात कीजिये तथा रुक्षता का ग्रेड भी बताइये।

उत्तर—सतह रुक्षता का C.L.A. मान या R_a मान

$$= \frac{20+25+15+25+22+18+24+20+23+17}{10}$$

$$= \frac{209}{10}$$

$$= 20 \cdot 9\,\mu m$$

एवं $20 \cdot 9\,\mu m$ के लिए रुक्षता का ग्रेड = N_{11}

तथा, सतह रुक्षता का R.M.S. मान

$$= \sqrt{\frac{20^2+25^2+15^2+25^2+22^2+18^2+24^2+20^2+23^2+17^2}{10}}$$

$$= \sqrt{\frac{400+625+225+625+484+324+576+400+529+289}{10}}$$

$$= \sqrt{\frac{4477}{10}}$$

$$= \sqrt{447 \cdot 7}$$

$$= 21 \cdot 1\,\mu m$$ **Ans.**

उदाहरण 2. किसी सैम्पल लम्बाई 0·8 mm के लिए एक ग्राफ 15000 गुना ऊर्ध्वाधर आवर्धन तथा 100 गुना क्षैतिज आवर्धन में खींचा जाता है। आधार रेखा के ऊपर एवं नीचे बने क्षेत्रों के क्षेत्रफल हैं–आधार रेखा के ऊपर 160, 90, 180, 80 mm^2 आधार रेखा के नीचे 65, 75, 160, 150 mm^2। उपरोक्त बिन्दुओं के आधार पर C.L.A. का मान ज्ञात कीजिये।

उत्तर—C.L.A. का मान

$$\text{C.L.A. का मान} = \frac{\text{क्षेत्रफलों का योग}}{\text{सैम्पल लम्बाई}} \times \frac{1000}{\text{ऊर्ध्वाधर स्केल}} \times \frac{1}{\text{क्षैतिज स्केल}}$$

$$\therefore \text{C.L.A. का मान} = \frac{(160+90+180+80+65+75+160+150)\ mm^2}{0\cdot8\ mm} \times \frac{1000}{15000} \times \frac{1}{100}$$

$$= \frac{960\ mm^2}{0\cdot8\ mm} \times \frac{1000}{15000} \times \frac{1}{100}$$

$$= \frac{960000}{1200000} = \mathbf{0\cdot8\,\mu m}$$ Ans.

उदाहरण 3. स्क्रू माइक्रोमीटर द्वारा किसी दिये गये जॉब की लम्बाई को मापने में निम्न पाठ्यांक प्राप्त हुये–

1·34, 1·38, 1·56, 1·47, 1·42, 1·44, 1·53, 1·48, 1·40, 1·59 mm

उपरोक्त पाठ्यांक के लिये निम्न की गणना कीजिये—

(i) समान्तर माध्यमान (Arithmetic Mean value)

(ii) औसत विचलन (Average deviation)

(iii) मानक विचलन (Standard diviation)

उत्तर—(i) समान्तर माध्यमान (Arithmetic mean value)

$$\bar{q} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} q_i = \frac{q_1+q_2+q_3+q_4+q_5+q_6+q_7+q_8+q_9+q_{10}}{10}$$

$$= \frac{1\cdot34+1\cdot38+1\cdot56+1\cdot47+1\cdot42+1\cdot44+1\cdot53+1\cdot48+1\cdot40+1\cdot59}{10}$$

$$= \frac{14\cdot61}{10}$$

$$= 1\cdot461\ mm$$ Ans.

(ii) औसत विचलन (Average diviation)

$d_1 = q_1 - \bar{q} = 1\cdot34 - 1\cdot461 = -0\cdot121$

$d_2 = q_2 - \bar{q} = 1\cdot38 - 1\cdot461 = -0\cdot081$

$d_3 = q_3 - \bar{q} = 1\cdot56 - 1\cdot461 = +0\cdot099$

$d_4 = q_4 - \bar{q} = 1\cdot47 - 1\cdot461 = +0\cdot009$

$d_5 = q_5 - \bar{q} = 1\cdot42 - 1\cdot461 = -0\cdot041$

$d_6 = q_6 - \bar{q} = 1\cdot44 - 1\cdot461 = -0\cdot021$

$d_7 = q_7 - \bar{q} = 1\cdot53 - 1\cdot461 = +0\cdot069$

$d_8 = q_8 - \bar{q} = 1\cdot48 - 1\cdot461 = +0\cdot019$

$d_9 = q_9 - \bar{q} = 1\cdot40 - 1\cdot461 = -0\cdot061$

$d_{10} = q_{10} - \bar{q} = 1\cdot59 - 1\cdot461 = +0\cdot129$

$$\therefore \text{औसत विचलन } \bar{d} = \frac{\Sigma|d|}{n} \quad \text{or} \quad \sum_{i=1}^{h} \frac{|q_i - \bar{q}|}{n}$$

$$= \frac{0\cdot121+0\cdot081+0\cdot099+0\cdot009+0\cdot041+0\cdot021+0\cdot069+0\cdot019+0\cdot061+0\cdot129}{10}$$

$$= \frac{6\cdot5}{10}$$

$$= \mathbf{0\cdot65}$$ Ans.

(iii) मानक विचलन (Standard diviation)

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma d^2}{n-1}}$$

or $$S = \frac{(-0\cdot121)^2+(-0\cdot181)^2+(0\cdot099)^2+(0\cdot009)^2+(-0\cdot041)^2+(-0\cdot021)^2+(0\cdot069)^2+(0\cdot019)^2+(-0\cdot061)^2+(0\cdot129)^2}{10-1}$$

or $$S = \frac{\sqrt{0\cdot05869}}{9}$$ Ans.

$$= \mathbf{0\cdot0807\ mm}$$

उदाहरण 4. किसी सतह की जाँच के उपरान्त निम्न पाठ्यांक या गणना प्राप्त होते हैं—

(i) सैम्पलिंग लम्बाई — 0·8 mm

(ii) ऊर्ध्वाधर आवर्धन — 15000

(iii) क्षैतिज आवर्धन — 1000

(iv) डैटम लाइन से ऊपर के क्षेत्र — 160, 90, 180 और 50 mm^2

(v) डैटम लाइन से नीचे के क्षेत्र — 95, 65, 170, 150 mm^2

इस तरह का CLA मान ज्ञात कीजिये।

उत्तर—

$$\Sigma A = \frac{\text{सभी क्षेत्रों का योग}}{\text{ऊर्ध्व आवर्धन} \times \text{क्षैतिज आवर्धन}}$$

$$= \frac{160+95+90+65+180+170+50+150}{15000 \times 100}$$

$$= \frac{960}{1500000}$$

$$= 0\cdot00064\ mm^2$$

$\therefore$ CLA मान $= \frac{\Sigma A}{L}$

$= \frac{0.00064}{0.8}$

$= 0.0008\ mm$

$= 0.0008 \times 1000\ \mu m$

$= 0.8 \mu m$

उदाहरण 5. किसी सैम्पल लम्बाई के लिए एक ग्राफ खींचा जाता है जिसके निम्न गणक प्राप्त होते हैं—

(i) सैम्पलिंग लम्बाई	—	**0·6 mm**
(ii) ऊर्ध्वाधर आवर्धन	—	**15000**
(iii) क्षैतिज आवर्धन	—	**100 गुना**
(iv) आधार रेखा से ऊपर बने क्षेत्रों का क्षेत्रफल	—	**150, 90, 160 और 70 mm²**
(v) आधार रेखा से नीचे बने क्षेत्रों का क्षेत्रफल	—	**60, 70, 150, 140 mm²**

उपरोक्त बिन्दुओं के आधार पर CLA मान ज्ञात कीजिये।

उत्तर—

$$\text{C.L.A. का मान} = \frac{\text{क्षेत्रफलों का योग}}{\text{सैम्पल लम्बाई}} \times \frac{1}{\text{ऊर्ध्वाधर स्केल}} \times \frac{1}{\text{क्षैतिज स्केल}}$$

$$= \frac{(150+90+160+70+60+70+150+140)\ mm^2}{0.6 mm} \times \frac{1}{1600} \times \frac{1}{100}$$

$$= \frac{890\ mm^2}{0.6\ mm} \times \frac{1}{16000} \times \frac{1}{100}$$

$$= \frac{890}{960000} = 0.000927\ mm$$

$$= 0.000927 \times 1000 \mu m$$

$$= \mathbf{0.927 \mu m}$$

अभ्यास-प्रश्न (Exercise)

1. सतह रुक्षता को समझाइये।
2. सतह टेक्स्चर (Surface Texture) को परिभाषित करें।
3. निम्न को संक्षेप में परिभाषित करें—
   (a) प्राइमरी टेक्स्चर (Primary texture) **(BTE 1990, 93, 9**
   (b) द्वितीयक टेक्स्चर (Secondary texture) **(BTE 1990, 9**
4. सतहों की अनियमितताओं से आपका क्या तात्पर्य है?

5. सतह रुक्षता के प्राचाल को सचित्र समझाइये।
6. सतहों की अनियमितता की श्रेणीयों का वर्णन करें।
7. सतहों की रुक्षता का वर्गीकरण कीजिये।
8. सतह रुक्षता का मापन यंत्रों पर क्या प्रभाव पड़ता है?
9. प्रथम, द्वितीय, तृतीय एवं चतुर्थ श्रेणी की अनियमितताओं में अन्तर बताइये।
10. सतह रुक्षता मापने की विभिन्न विधियों का वर्णन करें।
11. सतह रुक्षता मापने की तुलनात्मक विधियों के नाम बताइये एवं किसी एक का वर्णन करें। **(BTE 1992, 97, 2006)**
12. निम्नलिखित पर संक्षिप्त टिप्पणी करें—
    (a) एबट प्रोफाइलोग्राफ
    (b) टॉमिल्सन सतहमापी **(BTE 1990, 93, 94, 96, 20, 02, 06, 11)**
    (c) टेलीसर्फ **(BTE 2005)**
    (d) सैम्पल लम्बाई (Sample Length) **(BTE 2005)**
    (e) ले (Lay) **(BTE 2005)**
    (f) तरंगशीलता (Waviness)। **(BTE 1990, 97)**
13. सतह रुक्षता मापने की निम्न विधियों को समझाइये—
    (a) परावर्तन विधि (Reflection Method)
    (b) सूक्ष्मदर्शी निरीक्षण (Microscopic Inspection)
    (c) सूक्ष्म व्यतिकरणमापी विधि (Micro Interferometer Method)
14. सतह रुक्षता मापने की निम्न परिमाणात्मक विधियों का संक्षेप में वर्णन करें—
    (a) स्टाइलस विधि (Stylus Method)
    (b) प्रतिच्छेदन विधि (Intersection Method)
    (c) वायवीय मापन विधि (Pneumatic Measuring Method)
    (d) पर्थेन संघनित्र विधि (Perthen Condenser Method)
15. निम्न में अन्तर को स्पष्ट करें— **(BTE 2004, 05, 07, 11, 12)**
    (a) C.L.A. मान एवं R.M.S. मान
    (b) तरंगशीलता (waviness) एवं रुक्षता (roughness)
    (c) वास्तविक सतह (real surface) एवं प्रभावी सतह (effective surface)
    (d) प्राइमरी टेक्स्चर (primary texture) एवं द्वितीयक टेक्स्चर (secondary texture)
    (e) माध्य रेखा (mean line) एवं केन्द्रीय रेखा (centre line)
16. निम्न पदों को स्पष्ट करें— **(BTE 2005)**
    (a) सैम्पल लम्बाई या कट ऑफ लम्बाई **(BTE 1997, 2001, 07)**
    (b) मूल-माध्य-वर्ग मान (RMS Value)
    (c) अनियमितताओं के दस बिन्दुओं की ऊँचाई **(BTE 2001, 04, 05)**
    (d) C.L.A. मान एवं R.M.S. मान को सचित्र स्पष्ट करें।

अध्याय 4

लिमिट्स, फिट्स और टॉलरेन्स
(Limits, Fits And Tolerance)

4.1 परिचय (Introduction)

हम जानते हैं कि कोई भी दो वस्तु (things) सौ प्रतिशत एक समान नहीं होती हैं। वे आपस में काफी हद तक समान हो सकती हैं। इसी प्रकार इंजीनियरिंग में भी कोई भी मशीन या उसके पाट्र्स सौ प्रतिशत एकसमान नहीं बन सकते हैं। हम यह भी जानते हैं कि इंजीनियरिंग में सभी प्रक्रिया तीन अंगों से मिलकर तैयार होती है Man, Machine and Material. प्रकृति में ये तीनों कभी भी सौ प्रतिशत शुद्ध (pure) नही हैं। इसलिये इंजीनियरिंग प्रक्रिया से बनने वाले मशीन या पाट्र्स कभी भी सौ प्रतिशत शुद्ध नहीं बन सकते; अपितु उन्हें काफी हद तक एकसमान (closely similer) बनाया जा सकता है।

इस प्रकार इंजीनियरिंग में प्रयुक्त समस्त मशीन, उपकरण, यन्त्र आदि अनेक प्रकार के पाट्र्स को जोड़कर (assemble) तैयार किये जाते हैं। इन पाट्र्स को आपस में जोड़ने के लिये एक निश्चित क्रम में उन्हें जोड़ने (assemble) की आवश्यकता होती है। इस तरह, ऐसे पाट्र्स जो आपस में एक दूसरे से जुड़े रहते हैं, उन्हें 'मैटिंग पाट्र्स' (mating parts) कहते हैं। मैटिंग पाट्र्स की आपस में एक दूसरे से सम्पर्क में रहने वाली सतहों को मैटिंग-सतहें (mating surfaces) कहते हैं तथा ऐसी सतहों की विमाओं (dimensions) को मैटिंग विमायें (mating dimensions) कहते हैं। मैटिंग पाट्र्स के आपस में एक दूसरे के सम्पर्क में बने रहने की प्रवृत्ति को फिट (fit) कहते हैं। फिट का निर्धारण उपकरण या मशीन के परिचालन की दशा पर निर्भर करता है। इस व्यवस्था में कुछ पाट्र्स आपस में ढीले तथा कुछ पाट्र्स आपस में दृढ़तापूर्वक जुड़े रहते हैं। मशीन के परिचालन की दशा के अनुसार ही अमुक पाट्र्स की एसेम्बली कसी (tight) या ढीली (loose) रखी जाती है।

शुद्ध (true) एवं यथार्थ (accurate) मैटिंग सतहों को निर्मित करने में होने वाले आपरेशन (operations) के कुछ महत्वपूर्ण घटकों को जानना अत्यन्त जरूरी होता है; जैसे—लिमिट (Limits), फिट (Fit), टॉलरेन्स (Tolerance), छूट (Allowance) आदि, जिनका विस्तृत विवरण आगे दिया जा रहा है।

4.2 सीमा, फिट एवं टॉलरेंस की परिभाषा एवं शब्दावली
(Definition And Terminology of Limits, Fits And Tolerance)

किसी भी इन्जीनियरिंग उत्पाद (product) को डिजाइन (design) करने के लिए एवं उस उत्पाद के उत्पादन (production) के समय उसके विभिन्न मशीनी अवयवों (parts) को आपस में मिलान, संयोजन एवं फिट करने के लिये उसके साइज एवं माप आदि पर विशेष ध्यान देने की आवश्यकता पड़ती है। उत्पाद की गुणवत्ता के साथ-साथ बढ़ते उत्पादन के कारण उत्पादन प्रक्रमों, उत्पादित अवयवों तथा मशीनी अवयवों की संयोजन विधियों में क्रान्तिकारी तथा महत्वपूर्ण परिवर्तन आया है।

किसी उत्पाद का काफी मात्रा में उत्पादन करने के लिए समूह उत्पादन (mass production) की विधि को अपनाया जाता है। इस विधि में समान विमायें अथवा माप वाले एक ही उत्पाद को बड़ी मात्रा में तैयार किया जाता है। व्यावहारिक रूप से (practically) किसी उत्पाद के समूह उत्पादन करने में उसकी मशीनी अवयवों की मापों को एकसमान रखना सम्भव नहीं होता है या माप एक समान नहीं बनता है जिस कारण उसकी मापों में थोड़ा अन्तर (±) अनुमत करके उत्पादन को आसान तथा उत्पादन में लगने वाले समय को बचाया जाता है।

इस प्रकार जब हम किसी मशीनी अवयव की मापों को निर्धारित करते हैं तब उस माप की निश्चित कम अथवा अधिक सीमा भी निर्धारित करते हैं ताकि उन अवयवों को उपयोगी बनाया जा सके। इसके लिये उस अवयव (part) की नॉमिनल साइज, मूल साइज व वास्तविक साइज की जानकारी रखना भी जरूरी होता है।

SAMPLE COPY

(i) सीमायें (Limits)—किसी पार्ट्स की ड्राइंग पर दो प्रकार के साइज अंकित किये जाते हैं। एक अधिकतम माप (maximum size) एवं दूसरा न्यूनतम माप (minium size)। इन्ही अधिकतम माप एवं न्यूनतम माप को माप की सीमायें (limits of size) या आसानी से कहने के लिये सीमायें या लिमिट्स (limits) कहते हैं।

ड्राइंग के अनुसार, पार्ट्स के अधिकतम माप को ऊपरी सीमा (uppr limit) तथा न्यूनतम माप को निचली सीमा (lower limit) कहते हैं।

शाफ्ट एवं होल (shaft and hole) के सन्दर्भ में, शाफ्ट का अधिकतम अनुमन्य माप उसकी अधिकतम सीमा (maximum limit) होती है। तथा शाफ्ट का न्यूनतम अनुमन्य माप उसकी न्यूनतम सीमा (minimum limit) होती है। इसी प्रकार होल का अधिकतम अनुमन्य माप उसकी अधिकतम सीमा होती है तथा होल का न्यूनतम अनुमन्य माप उसकी न्यूनतम सीमा होती है।

इस प्रकार किसी पार्ट के माप के अधिकतम सीमा एवं न्यूनतम सीमा के अन्तर को टॉलरेन्स (tolerance) कहते हैं। पार्ट के माप में यदि टॉलरेन्स का मान उसके नामिनल साइज (nominal size) या बेसिक साइज (basic size) के एक ही साइड में दिया गया हो तो ऐसे टॉलरेन्स को यूनिलेट्रल टॉलरेन्स (unilateral tolerance) कहते हैं। इसी प्रकार यदि पार्ट की ड्राइंग पर टॉलरेन्स का मान उसके नामिनल या बेसिक साइज के दोनों साइड में दिया गया हो तो ऐसे टॉलरेन्स को बाइलेट्रल टॉलरेन्स (bilateral tolerance) कहते हैं।

उदाहरण—पार्ट का साइज यदि $15 \cdot 00^{+0.02}_{-0.00}$ है तो टॉलरेन्स का मान 0·02 केवल (+) एक ही साइड में है तो यह यूनिलेट्रल टॉलरेन्स है।

पार्ट का साइज यदि $15 \cdot 00^{+0.02}_{-0.02}$ है तो टॉलरेन्स का मान 0·02 दोनों साइड (+, –) में है तो यह बाइलेट्रल टॉलरेन्स है।

(ii) नॉमिनल साइज (Nominal Size)—वह सामान्य माप अथवा साइज (size) जिससे उस अवयव को पहचाना जाता है, नॉमिनल साइज (nominal size) कहलाता है। नॉमिनल साइज द्वारा ही उस अवयव (part) की विशिष्टियां (specifications) को दर्शाया जाता है। यह मानक साइज (standard size) की निकटतम माप होती है।

(iii) मूल साइज (Basic Size)—वह वास्तविक सैद्धान्तिक साइज जिससे, उस अवयव के अभिकल्पन (design) के लिये उसकी सीमायें निर्धारित की जाती हैं, मूल साइज (basic size) कहलाती हैं। यहीं मूल साइज अवयव की मानक साइज भी कहलाती है। किसी अवयव को बनाने के लिये उसके ड्राइंग पर दी गई साइज को डिजाइन साइज (design size) कहते हैं।

अवयव को बनाने में उसके नॉमिनल साइज को लिया जाता है क्योंकि उसकी मूल साइज को प्राप्त करना काफी कठिन होता है। इसीलिए उसके माप में परिवर्तन (variation) भी किये जाते हैं।

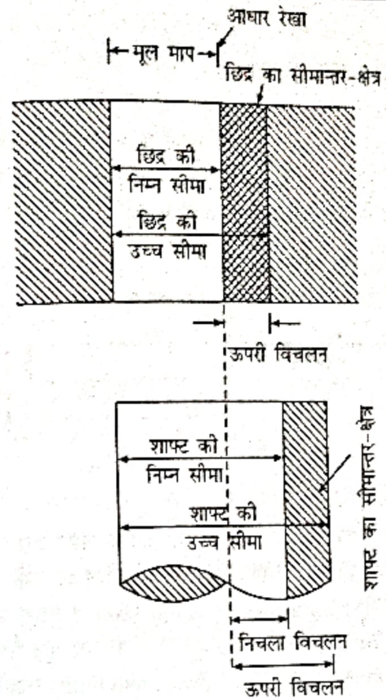
(iv) वास्तविक साइज (Actual Size)—वह साइज जो किसी अवयव को बनाने अथवा मशीनित करने के बाद प्राप्त होती है वास्तविक साइज (Actual Size) कहलाती है।

इस प्रकार जब अवयव बनकर तैयार हो जाता है तब उस अवयव को मापने से जो माप हमें प्राप्त होता है वही उस अवयव का वास्तविक माप होता है।

(v) डिजाइन साइज (Design Size)—मशीन पार्ट या अवयव के डिजाइन के आधार पर ज्ञात किये गये फंक्शनल माप (functional size) को डिजाइन साइज कहते हैं।

(vi) सीमान्तर या टॉलरेन्स (Tolerance)—किसी पार्ट की अमुक साइज की उच्च सीमा एवं निम्न सीमा के अन्तर को सीमान्तर या टॉलरेन्स कहते हैं। यह हमेशा धनात्मक (+ ive) ही होता है।

(vii) अवकाश (Clearance)—किसी फिट (fit) के छिद्र तथा शाफ्ट की वास्तविक विमाओं के अन्तर को अवकाश (clearance) कहते हैं। फिट की प्रकृति के अनुसार अवकाश धनात्मक (positive) या ऋणात्मक (negative) हो सकता है।



चित्र 1 : लिमिट, फिट एवं टॉलरेंस

(viii) फिट (Fits)—किसी मशीन के दो परस्पर मैटिंग पार्ट्स के परस्पर जुड़े रहने की प्रकृति (nature of association) को फिट (fit) कहते हैं। यह तीन प्रकार के होते हैं—

(a) अवकाश फिट (Clearance fit)

(b) बाधा फिट (Interferance fit)

(c) परिवर्तनीय फिट (Transition fit)

(ix) छूट (Allowance)—किसी दो पार्ट्स के फिट में छिद्र तथा शाफ्ट की विमाओं मे प्रदान किये गये माप के अन्तर को छूट (allowance) कहते हैं। छूट की भी अधिकतम एवं न्यूनतम सीमायें होती है। अधिकतम छूट, छिद्र के अधिकतम साइज तथा शाफ्ट के न्यूनतम साइज के अन्तर के बराबर होती है। इसी प्रकार न्यूनतम छूट, छिद्र के न्यूनतम साइज एवं शाफ्ट के अधिकतम साइज के अन्तर के बराबर होगी। इस प्रकार अवकाश फिट (clearance fit) में छूट धनात्मक तथा बाधा फिट (interference fit) में छूट ऋणात्मक होगी।

(x) विचलन (Deviation)—किसी अमुक पार्ट या उत्पाद के वास्तविक माप (actual size) तथा मूल माप (basic size) के बीच गणितीय अन्तर को विचलन (deviation) कहते हैं। विचलन दो प्रकार के होते हैं।

(a) ऊपरी विचलन (Upper deviation)

(b) निचला विचलन (Lower deviation)

(xi) माप की सीमायें (Limits of Size)—किसी साइज के ऐसे मान, जिनके बीच वास्तविक माप के मान घटते-बढ़ते रहते हैं, माप की सीमायें कहलाती हैं। किसी भी माप के दो चरम-मान होते हैं, एक अधिकतम (maximum) एवं दूसरा न्यूनतम (minimum)। अधिकतम मान को उच्च सीमा (maximum limit) तथा न्यूनतम मान को निम्न सीमा (minimum limit) कहते हैं।

4.4 सीमान्तर अथवा टॉलरेन्स (Tolerance)

व्यावहारिक तौर पर किसी अवयव को मूल माप के अनुसार उसको बनाना काफी कठिन, लगभग असम्भव सा होता है इसीलिये उसकी माप की उच्च तथा निम्न सीमायें दी जाती हैं। इस प्रकार किसी माप की उच्च सीमा एवं निम्न सीमा के अन्तर को सीमान्तर अथवा टॉलरेन्स (Tolerance) कहा जाता है।

उदाहरण—यदि किसी अवयव की माप को $21^{+0.05}_{-0.05}$ मिमी॰ से दर्शाया जाता है, तब—

सीमान्तर (Tolerance) = उच्च सीमा माप − निम्न सीमा माप

$= 21.05 - 20.95$

$= 0.10$ मिमी॰

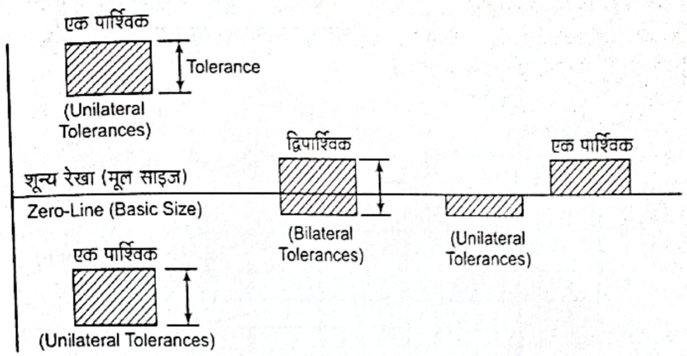
सीमान्तर दो प्रकार की होती हैं—

(1) एक पार्श्विक सीमान्तर (Unilateral Tolerance)

(2) द्विपार्श्विक सीमान्तर (Bilateral Tolerance)

(1) एक पार्श्विक सीमान्तर (Unilateral Tolerance)—यदि किसी अवयव की मूल माप में एक ही दिशा में (चाहे उच्च सीमा में या फिर निम्न सीमा में) अनुमत परिवर्तन रखते हैं तो यह एक-पार्श्विक सीमान्तर (Unilateral Tolerance) कहलाता है।

उदाहरण—यदि किसी अवयव की माप को $21^{+0.05}_{-0.00}$ मिमी॰ से दर्शाया गया है तो उसकी मूल माप में 21 से लेकर 21·05 मिमी॰ तक की माप ही अनुमत है। इसमें मूल माप 21 मिमी॰ से केवल एक ही दिशा में सीमान्तर (tolerance) अनुमत है। यह चित्र 4 में दर्शाया गया है।



चित्र 4 : एक पार्श्विक व द्विपार्श्विक टालरेन्स

(2) द्विपार्श्विक सीमान्तर (Bilateral Tolerance)—यदि किसी अवयव की मूल माप में दोनों दिशाओं में (उच्च सीमा एवं निम्न सीमा में) अनुमत परिवर्तन रखते हैं तो यह द्विपार्श्विक सीमान्तर (Bilateral Tolerance) कहलाता है।

उदाहरण—यदि किसी अवयव की माप को $21^{+0.05}_{-0.05}$ मिमी॰ से दर्शाया गया है तो उसकी मूल माप में 21·05 मिमी॰ से लेकर 20·95 मिमी॰ के बीच अनुमत है अर्थात् उसकी मूल माप में दोनों तरफ परिवर्तन अनुमत है। चित्र 4 में इसको दर्शाया गया है।

4.5 छूट (Allowance)

किन्हीं दो अवयवों या पार्ट्स (parts), जो परस्पर/आपस में फिट होते हों, के मापों के अन्तर को छूट (allowance) कहते हैं। चित्र-3 के अनुसार उदाहरण—

यहाँ बियरिंग तथा शाफ्ट के मापों का अन्तर छूट (allowance) कहलायेगा। चित्र 3 में बियरिंग तथा शाफ्ट को उनके [illegible] मापों उच्च सीमा तथा निम्न सीमा से दर्शाया गया है। बियरिंग तथा शाफ्ट की परस्पर मिलाने (mating) या आपस में फिट [illegible] उनके मापों के बीच अन्तर पर निर्भर रहता है।

इस प्रकार बियरिंग के अधिकतम सीमा माप और शाफ्ट के न्यूनतम सीमा माप के अन्तर को अधिकतम छूट (maximum allowance) तथा बियरिंग के न्यूनतम सीमा माप और शाफ्ट के अधिकतम सीमा माप के अन्तर को न्यूनतम छूट (minimum allowance) कहते हैं जोकि चित्र 3 में दर्शाया गया है।

इस प्रकार—

यदि बियरिंग की माप $20^{+0.05}_{-0.01}$ मिमी० तथा शाफ्ट की माप $20^{-0.02}_{-0.04}$ मिमी० हो, तो—

अधिकतम छूट $= 20{\cdot}05 - 19{\cdot}96 = 0{\cdot}09$ मिमी०

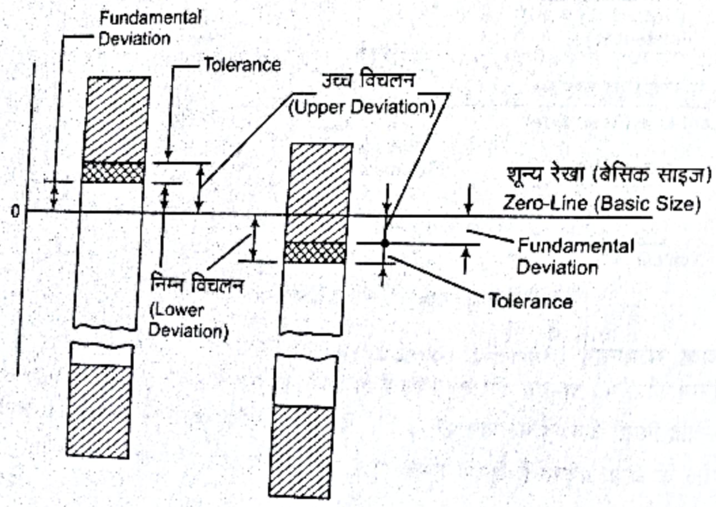
और न्यूनतम छूट $= 19{\cdot}99 - 19{\cdot}98 = 0{\cdot}01$ मिमी०

4.6 विचलन (Deviation)

किसी अवयव की उत्पादित या मशीनित वास्तविक माप और उसकी सैद्धान्तिक या मूल माप के अन्तर को विचलन (Deviation) कहते हैं। यह तीन प्रकार का होता है—

1. उच्च विचलन (Upper Deviation)
2. निम्न विचलन (Lower Deviation)
3. मूल विचलन (Fundamental Deviation)

1. उच्च विचलन (Upper Deviation)—किसी अवयव के माप की उच्चतम सीमा तथा मूल माप (basic size) के अन्तर को उच्च विचलन (upper deviation) कहते हैं। यह विचलन धनात्मक अथवा ऋणात्मक राशि में हो सकते हैं। चित्र 5 में छिद्र या शाफ्ट के उच्च विचलन को दिखाया गया है।



चित्र 5

2. निम्न विचलन (Lower Deviation)—किसी अवयव के माप की न्यूनतम सीमा तथा मूल माप के अन्तर को निम्न विचलन (Lower Deviation) कहते हैं। यह विचलन भी धनात्मक अथवा ऋणात्मक राशि में हो सकता है। चित्र 5 में छिद्र या शाफ्ट के निम्न विचलन को दिखाया गया है।

3. मूल विचलन (Fundamental Deviation)—शून्य रेखा के सबसे नजदीक के विचलन को मूल विचलन (Fundamental Deviation) कहते हैं। यह उच्च विचलन या निम्न विचलन में से कोई भी हो सकता है। चित्र 5 में मूल विचलन को दर्शाया गया है।

शून्य रेखा के सापेक्ष टॉलरेन्स की स्थिति मूल विचलन से ही ज्ञात होती है।

उच्च विचलन (Upper Deviation)—विचलन का मान ज्ञात करने के लिये, चित्र-6 एवं चित्र-7 के अनुसार क्रमश: छिद्र एवं शाफ्ट के लिये उच्च विचलन का मान निम्न समीकरण द्वारा ज्ञात कर सकते हैं—

चित्र-6 के अनुसार, छिद्र के लिये उच्च विचलन

$$\Delta_{Au} = A_b - A_n = A_b - d$$

जहाँ, Δ_{Au} = Upper deviation of hole

A_b = Upper limit of hole

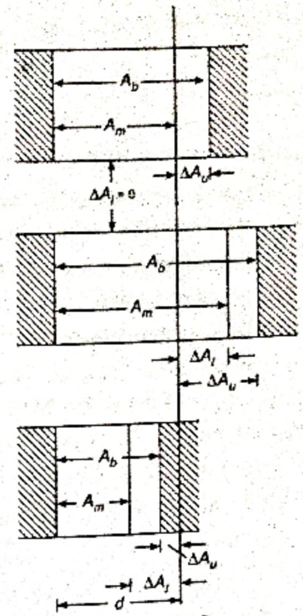
$A_n = d$ = Nominal size of hole

इसी प्रकार चित्र-7 के अनुसार शाफ्ट के लिये उच्च विचलन

Δ_{Bu} = Upper deviation of shaft

B_b = Upper limit of shaft

$B_n = d$ = Nominal size of shaft



चित्र 6 : छिद्रों के विचलन

निम्न विचलन (Lower Deviation)—उच्च विचलन की गणना की तरह ही, छिद्र तथा शाफ्ट के लिये निम्न विचलन के मान निम्न समीकरण द्वारा ज्ञात किये जा सकते हैं।

छिद्र के लिये निम्न विचलन—

$$\Delta_{Al} = A_m - A_n = A_m - d$$

जहाँ, Δ_{Al} = Lower deviation of hole

A_m = Lower limit of hole

$d = A_n$ = Nominal size of hole

शाफ्ट के लिये निम्न विचलन—

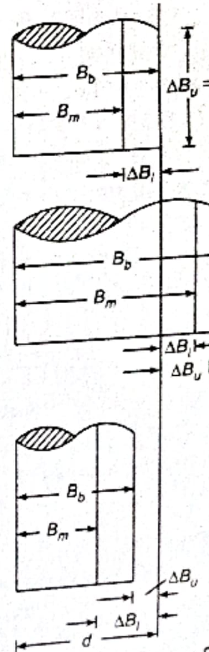
$$\Delta_{Bl} = B_m - B_n = B_m - d$$

जहाँ, Δ_{Bl} = Lower deviation of shaft

B_m = Lower limit of shaft

$d = B_n$ = Nominal size of shaft.

चित्र-6 एवं 7 में दिखायी गयी तीनों स्थितियों के अनुसार विचलन का मान धनात्मक (positive), ऋणात्मक (negative) तथा शून्य हो सकते हैं। यदि वास्तविक माप, सामान्य माप से अधिक हो तो विचलन धनात्मक होगा। यदि वास्तविक माप सामान्य माप से कम है तो विचलन ऋणात्मक होगा। वास्तविक माप जब सामान्य माप के बराबर होगा तो विचलन शून्य होगा।



चित्र 7 : शाफ्ट के अधिकतम विचलन

4.7 शून्य रेखा (Zero Line)

मूल माप (Basic Size) को दर्शाने वाली सरल रेखा को शून्य रेखा (Zero Line) कहते हैं। शून्य रेखा से ही विचलन एवं सीमान्तर का निर्धारण होता है। चित्र 5 में शून्य रेखा को दर्शाया गया है।

4.8 आसंग अथवा फिट (Fit)

किसी निश्चित क्रिया के लिए जब दो परस्पर मिलने या फिट होने वाले पार्ट्स या अवयवों को आपस में मिलाया अथवा फिट किया जाता है तो उन अवयवों के बीच कसाव (tightness) या ढीलापन (looseness) होता है। यही कसाव या ढीलापन आसंग अथवा फिट (fit) कहलाता है। उदाहरण के लिये—दो परस्पर मिलने वाले पार्ट्स या अवयवों जैसे बियरिंग एवं शाफ्ट के बीच कसाव या ढीलापन हो सकता है जो कि उनके मापों या साइजों के अन्तर पर निर्भर करता है। इन्हीं साइजों के अन्तर को अकारान्तर (Clearance) कहते हैं।

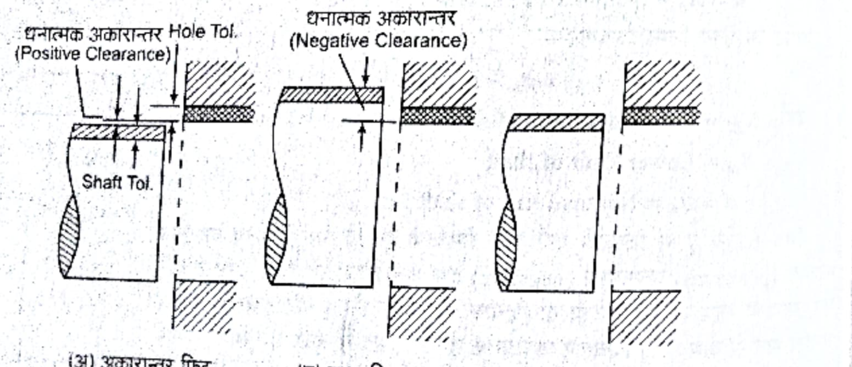
छिद्र की न्यूनतम साइज यदि शाफ्ट की अधिकतम साइज से बड़ी हो तो इस अन्तर को धनात्मक अकारान्तर (Positive Clearance) कहते हैं तथा छिद्र की न्यूनतम साइज यदि शाफ्ट की अधिकतम साइज से छोटी हो तो इस अन्तर को ऋणात्मक अकारान्तर (Negative Clearance) कहते हैं। चित्र 8 में इसको दर्शाया गया है।

इस प्रकार अकारान्तर के आधार पर आसंग अथवा फिट निम्न प्रकार की होती है—

1. **अकारान्तर फिट (Clearance Fit)**
   - (a) सरक फिट (Sliding Fit)
   - (b) अविरल फिट (Running Fit)
2. **बाधा फिट (Interference Fit)**
   - (a) दाब फिट (Press Fit)
   - (b) बल फिट (Force Fit)
3. **परिवर्तनीय फिट (Transition Fit)**

1. अकारान्तर फिट (Clearance Fit)—जब दो परस्पर मिलान वाले सबसे छोटे छिद्र और उसमें फिट होने वाले सबसे बड़े शाफ्ट के बीच अकारान्तर शून्य से अधिक होगा अर्थात् धनात्मक अकारान्तर होगा तब उनका फिट अकारान्तर फिट (Clearance Fit) कहलायेगा। चित्र 8 में इसको दर्शाया गया है।

इस फिट में दोनों परस्पर मिलने वाले अवयव एक-दूसरे के सापेक्ष आसानी से गति करते हैं।



(अ) अकारान्तर फिट (Clearance Fit) (ब) बाधा फिट (Interference Fit) (स) परिवर्तनीय फिट (Transition Fit)

चित्र 8 : फिट के प्रकार

अकारान्तर फिट दो प्रकार का होता है—

(a) **सरक फिट** (Sliding Fit)—दो परस्पर मिलने वाले अवयवों में से कोई एक अवयव दूसरे अवयव पर उसकी अक्ष की दिशा में सरकते हुये या फिसलकर फिट होते हैं तो ऐसे फिट को सरक फिट (Sliding Fit) कहते हैं। उदाहरण—पंच और डाई (Punch and Die)।

(b) **अविरल फिट** (Running Fit)—दो परस्पर मिलने वाले अवयवों में से एक अवयव दूसरे अवयव के अन्दर अपनी अक्ष के सापेक्ष घूर्णन गति (Rotary Motion) करते हैं तो ऐसे फिट को अविरल फिट (Running Fit) कहते हैं। उदाहरण—बियरिंग एवं शाफ्ट (Bearing and Shaft)।

2. बाधा फिट (Interference Fit)—छिद्र व शाफ्ट की दशा में जब छिद्र की न्यूनतम साइज शाफ्ट की अधिकतम साइज से छोटी होती है तब उस दशा में शाफ्ट किसी भी तरह से छिद्र में फिट नहीं हो सकता अर्थात् ऋणात्मक अकारान्तर (Negative Clearance) हो तो वह बाधा फिट (Interference Fit) कहलाता है। शाफ्ट की माप छिद्र की माप से बड़ी होने के कारण उन अवयवों के बीच कोई भी सापेक्ष गति नहीं होती है (चित्र 8 ब)। बाधा फिट दो प्रकार का होता है—

(a) **दाब फिट** (Press Fit)—बाधा फिट होने की दशा में, दो परस्पर मिलान वाले अवयवों में से एक अवयव को दूसरे अवयव पर रखकर दबाव देकर या हल्की चोट देकर फिट या संयोजन किया जाता है, तब यह फिट दाब फिट (Press Fit) कहलाता है। यह फिट अस्थाई फिट होता है। उदाहरण—शाफ्ट पर बियरिंग या गियर का लगाया जाना।

(b) **बल फिट** (Force Fit)—बाधा फिट होने की दशा में, दो परस्पर मिलान वाले अवयवों में से एक अवयव को दूसरे अवयव पर रखकर भारी चोट द्वारा या फिर गर्म करने के बाद ठण्डा करके होने वाले सिकोड़ (Shrinkage) कर फिट किया जाता है या संयोजन किया जाता है तब यह बल फिट (Force Fit) कहलाता है। यह फिट स्थाई फिट होता है। उदाहरण—ट्रेन के पहियों पर रिम का चढ़ाया जाना।

3. परिवर्तनीय फिट (Transition Fit)—दो परस्पर मिलान वाले अवयवों के फिट होने की दशा में, ऐसा फिट जो अकारान्तर फिट व बाधा फिट के बीच की स्थिति हो, परिवर्तनीय फिट (Transition Fit) कहलाती है।

दूसरे शब्दों में, दो परस्पर मिलान वाले अवयवों में धनात्मक अकारान्तर (Positive Clearance) एवं ऋणात्मक अकारान्तर (Negative Clearance) के बीच की स्थिति में होने वाले फिट को परिवर्तनीय फिट (Transition Fit) कहते हैं। (चित्र 8 स)।

4.9 फिट या सीमा आधार प्रणाली (Fit or Limit Basis System)

छिद्र एवं शाफ्ट के फिट होने की दशा में, दो परस्पर मिलान वाले अवयवों को फिट करने के लिये उनको फिट या सीमा के आधार पर दो भागों में बाँटा जाता है—

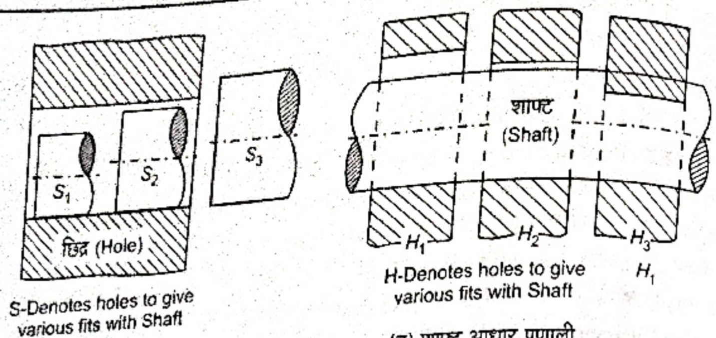
(1) छिद्र आधार प्रणाली (Hole Basis System)

(2) शाफ्ट आधार प्रणाली (Shaft Basis System)

(1) छिद्र आधार प्रणाली (Hole Basis System)—इस प्रणाली में छिद्र एवं शाफ्ट को फिट करने के लिए छिद्र के आकार को स्थिर रखते हैं तथा शाफ्ट के साइज को आवश्यकतानुसार बदल-बदल कर फिट प्राप्त करते हैं। छिद्र की मूल साइज के लिये उसकी उच्च सीमा और निम्न सीमा को स्थिर रखा जाता है। (चित्र 9 अ)।

(2) शाफ्ट आधार प्रणाली (Shaft Basis System)—इस प्रणाली में शाफ्ट के आकार अथवा माप को स्थिर रखते हैं तथा छिद्र के साइज को आवश्यकतानुसार बदल-बदल कर फिट प्राप्त करते हैं। छिद्र की मूल साइज के लिये उसकी उच्च सीमा और निम्न सीमा को स्थिर रखा जाता है। (चित्र 9 ब)।

व्यावहारिक रूप में छिद्र आधार प्रणाली को ज्यादा अपनाया जाता है जो कि फायदेमंद भी है क्योंकि छिद्र को विशेष मानक औजारों जैसे ड्रिल या रीमर आदि से बनाया जाता है एवं उसके माप को बार-बार बदलना काफी कठिन काम होता है, जबकि शाफ्ट की साइज को बदलना अपेक्षाकृत आसान होता है।



(अ) छिद्र आधार प्रणाली
(Hole Basis System)

(ब) शाफ्ट आधार प्रणाली
(Shaft Basis System)

चित्र 9 : छिद्र तथा शाफ्ट आधार प्रणाली

4.10 अन्तर्परिवर्तनीयता (Interchangeability)

आधुनिक युग में नये-नये मशीनी अवयवों का तेजी से आविष्कार हो रहा है। मशीनी अवयवों के संयोजन विधियों तथा विभिन्न उत्पादन प्रक्रमों (manufacturing processes) में महत्वपूर्ण बदलाव हो रहे हैं। साधारण उत्पादन की जगह अब ज्यादातर उत्पाद का वृहद् या समूह उत्पादन (mass production) किया जा रहा है। बाजार की तेज माँग के अनुरूप इन अवयवों के जल्दी आपूर्ति के लिये समूह उत्पादन अत्यन्त महत्वपूर्ण प्रक्रम हो गया है।

इसके अन्तर्गत किसी मशीनी अवयव के गुण स्तर (quality level) को ध्यान में रखते हुये एक ही माप व आकार के किसी उत्पाद का काफी मात्रा में उत्पादन किया जाता है तथा उस उत्पाद की गुणवत्ता का विशेष ध्यान रखा जाता है ताकि संयोजन के समय उस उत्पाद के वृहद् या समूह उत्पादन के ढेर में से कोई भी एक पीस (piece) या उत्पाद लगाया जा सके व फिट किया जा सके। इस प्रकार किसी उत्पाद का वृहद् मात्रा में समूह उत्पादन (mass production) करना तभी सम्भव होगा जब उस उत्पाद की माप व गुण स्तर को ध्यान में रखते हुये उनमें अन्तर्परिवर्तनीयता (interchangeability) होगी।

इस प्रकार 'अन्तर्परिवर्तनीयता (interchangeability) का अर्थ वृहद् या समूह उत्पादन की ऐसी तकनीक से है, जिसमें किसी उत्पाद या अवयवों को इस प्रकार बनाया जाता है कि उनके माप व आकार में कोई भी अन्तर न हो (निश्चित सीमा तक) तथा जरूरत पड़ने पर उस उत्पाद में बिना कोई बदलाव किये आसानी से उन्हें टूटे-फूटे या पुराने अवयव के स्थान पर तुरन्त बदला जा सके व संयोजन में किसी प्रकार की कठिनाई न आने पाये, जिससे किसी प्रकार की औद्योगिक अड़चन न आने पाये।

इस प्रक्रिया में सभी अवयवों में से कोई भी अवयव आसानी से फिट किया जा सकता है। अवयवों का संयोजन तभी आसानी से सम्भव हो सकेगा जब उन्हें अन्तर्परिवर्तनीय (interchangeable) बनाया जाये।

जो उत्पाद पूर्ण अन्तर्परिवर्तनीयता (complete interchangeability) को ध्यान में रखते हुये बनाये जाते हैं, उन अवयवों के संयोजन करते समय उनके चयन (selection) तथा समायोजन (adjustment) की आवश्यकता नहीं पड़ती है। ऐसे उत्पाद पर कोई सम्पूरक क्रिया की भी जरूरत नहीं पड़ती है।

संयोजन की ऐसी स्थिति में जहाँ किसी उतपाद की पूर्ण अन्तर्परिवर्तनीयता की आवश्यकता नहीं पड़ती है, वहाँ उत्पाद का चयन छाँटकर (sorting) उन्हें समायोजित करने की जरूरत होती है। इस प्रकार संयोजन की ऐसी विधि को चयनित संयोजन (selective assembly) कहते हैं।

इस प्रकार हम कह सकते हैं कि आधुनिक युग में औद्योगिक उत्पादन एवं निर्माण के साथ-साथ मशीनों और संयन्त्रों में भी अन्तर्परिवर्तनीयता का विशेष महत्व है और इसके अनेकों लाभ हैं।

4.11 अन्तर्परिवर्तनीयता के लाभ (Advantages of Interchangeability)

वृहद् या समूह उत्पादन के अन्तर्गत अन्तर्परिवर्तनीयता के कई लाभ हैं, जैसे—

1. उत्पाद को संयोजन (assemble) करना सरल होता है।
2. उत्पाद का निरीक्षण आसानी से हो जाता है।
3. उत्पादन में काफी कम समय लगता है।
4. उत्पाद का समायोजन (adjustment) आसानी से हो सकता है।
5. संयोजन करते समय उत्पाद के चुनाव की आवश्यकता नहीं पड़ती है।
6. एक ही आकार व माप के उत्पाद बाजार में आसानी से उपलब्ध हो जाते हैं।
7. उत्पाद का निर्माण अलग-अलग कम्पनीयों द्वारा किया जा सकता है।
8. एक ही उत्पाद देश या विदेश में कहीं पर भी उपलब्ध हो जाता है।
9. किसी उत्पाद के उत्पादन में मितव्ययिता (economy) आती है तथा उच्च गुण स्तर के अच्छे, टिकाऊ एवं विश्वसनीय उत्पाद तैयार होते हैं।
10. किसी मशीन या उत्पाद के अन्तर्परिवर्तनीय पार्ट्स (interchangeable parts) का वृहद् या समूह उत्पादन (mass production) सम्भव है।
11. अन्तर्परिवर्तनीयता से समय एवं पैसे की काफी बचत होती है जो कि किसी देश की अर्थव्यवस्था को सुदृढ़ बनाये रखती है।

4.12 अन्तर्परिवर्तनीयता-पद्धति के प्रकार (Types of Interchangeability)

अन्तर्परिवर्तनीयता पद्धति दो प्रकार की जाती हैं, अर्थात् (1) **पूर्ण-अन्तर्परिवर्तनीयता** (strict-interchangeability), (2) **अपूर्ण या सीमित-अन्तर्परिवर्तनीयता** (incomplete or limited-interchangeability)।

(1) पुर्ण-अन्तर्परिवर्तनीयता—इस पद्धति के आधार पर जो पार्ट्स निर्मित किये जाते हैं तत्पश्चात् उन्हें एसेम्बल करने में उनका चुनाव (selection) तथा समायोजन (adjustment) नहीं करना पड़ता तथा उन पर कोई पूरक-क्रिया (supplementary action) भी नहीं करनी पड़ती। मरम्मत कार्य में जो पार्ट्स खराब हो जाते हैं, उनके स्थान पर लगाये गये नये पार्ट्स उसी दक्षता से कार्य करते हैं जैसे कि प्रारम्भ की एसेम्बली में।

(2) अपूर्ण या सीमित-अन्तर्परिवर्तनीयता—इस पद्धति के आधार पर पार्ट्स निर्मित किये जाते हैं, उनका चुनाव करने या उन्हें समायोजित करने की आवश्यकता हो सकती है। परन्तु इन पर पूरक-क्रिया की आवश्यकता नहीं होती।

इस पद्धति में पार्ट्स को निर्मित करने तथा उन्हें एसेम्बल करने के निम्न तरीके अपनाये जाते हैं—

1. मैटिंग-पार्ट्स का मशीनन उनके वास्तविक मापों के अनुसार करना।
2. मैटिंग-पार्ट्स को एसेम्बल करने के पश्चात् उन पर मशीनन करना।
3. कुछ चुने हुये मैटिंग-पार्ट्स को एसेम्बल करना। (इस विधि को चयनित एसेम्बली (selective assembly) कहते हैं। इसके अन्तर्गत एसेम्बली के प्रत्येक पार्ट या अवयव का चुनाव उसके साइज के अनुसार किया जाता है। तत्पश्चात् चुने गये पार्ट्स को जोड़कर एसेम्बली तैयार की जाती है।

4.13 गेज (Gauge)

किसी उत्पाद (product) के ज्यादा माँग (demand) को पूरा करने के लिये उस उत्पाद को ज्यादा मात्रा में बनाया जाता है। वृहद् उत्पादन विधि (mass production method) द्वारा अधिक उत्पाद बनने के दौरान यदि उत्पादों के मापों की जाँच कैलिपर्स या माइक्रोमीटर द्वारा किया जाये तो उसमें काफी समय लगेगा। इस प्रकार मापों की जाँच में लगने वाले समय को बचाने के लिए अथवा शीघ्रतापूर्वक जाँच करने के लिए जिस यन्त्र का प्रयोग किया जाता है उसे ही गेज (gauge) कहा जाता है।

एवं कठोरीकृत किया होता है। एक सिरे वाले गेज का गो एवं नो गो सिरा एक ही तरफ बने होते हैं। एक सिरे वाले सीमा प्लग गेज को प्रयासी गेज (Progressive Gauge) भी कहते हैं। उत्पाद की माप के अनुसार ये अलग-अलग माप के बनाये जाते हैं। इसको चित्र 10 में दिखाया गया है।

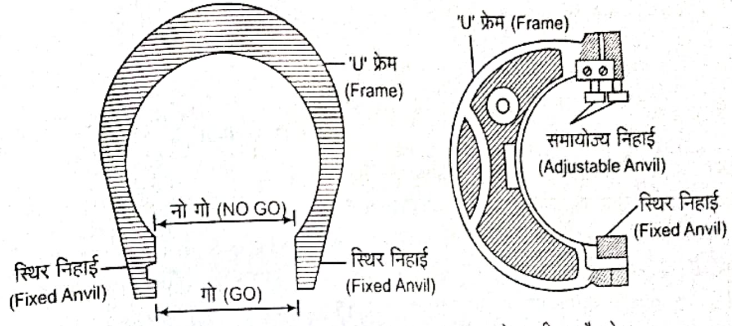
2. सीमा स्नैप गेज (Limit Snap Gauge)—यह गेज U-आकार के फ्रेम का बना होता है। वांछित माप को मापने के लिये इसमें दो समान जबड़े (jaws) या निहाई (anvil) बने होते हैं जिसका उपयोग किसी उत्पाद की बाहरी मापन (external measurement) जैसे—लम्बाई, चौड़ाई या मोटाई आदि मापने के लिये किया जाता है। इसका उपयोग शाफ्ट (shaft) के व्यास को मापने के लिये भी किया जाता है।

मुख्य रूप से ये गेज दो प्रकार के होते हैं—

(अ) स्थिर सीमा स्नैप गेज (Fixed Limit Snap Gauge)

(ब) समायोज्य सीमा स्नैप गेज (Adjustable Limit Snap Gauge)

चित्र 11 में इन गेजों को दिखाया गया है।

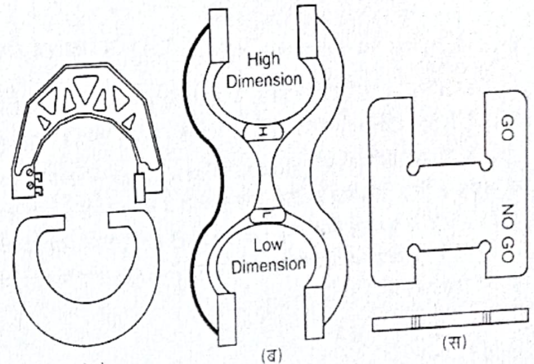


चित्र 11 : सीमा स्नैप गेज

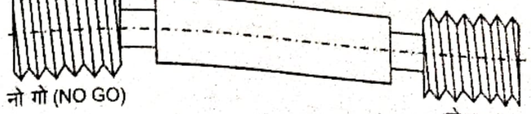
(अ) स्थिर सीमा स्नैप गेज—इसमें दो समानान्तर स्थिर जबड़े या निहाई बने होते हैं जिसका एक सिरा गो (Go) तथा दूसरा सिरा नो गो (No Go) होता है। इस गेज को कैलीपर गेज (Calliper Gauge) भी कहते हैं। इसका उपयोग बड़ी माप को जाँचने में किया जाता है।

(ब) समायोज्य सीमा स्नैप गेज—इसमें एक तरफ स्थिर निहाई (Fixed Anvil) होता है तथा दूसरी तरफ समायोज्य निहाई (Adjustable Anvil) बना होता है। पेंचों की सहायता से एक निश्चित परास (range) तक गो (Go) एवं नो गो (No Go) सिरों की माप को समायोजित (adjust) किया जा सकता है। वांछित माप की स्थिति में समायोजित करने के बाद पेंचों से कसकर निहाइयों को स्थिर कर दिया जाता है। इसका उपयोग अधिकतर बड़ी मापों की जाँच करने में किया जाता है।

विभिन्न आकार के सीमा स्नैप गेजों को चित्र 12 में दिखाया गया है।

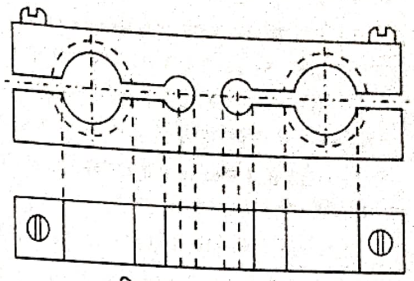


चित्र 12 : विभिन्न प्रकार के सीमा स्नैप गेज



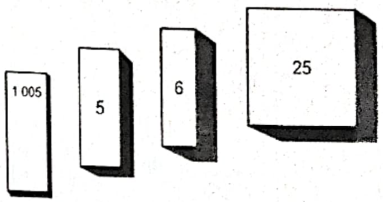
चित्र 16 : आन्तरिक चूड़ी गेज

7. बाह्य चूड़ी गेज (External Thread Gauge)—किसी उत्पाद पर बने बाह्य चूड़ियों (External Threads) के मापन की जाँच करने के लिये जिस गेज का प्रयोग किया जाता है, वह बाह्य चूड़ी गेज (External Thread Gauge) कहलाता है। इसके भी एक सिरे पर अधिकतम पिच तथा दूसरे सिरे पर न्यूनतम पिच की आन्तरिक चूड़ी बनी होती है। अधिकतम पिच वाला सिरा गो (Go) तथा न्यूनतम पिच वाला सिरा नो गो (No Go) होता है। चित्र 17 में इसको दिखाया गया है।



चित्र 17 : बाह्य चूड़ी गेज

8. स्लिप गेज (Slip Gauge)—स्लिप गेज, कठोरीकृत इस्पात (Hardened Steel) के आयताकार आकार के बने होते हैं। ये विभिन्न एवं निश्चित मोटाई के छोटे-छोटे खण्ड (Pieces) होते हैं। निश्चित एवं स्थिर (Fixed) मोटाई की माप ही इनकी माप कहलाती है। प्रत्येक गेज के दो विपरीत सतह समतल तथा एक-दूसरे के समानान्तर होते हैं। ये सतह पूर्णतया परिष्कृत एवं यथार्थ (Finished and Accurate) माप के बनाये जाते हैं। इनका प्रयोग मानक यन्त्रों (Standard Instruments) के अंशांकन (Calibrate) करने के लिये, परिशुद्धता की जाँच करने के लिये तथा तुलनित्रों (Comparator), साइन बार (Sine Bar) आदि के साथ प्रयोग करने में किया जाता है।

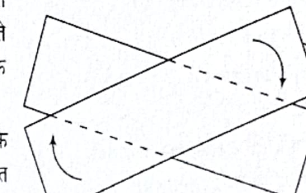


चित्र 18 : गेज ब्लॉक/स्लिप गेज

स्लिप गेज को गेज ब्लॉक (Gauge Block) भी कहा जाता है। ये आयताकार काट वाले होते हैं जो 10 मिमी० लम्बाई तक 30 × 9 मिमी० तथा 10 मिमी० से अधिक लम्बाई तक 35 × 9 मिमी० की माप में होते हैं। इनकी लम्बाई का परास (Range) 5 मिमी०–10 मिमी० तक होता है। विभिन्न स्लिप गेजों को चित्र 18 में दिखाया गया है।

9. रिंगिंग (Wringing)—स्लिप गेज अथवा गेज ब्लॉक की सतह समतल, परिष्कृत तथा यथार्थ होते हैं। दो अलग-अलग खण्ड के स्लिप गेज की दो सतहों को थोड़ा-सा एक-दूसरे के विपरीत हल्के-हल्के रगड़ कर एवं मरोड़कर आपस में आसंजित (Adhere) किया जा सकता है। ऐसे में उन दो गेजों की कुल मोटाई भी यथार्थ ही होगी।

इस प्रकार दो स्लिप गेज की समतल सतहों को साफ करके एक-दूसरे पर रखकर सावधानीपूर्वक हल्के-हल्के थोड़ा-सा दबाव डालकर रगड़कर एवं मरोड़कर आपस में आसंजित (Adhere) करते हैं तब इस क्रिया को रिंगिंग (Wringing) कहते हैं। रिंगिंग क्रिया के दौरान स्लिप गेज की दो सतह मजबूती से एक खण्ड के रूप में आसंजित हो जाती है।



चित्र 19

गेजों के बीच आसंजित हो जाने की क्रिया उनके अणुओं के आकर्षण के कारण होती है। कार्य करने के दौरान गेजों को आसंजित किया जाता है तथा कार्य हो जाने के पश्चात् उनको अलग-अलग

रख दिया जाता है। आसंजित खण्डों को यदि काफी समय तक छोड़ दिया जाये तो वे गेज खराब हो सकते हैं। उदाहरण—... (Comparator) तथा साइन बार (Sine Bar) के प्रयोग के समय गेजों को रिंगिंग क्रिया द्वारा आसंजित करके ... रिंगिंग क्रिया को चित्र 19 में दिखाया गया है।

स्लिप गेजों या गेज ब्लॉकों के सतहों की यथार्थता, समानान्तरता एवं उनके उपयोग के आधार पर गेज ब्लॉक ... भागों में बाँटा जा सकता है—

(i) रेफरेन्स गेज ब्लॉक (Reference Gauge Block)—ये गेज ब्लॉक निर्माताओं द्वारा मानक गेज के ... प्रयोग किये जाते हैं। इनका भण्डारण काफी सावधानीपूर्वक एवं उचित तापमान पर किया जाता है।

(ii) कैलीब्रेशन गेज ब्लॉक (Calibration Gauge Block)—ये गेज ब्लॉक इन्जीनियरिंग प्रैक्टिस में ... यथार्थता के लिये मानक मापन यंत्रों के अंशांकन (Calibration) के लिये प्रयोग किये जाते हैं।

(iii) ग्रेड 0, I तथा II गेज ब्लॉक—ये गेज ब्लॉक आमतौर पर हर जगह इंजीनियरिंग प्रयोग में निरीक्षण ... एवं परीक्षण वर्गों में प्रयोग किये जाते हैं।

I.S.S. No. 2984–1966 के अनुसार गेज ब्लॉकों के दो सेट का विवरण नीचे दिया जा रहा है।

1. सामान्य सेट (Normal Set)—46 खण्डों का सेट

क्रम संख्या	साइज (मिमी॰ में)	वृद्धि (Increment) (मिमी॰ में)	खण्डों की संख्या (No. of Pieces)
1.	1·001 – 1·009	0·001	9
2.	1·01 – 1·09	0·01	9
3.	1·1 – 1·9	0·1	9
4.	1 – 9	1·0	9
5.	10 – 90	10	9
6.	100	–	1
	कुल खण्डों की संख्या		46

अभ्यास-प्रश्न (Exercise)

1. लिमिट, फिट एवं टॉलरेन्स को उदाहरण सहित समझाइये।
2. टॉलरेन्स किसे कहते हैं? (BTE 2017)
3. यूनिलेट्रल एवं बाइलेट्रल टॉलरेन्स को समझाइये। (BTE 2018)
4. निम्न पर टिप्पणी लिखिये—
   (i) अवकाश (clearance)
   (ii) टॉलरेन्स (tolerance)
   (iii) विचलन (deviation)
   (iv) छूट (allowance)
   (v) फिट (fit)
   (vi) सीमान्तर क्षेत्र (tolerance zone)
   (vii) माप की सीमायें (limits of size)

5. फिट (fit) को समझाइयें। विभिन्न प्रकार के फिट्स के बारे में बताइए।
6. छिद्र आधारित एवं शॉफ्ट आधारित प्रणालियों को फिट के सन्दर्भ में समझाइये। (BTE 2016)
7. निम्न को समझाइये—
   (a) Clearance fit
   (b) Transition fit
   (c) Interference fit
8. गेजों का वर्गीकरण कीजिये तथा विभिन्न प्रकार के गेजों के नाम बताइये। (BTE 2014)
9. सीमा गेज पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिये। (BTE 2015)
10. गो-नो गो गेज को सचित्र समझाइये।
11. अन्तर्परिवर्तनीयता (interchangeability) का विस्तृत वर्णन करें।
12. अन्तर्परिवर्तनीयता के लाभों का वर्णन करें।

❑

अध्याय 5

स्क्रू थ्रेड और गियर का मापन (Measurement of Screw Thread And Gears)

5.1 परिचय (Introduction)

सामान्यतया स्क्रू थ्रेड दो प्रकार की क्रियाओं के लिये बनाये जाते हैं। पहला, शक्ति पारेषण (power transmission) से गति पारेषण (Motion transmission) के लिये, तथा दूसरा, फास्नर्स (fasteners) के रूप में कार्य करने के लिये। यहाँ पर दूसरे प्रकार की क्रिया का अधिक महत्व है इसलिये सेलेबस के अनुसार यहाँ पर वी-फार्म (Vee - form) थ्रेड्स (V-threads) के बारे में ज्यादा बताया गया है। प्लेन शाफ्ट एवं छिद्र के केस में सही फिटिंग के द्वारा ही विमाओं को नियंत्रित किया जा सकता है। थ्रेड कार्य के केस में, यांत्रिक क्षमता एवं दक्षता को ध्यान में रखकर सही फिट का कार्य करना होता है।

विश्व के सभी देशों में प्रयोग होने वाले थ्रेड-फार्म (Thread forms) निम्न हैं जिनको चित्र-1 में दिखाया गया है:

(i) British Standard Whitworth

(ii) American Standard

(iii) British Association

(iv) Knuckle

(v) Butress 45°

(vi) Acme

(vii) Unified

वी-थ्रेड को तीन वर्गों में बाँटा जा सकता है—

(A) British threads

(B) Metric threads

(C) Pipe threads

British V- threads—इस थ्रेड में चूड़ी का कोण (Angle of threads) 55° होता है। इसमें चूड़ी का बड़ा व्यास इन्चों (inches) में व्यक्त किया जाता है तथा पिच (pitch) के स्थान पर प्रति इन्च चूड़ियों की संख्या बतायी जाती है।

Metric V-threads—इस थ्रेड में चूड़ी का कोण (angle of threads) 60° होता है। इनके शीर्ष (top) और जड़ (bottom) चपटे होते हैं। मेट्रिक थ्रेड को 'M' अक्षर से व्यक्त करते है। इनके साइज को मिमी (mm) में बड़े व्यास (major diameter) और पिच की गुणा (multiply) चिन्ह द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। उदाहरण— 50 mm व्यास तथा 2 mm पिच की मेट्रिक थ्रेड को (M 50 × 2) द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

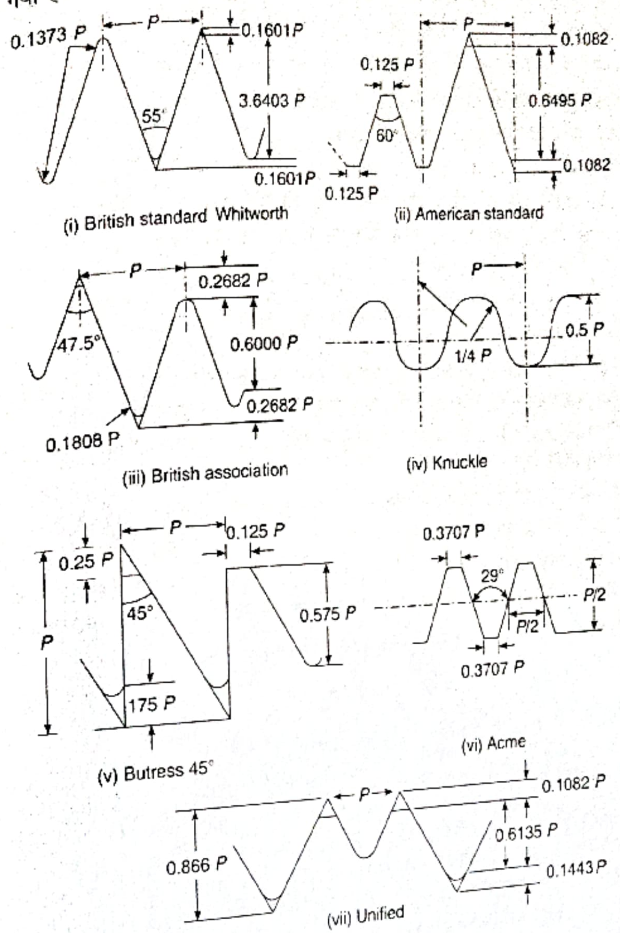
Pipe threads—इस थ्रेड में भी चूड़ी का कोण 55° होता है। इसका उपयोग मुख्यतया ठोस तथा जल पाइपों के जोड़ बनाने तथा कपलिंग (couplings) को जोड़ने में किया जाता है। पाइप थ्रेड का प्रयोग आर्मेचर में भी होता है। इन चूड़ियों का व्यास, पाइप के अन्त: व्यास (inner diameter) के द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।

5.2 पेंच चूड़ी का मापन (Measurement of Screw Threads)

इन्जीनियरिंग के क्षेत्र में किसी उत्पाद (product), मशीनों तथा विभिन्न औजारों में चूड़ी (threads) का व्यापक पैमाने में प्रयोग किया जाता है। पेंच चूड़ी (screw thread) का प्रयोग दो भागों (parts) को स्थायी या अस्थायी रूप से जोड़ने के लिए रेखीय गति के पारेषण तथा शक्ति के पारेषण के लिए किया जाता है।

इस प्रकार किसी वक्रीय सतह की परिधि पर बने एकसमान काट (uniform section) के कुण्डलीदार कूट (helical ridge) को **पेंच चूड़ी** (screw thread) कहते हैं।

जब एक चूड़ीदार भाग जिस पर बाह्य चूड़ियाँ (external threads) कटी होती हैं जिन्हें नर (male) कहते है तथा दूसरे चूड़ीदार भाग जिस पर अंत: चूड़ियाँ (internal threads) कटी होती हैं जिन्हें मादा (female) कहते है, को आपस में चूड़ियों के द्वारा जोड़ा जाता है तो ये एक चूड़ीदार इकाई (threaded unit) बनाते हैं। अंत: तथा बाह्य चूड़ीयाँ एक समान आकार एवं प्रकार की होनी चाहिए। विभिन्न प्रकार के चूड़ियों के आकार को उनके विमाओं एवं माप (parameter and size) सहित चित्र-1 में दिखाया गया है।



चित्र 1 : थ्रेड्स के आकार

5.3 चूड़ियों का वर्गीकरण (Classification of Threads)

चूड़ियों का वर्गीकरण निम्न प्रकार से किया जाता है—

(i) सतह जिस पर चूड़ी काटी गई है, के आधार पर—

(a) बाह्य चूड़ी (External Thread)

(b) अंत: चूड़ी (Internal Thread)

(3) चूड़ी का शिखर (Crest of Thread)—चूड़ी का सबसे ऊपर वाला बिन्दु शिखर (crest) कहलाता है। यहीं से चूड़ी की ऊपर उठती हुई ढलान (slope) प्रारम्भ होती है।

(4) चूड़ी का जड़ (Root of Thread)—चूड़ी का सबसे नीचे वाला बिन्दु जड़ (root) कहलाता है।

(5) चूड़ी का पिच (Pitch of Thread)—दो आसन्न चूड़ियों (adjacent threads) के संगत बिन्दुओं (corresponding points) के बीच की अक्षीय दूरी (axial distance) को चूड़ी का पिच कहते हैं। इस प्रकार यदि किसी पेंच की इकाई लम्बाई (unit length) में बनी चूड़ियों की संख्या n हो तो—

$$\text{पिच (Pitch)} = \frac{1}{\text{इकाई लम्बाई में बने चूड़ियों की संख्या}} = \frac{1}{n}$$

(6) फ्लैंक (Flank)—चूड़ी के शिखर (crest) तथा जड़ (root) को मिलाने वाली सीधी कोर (straight edge) को **फ्लैंक** (flank) कहते हैं।

(7) चूड़ी का कोण (Angle of Thread)—चूड़ी के फ्लैंकों के बीच अक्षीय तल में बना कोण चूड़ी का कोण (Angle of thread) कहलाता है।

(8) लीड (Lead)—किसी पेंच द्वारा उसकी अपनी अक्ष पर एक चक्कर घुमाने से उसके द्वारा तय की गई अक्षीय दूरी उस पेंच की लीड (lead) कहलाती है। इस प्रकार एकल चूड़ी वाले पेंच (single thread screw) में लीड की दूरी उसके पिच के बराबर होती है। दो चूड़ी वाले पेंच (double thread screw) में लीड, पिच की दो गुनी तथा तीन चूड़ी वाले पेंच (triple thread screw) में लीड उसके पिच की तीन गुनी होती है।

(9) दीर्घ व्यास (Major Diameter)—बाह्य (external) या अंत: (internal) चूड़ियों के शिखरों को छूते हुए बनने वाले अधिकतम व्यास को दीर्घ व्यास (major diameter) कहते हैं। इसे बाहरी चूड़ी का बाह्य व्यास या शिखर व्यास (crest diameter) भी कहा जाता है।

(10) लघु व्यास (Minor Diameter)—बाह्य (external) या अंत: (internal) चूड़ियों के जड़ (root) को छूते हुये बनने वाले न्यूनतम व्यास को लघु व्यास (minor diameter) कहते हैं। इसे बाहरी चूड़ी का जड़ व्यास (root diameter) या शंकु-व्यास (cone diameter) भी कहा जाता है।

(11) प्रभावी व्यास (Effective Diameter)—किसी पेंच चूड़ी के दीर्घ व्यास (major diameter) एवं लघु व्यास (minor diameter) के बीच के काल्पनिक व्यास (imaginary diameter) को प्रभावी व्यास (effective diameter) कहा जाता है। प्रभावी व्यांस को पिच व्यास (pitch diameter) भी कहा जाता है। किसी चूड़ी के दीर्घ व्यास से चूड़ी की एक गहराई (single depth) को घटाकर प्रभावी व्यास का मान (value) ज्ञात किया जा सकता है।

(12) चूड़ी की गहराई (Depth of Thread)—किसी पेंच चूड़ी के शिखर (crest) एवं जड़ (root) के बीच उसके अक्ष के लम्बवत् मापी गई दूरी को चूड़ी की गहराई (depth of thread) कहते हैं।

(13) चूड़ी की मोटाई (Thickness of Thread)—किसी चूड़ी के पिच रेखा (pitch line) के समान्तर मापी गई आसन्न साइडों (adjacent sides) के बीच की दूरी को चूड़ी की मोटाई (thickness of thread) कहते हैं।

5.5 चूड़ियों के विभिन्न अवयवों का मापन (Measurement of various elements of threads)

चूड़ीदार अवयवों एवं चूड़ीदार जोड़ बनाने के लिए चूड़ी के प्रमुख अवयवों का मापन अति आवश्यक होता है। चूड़ीदार अवयवों के मापन का उपयोग सूक्ष्म मापन में एवं अन्य औजार के अवयव जैसे—चूड़ी काटने वाले औजार (thread cutting tools) की चूड़ियाँ, टैप (tap), मिलिंग-हब (milling hub) आदि में भी किया जाता है। चूड़ीदार अवयवों में प्रमुख रूप से निम्न अवयवों का मापन किया जाता है—

(i) दीर्घ व्यास (Major Diameter)

(ii) लघु व्यास (Minor Diameter)

SAMPLE COPY

लगाकर माइक्रोमीटर का पाठ्यांक लिया जाता है तत्पश्चात् इसके स्थान पर कार्यखण्ड को लगा दिया जाता है और सूचक की पहले वाली समान पाठ्यांक के लिए माइक्रोमीटर के पाठ्यांक को पुनः नोट कर लिया जाता है। इस प्रकार यदि—

D_1 = सेटिंग सिलिण्डर का व्यास

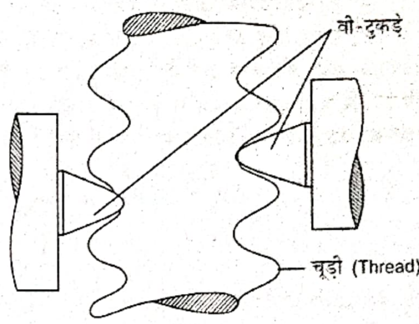
R_1 = सेटिंग सिलिण्डर के प्रयोग करने से माइक्रोमीटर का पाठ्यांक

R_2 = कार्यखण्ड की चूड़ियों पर माइक्रोमीटर का पाठ्यांक

D_M = दीर्घ व्यास

तब दीर्घ व्यास $D_M = D_1 + (R_2 - R_1)$

∴ **(ii) लघु व्यास का मापन** (Measurement of Minor Diameter)—बाह्य चूड़ियों (external threads) के लघु व्यास को मापने के लिए V-आकार (V-shape) के छोटे-छोटे इस्पात के टुकड़ों का प्रयोग किया जाता है। ये V-आकार के टुकड़े चूड़ियों के जड़ (root) के सम्पर्क में रहते हैं। ये V-आकार के टुकड़े कई अलग-अलग मापों में होते हैं ताकि आसानी से हर तरह की चूड़ियों के जड़ तक पहुँच सकें। इन टुकड़ों का कोण मापी जाने वाली चूड़ी के कोण से कम होता है। लघु व्यास मापने के तरीके को चित्र-4 में दिखाया गया है।



चित्र 4

किसी चूड़ी का लघु व्यास मापने के लिए व्यासमापी मशीन (diameter measuring machine) का प्रयोग किया जाता है। इस मशीन में दो केन्द्र होते हैं जिनके बीच मापी जाने वाली चूड़ी या कार्यखण्ड को लगाया जाता है। इसमें एक बेंच माइक्रोमीटर (bench micrometer) लगा होता है जो केन्द्र की अक्ष के लम्बवत् वी-बॉल स्लाइड (V-ball slide) पर चलता है। इस यंत्र में लगने वाले V-आकार के टुकड़ों की माप का कोई प्रभाव नहीं पड़ता है क्योंकि मानक पाठ्यांक (standard reading) लेते समय ये टुकड़े माइक्रोमीटर के फलकों (faces) और मानक सिलिण्डर (standard cylinder) के बीच लगाये जाते हैं।

जब किसी चूड़ी का लघु व्यास मापना होता है तब उसको केन्द्रों के बीच लगा दिया जाता है तत्पश्चात् माप लेते समय बेंच माइक्रोमीटर को चूड़ी के अक्ष के लम्बवत् रखा जाता है। उसके बाद V-आकार के टुकड़ों को चूड़ी के दोनों तरफ इस प्रकार लगाया जाता है (चित्र-4 के अनुसार) कि उनके आधार माइक्रोमीटर की फलकों के सम्पर्क में रहे। उसके बाद माइक्रोमीटर शीर्ष (micrometer head) को तब तक आगे बढ़ाते जाते हैं जब तक सूचक शून्य पर न पहुँच जाये अर्थात् अपनी सामान्य अवस्था में आ जाये। यह स्थिति आने पर पाठ्यांक को पढ़कर गणना कर ली जाती है। तत्पश्चात् चूड़ी की जगह एक मानक सिलिण्डर (standard cylinder) लगाया जाता है। मानक सिलिण्डर का व्यास चूड़ी के लघु व्यास (minor diameter) के बराबर होता है। मानक सिलिण्डर लगाने के बाद फिर पाठ्यांक को पढ़ लिया जाता है।

इस प्रकार, लघु व्यास (Minor diameter) $D_m = D + (R_2 - R_1)$

जहाँ D_m = लघु व्यास

D = मानक सिलिण्डर का व्यास

R_1 = V-टुकड़े लगाकर मानक सिलिण्डर का पाठ्यांक

R_2 = चूड़ी पर पाठ्यांक

लघु व्यास मापने की यह विधि सिर्फ व्हिटवर्थ (Whitworth) एवं ब्रिटिश एसोसियेशन 'B.A.' (British Association) चूड़ियों के लिए ही प्रयोग की जाती हैं जिनमें चूड़ी का जड़ व्यास (root diameter) निश्चित रहता है। अन्य प्रकार की चूड़ियों का लघु व्यास मापने के लिए लघु व्यास प्रोजेक्टर (projector) या माइक्रोस्कोप (microscope) का प्रयोग किया जाता है।

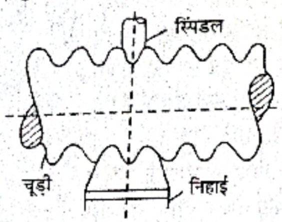
(iii) प्रभावी व्यास का मापन (Measurement of Effective Diameter)—किसी बाह्य चूड़ी के प्रभावी व्यास या पिच व्यास को मापने के लिए निम्नलिखित तीन विधियों में से कोई भी एक विधि को अपनाया जा सकता है—

(अ) चूड़ी माइक्रोमीटर विधि (Thread Micrometer Method)

(ब) दो-तार विधि (Two-Wire Method)

(स) तीन-तार विधि (Three-Wire Method)

(अ) चूड़ी माइक्रोमीटर विधि (Thread Micrometer Method)—चूड़ी-माइक्रोमीटर साधारण माइक्रोमीटर जैसा ही होता है, अन्तर सिर्फ उसकी निहाइयों के आकार में होता है। चूड़ी माइक्रोमीटर की निहाइयाँ विशेष प्रकार की होती हैं जिसका आकार मापी जाने वाली चूड़ी के आकार की तरह होता है। इसके स्पिण्डल पर V-आकार का एक सिरा होता है तथा इसके स्थिर निहाई (fixed anvil) में V-आकार का खाँचा (V-grooves) (V-shape female part) बना होता है। इस यंत्र से प्रभावी व्यास मापने की विधि को निम्न चित्र-5 में दिखाया गया है।



चित्र 5

इस यंत्र द्वारा सही मापन के लिए इसके स्पिण्डल के सिरे का कोण और निहाई में बने खाँचे का कोण मापी जाने वाली चूड़ी के कोण के बराबर होना चाहिए। जब चूड़ी का प्रभावी या पिच व्यास मापना होता है तब सबसे पहले माइक्रोमीटर के स्पिण्डल को V-आकार वाले निहाई से सम्पर्क करा करके माइक्रोमीटर के शून्यांक त्रुटि की जाँच की जाती है, तत्पश्चात् मापी जाने वाली चूड़ी पर माइक्रोमीटर को फिट करके उसका प्रभावी या पिच व्यास का मान निम्न सूत्र की सहायता से ज्ञात कर लिया जाता है—

यदि, चूड़ी का प्रभावी या पिच व्यास = D_E

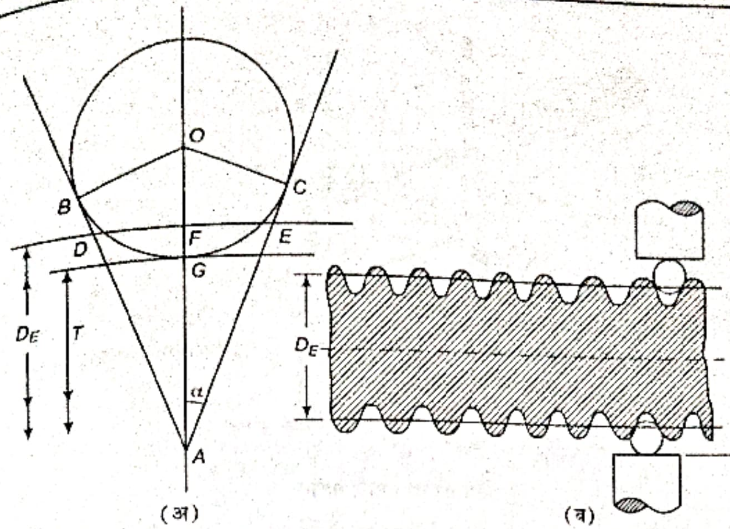
चूड़ी का दीर्घ व्यास = D_M

चूड़ी का पिच = P हो,

तब

चूड़ी का प्रभावी या पिच व्यास $D_E = D_M - 0{\cdot}6403\,P$

(ब) दो-तार विधि (Two-Wire Method)—इस विधि से प्रभावी या पिच व्यास मापने के लिए समान व्यास की दो तार या छड़ें प्रयोग की जाती हैं, इसीलिये इस विधि को दो-तार विधि कहा जाता है। इस विधि में दोनों तार या छड़ों को चूड़ी की फलकों के बीच रखा जाता है उसके बाद इन तारों के ऊपरी सिरों की दूरी को माइक्रोमीटर से या किसी अन्य विशेष मशीन या तरीके से मापा जाता है। इस विधि द्वारा प्रभावी व्यास मापने को चित्र-6 (अ) एवं (ब) में दर्शाया गया है।



चित्र 6

इस विधि में दो बेलन को बेलनाकार मानक (cylindrical standard) के रूप में लेकर माइक्रोमीटर से बेलनाकार मानक तथा दोनों तारों के ऊपरी सिरों का पाठ्यांक ले लिया जाता है। इस प्रकार

माना कि D_E = प्रभावी व्यास (Effective diameter)

T = तारों के नीचे का व्यास

M_1 = बेलनाकार मानक तथा तारों के ऊपरी सिरों का माइक्रोमीटर से पाठ्यांक

M_2 = चूड़ी तथा तारों के ऊपरी सिरों का व्यास

d = तार अथवा बेलन का व्यास

तब $$D_E = T + P$$

जहाँ P = स्थिरांक (constant) [जो तारों के व्यास एवं चूड़ी के पिच पर निर्भर करता है]

तथा $$T = M_2 - 2d$$

इस प्रकार यदि P चूड़ी का पिच हो तब, मीट्रिक चूड़ी के लिए—

स्थिरांक $$P = 0{\cdot}866p - d$$

तथा व्हिटवर्थ चूड़ी के लिए—

$$P = 0{\cdot}9605p - 1{\cdot}1657d$$

$$\therefore \quad D_E = D_{cs} - M_1 + M_2 + P$$

जहाँ D_{cs} = बेलनाकार मानक का व्यास है।

इसके अलावा दो तार विधि से प्रभावी अथवा पिच व्यास ज्ञात करने के लिए विशेष प्रकार का व्यासमापी मशीन (Diameter measuring machine) का प्रयोग किया जाता है, जिसको चित्र 7 में दिखाया गया है।

उपरोक्त चित्र-8 के द्वारा यदि मान लिया जाये कि—

D_E = प्रभावी व्यास (Effective Diameter)

d = तारों या बेलनों या छड़ों का व्यास

r = तारों की त्रिज्या

h = तारों या बेलनों या छड़ों के केन्द्र की प्रभावी व्यास से ऊँचाई

H = चूड़ी की गहराई

α = चूड़ी का कोण

M = तारों या बेलनों या छड़ों के ऊपरी सिरों की दूरी

चित्र-8 (ब) में दिखाये गये रेखाचित्र के अनुसार,

$$OA = OB \operatorname{cosec}\frac{\alpha}{2} = r \operatorname{cosec}\frac{\alpha}{2}$$

$$H = AD \cot\frac{\alpha}{2} = \frac{p}{2}\cot\frac{\alpha}{2}$$

$$CA = \frac{H}{2} = \frac{p}{4}\cot\frac{\alpha}{2}$$

$$h = OA - CA = r\operatorname{cosec}\frac{\alpha}{2} - \frac{p}{4}\cot\frac{\alpha}{2}$$

तथा

इस प्रकार तारों के ऊपरी सिरों की दूरी, $M = D_E + 2h + 2r$

$$M = D_E + 2\left(r \operatorname{cosec}\frac{\alpha}{2} - \frac{p}{4}\cot\frac{\alpha}{2}\right) + 2r$$

या

$$M = D_E + 2r\left(1 + \operatorname{cosec}\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{p}{2}\cot\frac{\alpha}{2}$$

या,

$$M = D_E + d\left(1 + \operatorname{cosec}\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{p}{2}\cot\frac{\alpha}{2}, \quad \text{जहाँ } d = 2r$$

या,

इस प्रकार M का मान निकाल कर प्रभावी व्यास D_E का मान निकाला जा सकता है।

मीटरी चूड़ी के लिए—M का मान निम्न सूत्र से ज्ञात कर सकते हैं—

$\alpha = 60°$, चूड़ी की गहराई $H = 0{\cdot}6495p$ के लिए—

$$\therefore \quad M = D + 3d - 1{\cdot}5155p$$

व्हिटवर्थ चूड़ी के लिए—M का मान निम्न सूत्र से ज्ञात कर सकते हैं—

$\alpha = 55°$, चूड़ी की गहराई $H = 0{\cdot}64p$ के लिए—

$$M = D + 3{\cdot}1657d - 1{\cdot}6005p$$

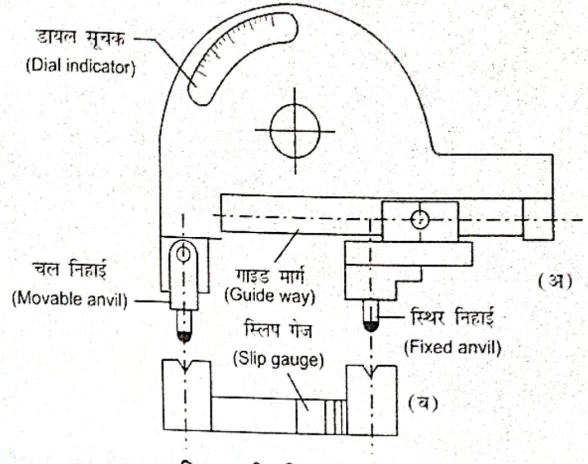
प्रयोगों द्वारा तारों के बीच की दूरी M का मान ज्ञात करके उसकी तुलना उपरोक्त सूत्र से करके प्रभावी व्यास का मान ज्ञात कर लिया जाता है।

तार का सर्वोत्तम माप (Best Size of Wire)—ऊपर बताये गये सूत्रों से किसी चूड़ीदार कार्यखण्ड का प्रभावी व्यास ज्ञात करने के लिए यह आवश्यक है कि अलग-अलग माप के मानक पिच (standard pitch) के लिए अलग-अलग माप के तार प्रयोग किये जायें। परन्तु आर्थिक दृष्टि से एवं व्यावहारिक दृष्टि से यह संभव नहीं हो पाता है। अतः ऐसे तार का प्रयोग

(ब) सूक्ष्मदर्शीय विधि (Microscopic Method)

(स) मैट्रिक्स मशीन (Matrix Machine)

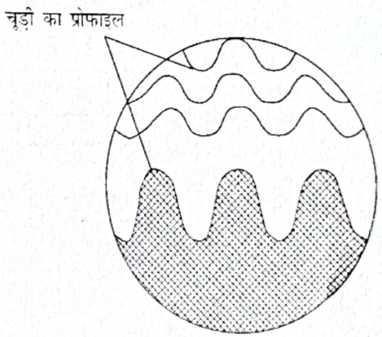
(अ) ज़ीस पिच मापन मशीन (Zeiss Pitch Measuring Machine)—इस मशीन में एक गोलाकार स्थिर निहाई (circular fixed anvil) होती है। इस मशीन में बने गाइड मार्ग (guide way) पर इस गोलाकार स्थिर निहाई को किसी भी वांछित स्थिति में रखकर कसा जा सकता है। एक गोलाकार चल निहाई (circular movable anvil) भी इस मशीन में होता है जो उसकी गति को डायल सूचक (dial indicator) पर पारेषित करता है या दर्शाता है। पिच मापे जाते समय दोनों निहाइयों को इस प्रकार समायोजित (adjust) किया जाता है कि वे चूड़ी के पिच रेखा पर मापी जाने वाली चूड़ियों के सम्पर्क में रहे। समायोजित करते समय यह ध्यान रखा जाता है कि ये चूड़ी के अक्ष (axis) के समान्तर अक्षीय समतल (axial plane) में संरेखित (align) रहे। दोनों निहाइयों के बीच की दूरी को एक मानक चूड़ी प्लग गेज (standard thread plug gauge), संयोजी स्लिप गेज ब्लाकों (combination of slip gauge block) या विशेष माइक्रोमीटर (special micrometer) की सहायता से समायोजित किया जाता है। ज़ीस पिच मापन मशीन की रचना को निम्न चित्र-9 में दिखाया गया है।



चित्र 9 : ज़ीस पिच मापन मशीन

चित्र-9 में स्लिप गेज ब्लाकों के संयोजन से दोनों निहाइयों के समायोजन को दिखाया गया है। सेटिंग के पश्चात् यंत्र के डायल सूचक द्वारा शून्य (zero) पाठ्यांक दिखाना चाहिए। सूचक की परिशुद्धता ±0·003 मिमी० होती है। इस मशीन की सहायता से किसी चूड़ी का पिच त्रुटि (pitch error) भी मापा जा सकता है।

(ब) सूक्ष्मदर्शीय विधि द्वारा पिच मापन (Measurement of Pitch by Microscopic Method)—इस विधि द्वारा पिच मापन में टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप (Tool makers microscope) का प्रयोग किया जाता है। टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप में एक प्रक्षेपण पर्दा (projection screen) लगा होता है। इसमें एक घूर्णनशील ऑकुलर (revolving ocular) होता है जिसमें पेंच चूड़ी टेम्पलेट (screw thread template) फिट किया जाता है। जिस चूड़ी का पिच मापना होता है उसे ऑब्जेक्टिव (objective) के नीचे केन्द्रों के बीच लगाकार प्रक्षेपण पर्दे पर प्रक्षेपित किया जाता है। तत्पश्चात् ऑकुलर को घुमाकर प्रतिबिम्ब को मानक टेम्पलेट के प्रोफाइल (template profile) के साथ सम्पाती (concide) किया जाता है फिर माइक्रोमीटर का प्रारम्भिक पाठ्यांक नोट कर लिया जाता है। उसके बाद चूड़ी की लम्बाई की दिशा (logitudinal direction) में उसके अक्ष के समान्तर धीरे-धीरे इस तरह घुमाया जाता है कि अगली चूड़ी टेम्पलेट के प्रोफाइल के संपाती हो जाये। इस स्थिति में पुनः माइक्रोमीटर का अन्तिम पाठ्यांक ले लिया जाता है। इस प्रकार माइक्रोमीटर के द्वारा दिखाये गये दोनों पाठ्यांकों का अन्तर ही उस चूड़ी का पिच होगा। सूक्ष्मदर्शी (microscope) द्वारा चूड़ी के प्रोफाइल को चित्र-10 में दिखाया गया है।

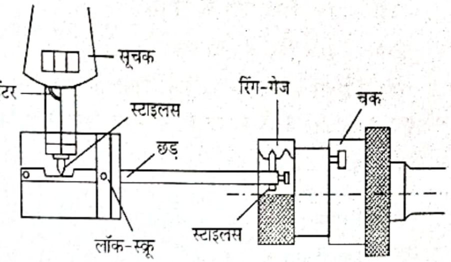


चित्र 10 : चूड़ी की पिच का मापन

इस मशीन के आधार पर एक वाहक (carriage) भी होता है जिसके दो भाग होते हैं। कैरेज अथवा वाहक का निचला स्लाइड आधार पर अनुदैर्ध्य दिशा में गति करता है तथा ऊपर वाला स्लाइड निचले स्लाइड के लम्बरूप गति करता है। वाहक के ऊपरी स्लाइड पर सूचक इकाई या डायल सूचक लगा होता है। माइक्रोमीटर की सहायता से वाहक को आधार पर आगे या पीछे सरकाया जा सकता है। वाहक की गति केन्द्रों के अक्ष के बिल्कुल समान्तर होती है और स्टाइलस (stylus) चूड़ी के फ्लैंक (flank) से पिच रेखा (pitch line) पर सम्पर्क करता है। चूड़ी के पिच का मापन करने के लिए चूड़ी को दोनों केन्द्रकों के बीच लगाकर माइक्रोमीटर एवं सूचक को शून्य पाठ्यांक के लिए समायोजित (adjust) कर लिया जाता है तथा स्टाइलस पहली चूड़ी के स्थान (thread space) से सम्पर्क करता है। तत्पश्चात् माइक्रोमीटर को इतना घुमाया जाता है कि स्टाइलस अगली चूड़ी के स्थान से इस प्रकार सम्पर्क में रहे कि सूचक का पाठ्यांक भी शून्य प्रदर्शित करे। इस प्रक्रिया से यह सुनिश्चित हो जाता है कि स्टाइलस चूड़ी के अक्ष के सापेक्ष उसी स्थिति में सेट हो गया है जिस स्थिति में वह प्रारम्भ में पहली चूड़ी के स्थान पर था। इस अवस्था में पुनः माइक्रोमीटर का पाठ्यांक नोट कर लिया जाता है। इस प्रकार इन दोनों पाठ्यांकों का अन्तर ही चूड़ी के पिच का मान होगा।

5.6 आन्तरिक चूड़ी के पिच का मापन (Measurement of Pitch of Internal Thread)

किसी कार्यखण्ड के आन्तरिक चूड़ी के पिच को मापने के लिये साधारण पिच मापन मशीनों पर अलग से एडॉप्टर (adopter) लगाकर पिच को मापा जा सकता है। इसको मापने की व्यवस्था को चित्र-13 में दिखाया गया है। इस व्यवस्था में मशीन में लगे एडॉप्टर के साथ एक छड़ लगा होता है जिसके एक सिरे पर स्टाइलस (stylus) लगा रहता है। स्टाइलस वाले सिरे को रिंग गेज (ring gauge) की चूड़ी में इस प्रकार घुमाते हैं कि मापी जाने वाली चूड़ी में स्टाइलस अच्छी तरह से बैठ जाये। तत्पश्चात् रिंग गेज को मशीन के हेड स्टॉक पर लगा देते हैं। हेड स्टॉक पर विभिन्न माप के रिंग गेजों को लगाया जा सकता है। तत्पश्चात् पूर्व में बतायी गयी विधि के अनुसार पाठ्यांकों को लेकर, उसके अन्तर द्वारा आन्तरिक चूड़ी के पिच का मान निकाला जा सकता है।



चित्र 13 : आंतरिक चूड़ियों के पिच का मापन

5.7 गियर के अवयवों का मापन (Measurement of Gear Elements)

गियर के अवयवों के मापन से पूर्व गियर के अवयवों के बारे में जानना आवश्यक है। इसलिए पहले यहाँ गियर के अवयवों की परिभाषा के बारे में बताया जा रहा है। गियर के विभिन्न अवयवों को चित्र-14 में दिखाया गया है।

5.8 गियर से सम्बन्धित विभिन्न अवयव अथवा पैरामीटर (Parameter) की परिभाषा

(1) **पिच वृत्त** (Pitch Circle)—पिच वृत्त एक काल्पनिक वृत्त (imaginary circle) है, जो घूमने पर वही गति प्रदान करता है जो वास्तविक गियर गति करता है।

(2) **पिच वृत्त व्यास** (Pitch circle diameter)—पिच वृत्त के व्यास को पिच वृत्त व्यास या पिच व्यास कहा जाता है। गियर के साइज को पिच वृत्त व्यास या P.C.D. से दर्शाया जाता है।

(3) **पिच बिन्दु** (Pitch Point)—दो आपस में मिलने वाले गियरों के पिच वृत्तों के सम्पर्क बिन्दु (contact point) को पिच बिन्दु (pitch point) कहा जाता है।

(4) **पिच सतह** (Pitch Surface)—घूमने वाले चकतियों (rolling discs) का वह सतह जिसका स्थान दाँतेदार गियर (toothed gear) ले लेते हैं, पिच सतह (pitch surface) कहलाते हैं।

(10) एडेन्डम वृत्त (Addendum Circle)—गियर के दाँतों के ऊपरी भाग से होकर जाने वाला वृत्त, जो पिच-वृत्त से संकेन्द्रित (concentric) होता है, को एडेन्डम वृत्त (Addendum Circle) कहते हैं।

(11) डिडेन्डम (Dedendum)—पिच वृत्त से दाँतों के जड़ (root) तक की त्रैज्यिक दूरी (radial distance) को डिडेन्डम कहते हैं।

(12) डिडेन्डम वृत्त (Dedendum Circle)—गियर के दाँतों के निचले भाग से होकर जाने वाले वृत्त को डिडेन्डम वृत्त (Dedendum Circle) कहते हैं।

(13) अवकाश (Clearance)—किसी गियर के दाँतों के ऊपरी किनारे से तथा उससे मिलने वाले गियर के दाँतों के जड़ तक की त्रैज्यिक दूरी को अवकाश (Clearance) कहते हैं। यह दाँते के एडेन्डम (Addendum) तथा डिडेन्डम (Dedendum) के अन्तर के बराबर होता है।

(14) अवकाश वृत्त (Clearance Circle)—किसी गियर के दाँतों के मिलने वाले ऊपरी भाग से होकर गुजरने वाले वृत्त को अवकाश वृत्त (Clearance Circle) कहते हैं।

(15) दाब कोण (Pressure Angle)—परस्पर मिलने वाले दो गियर के दाँतों के सम्पर्क बिन्दु पर उभयनिष्ठ अभिलम्ब (common normal) और पिच बिन्दु पर उभयनिष्ठ स्पर्श रेखा (common tangent line) से बनने वाले कोण को दाब कोण (pressure angle) कहते हैं। प्राय: दाब कोण $14\frac{1}{2}^{\circ}$ से लेकर 20° तक के बीच होता है।

(16) कुल गहराई (Whole Depth)—गियर के एडेन्डम और डिडेन्डम के योग को गियर की कुल गहराई (whole depth) कहते हैं।

(17) कार्यकारी गहराई (Working Depth)—एडेन्डम वृत्त एवं अवकाश वृत्त के बीच की दूरी को कार्यकारी गहराई (working depth) कहते हैं। कार्यकारी गहराई एडेन्डम एवं डिडेन्डम के योग के बराबर होता है।

(18) दाँते की मोटाई (Thickness of Tooth)—किसी गियर के पिच वृत्त पर दाँते के दोनों सिरों के बीच की चाप (Arc) की लम्बाई को दाँते की मोटाई कहते हैं।

(19) दाँते का फ्लैंक (Flank of tooth)—किसी गियर के पिच सतह से नीचे दाँते की सतह को फ्लैंक (flank) कहते हैं।

(20) दाँते की फलक (Face of Tooth)—किसी गियर के पिच सतह से ऊपर दाँते की सतह को फलक (face) कहते हैं।

(21) फलक की चौड़ाई (Face Width)—गियर के अक्ष के समान्तर दाँते की चौड़ाई को फलक की चौड़ाई (face width) कहते हैं।

(22) टॉप लैन्ड (Top Land)—किसी गियर के दाँते के शीर्ष भाग अथवा ऊपरी भाग की सतह को टॉप लैन्ड (top land) कहते हैं।

(23) बॉटम लैन्ड (Bottom Land)—किसी गियर के दाँते की जड़ पर अथवा निचले भाग पर चपटी सतह को बॉटम लैन्ड (bottom land) कहते हैं।

(24) फिलेट (Fillet)—किसी गियर के दाँते के प्रोफाइल (profile) को डिडेन्डम वृत्त से जोड़ने वाला वक्र फिलेट (fillet) कहलाता है।

(25) सम्पर्क मार्ग (Path of Contact)—किसी परस्पर मिलने वाले दो गियरों में उसके दो मिलने वाले दाँतों द्वारा सम्पर्क के आरम्भ से लेकर अन्त तक तय किया गया मार्ग, सम्पर्क मार्ग (path of contact) कहलाता है।

(26) सम्पर्क चाप (Arc of Contact)—परस्पर मिलने वाले गियरों के दाँतों के सम्पर्क के आरम्भ से लेकर अन्त तक पिच रेखा (pitch line) पर किसी बिन्दु द्वारा तय किये गये मार्ग को सम्पर्क चाप (arc of contact) कहते हैं।

इस मशीन में दो मापन सम्पर्क-टिप (contact tips) होते हैं जिनको गियर के दो संगत दाँतों के समान पृष्ठों पर लगाया जाता है। इसके बाँयी ओर के टिप को मापी जाने वाली दाँते पर टिका दिया जाता है। इसके बाँयी ओर के टिप में दो भुजायें होती हैं जिसकी एक भुजा दाँते पर टिकी होती है तथा दूसरी भुजा इस मशीन में लगे डायल सूचक (dial indicator) के सम्पर्क बिन्दु (contact point) को हिलाती है। पिच के माप में होने वाले परिवर्तन को डायल सूचक पर देखा जा सकता है।

(ii) गियर दाँते की मोटाई का मापन (Measurement of Gear Tooth Thickness)—किसी गियर के दाँते की मोटाई आमतौर पर पिच वृत्त (pitch circle) पर मापी जाती है। इसलिये इसे पिच रेखा पर दाँते की मोटाई (pitch line tooth thickness) भी कहते हैं। गियर के सभी तत्वों के मापन में दाँते की मोटाई का मापन सबसे महत्त्वपूर्ण होता है। गियर के दाँते की मोटाई को मापने के लिये कुछ प्रमुख विधियाँ निम्न हैं—

(अ) गियर-दाँत वर्नियर कैलिपर्स विधि (Gear tooth Vernier callipers method)

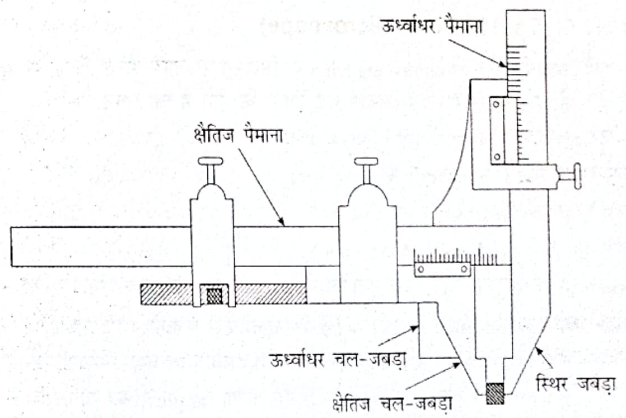
(ब) स्थिर चाप विधि (Constant chord method)

(स) आधार स्पर्श रेखा विधि (Base tangent method)

(द) तीन तार विधि (Three-wire method)

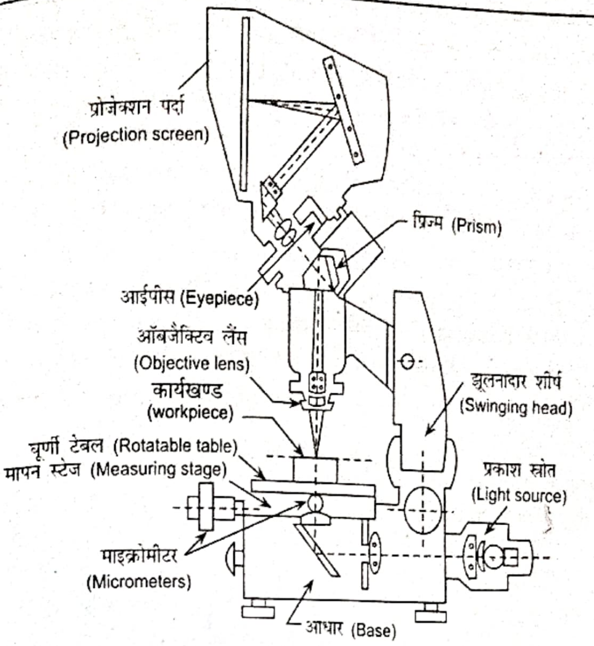
उपरोक्त विधियों में से गियर-दाँत वर्नियर कैलिपर्स विधि के बारे में यहाँ बताया जा रहा है।

गियर-दाँत वर्नियर कैलिपर्स विधि (Gear tooth Vernier callipers method)—जैसा कि नाम से विदित है, इस विधि में गियर के दाँते की मोटाई को मापने के लिये गियर दाँत वर्नियर कैलिपर का प्रयोग किया जाता है। यह कैलिपर साधारण वर्नियर कैलिपर्स के समान ही होता है, अन्तर सिर्फ इतना होता है कि इसमें दो वर्नियर पैमाने (vernier scale) होते हैं। गियर-दाँत वर्नियर कैलिपर्स को चित्र-16 में दिखाया गया है। इस वर्नियर कैलिपर्स में एक क्षैतिज पैमाना (horizontal scale) तथा दूसरा ऊर्ध्वाधर पैमाना (vertical scale) होता है। क्षैतिज पैमाना दाँते की मोटाई को बताता है तथा ऊर्ध्वाधर पैमाना (vertical scale) दाँते की गहराई को बताता है अर्थात् दाँते के टॉप से पिच व्यास तक की गहराई को बताता है जहाँ वांछित दाँते की मोटाई मापी जा रही हो।



चित्र 16 : गियर दाँता वर्नियर कैलिपर

इस कैलिपर में भी दो जबड़े (jaws) होते हैं। ऊर्ध्वाधर चल-जबड़ा (movable jaw) दाँतों के ऊपर एक विशेष या निश्चित ऊँचाई पर स्थिर (fixed) किया जा सकता है तथा दाँतों की मोटाई को मापने के लिए क्षैतिज चल जबड़े का उपयोग किया जाता है। इस वर्नियर में लगा स्थिर जबड़ा, दाँते पर यंत्र की पकड़ (hold) को बनाये रखता है।



चित्र 17 : टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप

टूलमेकर्स माइक्रोस्कोप के मुख्य अंग निम्न हैं—

1. आधार (Base)
2. मापन स्टेज (Measuring Stage)
3. घूर्णी टेबल (Rotatable Table)
4. माइक्रोमीटर (Micrometer)
5. प्रकाश स्रोत (Light source)
6. झूलनादार शीर्ष (Swingable Head)
7. ऑब्जेक्टिव लेंस (Objective Lens)
8. आई-पीस या ऑकूलर (Eye-piece or Ocular)
9. प्रिज्म (Prism)
10. प्रोजेक्शन पर्दा (Projection Screen)

इस यन्त्र में एक भारी मजबूत एवं खोखला आधार (base) होता है जिस पर झूलनादार शीर्ष (swingable head) लगा होता है। आधार के नीचे साइड में प्रकाश स्रोत (light source) लगा होता है। आधार के ऊपर मापन स्टेज (measuring stage) लगा होता है। ये मापन स्टेज बॉल बियरिंगों (ball bearings) पर टिकी हुई होती है जो दो माइक्रोमीटर (micrometers) से संचालित होती हैं। दोनों माइक्रोमीटर लम्बाई एवं क्रॉस-सेक्शन में आपस में लम्बवत् होते हैं। इस यंत्र के मापन स्टेज के ऊपर एक घूर्णी टेबल (rotatable table) लगी होती है। घूर्णी टेबल पर कार्यखण्ड को रखा जाता है या दो केन्द्रों के बीच पकड़ा जाता है। घूर्णी टेबल के साथ एक वर्नियर प्रोट्रेक्टर (Vernier protector) लगा होता है जो घूर्णी टेबल के कोणीय रोटेशन को 3′ की शुद्धता तक पढ़ सकता है। यह घूर्णी टेबल 360° तक घूम सकती है।

प्रतिकेन्द्रज टेस्टर में एक अपघर्षित चकती (ground disc) लगी होती है जिसका व्यास जाँचे जाने वाले गियर के आधार वृत्त के व्यास के बराबर होता है। जाँचे जाने वाले गियर को एक मैन्ड्रिल (mandrel) में लगाया जाता है जिस पर चकती भी लगी रहती है। इसकी बॉडी की स्लाइड पर सीध-रेखक लगा रहता है जिसका सम्पर्क, आधार वृत्त चकती से रहता है ताकि स्लाइड पर सीध-रेखक के चलने पर आधार वृत्त चकती और गियर बिना स्लिप (slip) के घूम सके। इस प्रकार सीध-रेखक का कोई भी बिन्दु आधार वृत्त के अनुरूप प्रतिकेन्द्रज (involute) बनाता है। अब यदि सीध-रेखक के समतल में किसी डायल सूचक का टिप (tip) लगा दें जो दाँतों के फ्लैंक से सम्पर्क (contact) करे तो यह सैद्धान्तिक प्रतिकेन्द्रज (theoretical involute) और वास्तविक दाँतों के प्रोफाइल के अन्तर को दर्शायेगा। डायल सूचक के स्थान पर कोई सेन्सिंग तत्व (sensing element) को लगाकर दाँतों के प्रोफाइल का स्थाई अभिलेख (permanent record) तैयार किया जा सकता है। इस यंत्र में सीध रेखक को हाथ से या शक्ति (power) से चलाया जा सकता है। प्रत्येक ट्रेस (trace) के बाद स्टाइलस (stylus) को हटाने का भी प्रबन्ध होता है। एक दाँते का परीक्षण पूरा होने के बाद अगला दाँता इन्डेक्स (index) होकर परीक्षण के लिये सामने आ जाता है। यह क्रिया अन्तिम दाँते के परीक्षण तक चलता रहता है।

5.10 विशेष मापन युक्तियाँ (Special Measuring Devices)

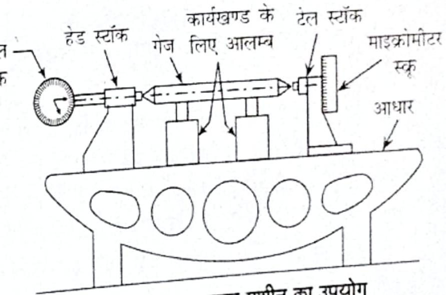
ऐसी मशीनें जिनके द्वारा मापन कार्य किया जाता है, मापन मशीनें (measuring machines) कहलाती हैं। कुछ विशेष कार्य के मापन के लिये कुछ विशेष मापन मशीनें बनाई जाती हैं, जिन्हें विशेष मापन युक्तियाँ (special measuring devices) कहते हैं।

विशेष मापन मशीनों का प्रयोग आमतौर पर विस्तार छड़ों (length bars) अथवा दूसरे विशिष्ट लम्बाई वाले अंगों (components) की लम्बाई को मापने में किया जाता है जिनके बाहरी सिरे गोलीय (rounded), चपटे (flat) और आपस में समान्तर (parallel) हों। दूसरे शब्दों में, ऐसे मापन कार्य जो वर्नियर कैलिपर्स, माइक्रोमीटर, स्क्रूगेज आदि मापन यन्त्रों द्वारा न मापा जा सके, वहाँ पर विशेष मापन युक्तियों का प्रयोग किया जाता है। ये मापन मशीनें अधिक सार्वत्रिक लक्षणों वाले होते हैं। इनके द्वारा भी परिशुद्ध एवं उच्च यथार्थतापूर्वक माप ली जा सकती है। इन मशीनों से कई प्रकार के कार्य किये जा सकते हैं। विशेष प्रकार की मापन मशीनें कई प्रकार के डिजाइन (design) की होती हैं। आमतौर पर प्रयोग में आने वाली कुछ विशेष मशीनों का नाम नीचे दिया जा रहा है—

1. विस्तार छड़ मापन मशीन (Length Bar Measuring Machine)
2. सार्वत्रिक मापन मशीन (Universal Measuring Machine)
3. न्युऑल मापन मशीन (Newall Measuring Machine)
4. निर्देशांक मापन मशीन (Co-ordinate Measuring Machine or CMM)
5. त्रि-विमीय मापन मशीन (Three Dimensional Measuring Machine)

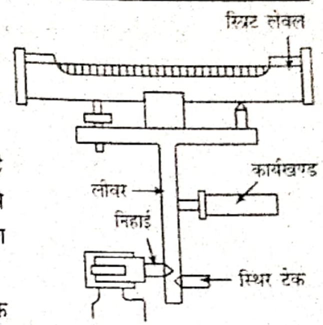
5.11 विस्तार छड़ मापन मशीन (Length Bar Measuring Machine)

चित्र 19 में विस्तार छड़ मापन मशीन को दिखाया गया है। इस मशीन में एक लम्बा बेड (long bed) होता है जिस पर पूरी लम्बाई में V तथा चपटे गाइड मार्ग (V and flat guide ways) बने होते हैं। इन गाइडों के एक तरफ स्थिर हेड स्टॉक (fixed head stock) तथा दूसरी तरफ चल टेल-स्टॉक (Movable tail stock) रखे रहते हैं। इन गाइडों पर चल टेल स्टॉक, सहारा लिये हुये आगे या पीछे चल सकता है।



चित्र 19 : विस्तार छड़ मापन मशीन का उपयोग

स्थिर टेक का सिरा, निहाई के सिरे से थोड़ा नीचे तथा मापन फेस (measuring face) के विपरीत सेट किया हुआ होता है। इसमें एक स्प्रिंग लगा होता है जिसके हल्के दाब से लीवर और निहाई का सम्पर्क बना रहता है। न्यूऑल मापन मशीन के रेखाचित्र को चित्र 20 में दिखाया गया है।



चित्र 20 : न्यूऑल मापन मशीन

इस मशीन में एक संवेदनशील स्प्रिट लेवल (sensitive sprit level) होता है जो लीवर के ऊपरी सिरे पर लगा होता है। मापन का पाठ्यांक इसी स्प्रिट लेवल से लिया जाता है। इस स्प्रिट लेवल पर विभाजित पैमाना (graduated scale) बना होता है जिसका प्रत्येक विभाजन 0·001 मिमी० के बराबर होता है।

जब किसी कार्यखण्ड का मापन करना होता है तब उसको निहाइयों के बीच स्थापित किया जाता है। तत्पश्चात् इसमें लगे पेंच माइक्रोमीटर को समायोजित (adjust) करके स्प्रिट लेवल के बुलबुले (bubble) को एक निश्चित स्थान पर स्थिर कर लिया जाता है। फिर उसके पाठ्यांक को नोट कर लिया जाता है। तत्पश्चात् इसी तरह उसी कंडीशन (same condition) पर दूसरी सेटिंग की जाती है। इस तरह कई पाठ्यांक लेकर निश्चित परिशुद्धता में कार्यखण्ड का मापन किया जाता है। इस मशीन द्वारा भी यथार्थतापूर्वक परिशुद्ध मापन किया जा सकता है।

5.14 निर्देशांक मापन मशीन (Co-ordinate Measuring Machine or CMM)

कुछ अवयव (component) या पार्ट (part) या कार्यखण्ड (workpiece) ऐसे होते हैं जिनका त्रि-विमीय मापन (three-dimensional measurement) करना जरूरी होता है। इस प्रकार ऐसे कार्य के लिये निर्देशांक मापन मशीनों का प्रयोग किया जाता है। इन मशीनों पर तीनों दिशाओं (x, y, z) पर माप लेने के लिए यंत्र या मापन शीर्ष कार्य करते हैं। जिससे ऐसे मशीनों पर x, y एवं z निर्देशांकों पर मापन शीर्ष की सूक्ष्म गतियाँ हो सकती हैं। इन मापन शीर्षों को नियंत्रित (controlled) किया जा सकता है तथा इन्हीं से उनका मापन भी किया जाता है। मशीन में तीनों दिशाओं में लगे प्रत्येक स्लाइड (slide) पर सूक्ष्म रेखीय मापन ट्रांसड्यूसर (precision linear measurement transducer) लगे होते हैं। इन ट्रांसड्यूसरों द्वारा प्रदर्शित मापन, अंकों (digital) में होता है और ये धनात्मक (+ve) एवं ऋणात्मक (−ve) दिशाओं के प्रति सुग्राही (sensitive) होते हैं। इनके द्वारा यथार्थ एवं परिशुद्ध मापन किया जा सकता है।

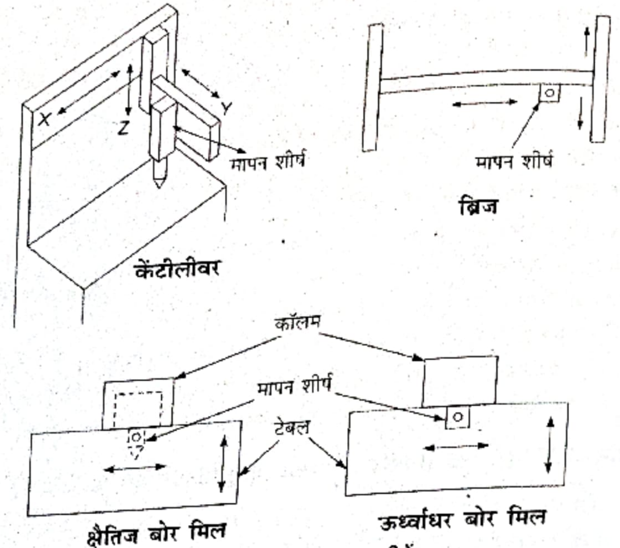
निर्देशांक मापन मशीनें कई साइज में उपलब्ध होती हैं। इन मशीनों से कई प्रकार के कार्य किये जा सकते हैं। ये मशीनें विभिन्न मॉडलों के साथ-साथ हस्तचालित (manual) एवं कम्प्यूटर नियंत्रित (computerized controlled) होती हैं। इन मशीनों में लगे मापन शीर्ष पर प्रोब-टिप (probe tip) लगा होता है। ये प्रोब टिप कई आकार जैसे—टेपर टिप (taper tip), बॉल टिप (ball tip) इत्यादि के होते हैं; जिन्हें आवश्यकतानुसार मापन शीर्ष में लगाया जाता है।

5.14.1 निर्देशांक मापन मशीनों के प्रकार (Types of Co-ordinate Measuring Machines)

निर्देशांक मापन मशीन चार प्रकार की होती हैं, जो निम्न हैं—

1. कैन्टीलीवर निर्देशांक मापन मशीन (Cantilever Co-ordinate Measuring Machine)
2. ब्रिज निर्देशांक मापन मशीन (Bridge Co-ordinate Measuring Machine)
3. क्षैतिज बोर मिल टाइप निर्देशांक मापन मशीन (Horizontal Bore Mill type Co-ordinate Measuring Machine)
4. ऊर्ध्वाधर बोर मिल टाइप निर्देशांक मापन मशीन (Vertical Bore Mill type Co-ordinate Measuring Machine)

उपरोक्त सभी मशीनों के रेखाचित्र को चित्र 21 में दिखाया गया है।



चित्र 21 : निर्देशांक मापन मशीनें

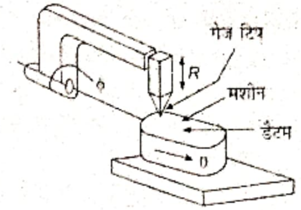
5.14.2 कार्यविधि (Working Method)

किसी कार्यखण्ड के दो छिद्रों के बीच की दूरी को मापने के लिये, कार्यखण्ड को निर्देशांक मापन मशीन में लगे शिकंजे से बाँधा जाता है। तत्पश्चात् इसका संरेखन (alignment) मशीन पर लगे परस्पर तीन लम्बवत् मापन स्लाइडों x, y एवं z के सापेक्ष किया जाता है। कार्यखण्ड के संरेखन के पश्चात्, टेपरित प्रोब टिप (tapered probe tip) को पहले एक आधार-छिद्र (datum hole) पर सेट किया जाता है। सेट करने के पश्चात् प्रोब पोजिशन डिजिटल पाठ्यांक (probe position digital reading) को शून्य (zero) पर सेट कर लिया जाता है। यही क्रिया अन्य छिद्रों पर प्रोब को सरकाकर सेट करके किया जाता है तथा प्रत्येक छिद्र (hole) का प्रोब पोजिशन डिजिटल पाठ्यांक, निर्देशांक पार्ट-प्रिन्ट छिद्र के स्थान को आधार छिद्र (datum hole) के सापेक्ष, निरूपित करता है। इस प्रकार हमें प्रत्येक छिद्र के लिये अलग-अलग निर्देशांक (Co-ordinates) मिल जाते हैं। निर्देशांक मापन मशीन पर स्वचालित रिकार्डिंग (automatic recording) और डाटा प्रोसेसिंग यूनिट (data processing unit) भी लगे होते हैं जिसके द्वारा जटिल ज्यामितीय एवं सांख्यिकीय विश्लेषण (geometrical and statistical analysis) किया जाता है।

आधुनिक निर्देशांक मापन मशीनें पूर्णतया स्वचालित (automatic) होती हैं तथा इनसे मापन आकड़े (measurement datas) सीधे ही प्राप्त हो जाते हैं, जिन्हें रिकार्ड करके सुरक्षित (save) भी किया जा सकता है तथा उनका प्रिन्ट भी लिया जा सकता है।

5.14.3 विशिष्ट निर्देशांक मापन मशीनें (Special Co-ordinate Measuring Machines)

निर्देशांक मापन मशीनें तीनों (x, y और z) निर्देशांकों पर गति करती हैं जबकि विशिष्ट निर्देशांक मापन मशीनें दो रेखीय अक्ष (linear axis) x और z तथा घूर्णी अक्ष (rotary axis) पर गति कर सकती है। कुछ विशिष्ट आकार के पार्ट्स या अवयव (parts or components) जैसे—बेलनाकार (cylinders), शंकु (cones), अर्धगोलीय (semispherical) इत्यादि के विभिन्न लक्षणों का मापन इन मशीनों द्वारा किया जाता है।



चित्र 22 : गोलाकार निर्देशांक (R- θ) मापन मशीन

आमतौर पर गोलाकार (spherical) आकार के अवयवों या पार्ट्स को मापने के लिए $R-\theta$ मशीनों का प्रयोग किया जाता है। इस तरह की मशीनों के मापन शीर्ष R, θ और ϕ दिशाओं में गति करते हैं। ऐसी मशीनों से दो रेखीय अक्ष एवं घूर्णी अक्ष पर मापन टिप द्वारा गति करते हुये पाठ्यांक लिया जा सकता है। विशिष्ट निर्देशांक मापन मशीन के रेखाचित्र को चित्र 22 में दिखाया गया है।

इन मशीनों द्वारा द्रुत निरीक्षण (quick inspection) एवं परिशुद्ध मापन (accurate measurement) यथार्थतापूर्वक किया जा सकता है। कुछ मशीनों के साथ प्रकाशीय तुलनित्र (optical comparator) जुड़ा होता है जिस पर चल डायल इंडीकेटर (movable dial indicator) लगा होता है और इसके द्वारा सीधे ही कम समय में कार्यखण्ड का संरेखन किया जा सकता है और कम समय में पाठ्यांक प्राप्त हो जाता है।

कुछ विशेष प्रकार की निर्देशांक मापन मशीनों पर अलग से सहायक युक्तियाँ लगी होती हैं जो कि निम्न हैं—

(i) प्रकाशीय दृश्य परदा या प्रकाशीय तुलनित्र (Optical Viewing Screen or Optical Comparator)

(ii) माइक्रोस्कोप (Microscope)

(iii) स्वचालित प्रिंट आउट (Automatic Printout)

उपरोक्त सहायक युक्तियों के लगने से मशीन की दक्षता एवं यथार्थता बढ़ जाती है।

अतः इंजीनियरी में ये मशीनें काफी महत्त्वपूर्ण होती हैं और इनसे लगभग सभी विमाओं में तथा सभी तरह के अवयवों को मापा जा सकता है। इन मशीनों से कार्यखण्ड की निम्न विमाओं को मापा जा सकता है—

(i) लम्बाई, चौड़ाई एवं ऊँचाई (Length, width & height)

(ii) कोणीयता (Angularity)

(iii) गोलीयता (Roundness)

(iv) शंकुता (Conicity)

(v) टेपर (Taper)

(vi) अपकेन्द्रता (Concentricity)

5.14.4 निर्देशांक मापन मशीनों के अनुप्रयोग (Applications of Co-ordinate Measuring Machines)

निर्देशांक मापन मशीनों अर्थात् (CMM) के इंजीनियरी, कारखानों एवं व्यावसायिक अनुप्रयोग निम्न हैं—

(i) CMMs का प्रयोग मशीन टूल्स, ऑटोमोबाइल्स, इलेक्ट्रॉनिक्स, अंतरिक्ष अनुसंधान, रक्षा अनुसंधान तथा अन्य बड़ी कम्पनियों में होता है।

(ii) CMMs का प्रयोग उत्पादों को विकसित करने और उसका प्रोटोटाइप बनाने में किया जाता है। ये मशीनें परिशुद्ध होती हैं तथा इन पर काम करना सरल होता है।

(iii) CMMs का प्रयोग वायुयान, अंतरिक्ष यानों तथा हेलिकॉप्टरों में प्रयोग होने वाले सुरक्षा उपकरणों की शत-प्रतिशत जाँच करने में किया जाता है ताकि उसमें किसी प्रकार की भी कमी न होने पाये।

(iv) CMMs पर निरीक्षण/परीक्षण बहुत जल्दी होने के कारण CNC, NC या अत्याधुनिक मशीनों द्वारा निर्मित उत्पादों की विमाओं की जाँच करने में इसका प्रयोग किया जाता है।

(v) CMMs द्वारा मशीनों की निरीक्षण दक्षता एवं उसके द्वारा होने वाले कार्यों के नियंत्रण बढ़ जाते हैं।

(vi) CMMs का प्रयोग टेस्ट उपकरण, टूल्स एवं गेजों के निरीक्षण एवं परीक्षण के लिये किया जाता है।

(vii) CMMs का प्रयोग उपकरणों की भी विमीय परिशुद्धता को जाँचने में किया जाता है।

(viii) जो मापन परम्परागत मशीनों से नहीं हो पाता, वह CMMs से जरूर हो जाता है।

(ix) CMM एक ऐसी मशीन है जो एकल प्रयोजन वाले मापन उपकरणों जैसे—गेज टेस्टर, गियर टेस्टर, माइक्रोस्कोप इत्यादि का स्थान ले सकती है।

(x) अत: CMM सर्वश्रेष्ठ मशीन मानी जाती है। इनके उपयोग से CNC मशीनों पर निरीक्षण प्राप्त करने में काफी कम समय लगता है तथा मशीन को बन्द भी नहीं करना पड़ता है इस प्रकार NC मशीन का डाउन टाइम (down time) कम हो जाता है।

5.14.5 निर्देशांक मापन मशीनों के लाभ (Advantages of CMM)

निर्देशांक मापन मशीनों के निम्न लाभ हैं—

(1) CMM लगाने से कम कुशल कारीगरों की आवश्यकता होती हैं।

(2) CMM से परिशुद्धता में सुधार आता है।

(3) CMM से निरीक्षण में एक समान गुणवत्ता आती है।

(4) CMM से कारीगरों द्वारा होने वाली त्रुटियों में कमी आती है।

(5) CMM से कार्य के दौरान कई बार निरीक्षण किया जा सकता है।

(6) CMM मशीनों के अनुरक्षण लागत (maintenance cost) में कमी आती है।

(7) CMM से निरीक्षण प्रक्रिया सरल हो जाती है।

(8) CMM से तैयार पार्ट्स के खराब होने या स्क्रैप (scrap) होने ही सम्भावना बहुत कम होती है।

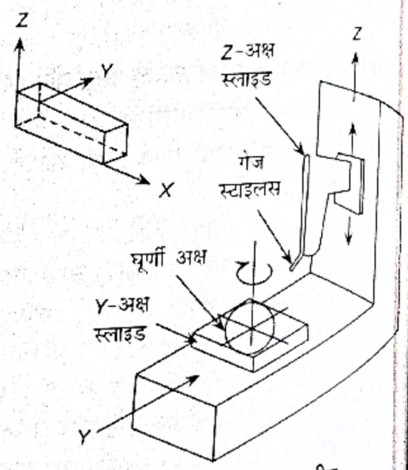
(9) उत्पाद/पार्ट्स के प्रत्येक विमाओं या वांछित विमा की जाँच के लिये Go/No Go गेज की आवश्यकता नहीं पड़ती है।

(10) CMM लगाने से मापन में लगने वाले समय एवं निरीक्षण में लगने वाले समय, त्रुटियों का आगणन करने तथा रिकार्ड करने की आवश्यकता बहुत कम हो जाती है।

(11) CMM पर कार्यखण्ड को सेट करने में कम समय लगता है। इसलिये CMM को एक आदर्श मशीन माना जा सकता है।

5.15 त्रि-विमीय मापन मशीन (Three Dimensional Measuring Machine)

तेजी से बढ़ती टेक्नोलॉजी (technology) एवं आधुनिक इंजीनियरिंग के युग में उपकरणों एवं उत्पादों की जाँच एवं माप कम से कम समय में एवं परिशुद्धतापूर्वक करने के लिए त्रि-विमीय मापन मशीनें (Three dimensional measuring machines) का प्रयोग बहुत ही उपयोगी एवं जरूरी है। त्रि-विमीय अंशांकन (Three dimensional calibration) के लिये इन मशीनों को डिजाइन किया जाता है। इन मशीनों द्वारा मापी गई माप या जाँच को परिशुद्ध मानकर प्रामाणिक माना जा सकता है। त्रि-विमीय मशीनें, कम्प्यूटर नियंत्रण (computer control) के लिए सबसे उपयुक्त मानी जाती हैं। इस मशीन के रेखाचित्र को चित्र-23 में दिखाया गया है।



चित्र 23 : त्रि-विमीय मापन मशीन

5.15.1 संरचना (Construction)

इस मशीन की संरचना को चित्र 23 में दिखाया गया है जो विशेष प्रकार की $y-z$ मापन मशीन है। इसके अक्ष सममित (axis symmetric) पार्ट को घूर्णी टेबल के 'c' अक्ष पर केन्द्रित करके स्थापित किया जाता है। इसके y-स्लाइड पर घूर्णी टेबल (rotary table) लगा होता है। इस मशीन में एक विशेष प्रकार का इलेक्ट्रॉनिक गेज स्टाइलस (electronic gauge stylus) बॉल टिप वाला, सिंगल अक्ष पर कार्य करने वाला रेखीय परिवर्ती विस्थापन ट्रांसड्यूसर (linear variable displacement transducer या LVDT) लगा होता है जो ऊर्ध्व अक्ष z-स्लाइड पर आरोपित एवं गतिशील रहता है। LVDT का अक्ष, विशेष 45° कोण पर y-अक्ष और z-अक्ष पर आरोपित रहता है। इस प्रकार LVDT की चलने की दिशा जब पार्ट-सरफेस (part surface) पर अभिलम्बीय (normal) नहीं होती है तब उसमें होने वाले कोज्या त्रुटि (cosine error) को अंक करने का भी प्रावधान रहता है। इस मशीन में लेजर इंटरफेरोमीटर (laser interferometer) भी लगा होता है जो पैमाने का कार्य करता है। मशीन को कार्य के दौरान ठण्डा रखने के लिए इसमें एक शीतक प्रणाली (cooling system) भी लगा रहता है। लेजर इंटरफेरोमीटर की अक्ष स्टाइलस बॉल (stylus ball) के केन्द्र से गुजरती है जहाँ पर उसकी शून्य स्थिति (null position) होती है। स्टाइलस बॉल का केन्द्र ही उसका क्रियाकारी बिन्दु होता है।

5.15.2 3-D मापन मशीन की कार्यविधि (Working Method of 3-D Measuring Machine)

इस मशीन के अनुप्रस्थ-काट को चित्र 24 में दिखाया गया है। माप लेते समय, कार्यखण्ड को मशीन के टेबल पर पकड़ा (hold) जाता है। टेबल की चाल x-अक्ष (x-axis) पर माप लेती है। y-गति के लिये मशीन पर एक कैरेज (carriage) लगा होता है जिस पर प्रोब फिट होता है जो z स्लाइड पर ब्रिज के पीछे गति कर सकता है। y-कैरेज पर z-स्लाइड लगा होता है जो ऊर्ध्वाधर ऊपर या नीचे गति कर सकता है। तीनों प्रकार के कैरेज, मशीन पर बने डबल V-मार्गों पर आरोपित होते हैं तथा इसके x और y-स्लाइड रोलर बियरिंग पर क्रिया करते है तथा z-स्लाइड प्लेन मार्गों पर क्रिया करते हैं।

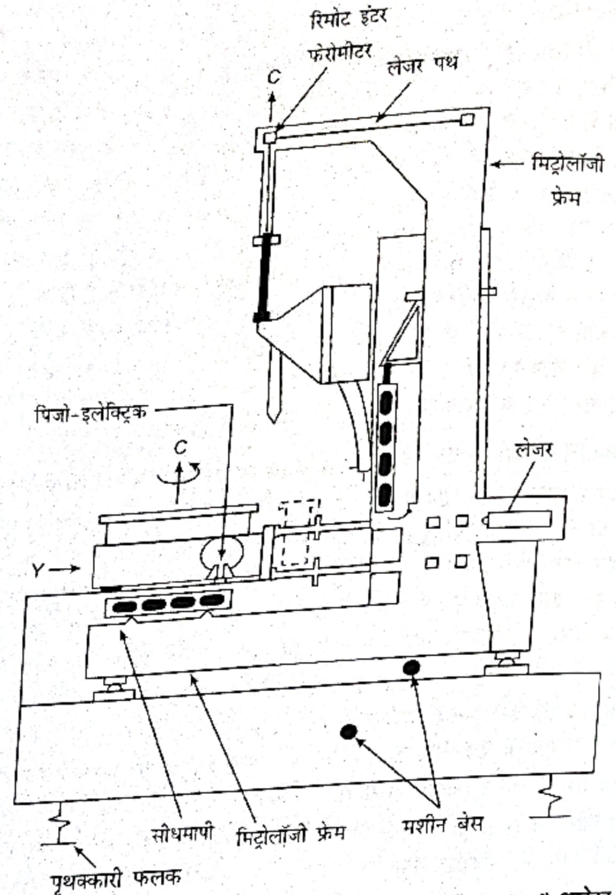
मापन के समय y-अक्ष के स्लाइड पर दो लेजर इंटरफेरोमीटर निश्चित दूरी पर लगे होते हैं जिनसे पाठ्यांक प्राप्त हो जाते हैं। दोनों लेजरों के पाठ्यांक का अन्तर सर्वो इनपुट (servo input) के समान पीजोइलेक्ट्रिक क्रिस्टल (piezoelectric crystal) को चलाते हुये टेबल के एक सिरे को y-अक्ष पर सहारा देते हैं। इस प्रकार टेबल के कोणीय गति (angular motion) या पिच (pitch) के सेटिंग (setting) में संशोधन (correction) हो जाता है।

इस मशीन द्वारा सीधापन (straightness) की परिशुद्ध माप लेने के लिये प्रत्येक स्लाइड के समानान्तर सीध कोरों (straight edges) को लगाकर स्लाइड मार्गों के सीधापन के त्रुटियों का मापन एवं संशोधन (measurement and correction) किया जा सकता है।

इस मशीन का आधार (base) ग्रेनाइट (granite) का बना होता है क्योंकि ग्रेनाइट का विस्तार गुणांक (co-efficient of expansion) सबसे कम होता है। आधार का आलम्बन तीन वायवीय पृथक्कारी (pneumatic isolators) पर टिका होता है।

इस मशीन में एक मिट्रोलॉजी फ्रेम (mitrology frame) होता है जो इस्पात (steel) का बना होता है। अधिक तापमान बढ़ जाने से बचाने के लिए इसमें तेल की फुहार देने की भी व्यवस्था रहती है। मिट्रोलॉजी फ्रेम के अन्दर लेजर (laser), लेजर पथमार्ग (laser pathway) और रिमोट इंटरफेरोमीटर (remote interferometer) लगा होता है, इसमें दोनों सीध कोरों को सहारने का स्थान भी होता है।

मशीन के y-अक्ष एवं z-अक्ष जब अपने मार्गों पर स्लाइड करते हैं तब वे हाइड्रोस्टैटिक (hydrostatic) बियरिंग (bearing) से गाइड होते हैं।



चित्र 24 : 3-D मापन मशीन के क्रॉस सेक्शन का संकल्पना (conceptual) आरेख

उपयोग (Uses)—3-D मापन मशीन का उपयोग त्रि-विमीय पार्ट के अंशांकन के लिए, कम्प्यूटर नियंत्रण के लिए, किसी भी प्रकार के अवयवों के सभी विमाओं के मापन के लिए, सभी प्रकार के अंशांकन की परिशुद्धता की जाँच के लिये इत्यादि बहुत महत्त्वपूर्ण कार्यों के लिये किया जाता है।

अभ्यास-प्रश्न (Exercise)

1. पेंच चूड़ी की पिच मापन विधियों के नाम बताइये। किसी एक विधि का सचित्र वर्णन कीजिए।
2. बाह्य चूड़ी के प्रभावी व्यास मापने की विधियों के नाम बताइए। किसी एक विधि का सचित्र वर्णन कीजिए। (BTE)
3. ज़ीस गियर मापन मशीन का सचित्र वर्णन कीजिए तथा इसका उपयोग बताइये। (BTE)
4. गियर से सम्बन्धित निम्न तत्वों की परिभाषा दीजिए—

(i) पिच वृत्त (ii) पिच बिन्दु

(iii) वृत्तीय पिच (iv) मॉड्यूल
(v) दाब कोण (vi) एडेन्डम
(vii) गियर प्रोफाइल (viii) डिडेन्डम।

5. गियर दाँत की मोटाई मापन की विधियों के नाम बताइये। गियर दाँता वर्नियर कैलीपर्स विधि का सचित्र वर्णन कीजिए। (BTE)
6. टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप का गियर मापन में कैसे उपयोग किया जाता है? (BTE)
7. चूड़ियों का वर्गीकरण कीजिए।
8. आकार (form) के आधार पर विभिन्न पेंच चूड़ी के नाम बताइये।
9. पेंच चूड़ी का दीर्घ व्यास (major dia) मापने की विधि का सचित्र वर्णन करें। (BTE)
10. पेंच चूड़ी के निम्न अवयवों को परिभाषित कीजिए—

(i) पिच (Pitch) (iv) फ्लैंक (Flank)
(ii) आकार (Form) (v) प्रभावी व्यास (Effective Diameter)
(iii) पिच कोण (Pitch Angle) (vi) शिखर (Crest)

11. गियर के कौन से तत्वों की माप करनी चाहिए?
12. गियर मापन में आवश्यक मापन यन्त्रों के नाम बताइए।
13. विशेष मापन मशीन से आप क्या समझते हैं?
14. विस्तार छड़ मापन मशीन का सचित्र वर्णन करें।
15. सार्वत्रिक मापन मशीन को संक्षेप में समझाइये।
16. न्यूऑल मापन मशीन का सचित्र वर्णन करें।
17. निर्देशांक मापन मशीन को क्यों प्रयोग किया जाता है?
18. निर्देशांक मापन मशीन कितने प्रकार की होती है? नाम बताइये। (BTE 2011, 09)
19. निर्देशांक मापन मशीन की कार्यविधि का सचित्र वर्णन करें।
20. विशिष्ट निर्देशांक मापन मशीन का संक्षेप में वर्णन करें।
21. निर्देशांक मापन मशीन के अनुप्रयोग का वर्णन करें।
22. निर्देशांक मापन मशीन के लाभ बताइये।
23. त्रि-विमीय मापन मशीन के क्या उद्देश्य है? (BTE 2015)
24. त्रि-विमीय (3–D) मापन मशीन का सचित्र वर्णन करें।
25. त्रि-विमीय (3–D) मापन मशीन का स्वच्छ रेखाचित्र बनाइये एवं उसके अंगों के नाम लिखिये।

❑

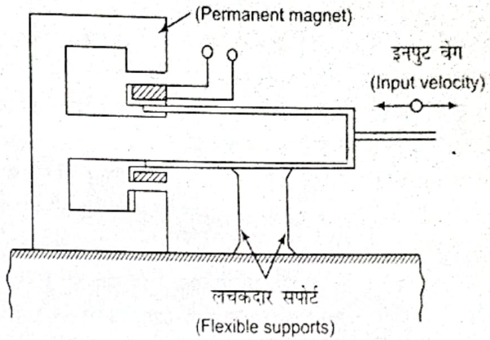
6.2.2 रेखीय गति (Linear Velocity)

रेखीय गति को मापने के लिये कई प्रकार के गति ट्रांसड्यूसरों का प्रयोग किया जाता है। आमतौर पर वैद्युत-चुम्बकीय ट्रांसड्यूसर (electro-magnetic transducer) का प्रयोग ज्यादा किया जाता है। ये ट्रांसड्यूसर दो प्रकार के होते हैं—

(i) चल-चुम्बक प्रारूपी ट्रांसड्यूसर (Moving-Magnet-Type Transducer)

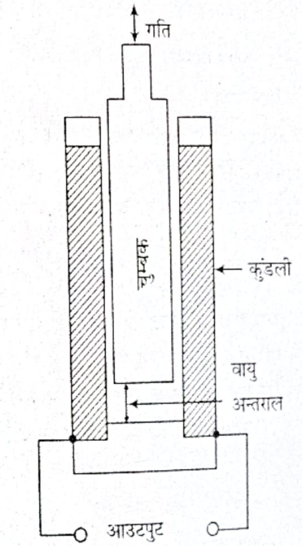
(ii) चल-कुण्डली प्रारूपी वेग ट्रांसड्यूसर (Moving-Coil-type Velocity Transducer)

वैद्युत-चुम्बकीय ट्रांसड्यूसर की कुण्डली (coil) जैसे ही स्थायी चुम्बकीय क्षेत्र (parmanent magentic field) में गति करती है उसमें वोल्टता (voltage) उत्पन्न हो जाता है। इस प्रकार के चुम्बक शक्तिशाली चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करने के लिये बनाये जा सकते हैं जो स्थायी (stable) तथा भटकते चुम्बकीय क्षेत्र (stray magnetic field) के लिये असुग्राही (insensitive) होते हैं। मापन के समय जैसे ही कुण्डली गति करती है कुण्डली के फ्लक्स (flux) का मान परिवर्तित (change) हो जाता है क्योंकि इससे उत्पन्न वोल्टता, फ्लक्स के परिवर्तन की दर के समानुपाती होती है। कुण्डली की गति के प्रकार पर इसकी आउटपुट वोल्टता की ध्रुवता निर्भर करती है। इस प्रकार जब कुण्डली की गति सामयिक (periodic) होगी तब उसकी आउटपुट वोल्टता भी सामयिक होगी। इस प्रकार उत्पन्न वोल्टता का मान बहुत कम होता है जो कि माइक्रोवोल्ट यानी mV में होता है इसलिये वोल्टता के मान को आवर्धित (magnify) किया जाता है तथा ट्रांसड्यूसर वेग के लिए इसको अंशांकित (calibrated) किया जाता है। इस ट्रांसड्यूसर की व्यवस्था को चित्र-1 में दिखाया गया है।



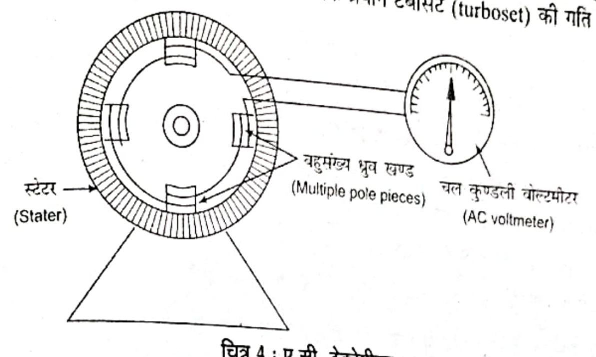
चित्र 1

चित्र-2 में चल चुम्बक प्रारूपी ट्रांसड्यूसर को दिखाया गया है।



चित्र 2 : चल-चुम्बक प्रारूपी ट्रांसड्यूसर

(i) ए०सी० टेकोमीटर (A.C. Tachometer)—इस टेकोमीटर में बहुध्रुवीय खण्डों (multiple pole pieces) से युक्त स्टेटर कुण्डली (stator coil) लगे होते हैं जिसको निम्न चित्र-4 में दिखाया गया है। जिस शाफ्ट की गति को मापना होता है, उस शाफ्ट (shaft) पर एक स्थायी चुम्बक (permanent magnet) स्थापित कर दिया जाता है। बहुध्रुवीय खण्डों से युक्त स्टेटर कुण्डली के बीच में इस शाफ्ट को रखा जाता है। मापन के समय जैसे ही शाफ्ट पर स्थापित चुम्बक घूमता हुआ जब-जब यह ध्रुवीय खण्डों से गुजरता है वैसे ही यह स्टेटर कुण्डली में वोल्टता उत्पन्न करता है। इस प्रकार उत्पन्न वोल्टता को इसमें लगे एक स्थायी चुम्बक चल कुण्डली युक्ति द्वारा माप लिया जाता है। यह स्थायी चुम्बक चल कुण्डली युक्ति गति में अंशांकित (calibrated) रहती है। इस टेकोमीटर का सबसे अधिक प्रयोग टर्बोसेट (turboset) की गति मापने के लिये किया जाता है।



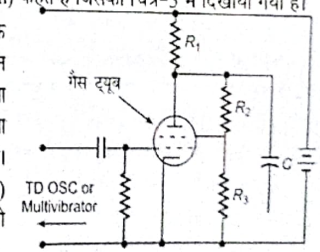
चित्र 4 : ए.सी. टेकोमीटर

(ii) डी०सी० टेकोमीटर (D.C. Tachometer)—डी०सी०टेकोमीटर में घोड़े की नाल की आकृति वाला स्थायी चुम्बक होता है जिसके बीच में मापे जाने वाला शाफ्ट घूमता है। जिस शाफ्ट की गति को मापना होता है उसे इस यन्त्र के बीच में लगाते हैं, शाफ्ट के घूमते ही स्पन्दित डी०सी० वोल्टता (pulsating d.c. voltage) उत्पन्न होता है जो शाफ्ट की गति के समानुपाती होता है। इस प्रकार उत्पन्न स्पन्दित डी०सी० वोल्टता को इसमें लगे वोल्टमीटर (voltmeter) द्वारा माप लिया जाता है। इस यंत्र के चुम्बकीय पथ (magnetic path) के वायु गैप (air gap) को एक समान रखने से इसकी यथार्थता बढ़ जाती है। नल-बैलेन्स प्रकार का पोटेंशियोमीटर (null balance type potentiometer) का प्रयोग करके इसकी यथार्थता को और अधिक बढ़ाया जा सकता है। शाफ्ट की गति की दिशा (direction of rotation) को ज्ञात करने के लिये भी डी०सी० टेकोमीटर का प्रयोग किया जाता है।

6.2.5 स्ट्रोबोस्कोप (Stroboscope)

स्ट्रोबोस्कोप एक प्रकार का विद्युत टेकोमीटर ही है जिसे स्ट्रोबोस्कोप टेकोमीटर (stroboscope tachometer) भी कहा जाता है। यह एक सरल, सुवाह्य हस्त चालित यन्त्र है जिसका प्रयोग आवर्ती (periodic) या घूर्णी गतियों (rotary motions) को मापने के लिये किया जाता है। यह यंत्र शाफ्ट के घूमने के साथ चकाचौंध प्रकाश (flashing light) को सिंक्रोनाइज (synchronize) करने जो स्थिर दिखाई देता है, के सिद्धान्त पर कार्य करता है। स्ट्रोबोस्कोप में फ्लैश (flash) अथवा चौंध प्रकाश उत्पन्न करने के लिए एक स्रोत होता है जिसे स्ट्रोबोट्रॉन (strobotron) कहते हैं जिसको चित्र-5 में दिखाया गया है।

स्ट्रोबोट्रॉन गरम कैथोड गैसीय विसर्जन ट्यूब होता है। इसमें एक कैथोड, एक एनोड और दो ग्रिड होते हैं। जिस शाफ्ट की गति का मापन करना होता है उस पर एक सन्दर्भ चिन्ह (reference mark) बना दिया जाता है। तत्पश्चात् स्ट्रोबोस्कोप से उत्पन्न फ्लैश की आवृत्ति की गति बिना किसी सम्पर्क के शाफ्ट की च०प्र०मि० (r.p.m.) का मापन होता है। स्ट्रोबोस्कोप का पैमाना शाफ्ट की गति के लिए अंशांकित (calibrated) होता है। इस प्रकार सीधे ही शाफ्ट की गति च०प्र०मि० (r.p.m.) में प्राप्त हो जाता है।



चित्र 5 : स्ट्रोबोट्रॉन

6.2.6 इलेक्ट्रॉनिक काउन्टर्स (Electronic Counters)

इलेक्ट्रॉनिक काउन्टर्स से कई प्रकार की मापन क्रियायें जैसे—समय (time), फेज कोण (phase angle), आवृत्ति (frequency), विद्युत घटनायें (electric events), रेडियेशन घटनायें (radiation events) इत्यादि मापी जा सकती हैं।

इस यंत्र में एक आवृति विभाजक परिपथ (frequency divider circuit) होता है जो 'स्केलर' (scaler) कहलाता है, इनपुट पल्स (input pulse) के प्रत्येक सेट के नम्बर के लिये यह स्केलर एक पल्स (single pulse) उत्पन्न करता है, उदाहरण के लिए 2 : 1 स्केलर, प्रत्येक 2 इनपुट पल्स के लिये एक आउटपुट पल्स उत्पन्न करता है। स्केलर एक प्रकार का आवृत्ति विभाजक (frequency divider) होता है तथा इलेक्ट्रॉनिक काउन्टर्स का मुख्य आधार आवृत्ति विभाजन (frequency devision) ही होता है। 2 : 1 स्केलर को बाइस्टेबल मल्टीवाइब्रेटर (bistable multivibrator) अथवा फ्लिप-फ्लॉप परिपथ (flip-flop circuit or F.F. circuit) भी कहा जाता है।

6.2.7 कम्पन रीड टाइप आवृत्ति मीटर (Vibration Reed Type Frequency Meter)

इस यंत्र का प्रयोग आमतौर पर कम्पन की आवृत्ति (frequency of vibration) ज्ञात करने के लिये किया जाता है। यह यंत्र रेजोनेन्स (resonance) के सिद्धान्त पर कार्य करता है।

इस यंत्र में एक धरन (beam) होता है जिससे कई स्टील रीड्स (steel reeds) लगी रहती हैं। इनमें लगे प्रत्येक स्टील रीड्स की अलग-अलग प्राकृतिक आवृत्ति (natural frequency) होती है जो $\frac{1}{2}$ cps के लिये ट्यून (tuned) होती हैं। मापन के समय जब यह यंत्र कम्पन करने वाली वस्तु के सम्पर्क में रखा जाता है तब स्टील रीड्स द्वारा कम्पन की आवृत्ति तुरन्त सूचित हो जाती है। जिस रीड्स की प्राकृतिक आवृत्ति, उत्तेजित आवृत्ति (excitation frequency) के संगत होती है उसके रेजोनेन्स (resonance) का आयाम (amplitude) सबसे ज्यादा होता है।

मापन में यथार्थता के लिये मापन के दौरान कम्पन की आवृत्ति स्थिर रहनी चाहिए, क्योंकि अपना पूरा आयाम प्राप्त करने के लिए रीड्स को थोड़ा-सा समय लगता है।

6.3 दाब तथा निर्वात (Pressure and Vacuum)

6.3.1 (i) दाब (Pressure)

किसी स्थिर सतह पर प्रति इकाई क्षेत्रफल पर लगाया जाने वाला लम्बवत् बल, दाब (pressure) कहलाता है। इसी प्रकार वायुमण्डल द्वारा प्रति इकाई क्षेत्रफल पर लगाया गया बल वायुमण्डलीय दाब (atmospheric pressure) कहलाता है।

S.I. प्रणाली में दाब की इकाई न्यूटन/मी^{2} (N/m^2) होती है।

M.K.S. प्रणाली में दाब की इकाई किग्रा०/सेमी०^2 (kg/cm^2) होती है।

1 बार (bar) = 10^5 न्यूटन/मी०^2 = 0·1 मेगा न्यूटन/मी०^2

1 हेक्टोबार = 10^7 न्यूटन/मी०^2

और वायुमण्डलीय दाब (atmospheric pressure) = $1\cdot013 \times 10^5$ न्यूटन/मी^{2} होता है।

1 N/m^2 = $7\cdot5 \times 10^{-3}$ मिमी पारा

(ii) परम दाब (Absolute Pressure)—किसी तरल द्वारा उसके पात्र (container) की दीवार पर प्रति इकाई क्षेत्रफल पर लगाये गये बल के परम मान को परम दाब (absolute pressure) कहते हैं।

(iii) गेज दाब (Gauge Pressure)—परम दाब एवं वायुमण्डलीय दाब के अन्तर को गेज दाब (gauge pressure) कहते है। वायुमण्डलीय दाब के सापेक्ष, शून्य गेज दाब 1kg/cm^2 होता है।

(iv) भेददर्शी दाब (Differential Pressure)—मापे गये दो दाबों का अन्तर भेददर्शी दाब (differential pressure) कहलाता है।

(v) निर्वात (Vacuum)—परम दाब से वायुमण्डलीय दाब के अधिक होने की राशि को निर्वात् (vacuum) कहते है।

6.3.2 दाब मापन की विभिन्न युक्तियाँ (Different types of Pressure Measuring Devices)

इंजीनियरिंग में दाब को मापने के लिये विभिन्न प्रकार के सूचक (indicators), रिकार्डर्स (recorders), नियंत्रक (controllers) आदि युक्तियों का प्रयोग किया जाता है। ये युक्तियाँ निम्न प्रकार की होती हैं—

(i) यान्त्रिक युक्तियाँ (Mechanical Devices)

(ii) वैद्युत-यान्त्रिक युक्तियाँ (Electro-mechanical Devices)

(iii) वैद्युत युक्तियाँ (Electrical Devices)

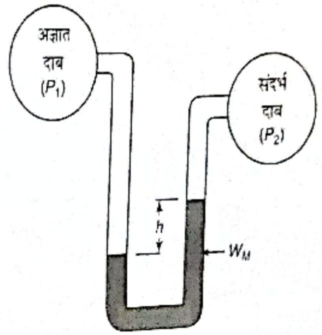
(iv) इलेक्ट्रॉनिक युक्तियाँ (Electronic Devices)

(i) यान्त्रिक युक्तियाँ (Mechanical Devices)—मैनोमीटर का प्रयोग तरल पदार्थों के दाब को मापने के लिये किया जाता है। ये दो प्रकार की होती हैं—

(अ) विभेदी मैनोमीटर (Differential Manometer)

(ब) माइक्रो मैनोमीटर (Micro Manometer)

(अ) विभेदी मैनोमीटर (Differential Manometer)—इस मैनोमीटर में आमतौर पर पारा या पानी का प्रयोग किया जाता है। विभेदी मैनोमीटर में U-आकार का एक ट्यूब होता है जिसमें उपयुक्त तरल भरा होता है। इसके एक सिरों पर सन्दर्भ दाब (reference pressure) तथा दूसरे सिरे पर अज्ञात दाब (unknown pressure) जिसका माप लेना होता है, जोड़ा जाता है जिसको चित्र-6 में दिखाया गया है।



चित्र 6 : विभेदी मैनोमीटर

इसका उपयोग अधिकतर तरल पदार्थों का दाब मापने में किया जाता है। वायुमण्डलीय दाब NTP पर 760 mm पारे के स्तम्भ के बराबर होता है। इस प्रकार मापे जाने वाले दाब का मान पारे के स्तम्भ की ऊँचाई का माप ज्ञात कर प्राप्त किया जा सकता है। इस प्रकार अज्ञात दाब को निकालने के लिये निम्न सूत्र का प्रयोग करते हैं—

$$P_1 - P_2 = h\,(w_2 - w_1)$$

जहाँ P_1 = अज्ञात दाब

P_2 = सन्दर्भ दाब

w_1 = अज्ञात का आपेक्षिक भार

w_2 = पारे का आपेक्षिक भार

h = दाब अन्तर के अनुसार पारे की ऊँचाई।

(ब) माइक्रो-मैनोमीटर (Micro-manometer)—U-नली मैनोमीटर का सुधरा रूप ही माइक्रो-मैनोमीटर है। यह दो प्रकार का होता है। पहला ऊर्ध्वनली माइक्रो-मैनोमीटर (vertical tube micro-manometer) तथा दूसरा नत नली माइक्रो-मैनोमीटर (inclined tube micro-manometer) होता है। इसका प्रयोग अत्यन्त सूक्ष्म दाब को मापने के लिये किया जाता है।

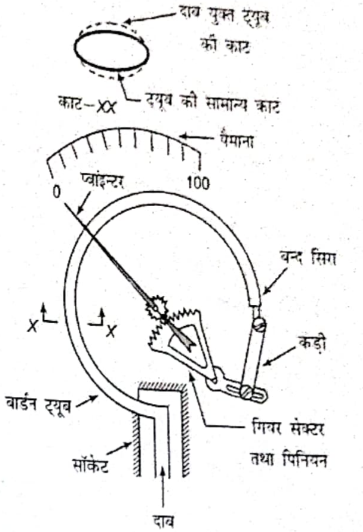
(ii) वैद्युत यान्त्रिक युक्तियाँ या बलसार युक्तियाँ (Electro-mechanical Devices or Force Summing Devices)—ट्रांसड्यूसर द्वारा अनेक भौतिक राशियों जैसे—बल, दाब, विस्थापन इत्यादि के मापन में होने वाले परिवर्तन को सेन्स (sense) करने के लिये प्रयुक्त किये जाने वाले युक्तियों को बलसार युक्तियाँ (force summing devices) कहते हैं। ये युक्तियाँ प्रत्यास्थ अवयव (elastic elements) होती हैं जो प्राइमरी ट्रांसड्यूसर (primary transducer) की तरह कार्य करती हैं। प्रमुख बलसार युक्तियाँ अग्र हैं—

यह पार्टस इस प्रकार बना होता है कि दाब के परिवर्तन से इनमें अक्षीय प्रसार (expansion) या संपीडन (compression) होता है। बेलोज को बनाने के लिये प्रयुक्त पदार्थ नरम, प्रत्यास्थ तथा उच्च प्रतिरोध वाला होना चाहिए। आमतौर पर पीतल, काँसा, स्टील, फॉस्फर ब्रॉंज, बैरेलियम, कॉपर इत्यादि का प्रयोग बेलोज बनाने के लिये किया जाता है। दाब एवं विस्थापन इत्यादि मापने में बेलोज का प्रयोग किया जाता है।

(स) बोर्डन ट्यूब (Bourdon Tubes)—बोर्डन ट्यूब विभिन्न आकारों के होते हैं। इनकी ट्यूबों का आकार निम्न प्रकार का होता है—

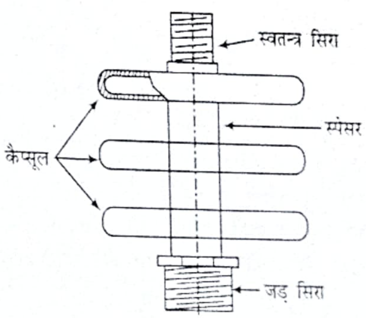
(i) C-टाइप (C–Type)
(ii) वलयाकार (Spiral)
(iii) मरोड़ी ट्यूब (Twisted Tube)
(iv) सर्पिल (Helical)

बोर्डन ट्यूब का प्रयोग दाब परिवर्तन को सेन्स (sense) करने के लिये किया जाता है। ये कम व्यास की दीर्घवृत्तीय (elliptical) काट की ट्यूब होती है जिसका एक सिरा बन्द होता है। तरल के प्रवेश के लिये इस ट्यूब का दूसरा सिरा खुला रहता है। जिस तरल का दाब मापना होता है उसे ट्यूब में प्रवेश कराया जाता है। तरल दाब के कारण ट्यूब बाहर की ओर फैलकर सीधा होने का प्रयास करती है जिस कारण ट्यूब का बन्द स्वतन्त्र सिरा गतिशील हो जाता है। बन्द सिरे का यह विस्थापन यान्त्रिक विधि से आवर्धित (magnify) होकर सूचक (pointer) द्वारा अंशांकित पैमाने पर दाब के रूप में प्रदर्शित होता है या सीधे ही दाब को पढ़ा जा सकता है। इस आवर्धित विस्थापन को वैद्युत विस्थापन ट्रांसड्यूसर से जोड़कर आउटपुट को दाब के क्रम में अंशांकित करके पढ़ा जा सकता है। C-टाइप बोर्डन-ट्यूब को चित्र-9 में दिखाया गया है।



चित्र 9 : C-टाइप बोर्डन ट्यूब

(द) कैप्सूल (Capsule)—कैप्सूल, डायफ्राम का विकसित एवं सुधरा हुआ रूप है। कैप्सूल के आकार के कई डायफ्रामों को जोड़कर एवं एक नया रूप देकर इसको बनाया जाता है। इसका कुल विस्थापन प्रत्येक कैप्सूल के विस्थापनों के योग के बराबर होता है। तीन कैप्सूल वाले डायफ्राम एलीमेंट को चित्र-10 में दिखाया गया है। ये कैप्सूल अक्षीय रूप से चित्र के अनुसार आपस में जुड़े रहते हैं तथा बिना किसी रुकावट के विस्थापित होने के लिये स्वतन्त्र होते हैं। डायफ्राम की तरह ही इसका प्रयोग दाब मापन के लिये किया जाता है। कैप्सूलों को आपस में जोड़ने के लिए उनके बीच स्पेसर (spacer) लगाकर उन्हें एक-दूसरे से अलग रखा जाता है।



चित्र 10 : तीन कैप्सूल वाला डायफ्राम एलीमेंट

(iii) विद्युत युक्तियाँ (Electrical Devices)—इन युक्तियों में विद्युत ट्रांसड्यूसर का प्रयोग किया जाता है; जिसका वर्णन आगे किया जा रहा है।

(अ) विद्युत ट्रांसड्यूसर (Electrical Transducer)—किसी भौतिक राशि को संगत वोल्टता (voltage) या धारा (current) में रूपान्तरित करके सिग्नल (signal) देने वाले यंत्र को विद्युत ट्रांसड्यूसर (electrical transducer) कहते हैं। इस

ट्रांसड्यूसर में प्राइमरी ट्रांसड्यूसर (Primary Transducer) का कार्य, बल-सार युक्तियाँ (force summing devices) करती हैं।

बल-सार युक्तियों के विस्थापन को वैद्युत सिग्नल में परिवर्तित करने वाले विभिन्न सेकेन्ड्री दाब ट्रांसड्यूसर (secondary pressure transducers) निम्न हैं—

1. पैसिव विद्युत दाब ट्रांसड्यूसर (Passive Electrical Pressure Transducer) निम्न प्रकार के होते हैं—

(i) बॉण्डेड स्ट्रेन गेज (Bonded Strain Gauge)

(ii) अनबॉण्डेड प्रतिरोध ऐलीमेन्ट्स (Unbonded Resistance Elements)

(iii) प्रेरकत्व (Inductive)

(iv) अन्य प्रकार के (Other types)

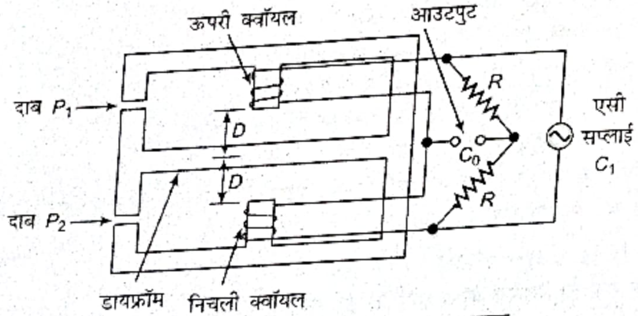
2. एक्टिव विद्युत दाब ट्रांसड्यूसर (Active Electrical Pressure Transducer) निम्न प्रकार के होते हैं—

(i) पीजो-विद्युत मैनोमीटर (Piezo-electrical manometer)

(ii) फोटो-वोल्टाइक सेल (Photo-voltaic cell)

(iii) स्ट्रेन गेज दाब सेल (Strain gauge pressure cell)

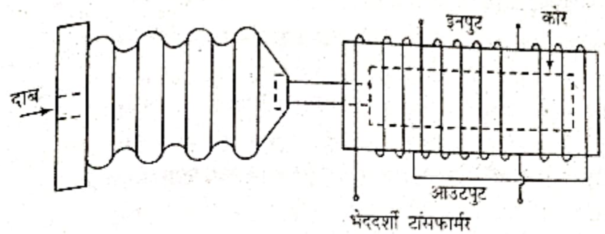
(ब) प्रेरकत्व ट्रांसड्यूसर (Inductive Transducer)—यह ट्रांसड्यूसर सेकन्ड्री ट्रांसड्यूसर के रूप में प्रयोग किया जाता है। प्रेरकत्व ट्रांसड्यूसर में दाब का मापन डायफ्राम द्वारा होता है। इस व्यवस्था को निम्न चित्र-11 में दिखाया गया है।



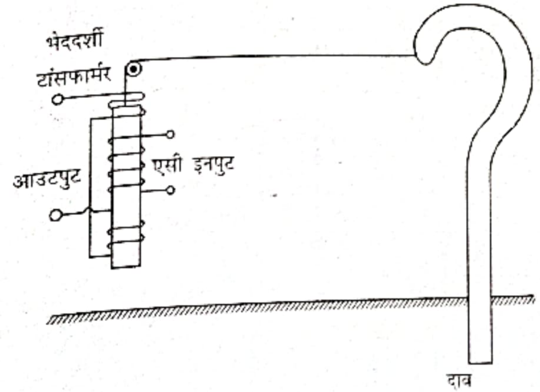
चित्र 11 : प्रेरकत्व ट्रांसड्यूसर द्वारा दाब का मापन

इस ट्रांसड्यूसर में दो कुण्डलियों (coils) के बीच एक डायफ्राम स्थापित होता है। इसकी ऊपरी कुण्डली (upper coil) तथा निचली कुण्डली (lower coil) A.C. ब्रिज परिपथ (A.C. bridge circuit) की दो भुजाओं का कार्य करती हैं। दोनों कुण्डलियों के चक्कर बराबर मान (equal value) के होते हैं। सेतु की दूसरी दो भुजायें बराबर मान के प्रतिरोधों (resistance) R द्वारा बनती हैं। इस ट्रांसड्यूसर की यथार्थता अधिक होती हैं।

(स) विभेदी ट्रांसफार्मर (Differential Transformer) **या LVDT** (Linear Variable Differential Transformer)—विभेदी ट्रांसफार्मर या LVDT का प्रयोग भी सेकेन्ड्री ट्रांसड्यूसर के रूप में दाब मापने में किया जाता है। इस व्यवस्था में प्राइमरी ट्रांसड्यूसर के स्थान पर बैलोज (bellows) या बोर्डन-ट्यूब (bourdon tube) का प्रयोग किया जाता है। ये प्राइमरी ट्रांसड्यूसर (primary transducer), बल-सार युक्ति (force summing device) के रूप में कार्य करती है। बेलोज तथा LVDT द्वारा दाब के मापन को चित्र-12 में एवं बोर्डन-ट्यूब तथा LVDT द्वारा दाब के मापन को चित्र-13 में दिखाया गया है।



चित्र 12 : बेलोज तथा LVDT द्वारा दाब का मापन



चित्र 13 : बोर्डन-ट्यूब तथा LVDT द्वारा दाब का मापन

§ 6.4 निम्न दाब का मापन (निर्वात गेज) [Measurement of Low Pressure (Vacuum Gauge)]

हम जानते हैं कि परम दाब (absolute pressure) शून्य तक पहुँचना असम्भव है एवं परम दाब का मान हमेशा धनात्मक ही रहता है क्योंकि दाब को आमतौर पर वायुमण्डलीय दाब के संदर्भ में मापा जाता है। वायुमण्डलीय दाब से नीचे का दाब निम्न दाब अथवा निर्वात (vacuum) कहलाता है। इस प्रकार वायुमण्डलीय दाब से नीचे का दाब अर्थात् निर्वात को मापने के लिये निर्वात गेजों (vacuum gauges) का प्रयोग किया जाता है। निम्न दाब की इकाई माइक्रॉन (micron) या 0·001 मिमी पारे का स्तर होता है। 1 मिमी० पारे के स्तम्भ से कम दाब को निम्न दाब कहते हैं। अत्यन्त न्यून दाब 1 मिमी० माइक्रॉन से भी नीचे हो सकता है।

निम्न दाब अथवा निर्वात को मापने के लिये निम्न दो विधियाँ प्रयोग में लायी जाती हैं—

(i) प्रत्यक्ष मापन (Direct Measurement)

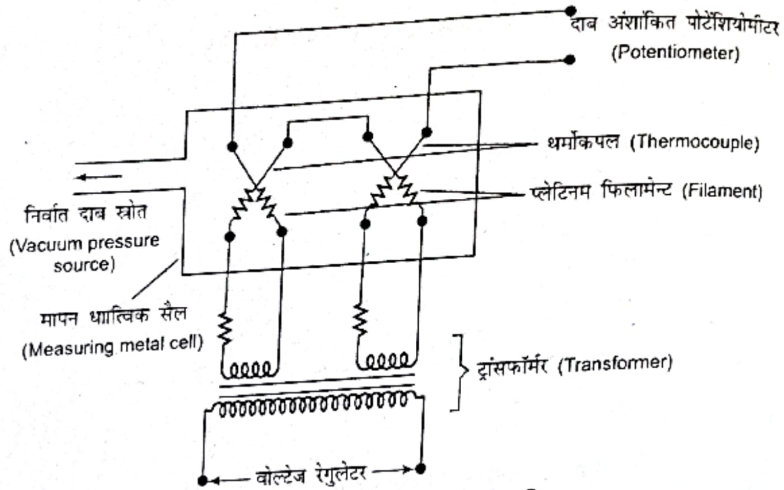
(ii) अप्रत्यक्ष मापन (Indirect Measurement)

(i) प्रत्यक्ष मापन (Direct Measurement)—प्रत्यक्ष मापन में दाब लगने के पश्चात् होने वाला विस्थापन (displacement) सम्मिलित होता है। जैसे—डायफ्राम, कैप्सूल, बोर्डन ट्यूब इत्यादि।

(ii) अप्रत्यक्ष मापन (Indirect Measurement)—अप्रत्यक्ष मापन में दाब का मापन किन्हीं ऐसे गुणों जैसे आयतन (volume), तापीय चालकता (thermal conductivity) आदि के माध्यम से किया जाता है जो मापे जाने वाले दाब पर निर्भर करता है। इस विधि में तापीय चालकता गेज (thermal conductivity gauge), मेकलोड गेज (MacLeod gauge), आयनाइजेशन गेज (ionization gauge) इत्यादि प्रयोग में लाये जाते हैं।

6.5 थर्मोकॅपल निर्वात गेज (Thermo-couple Vacuum Gauge)

यह गेज इस क्रिया सिद्धान्त पर कार्य करता है कि निम्न दाबों पर ऊष्मीय चालकता (thermal conductivity), दाब के फलन (function) होती है। ऊष्मा विकरण की दर (ratio of heat dissipated) चारों ओर माध्यम (medium) के तापीय/ऊष्मीय चालकता (thermal conductivity) पर निर्भर करती है। मापन के समय जैसे ही दिये गये माध्यम का घनत्व कम होता है अर्थात् दाब कम होता है, उसकी चालकता (conductivity) भी उसी अनुपात में कम हो जायेगी तथा दी गई धारा प्रवाह (current flow) के लिये तार गर्म हो जायेगा। तत्पश्चात् गर्म तार के तापक्रम का मापन करके दाब का मान ज्ञात किया जा सकता है।



चित्र 14 : थर्मोकॅपल निर्वात गेज का रेखाचित्र

इस यन्त्र के प्रबन्ध रेखाचित्र को चित्र-14 में दिखाया गया है। इस यन्त्र में प्लेटिनम हीटर फिलामेन्ट होता है जो एक थर्मोकॅपल (thermocouple) से जुड़ा (attach) रहता है। ग्लास या धातु खोल (casing) के अन्दर, हीटर फिलामेन्ट एवं थर्मोकॅपल दोनों एक साथ बन्द रहते हैं। ये खोल (casing) निर्वात चेम्बर (vacuum chamber) से जुड़े रहते हैं। इस प्रकार जब निर्वात चेम्बर का दाब परिवर्तित होता है तब फिलामेंट (filament) की चालकता में भी परिवर्तन होता है जिससे उसका तापक्रम बदलता है जो थर्मोकॅपल में प्रवाहित धारा को सूचित कर देता है जिसको पोटेशियोमीटर (potentiometer) द्वारा माप लिया जाता है। पोटेशियोमीटर का पैमाना दाब के पद में अंशांकित (calibrated) रहता है। यह निर्वात गेज (vacuum gauge) 1 से लेकर 1000 माइक्रॉन तक के परास (range) के लिये दाब को मापने के लिये उपयुक्त यन्त्र है।

6.6 विकृति का मापन (Measurement of Strain)

जब किसी पिण्ड (body) पर कोई बल लगाया जाता है तब उसमें प्रतिबल (stress) उत्पन्न होता है जिस कारण उसका विरूपण (deformation) होता है। पिण्ड में होने वाला विरूपण उस पर लगाये गये प्रतिबल के समानुपाती होता है।

दूसरे शब्दों में, जब किसी तार को उसकी लम्बाई में बल लगाकर खींचा जाता है तब उसकी लम्बाई में वृद्धि होती है एवं उसका व्यास कम हो जाता है जिससे उसका प्रतिरोध परिवर्तित हो जाता है। चूँकि हम जानते हैं कि किसी तार का प्रतिरोध उसकी लम्बाई से सीधा समानुपाती होता है और उसके व्यास (diameter) का विलोमानुपाती होता है। विकृति को मापने के लिये सभी विधियों में स्ट्रेन गेज (strain gauge) का प्रयोग होता है। प्रतिरोध तार स्ट्रेन गेज (resistance wire strain gauge) इसी सिद्धान्त पर कार्य करता है।

6.6.1 स्ट्रेन गेज (Strain Gauge)

स्ट्रेन गेज 'पीजो-प्रतिरोधक प्रभाव' (Piezo-resistive effect) के सिद्धान्त पर कार्य करता है। इस सिद्धान्त के अनुसार, जब किसी धातु-चालक (metal conductor) में संपीडन अथवा खिंचाव उत्पन्न होता है, तब प्रतिरोध के कारण इसकी प्रतिरोधकता (resistivity) परिवर्तित हो जाती है। धातु चालक के इस गुण को पीजो-प्रतिरोधकता प्रभाव (piezo-resistivity effect) कहते हैं। इसलिये इन प्रतिरोध स्ट्रेन गेजों को पीजो-प्रतिरोधक गेज (piezo-resistive gauge) भी कहा जाता है। स्ट्रेन गेज का प्रयोग, प्रायोगिक प्रतिबल विश्लेषण में विकृति (strain) को मापने एवं उसमें सम्बन्धित प्रतिबल (stress) का मान ज्ञात करने के लिये किया जाता है। सेकेन्ड्री ट्रांसड्यूसर के रूप में भी स्ट्रेन गेजों का प्रयोग किया जाता है। सेकेन्ड्री ट्रांसड्यूसर के रूप में यह दाब मापन (pressure measurement), तापमान सेंसर्स (temperature sensors), टॉर्क मापन (torque measurement), वेग वृद्धि मापन (accelrometers), फ्लो मापन (flow meters) तथा लोड सेल (load cells) आदि कार्यों के लिये प्रायोगिक तौर पर बहुत प्रयोग किया जाता है।

6.7 लोड सेल्स (Load Cells)

लोड सेल्स, एक प्राइमरी ट्रांसड्यूसर (Primary Transducer) एवं एक सेकेन्ड्री ट्रांसड्यूसर (Secondary Transducer) को आपस में जोड़कर बनाया जाता है। इसमें प्राइमरी ट्रांसड्यूसर के रूप में एक प्रत्यास्थ सदस्य (elastic member) तथा सेकेन्ड्री ट्रांसड्यूसर के रूप में स्ट्रेन गेज (strain gauge) लगी रहती हैं। ये स्ट्रेन-गेजें, प्रत्यास्थ सदस्य पर आरोपित होती है।

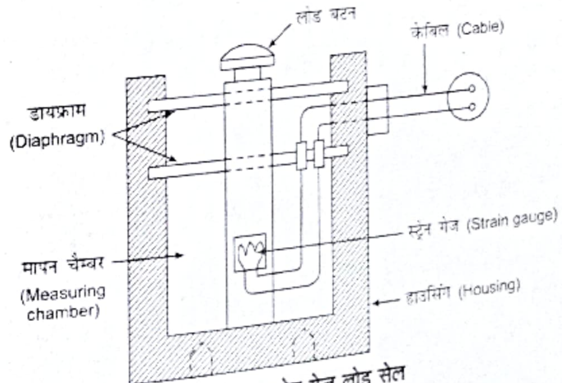
भार मापन (load measurement) के लिये सबसे ज्यादा लोकप्रिय यन्त्रों में लोड सेल्स (load cells) का प्रयोग किया जाता है। प्रयोग में आने वाले विभिन्न प्रकार के लोड सेल्स निम्न हैं—

(i) स्ट्रेन गेज लोड सेल (Strain Gauge Load Cell)
(ii) डायफ्राम लोड सेल (Diaphragm Load Cell)
(iii) रिंग लोड सेल (Ring Load Cell)
(iv) द्रवीय लोड सेल (Hydraulic Load Cell)
(v) स्पूल लोड सेल (Spool Load Cell)

पाठ्यक्रम के अनुसार यहाँ सिर्फ स्ट्रेन गेज लोड सेल का वर्णन किया जा रहा है—

6.7.1 स्ट्रेन गेज लोड सेल (Strain Gauge Load Cell)

स्ट्रेन गेज लोड सेल को विद्युत लोड सेल (electric load cell) भी कहा जाता है। भार को मापने के लिये यह हर बार, सेल पर लगे भार के समानुपाती विद्युत प्रतिरोध (electric resistance) का आउटपुट देता है। इसका डिजाइन (design), तनाव (tension) अथवा संपीडन (compression) में कार्य करने के लिये किया जाता है। निम्न चित्र-15 में तनाव में भारित लोड सेल को दिखाया गया है।



चित्र 15 : स्ट्रेन गेज लोड सेल

(i) **वेन्चुरी ट्यूब** (Venturi Tube)—वेन्चुरी ट्यूब का प्रयोग ऐसे स्थानों पर किया जाता है जहाँ मापन दशायें, न्यूनतम दाब हानि (pressure losses) तथा न्यूनतम घिसाव एवं टूट-फूट (wear and tear) प्रतिरोधकता की आवश्यकता होती है। यह एक महँगा उपकरण है तथा पर्याप्त स्थान भी घेरता है। इस यंत्र को मजबूत टेक (strong support) पर रखा जाता है। क्योंकि यह लम्बा, भारी तथा बल्की (bulky) होता है। लटके हुये ठोस (suspended solids) कणों वाले द्रव का प्रवाह मापने के लिये अधिक उपयोगी यन्त्र है, क्योंकि इसके एप्रोच (approach) एवं निकास (exit) पर स्ट्रीमलाइन्ड (streamlined) प्रवाह बना रहता है। इस यन्त्र द्वारा उच्च यथार्थता का मापन प्राप्त किया जा सकता है। इसको चित्र-16 में दिखाया गया है।

(ii) **प्रवाह नॉजल** (Flow Nozzle)—प्रवाह को मापने के लिए प्रवाह नॉजल को पाइप फ्लेंजों (pipe flenge) के बीच में लगाया जाता है। उच्च क्षमता एवं उच्च दाब की दशा में प्रवाह नॉजल का प्रयोग सर्वोत्तम होता है। इसके द्वारा मापन में उच्च यथार्थता प्राप्त होती है। इसकी भौतिक लम्बाई वेन्चुरी ट्यूब से कम होती है। इसकी कीमत वेन्चुरी ट्यूब से कम एवं ऑरिफिस प्लेट की तुलना में ज्यादा होती है। इसको चित्र-16 में दिखाया गया है।

(iii) **ऑरिफिस प्लेट** (Orifice Plate)—प्रवाह मापन में यह एक सस्ता उपकरण है। यह एक पतली एवं चपटी डिस्क (disc) के रूप में होता है जिसमें एक छिद्र (hole) बना होता है। इसी छिद्र से तरल प्रवाहित होता है। तरल प्रवाह को मापने के लिये इसे पहले से बने पाइप फ्लेजों (pipe flenge) के बीच में लगा दिया जाता है। इसकी दाब पुन: प्राप्ति (pressure recovery) बहुत ही कम होती है जिस कारण इसमें होने वाली दाब हानि (pressure loss) उच्च होती है। तरल के प्रवाह क्षमता के अनुसार इसके छिद्र के साइज को बढ़ाया भी जा सकता है। क्षणिक दाब से यह खराब हो सकता है। यह घिसाव तथा टूट-फूट का विरोध करने में सक्षम होता है। सस्ता, सरल एवं यथार्थ होने के कारण इसका प्रयोग अधिक होता है। इसको चित्र-16 में दिखाया गया है।

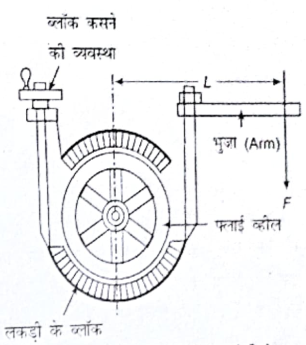
6.9 यान्त्रिक शक्ति डायनेमोमीटर (Mechanical Power Dynamometer)

किसी मशीन के द्वारा उत्पन्न होने वाली यान्त्रिक शक्ति (mechanical power) उसके कार्य करने की क्षमता का सूचक होता है। इस प्रकार किसी मशीन द्वारा निश्चित समय में किये गये कार्य को उसकी कार्यक्षमता (work capacity) या अश्व शक्ति (horse power) कहते हैं। मशीन के द्वारा उत्पन्न अश्व शक्ति को मापने के लिये उसके बल आघूर्ण (torque) का मापन किया जाता है। इस प्रकार किसी मशीन का बल आघूर्ण मापने की युक्ति (device) को शक्तिमापी (power meter) या डायनेमोमीटर (dynamometer) कहते हैं। डायनेमोमीटर दो प्रकार के होते हैं—

(i) अवशोषण डायनेमोमीटर (Absorption Dynamometer)

(ii) पारेषण डायनेमोमीटर (Transmission Dynamometer)

(i) अवशोषण डायनेमोमीटर (Absorption Dynamometer)—अवशोषण डायनेमोमीटर, यान्त्रिक ऊर्जा (mechanical energy) का अवशोषण करके बल आघूर्ण का मापन करते हैं। इन्जनों (engines) एवं मोटरों (motors) आदि के शक्ति तथा बल आघूर्ण मापने के लिये इसी डायनेमोमीटर का प्रयोग किया जाता है। चित्र-17 में सरल, सस्ता एवं सबसे लोकप्रिय अवशोषण डायनेमोमीटर 'प्रोनी ब्रेक' (Prony break) को दिखाया गया है। इसके द्वारा इन्जन की यान्त्रिक ऊर्जा का परिवर्तन, शुष्क घर्षण (dry friction) के कारण उत्पन्न ऊष्मा में होता है।



चित्र 17 : अवशोषण डायनेमोमीटर (प्रोनी ब्रेक)

इस डायनेमोमीटर में लकड़ी के दो ब्लॉक (blocks) होते हैं, जो इंजन के शाफ्ट पर लगे फ्लाई व्हील /गतिपाल पहिया (Fly wheel) पर कसे होते हैं। इन ब्लॉक्स (blocks) को आवश्यकतानुसार फ्लाई व्हील (Fly wheel) पर कसने की व्यवस्था होती है। इसके ऊपरी ब्लॉक से जुड़ी हुई एक भुजा होती है जिसके दूसरे स्वतन्त्र सिरे पर भार लगाने की व्यवस्था होती है। इसमें इन्जन की यान्त्रिक ऊर्जा का परिवर्तन इसकी भुजा

जहाँ T = इन्जन शाफ्ट पर लगा बल आघूर्ण (torque)

G = कर्तन मापांक (modulus of rigidity)

R = खोखले शाफ्ट की बाहरी त्रिज्या (मीटर में)

r = खोखले शाफ्ट की भीतरी त्रिज्या (मीटर में)

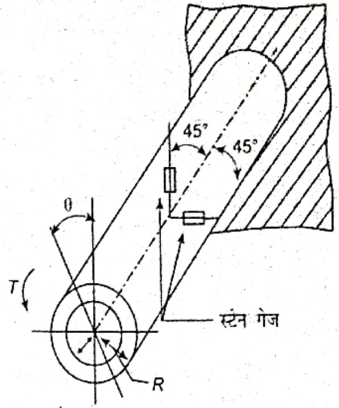
L = शाफ्ट की लम्बाई (मीटर में)

θ = शाफ्ट का कोणीय विक्षेप (angular deflection) (रेडियन में)

स्ट्रेन गेजों द्वारा स्ट्रेन का मान संसूचित होता है।

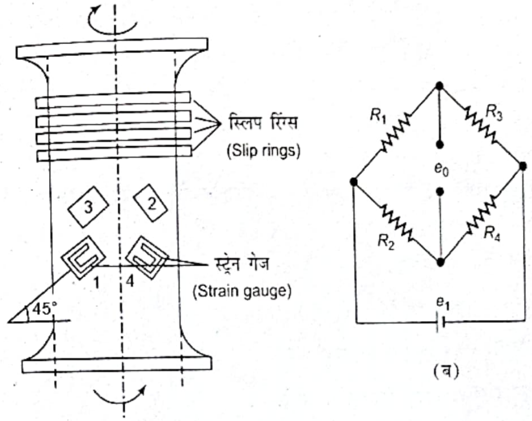
स्ट्रेन एवं बल आघूर्ण में सम्बन्ध

$$\sum_{45}^{0} = \pm\frac{TR}{\pi G(R^4 - r^4)}.$$



चित्र 19 : खोखली शाफ्ट पर स्ट्रेन का मापन

स्ट्रेन गेज द्वारा स्ट्रेन/विकृति (strain) को मापकर उसको बल आघूर्ण में अंशांकित कर दिया जाता है। बल आघूर्ण में अंशांकन के लिये बहुसंख्यक स्ट्रेन गेजों (multiple strain gauges) को मशीन के शाफ्ट पर स्थापित कर दिया जाता है उसके बाद चित्र-20 के अनुसार ब्रिज परिपथ (bridge circuit) से जोड़ दिया जाता है। इन गेजों को इस प्रकार स्थापित करते हैं कि वह स्ट्रेन के प्रति अधिकतम संवेदनशील हो तथा बल आघूर्ण के कारण उत्पन्न स्ट्रेन (strain) के प्रति अधिक सुग्राही हो।



(अ)

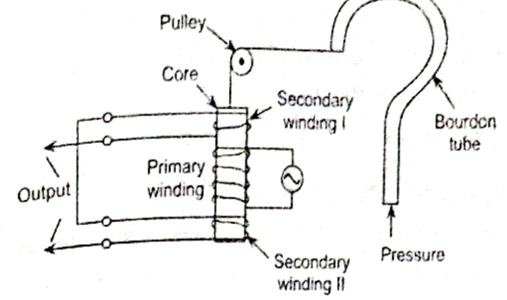
चित्र 20

आमतौर पर स्ट्रेन गेजों एवं ब्रिज के सारे यूनिट को शाफ्ट पर स्थापित कर दिया जाता है। इस प्रकार चित्र-20 में दिखायी गई व्यवस्था के अनुसार दो स्ट्रेन गेजों पर तनन प्रतिबल (tensile stress) तथा अन्य दो पर संपीडन प्रतिबल (compression stress) कार्य करते हैं। गेजों की स्थिति शाफ्ट के अक्ष के ठीक 45° पर होनी चाहिए तथा गेज-1 एवं गेज-2 की व्यासीय दूरी एक-दूसरे के विपरीत होनी चाहिए। इस व्यवस्था के निम्न लाभ होते हैं—

(i) यह नमन एवं अक्षीय बलों का स्वत: ही क्षतिपूरक होता है।

(ii) यह तापमान से पूर्णतया क्षतिपूरक (compensated) होता है।

(iii) यह व्यवस्था बल आघूर्ण के दिये गये मान के लिये अधिकतम सुग्राहिता देता है।



चित्र 21 : दाबमापी बोर्डनट्यूब

उपरोक्त चित्र-21 में एक बोर्डन-ट्यूब दाबमापी (Bourdon tube pressure gauge) को दिखाया गया है जिसमें सबसे पहले बोर्डन ट्यूब द्वारा प्रवाहित दाब का रूपान्तरण विस्थापन के रूप में किया जाता है। इस प्रकार बोर्डन ट्यूब प्राइमरी ट्रांसड्यूसर या डिटेक्टर की तरह कार्य करता है। उसके बाद बोर्डन ट्यूब द्वारा प्राप्त विस्थापन से LVDT (Linear variable differential transformer) की क्रोड (core) में गति होती है जिसके कारण विद्युतीय आउटपुट वोल्टेज (Electrical Output Voltage) प्राप्त होता है। इस तरह इस सिस्टम में LVDT एक सेकेन्ड्री ट्रांसड्यूसर की तरह कार्य करता है।

6.11 ट्रांसड्यूसर्स का वर्गीकरण (Classification of Transducers)

ट्रांसड्यूसर्स कई तरह के होते हैं। इसलिये ट्रांसड्यूसर्स का वर्गीकरण उनके प्रयोगों, विद्युतीय मापन सिद्धान्त, ऊर्जा रूपान्तरण की विधि, आउटपुट संकेतों की प्रकृति इत्यादि के आधार पर किया जाता है।

इस आधार पर ट्रांसड्यूसर का वर्गीकरण निम्न प्रकार किया जाता है—

(1) **प्रतिरोधी टाइप ट्रांसड्यूसर** (Resistive type Transducer)
   (a) स्ट्रेन एवं दाब गेज (Strain & Pressure Gauge)
   (b) थर्मिस्टर एवं प्रतिरोध थर्मामीटर (Thermistor & Resistant Thermometer)
   (c) फोटो चालन सेल (Photo Drive Cell)
   (d) सम्पर्क मोटाई गेज (Contact Thickness Gauge)
   (e) रासायनिक चालन मीटर (Chemical Drive-meter)

(2) **प्रेरकत्वीय टाइप ट्रांसड्यूसर** (Inductive Type Transducer)
   (a) रेखीय परिवर्ती डिफरेंशियल ट्रांसफार्मर (LVDT)
   (b) भंवर धारा गेज (Eddy Current Gauge)
   (c) रिलक्टेन्स पिक-अप (Reluctance Pick-up)

(3) **धारित्र टाइप ट्रांसड्यूसर** (Capacitive Type Transducer)
   (a) दाब गेज (Pressure Gauge)
   (b) परावैद्युत गेज (Paraelectric Gauge)
   (c) धारित्र माइक्रोफोन (Capacitive Microphone)

(4) **वोल्टेज विभाजक टाइप ट्रांसड्यूसर** (Voltage Divider Type Transducer)
   (a) दाब उत्तेजक वोल्टेज विभाजक (Pressure Stimulator Voltage divider)
   (b) विभवमापी स्थिति सेन्सर (Potentiometer Static Sensor)

(iii) ऊष्मीय (Thermal)	
(a) ताप स्टिक	ताप से फेज़
(b) थर्मोकपल	ताप से विद्युत धारा
(c) बाई मैटेलिक	ताप से विस्थापन
(iv) सम्पर्क (Contact)	
(a) सम्पर्क सूई, पिन इत्यादि	विस्थापन से विस्थापन
(v) हाइड्रोमेटिक (Hydromatic)	
(1) स्थैतिक (a) हाइड्रोमीटर	विशिष्ट घनत्व से विस्थापन
(2) गतिज (a) छिद्र	वेग से दाब
(b) वेन्स	वेग से दाब
(c) वेन्चुरी	वेग से दाब
(d) टरबाइन	रेखीय वेग से कोणीय वेग
वैद्युत (Electrical)	
(i) प्रतिरोधीय (Resistive)	
(a) सम्पर्क (Contact)	विस्थापन से प्रतिरोध परिवर्तन
(b) परिवर्ती क्षेत्रफल चालक	विस्थापन से प्रतिरोध परिवर्तन
(c) परिवर्ती लम्बाई चालक	विस्थापन से प्रतिरोध परिवर्तन
(d) चालक की परिवर्ती विमायें	विकृति से प्रतिरोध परिवर्तन
(e) चालक की परिवर्ती प्रतिरोधकता	वायु वेग एवं ताप से प्रतिरोध परिवर्तन
(ii) धारितीय (Capacitive)	
(a) परावैद्युत में परिवर्तन	विस्थापन से धारिता परिवर्तन
(b) वायु गैस में परिवर्तन	विस्थापन से धारिता परिवर्तन
(c) प्लेट क्षेत्रफल में परिवर्तन	विस्थापन से धारिता परिवर्तन
(iii) प्रेरकत्वीय (Inductive)	
(a) परिवर्ती वायु गैप	विस्थापन से प्रेरकत्वीय परिवर्तन
(b) परिवर्ती कुण्डली विमायें	विस्थापन से प्रेरकत्वीय परिवर्तन
(c) क्रोड पदार्थ में परिवर्तन	विस्थापन से प्रेरकत्वीय परिवर्तन
(d) क्रोड की अवस्था में परिवर्तन	विस्थापन से प्रेरकत्वीय परिवर्तन
(e) कुण्डली की अवस्था में परिवर्तन	विस्थापन से प्रेरकत्वीय परिवर्तन
(f) कुण्डली की गति	वेग से प्रेरकत्वीय परिवर्तन
(g) क्रोड की गति	वेग से प्रेरकत्वीय परिवर्तन
(h) स्थायी चुम्बक की गति	वेग से प्रेरकत्वीय परिवर्तन
(iv) इलेक्ट्रॉनिक (Electronic)	विस्थापन से वोल्टेज या धारा
(v) पीजो-विद्युत (Piezo-electric)	विस्थापन से वोल्टेज
(vi) फोटो-विद्युत (Photo-electric)	प्रकाश तीव्रता से वोल्टेज

6.17 ट्रांसड्यूसर में काम आने वाली विभिन्न विद्युतीय घटनायें (Different types of Electrical Phenomena used in Transducers)

सभी नॉन विद्युतीय राशियो जैसे—बल, वेग, दाब, त्वरण इत्यादि को मापने के लिये जब विद्युतीय ट्रांसड्यूसरों का प्रयोग किया जाता है तब उनके उपयोग के दौरान विभिन्न प्रकार की विद्युतीय घटनायें होती हैं जोकि निम्नलिखित हैं—

1. प्रेरकत्वीय (Inductive)
2. धारितीय (Capacitive)
3. प्रतिरोधीय (Resistive)
4. पीजो-विद्युत (Piezo-electric)
5. विद्युत-चुम्बकीय (Electro-magnetic)
6. फोटो-इलेक्ट्रिक (Photo-electric)
7. फोटो-वोल्टाइक (Photo-voltaic)
8. फोटो चालन या फोटो प्रतिरोधीय (Photo conductor or Photo resistive)
9. थर्मो-इलेक्ट्रिक या थर्मो-वोल्टाइक (Thermo-electric or thermo-voltaic)
10. इलेक्ट्रो-गतिक (Electro-dynamic)
11. विभवमापीय (Potentiometric)
12. आयनाइजेशन (Ionization)

उपरोक्त विभिन्न घटनायें अलग-अलग तरह के ट्रांसड्यूसरों में होती हैं।

प्रतिरोध के परिवर्तन को मापने के लिये ज्यादातर प्रतिरोधीय ट्रांसड्यूसरों का उपयोग किया जाता है क्योंकि ये दोनों तरह के धारा प्रत्यावर्ती व दिष्ट (AC and DC) धारा में प्रयोग किये जा सकते हैं।

विद्युतीय ट्रांसड्यूसर द्वारा किसी राशि के परिवर्तन को निम्न सूत्र द्वारा निकाला जा सकता है—

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

जहाँ R = चालक का प्रतिरोध [ओम (ohm) में]

L = चालक की लम्बाई (मीटर में)

ρ = चालक के पदार्थ की चालकता (ओम-मीटर में)

A = चालक के काट का क्षेत्रफल (वर्ग मीटर में)

6.18 निष्क्रिय ट्रांसड्यूसर युक्तियाँ (Passive Transducer Devices)

विभिन्न निष्क्रिय ट्रांसड्यूसर को उनके सिद्धान्त व प्रयोग के साथ नीचे दर्शाया गया है—

प्रेरकत्वीय (Inductive)

(i) **रिलक्टेन्स पिक-अप** (Reluctance Pick-up)—कुण्डली के लौह क्रोड की स्थिति में होने वाले परिवर्तन से चुम्बकीय सर्किट की रिलक्टेन्स में परिवर्तन।

प्रयोग—विस्थापन, दाब, कम्पन स्थिति को मापने में।

(ii) **चुम्बकीय सर्किट ट्रांसड्यूसर** (Magnetic Circuit Transducer)—प्रत्यावर्ती धारा (AC) द्वारा उत्तेजित कुण्डली के प्रेरकत्व का चुम्बकीय सर्किट में होने वाले परिवर्तन के कारण परिवर्तन।

प्रयोग—विस्थापन, दाब को मापने में।

अन्य ट्रांसड्यूसर (Other Transducers)

(i) **फोटो-वोल्टाइक** (Photo-voltaic)—किसी चालक अथवा अर्द्धचालक जंक्शन में वोल्टेज का उत्पन्न होना जबकि उससे उत्पन्न विकिरण, ऊर्जा सेल द्वारा ग्रहण कर ली जाती है।

प्रयोग—सोलर सेल, प्रकाश मीटर को मापना।

(ii) **पीजो-इलेक्ट्रिक पिक-अप** (Piezo-electric Pick-up)—किसी क्रिस्टलाइन पदार्थ (क्वांट्ज इत्यादि) पर बाहरी बल लगाने से उत्पन्न विद्युत वाहक बल।

प्रयोग—कम्पन, ध्वनि, त्वरण व दाब परिवर्तन को मापना।

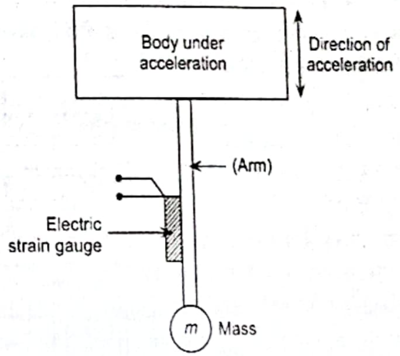
6.19 प्रसार एवं विस्थापन का मापन (Measurement of Elongation and Displacement)

अनेक प्रकार की अविद्युतीय भौतिक राशियों को ट्रांसड्यूसर द्वारा दूरी परिवर्तन (विस्थापन) तथा लम्बाई में परिवर्तन (प्रसार) के रूप में मापा जा सकता है। जैसे—किसी धातु की छड़ में विकृति या प्रसार, ताप, त्वरण, दाब, ध्वनि तीव्रता आदि को मापने के लिये उसको विस्थापन या प्रसार के रूप में परिवर्तित कर मापा जा सकता है।

(i) **ताप** (Temperature)—निश्चित ऊष्मीय प्रसार गुणांक (Thermal elongation co-efficient) वाली किसी धातु की छड़ या टुकड़े में उत्पन्न ऊष्मीय प्रसार उसके ताप में परिवर्तन के समानुपाती होता है। इस प्रकार धातु के टुकड़े के प्रसार के लिये प्रयुक्त या लगने वाली संगत ताप उसके परिवर्तन की माप के समानुपाती होती है।

(ii) **दाब** (Pressure)—किसी भी धातु की टंकी (tank) में उसमें भरे पदार्थ से लगने वाला दाब, उस टंकी की बाहरी सतह पर विकृति या प्रसार (strain or elongation) उत्पन्न करता है। इस प्रकार एक स्ट्रेन गेज (strain gauge) टंकी की सतह पर लगा दी जाती है जो टंकी में भरे पदार्थ के द्वारा लगने वाले दाब के समानुपाती माप देता है।

(iii) **त्वरण** (Acceleration)—ट्रांसड्यूसर के रूप में, किसी गतिशील वस्तु के त्वरण को मापने के लिये वैद्युत स्ट्रेन गेज (electric strain gauge) का उपयोग किया जाता है। इसे निम्न चित्र 23 में दिखाया गया है।



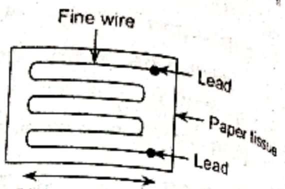
चित्र 23 : वैद्युत स्ट्रेन-गेज का प्रयोग

उपरोक्त यन्त्र विन्यास में ज्ञात द्रव्यमान की वांछित गतिशील वस्तु से एक वैद्युत स्ट्रेन गेज को एक भुजा द्वारा जोड़ा गया है। भुजा में उत्पन्न प्रतिबल, द्रव्यमान (m) एवं उसके त्वरण (a) के गुणनफल के बराबर होता है। इस प्रकार उत्पन्न प्रतिबल समानुपातिक प्रसार उत्पन्न करता है जिसे वैद्युत स्ट्रेन गेज द्वारा मापा जा सकता है।

इस प्रकार उपरोक्त तीनों अवस्थाओं द्वारा विस्थापन या प्रसार को माप कर उसके संगत राशियों को ट्रांसड्यूसर द्वारा मापा जा सकता है। इस विधि में एक ट्रांसड्यूसर का प्रयोग किया जाता जो प्रतिरोध, धारिता या प्रेरकत्व में उसके संगत परिवर्तन को उत्पन्न करता है। यही परिवर्तन मापी जानी वाली राशि के संगत प्रसार या विस्थापन के रूप में मापा जाता है।

प्रतिरोध में परिवर्तन, धारिता में परिवर्तन एवं प्रेरकत्व में परिवर्तन में से, कोई एक परिवर्तन को वैद्युत स्ट्रेन गेज उत्पन्न करता है। आमतौर पर प्रसार को मापने के लिये प्रतिरोधीय टाइप स्ट्रेन गेज (Resistive Type Strain Gauge) का प्रयोग किया जाता है।

(i) प्रतिरोधीय टाइप स्ट्रेन गेज (Resistive Type Strain Gauge)—चित्र 24 में एक प्रतिरोधीय टाइप स्ट्रेन गेज का सर्किट चित्र (circuit diagram) दिखाया गया है। चित्रानुसार इसके सर्किट में एक पतले तार को एक लचकदार (Flexible) कागज, टिश्यू (Tissue Paper) पर इस प्रकार रखा जाता है कि वह अपने स्थान पर बना रहे। प्रयोग के समय इस युक्ति के साथ प्रायोगिक सदस्य को जोड़ दिया जाता है। तत्पश्चात गेज को इस प्रकार रखा जाता है कि पतला तार, मापे जाने वाली स्ट्रेन की दिशा में संरेखित रहे। इस प्रकार जब सतह पर तनाव उत्पन्न होता है तो तार के कुल प्रतिरोध में थोड़ी-सी वृद्धि हो जाती है तथा जब सतह संकुचित होता है तो तार के कुल प्रतिरोध में थोड़ी सी कमी हो जाती है।



चित्र 24 : प्रतिरोधी टाइप स्ट्रेन गेज

प्रतिरोधीय टाइप स्ट्रेन गेज द्वारा गेज फैक्टर (Gauge Factor) निकालने के लिये निम्न सूत्र का प्रयोग किया जाता है—

गेज फैक्टर $\gamma = \frac{\Delta R / R}{\Delta S / S}$

जहाँ, γ = गेज फैक्टर

ΔR = स्ट्रेस के कारण तार के कुल प्रतिरोध में उत्पन्न परिवर्तन

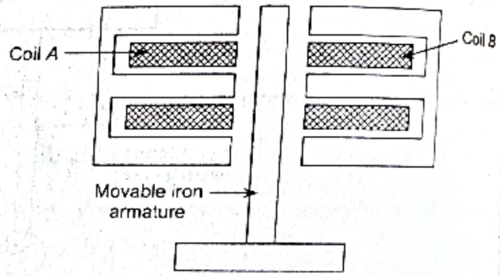
R = स्ट्रेस लगाने से पहले तार का प्रारम्भिक प्रतिरोध

$\Delta S / S$ = सदस्य की लम्बाई में अनुपातिक परिवर्तन

यहाँ पर, R का विशेष मान $12\,\Omega$ (ओम) होता है। प्रतिरोध में परिवर्तन ΔR का मापन, प्रतिरोध ए०सी० ब्रिज द्वारा किया जा सकता है। गेज फैक्टर का विशेष मान लगभग दो (2) के बराबर होता है। इस प्रकार R का प्रारम्भिक मान तथा उसके पदार्थ का प्रत्यास्थता गुणांक का पता होने पर, दी गई स्ट्रेस के लिये तार के प्रतिरोध में परिवर्तन की गणना कर सकते हैं।

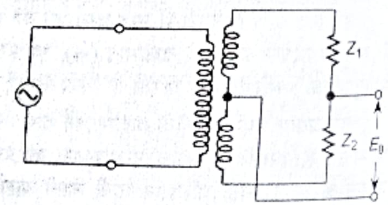
(ii) परिवर्ती प्रेरकत्व टाइप स्ट्रेन गेज (Variable Inductance Type Strain Gauge)—चित्र 25 में एक चुम्बकीय विस्थापन गेज (Magnetic Displacement Gauge) का रेखाचित्र (Line Diagram) दिखाया गया है।

चुम्बकीय विस्थापन गेज द्वारा लम्बाई में होने वाले अति सूक्ष्म परिवर्तन (इंच के दस लाखवें भाग तक परिवर्तन) को भी यथार्थता (Accuracy) पूर्वक मापा जा सकता है। ये गेज काफी परिशुद्ध (Precision) माप देते हैं।



चित्र 25 : चुम्बकीय विस्थापन गेज

चुम्बकीय विस्थापन गेज में चलनशील आर्मेचर (Movable Armature) होता है जिसके बड़े सिरे को मापे जाने वाले पार्ट से जोड़ दिया जाता है। इसके कार्य सिद्धान्त को रेखाचित्र द्वारा चित्र 26 में दिखाया गया है।



चित्र 26 : ब्रिज सर्किट का रेखाचित्र

इस प्रकार जब आर्मेचर गति करता है तब बायें क्रोड की गति के कारण बायें हाथ की A कुण्डली के प्रेरकत्व में वृद्धि होती है एवं दायें हाथ की B कुण्डली के प्रेरकत्व में कमी आती है। Z_1 व Z_2 ब्रिज सर्किट में A और B दोनों कुण्डलियों के प्रति बाधाओं का कार्य करती है। इस तरह ब्रिज का आउटपुट वोल्टेज E_0 गेज के आर्मेचर के विस्थापन का कार्य करता है। अति सूक्ष्म परिवर्तन को यथार्थतापूर्वक माप लेने के कारण यह प्रतिरोध टाइप स्ट्रेन गेज से अच्छा माना जाता है जबकि मजबूती एवं कार्य सरलता में यह प्रतिरोध स्ट्रेन गेज से कम अच्छा होता है।

(iii) परिवर्ती धारिता टाइप स्ट्रेन गेज (Variable Capacitance Type Strain Gauge)—जब मापे जाने वाले परिवर्तन अथवा विस्थापन की माप अति सूक्ष्म न होकर 1 मिमी से अधिक हो, तब परिवर्ती धारिता टाइप स्ट्रेन गेज काफी लाभदायक होता है। परन्तु यदि कम विस्थापन का माप लेना हो तो छोटे आकार का धारिता टाइप स्ट्रेन गेज का उपयोग किया जा सकता है। परन्तु इस प्रकार इससे छोटे विस्थापन का माप लेना काफी कठिन हो जाता है। इसलिए इस प्रकार के गेज का प्रयोग कम होता है।

6.20 ट्रांसड्यूसर के अभिलक्षण (Characteristics of Transducer)

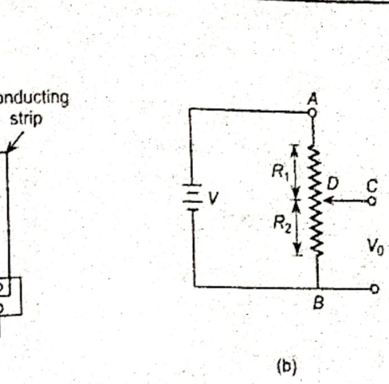
हम जानते हैं कि किसी अविद्युत राशि को मापने के लिये कई तरह के ट्रांसड्यूसरों का प्रयोग किया जा सकता है। इस प्रकार अमुक अविद्युत राशि को मापने के लिये कौन-सा ट्रांसड्यूसर सर्वथा उपयुक्त रहेगा, इसका चुनाव काफी ध्यानपूर्वक करना चाहिए। इस तरह ट्रांसड्यूसर का चुनाव निम्न बिन्दुओं को ध्यान में रखकर करना चाहिये—

1. **सिद्धान्त** (Principle)—ट्रांसड्यूसर के कार्य करने का सिद्धान्त। उदाहरण—धारितीय, प्रतिरोधीय या प्रेरकत्व आदि।
2. **परास** (Range)—ऐसे ट्रांसड्यूसर का चुनाव करना चाहिए कि मापी जाने वाली राशि के न्यूनतम मान से लेकर अधिकतम मान तक अर्थात् पूर्ण परास में आउटपुट एकसमान रूप से परिवर्तित हो सके।
3. **यथार्थता** (Accuracy)—यथार्थतापूर्वक माप देने वाला ट्रांसड्यूसर ही अच्छा होता है। इसलिए समय-समय पर ट्रांसड्यूसर का अंशांकन (calibration) कर लेना चाहिए।
4. **संवेदनशीलता** (Sensitivity)—अच्छे क्वालिटी के ट्रांसड्यूसर को संवेदनशील होना चाहिए तथा मापी जाने वाली राशि के छोटे से छोटे परिवर्तन का भी संगत आउटपुट दर्शाना चाहिए या मिलना चाहिए।
5. **स्थायित्व एवं विश्वसनीयता** (Stability and Creditability)—एक अच्छे ट्रांसड्यूसर के माप या आउटपुट में स्थायित्व एवं विश्वसनीयता जरूर होनी चाहिए।
6. **लोडिंग प्रभाव** (Loading Effect)—ट्रांसड्यूसर को क्रियाशील करने में खर्च हुई इनपुट (input) यांत्रिक ऊर्जा को लोडिंग प्रभाव कहते हैं। इसलिए एक अच्छे ट्रांसड्यूसर का लोडिंग प्रभाव कम से कम होना चाहिए।
7. **वातावरणीय परिस्थितियाँ** (Atmospheric Conditions)—वातावरण की परिस्थितियों जैसे—दाब, नमी, ताप आदि का प्रभाव ट्रांसड्यूसर के इनपुट एवं आउटपुट पर नहीं पड़ना चाहिए।
8. **विद्युत इकाइयाँ** (Electrical Parameters)—ट्रांसड्यूसर का चुनाव करते समय जोड़ने वाले तारों का प्रकार एवं उनकी उपयोगी लम्बाई का विशेष तौर पर ध्यान रखना चाहिए।
9. **रेखीयता का गुण** (Quality of Linearity)—एक अच्छे ट्रांसड्यूसर का इनपुट सिग्नल एवं आउटपुट सिग्नल के बीच रेखीय संबध होना चाहिए और दोनों का अनुपात स्थिर (constant) रहना चाहिए।

इस प्रकार $\frac{E_0}{E_I} = K$ (Constant)

10. **उपयोग में आसानी** (Easy in Use)—एक अच्छे ट्रांसड्यूसर को वजन में हल्का, आकार में छोटा एवं प्रयोग में आसान होना चाहिए।

इस प्रकार एक अच्छे ट्रांसड्यूसर का चुनाव उपरोक्त बिन्दुओं को ध्यान में रखकर करना चाहिए। जैसे—तापमान को मापने के लिए प्रतिरोधीय ट्रांसड्यूसर, थर्मिस्टर या थर्मोकपल में से सर्वाधिक उपयोगी ट्रांसड्यूसर का चुनाव करना चाहिए।



चित्र 28 : प्रतिरोधीय स्थिति ट्रांसड्यूसर

उपरोक्त चित्रानुसार इसमें एक प्रतिरोध तत्व AB लगा होता है जिसके साथ एक स्लाइडर (slider) W होता है जो उस वस्तु से जुड़ा होता है जिसका स्थितीय चली दूरी को मापना होता है। W व B के बीच का प्रतिरोध R_{BD} परिवर्तन होने की दशा में वस्तु की स्थिति पर निर्भर करता है।

इस तरह ट्रांसड्यूसर का आउटपुट वोल्टेज V_0 स्लाइडर की स्थिति पर निर्भर करता है यही स्थिति शाफ्ट की स्थिति को भी दर्शाता है।

इस प्रकार

ट्रांसड्यूसर का आउटपुट वोल्टेज $V_0 = V \dfrac{R_2}{R_1 + R_2}$

इस प्रकार आउटपुट वोल्टेज V_0 का मान प्रतिरोध R_2 यानी स्लाइडर W की स्थिति के समानुपाती होता है। आउटपुट वोल्टेज को ऐसे अंशांकित (calibrated) वोल्टमीटर पर आरोपित किया जाता है जिसे पहले ही मिमी० में अंशांकित किया गया हो।

लाभ (Advantages)

(1) इस ट्रांसड्यूसर का प्रयोग ए०सी० या डी०सी० (A.C. or D.C.) किसी भी धारा पर प्रयोग किया जा सकता है।

(2) इस ट्रांसड्यूसर की विद्युतीय दक्षता (Electrical efficiency) काफी ज्यादा होती है।

(3) इस ट्रांसड्यूसर का आउटपुट भी काफी ज्यादा होता है। इस कारण इसमें किसी द्वितीयक (secondary) युक्ति को लगाने की आवश्यकता नहीं होती है।

हानियाँ (Disadvantages)

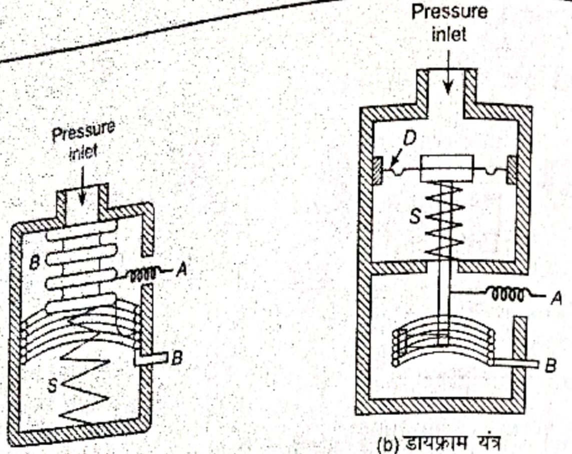
(1) स्लाइडर के प्रतिरोध तत्वों के बीच घर्षण होने के कारण इसकी आयु सीमित होती है।

(2) इसके तत्वों के घिसने व टूटने की सम्भावना रहती है।

(3) कुछ समय तक प्रयोग के बाद इससे शोर होने लगता है।

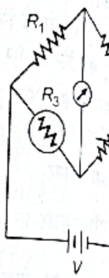
6.23 प्रतिरोधीय दाब ट्रांसड्यूसर (Resistive Pressure Transducer)

प्रतिरोधीय दाब ट्रांसड्यूसर में ऐसी व्यवस्था बनी होती है जिससे दाब में होने वाले जरा से परिवर्तन से अभिग्रहण तत्व (sensing element) के प्रतिरोध में संगत परिवर्तन हो जाता है।



चित्र 29 : प्रतिरोध दाब ट्रांसड्यूसर

उपरोक्त चित्र 29 में दाब को मापने के लिये दो विभिन्न प्रकार की व्यवस्थाओं को दर्शाया गया है। चित्र 29 (a) में बेलो टाइप एवं चित्र 29 (b) में डायफ्राम यंत्र टाइप प्रतिरोधीय दाब ट्रांसड्यूसर को दर्शाया गया है।



चित्र 30

बेलो टाइप प्रतिरोधीय दाब ट्रांसड्यूसर में जब लगने वाला दाब बदलता या परिवर्तित होता है तब स्प्रिंग द्वारा व्यवस्थित बेलोज B में प्रसार या संकुचन होता है जिस कारण उसमें लगा प्रतिरोध स्लाइडर ऊपर व नीचे गति करता है जिसके परिणामस्वरूप अभिग्रहण तत्व (sensing element) का प्रतिरोध, दाब में परिवर्तन के समानुपाती हो जाता है। प्रतिरोध में होने वाले परिवर्तन को रेखाचित्र 30 में दिखाया गया है जिसमें प्रतिरोध में यह परिवर्तन ब्रिज सर्किट का भाग होता है एवं दाब को मापने के लिए ए०सी० या डी०सी० सिग्नल उत्पन्न करता है।

6.24 धारितीय ट्रांसड्यूसर (Capacitive Transducer)

धारितीय ट्रांसड्यूसर, समान्तर प्लेट संधारित्र (capacitor) की धारिता (capacitance) में परिवर्तन के सिद्धान्त पर कार्य करता है।

समान्तर प्लेट, संधारित्र की धारिता में परिवर्तन निम्न कारणों से हो सकते हैं—

(a) प्लेटों के बीच की दूरी d में परिवर्तन।

(b) ओवरलैपिंग क्षेत्रफल A में परिवर्तन।

(c) प्लेटों के बीच के पदार्थ के परावैद्युतांक में परिवर्तन।

एक समान्तर प्लेट संधारित्र को चित्र 31 में दिखाया गया है। समान्तर प्लेट संधारित्र की धारिता

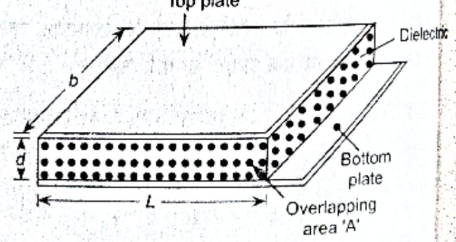
$$C = \frac{\varepsilon A}{d}$$

जहाँ C = संधारित्र की धारिता

A = प्लेटों का ओवरलैपिंग क्षेत्रफल (वर्ग मीटर मे)

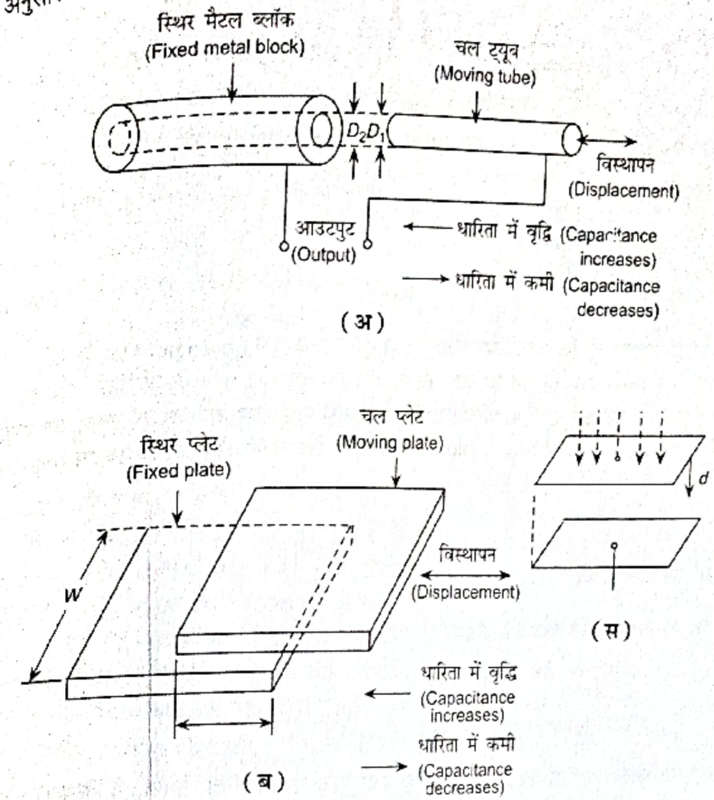
d = प्लेटों के बीच की दूरी (मीटर में)

ε = प्लेटों के बीच स्थित पदार्थ की परावैद्युतांक (फैराडे/मीटर में)



चित्र 31 : समान्तर प्लेट संधारित्र

इस प्रकार धारितीय ट्रांसड्यूसर में किसी भौतिक राशि जैसे—बल, दाब या विस्थापन इत्यादि के परिवर्तन होने से संधारित्र (capacitor) की प्लेटों का ओवरलैपिंग क्षेत्रफल A, प्लेटों के बीच दूरी d या परावैद्युत पदार्थ में से कोई एक या अधिक में परिवर्तन होता है, जिस कारण धारिता में परिवर्तन होता है और ट्रांसड्यूसर में सिग्नल उत्पन्न करता है। इसी सिग्नल को मापकर आउटपुट परिवर्तन ज्ञात कर लिया जाता है। परिवर्तित धारिता को ब्रिज सर्किट द्वारा मापा जा सकता है। इसमें ए०सी० ब्रिज का प्रयोग किया जाता है। निम्न चित्र 32 (अ) में एक बेलनाकार संधारित्र तथा चित्र 32 (ब) में एक आयताकार प्लेट संधारित्र में प्लेटों के ओवरलैपिंग क्षेत्रफल के परिवर्तित हो जाने पर धारिता में परिवर्तन को दर्शाया गया है जिसमें धारितीय परिवर्तन के अनुसार विद्युत सिग्नल उत्पन्न होता है।



चित्र 32 : कैपेसिटिव ट्रांसड्यूसर

(अ) Cylindrical कैपेसिटर में inner tube के विस्थापन से धारिता में परिवर्तन

(ब) समानान्तर प्लेट कैपेसिटर की एक प्लेट की, दूसरी प्लेट के समानान्तर गति से धारिता में परिवर्तन

(स) दोनों प्लेटों के मध्य दूरी d के परिवर्तन से धारिता में परिवर्तन

बेलनाकार संधारित्र की धारिता में परिवर्तन उसमें लगे चल ट्यूब (movable tube) के विस्थापन के समानुपाती होता है। इसी प्रकार आयताकार प्लेट संधारित्र में एक प्लेट स्थिर रहता है एवं दूसरी चल प्लेट (movable plate) के विस्थापन से धारिता में परिवर्तन होता है। प्लेट का वही विस्थापन, प्लेट पर किसी प्रकार का बल लगने से उत्पन्न होता है। इस प्रकार ट्रांसड्यूसर से प्राप्त सिग्नल बल के समानुपाती होता है। चित्र 32 (स) में प्लेटों के बीच की दूरी परिवर्तित होने पर धारिता में होने वाले परिवर्तन को दर्शाया गया है।

हानि (Disadvantages)

(i) इनके धातु के भाग एक-दूसरे से इन्सुलेट (insulation) होने चाहिए तथा इनके फ्रेम की सुव्यवस्थित अर्थिंग (earthing) होनी चाहिए अन्यथा माप गलत हो सकते हैं।

(ii) काफी सूक्ष्म धारिता होने के कारण इसकी आउटपुट प्रतिबाधा काफी उच्च हो जाती है।

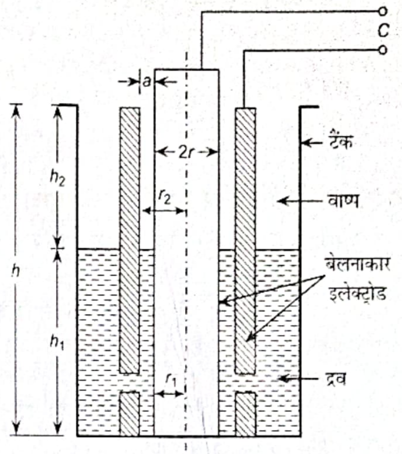
(iii) ट्रांसड्यूसर को मापे जाने वाले बिन्दु तक जोड़ने वाले केबिल के कारण इसमें त्रुटि आ सकती है।

(iv) इसका कार्य-व्यवहार अरेखीय (non-linear) होता है जिस कारण इसमें लोडिंग प्रभाव (loading effect) उत्पन्न हो जाता है।

6.26 धारितीय ट्रांसड्यूसर द्वारा द्रव तल का मापन (Measurement of liquid level by capacitive transducer)

परावैद्युत (dielectric) परिवर्तन से धारिता में परिवर्तन के सिद्धान्त के आधार पर धारितीय ट्रांसड्यूसर द्वारा द्रव तल का मापन किया जाता है। चित्र 34 में धारितीय ट्रांसड्यूसर द्वारा द्रव तल के मापन की व्यवस्था को दर्शाया गया है।

इस तरह की व्यवस्था में दो बेलनाकार इलेक्ट्रोड लगे रहते हैं। यही इलेक्ट्रोड संधारित्र (capacitor) का कार्य करते हैं। दोनों इलेक्ट्रोडों के बीच में परावैद्युत द्रव (dielectric fluid) भर दिया जाता है। इस तरह इस ट्रांसड्यूसर में दो तरह के संधारित्र बन जाते हैं। एक संधारित्र वह होता है जिसमें परावैद्युत द्रव, परावैद्युत का कार्य करता है तथा दूसरा वह होता है जिसमें द्रव तल के ऊपर मौजूद वायु या गैस परावैद्युत की तरह कार्य करता है।



चित्र 34 : धारितीय ट्रांसड्यूसर द्वारा द्रव तल का मापन

इस तरह जब द्रव तल की ऊँचाई में परिवर्तन होता है तब दोनों संधारित्र का परावैद्युत से स्पर्श करने वाले प्लेटों का भी क्षेत्रफल परिवर्तित हो जाता है जिसके कारण ट्रांसड्यूसर की धारिता में परिवर्तन हो जाता है। द्रव तल के स्तर (level) में होने वाले परिवर्तन के अनुसार धारिता में परिवर्तन होता है। इसी परिवर्तित धारिता का मान (value) निकालकर द्रव तल की ऊँचाई निकाली जा सकती है।

इस प्रकार धारितीय ट्रांसड्यूसर की धारिता निकालने के लिये निम्न सूत्र (formula) का प्रयोग किया जाता है। चित्र 34 के अनुसार,

h_1 = द्रव की ऊँचाई

h_2 = वायु या गैस की ऊँचाई

h = टैंक की ऊँचाई

r_1 = भीतर की ओर लगे बेलन की त्रिज्या

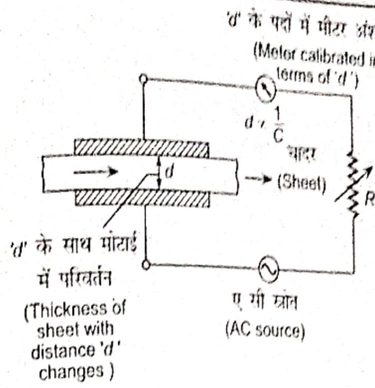
r_2 = बाहर की ओर लगे बेलन की त्रिज्या

a = दोनों बेलन के बीच वायु अन्तराल

K_1 = द्रव का परावैद्युत स्थिरांक (constant)

K_2 = वायु या गैस का परावैद्युत स्थिरांक

ε_0 = परावैद्युतांक (constant)



चित्र 36 : धारितीय ट्रांसड्यूसर द्वारा मोटाई का मापन

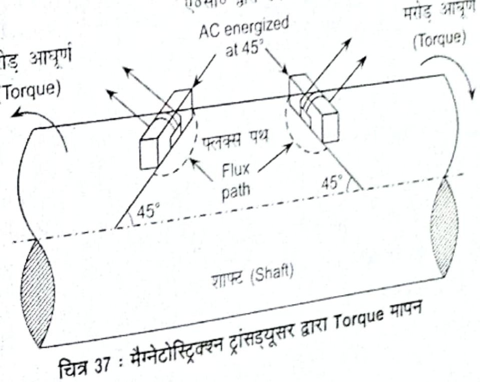
इस व्यवस्था में मापी जाने वाली शीट को दो समानान्तर संधारित्र की प्लेटों के बीच से गुजारा जाता है। इस प्रकार जब शीट की मोटाई में परिवर्तन होता है तब प्लेटों के बीच की दूरी '*d*' परिवर्तित होता है जिस कारण संधारित्र की धारिता में भी परिवर्तन होता है। इस प्रकार धारिता में होने वाला परिवर्तन, मापी जाने वाली शीट की मोटाई के विलोमानुपाती (inversely proportional) होता है। इस प्रकार की संधारित्र को प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) से संयोजित करके मीटर को मोटाई के पदों में अंशांकित (calibrate) कर सीधे ही मापी जाने वाली शीट की मोटाई को निकाला या ज्ञात किया जा सकता है।

6.29 मैग्नेटोस्ट्रिक्शन ट्रांसड्यूसर (Magnetostriction Transducer)

सिद्धान्त—मैग्नेटो-स्ट्रिक्शन ट्रांसड्यूसर, मैग्नेटो-स्ट्रिक्शन प्रभाव के सिद्धान्त पर कार्य करता है। जब किसी चुम्बकीय पदार्थ में आरोपित बल के कारण विकृति (strain) पैदा होता है तब उस पदार्थ की चुम्बकशीलता (Permeability of magnetism) परिवर्तित होती है।

मैग्नेटो-स्ट्रिक्शन ट्रांसड्यूसर को मैग्नेटो-स्ट्रिक्शन गेज भी कहा जाता है। इसके द्वारा किसी घूमते हुये शाफ्ट (rotating shaft) में उत्पन्न घूर्ण (torque) को ज्ञात किया जाता है। इस प्रकार पदार्थ की चुम्बकशीलता (μ), धनात्मक अर्थात् तनन विकृति (Tensile Strain) होने पर घटती है, उसी प्रकार ऋणात्मक यानी संपीडन विकृति (Compression Strain) होने पर बढ़ती है।

इसमें आयरन कोर पर लपेटी गई दो कुण्डलियों को शाफ्ट के पास इस प्रकार लगाया जाता है कि फ्लक्स पथ (Flux Path), शाफ्ट के अन्दर अधिकतम धनात्मक या ऋणात्मक विकृति की दिशाओं में अर्थात् शाफ्ट के अक्ष से 45° पर होते हैं। आयरन कोर पर लपेटी गई दोनों कुण्डलियों को प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) से संयोजित कर दिया जाता है। संयोजन इस प्रकार किया जाता है कि दोनों कुण्डली एक प्रत्यावर्ती धारा ब्रिज की संगत भुजा की भाँति कार्य कर सकें। मैग्नेटो-स्ट्रिक्शन ट्रांसड्यूसर द्वारा किसी शाफ्ट का बल आघूर्ण (torque) निकालने की व्यवस्था को निम्न चित्र 37 में दर्शाया गया है।



चित्र 37 : मैग्नेटोस्ट्रिक्शन ट्रांसड्यूसर द्वारा Torque मापन

इससे स्पष्ट हो जाता है संधारित्र की धारिता C, प्लेटों के बीच की दूरी d के विलोमानुपाती (inversely proportional) होता है। दूसरे शब्दों में, ऐसे संधारित्र की धारिता, प्लेटों के बीच की दूरी बढ़ने या घटने पर व्युत्क्रम (inversely) में घटती या बढ़ती है।

इस संधारित्र में एक स्थिर प्लेट N लगा होता है एवं एक चलनशील प्लेट (diaphragm) M लगा होता है। दोनों प्लेटों के बीच परावैद्युत के रूप में वायु होती है। इस प्रकार जब दाब में वृद्धि होती है तब डायफ्राम M अन्दर की ओर घुस (push) जाती है जिससे M एवं N के बीच की दूरी, d घट जाती है तथा संधारित्र की धारिता C बढ़ जाती है। ठीक इसके विपरीत जब दाब में कमी आती है तब डायफ्राम M बाहर की ओर खिंच (pull) जाती है जिससे M एवं N के बीच की दूरी d बढ़ जाती है तथा संधारित्र की धारिता C घट जाती है।

संधारित्र माइक्रोफोन इसी सिद्धान्त पर कार्य करता है। धारिता में परिवर्तन को मापने के लिये A.C. धारिता ब्रिज का संयोजन किया जाता है जिससे आउटपुट में एक विद्युतीय सिग्नल उत्पन्न होता है। इसी विद्युतीय सिग्नल से दाब का मापन किया जाता है।

गुण

(i) इनका प्रयोग उच्च आवृत्ति (high frequency) परिवर्तनों के लिये किया जा सकता है।

(ii) इसको बनाना काफी सरल होता है।

(iii) इनकी कीमत भी अन्य ट्रांसड्यूसर के मुकाबले काफी कम होती है।

(iv) ये गतिज एवं स्थितिज दोनों प्रकार के परिवर्तन को मापने के लिये प्रयोग किये जा सकते हैं।

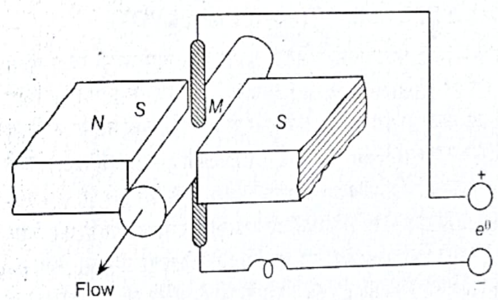
दोष

(i) लम्बी लीड लगने की दिशा में आउटपुट सिग्नल में विरूपण होने की संभावना बनी रहती है।

(ii) ताप में होने वाले परिवर्तन की दिशा में ये काफी सुग्राही (sensitive) होते हैं।

6.32 विद्युत-चुम्बकीय फ्लोमीटर (Electro-magnetic Flowmeter)

विद्युत-चुम्बकीय फ्लोमीटर एक प्रकार का सेल्फ-जनरेटिंग प्रेरकत्वीय ट्रांसड्यूसर (self-generating inductive transducer) होता है। यह विशेषकर उन द्रवों के प्रवाह के मापन के लिये उपयुक्त रहता है जिसमें कटे-फटे, कूड़ा-करकट या अन्य ठोस पदार्थ मिले होते हैं। इसका मुख्य उपयोग पेपर मिल के कूड़ा-करकट आदि के प्रवाह के मापन के लिये होता है। ये ट्रांसड्यूसर विद्युत चालक पदार्थ के प्रवाह के मापन के लिये ही प्रयोग किये जाते हैं। इस प्रकार के ट्रांसड्यूसर की व्यवस्था को निम्न चित्र 40 में दर्शाया गया है।



चित्र 40 : विद्युत-चुम्बकीय फ्लोमीटर

चित्र-40 के अनुसार पदार्थ का प्रवाह मापे जाने वाले पाइप में एक छोटा सा छेद बना होता है तथा उसमें विकर्ण रूप से विपरीत धातु के इलेक्ट्रोड लगा दिये जाते हैं जिसके सिरे फ्लश (flush) में लगे रहते हैं। इन्सुलेटिंग मैटेरियल (insulating material) द्वारा इन्हें अच्छी तरह से इन्सुलेट (insulate) कर दिया जाता है। जब प्रवाहित पदार्थ दो स्थायी चुम्बकों के चुम्बकीय क्षेत्र से गुजरता है तब पदार्थ का चुम्बकीय फ्लक्स से सम्पर्क होता है जिससे एक प्रेरित विद्युत वाहक बल (emf) e उत्पन्न होता है। e का ज्ञात करने के लिये निम्न सूत्र का प्रयोग करते हैं।

$$e = Blv$$

जहाँ l = चालक की लम्बाई

B = चुम्बकीय फ्लक्स का घनत्व

v = प्रवाहित पदार्थ का वेग

चूँकि B एवं l नियत मान (fixed value) के होते हैं।

$$\therefore \quad e \propto v$$

इस प्रकार प्रेरित वि०वा०बल पदार्थ के प्रवाह के वेग के समानुपाती होता है तथा फ्लेमिंग के बायें हाथ के नियम (Fleming's left hand rule) द्वारा वि०वा०बल की दिशा ज्ञात की जा सकती है।

इस प्रकार यह स्पष्ट हो जाता है कि पदार्थ के प्रवाह का वेग v जितना अधिक होगा, प्रेरित वि०वा० बल e का मान उतना ही अधिक होगा। प्रेरित वि०वा०बल को एक वोल्टमीटर में फीड (feed) कर दिया जाता है एवं वोल्टमीटर को वेग के पदों में अंशांकित (calibrate) किया जाता है जिससे हमें प्रवाह का मापन ज्ञात हो जाता है।

गुण–

(i) विद्युत-चुम्बकीय फ्लोमीटर का पाठ्यांक प्रवाहित पदार्थ की श्यानता, ताप, दाब, घनत्व या चालकता से प्रभावित नहीं होते हैं।

(ii) यह प्रवाहित पदार्थ के दाब में कोई कमी नहीं करता है।

(iii) इससे यथार्थ (accurate) मापन के लिये न्यूनतम प्रवाह वेग की जरूरत होती है।

दोष–

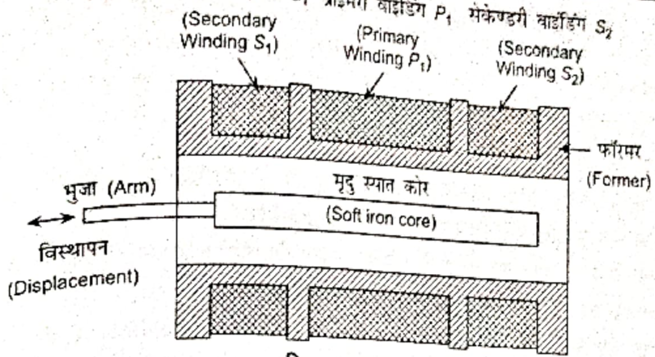
(i) इसके इलेक्ट्रोडों को स्वच्छ रखना जरूरी होता है।

(ii) सीवेज के प्रवाह में कभी-कभी गंभीर समस्या उत्पन्न हो जाती है।

6.33 रेखीय परिवर्ती विभेदी ट्रांसफार्मर
(Linear Variable Differential Transformer, LVDT)

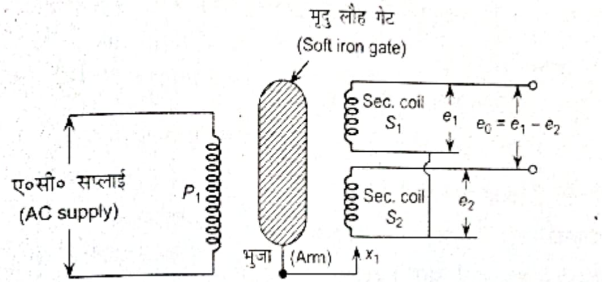
सिद्धान्त (Principle)—इस ट्रांसफार्मर को संक्षेप में LVDT के नाम से भी जाना जाता है। रेखीय विस्थापन (linear displacement) को विद्युत सिग्नल (electric signal) में परिवर्तित करने के लिये एक विभेदी ट्रांसफार्मर (differential transformer) का प्रयोग किया जाता है। इस विभेदी ट्रांसफार्मर से हमें रेखीय आउटपुट अभिलक्षण प्राप्त होता है जिस कारण इसे रेखीय परिवर्ती विभेदी ट्रांसफार्मर (Linear Variable Differential Transformer) यानी LVDT कहते हैं। यह एक निष्क्रिय प्रेरकत्वीय ट्रांसड्यूसर (passive inductive transducer) होता है।

संरचना (Construction)—एक रेखीय परिवर्ती विभेदी ट्रांसफार्मर LVDT को चित्र 41 में दर्शाया गया है। इस ट्रांसफार्मर में एक प्राइमरी कुण्डली (primary coil) P_1 तथा दो सेकेन्ड्री कुण्डली (secondary coil) S_1 एवं S_2 होती हैं जो बेलनाकार कोर (core) पर लिपटी (winding) हुई होती हैं। दोनों सेकेंडरी कुण्डलियों में लपेटों (turns) की संख्या एकसमान होती है एवं प्राइमरी कुण्डली के दोनों ओर इन्हें सममित (symmetrically) रखा जाता है, दोनों सेकेण्ड्री कुण्डलियों की वाइण्डिंग (winding) परस्पर विपरीत फेज (phase) में संयोजित रहती हैं।



चित्र 41 : LVDT

कार्य सिद्धान्त—LVDT ट्रांसफार्मर के कार्य सिद्धान्त को निम्न रेखाचित्र-42 द्वारा दर्शाया गया है। इस ट्रांसफार्मर के प्राइमरी कुण्डली को प्रत्यावर्ती धारा (A.C.) से संयोजित कर दिया जाता है। सेकेण्ड्री कुण्डलियों S_1 एवं S_2 में प्रेरित वोल्टेज E_1 एवं E_2, प्राइमरी कुण्डली द्वारा प्रेषित प्रेरण की मात्रा (amount of induction) पर निर्भर करता है।



चित्र 42 : LVDT का रेखाचित्र

इसके चल कोर (moving core) की स्थिति x_i पर निर्भर करता है। दोनों प्रेरित वोल्टेज E_1 एवं E_2 से एक वोल्टेज प्राप्त करने के लिये दोनों सेकेण्ड्री कुण्डलियों को आपस में विपरीत दिशा से श्रेणीक्रम (series) में जोड़ दिया जाता है।

इस प्रकार LVDT का आउटपुट वोल्टेज E_0 दोनों कुण्डलियों के आउटपुट वोल्टेज या प्रेरित वोल्टेज का अंतर (difference) बन जाता है। अत: LVDT का विभेदी आउटपुट वोल्टेज (differential output voltage)

$$E_0 = E_1 - E_2$$

इसी प्रकार, जब चल कोर मध्य में रहता है तब दोनों कुण्डलियों के प्रेरित या आउटपुट वोल्टेज E_1 एवं E_2 एक बराबर होते हैं। इस अवस्था में विभेदी आउटपुट वोल्टेज शून्य (zero) रहता है

$$E_0 = E_1 - E_2$$

When $E_1 = E_2$, then $E_0 = 0$ (zero)

इसी प्रकार, जब चल कोर बायीं ओर विस्थापित होता है तब कुण्डली S_1 का प्रेरित वोल्टेज E_1 बढ़ जाता है जबकि S_2 का प्रेरित वोल्टेज E_2 घट जाता है। ऐसी स्थिति में विभेदी आउटपुट वोल्टेज ($E_0 = E_1 - E_2$) प्राप्त हो जाता है।

इसी प्रकार, जब चल कोर दायीं ओर विस्थापित होता है तब कुण्डली S_2 का प्रेरित वोल्टेज E_2 बढ़ने लगता है जबकि कुण्डली S_1 का प्रेरित वोल्टेज E_1 घटने लगता है। ऐसी स्थिति में विभेदी आउटपुट वोल्टेज ($E_0 = E_2 - E_1$) प्राप्त हो जाता है।

दोनों परिस्थितियों में प्राप्त विभेदी आउटपुट वोल्टेज ($E_0 = E_1 - E_2$ एवं $E_0 = E_2 - E_1$) क्रमश: की दिशा विपरीत होने के कारण कोर की स्थिति का भी पता चल जाता है।

6.34 LVDT के लाभ एवं हानियाँ (Advantages and Disadvantages of LVDT)

लाभ (Advantages)

(i) LVDT पर तापमान का कोई ख़ास प्रभाव नहीं पड़ता है।
(ii) LVDT-265°C से लेकर 600°C ताप पर कार्य कर सकता है।
(iii) LVDT का प्रयोग नाभिकीय रियेक्टर में विकिरण प्रतिरोध डिजाइन करने के काम आता है।
(iv) LVDT द्वारा मापी जाने वाली विस्थापन का परास (range) ज्यादा होता है।
(v) LVDT का वोल्टेज आउटपुट ज्यादा होता है इसलिये इसके वोल्टेज प्रवर्धन की आवश्यकता नहीं रहती है।
(vi) LVDT के प्रचालन में कम विद्युत ऊर्जा की आवश्यकता होती है।
(vii) LVDT का चल कोर स्प्रिंग से जुड़े होने के कारण यह ट्रांसड्यूसर झटके एवं कंपन को आसानी से सहन कर लेता है।
(viii) इसका शैथिल्य (hysteresis) निम्न होता है जिस कारण इसके परिणाम की आसानी से पुनरावृत्ति की जा सकती है।
(ix) LVDT एक प्राथमिक संवेदन युक्ति के रूप में कार्य करता है।
(x) यह यांत्रिक विस्थापन को समानुपाती वोल्टेज में परिवर्तित करता है।

हानियाँ (Disadvantages)

(i) यह बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र से प्रभावित हो सकता है।
(ii) इसकी कोर का द्रव्यमान, स्ट्रेन की तुलना में काफी ज्यादा होता है।

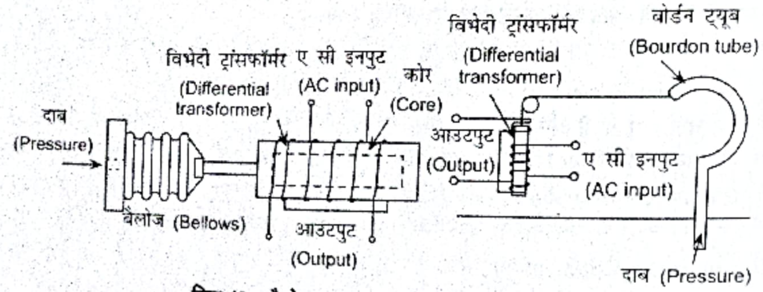
6.35 LVDT का प्रयोग (Uses of LVDT)

(i) घूर्णन स्थिति को मापने में इसका प्रयोग किया जाता है।
(ii) त्वरकों (accelerometer) में त्वरण (acceleration) मापने में।
(iii) निर्गत गैसों (exhaust gases) के लिये जेट इंजन कन्ट्रोल में।
(iv) स्लैब स्टील (slab steel), स्टील स्ट्रिप (steel strip) कारखानों में पदार्थ की मोटाई के मापन में।

6.36 LVDT द्वारा दाब का मापन (Measurement of Pressure by LVDT)

LVDT द्वारा दाब को मापने में LVDT का प्रयोग सेकेण्डरी ट्रांसड्यूसर के रूप में करते हैं तथा बेलोज (bellows) या बोर्डन ट्यूब (Bourdon tube) का प्रयोग प्राइमरी ट्रांसड्यूसर के रूप में करते हैं।

निम्न चित्र 43 में बेलोज एवं LVDT द्वारा तथा बोर्डन ट्यूब एवं LVDT द्वारा दाब को मापने की व्यवस्था को दर्शाया गया है।



चित्र 43 : बैलोज तथा LVDT द्वारा दाब मापन

इस व्यवस्था में प्राइमरी ट्रांसड्यूसर (बेलोज या बोर्डन ट्यूब), दाब को विस्थापन (displacement) में परिवर्तित करता है। प्राइमरी ट्रांसड्यूसर द्वारा परिवर्तित विस्थापन को LVDT द्वारा अभिग्रहण (sense) किया जाता है। तत्पश्चात् LVDT उसे आउटपुट सिग्नल में परिवर्तित करके वांछित माप दे देता है।

6.37 पीजो-इलेक्ट्रिक ट्रांसड्यूसर (Piezo-electric Transducer)

जब किसी क्रिस्टल (crystal) पर तनाव या संपीडन बल लगाया जाता है, तब क्रिस्टल के आयन अपनी संतुलित अवस्था से विस्थापित हो जाते हैं जिसके परिणामस्वरूप क्रिस्टल की सतहों के मध्य विभवान्तर उत्पन्न हो जाता है। इसके विपरीत यदि किसी क्रिस्टल की सतहों के बीच प्रत्यावर्ती वोल्टेज लगाया जाता है, तो क्रिस्टल की सतह पर यांत्रिक कम्पन शुरू हो जाते हैं। क्रिस्टल के इसी व्यवहार को पीजो-इलेक्ट्रिक प्रभाव (piezo-electric effect) कहते हैं।

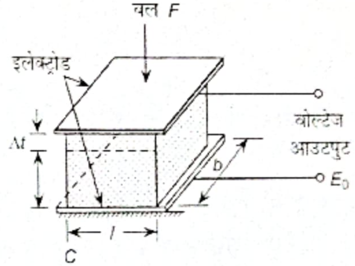
पीजो-इलेक्ट्रिक ट्रांसड्यूसर इसी सिद्धान्त पर कार्य करता है। पीजो-इलेट्रिक ट्रांसड्यूसर को बाहरी ऊर्जा की आवश्यकता नहीं पड़ती है इसलिए यह एक सेल्फ-जनरेटिंग ट्रांसड्यूसर होता है।

इस प्रकार यान्त्रिक बल को विद्युत सिग्नल में परिवर्तित कर किसी सूचक युक्ति (indicating device) को चलाया जाता है। पीजो-इलेक्ट्रिक प्रभाव पर बने होने के कारण इसे पीजो-इलेक्ट्रिक ट्रांसड्यूसर कहते हैं।

आमतौर पर क्रिस्टल दो प्रकार के होते हैं—
(i) प्राकृतिक क्रिस्टल (Natural Crystal)
(ii) कृत्रिम क्रिस्टल (Synthetic Crystal)

क्वार्ट्ज (Quartz) एवं टूरमेलिन (Tourmaline) प्राकृतिक क्रिस्टल होते हैं जबकि रोशैल साल्ट (Rochelle Salt), अमोनियम डाई-हाइड्रोजन फास्फेट (Ammonium dihydrogen phosphate), बेरियम टाइट्रेट (barium titrate) एवं सिरेमिक (ceramic) कृत्रिम क्रिस्टल होते हैं। कृत्रिम क्रिस्टल, प्राकृतिक क्रिस्टल के मुकाबले अधिक सुग्राही (sensitive) होते हैं। सभी क्रिस्टल ताप एवं आर्द्रता (humidity) सुग्राही होते हैं।

पीजो-इलेक्ट्रिक ट्रांसड्यूसर का प्रयोग बल (force), दाब (pressure), संहति (mass), विस्थापन (displacement), वेग (velocity), त्वरण (acceleration) आदि राशियों को मापने के लिये किया जाता है।



चित्र 44 : पीजो-इलेक्ट्रिक क्रिस्टल

चित्र 44 में पीजो-इलेक्ट्रिक क्रिस्टल के कार्य व्यवस्था को दर्शाया गया है जिसमें एक पीजोइलेक्ट्रिक क्रिस्टल पर संपीडन बल F लग रहा है। संपीडन बल के कारण क्रिस्टल की मोटाई (thickness) t में Δt की कमी हो जाती है जिसके परिणामस्वरूप उसकी सतहों पर आवेश आ जाता है जिस कारण सतहों पर लगी इलेक्ट्रोड प्लेटों के बीच संधारित्र बन जाता है, विरूपण बल की दिशा बदलने से पीजो-इलेक्ट्रिक प्रभाव भी प्रभावित होता है।

यदि सतहों पर F बल लग रहा हो तो सतह पर उत्पन्न आवेश $Q = q \times F$ ... (1)

जहाँ q क्रिस्टल की आवेश संवेदनशीलता (charge sensitivity) है। q का मान क्रिस्टल पर निर्भर करता है।

इस प्रकार यदि क्रिस्टल की सतह का क्षेत्रफल A, मोटाई t हो तथा संपीडन बल के कारण मोटाई में Δt की कमी आती है तो क्रिस्टल का यंग प्रत्यास्थता गुणांक,

$$\gamma = \frac{\text{प्रतिबल}}{\text{विकृति}}$$

या

$$\gamma = \frac{F/A}{\Delta t/t} = \frac{F \cdot t}{A \cdot \Delta t}$$ ... (2)

∴ बल

$$F = \frac{A\gamma}{t} \cdot \Delta t$$

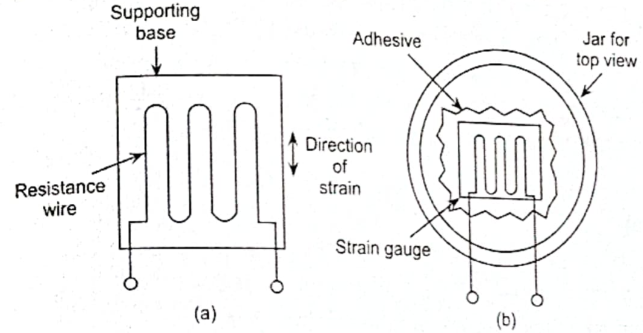
कुछ प्रमुख क्रिस्टल के विभिन्न मान (values) नीचे सारणी में दिये जा रहे हैं—

क्र०सं०	क्रिस्टल (Crystal)	आवेश संवेदनशीलता (Charge Sensitivity) q (C/N)	विद्युतशीलता (Permittivity) $\varepsilon_0 K$ (f/m)	प्रत्यास्थता गुणांक (Modulus of Elasticity) γ (Pa)
1.	क्वार्ट्ज (Quatz)	2×10^{-12}	$40{\cdot}6\times10^{-12}$	$8{\cdot}6\times10^{6}$
2.	बेरियम टाइटेनेट (Barium Titnate)	150×10^{-12}	$12{\cdot}5\times10^{-9}$	12×10^{10}

.39 विकृतिमापी (Strain Gauge)

सिद्धान्त (Principle)—यह एक दी गई विकृति (strain) को संगत प्रतिरोध परिवर्तन में परिवर्तित करने वाला एक निष्क्रिय (passive) ट्रांसड्यूसर होता है, जो इसी सिद्धान्त पर कार्य करता है। इस ट्रांसड्यूसर में किसी तार पर लगने वाले बल से तार में उत्पन्न विकृति के कारण तार के प्रतिरोध में संगत परिवर्तन होता है। इसी परिवर्तन को मापकर वांछित विकृति को मापा जाता है।

संरचना (Construction)—चित्र 45 में एक विकृतिमापी (strain gauge) को दर्शाया गया है जिसमें पतले कॉन्सटेन्टन तार (constantan wire) के कुछ लूप लगे रहते हैं। इन लूपों को एक लचकदार प्लेट पर लगाया जाता है फिर उसे एक चेम्बर से जोड़ दिया जाता है जिस पर प्रतिबल परिवर्तन हो रहा होता है। तार में लगे हेयर पिन लूपिंग आरोपित प्रतिबल की दिशा में इसकी लम्बाई को बढ़ा देती है जिस कारण विकृतिमापी की सुग्राहिता में वृद्धि हो जाती है।



चित्र 45 : स्ट्रेन गेज

जब चेम्बर या जार (jar) के ऊपर एक तनन प्रतिबल लगाया जाता है तब तनन प्रतिबल तार में प्रसार पैदा करता है जिस कारण उसकी लम्बाई में वृद्धि होती है परिणामस्वरूप इसके अनुप्रस्थ परिच्छेद (cross-section) में कमी हो जाती है। इस कारण तार के प्रतिरोध में होने वाला परिवर्तन

$$R = \rho\frac{l}{A} \text{ होता है।}$$

जहाँ R = प्रतिरोध में परिवर्तन

l = तार की लम्बाई

A = तार का परिच्छेद क्षेत्रफल (Cross-sectional Area)

ρ = तार के पदार्थ की प्रतिरोधकता (विशिष्ट प्रतिरोध)

इससे यह पता चलता है कि तार के प्रतिरोध में वृद्धि, तार में प्रसार उत्पन्न करने वाले बल के समानुपाती होता है। इस प्रकार विकृतिमापी के प्रतिरोध में परिवर्तन से तार पर लगने वाले बल या दाब को मापा जा सकता है।

6.40 गेज फैक्टर (Gauge Factor)

विकृतिमापी के सम्बन्ध में, प्रतिरोध में आंशिक परिवर्तन ΔR एवं लम्बाई में आंशिक परिवर्तन Δl की निष्पत्ति को गेज फैक्टर K कहते हैं। इस प्रकार, किसी विकृतिमापी का गेज फैक्टर उस गेज के प्रतिरोध में आंशिक परिवर्तन $\Delta R / R$ एवं उसकी लम्बाई में आंशिक परिवर्तन $\Delta l / l$ के अनुपात के बराबर होता है।

$$\therefore \quad K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = \frac{\Delta R / R}{\text{विकृति } (\sigma)}$$

इस प्रकार गेज का गेज फैक्टर जितना अधिक होता है उसकी सुग्राहिता उतनी ही अधिक होती है। एक निश्चित विकृति के लिये विकृतिमापी में उत्पन्न प्रतिरोध परिवर्तन यदि अधिक होता है तब उसका गेज फैक्टर या सुग्राहिता भी अधिक होगा। इस प्रकार गेज फैक्टर

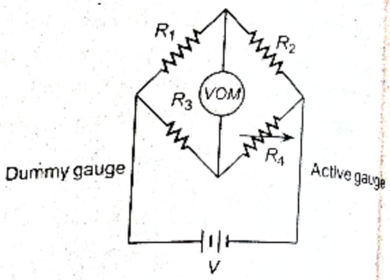
$$K = \frac{\Delta R / R}{\text{विकृति } (\sigma)}$$

$$\therefore \quad \text{विकृति} = \frac{\Delta R / R}{K}$$

इस प्रकार किसी दिये हुये तार की गेज के लिये

$$\text{विकृति} \propto \Delta R$$

चित्र 46 में गेज में आरोपित विकृति के कारण उत्पन्न संगत प्रतिरोध परिवर्तन को एक प्रतिरोध ब्रिज द्वारा मापने को रेखाचित्र द्वारा दिखाया गया है।



चित्र 46

इस व्यवस्था में एक सक्रिय गेज के साथ-साथ एक डमी गेज (Dummy guage) भी लगाया जाता है ताकि तापमान में होने वाले परिवर्तन का मापन में कोई प्रभाव न पड़ने पाये। इस प्रतिरोध ब्रिज में लगे विक्षेप इन्डीकेटर को सीधे ही न्यूटन/मीटर^2 में अंशांकित कर दिया जाता है जिसके परिणामस्वरूप बल, प्रतिबल या दाब का मान सीधे ही मापा जा सकता है।

लाभ (Advantages)

(i) इसको लगाना एवं उपयोग करना काफी सरल होता है।
(ii) यह काफी मजबूत होता है।
(iii) इसका रेखीय एवं शैथिल्य (Hysteresis) अभिलक्षण उत्तम होता है।
(iv) इसकी कीमत काफी कम होती है।
(v) इससे एक से अधिक दिशा में एक साथ मापा जा सकता है।
(vi) प्रत्यावर्ती धारा संयोजन में यह 100 kHz आवृत्ति तक के परिवर्तन को मापने में यह काफी सक्षम है।
(vii) झटकों एवं कम्पनों को सहने के लिये ये अपेक्षाकृत कम सुग्राही होते हैं।

6.41 ताप ट्रांसड्यूसर (Temperature Transducer)

निर्माण कार्यों एवं उद्योगों में तापमान के मापन, ताप नियन्त्रण एवं विभिन्न पदार्थों के तापों का ज्ञान होना अति आवश्यक होता है। पदार्थों के ताप से सम्बन्धित ज्ञान के अभाव में आधुनिक युग में निर्माण कार्य असंभव सा हो जाता है। ताप मापन एवं ताप में परिवर्तन के मापन के लिये विभिन्न प्रकार के ट्रांसड्यूसर प्रयोग किये जाते हैं। मुख्यतः ये तीन प्रकार के होते हैं—

(i) प्रतिरोध तापमापी या ट्रांसड्यूसर (Resistance Thermometer or Transducer)
(ii) थर्मिस्टर (Thermistor)
(iii) तापयुग्म ट्रांसड्यूसर (Thermo-couple Transducer)

इनका विस्तृत विवरण आगे दिया जा रहा है।

6.42 प्रतिरोध तापमापी या ट्रांसड्यूसर (Resistance Thermometer or Transducer)

किसी चालक के प्रतिरोध के ताप के साथ होने वाले परिवर्तन का उपयोग इस ट्रांसड्यूसर में किया जाता है। चालक का प्रतिरोध ताप गुणांक धनात्मक होने की दशा में, ताप बढ़ने पर चालक का प्रतिरोध बढ़ता है तथा ताप घटने पर उसका प्रतिरोध भी घटता है।

किसी शुद्ध एवं अविकृति वाले धातु के प्रतिरोध का ताप के साथ परिवर्तन निकालने के लिये निम्न सूत्र का प्रयोग करते हैं—

$$R_t = R_0 \, [1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + ...]$$

जहाँ R_t = धातु की कुण्डली का t°C पर प्रतिरोध

R_0 = धातु की कुण्डली का 0°C पर प्रतिरोध

तथा $\alpha, \beta, \gamma, ...$ इत्यादि प्रयुक्त पदार्थ का नियतांक है।

चूँकि ताप की काफी बड़ी सीमा में $\beta, \gamma, ...$ इत्यादि नियतांकों का मान बहुत कम होता है जिन्हें नगण्य मान सकते हैं। इस प्रकार ताप की काफी बड़ी सीमा में प्लेटिनम आदि धातुओं के प्रतिरोध का मान परिवर्तित होता रहता है जिसे निम्न सूत्र द्वारा निकाला जाता है—

$$R_t = R_0 \, (1 + \alpha t)$$

जहाँ α को उस पदार्थ का प्रतिरोध ताप गुणांक (Temperature Co-efficient of Resistance) कहते हैं।

इस प्रकार
$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t}$$

इससे यह स्पष्ट है कि किसी पदार्थ का प्रतिरोध ताप गुणांक 0°C ताप वृद्धि के लिये प्रतिरोध में परिवर्तन को दर्शाता है। जैसे—प्लेटिनम के लिये $\alpha = 0{\cdot}00385$ प्रति°C होता है। इसका मतलब यह है कि यदि 0°C पर एक प्लेटिनम कुण्डली का प्रतिरोध $R_0 = 100\,\Omega$ हो तो 100°C ताप पर कुण्डली का प्रतिरोध—

$$R_t = R_0 \, (1 + \alpha t)$$

या
$$R_{100} = 100\,(1 + 0{\cdot}00385 \times 100)$$

या
$$R_{100} = 138{\cdot}5\,\Omega$$

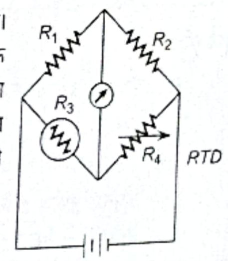
इस प्रकार किसी भी धातु के लिये ताप के साथ प्रतिरोध परिवर्तन $R_t = R_0 \, (1 + \alpha \Delta t)$

या
$$R_t - R_0 = \alpha R_0 \Delta t$$

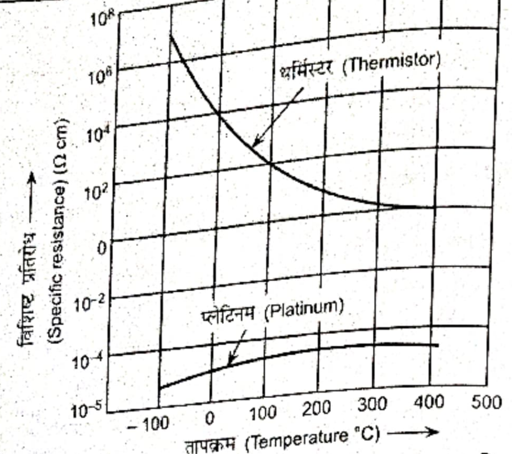
या
$$\Delta R = \alpha R_0 \Delta t$$

इस प्रकार यह सिद्ध हो जाता है कि α, R_0 के नियत मान के लिये जब Δt का मान बदलता है तब ΔR के मान में भी संगत परिवर्तन होता है।

चित्र 47 में ΔR के मान में परिवर्तन को मापने के लिये सर्किट रेखाचित्र को दर्शाया गया है। इस व्हीटस्टोन ब्रिज सर्किट की एक अज्ञात भुजा में RTD जोड़ा जाता है। ताप में परिवर्तन के कारण प्लेटिनम कुण्डली के प्रतिरोध में परिवर्तन होता है तब ब्रिज असन्तुलन की स्थिति में आ जाता है। इस प्रकार ज्ञात भुजा में जुड़े प्रतिरोध को बदलकर ब्रिज को दुबारा संतुलित कर दिया जाता है। डिटेक्टर को सीधे ताप से अंशांकित कर दिया जाता है जिससे वांछित ताप को सीधे ही निकाला जा सकता है।



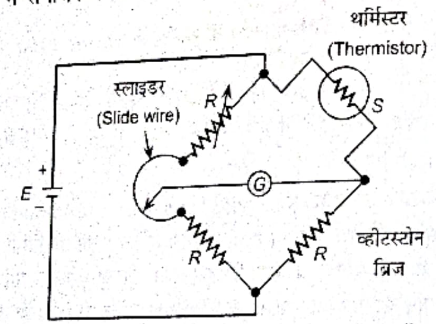
चित्र 47



चित्र 51 : थर्मिस्टर एवं प्लेटीनम के (Resistance-Temperature) अभिलक्षण

उपरोक्त ग्राफ के अनुसार थर्मिस्टर की प्रतिरोधकता $-100°C$ से लेकर $400°C$ के बीच 10^7 से $1{\cdot}0\,\Omega$ सेमी० तक परिवर्तित होती है अर्थात् इसकी प्रतिरोधकता 10^7 गुना तक परिवर्तित होती है जबकि प्लेटिनम की प्रतिरोधकता में उसी ताप अन्तराल के बीच सिर्फ 10 गुना का परिवर्तन होता है। इसी कारण थर्मिस्टर की सुग्राहिता काफी उच्च स्तर की होती है।

तापमान के मापन के लिये थर्मिस्टर को एक ब्रिज परिपथ में प्रतिरोधी थर्मामीटर की तरह ही संयोजित कर दिया जाता है। थर्मिस्टर को एक ब्रिज परिपथ में संयोजन करने की व्यवस्था को निम्न चित्र 52 में दर्शाया गया है।



चित्र 52 : ताप मापन हेतु थर्मिस्टर एवं स्लाइड वायर का ब्रिज में संयोजन

लाभ (Advantages)

थर्मिस्टर के प्रमुख लाभ निम्नलिखित हैं—

(i) ये आकार में छोटे होते हैं।
(ii) इनकी लागत अपेक्षाकृत कम आती है।
(iii) नाभिकीय वातावरण में भी इनको प्रयोग किया जा सकता है।
(iv) रासायनिक रूप से यह स्थायी होता है।
(v) ज्यादा पावर हैंडलिंग धारिता के लिये इसको श्रेणी-समान्तर क्रमों में जोड़ा जा सकता है।
(vi) दुर्गम स्थानों के तापमान मापने के लिये भी इनका प्रयोग किया जा सकता है।

प्रयोग (Uses)

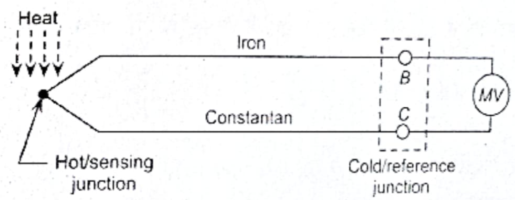
(i) उच्च आवृत्तियों वाले पॉवर मापन में।
(ii) यथार्थतापूर्वक एवं विभेदी ताप के मापन में।
(iii) जटिल संरचना वाले इलेक्ट्रॉनिक यन्त्रों, इन्स्ट्रूमेन्टेशन यन्त्रों तथा चुम्बकीय प्रवर्धकों में ताप संतुलन के लिये।
(iv) निर्वात मापन में।
(v) मेमोरी चिप्स में।
(vi) गैसों की संरचना मापन में।
(vii) द्रवों के प्रवाह, तलों एवं दाब के मापन में।
(viii) टाइम डिले (Delay) प्रदान करने में।
(ix) पॉवर पल्स के इन्टीग्रेशन में इत्यादि।

6.44 थर्मोकॅपल या तापयुग्म ट्रांसड्यूसर (Thermo-couple or Thermo-couple Transducer)

सिद्धान्त (Principle)—यदि दो असमान धातुओं के चालकों को जंक्शनों पर जोड़कर उनके बीच तापान्तर उत्पन्न किया जायें तो जंक्शनों के बीच वि०वा०बल (emf) उत्पन्न हो जाता है। उत्पन्न वि०वा०बल का परिमाण जंक्शनों के बीच तापान्तर के समानुपाती होता है। इस प्रभाव को सीबेक प्रभाव (Seebeck effect) कहते हैं। थर्मोकपॅल इसी सिद्धान्त पर कार्य करता है।

रचना एवं कार्यविधि (Construction and Working Method)—थर्मोकॅपल में दो असमान धातु के चालक लगे होते हैं, जिनको एक सिरे पर जोड़कर जंक्शन बना दिया जाता है। इसे गर्म सिरा या सेंसिग सिरा (sensing end) कहते हैं। इसके दूसरे सिरे को ठण्डा सिरा या सन्दर्भ सिरा (reference end) कहते हैं। ठण्डा या सन्दर्भ सिरे को एक निश्चित निम्न तापमान पर रखा जाता है। जब सेंसिंग सिरे को गर्म किया जाता है तब गर्म सिरा व ठण्डा सिरा (B व C) के बीच उत्पन्न वोल्टता का एक थर्मो वि०वा०बल (emf) उत्पन्न हो जाता है। इस थर्मो वि०वा० बल का परिमाण गर्म एवं ठण्डे जंक्शनों के बीच तापान्तर एवं प्रयुक्त तारों के पदार्थों की प्रकृति पर निर्भर करता है।

चूँकि ठण्डा सिरा एक निश्चित निम्न ताप पर रखा जाता है। इसलिये आउटपुट वोल्टेज, गर्म जंक्शन के ताप पर निर्भर करता है। जिस वस्तु के ताप को मापना होता है उसे गर्म जंक्शन के सम्पर्क में रखा जाता है। थर्मोकपॅल द्वारा मिली वोल्टमीटर को सीधे ताप के पदों में अंशांकित करके मापी जाने वाली वस्तु के ताप का मापन ज्ञात कर लिया जाता है। चित्र 53 में थर्मोकपॅल का रेखाचित्र दिखाया गया है।



चित्र 53 : थर्मोकपल

थर्मोकपॅल को बनाने के लिये कई प्रकार के धातुओं का उपयोग किया जाता है। मापी जाने वाली ताप की सीमा के आधार पर धातुओं का प्रयोग किया जाता है। इनके तापों की सीमा $-270°C$ से लेकर $+2700°C$ के बीच तक होती है।

जब एक से अधिक थर्मोकॅपल्स (thermocouples) को श्रेणी या समान्तर क्रम में जोड़कर उनका समूह बनाया जाता है तब उन्हें थर्मोपाइल (Thermopile) कहते हैं।

अनुक्रिया समय (Response Time)—इसे कालांक के पदों में मापा जाता है। अनुक्रिया समय वह समय होता है जिस समय में ताप के पूरे स्टेप में होने वाले परिवर्तन का 63·2% ताप प्राप्त हो जाता है। आमतौर पर इस ताप को प्राप्त करने में ... गुना कालांक समय लगता है।

प्रयोग (Uses)

—(i) भट्टियों के ताप मापन में।

(ii) बहुत निम्न ताप के मापन के लिये ये सबसे उपयुक्त होते हैं। इसलिये इनका प्रयोग वैज्ञानिक अनुसंधान, मेडिकल इन्स्ट्रूमेन्टेशन के क्राइजेनिक रेंज इत्यादि के लिये होता है।

(iii) मेडिकल कार्यों में प्रयोग होने वाले वस्तु के आन्तरिक ताप के मापन के लिये जो थर्मोकपॅल प्रयोग किये जाते हैं वे आकार में बहुत ही सुक्ष्म होते हैं।

(iv) कोल्ड स्टोरेज में द्रवों एवं गैसों के नियंत्रण में इनका प्रयोग होता है जबकि इनको पाइपों में एवं डक्ट्स में प्रवाहित होने वाले द्रवों एवं गैसों का तापमान मापने में प्रयोग करते हैं।

निम्न तालिका में प्रतिरोध तार के लिये प्रयुक्त पदार्थ के गुणों को दिखाया गया है।

पदार्थ (Material)	संरचना (Composition)	प्रतिरोधकता (Resistivity at 20°C in ohm-metre)	प्रतिरोध ताप गुणांक (Resistance Temp. Co-efficient) प्रति °C [/°C]	गेज फैक्टर (Gauge Factor)
प्लेटिनम (Platinum)	—	10×10^{-4}	$4\cdot0\times10^{-3}$	4·8
निकिल (Nickel)	—	$6\cdot5\times10^{-4}$	$6\cdot8\times10^{-3}$	−12·1
नाइक्रोम (Nichrome)	Ni-80% Cr-20%	108×10^{-4}	$0\cdot14\times10^{-3}$	2·5
कोन्स्टेन्टन (Constantan)	Ni-45% Cr-55%	49×10^{-4}	$\pm0\cdot02\times10^{-3}$	2·1

6.45 ध्वनिक ट्रांसड्यूसर (Acoustic Transducer)

ध्वनिक ट्रांसड्यूसर, ध्वनि तरंगों को परिवर्ती विद्युत धारा में परिवर्तित करते हैं। ग्राही सिरे पर इन विद्युत तरंगों का अभिग्रहण करके लाउडस्पीकर (Loud speaker) द्वारा ध्वनि तरंगों में रूपान्तरण कर दिया जाता है। इसमें विद्युत ऊर्जा का प्रवर्धन करके रेडियो द्वारा या टेलीफोन लाइनों द्वारा कहीं भी संचारित किया जा सकता है।

इनका मुख्य प्रयोग माइक्रोफोन (microphone) में होता है जिसका प्रयोग ब्रॉडकास्टिंग, रिकार्डिंग एवं टेलीफोन इत्यादि में होता है।

माइक्रोफोन कई प्रकार के होते हैं; जैसे—

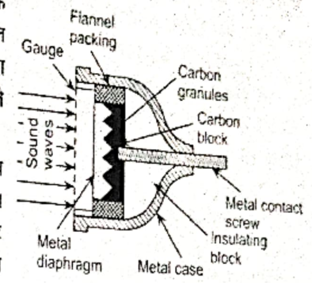
(i) कार्बन माइक्रोफोन (Carbon Microphone)
(ii) चल कुण्डलन माइक्रोफोन (Moving Coil Microphone)
(iii) धारितीय माइक्रोफोन (Capacitor Microphone)
(iv) क्रिस्टल माइक्रोफोन (Crystal Microphone)
(v) इलेक्ट्रेट माइक्रोफोन (Electrate Microphone)
(vi) सिरेमिक माइक्रोफोन (Ceramic Microphone)
(vii) रिबन माइक्रोफोन (Ribbon Microphone)

कुछ प्रमुख माइक्रोफोन का विस्तृत विवरण आगे दिया जा रहा है।

6.46 कार्बन माइक्रोफोन (Carbon Microphone)

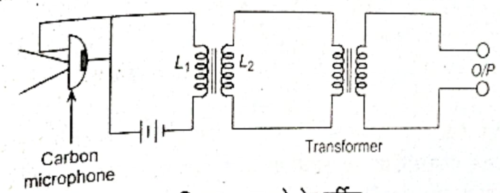
जैसा कि हम जानते हैं कि ठोस अवस्था में कार्बन विद्युत का एक अच्छा चालक होता है, परन्तु जब इसे दानों या पाउडर के रूप में इस्तेमाल किया जाता है तब ये धारा प्रवाह के रास्ते में काफी उच्च प्रतिरोध पैदा करते हैं। यह उत्पन्न प्रतिरोध कार्बन दानों के बीच की दूरी पर निर्भर करते हैं।

जब कार्बन के दानों पर दाब बढ़ता है तब उनके दानों के बीच सम्पर्क क्षेत्रफल बढ़ जाता है जिसके फलस्वरूप प्रतिरोध घट जाता है। ठीक इसके विपरीत जब कार्बन के दानों के बीच सम्पर्क क्षेत्रफल घट जाता है तब उसका प्रतिरोध बढ़ जाता है। चित्र 54 में एक कार्बन माइक्रोफोन की संरचना को दिखाया गया है।



चित्र 54 : कार्बन माइक्रोफोन

इस माइक्रोफोन में ध्वनि तरंगें सबसे पहले बहुत ही लचकदार धातु के डायफ्राम (Diaphram) पर पड़ती है जिससे आपतित तरंगों के कारण डायफ्राम कम्पन करने लगता है। इन्हीं कम्पनों के कारण डायफ्राम एवं कार्बन ब्लॉक के बीच पहले से भरे कार्बन दानों पर दाब में परिवर्तन होता है जिसके फलस्वरूप माइक्रोफोन का प्रतिरोध आपतित ध्वनि तरंगों के अनुसार परिवर्तित होता है। माइक्रोफोन की सर्किट को निम्न चित्र 55 में दिखाया गया है।



चित्र 55 : माइक्रोफोन सर्किट

इस सर्किट में धारा, ध्वनि में होने वाले परिवर्तन के अनुसार बदलती है। इस परिवर्तन के कारण कुण्डली L_1 में एक प्रेरित वि०वा० बल (emf) उत्पन्न हो जाता है। इस उत्पन्न प्रेरित विद्युत वाहक बल को ट्रांसफार्मर की सहायता से और अधिक प्रवर्धित (Amplify) कर लिया जाता है।

लाभ (Advantages)

(i) कार्बन माइक्रोफोन का आउटपुट काफी ज्यादा होता है।
(ii) इनकी आवृत्ति अनुक्रिया अच्छी होती है।
(iii) इनकी प्रकृति अदैशिक होती है।

हानियाँ (Disadvantages)

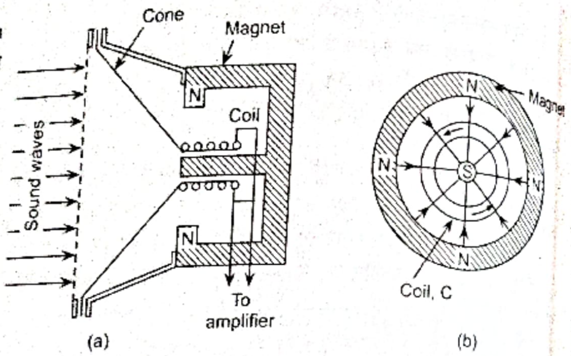
(i) इनमें शोर बहुत ज्यादा होता है।
(ii) इसमें पैकिंग का भी दोष होता है।
(iii) उच्च क्वालिटी (high quality) के आउटपुट के लिये ये उपयुक्त नहीं होते हैं।

6.47 चल-कुण्डलन माइक्रोफोन (Moving Coil Microphone)

जैसा कि नाम से विदित है, यह एक गतिज माइक्रोफोन होता है।

सिद्धान्त (Principle)—जब ध्वनि इस माइक्रोफोन के डायफ्राम पर पड़ती है जिसके साथ एक कुण्डली जुड़ी होती है तब यह कुण्डली चुम्बकीय क्षेत्र के बाहर एवं अन्दर कम्पन करने लगती है जिस कारण कुण्डली से जुड़े चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन होने लगता है जिसके परिणामस्वरूप कुण्डली में एक दोलन विद्युत वाहक बल (emf) प्रेरित होता है। प्रेरित विद्युत वाहक बल का परिमाण, कुण्डली की गति की तेजी के समानुपाती होता है। चल-कुण्डलन माइक्रोफोन इसी सिद्धान्त पर कार्य करता है।

रचना एवं कार्यविधि (Construction and Working Method)—चित्र 56 में चल कुण्डलन माइक्रोफोन को दिखाया गया है।



चित्र 56 : चल-कुण्डलन माइक्रोफोन

इस माइक्रोफोन में एक हल्के पर्दे के आकार का खोखला शंकु होता है जो उसके बाहरी रिम के साथ चित्रानुसार क्लैम्प किया हुआ होता है। डायफ्राम, सरल कार्ड बोर्ड या फाइबर या विशेष प्रकार के प्लास्टिक पदार्थ का बना होता है। इसमें एक गोलाकार कॉरूगेशन को प्रेस कर दिया जाता है। प्रेस करने के बाद यह स्प्रिंग के आकार की हो जाती है। इसी कारण कोनों पर क्लैम्प द्वारा कसी होने के बावजूद दाब लगाने पर यह अन्दर व बाहर गति कर सकती है।

इस प्रकार जब कुछ बोला जाता है या जब ध्वनि तरंगें कुण्डली पर पड़ती हैं तब तरंगों में दाब परिवर्तन के कारण डायफ्राम अन्दर व बाहर गति करने लगता है। इसकी कम्पन करने की गति तरंग स्वरूपों के काफी अनुरूप होती है। डायफ्राम के साथ जुड़ने वाले बेलनाकार फ्रेम पर काफी पतले तार की कई लपेटों वाली कुण्डली लिपटी रहती है। एक वलयाकार चुम्बक के ध्रुवों के बीच गैप में कुण्डली के साथ फ्रेम को फिट कर दिया जाता है।

इस प्रकार प्रयोग के समय जब ध्वनि तरंगें डायफ्राम से टकराती हैं तब यह अन्दर व बाहर की ओर कम्पन करने लगता है तथा इसके साथ जुड़ी हुई कुण्डली भी चुम्बकीय क्षेत्र में अन्दर व बाहर गति करने लगती है जिस कारण कुण्डली में एक दोलन विद्युत वाहक बल प्रेरित हो जाता है जिसका परिणाम कुण्डली की गति की तेजी पर निर्भर करता है। इसी प्रेरित वि०वा० बल (emf) को प्रवर्धित करके इससे लाउडस्पीकर (Loudspeaker) को चलाया या बजाया जा सकता है।

गुण (Quality)

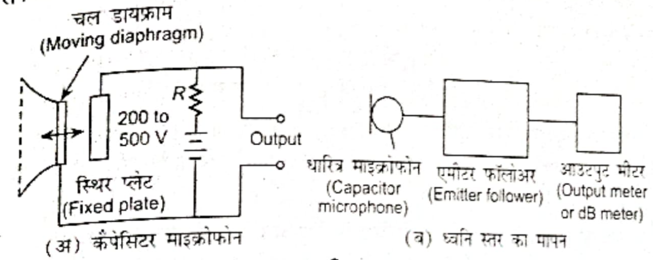
(i) इनका आउटपुट काफी उच्च होता है।
(ii) ये घरेलू एवं बाहरी दोनों कार्यों के लिये प्रयोग किये जा सकते हैं।
(iii) ये विश्वसनीय होते हैं।
(iv) इनकी गुणवत्ता काफी उच्च स्तर की होती है।
(v) इनकी आवृत्ति अनुक्रिया काफी बड़ी सीमा में भी एकसार होती है।
(vi) उपरोक्त गुणों के कारण इनका प्रयोग कई कार्यों में किया जाता है।

6.48 धारितीय माइक्रोफोन (Capacitor Microphone)

ध्वनि के मापन में एक समान्तर प्लेट धारितीय माइक्रोफोन का प्रयोग किया जाता है, जैसे—माइक में प्रयुक्त ट्रांसड्यूसर। इसमें एक स्थिर प्लेट (fixed plate) होती है तथा दूसरी प्लेट एक चल डायफ्राम (moving diaphram) होती है। चल प्लेट एवं स्थिर प्लेट मिलकर एक संधारित्र (capacitor) बन जाते हैं।

इस प्रकार जब चल प्लेट डायफ्राम पर ध्वनि दाब (sound pressure) पड़ता है तब इसकी कम्पन गति से प्लेटों के बीच की दूरी में भी परिवर्तन होता है। परिणामस्वरूप संधारित्र की धारिता भी परिवर्तित होती है। संधारित्र की प्लेटों के बीच 200 V से लेकर 500 V तक स्थिर चार्ज को एक स्तर पर बनाये (maintain) रखा जाता है। धारिता में होने वाले परिवर्तन से धारितीय वोल्टेज में परिवर्तन होता है। इस प्रकार परिवर्तित आउटपुट वोल्टेज सिग्नल को एक एमीटर फॉलोअर द्वारा प्रवर्धित (amplify) किया जाता है।

परिणामस्वरूप प्राप्त आउटपुट में आउटपुट मीटर, वोल्टमीटर या डेसीबल मीटर का प्रयोग करके ध्वनि दाब का मान ज्ञात किया जा सकता है। इसको चित्र 57(अ) में दर्शाया गया है।



चित्र 57

इसके निम्न गुण होते हैं—

गुण (Qualities)

(i) काफी अच्छी आवृत्ति अनुक्रिया।
(ii) काफी उच्च प्रतिबाधा (10 MΩ)।
(iii) डायफ्राम से काफी कम जड़त्व के कारण अच्छी अनुक्रिया।
(iv) इनमें बहुत ही निम्न विरूपण होता है।

6.49 प्रकाश का मापन (Measurement of Light)

प्रकाश के मापन को समझने के लिये सर्वप्रथम प्रकाश-वैद्युत प्रभाव या फोटो-इलेक्ट्रिक इफेक्ट (photo-electric effect) को समझना अत्यन्त जरूरी है क्योंकि अविद्युत राशियों के मापन के लिये फोटो-सुग्राही (photo-sensitivity) युक्तियाँ ही ट्रांसड्यूसर का कार्य करती हैं।

फोटो-इलेक्ट्रिक इफेक्ट (Photo-electric Effect)

फोटो-सुग्राही तल पर प्रकाश या विकिरण के कारण उससे फोटो-इलेक्ट्रॉन मुक्त होते हैं। दूसरे शब्दों में प्रकाश के प्रभाव के कारण पदार्थों से इलेक्ट्रॉन का मुक्त (liberate) होना ही फोटो-इलेक्ट्रिक इफेक्ट या प्रभाव कहलाता है।

इस प्रभाव के अन्तर्गत दो प्रक्रियायें (processes) हो सकती हैं—

(i) धातु सतहों से इलेक्ट्रॉन का मुक्त होना।
(ii) अर्द्धचालक पदार्थों में प्रकाश का विकिरण पड़ने पर होल-इलेक्ट्रॉन पेयर (hole-electron pairs) का उत्पन्न होना।

प्रथम प्रभाव फोटो उत्सर्जन प्रभाव (photo- emissive effect) कहलाता है एवं इसका प्रयोग निर्वात (vacuum) या गैस ट्यूब (gas tube) में किया जाता है।

अर्द्धचालकों में प्रकाश के प्रभाव को दो भागों में बाँटा जाता है—

(a) फोटोचालक प्रभाव (Photo-conductive Effect)

(b) जंक्शन फोटो प्रभाव (Junction Photo Effect)

किसी रिवर्स बायस्ड जंक्शन में प्रवाहित होने वाली धारा, जंक्शन पर पड़ने वाली प्रकाश की तीव्रता पर निर्भर करती है। इस प्रकार यदि *PN* जंक्शन एक खुला परिपथ (open circuited) है तब जंक्शन पर एक विद्युत वाहक बल (emf) उत्पन्न होता है। इसी प्रभाव को फोटो-वोल्टाइक इफेक्ट (Photo-voltaic Effect) कहते हैं।

इस प्रकार प्रकाश-वैद्युत प्रभाव (Photo-electric Effect) तीन प्रकार के होते हैं—

(A) फोटो सुग्राही प्रभाव (Photo Sensitive Effect)

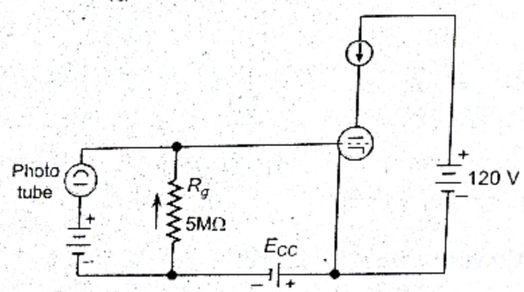
(B) फोटो चालन प्रभाव (Photo Conductive Effect)

(C) फोटो-वोल्टाइक प्रभाव (Photo-voltaic Effect)

इन प्रभावों पर आधारित ट्रांसड्यूसरों को क्रमशः फोटो उत्सर्जक ट्यूब या फोटो ट्यूब (Photo Emissive Tube or Photo tube), फोटो चालन सेल (Photo conductive cell) एवं फोटो-वोल्टाइक सेल (Photo-voltaic cell) कहते हैं।

(A) फोटो उत्सर्जक ट्यूब या फोटो ट्यूब (Photo Emissive Tube or Photo Tube)—एक निर्वात फोटो ट्यूब (Vacuum Photo Tube) का वोल्टेज प्रकाश फ्लक्स पेन्टोड के अभिलक्षण जैसा होता है। इसके प्रतिरोध में वृद्धि इतनी ज्यादा होती है कि यह ट्यूब नियत धारा जनरेटर का कार्य करने लगता है।

चित्र 58 में प्रकाश की तीव्रता के मापन के लिये सर्किट का रेखाचित्र दिखाया गया है। इसमें फोटो ट्यूब के कैथोड पर पड़ने वाली प्रकाश की मात्रा को मापा जाता है। जब फोटो कैथोड पर कोई प्रकाश नहीं पड़ता है तब ट्रायोड की ग्रिड बायस कट ऑफ के नीचे होती है जिस कारण ट्यूब के मीटर में कोई प्लेट धारा प्राप्त नहीं होती है।

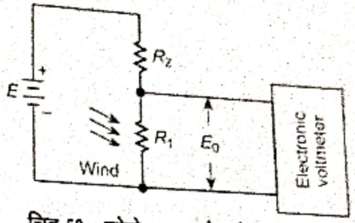


चित्र 58 : फोटो उत्सर्जक ट्यूब के सर्किट का रेखाचित्र

इसी प्रकार जब फोटो कैथोड पर प्रकाश पड़ता है तब कैथोड से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन प्रतिरोध R_g में सर्किट में दिखायी गयी दिशा में चलते हैं जिस कारण ग्रिड विभव में वृद्धि होती है और प्लेट धारा भी प्रवाहित होने लगती है। प्लेट सर्किट से जुड़े धारा मापने वाले मीटर में पाठ्यांक धारा के समानुपाती होता है जोकि प्रकाश तीव्रता के समानुपाती होता है। आमतौर पर इसका प्रयोग इलेक्ट्रॉनिक सर्किट में किया जाता है।

(B) फोटो-चालन सेल (Photo-conductive Cell)—फोटो चालन सेल के सर्किट का रेखाचित्र चित्र 59 में दिखाया गया है।

इसमें ताप के परिवर्तन से वोल्टेज या प्रतिरोध के परिवर्तन को मापकर वांछित राशि का मापन किया जाता है। फोटो चालन सेल का प्रतिरोध बहुत उच्च मेगा ओम (MΩ) में होता है। इन सेलों का प्रयोग एक प्रतिरोध मापन सर्किट के साथ किया जाता है।



चित्र 59 : फोटो चालन सेल के सर्किट का रेखाचित्र

इस सर्किट में प्रायोगिक प्रकाश हवा के बजाय तप्त तार पर डाला जाता है। प्रतिरोध एवं प्रकाश फ्लक्स अभिलक्षण ज्ञात हो जाने पर इस सेल पर आपतित प्रकाश के लिये प्रकाश फ्लक्स का मान निकाल लिया जाता है। फोटो चालन सेल की सुग्राहिता काफी उच्च लेकिन अस्थायी होती है। इस सेल की उच्च आवृत्ति अनुक्रिया बहुत कम होती है। इस सेल की आउटपुट धारा प्रकाश तीव्रता के समानुपाती नहीं होता है। इन्हीं कमियों के कारण इस सेल का प्रयोग मापन में बहुत कम होता है।

(C) **फोटो-वोल्टाइक सेल** (Photo-voltaic cell)—फोटो-वोल्टाइक सेल को प्रकाश द्वारा प्रतिदीप्त करने पर उसके टर्मिनल के आपेक्ष (across) एक सूक्ष्म वोल्टेज पैदा होता है, जिसका मान सेल पर आपतित प्रकाश के फ्लक्स के समानुपाती होता है। इसको कार्य करने के लिये बाहरी वोल्टेज स्रोत की आवश्यकता नहीं पड़ती है। इसका आन्तरिक प्रतिरोध काफी कम होता है जिस कारण फोटो-वोल्टाइक सेल का प्रयोग फोटो सुग्राही रिले या माइक्रो एमीटर का प्रत्यक्ष प्रचालन करने में ज्यादा होता है।

फोटो-वोल्टाइक सेल का मुख्य प्रयोग फोटोग्राफिक एक्सपोजर मीटर में प्रतिदीप्त तीव्रता को मापने के लिये किया जाता है। इसमें सूक्ष्म वोल्टेज पैदा होता है तथा इसकी अनुक्रिया भी काफी मन्द होती है, इसी कारण इन सेलों का प्रयोग आमतौर पर इलेक्ट्रॉनिक सर्किट में नहीं करते हैं।

6.50 विभिन्न प्रकार के ट्रांसड्यूसर्स, उनके कार्य, सिद्धान्त एवं प्रयोग (Different types of Transducers, their Principle and Applications)

	विद्युत पैरामीटर (Electrical Parameter)	ट्रांसड्यूसर का नाम (Name of Transducer)	कार्य सिद्धान्त (Working Principle)	प्रयोग (Applications)
1.	प्रतिरोध (Resistance) प्रतिरोध ट्रांसड्यूसर (Resistance Transducer)	विभवमापी (Potentiometer)	ऐसे ट्रांसड्यूसर पर जब कोई बाह्य बल लगाया जाता है तब स्लाइडर की स्थिति परिवर्तित होती है जिससे विभवमापी में संयोजित प्रतिरोध में परिवर्तन होता है।	दाब व विस्थापन मापन में।
		परिवर्ती प्रतिरोध विकृतिमापी (Strain Gauge)	जब किसी चालक ताप पर बाह्य बल या दाब लगाते हैं तो उसमें उत्पन्न विकृति के कारण उसके प्रतिरोध में परिवर्तन होता है।	विस्थापन बल एवं मरोड़ घूर्ण के मापन में।
		प्रतिरोध थर्मामीटर (Resistance Thermometer)	धातु पदार्थ का प्रतिरोध उसके ताप में होने वाले परिवर्तन पर परिवर्तित होता है।	तापक्रम मापन में।

	थर्मिस्टर (Thermistor)	ऋणात्मक प्रतिरोध ताप गुणांक वाले कुछ ऑक्साइड पदार्थों का प्रतिरोध, तापमान के बढ़ने पर कम होता है।	तापक्रम [illegible] मापन में।
(2) प्रेरकत्व (Inductance) प्रेरकत्वीय ट्रांसड्यूसर (Inductive Transducer)	परिवर्ती प्रेरकत्व ट्रांसड्यूसर (Variable Inductance Transducer)	A.C. सप्लाई की दशा में बाह्य बल लगने से कुण्डली के स्व-प्रेरकत्व L में परिवर्तन होने से म्युचुअल प्रेरकत्व M में परिवर्तन होता है।	दाब व विस्थापन मापन में।
	LVDT (Linear Variable Differential Transformer)	एक ही ट्रांसफार्मर की दो कुण्डलियों में ट्रांसफार्मर कोर पर बल लगने के कारण उत्पन्न विभवांतर बल (emf) में परिवर्तन होता है।	बल, दाब व विस्थापन मापन
	भंवर धारा आधारित ट्रान्सड्यूसर (Eddy Current based Transducer)	धात्विक प्लेट में भंवर धाराओं के उत्पन्न होने के कारण पास में रखी गई कुण्डली के प्रेरकत्व में परिवर्तन होता है।	विस्थापन मापन में
	मैग्नेटो-स्ट्रिक्शन गेज (Magneto-striction Gauge)	चुम्बकीय पदार्थ पर बाह्य बल या दाब लगाने पर उसके चुम्बकीय गुणों में परिवर्तन होता है।	दाब, बल एवं ध्वनि की तीव्रता के मापन में।
(3) धारिता (Capacitance) धारितीय ट्रांसड्यूसर (Capacitor Transducer)	परिवर्ती धारिता ट्रांसड्यूसर (Variable Capacitance Transducer)	समान्तर प्लेट संधारित्र की धारिता में प्लेटों के बीच परावैद्युत पदार्थ बदलने से, प्लेटों का ओवरलैपिंग क्षेत्रफल परिवर्तित होने से एवं प्लेटों के बीच दूरी परिवर्तित होने पर उसके धारिता में परिवर्तन होता है।	बल, दाब, मोटाई, विस्थापन, द्रव स्तर इत्यादि के मापन में।
	परावैद्युत गेज (Dielectric Gauge)	परावैद्युत पदार्थ या परावैद्युत स्थिरांक के परिवर्तन से धारिता में परिवर्तन होता है।	मोटाई, द्रव स्तर एवं परावैद्युत स्थिरांक के मापन में
	संधारित्र माइक्रोफोन (Capacitor Microphone)	ध्वनि दाब लगाने पर स्थिर प्लेट एवं डायफ्राम के बीच धारिता में परिवर्तन होता है।	ध्वनि दाब के मापन में

5.51 तापमान मापन (Temperature Measurement)

ब्रह्माण्ड में मौजूद सभी सजीव (Living) या निर्जीव (Non-living) तत्वों में कुछ न कुछ ताप अथवा ऊष्मा [illegible] धनात्मक (Positive) हो या ऋणात्मक (Negative)। इस प्रकार [illegible] की गणना (calculation) में प्राप्त मात्रा होती है जिसको परिभाषित करना [illegible] एक महत्वपूर्ण एवं मौलिक (fundamental) प्राचल (parameter) है। आधुनिक इंजीनियरों में तापमान का मापन अत्यन्त जरूरी है [illegible] कुछ तत्वों के ऐसे गुणों का मापन करने से मिलता है जो उस तत्व की ऊष्मा के स्तर पर निर्भर करता है।

[illegible] का मापन, दहन (combustion), ऊष्मा स्थानान्तरण (heat transformation) इत्यादि ऊष्मीय प्रक्रमों (thermal process) के लिये बहुत जरूरी होता है। तापमान के मापन का कोई भी मानक नियम (standard rule) निर्धारित न होने के कारण इसका मापन, पदार्थ की ऊष्मा के स्तर पर निर्भर रहने वाले गुणों को मापकर किया जाता है। ऊष्मा के अधिक व कम स्तर के कारण पदार्थ के गुणों में परिवर्तन होता है। ये परिवर्तन निम्न प्रकार के हो सकते हैं—

(i) भौतिक अवस्था (Physical State)
(ii) रासायनिक अवस्था (Chemical State)
(iii) वैद्युत गुण (Electrical Properties)
(iv) प्रकाशीय गुण (Optical Properties)
(v) विकिरण गुण (Radiation Properties)
(vi) विमायें/माप (Dimensions/Size)

इंजीनियरी में निर्जीव पदार्थों (non-living materials) के तापमान का अध्ययन किया जाता है। परन्तु उपरोक्त बताये गये गुणों में से किसी भी गुण से हमें पदार्थ का परम तापमान (absolute temperature) नहीं प्राप्त होता है। यद्यपि तापमान का अंशांकन (calibration) किसी चुने हुये मानक के अनुसार किया जाता है। आमतौर पर तापमान को डिग्री (°) में व्यक्त किया जाता है। तापमान को मापने के लिये तीन प्रकार के मापन पैमाने का प्रयोग किया जाता है—

(a) सेन्टीग्रेड (Centigrade)
(b) फारेनहाइट (Fahrenheit)
(c) रैंकिन (Rankine)

इन पैमानों द्वारा पदार्थ के गुणों में होने वाले परिवर्तन के अनुसार परिवर्तित तापमान को डिग्री (°) में व्यक्त किया जाता है। इस प्रकार, तापमान को अभिग्रहण (sense) करने के लिए विभिन्न प्रकार के मापन युक्तियों (measuring devices) का आविष्कार एवं विकास किया गया। कुछ प्रमुख ताप मापन युक्तियाँ निम्न हैं—

1. प्रतिरोध तापमापी (Resistance Thermometer)
2. द्विधात्विक तापमापी (Bimetallic Thermometer)
3. थर्मोकपल (Themocouple)
4. थर्मिस्टर (Thermistor)
5. प्रकाशीय उत्तापमापी (Optical Pyrometer)/ प्रकाशीय पायरोमीटर
6. विकिरण उत्तापमापी (Radiation Pyrometer)/विकिरण पायरोमीटर

उपरोक्त तापमान मापन युक्तियों का वर्णन इस अध्याय में आगे किया जा रहा है।

5.51.1 प्रतिरोध तापमापी (Resistance Themometer)

धातुओं की प्रतिरोधकता (resistivity) उसमें होने वाले ताप परिवर्तनों के साथ परिवर्तित होती है। प्रतिरोध तापमापी दो प्रकार के होते हैं—

1. वैद्युत प्रतिरोध तापमापी (Electrical Resistance Thermometer)
2. प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी (Platinum Resistance Thermometer)

6.51.2 वैद्युत प्रतिरोध तापमापी (Electrical Resistance Thermometer)

वैद्युत प्रतिरोध तापमापी 'तापमान में होने वाले परिवर्तन से धातुओं का प्रतिरोध बदलता है' के सिद्धान्त पर कार्य करता है। इसके अनुसार वैद्युत प्रतिरोध तापमापी में धातु चालक के विद्युत प्रतिरोध में होने वाले परिवर्तन के गुणों द्वारा तापमान का मापन किया जाता है। वैद्युत प्रतिरोध तापमापी से $-200°C$ से लेकर $+650°C$ तक के तापमान का मापन किया जा सकता है।

तापमान में होने वाले वृद्धि से पदार्थों में होने वाले प्रतिरोध में वृद्धि, उसके तापमान में वृद्धि के समानुपाती होता है। इस प्रकार यदि किसी धातु के तार के प्रतिरोध का अंशांकित (calibrated) मान ज्ञात कर लिया जाये तो उसके तापमान का मान (value) ज्ञात किया जा सकता है। एक अच्छे प्रतिरोधी तत्व (resistance element) में स्थायित्व (stability), उच्च तापमान गुणांक (high temperature co-efficient), पुनः उत्पादन योग्य (reproductibility), जंगरोधी (corrosion resistance) तथा ऑक्सीजन प्रतिरोधी (oxidisation or oxygen resistance) जैसे गुण होने चाहिए ताकि उनके द्वारा तापमान का मापन यथार्थतापूर्वक ज्ञात किया जा सके। साधारण प्रयोग में आने वाले प्रतिरोध तापमापी ताँबे या प्लेटिनम (copper or platinum) के बने होते हैं। तापमान एवं प्रतिरोध का सम्बन्ध निम्न सूत्र द्वारा लिखा जाता है।

प्लेटिनम के लिये—

$$R_{tp} = R_o(1 + At + Bt^2)$$

जहाँ R_{tp} = तापमान वृद्धि के बाद प्लेटिनम का प्रतिरोध

R_o = तापमान वृद्धि के पहले प्लेटिनम का प्रतिरोध

$A = 4 \times 10^{-3}/°C$ (नियतांक)

$B = 6 \times 10^{-7}/°C$ (नियतांक)

ताँबे के लिये—

$$R_{tc} = R_o(1 + \alpha t)$$

जहाँ R_{tc} = तापमान वृद्धि के बाद ताँबे का प्रतिरोध

R_o = तापमान वृद्धि से पहले ताँबे का प्रतिरोध

$\alpha = 4{\cdot}26 \times 10^{-3}/°C$ (नियतांक)

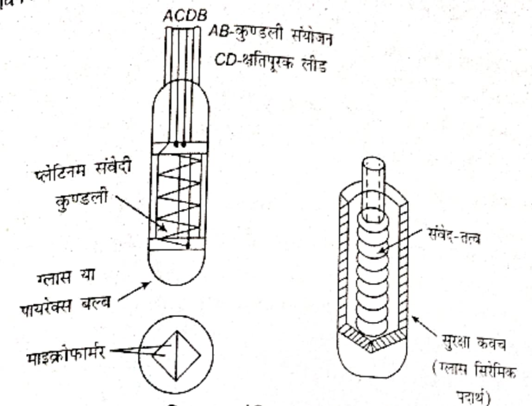
प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी द्वारा उच्च शुद्धता (high accuracy) से तापमान का मापन किया जा सकता है। इसके द्वारा $-180°C$ से लेकर $+540°C$ तक तापमान का मापन किया जा सकता है।

ताँबा प्रतिरोध तापमापी अपेक्षाकृत काफी सस्ता एवं अच्छा होता है। इसके द्वारा $-140°C$ से लेकर $+120°C$ तक तापमान का मापन किया जा सकता है।

6.51.3 प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी (Platinum Resistance Thermometer)

प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी में धात्विक प्रतिरोध के रूप में प्लेटिनम के तार या फॉयल (Platinum Wire or Foil) का प्रयोग किया जाता है जो संवेदी तत्व (Sensing Element) के रूप में कार्य करते हैं। इनका आकार सर्पिल कुण्डली (Helical Coil) के जैसा होता है। संवेदी तत्व को क्रॉस माइका फॉर्मर (Cross Mica Former) पर लपेट कर एक पायरेक्स ट्यूब (Pyrex tube) में चित्र 60 के अनुसार बन्द कर दिया जाता है। तत्पश्चात् ट्यूब को खाली करके निर्वात (vacuum) कर दिया जाता है या फिर उसमें कोई गैस भर दी जाती है ताकि उस ट्यूब में रखा प्लेटिनम सुरक्षित रह सके। प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी

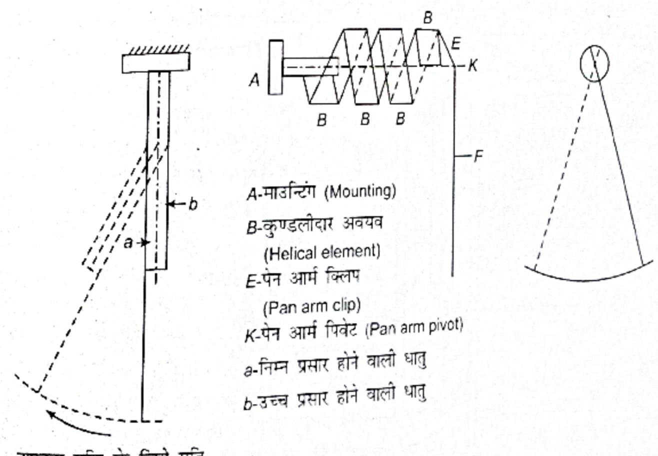
...उच्च तापमानों लगभग (850°C तक) या उससे अधिक के लिये भी बनाया जाता है। परन्तु अधिक उच्च तापमानों पर कार्य करने से इसका जीवनकाल (life) कम हो जाता है।



चित्र 60 : प्लेटिनम प्रतिरोध तापमापी

6.52 द्विधात्विक तापमापी (Bi-Metallic Thermometer)

सिद्धान्त—"जब दो अलग-अलग ऊष्मीय प्रसार गुणांक (Co-efficient of thermal expansion) वाले धातुओं की चपटी पत्तियों (flat ribbons) को आपस में रिवेट (rivet) द्वारा या ब्रेजिंग (brazing) द्वारा जोड़ा जाता है, तब उसमें होने वाले तापमान में परिवर्तन से दोनों धातुओं की पत्तियों में अलग-अलग स्वतन्त्र प्रसार (expansion) होता है जो तापमान परिवर्तन के समानुपाती होता है।" द्विधात्विक तापमापी इसी सिद्धान्त पर कार्य करता है; जिसको चित्र-61 में दिखाया गया है।



चित्र 61 : द्विधात्विक तापमापी का कार्यकारी सिद्धान्त

चित्र-61 के अनुसार द्विधात्विक तापमापी के पत्तियों की कोणीय गति निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात की जा सकती है।

$$\text{कोणीय गति} = \frac{CTL}{t}$$

जहाँ, कोणीय गति को डिग्री (°) में मापते हैं।

तथा C = पत्ती के लिये स्थिरांक/°C में

T = तापमापन में परिवर्तन °C में (सेन्टीग्रेड)

L = पत्ती की लम्बाई सेमी० में

t = पत्ती की मोटाई सेमी० में

इस तापमापी में प्रयोग किये जाने वाले धातु की पत्तियों का चयन तापमान के परास (range) एवं उनके भौतिक गुणों के आधार पर किया जाता है। ये पत्तियाँ विशेष एलॉय (alloy) के बने होते हैं। एलॉय (alloy) का चयन करते समय यह ध्यान रखा जाता है कि उसमें निम्न गुण होने चाहिएँ—

(i) तापीय प्रसार गुणांक (Co-efficient of thermal expansion)

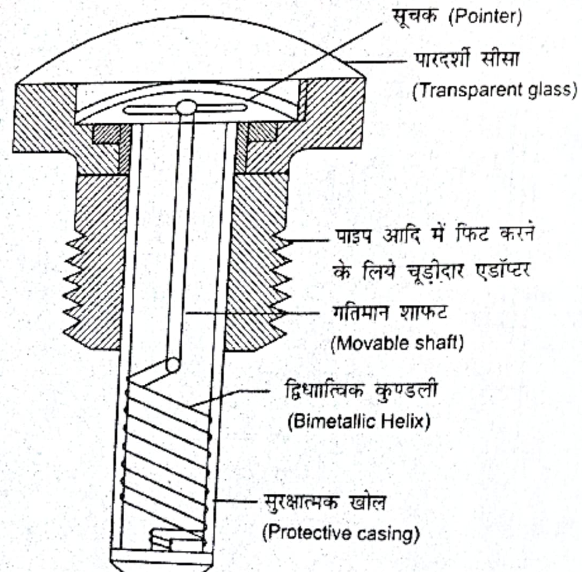
(ii) प्रत्यास्थता गुणांक (Modulus of elasticity)

(iii) विद्युतीय चालकता (Electrical Condutivity)

(iv) धातुकर्मीय स्थायित्व (Metallurgical Stability)

इस तापमापी के लिये आमतौर पर इनवाट (invat) तथा टिन (tin) एलॉय की धातु पत्तियाँ का प्रयोग किया जाता है। इनवाट का प्रसार गुणांक $0{\cdot}189 \times 10^{-4}$ तथा टिन का प्रसार गुणांक $0{\cdot}009 \times 10^{-4}$ होता है।

द्विधातु पत्ती ही तापमापी का आधार होता है जो कुण्डली (helical) के रूप में लपेटी हुई रहती है। द्विधातु पत्ती का एक सिरा स्थिर शाफ्ट (fixed shaft) से बँधा होता है तथा इसका दूसरा सिरा स्वतन्त्र रहता है जो दूसरे गतिशील शाफ्ट (movable shaft) से जुड़ा रहता है। गतिशील शाफ्ट के सिरे पर सूचक (pointer/indicator) लगा रहता है। इस व्यवस्था को चित्र-62 में दिखाया गया है।



चित्र 62 : द्विधात्विक तापमापी

इस तापमापी द्वारा मापन के समय जब तापमान बढ़ता है तब धातु की पत्ती लपेटी होने के कारण स्वयं में खुलने का प्रयास करती है तथा गतिशील शाफ्ट को चक्र के रूप में गति प्रदान करती है। इस प्रकार गतिशील शाफ्ट के चक्र को ताप मापन के पद में अंशांकित (calibrate) करके तापमान का मापन किया जाता है।

द्विधात्विक तापमापी का उपयोग घरेलू युक्तियों (domestic devices) में ज्यादा किया जाता है। इसका उपयोग प्रतिरक्षक कूपों (protective wells), रिफाइनरी (refinery), तेल बर्नरों (oil burners), ऊष्मा सोल्डर टैंकों (thermal solder tank), ऊष्मीय-तार हीटर (thermal wire heaters) इत्यादि में किया जाता है।

द्विधात्विक तापमापी –40°C से लेकर 550°C तक के ताप मापन के लिये प्रयोग किये जाते हैं। इस तापमापी की परिशुद्धता ±1°C होती है।

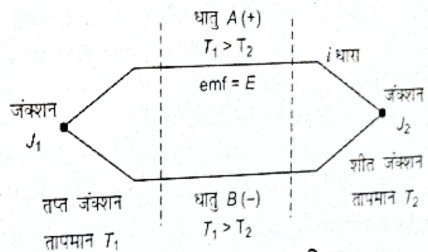
6.53 थर्मोकपल (Thermocouple)

थर्मोकपल (Thermocouple) एक सरल एवं आमतौर पर प्रयोग किये जाने वाला तापमान को मापने की विधि है। थर्मोकपल तापीय विद्युत (Thermo-electricity) के सिद्धान्त पर कार्य करता है। थर्मो-इलेक्ट्रिसिटी का सिद्धान्त (principle of thermo-electricity) की खोज सन् 1821 में सीबैक (Seebeck) नामक वैज्ञानिक द्वारा किया गया था। इस सिद्धान्त के अनुसार 'जब दो विषम धातुओं (dissimilar metals) के चालकों को एक सिरे पर जोड़ दिया जाता है तथा इस जोड़ वाले भाग को स्वतन्त्र सिरों की तुलना में अधिक तापमान पर गर्म किया जाता है, तब उसके स्वतन्त्र सिरों के बीच विद्युत वाहक बल emf (electro magneting force) उत्पन्न होता है।

इस प्रकार यदि इन धातुओं के चालकों के स्वतन्त्र सिरों को किसी यन्त्र द्वारा जोड़ दिया जाये तो वि०वा०बल (emf) के कारण विद्युत धारा (electric current) प्रवाहित होती है। प्रवाहित वि०वा०बल emf की मात्रा दोनों जंक्शन के बीच तापमान में अन्तर तथा चालकों के लिये प्रयोग किये गये पत्तियों के पदार्थ पर निर्भर करता है। इस प्रकार प्रवाहित वि०वा०बल emf के परिवर्तन को तापमान में अंशांकित करके माप लिया जाता है।

पेल्टियर प्रभाव (Peltier Effect) के अनुसार दो अलग-अलग धातुओं को आपस में या परस्पर स्पर्श करने से वि०वा०बल (emf) उत्पन्न होता है तथा थॉमसन प्रभाव (Thomson Effect) के अनुसार एक सिंगल तार (Single Wire) में ताप के गिरने से वि०वा०बल (emf) उत्पन्न होता है। इस प्रकार पेल्टियर एवं थॉमसन प्रभाव के कारण जब दो असमान धातुओं के एक सिरे को जोड़ दिया जाता है एवं इसके बाद इस जोड़ वाले जंक्शन (Junction) को गर्म किया जाता है तब धातु की पत्तियों के बीच वोल्टेज (voltage) उत्पन्न होता है।

चित्र 63 में एक थर्मोइलेक्ट्रिक परिपथ (Thermo-electric circuit) के रेखाचित्र को दिखाया गया है। थर्मोकपल के प्रचलन का आधार भी यही है। इसमें दो विषम धातुयें A एवं B हैं जिनके दो जंक्शन बिन्दु है जो J_1 एवं J_2 द्वारा दर्शाये गये हैं। इस व्यवस्था में यदि जंक्शन J_1 एवं J_2 के तापमान क्रमश: T_1 एवं T_2 आपस में बराबर हों तब दोनों जंक्शन पर ऊष्मीय वि०वा०बल (thermo emf) बराबर परन्तु विपरीत ध्रुवता के होंगे तथा सिस्टम वोल्टेज शून्य (zero) होगा। लेकिन यदि $T_1 \neq T_2$ अर्थात् T_1 का तापमान T_2 से भिन्न हो तब उनके आउटपुट टर्मिनलों पर एक ही वोल्टता प्राप्त होगी। इस प्रकार वोल्टता का मान परिपथ बनाने में लगे धातुओं A एवं B तथा तापान्तर $T_1 \approx T_2$ के समानुपाती होता है।



चित्र 63 : थर्मोकपल का मूल परिपथ

इस परिपथ में धारा का प्रवाह तब तक बना रहता है। जब तक कि T_1 का मान T_2 के मान से ज्यादा रहेगा (अर्थात् $T_1 > T_2$)। ऐसी स्थिति में धातु A धनात्मक (+ve) एवं धातु B ऋणात्मक (–ve) होगा तथा धारा का प्रवाह तप्त से शीत जंक्शन की तरफ रहेगा। इस प्रकार वि०वा०बल emf का उत्पादन तप्त एवं शीत जंक्शनों के तापमान के अन्तर का फलन (function) होता है। इसे निम्न सूत्र द्वारा व्यक्त किया जा सकता है— $E = a\Delta\theta$

जहाँ, $\Delta\theta$ = तप्त एवं शीत जंक्शनों के तापमान का अन्तर है।

6.53.1 ताप विद्युत नियम (Thermo Electric Law)

ताप विद्युत नियम निम्नलिखित हैं—

1. किसी सर्वांगसम धातु (homogeneous metal) को यदि गर्म किया जाये तो वह विद्युत धारा का उत्पादन करने अथवा उसे अपने अन्दर संचित करने में सक्षम नहीं होती है।

2. ताप विद्युत वि०वा०बल (thermo electric emf) का उत्पादन ऐसी स्थिति में होता है जब किसी दो विषम सर्वांगसम धातुओं के जंक्शन को अलग-अलग तापमान पर रखते हैं तथा यह वि०वा०बल emf चालकों में तापमान-ढाल (temperature gradient) से प्रभावित नहीं होता है।

3. दो विषम सर्वांगसम धातुओं के परिपथ जिनके जंक्शनों पर तापमान अलग-अलग होते हैं, एक तीसरे सर्वांगसम चालक के इस परिपथ में जोड़ने के परिणामस्वरूप परिपथ में उत्पन्न वि०वा०बल को किसी भी तरह से प्रभावित नहीं करता है।

6.53.2 थर्मोकपॅल का सम्बन्ध

यदि किसी थर्मोकपॅल का संदर्भ तापमान (reference temperatue) T_1°C तथा उसका मापन तापमान (measuring temperature) T_2°C हो तथा

e_{AB} = धातु पत्ती A व B के तापयुग्म का वि०वा०बल (emf)

e_{BC} = धातु पत्ती B व C के तापयुग्म का वि०वा०बल (emf)

e_{AC} = धातु पत्ती A व C के तापयुग्म का वि०वा०बल (emf)

तब $$e_{AC} = e_{AB} + e_{BC}$$

6.54 थर्मिस्टर (Thermistor)

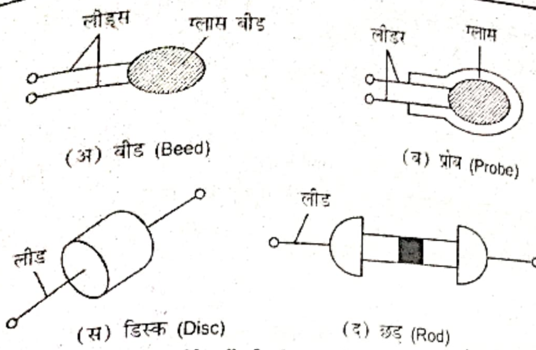
थर्मिस्टर एक ऐसा यन्त्र है, जो तापमान को अभिग्रहण (sense) करता है तथा ऊष्मीय प्रतिरोध परिवर्तन के आधार पर कार्य करता है। थर्मिस्टर को ऊष्मीय अधात्विक प्रतिरोधक (thermal non-metallic resistor) भी कहते हैं।

थर्मिस्टर अर्धचालक (semi conductor) पदार्थों (प्रायः सेरेमिक) के बने होते हैं। इन पदार्थों के प्रतिरोध, तापमान में वृद्धि होने से बढ़ने के स्थान पर घटते हैं अर्थात् ये ऋणात्मक प्रतिरोध ताप गुणांक (negative temperature co-efficient) वाले होते हैं।

तापमान के बढ़ने पर थर्मिस्टर का प्रतिरोध बहुत अधिक घटता है तथा तापमान के घटने पर इसका प्रतिरोध बहुत अधिक बढ़ता है। इस प्रकार इसके द्वारा तापमान के बहुत ही सूक्ष्म परिवर्तनों को भी मापा जा सकता है जबकि तापमान के बहुत सूक्ष्म परिवर्तन को प्रतिरोधी तापमापी या थर्मोकपॅल द्वारा नहीं मापा जा सकता है। इसलिए थर्मिस्टर का प्रयोग ज्यादा किया जाता है। उच्च कोटि की संवेदनशीलता के कारण इसका प्रयोग परिशुद्ध तापमान मापन में किया जाता है। थर्मिस्टर का प्रयोग −100°C से लेकर 350°C तक के परास के तापमान के मापन के लिए किया जाता है। इसकी प्रतिरोधकता (resistivity) 0·5 Ω से लेकर 1 mΩ तक परिवर्तित होती है।

6.54.1 संरचना (Construction)

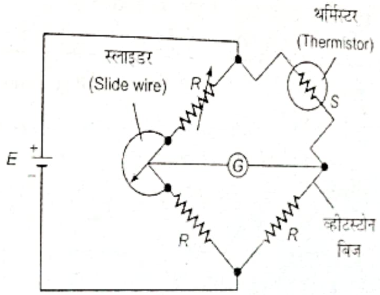
थर्मिस्टर की संरचना ऐसे पदार्थों जैसे—निकिल, कोबाल्ट, मैंगनीज, जरमेनियम इत्यादि से बनी होती हैं। ये पदार्थ सिंगल क्रिस्टल अर्द्धचालक (single crystal semiconductor) के रूप में होते हैं। इन पदार्थों की प्रतिरोधकता काफी अधिक होने के कारण थर्मिस्टर को आकार में छोटा बनाया जाता है। इसमें प्रयोग में आने वाले अर्द्धचालक को बीड (beed), प्रोब (probe), डिस्क (disc) या छड़ (rod) का आकार देकर सही ढंग से डिप करने के बाद एक पाइरेक्स बीड (pyrex beed) में बन्द कर देते हैं तथा परिपथ में जोड़ने के लिये उसके लीड्स (leads) को बाहर निकाल दिया जाता है। विभिन्न प्रकार के थर्मिस्टर को चित्र-64 में दिखाया गया है।



चित्र 64 : थर्मिस्टरों की संरचना की विभिन्न आकृतियाँ

6.54.2 थर्मिस्टर द्वारा तापमान का मापन (Measurement of Temperature by Thermistor)

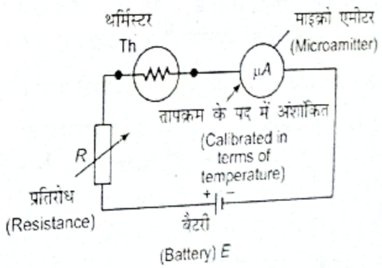
प्रतिरोधी तापमापी की ही तरह तापमान के मापन के लिये थर्मिस्टर को चित्र-65 में दिखाये गये व्यवस्था के अनुसार परिपथ (circuit) में जोड़ दिया जाता है। तापमान के परिवर्तित होने पर थर्मिस्टर के प्रतिरोध में परिवर्तन होता है जिस कारण परिपथ में प्रवाहित धारा में भी परिवर्तन होता है जिससे ब्रिज असन्तुलित हो जाता है। ब्रिज के असन्तुलन को स्लाइडर वायर की स्थिति में परिवर्तन करके ब्रिज को संतुलित कर दिया जाता है। इस प्रकार स्लाइडर वायर की नई स्थिति ही तापमान के परिवर्तन की माप होती है।



चित्र 65 : ताप मापन हेतु थर्मिस्टर एवं स्लाइड वायर का ब्रिज में संयोजन

इस प्रकार यदि थर्मिस्टर में 1°C भी तापमान में परिवर्तन होगा तब उसके प्रतिरोध में काफी उच्च परिवर्तन होता है। औद्योगिक प्रयोग में आने वाले थर्मिस्टर में 25°C सामान्य ताप पर 2000 Ω का प्रतिरोध होता है तथा उसका प्रतिरोध ताप गुणांक 3·9 प्रतिशत/°C होता है। इस प्रकार यदि थर्मिस्टर में 1°C परिवर्तन होने पर उसके प्रतिरोध में 78 Ω का प्रतिरोध होता है।

वांछित तापमान के मापन के लिये थर्मिस्टर को एक बैटरी (battery) एवं एक माइक्रो-एमीटर (micro-ammiter) के साथ साधारण श्रेणी परिपथ में जोड़ दिया जाता है। माइक्रो एमीटर को सीधे डिग्री ताप में अंशांकित करके 0·1°C तक तापमान के परिवर्तन को आसानी से जाना जा सकता है। इस व्यवस्था को चित्र 66 में दिखाया गया है।



चित्र 66 : थर्मिस्टर द्वारा ताप मापन

6.54.3 लाभ (Advantages)

(i) ये आकार में छोटे, काम्पैक्ट, सस्ते एवं मजबूत होते हैं।

(ii) इसके परिपथ में एक सहायक हीटिंग एलीमेन्ट (heating element) लगाकर इसके प्रचालन में स्थिरता लायी जा सकती है।

(iii) इसमें प्रयोग होने वाले पदार्थ के द्रव्यमान एवं ऊष्माधारिता के आधार पर इसका प्रत्योत्तर समय (response time) सेकेण्ड के चौथाई भाग से लेकर कुछ मिनटों तक हो सकता है।

(iv) इसको मापन परिपथ से कुछ दूरी पर भी स्थापित किया जा सकता है।

6.54.4 उपयोग (Uses)

थर्मिस्टर का प्रयोग ऊष्मीय चालकता (thermal conductivity), उच्च आवृत्ति पर शक्ति का मापन, द्रवों का प्रवाह, दाब का मापन इत्यादि के साथ-साथ तापमान के परिवर्तन को मापने के काम आता है।

6.55 प्रकाशीय उत्तापमापी (Optical Pyrometer)

6.55.1 सिद्धान्त (Principle)

किसी भी धातु की सतह (metallic surface) को जब गर्म किया जाता है तो वे अलग-अलग तरंगदैर्ध्य (wavelength) के विकिरण उत्सर्जित (radiation emits) करती हैं जो कम तापमान पर दिखाई नहीं देती हैं जबकि लगभग 550°C पर उत्सर्जित विकिरण छोटी तरंगदैर्ध्य वाले होते हैं तथा वे आँखों से दिखाई भी देते हैं। इस प्रकार उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा (radiation energy) का मान प्रकाश की तीव्रता पर निर्भर करता है। प्रकाश की तीव्रता से उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा के रंग (colour) को देखकर ही संभावित तापमान का अंदाजा लगाकर निर्णय लिया जाता है। प्रकाश की तीव्रता का रंग एवं उसके अनुसार संभावित तापमान को निम्न तालिका में दर्शाया गया है—

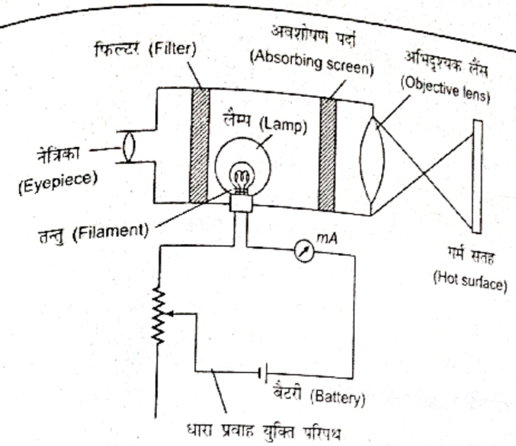
क्रम संख्या (S.No.)	प्रकाश तीव्रता का रंग (Colour)	संभावित तापमान (Temperature)
1.	गहरा लाल (Dark Red)	550°C
2.	मध्यम चेरी लाल (Medium Cherry Red)	700°C
3.	नारंगी (Orange)	900°C
4.	पीला (Yellow)	1000°C
5.	सफेद (White)	1200°C

परन्तु उपरोक्त विधि बहुत यथार्थ नहीं है क्योंकि यह ऑपरेटर या काम करने वाले के विवेक पर निर्भर करता है तथा तालिका में बताये गये तापमान में भी 10–20°C तक का परिवर्तन हो सकता है।

6.55.2 अदृश्य तन्तु प्रकाशीय उत्तापमापी रचना (Construction of Vanishing Filament Pyrometer)

अदृश्य तन्तु प्रकार का प्रकाशीय उत्तापमापी को चित्र-8 में रेखाचित्र द्वारा दिखाया गया है। यह एक मुख्य प्रकाशीय उत्तापमापी है, जिसके मुख्य अंग (parts) निम्न हैं—

(i) गर्म सतह (Hot Surface)
(ii) अभिदृश्यक लेन्स (Objective Lens)
(iii) अवशोषण पर्दा (Absorbing Screen)
(iv) फिल्टर (Filter)
(v) नेत्रिका (Eye-piece)
(vi) तन्तु लैम्प (Filament Lamp)
(vii) लैम्प में विद्युत धारा प्रवाह करने की युक्ति (Current Flow device in filament lamp)



चित्र 67 : अदृश्य तन्तु प्रकाशीय उत्तापमापी

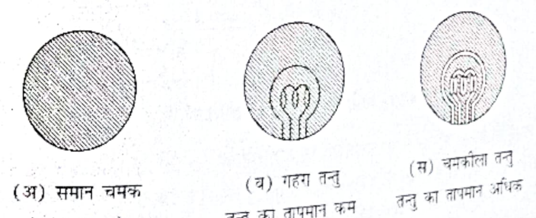
इस प्रकार उपरोक्त अंगों को चित्रानुसार व्यवस्थित करके इस उत्तापमापी का निर्माण होता है।

6.55.3 क्रिया (Working)

इस उत्तापमापी द्वारा मापन करने में, इसके गर्म सतह (hot surface) या गर्म स्रोत (hot sources) से उत्सर्जित विकिरण (emitted radiation) लेन्स के माध्यम से अवशोषण पर्दे (absorbing screen) पर छाया (image) बनाती है। तत्पश्चात् चित्र-68 के अनुसार व्यवस्थित लैम्प (lamp) में बैटरी द्वारा धारा का प्रवाह बनाया जाता है। विद्युत लैम्प में धारा का समायोजन धारा प्रवाह करके तन्तु की तीव्रता को संमजित (adjust) किया जाता है तथा पर्दे पर बनने वाले छाया से उसकी तुलना की जाती है। तन्तु की तीव्रता को नेत्रिका (eye-piece) और फिल्टर (filter) के द्वारा देखकर उत्सर्जित विकिरण के तरंगदैर्ध्य के निकटतम संभावित रंग का अनुमान लगाया जाता है।

तन्तु से प्रवाहित धारा का भी समायोजन (adjustment) करके तन्तु एवं छाया की प्रकाश तीव्रता को एक समान चमक वाला बना लिया जाता है। जब स्रोत से उत्सर्जित विकिरण की छाया और तन्तु की चमक (brightness) एक समान हो जाती है तब तन्तु की आउटलाइन (outline) अदृश्य हो जाती है जिसको चित्र-68 (अ) में दिखाया गया है। ऐसी स्थिति में विकिरण छाया एवं तन्तु का तापमान एकसमान होगा।

यदि तन्तु की चमक अधिक हो एवं वह छाया के समान हो तब तन्तु का तापमान वांछित तापमान से अधिक होगा, जिसको चित्र 68 (स) में दिखाया गया है, परन्तु इसी स्थिति में यदि तन्तु, छाया की तुलना में गहरा दिखता है तब तन्तु का तापमान कम होगा। इसको चित्र-68 (ब) में दिखाया गया है।



चित्र 68

हम जानते हैं कि किसी तरंगदैर्ध्य के लिये प्रकाश की तीव्रता, उसके विकिरण स्रोत के तापमान पर निर्भर करती है, उसी स्थिति में तन्तु का तापमान, विद्युत धारा प्रवाहित करने वाली युक्ति द्वारा लैम्प में प्रवाहित धारा पर निर्भर करता है। प्रकाशीय उत्तापमापी (optical pyrometer) को तन्तु धारा के पदों में या परिपथ के प्रतिरोध के पदों में अंशांकित (calibrate) करके मापन ज्ञात किया जाता है।

इस उत्तापमापी द्वारा तापमान का मापन लैम्प के अधिकतम ग्राही तापमान द्वारा होता है इसलिये इसके द्वारा 1400°C तक के तापमान का मापन किया जा सकता है। परन्तु यदि अभिदृश्यक लेन्स के पास कुछ दूरी पर एक अवशोषण पर्दा (absorption screen) और लगा दिया जाये तो इसके द्वारा 3000°C तक तापमान का मापन किया जा सकता है।

6.55.4 उपयोग (Uses)

प्रकाशीय उत्तापमापी का प्रयोग उच्च तापमान मापन में किया जाता है। इसका प्रयोग भट्ठियों (furnaces), पिघली धातुओं (molten metals) तथा अतितप्त पदार्थों के परिशुद्ध तापमान मापन में किया जाता है।

6.56 विकिरण उत्तापमापी (Radiation Pyrometer)

6.56.1 सिद्धान्त (Pricnciple)

किसी वस्तु के गर्म होने से उससे उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा (emitted radiation energy) तापमान को बढ़ाने से बढ़ती है। विकिरण उत्तापमापी इसी सिद्धान्त पर कार्य करता है। यह सिद्धान्त विशेष रूप से उच्च तापमाप मापन के लिये प्रयोग किया जाता है। विकिरण ऊर्जा की गणना स्टीफैन-बोल्ट्जमैन (Stefan-Boltzmann) सूत्र से की जाती है जो निम्न है—

$$W = OeT^4$$

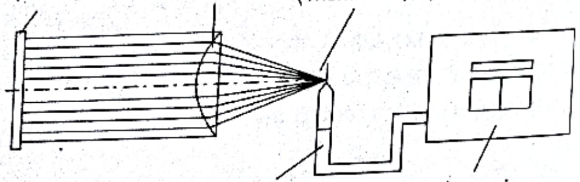
जहाँ W = विकिरण ऊर्जा (radiant energy) BTU/sq.ft/hr.

O = स्टीफैन स्थिरांक (Stefan Constant) $= 1 \cdot 71 \times 10^{-9}$ BTU/sq.ft/hr.

T = परम तापमान (Absolute Temperature)

e = सतह की उत्सर्जनता (emissivity of surface) बिना माप के अंक 0 से 1 के बीच (0·90 इस्पात के लिये)

विकिरण उत्तापमापी के द्वारा तापमान मापन के सिद्धान्त को चित्र-69 में दिखाया गया है।



चित्र 69 : विकिरण उत्तापमापी का कार्य सिद्धान्त

जब किसी गर्म वस्तु से निकलने वाली या उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा (emitted radiation energy) को लेन्स (lens) के द्वारा अभिसारित (converge) करके थर्मोकॅपल (Thermocouple) पर भेजा जाता है तब उससे उत्पन्न वि०वा०बल (emf) को विकिरण आउटपुट के रूप में मिली वोल्टमीटर को भेजी जाती है जहाँ उसको तापमान के रूप में अंशांकित (calibrate) करके विकिरण उत्तापमापी को मापन के लिये दे दी जाती है।

6.56.2 उपयोग (Uses)

विकिरण उत्तापमापी का उपयोग निम्न तापमान मापन कार्यों के लिये किया जाता है—

(i) इसका प्रयोग उच्च तापमान मापन के लिये किया जाता है।

(ii) इसका प्रयोग उस विषम परिस्थितियों में किया जाता है जहाँ तापमान मापने के लिये किसी प्रक्रम से भौतिक सम्पर्क बनाना सम्भव न हो सके।

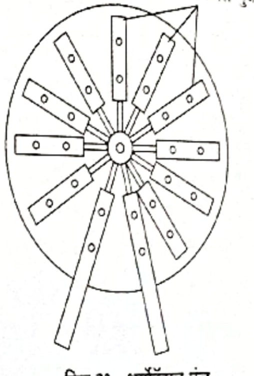
(iii) इसका प्रयोग ऐसी स्थिति में भी किया जाता है जहाँ गर्मी से उत्पन्न संक्षारण वाष्प (corrosion vapour) या किसी तरल के आने से तापमापी खराब होने का डर रहता है।

(iv) इसका प्रयोग ऐसे तापमान सीमा के मापन में किया जाता है जहाँ भट्ठी (furnace) की गर्मी से थर्मोकॅपल को नुकसान होने का डर हो या मापन में गलती होने का डर हो।

विकिरण उत्तापमापी द्वारा तापमान मापने में गर्म वस्तु से उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा को उपयुक्त राशि में परिवर्तित करने के लिये निम्न युक्तियाँ प्रयोग में लायी जाती हैं—

1. थर्मोकॅपल पुंज (Thermopile)
2. निर्वात थर्मोकॅपल (Vacuum Thermocouple)

(1) थर्मोकॅपल पुंज (Themopile)—विकिरण उत्तापमापी की व्यवस्था में जिस युक्ति से तापमान अभिग्रहण (temperature sensing) का कार्य लिया जाता है उसे थर्मोकॅपल पुंज (Thermopile) कहते हैं। कई छोटे-छोटे थर्मोकॅपल को मिलाकर थर्मोकॅपल पुंज का निर्माण होता है। थर्मोकॅपल पुंज को चित्र-70 में दिखाया गया है।



चित्र 70 : थर्मोकॅपल पुंज

थर्मोकॅपल पुंज में चपटा (flattened) तथा कालिख-पुता (blackened) थर्मोकॅपल का प्रयोग किया जाता है ताकि उन तक पहुँचने वाली समस्त विकिरण ऊर्जा को निमग्न (absorb) किया जा सके। इसमें लगे सारे थर्मोकॅपलों में जनित कुल वि०वा०बल (emf) का मान थर्मोकॅपल पुंज (thermopile) पर प्राप्त हो जाता है।

(2) निर्वात थर्मोकॅपल (Vacuum Thermocouple)—निर्वात थर्मोकॅपल में एक ताप जंक्शन (Thermo-junction) होता है। ये ताप जंक्शन कालिख-पुते (blackend) पत्ती (strip) से बने होते हैं जो थर्मोकॅपल की तरह कार्य करते हैं। इन्हें वायुरहित निर्वात खोल (vacuum casing) में रखा जाता है, इसलिये इसे निर्वात थर्मोकॅपल कहते हैं। निर्वात खोल में बने एक ओपनिंग (opening) के द्वारा इससे विकिरण ऊर्जा (radiation energy) प्राप्त की जाती है। थर्मोकॅपलों को निर्वात खोल में रखने के कारण इससे होने वाले ऊष्मा हानि (heat loss) में बहुत कमी आ जाती है।

थर्मोकॅपल के जंक्शन पर तापमान में वृद्धि के कारण वि०वा०बल (emf) उत्पन्न होता है। जंक्शन द्वारा विकिरण ऊर्जा के छोटे से छोटे परिमाण को भी आसानी से ग्रहण (sense) किया जा सकता है। इस यंत्र में अपेक्षाकृत कम ऊष्मा हानि के कारण इसका मापन ज्यादा परिशुद्ध होता है।

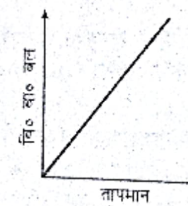
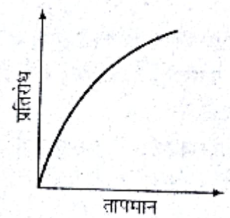
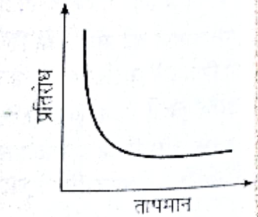
उत्तापमापी की सुरक्षा के लिये इसकी प्रणाली में पानी (water) या वायु द्वारा ठण्डा करने की युक्ति भी लगी रहती है। गर्म वस्तु या निकलने वाली ज्वाला से लेन्स एवं मापन यूनिट को बचाने के लिये इसमें सिलिकॉन कारबाइड (silicon carbide) की एक टारगेट नली (target tube) लगाई जाती है।

इसके द्वारा लिया गया तापमान का मापन काफी परिशुद्ध होता है। अलग युक्ति लगाकर सीधे ही तापमान का अंकीय मान (digital value) प्राप्त किया जा सकता है।

6.57 थर्मोकॅपल एवं प्रतिरोध तापमापी में अन्तर (Difference between Thermocouple and Resistance Thermometer)

क्रमांक	थर्मोकॅपल (Thermocouple)	प्रतिरोध तापमापी (Resistance Thermometer)
1.	थर्मोकॅपल द्वारा अधिक परास (range) तक तापमान का मापन किया जा सकता है।	प्रतिरोध तापमापी द्वारा कम परास (range) तक तापमान का मापन किया जाता है।
2.	इसकी स्थापना एवं इससे मापना सरल होता है।	इसकी स्थापना एवं इससे मापना अपेक्षाकृत कठिन होता है।
3.	इसके द्वारा गर्म एवं सन्दर्भ जंक्शन के बीच तापान्तर का मापन किया जाता है।	इसके द्वारा सीधे ही तापमान का मापन किया जाता है क्योंकि यह एक प्रतिरोध तापमान का सीधा फलन (function) होता है।
4.	इससे उत्पन्न वि०वा०बल (emf) आउटपुट बहुत अच्छा नहीं होता है।	प्रतिरोध प्रति डिग्री तापमान में अधिक होने पर ये ज्यादा सुग्राही होते हैं।
5.	इसमें यथार्थता, तापमान के परिवर्तन से प्रभावित होती है।	इसमें यथार्थता प्रभावित नहीं होती है।
6.	थर्मोकॅपल का प्रत्योत्तर समय (response time) तेज होता है।	इसका प्रत्योत्तर समय (response time) धीमा होता है।

§ 6.58 थर्मोकॅपल, प्रतिरोध तापमापी तथा थर्मिस्टर की तुलना (Comparison among Thermocouple, Resistance Thermometer and Thermistor)

क्रमांक	थर्मोकॅपल	प्रतिरोध तापमापी	थर्मिस्टर
1.	ये सक्रिय ट्रांसड्यूसर होते हैं।	ये निष्क्रिय ट्रांसड्यूसर होते हैं।	ये भी निष्क्रिय ट्रांसड्यूसर होते हैं।
2.	ये चालक होते हैं।	ये चालक होते हैं।	ये अर्द्धचालक होते हैं।
3.	ये लगभग रेखीय होते हैं।	ये अधिक रेखीय होते हैं।	ये अरेखीय होते हैं।
4.	ये सस्ते मापन यंत्र होते हैं।	ये महँगे मापन यंत्र हैं।	ये अपेक्षाकृत कम महँगे होते हैं।
5.	इनका प्रतिरोध ताप गुणांक धनात्मक (+ve) होता है।	इनका प्रतिरोध ताप गुणांक धनात्मक (+ve) होता है।	इनका प्रतिरोध ताप गुणांक ऋणात्मक (−ve) होता है।
6.	इन्हें बाह्य विद्युत स्रोत की आवश्यकता नहीं पड़ती है।	इन्हें बाह्य विद्युत स्रोत की आवश्यकता पड़ती है।	इन्हें भी बाह्य विद्युत स्रोत की आवश्यकता पड़ती है।
7.	तापमान बढ़ने पर इनका वि०वा०बल (emf) बढ़ता है।	तापमान बढ़ने पर इनका प्रतिरोध बढ़ता है।	तापमान बढ़ने पर इनका प्रतिरोध घटता है।
8.	इनके तापमान मापन की सीमा ज्यादा होती है।	तापमान मापन की सीमा अपेक्षाकृत कम होती है।	सीमित तापमान सीमा में ही प्रयोग किये जाते हैं।
9.	50% स्थानों में इनका प्रयोग होता है।	25% स्थानों में इनका प्रयोग होता है।	25% स्थानों में इनका प्रयोग होता है।
10.			

6.59 कम्पनों का मापन (Measurement of Vibrations)

कम्पनों के मापन के बारे में एवं उनको मापने की विधियों के बारे में जानने से पहले यह जानना आवश्यक हो जाता है कि कम्पनों का मशीनों पर क्या-क्या हानिकारक प्रभाव (detrimental effects) पड़ते है तथा कम्पनों के कारण मशीनों पर एवं उससे बनने वाले उत्पाद पर क्या-क्या असर पड़ता है।

मशीनों में क्रिया के दौरान होने वाले असाधारण, असामान्य कम्पनों (abnormal vibrations) के कारण उसमें त्वरित घिसाव (accelerated wear), और बियरिंग घिसाव (bearing wear) में तेजी से वृद्धि होती है जिसके कारण मशीन का तापमान भी काफी बढ़ जाता है जिससे उसके बियरिंग की लाइफ (life) बहुत जल्दी घट जाती है तथा मशीनों में टूट-फूट की सम्भावना भी बढ़ जाती हैं। मशीनों के अनुरक्षण (maintenance) में भी काफी खर्चा होता है तथा समय का भी नुकसान होता है। कम्पनों वाली मशीनों से बनने वाले उत्पाद की गुणवत्ता भी प्रभावित हो जाती है। ऐसे उत्पाद, आधे से भी ज्यादा निष्प्रयोज्य (waste) हो जाते हैं। उनकी विमाओं में भी काफी अन्तर आ सकता है। इस प्रकार हम कह सकते हैं कि कम्पनो से हमारी मशीन, उत्पाद, समय, पैसा इत्यादि की हानि होती है।

मशीनों में कम्पन यांत्रिक व विद्युत असमानता (mechanical and electrical asymmetry), असन्तुलन (imbalance), त्रुटिपूर्ण संरेखन (misalignment), रेजोनेन्स (resonances), स्लिपेज (slippage), खराब बॉल बियरिंग (worn ball bearings), ऑयल व्हिर्ल (oil whirl) तथा ऑयल व्हिप (oil whip) इत्यादि अनेकों कारणों से पैदा हो सकते हैं। इसके अतिरिक्त कारीगर की लापरवाही से भी (जैसे ज्यादा फीड देने से इत्यादि) मशीनों में कम्पन पैदा हो सकता है।

सामान्यतः कम्पनों का मापन ऐसी मशीनों पर किया जाता है जो या तो पश्चाग्र गति (reciprocating motion) करती है या फिर घूर्णी गति (rotating motion) करती हैं। ऐसी मशीनों के डिजाइन (design), विश्लेषण (analysis) तथा त्रुटि-शोधन (trouble shooting) के लिये उनके कम्पनों का मापन किया जाना आवश्यक होता है। कम्पनों के मापन द्वारा ही मशीनों का एवं उससे बनने वाले उत्पाद (product) का गुणात्मक एवं मात्रात्मक (qualitative and quantitative) स्तर निश्चित किया जाता है। कुछ मशीनें जैसे बिजलीघर के टरबाइन (turbine) एवं जनित्र (generator) आदि का कम्पन-अनुश्रवण (vibration monitoring) करना अति आवश्यक होता है।

इस प्रकार हम कह सकते हैं कि मेट्रोलॉजी में कम्पनों का मापन भी महत्वपूर्ण है।

6.60 कम्पनों की प्रकृति (Nature of Vibration)

कम्पन कई तरह के होते हैं। अधिकतर कम्पन ज्यावक्रीय विस्थापन (sinosoidal displacement) की तरह होते हैं जो कम्पित पार्ट में अपनी औसत स्थिति (mean position) पर होते हैं। ऐसे कम्पनों को उसमें होने वाले आयाम (amplitude) और आवृत्ति (frequency) के द्वारा परिभाषित किया जा सकता है।

ज्यावक्रीय कम्पनों का विस्थापन नीचे दिये गये सूत्र द्वारा ज्ञात किया जा सकता है—

$$x = A \sin \omega t$$

जहाँ, A = आयाम (amplitude)

ω = कोणीय आवृत्ति (angular frequency)

तथा गति $$N = \frac{dn}{dt} = A\,\omega \cdot \cos\omega t$$

तथा अधिकतम गति $$N_0 = A\omega$$

इस प्रकार,

त्वरण (acceleration) $$\alpha = \frac{dn}{dt} = A\omega^2 \sin\omega t$$

तथा अधिकतम त्वरण $$\alpha_0 = A\omega^2$$

इस प्रकार मशीन के ज्यावक्रीय कम्पनों को उसके आयाम, आवृत्ति, अधिकतम गति या अधिकतम त्वरण से व्यक्त कर सकते हैं।

6.61 कम्पन-मापन राशियाँ (Vibration Measurement Quantities)

कम्पन करने वाले कारकों जैसे विस्थापन (displacement), गति (velocity), त्वरण (acceleration) इत्यादि द्वारा ही किसी मशीन में प्रायः कम्पन पैदा होते हैं। अतः कम्पन मापन में मुख्य रूप से इन्हीं राशियों की आवश्यकता होती है। इस प्रकार इन राशियों के शिखर मान (peak value) को ज्ञात करना या जानना जरूरी है। कम्पन करने वाली दूसरी राशियाँ जैसे आवृत्ति (frequency) इत्यादि ज्ञात करना जरूरी होता है एवं अमुक आवृत्ति पर कम्पनों की विधि (modes of vibration) के पाठ्यांक लेना भी महत्त्वपूर्ण है।

विस्थापन को उसके शिखर मान से मानते हैं तथा उसे मिमी० या माइक्रोन μm (0·001 मिमी०) में व्यक्त किया जाता है। कम्पन वेग (vibration velocity), मूल माध्य वर्गमान (root mean square value) या RMS value में मिमी०/सेकेण्ड या इंच/सेकेण्ड शिखर में व्यक्त किया जाता है। त्वरण को मीटर/सेकेण्ड^2 (m/s^2) या मिमी०/सेकेण्ड^2 (mm/s^2) अथवा 'g' में व्यक्त करते हैं। कम्पन आवृत्ति को हर्टज् (Hertz) में व्यक्त करते हैं। घूमने वाले मशीनों के लिए यह चक्कर प्रति मिनट (r.p.m.) में व्यक्त करते हैं। इस प्रकार यदि विस्थापन (d), वेग (v), त्वरण (a) तथा आवृत्ति (f) हो, तो—

$$V = 2\pi\, fd$$

तथा

$$a = 4\pi^2 f^2 \cdot d$$

इस समीकरण से राशियों के मान निकाले जा सकते हैं।

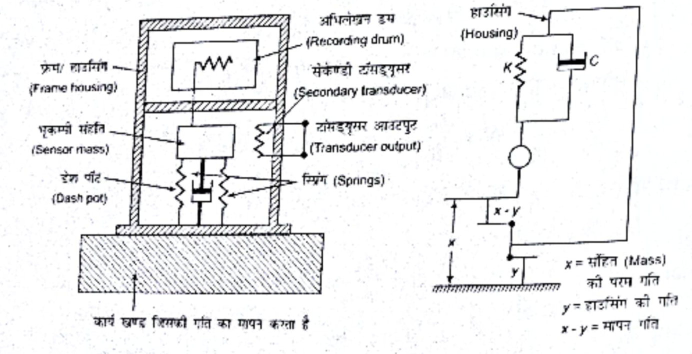
6.62 भूकम्पी त्वरणमापी (Seismic Accelerometer)

मशीनों के गति करने या उनके अवयवों के गति करने के प्रकार (type of motion) के आधार पर कम्पन मापन यन्त्रों को दो समूहों (groups) में बाँटा जा सकता है जो निम्न हैं—

(i) दो बिन्दुओं की एक-दूसरे के सापेक्ष गति (Relative Motion)

(ii) भूमि के सापेक्ष (In respect to the earth) गति (absolute motion)

चूँकि कम्पन मापन में सापेक्ष गति एवं स्थिर रेफरेन्स बिन्दु का होना जरूरी होता है इसलिये कोई स्थिर रेफरेन्स बिन्दु (fixed reference point) न होने के कारण एअरक्राफ्ट के विंग्स (wings of aircraft), स्ट्रक्चर (structure), ब्रिज (bridge) इत्यादि के कम्पन मापन यन्त्र द्वारा सापेक्ष गति (relative motion) का मापन संभव नहीं हो पाता है। इसलिये ऐसी



चित्र 71 : भूकम्पी त्वरणमापी

स्थिति में जहाँ इन कारणों से मापन नहीं होता है वहाँ भूकम्पी प्रणाली (seismic system) द्वारा परम गति (absolute motion) का मापन किया जाता है। कम्पन एवं त्वरण मापन के लिए इस प्रणाली अर्थात् भूकम्प संहति प्रणाली (seismic mass system) का सर्वाधिक प्रयोग किया जाता है। चित्र 71 में भूकम्पी संहति प्रणाली को दिखाया गया है जिसे भूकम्पी त्वरणमापी (seismic accelerometer) कहते हैं।

भूकम्प संहति प्रणाली की इस व्यवस्था में भूकम्प संहति (seismic mass) को स्प्रिंग एवं डैम्पिंग डैश पॉट की सहायता से हाउसिंग फ्रेम पर लगाया जाता है। इसके भूकम्प संहति पर ही एक इंक पेन (inked pen) तथा हाउसिंग में एक अभिलेखन युक्ति (recording mechanism) लगा होता है। हाउसिंग एवं संहति के बीच एक सेन्सिंग तत्व (sensing element) लगा रहता है जो इनके बीच के सापेक्ष गति को संसूचित करने के लिये होता है।

अब यदि भूकम्पी त्वरणमापी के हाउसिंग को ऊपर-नीचे गति दिया जाये तो इसके साथ लगा भूकम्पी संहति (seismic mass) स्पेस में स्थिर रहता है। ऐसी स्थिति में फ्रेम, संहति के सापेक्ष गति करता है। इसी को दूसरे शब्दों में इस प्रकार समझा जा सकता कि इसकी भूकम्पी संहति स्थिर रहती है तथा संहति एवं हाउसिंग के बीच सापेक्ष गति, सपोर्टिंग सदस्य (supporting member) की गति जैसी ही होती है तथा संहति एक वास्तविक स्पेस रेफरेन्स का कार्य करती है।

इसी प्रकार जब संहति में स्प्रिंग एवं डैश पॉट द्वारा बल लगाया जाता है तब उसमें भी गति होती है। इसलिये यह स्थिर रेफरेन्स का अनुमान मात्र होता है।

वास्तव में भूकम्पी त्वरणमापी (seismic accelerometer) संहति के जड़त्व (inertia of mass) के द्वारा त्वरण का फलन (function) है। इस प्रकार इस यंत्र के आउटपुट को संहति एवं हाउसिंग के बीच सापेक्ष गति यानि त्वरण के समानुपाती समायोजित (adjust) कर लिया जाता है। भूकम्पी ट्रांसड्यूसर (seismic transducer) दो प्रकार की विधा (modes) पर कार्य करते हैं—

(i) विस्थापन विधा (Displacement Mode)

(ii) त्वरण विधा (Acceleration Mode)

संहति के चयन, स्प्रिंग तथा हाउसिंग के संयोजन पर अमुक विधा का चयन किया जाता है। सामान्यतः बड़ी संहति एवं नरम स्प्रिंग के संयोजन के लिये विस्थापन विधा का चयन किया जाता है तथा छोटी संहति एवं कड़े (hard) स्प्रिंग के संयोजन के लिये त्वरण विधा का चयन किया जाता है।

6.63 त्वरणमापी के प्रकार (Types of Accelerometer)

त्वरणमापी कई प्रकार के होते हैं। त्वरणमापी का प्रयोग आवश्यकतानुसार डैम्पिंग के परास एवं प्राकृतिक आवृत्ति के अनुसार होता है। किसी त्वरणमापी की विशिष्ट विवरणी (specification), प्राकृतिक आवृत्ति, डैम्पिंग अनुपात (damping ratio) तथा पैमाना गुणांक (scale factor) को दर्शाती है तथा यन्त्र के आउटपुट एवं इनपुट के बीच सम्बन्ध स्थापित करती है।

प्रयोग के आधार पर त्वरणमापी कई तरह के होते हैं। कुछ प्रमुख त्वरणमापी निम्न हैं—

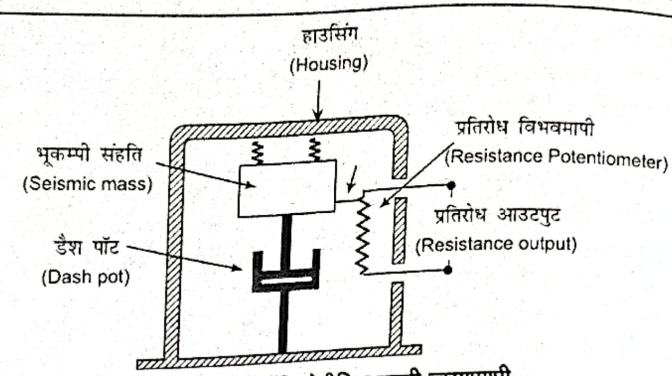
(i) पोटेंशियोमीट्रिक प्रारूपी त्वरणमापी (Potentiometric Type Accelerometer)

(ii) LVDT प्रारूपी त्वरणमापी (LVDT Type Accelerometer)

(iii) पीजोइलेक्ट्रिक त्वरणमापी (Piezo-electric Accelerometer)

6.63.1 पोटेंशियोमीट्रिक प्रारूपी त्वरणमापी (Potentiometric Type Accelerometer)

पोटेंशियोमीट्रिक प्रारूपी त्वरणमापी एक सरल प्रकार का त्वरणमापी है जिसका प्रयोग निम्न आवृत्तियों (low frequency) एवं आवृत्ति के बड़े परास (range) के लिये किया जाता है। यह त्वरणमापी भी परम गति (absolute motion) का मापन करता है। इस त्वरणमापी को चित्र-72 में दिखाया गया है।



चित्र 72 : पोटेंशियोमीट्रिक प्ररूपी त्वरणमापी

इस यन्त्र में लगे भूकम्पी संहति (seismic mass) का सम्पर्क एक प्रतिरोध पोटेंशियोमीटर (resistance potentiometer) के स्लाइडर भुजा (slider arm) से बना रहता है। इसीलिए इस त्वरणमापी को पोटेंशियोमीट्रिक प्रारूपी त्वरणमापी कहा जाता है।

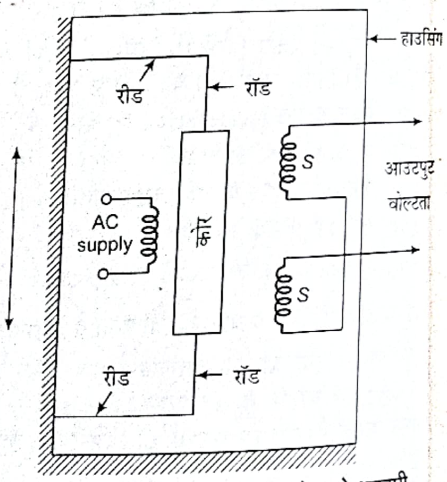
इस प्रकार के त्वरणमापी में भी फ्रेम/हाउसिंग होता है जिसके अन्दर ही डैश पॉट (dash pot), भूकम्पी संहति (seismic mass), वाइपर (wiper), पोटेंशियोमीटर इत्यादि लगे होते हैं।

त्वरणमापी के फ्रेम/हाउसिंग तथा भूकम्पी संहति के बीच सापेक्ष गति (relative motion), पोटेंशियोमीटर में होने वाले प्रतिरोध परिवर्तन या यन्त्र में लगे प्रतिरोध आउटपुट (resistance output) से प्राप्त वोल्टता आउटपुट (output voltage) के परिवर्तन के समानुपाती होता है। इस यन्त्र का उपयोग बड़े परास (high range) की आवृत्ति के लिये भी किया जाता है, इसके लिये इस यंत्र का सम्पर्क संहति के अवमन्दन (damping) के लिये डैश पॉट से रहता है। अन्य प्रकार के त्वरणमापी की अपेक्षा यह एक सस्ता एवं सरल यंत्र है।

6.63.2 LVDT प्ररूपी त्वरणमापी (LVDT Type Accelerometer)

इस भूकम्पी त्वरणमापी में रेखीय परिवर्ती डिफरेंशियल ट्रान्सफार्मर (Linear Variable Differential Transformer, LVDT) लगा होता है, इसलिये इसे LVDT प्रारूपी त्वरणमापी कहते हैं। इस यंत्र को चित्र-73 में दिखाया गया है।

इस यन्त्र में लगे LVDT की क्रोड (core) भूकम्पी संहति (seismic mass) का कार्य करती है। इसके क्रोड (core) के दोनों सिरे पर एक छड़ (rod) लगा होता है। ये छड़ लचकदार रीड्स (flexible reeds) से जुड़ी रहती है। ये लचकदार रीड्स एक स्प्रिंग की तरह कार्य करती है। इस यंत्र में भी फ्रेम/हाउसिंग होता है जिसके अन्दर सारी व्यवस्थायें होती हैं। लचकदार रीड्स का सम्बन्ध त्वरणमापी के फ्रेम या हाउसिंग से होता है। फ्रेम या हाउसिंग सूक्ष्म कम्पन से भी प्रभावित होते हैं। इस यन्त्र में एक सेन्सर (sensor) भी लगा होता है जो फ्रेम या हाउसिंग के द्वारा कम्पन उत्पन्न होने पर ऊपर-नीचे गति करने लगता है जिसके फलस्वरूप LVDT की सेकेन्ड्री कुण्डली (secondary coil) ए०सी० आउटपुट वोल्टता (A.C. output voltage) प्रदान करती है। इस आउटपुट सिग्नल का



चित्र 73 : LVDT का प्रयोग करने वाले भूकम्पी त्वरणमापी

तब, लोड रहित निर्गम (no load output) वोल्टता,

$$e_0 = \frac{Q}{C} = \frac{dMa}{C}$$

इस प्रकार उपरोक्त समीकरण से यह पता चलता है कि आउटपुट वोल्टता e_0, त्वरण a के समानुपाती होता है। ये त्वरणमापी साइज में छोटे व भार में हल्के होते है। उनका भार औसतन 50 gram होता है। डेम्पिंग काफी कम होने के कारण इनका प्रयोग काफी अधिक आवृति परास (very high frequency range) के लिये किया जाता है।

अभ्यास-प्रश्न (Exercise)

1. निम्नलिखित यांत्रिक राशियों के मापन की विधि का संक्षिप्त वर्णन कीजिए— (BTE)
   (i) रेखीय विस्थापन (ii) रेखीय गति
   (iii) कोणीय गति (iv) स्ट्रोबोस्कोप
   (v) इलेक्ट्रॉनिक काउन्टर।
2. दाब मापन की निम्न युक्तियों का संक्षिप्त वर्णन कीजिए—
   (i) यांत्रिक युक्तियाँ (ii) वैद्युत युक्तियाँ
   (iii) इलेक्ट्रॉनिक युक्तियाँ।
3. चाल (Speed) मापने के लिए कौन-से यन्त्रों का उपयोग किया जाता है? स्ट्रोबोस्कोप की सहायता से चाल कैसे मापी जाती है?
4. दाब मापन में प्रयुक्त सेकेण्ड्री ट्रांसड्यूसरों का वर्णन कीजिए।
5. लोड सेल्स पर संक्षिप्त टिप्पणी कीजिए। (BTE)
6. निम्नलिखित पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए—
   (i) ऑरिफिस प्लेट, (ii) प्रवाह नॉजल,
   (iii) वेन्चुरी ट्यूब।
7. स्ट्रेन गेज से आप क्या कार्य ले सकते हैं? इसके अनुप्रयोग बताइये। **(BTE 1997, 2000, 02, 04, 08, 09)**
8. ट्रांसड्यूसर किसे कहते हैं?
9. प्राइमरी एवं सेकेण्डरी ट्रांसड्यूसर में उदाहरण सहित अन्तर स्पष्ट करें। **(BTE 1998, 01, 05)**
10. ट्रांसड्यूसर के अभिलक्षणों का वर्णन करें।
11. ट्रांसड्यूसर का वर्गीकरण करें एवं उनके कार्यों को संक्षेप में लिखें।
12. विद्युतीय ट्रांसड्यूसर को स्पष्ट करें।
13. सक्रिय एवं निष्क्रिय ट्रांसड्यूसर में उदाहरण सहित अन्तर बताइये। **(BTE 2007, 09, 11)**
14. विद्युतीय ट्रांसड्यूसर के लाभों का वर्णन करें।
15. ट्रांसड्यूसर में काम आने वाली विभिन्न विद्युतीय घटनाओं के नाम बताइये।
16. त्वरण को मापने के लिये विद्युत स्ट्रेन गेज के उपयोग का वर्णन करें।
17. परिवर्ती प्रेरकत्व टाइप स्ट्रेन गेज का सचित्र वर्णन करें।
18. परिवर्ती धारिता टाइप स्ट्रेन गेज का वर्णन करें।
19. सेल्फ जनरेटिंग ट्रांसड्यूसर को समझाइये।
20. पीजो-इलेक्ट्रिक ट्रांसड्यूसर की कार्य प्रणाली को सचित्र समझाइये एवं इनके लाभ व हानि का वर्णन करें। **(BTE 1996, 2006, 09)**

56. विद्युत प्रतिरोध तापमापी के क्रिया सिद्धान्त को समझाइये।
57. द्विधात्विक तापमापी के सिद्धान्त को समझाइये।
58. द्विधात्विक तापमापी का सचित्र वर्णन करें।
59. थर्मोकॅपल के क्रिया सिद्धान्त को समझाइये। (BTE 1998, 2001, 03, 04, 05, 07, 09, 10, 11,
60. थर्मोकॅपल में प्रयोग होने वाले ताप विद्युत नियम का वर्णन करें।
61. थर्मोकॅपल में प्रयोग होने वाले विभिन्न धातुओं के नाम एवं उनके प्रयोग को बताइये।
62. थर्मोकॅपल का सचित्र वर्णन करें।
63. थर्मिस्टर का सिद्धान्त एवं संरचना का सचित्र वर्णन करें। (BTE 2011,
64. थर्मिस्टर द्वारा तापमान का मापन कैसे किया जाता है? समझाइये।
65. थर्मिस्टर के लाभ एवं उपयोग का वर्णन करें।
66. प्रकाशीय उत्तापमापी (Optical Pyrometer) के सिद्धान्त को समझाइये। (BTE 1996, 2000, 01,
67. प्रकाशीय उत्तापमापी की संरचना एवं कार्यविधि का सचित्र वर्णन करें।
68. विकिरण उत्तापमापी (Radiation Pyrometer) के सिद्धान्त का सचित्र वर्णन करें।
69. विकिरण उत्तापमापी के उपयोग को स्पष्ट करें।
70. विकिरण उत्तापमापी के विकिरण ग्राही युक्तियों का वर्णन करें।
71. निम्न पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिये—
   (i) थर्मोकॅपल पुंज (Thermopile)
   (ii) निर्वात थर्मोकॅपल (Vacuum Themocouple)
   (iii) थर्मिस्टर (Thermistor) (BTE 2015
   (iv) थर्मोकॅपल (Themocouple) (BTE 2013, 14
72. थर्मोकॅपल एवं प्रतिरोध तापमापी में अन्तर स्पष्ट करें।
73. थर्मोकॅपल, प्रतिरोध तापमापी एवं थर्मिस्टर की तुलना करें।
74. कम्पनों का मशीनों पर क्या हानिकारक प्रभाव पड़ते हैं? उल्लेख करें।
75. मशीनों पर कम्पनों के पैदा होने के कौन-कौन से कारण होते हैं? (BTE 2007, 08, 11
76. कम्पन मापन में किन-किन राशियों की आवश्यकता होती हैं?
77. भूकम्पी त्वरणमापी (Seismic Accelerometer) का सचित्र वर्णन करें।
78. किन्हीं तीन भूकम्पी त्वरणमापियों के नाम बताइये।
79. पोटेंशियोमीट्रिक प्रारूपी त्वरणमापी (Potentiometric type accelerometer) का सचित्र वर्णन करें।
80. LVDT प्रारूपी त्वरणमापी (LVDT type accelerometer) का सचित्र वर्णन करें।
81. पीजोइलेक्ट्रिक त्वरणमापी (Piezoelectric Accelerometer) का सचित्र वर्णन करें।
82. कम्पनों की प्रकृति का वर्णन करें।
83. निम्न पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिये— (BTE 2006, 09
   (i) LVDT त्वरणमापी
   (ii) पीजोइलेक्ट्रिक त्वरणमापी
   (iii) पोटेंशियोमीट्रिक त्वरणमापी
   (iv) भूकम्पी त्वरणमापी
   (v) त्वरणमापी के प्रकार।

अध्याय 7

मशीन औज़ार परीक्षण (Machine Tool Testing)

7.1 मशीन औज़ार परीक्षण (Machine Tool Testing)

किसी भी मापन-यंत्र (चाहे वह सामान्य हो या परिशुद्ध मापन-यंत्र हो) की परिशुद्धता (accuracy), उसके द्वारा ली गई माप की परिशुद्धता एवं किसी उत्पाद (product) की परिशुद्धता—उस मशीन औज़ार (machine tool) की परिशुद्धता पर निर्भर करती है जिस पर मापन-यंत्र या उत्पाद का निर्माण होता है या फिर उस पर मशीनन कार्य किया जाता है। दूसरे शब्दों में, किसी मशीन औज़ार द्वारा किसी कार्यखण्ड को परिशुद्धता के साथ निर्धारित सीमा (limit) के अन्दर तैयार किया जाना उस यंत्र की परिशुद्धता एवं ऑपरेटर पर निर्भर करता है।

इस अध्याय में मशीन औज़ार की परिशुद्धता के लिये उसके परीक्षण (testing) की जानकारी दी गयी है। किसी मशीन औज़ार की परिशुद्धता की जाँच उसकी ज्यामितीय जाँच (geometrical checks) एवं प्रेक्टिकल परीक्षण (practical testing) करके की जाती है।

7.2 टेस्ट के प्रकार (Types of Tests)

मशीन औज़ारों पर होने वाले टेस्ट या जाँच दो प्रकार के होते हैं—

1. ज्यामितीय जाँच या संरेखन टेस्ट (Geometrical Checks or Alignment Test)
2. प्रेक्टिकल टेस्ट या निष्पादन टेस्ट (Practical Test or Performance Test)

ज्यामितीय जाँच के अन्तर्गत मशीन की सभी विमाओं (dimensions), सभी पार्ट्स या अंगों की स्थिति एवं उनकी विमाओं आदि की जाँच की जाती है। प्रेक्टिकल परीक्षण के अन्तर्गत मशीन द्वारा की जाने वाली मशीनन क्रियाओं, बनने वाले उत्पाद (product) की परिशुद्धता एवं डिजाइन की जाँच की जाती है। मशीन औज़ार की जाँच एवं परीक्षण से पहले मशीन के सेट-अप (set up), कार्यकारी सतह (working plane) एवं उसके अक्ष (axis), क्षैतिज (horizontal) तथा ऊर्ध्वाधर (vertical) सतह की जाँच स्प्रिट लेवल (sprit level) आदि से की जाती है।

7.3 मशीन औज़ार परीक्षण (Machine Tools Tests)

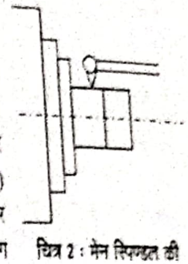
कोई भी मशीनन कार्य या उत्पाद का निर्माण कई कार्यकारी औज़ारों के संयोजन (combination of work-tools) के गति करने से पूरा होता है। दूसरे शब्दों में किसी भी मशीनित सतह या उत्पाद की परिशुद्धता इस बात पर निर्भर करती है कि उस मशीन औज़ार (machine tool) के सभी अंग परिशुद्धतापूर्वक काम कर रहे हों।

इस प्रकार किसी मशीन औज़ार का परीक्षण निम्न चरणों (steps) में किया जाता है—

1. मशीन की क्षैतिज एवं ऊर्ध्वाधर सतह (horizontal and vertical plane) की स्थापना (installation) की जाँच करना।
2. मशीन के सीधेपन (straightness) एवं समतलता (flatness) की जाँच करना।
3. मशीन के बेड-वेज (bed ways) की समान्तरता (parallelism) एवं बियरिंग (bearings) के सतह की जाँच करना।
4. मशीन के गाइड-वेज (guide-ways) के अभिलम्बता (perpendicularity) की जाँच करना।
5. मशीन के स्पिण्डल (spindle) की सही एवं अक्षीय गति (true and axial movement) की जाँच करना।
6. मशीन के स्पिण्डल अक्ष की गाइड-वेज (guide ways) से समान्तरता की जाँच करना।
7. मशीन के अन्य सभी अंगों की गति की रेखा (line of movement) की जाँच करना।

2. मेन स्पिण्डल की ट्रू-रनिंग (True Running of Main Spindle)

लेथ मशीन के मेन स्पिण्डल पर ही लोकेटिंग सिलिण्डर होता है जिस पर चक (chuck) लगा होता है। लोकेटिंग सतह (locating surface) बेलनाकार (cylindrical) होती है और इसकी गति बिल्कुल सही होनी चाहिए ताकि चक या फेस प्लेट (face plate) की ट्रू-रनिंग हो सके।

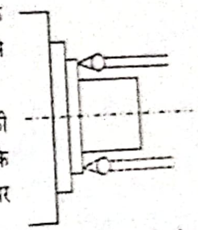


चित्र 2 : मेन स्पिण्डल की ट्रू-रनिंग

इस तरह मेन स्पिण्डल की ट्रू-रनिंग की जाँच करने के लिये एक टेस्ट मैण्ड्रिल (test mandrel) लेते हैं जिसको स्पिण्डल पर बने टेपर होल (taper hole) में फिट कर देते हैं। तत्पश्चात् डायल इंडीकेटर (dial indicator) को कैरेज (carriage) पर या किसी अन्य स्थिर जगह पर फिक्स (fixed) कर दिया जाता है। उसके बाद डायल इंडिकेटर के प्वाइन्टर (pointer) या फीलर (feeler) को टेस्ट मैण्ड्रिल की सतह पर चित्रानुसार स्पर्श (touch) कराया जाता है। जाँच करने के लिये टेस्ट मैण्ड्रिल को उसके अक्ष पर घुमाकर डायल इंडिकेटर द्वारा दिखाये गये पाठ्यांक को देखकर ट्रू-रनिंग की जाँच की जाती है। स्पिण्डल की ट्रू-रनिंग की दशा में डायल इंडिकेटर की सूई (needle) स्थिर रहेगी या उसमें किसी प्रकार की गति नहीं होगी।

3. मेन स्पिण्डल का एक्सियल स्लिप और स्पिण्डल-नोज के शोल्डर फेस की ट्रू-रनिंग (Axial Slip of Main Spindle and True-running of Shoulder-face of Spindle Nose)

स्पिण्डल में लगे बियरिंग के कारण एवं निर्माण में त्रुटि (manufacturing error) के कारण अक्षीय स्पिण्डल गति (axial spindle movement) को अक्षीय स्लिप (axial slip) से परिभाषित (defined) करते हैं।



चित्र 3 : स्पिण्डल-नोज के शोल्डर फेस की ट्रू-रनिंग

इस प्रकार मेन स्पिण्डल का एक्सियल स्लिप और स्पिण्डल-नोज के शोल्डर-फेस की ट्रू-रनिंग की जाँच करने के लिये डायल इंडिकेटर को किसी स्थिर स्थान पर फिक्स करके उसके फीलर या प्वाइंटर को लोकेटिंग स्पिण्डल (locating spindle) के शोल्डर पर चित्रानुसार स्पर्श (touch) कराया जाता है।

अब लोकेटिंग स्पिण्डल को घुमाया जाता है और इंडीकेटर का पाठ्यांक ले लिया जाता है। दो व्यासीय विपरीत बिन्दुओं (two diametrically opposite points) पर यह पाठ्यांक लिया जाता है। इस प्रकार प्वाइंटर की गति से ज्ञात कुल त्रुटियों (total error) से इनकी त्रुटियों के स्रोतों (sources of errors) का पता चलता है, जो निम्न हैं—

1. लोकेटिंग शोल्डर का फेस (face of locating shoulder) लोकेटिंग स्पिण्डल के घुमाव अक्ष (axis of rotation) के लम्बवत् प्लेन (perpendicular plane) में नहीं है।

2. लोकेटिंग शोल्डर को सहारा देने वाली बियरिंग्स (bearings) की स्थिति स्पिण्डल के घुमाव अक्ष पर लम्बवत् नहीं है।

3. स्पिण्डल के फ्रंट-फेस (front face) में अनियमिततायें (irregularities) हैं।

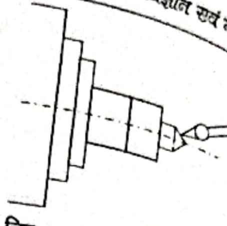
एक्सियल स्लिप के कारण, चूड़ी काटने (thread cutting) में उसकी पिच (pitch) एकसमान (uniform) नहीं होती क्योंकि स्पिण्डल की आवर्ती गति (periodic movement) एकसमान नहीं रहती है।

4. हैड-स्टॉक सेन्टर की ट्रू-रनिंग (True Running of Head-stock Centre)

लेथ मशीन का हैड-स्टॉक का सेन्टर चल सेन्टर या लाइव सेन्टर (live centre) होता है और कार्यखण्ड इसी लाइव सेन्टर के साथ घूमता है। यदि यह सेन्टर स्पिण्डल की गति के अक्ष (axis of movement) से सही/ट्रू (true) न हो, तब कार्यखण्ड पर टर्निंग करते समय उसमें उत्केन्द्रता (eccentricity) उत्पन्न हो जायेगी। ऐसी स्थिति में मेन स्पिण्डल का घुमाव-अक्ष (axis of rotation), कार्यखण्ड के अक्ष (job-axis) से सम्पाती (coincide) नहीं होगा। ऐसी त्रुटि को जाँच करने

के लिये डायल इंडिकेटर के फीलर को लाइव सेन्टर के टेपर-सर्फेस (taper surface) पर चित्रानुसार लम्बवत् (perpendicular) स्पर्श कराते हैं।

इसके बाद स्पिण्डल को घुमाते हैं। डायल इंडिकेटर द्वारा दिखाये गये विचलन (deviation) से हैड-स्टॉक सेन्टर की ट्रू-रनिंग का पता चलता है।

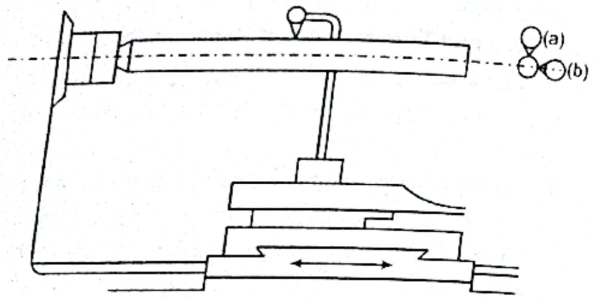


चित्र 4 : हैड-स्टॉक सेन्टर की ट्रू-रनिंग

5. सैडल गति से मेन स्पिण्डल की समान्तरता

(Parallelism of the Main Spindle to Saddle Movement)

सैडल गति से मेन स्पिण्डल की समान्तरता की जाँच क्षैतिज एवं ऊर्ध्वाधर (horizontal and vertical) दोनों प्लेन्स (planes) में करते हैं। इसकी जाँच के लिये मैण्ड्रिल (mendrel) को स्पिण्डल के टेपर सॉकिट में लगा दिया जाता है। जाँच करने के लिये डायल इंडिकेटर के फीलर को चित्रानुसार मैण्ड्रिल पर स्पर्श कराते हैं तथा डायल इंडिकेटर को कैरेज पर फिक्स कर देते हैं। अब कैरेज को आगे बढ़ाते हैं। डायल इंडिकेटर पर लगे डायल 'a' से ऊर्ध्वाधर प्लेन (vertical plane) तथा डायल 'b' से क्षैतिज-प्लेन (horizontal plane) का पाठ्यांक लिया जाता है। इसका पाठ्यांक लेने का तरीका चित्र 5 में दिखाया गया है।



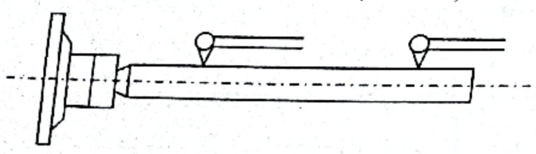
चित्र 5 : सैडल गति से मेन स्पिण्डल की समान्तरता

सही जाँच के लिये मैण्ड्रिल का स्वतन्त्र सिरा ऊर्ध्व प्लेन में कुछ उठा हुआ होना चाहिए जो मैण्ड्रिल के भार (weight of mandrel) और जॉब के भार को प्रभावहीन (counteract) कर सके। परन्तु कटिंग फोर्स (cutting force) को प्रभावहीन करने के लिये मैण्ड्रिल को दूसरे स्वतन्त्र सिरे पर थोड़ा-सा झुका हुआ होना चाहिए।

6. मेन स्पिण्डल में टेपर सॉकेट की ट्रू-रनिंग

(True Running of Taper Socket in Main Spindle)

टेपर सॉकेट के टेपर होल (taper hole) का अक्ष यदि मेन स्पिण्डल के अक्ष से संकेन्द्रित (concentric) नहीं होगा तब थ मशीन से बनने वाला जॉब भी टेपरित (tapered) और उत्केन्द्रित (eccentric) होगा।



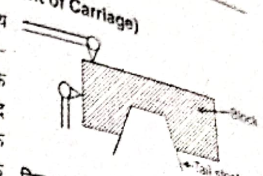
चित्र 6 : मेन स्पिण्डल में टेपर सॉकेट की ट्रू-रनिंग

टेपर सॉकेट की ट्रू-रनिंग की जाँच करने के लिये मैण्ड्रिल को टेपरित होल (tapered hole) में फिक्स कर दिया जाता है। त् चित्रानुसार मैण्ड्रिल के दूरतम छोरों (extreme ends) पर दो डायल इंडिकेटर लगाकर उनके फीलर को चित्रानुसार राया जाता है और इंडिकेटर का पाठ्यांक ले लिया जाता है।

7. कैरेज-गति के साथ टेल-स्टॉक गाइड-वेज की समान्तरता

(Parallelism of Tail-stock Guideways with the Movement of Carriage)

लम्बे जॉब पर मशीनन के लिये कार्यखण्ड को हैड-स्टॉक के साथ-साथ टेल-स्टॉक में भी फँसाना पड़ता है। ऐसी दशा में कार्यखण्ड का अक्ष टेल-स्टॉक सेन्टर से संपाती (coincide) होना चाहिए। चूँकि टेल-स्टॉक बेड के गाइड-वेज पर चलता है तथा उसी पर कैरेज भी चलता है, इसलिये यदि टेल-स्टॉक गाइड-वेज कैरेज की गति के समान्तर नहीं होगा तब टेल-स्टॉक का सेन्टर थोड़ा आउट या ऑफसेट (out or offset) हो जायेगा, जिसके फलस्वरूप कार्यखण्ड पर होने वाला खरादन (turning) टेपर (tapered) होगा।



चित्र 7 : टेल-स्टॉक गाइड-वेज की समान्तरता के साथ कैरेज गति

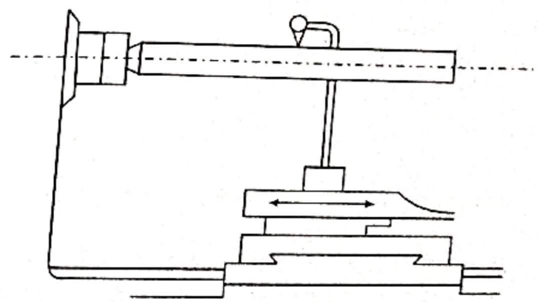
इसलिये टेल-स्टॉक गाइड-वेज की समान्तरता की जाँच जरूरी हो जाता है। इसके लिये टेल-स्टॉक के दोनों प्लेन्स (both planes) यानि क्षैतिज एवं ऊर्ध्वाधर (horizontal & vertical) में जाँच करने के लिये इसके गाइड-वेज पर चित्रानुसार एक ब्लॉक (block) लगा दिया जाता है। तत्पश्चात् डायल इंडिकेटर के फीलर को ब्लॉक के क्षैतिज एवं ऊर्ध्वाधर सतहों पर स्पर्श कराया जाता है। फीलर को स्पर्श कराने के पूर्व डायल इंडिकेटर को कैरेज पर फिक्स कर दिया जाता है। जाँच के लिये कैरेज को चलाया जाता है। इस प्रकार डायल इंडिकेटर के विचलन द्वारा त्रुटि का पता चल जाता है।

8. ऊर्ध्व प्लेन में, मेन स्पिण्डल के साथ अपर-स्लाइड की गति की समान्तरता

(Movement of Upper Slide Parallelism with Main Spindle in Vertical Plane)

इसकी जाँच करने के लिये डायल इंडिकेटर को चित्रानुसार 8 टूल-पोस्ट (tool post) पर फिक्स कर दिया जाता है। पूर्व की भाँति एक मैण्ड्रिल लेकर उसको मेन स्पिण्डल में लगा दिया जाता है।

डायल इंडिकेटर के फीलर को मैण्ड्रिल के ऊर्ध्व प्लेन (vertical plane) में स्पर्श कराते हैं तथा अपर स्लाइड को अनुदैर्ध्य (transverse) दिशा में चलाते हैं। डायल इंडिकेटर के प्वाइंटर के विचलन से त्रुटि की जाँच की जाती है। इस त्रुटि की जाँच क्षैतिज प्लेन (horizontal plane) में नहीं की जाती है क्योंकि टेपर टर्निंग के लिये क्षैतिज प्लेन में स्वीवलिंग अरेन्जमेन्ट (swivelling arrangement) होता है।



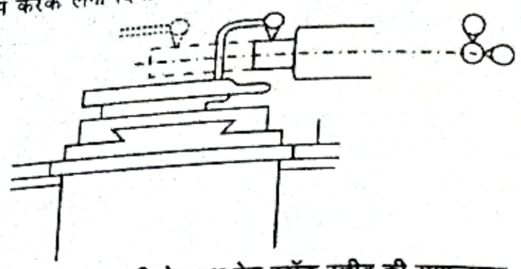
चित्र 8 : ऊर्ध्व प्लेन में, मेन स्पिण्डल के साथ अपर स्लाइड की गति

9. सैडल-गति के साथ टेल-स्टॉक स्लीव की समान्तरता

(Parallelism of Tail-stock Sleeve to Saddle Movement)

टेल-स्टॉक स्लीव की गति यदि सैडल गति के समान्तर नहीं है, तब स्लीव के बाहर निकलने पर डेड-सेन्टर (dead-centre) की ऊँचाई में परिवर्तन होगा। दोनों सेन्टरों के बीच जॉब को सही ढंग से पकड़ने के लिये यह जरूरी है कि डेड-सेन्टर के केन्द्रीय अक्ष, जॉब अक्ष के साथ दोनों प्लेन्स में समाक्षीय (coaxial) हों। ऐसा न होने पर त्रुटि होगी। इसकी

जाँच के लिये चित्रानुसार डायल इंडिकेटर को टूल-पोस्ट पर फिक्स कर दिया जाता है। डायल इंडिकेटर के फीलर को टेल-स्टॉक के स्लीव पर थोड़ा प्रेस करके लगा दिया जाता है। इसको चित्र 9 में दिखाया गया है।



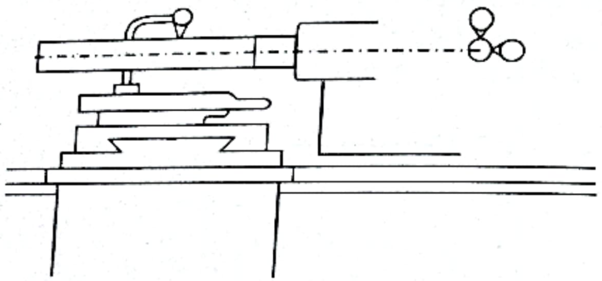
चित्र 9 : सैडल-गति के साथ टेल-स्टॉक स्लीव की समान्तरता

क्षैतिज एवं ऊर्ध्व दोनों प्लेन्स में इसकी जाँच की जाती है। टेल-स्टॉक के स्लीव को पूरा बाहर निकाल लिया जाता है। अब कैरेज को चलाया जाता है। इस प्रकार डायल इंडिकेटर द्वारा दिखाये गये विचलन से समान्तरता की जाँच की जाती है। टेल स्टॉक स्लीव का स्वतन्त्र सिरा ऊर्ध्व प्लेन में थोड़ा-सा ऊपर उठा होना चाहिए तथा क्षैतिज प्लेन में टूल-प्रेशर की दिशा में थोड़ा-सा झुका हुआ होना चाहिए।

10. सैडल-गति के साथ टेल-स्टॉक स्लीव टेपर सॉकेट की समान्तरता (Parallelism of Tail-stock Sleeve Taper Socket to Saddle Movement)

इसकी जाँच करने के लिये मैण्ड्रिल को टेल-स्टॉक के स्लीव सॉकेट में लगाया जाता है।

अब डायल इंडिकेटर को टूल-पोस्ट (tool post) पर फिक्स किया जाता है तथा डायल इंडिकेटर के फीलर को थोड़ा दबाते हुये चित्रानुसार 10 मैण्ड्रिल पर स्पर्श कराया जाता है।

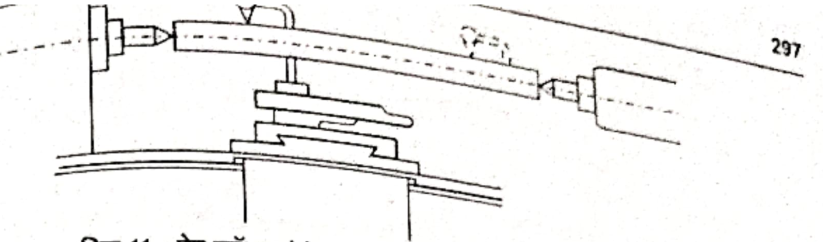


चित्र 10 : सैडल गति के साथ टेल-स्टॉक स्लीव टेपर सॉकेट की समान्तरता

अब सैडल को एक साइड से दूसरी साइड तक इस प्रकार चलाया जाता है कि फीलर पूरे मैण्ड्रिल पर गति कर सके। प्वाइंटर के विचलन (deviation) से इसकी जाँच की जाती है। यह जाँच मैण्ड्रिल के क्षैतिज एवं ऊर्ध्वाधर दोनों प्लेन्स (horizontal and vertical planes) में की जाती है।

11. हेड-स्टॉक एवं टेल-स्टॉक सेन्टर्स का ऊर्ध्व प्लेन में संरेखन (Alignment of both Head-stock and Tail-stock Centres in Vertical Plane)

यह जाँच दोनों सेन्टर्स के ऊर्ध्व प्लेन में किया जाता है। इसके संरेखन की जाँच करने के लिये मैण्ड्रिल को दोनों सेन्टर्स के बीच फिट कर दिया जाता है। डायल इंडिकेटर को कैरेज पर फिक्स कर दिया जाता है तथा डायल इंडिकेटर के फीलर (feeler) को मैण्ड्रिल के ऊर्ध्व प्लेन (vertical plane) की सतह पर चित्रानुसार 11 स्पर्श कराया जाता है।



चित्र 11 : हेड-स्टॉक एवं टेल-स्टॉक सेन्टर्स का ऊर्ध्व प्लेन में संरेखन

अब कैरेज को एक सिरे से दूसरे सिरे तक चलाया जाता है तथा डायल इंडिकेटर के प्वाइंटर के विचलन से त्रुटि की जाँच कर ली जाती है।

12. लीड स्क्रू के पिच की परिशुद्धता (Pitch Accuracy of Lead Screw)

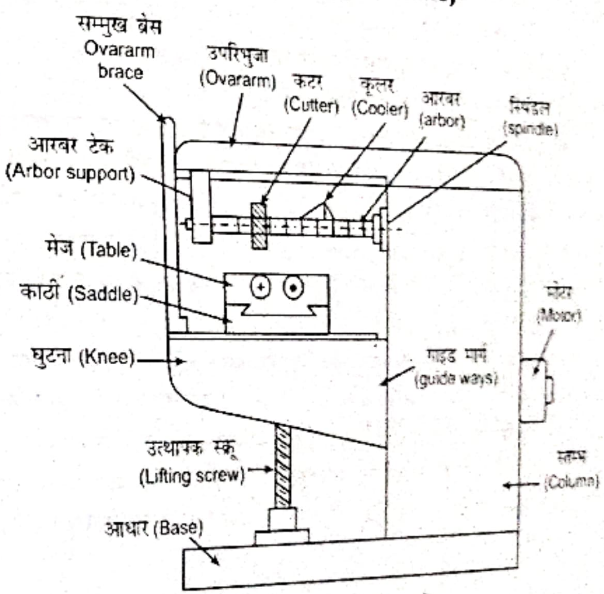
लेथ मशीन द्वारा बनायी गयी चूड़ी (thread) के पिच (pitch) की परिशुद्धता, उसमें लगे लीड स्क्रू (lead screw) के पिच की परिशुद्धता (accuracy) पर निर्भर करती है। इसलिये लीड स्क्रू के पिच की परिशुद्धता की जाँच करनी भी जरूरी है।

इसकी जाँच के लिये एक पॉजिटिव स्टॉप (positive stop) को लेथ के बेड पर लगा दिया जाता है। एक लेंथ बार (length bar) एवं स्लिप गेज (slip guage) को पॉजिटिव स्टॉप के विपरीत लगाया जाता है। डायल इंडिकेटर को कैरेज पर फिक्स कर दिया जाता है तथा इसके फीलर को स्लिप गेज की गणना के बराबर दूरी पर चलाकर इसके पाठ्यांक को नोट कर लिया जाता है। अब स्लिप गेज को हटा दिया जाता है और कैरेज को लीड स्क्रू से जोड़ (connect) दिया जाता है तथा लीड स्क्रू को गीयर ट्रेन (gear train) से अलग (disconnect) कर दिया जाता है। जाँच के लिये लीड स्क्रू को इंडेक्सिंग (indexing) करके लीड स्क्रू को थोड़ा घुमाकर स्लिप गेज के बराबर कैरेज को चलाया जाता है। स्टॉप के सापेक्ष इंडिकेटर के पाठ्यांक को नोट कर लिया जाता है। अगर यह पाठ्यांक पहले के पाठ्यांक के बराबर हो तो इसमें कोई त्रुटि नहीं होती अन्यथा इसमें त्रुटि होगी।

7.5 मिलिंग मशीन पर संरेखन परीक्षण (Alignment test on Milling Machine)

मिलिंग मशीन एक सार्वत्रिक एवं बहुउपयोगी (universal and multipurpose) मशीन होती है। मिलिंग मशीन में घूमने वाले या गति करने वाले कई पार्ट्स (parts) होते हैं। इसलिये मिलिंग मशीन पर संरेखन परीक्षण (alignment test) करने के लिये उसके विभिन्न अंगों के बारे में जानना जरूरी होता है। चित्र 12 में क्षैतिज मिलिंग मशीन तथा उसके मुख्य अंगों को दर्शाया गया है। मिलिंग मशीन के मुख्य अंग निम्न हैं—

1. आधार (Base)
2. स्तम्भ (Column)
3. घुटना (Knee)
4. आरबर (Arbor)
5. स्पिण्डल (Spindle)



चित्र : 12 : क्षैतिज मिलिंग मशीन

6. आरबर टेक (Arbor support)
7. उपरिभुजा (Over Arm)
8. टेबल (Table)
9. ड्रा-बोल्ट (Draw-bolt)
10. सैडल (Saddle)
11. उपरिभुजा ब्रेस (Ovar arm brace)

1. आधार (Base)—मिलिंग मशीन का आधार ढलवाँ लोहे (cost iron) का बना होता है। मशीन के सभी चल एवं अचल अंगों को यह सहारा देता है तथा शॉप-फ्लोर पर मशीन की संस्थापना (installation) के लिये भी स्थान प्रदान करता है।

2. स्तम्भ (Column)—मिलिंग मशीन का स्तम्भ भी ढलवाँ लोहे का बना होता है जो मशीन के आधार पर ही ऊर्ध्वाधर (vertical) जुड़ा (connect) रहता है। इसके आगे की तरफ गाइड-वेज (guide-ways) बने होते हैं जिस पर घुटना (knee) ऊपर-नीचे गति करता है। इसके ऊपर की तरफ उपरि भुजा (over arm) लगी होती है तथा इसके अन्दर स्पिण्डल एवं गियर-चालन यंत्रावली (gear drive mechanism) लगी होती है।

3. घुटना (Knee)—यह घुटने के आकार का होता है जो ऊपर या नीचे गति कर सकता है। इसके ऊपर सैडल तथा टेबल लगे रहते हैं। इसे उत्थापक स्क्रू (elevating screw) द्वारा ऊपर या नीचे किया जा सकता है।

4. आरबर (Arbor)—आरबर एक प्रकार की मिलिंग औजारों या कटर्स को पकड़ने की युक्ति है। इसे मशीन के स्पिण्डल के टेपर छिद्र में लगाया जाता है। इस पर पूरी लम्बाई में की-वेज (key-ways) कटा रहता है जिस पर कटर्स (cutters) को स्थापित किया जाता है।

5. स्पिण्डल (Spindle)—यह बेलनाकार आकार का खोखला पार्ट होता है। इसको दो बियरिंग की सहायता से मशीन के स्तम्भ पर लगाया जाता है। इसके एक सिरे पर मानक टेपर छिद्र (standard taper hole) होता है जिसमें आरबर या एण्ड मिलिंग कटर (end milling cutter) को लगाया जाता है।

6. आरबर टेक (Arbor support)—यह उपरिभुजा (over arm) के डवटेल मार्गों (dovetail ways) पर लटका होता है। इसका काम आरबर को दूसरे सिरे पर सहारा देना होता है। आरबर पर कटर्स को लगाते समय इसका उपयोग किया जाता है। यह ढलवाँ लोहे का बना होता है।

7. उपरिभुजा (over arm)—यह स्तम्भ के ऊपरी सिरे पर लगा होता है, जिसको स्तम्भ के डवटेल मार्गों पर आगे या पीछे किया जा सकता है। इसके दूसरे सिरे पर आरबर टेक (arbor support) लगा होता है। इसका मुख्य कार्य आरबर के दूसरे सिरे को सहारा देना है। यह ढलवाँ लोहे का बना होता है।

8. टेबल (Table)—मिलिंग मशीन का टेबल मशीन के सैडल पर लगा होता है जिस पर कार्यखण्डों को बाँधा जा सकता है। इसकी ऊपरी सतह पर कई सारे T-खाँचे (T-slots) कटे होते हैं जिस पर बोल्ट शीर्ष डालकर कार्यखण्डों को या अतिरिक्त कार्यग्राही युक्तियों (work holding devices) जैसे—फिक्सचर, मशीन-वाइस आदि को बाँधा जा सकता है।

9. ड्रा-बोल्ट (Draw Bolt)—आरबर को मिलिंग मशीन के स्पिण्डल बोर में पकड़ने के लिये ड्रा-बोल्ट का प्रयोग किया जाता है। इसको स्पिण्डल के पिछले भाग में से डालकर आरबर के टेपर भाग में बनी चूड़ियों से कस दिया जाता है।

10. सैडल (Saddle)—सैडल मिलिंग मशीन के घुटने (knee) पर लगा होता है। सैडल के ऊपर ही टेबल लगी होती है। घुटने का गाइड-वेज, सैडल के गाइड-वेज के लम्बवत् (perpendicular) होता है। सैडल द्वारा कार्यखण्ड को क्रास-फीड (cross-feed) दिया जाता है। कटिंग के लिहाज से यह एक महत्त्वपूर्ण अंग होता है।

11. उपरिभुजा ब्रेस (Over arm brace)—आरबर को अतिरिक्त सहारा देने वाली यह एक अतिरिक्त टेक होती है जिसमें खाँचे कटे होते हैं। इसका उपयोग गहरे कट लगाने में या ज्यादा लम्बे कार्यखण्ड पर कार्य करते समय आरबर को अतिरिक्त दृढ़ता देती है। उपरिभुजा ब्रेस में बना खाँचा घुटने की ऊँचाई के लिये अटैचमेंट (attachment) भी प्रदान करता है।

मिलिंग मशीन के विभिन्न परीक्षण (Various Test of Milling Machine)

1. कटर स्पिण्डल की अक्षीय-स्लिप या फ्लोट (Cutter Spindle Axial Slip or Float)

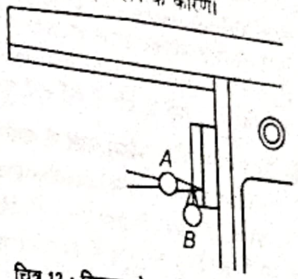
मशीन के निर्माण में त्रुटि (manufacturing error) के कारण मशीन की क्रियाशील अवस्था में स्पिण्डल की अक्षीय गति (axial movement) को जो उसके हरेक चक्कर (revolution) में बार-बार उत्पन्न होता है, कटर स्पिण्डल की अक्षीय स्लिप (axial slip) कहलाता है। मशीन को एसेम्बल करते समय निम्न कारणों से अक्षीय-स्लिप पैदा होती है—

(i) लोकेटिंग शोल्डर या स्पिण्डल शोल्डर को बियरिंग में सहारने के समय उत्पन्न होने वाली त्रुटि।

(ii) स्पिण्डल शोल्डर का फेस उसके घुमाऊ-अक्ष (axis of rotation) के लम्बवत् न होने के कारण।

(iii) स्पिण्डल के फ्रंट-फेस (front-face) पर अनियमितताओं (irregularities) के कारण।

इसकी जाँच करने के लिये डायल इंडिकेटर को टेबल पर फिक्स कर देते हैं, तत्पश्चात् इसके फीलर को स्पिण्डल-शोल्डर के फेस (A) से स्पर्श कराते हैं (चित्रानुसार)। जाँच करते समय स्पिण्डल को घुमाकर दो स्थानों पर डायल इंडिकेटर के पाठ्यांक को नोट कर लिया जाता है। ये दो स्थान एक-दूसरे से विपरीत होने चाहियें। डायल इंडिकेटर के प्वाइन्टर द्वारा दिखाये गये पाठ्यांक का अन्तर ही अक्षीय स्लिप की त्रुटि को दर्शाता है। अक्षीय त्रुटि किसी भी दशा में 0.01 मिमी से अधिक नहीं होनी चाहिए।



चित्र 13 : स्पिण्डल के अक्षीय स्लिप की जाँच

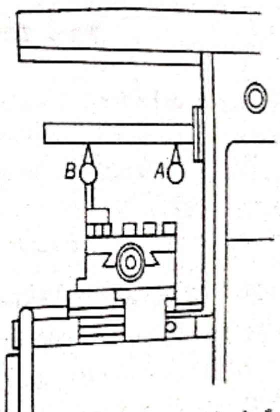
2. बाह्य-व्यास की उत्केन्द्रता की जाँच (Eccentricity of External Diameter)

स्पिण्डल के बाह्य व्यास की उत्केन्द्रता की जाँच करने के लिये डायल इंडिकेटर को टेबल पर फिक्स कर दिया जाता है तथा इसके फीलर को शोल्डर (shoulder) की बेलनाकार सतह (cylindrical surface) पर स्पर्श कराते हैं। अब शोल्डर को घुमाकर डायल गेज के प्वाइंटर द्वारा दिखाये गये पाठ्यांक विचलन (deviation) से उत्केन्द्रता के त्रुटि की जाँच की जाती है।

3. आन्तरिक टेपर की ट्रू-रनिंग (True Running of Internal Taper)

आन्तरिक टेपर की ट्रू-रनिंग की जाँच करने के लिये, मशीन की टेबल को उसकी अनुदैर्घ्य स्थिति (longitudinal position) में स्थापित करते हैं तथा 300 मिमी लम्बी एक मैण्ड्रिल (mandrel) को स्पिण्डल टेपर में फिक्स करते हैं। अब डायल इंडिकेटर को मशीन की टेबल पर फिक्स करके उसके फीलर को एडजस्ट करके मैण्ड्रिल की निचली सतह से स्पर्श कराते हैं (चित्रानुसार)।

अब मैण्ड्रिल को घुमाते हुये एक पाठ्यांक स्पिण्डल-नोज (spindle nose) के समीप तथा दूसरा पाठ्यांक उससे 300 मिमी की दूरी पर लेते हैं। मशीन के क्रास स्लाइड (cross-slide) को चलाकर डायल इंडिकेटर के फीलर को बिन्दु A से B तक लेकर जाते हैं। ट्रू-रनिंग में होने वाली त्रुटि दो प्रकार की हो सकती है—



चित्र 14 : आन्तरिक टेपर की ट्रू-रनिंग की जाँच

(i) टेपर के अक्ष एवं स्पिण्डल के अक्ष में समान्तरता की त्रुटि।

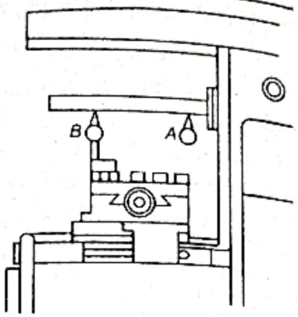
(ii) टेपर होल में उत्केन्द्रता की त्रुटि।

यदि बिन्दु A और बिन्दु B पर पाठ्यांक एक समान हो तो इसमें कोई त्रुटि नहीं होगी।

4. टेबल-फेस और मेन-स्पिण्डल के अक्ष की समान्तरता
(Parallelism between Table Face and Axis of Main Spindle)

इसकी जाँच करने के लिये एक मैण्ड्रिल को स्पिण्डल टेपर में फिट किया जाता है। डायल इंडिकेटर को मशीन की टेबल पर फिक्स कर दिया जाता है तथा इसके फीलर (feeler) को मैण्ड्रिल के निचले तल पर स्पर्श कराया जाता है (चित्रानुसार)।

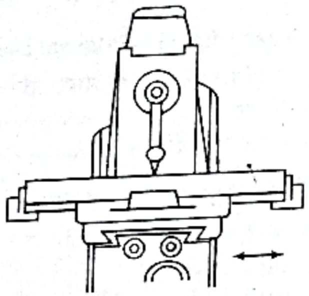
अब मैण्ड्रिल को स्थिर रखते हुये, टेबल को उसकी अधिकतम तय की जा सकने वाली दूरी (maximum travel) पर लाया जाता है। पाठ्यांक लेने के लिये टेबल को स्थिर रखकर डायल इंडिकेटर के स्टैण्ड को ही आगे-पीछे सरकाकर पाठ्यांक लिया जाता है। पाठ्यांक द्वारा दर्शायी गयी त्रुटि किसी भी दशा में 0·025 मिमी प्रति 300 मिमी से अधिक नहीं होनी चाहिए।



चित्र 15 : टेबल फेस और मेन स्पिण्डल के अक्ष की समान्तरता

5. टेबल सतह की अनुदैर्घ्य चाल से समान्तरता
(Parallelism with Longitudinal Movement of Table Surface)

इसकी जाँच करने के लिये डायल इंडिकेटर को चित्रानुसार स्पिण्डल से जोड़ दिया जाता है। डायल इंडिकेटर के फीलर को मशीन की टेबल की सतह से स्पर्श कराया जाता है।

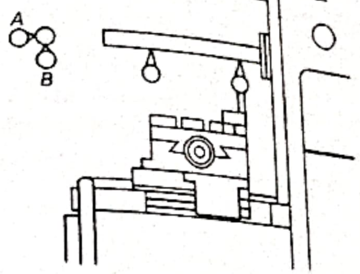


चित्र 16 : टेबल सतह की अनुदैर्घ्य चाल की समान्तरता

अब टेबल को अनुदैर्घ्य दिशा (longitudinal direction) में चलाया जाता है। क्रिया के दौरान डायल इंडिकेटर के प्वाइन्टर द्वारा टेबल सतह एवं उसकी अनुदैर्घ्य चाल के बीच समान्तरता को दिखाया जाता है तथा प्वाइंटर के विचलन (deviation) को नोट कर लिया जाता है। इस त्रुटि के कारण टेबल की सतह पर अप और डाउन (up and down) का उतार-चढ़ाव (variation) होता है, जिसके फलस्वरूप जॉब पर कटर द्वारा बराबर कट्स (cuts) नहीं होते हैं। यह त्रुटि 0·04 मिमी प्रति 600 मिमी टेबल की चाल से अधिक नहीं होनी चाहिए।

6. स्पिण्डल अक्ष की अनुप्रस्थ चाल से समान्तरता
(Parallelism with Transverse Movement of Spindle Axis)

मिलिंग मशीन के टेबल की अनुप्रस्थ चाल दो तरह की होती है—(i) क्षैतिज तल पर अनुप्रस्थ चाल, (ii) ऊर्ध्व तल पर अनुप्रस्थ चाल। स्पिण्डल अक्ष की अनुप्रस्थ चाल से समान्तरता की जाँच करने के लिये सर्वप्रथम डायल इंडिकेटर को मशीन की टेबल पर फिक्स कर दिया जाता है (चित्रानुसार)।



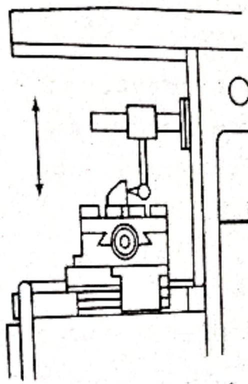
चित्र 17 : स्पिण्डल अक्ष की अनुप्रस्थ चाल से समान्तरता

(i) टेबल के क्षैतिज तल (horizontal plane) पर अनुप्रस्थ चाल की जाँच करने के लिये डायल इंडिकेटर के फीलर को ...र के एक साइड से स्पर्श करा दिया जाता है तथा टेबल को क्रॉसवाइज (crosswise) चलाया जाता है। डायल इंडिकेटर ...टर द्वारा दिखाये गये विचलन से बिन्दु A के अनुसार त्रुटि की जाँच की जाती है। यह विचलन किसी भी दशा में 0·025 ... प्रति 300 मिमी से अधिक नहीं होना चाहिए।

(ii) टेबल के ऊर्ध्व तल (vertical plane) पर अनुप्रस्थ चाल की जाँच करने के लिये डायल इंडिकेटर के फीलर के ...ल के निचले तल पर चित्रानुसार स्पर्श करा दिया जाता है तथा पूर्व की तरह ही टेबल को चलाकर, डायल इंडिकेटर के ...टर द्वारा दिखाये गये विचलन से बिन्दु B के अनुसार त्रुटि की जाँच की जाती है। किसी भी दशा में यह विचलन भी 0·025 ... प्रति 300 मिमी से अधिक नहीं होनी चाहिए।

...न्ट्रल T-स्लॉट की अनुदैर्घ्य चाल के साथ समान्तरता
(Parallelism with Longitudinal Movement of Central T-Slots)

...मिलिंग मशीन की टेबल पर कई T-स्लॉट कटे रहते हैं जिस पर जिग्स और फिक्सचर्स (jigs and fixtures) या अन्य ...मेन्ट्स (other attachments) को बाँधा ...ता है इसलिये इसके सभी स्लॉट, विशेषकर ...ल T-स्लॉट की टेबल की अनुदैर्घ्य चाल के ... समान्तरता होनी चाहिए। इसलिये इसकी ...च करने के लिये एक ब्रैकेट (bracket) का ...ग किया जाता है। यह ब्रैकेट 150 मिमी लम्बा ...ता है जिसको चित्रानुसार T-स्लॉट पर फिट ...दिया जाता है।



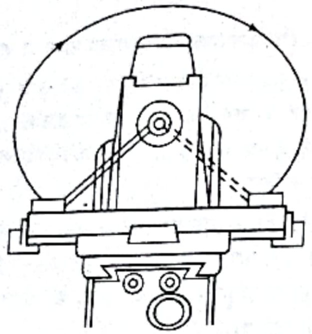
चित्र 18 : सेन्ट्रल T-स्लॉट की अनुदैर्घ्य चाल के साथ समान्तरता

...अब डायल इंडिकेटर को मेन स्पिण्डल के ...फिक्स कर दिया जाता है तथा इसके फीलर ...ब्रैकेट की सतह पर स्पर्श करा दिया जाता है। ...के लिये टेबल को अनुदैर्घ्य दिशा ...(longitudinal direction) में चलाया जाता है। ...ट की ऊपरी सतह पर बने टेनन को क्रिया के दौरान हाथ से पकड़कर रखा जाता है। डायल इंडिकेटर के प्वाइन्टर के ...लन को नोट कर लिया जाता है। ब्रैकेट का टेनन T-स्लॉट में जाँच के दौरान स्लाइड (slide) करता है। इस प्रकार सेन्ट्रल ...स्लॉट की अनुदैर्घ्य चाल के साथ होने वाली त्रुटि की जाँच कर ली जाती है। इस त्रुटि से कट की गहराई (depth of cut) ...(fix) नहीं रहती है जिसके फलस्वरूप अशुद्ध जॉब बनता है।

8. सेन्ट्रल T-स्लॉट की आरबर के साथ वर्गता

(Central T-slot Squareness with the Arbor)

यदि सेन्ट्रल T-स्लॉट आरबर के साथ लम्बवत् (perpendicular) नहीं है तब ऐसी स्थिति में मशीन द्वारा काटे गये की-वेज (key-ways) जॉब के अक्ष (axis of job) के समान्तर नहीं होंगे। इसलिये इसकी जाँच भी करनी जरूरी है। इसके लिये टेबल को उसकी अनुदैर्ध्य चाल के मध्य पोजिशन (middle position) में एडजस्ट (adjust) कर दिया जाता है तथा सेन्ट्रल T-स्लॉट में 160 मिमी लम्बे टेनन ब्लॉक (Tenon block) को प्रवेश कराकर फिट कर दिया जाता है। अब डायल इंडिकेटर को चित्रानुसार मैण्ड्रिल पर फिक्स करके उसके फीलर को ब्रैकेट के ऊर्ध्व पृष्ठ (vertical face) पर स्पर्श कराया जाता है।



चित्र 19 : सेन्ट्रल T-स्लॉट की आरबर के साथ वर्गता की जाँच

ब्रैकेट जब टेबल के एक सिरे के पास होता है तब डायल इंडिकेटर के प्वाइन्टर के पाठ्यांक को नोट कर लिया जाता है। अब ब्रैकेट को टेबल के दूसरे सिरे पर स्थापित करके पुनः डायल इंडिकेटर को इस पर सेट करके इस पोजिशन में पाठ्यांक ले लिया जाता है। पाठ्यांकों का अन्तर ही सेन्ट्रल T-स्लॉट की आरबर के साथ वर्गता की त्रुटि को दर्शाता है। आमतौर पर दोनों स्थानों के लिये दो टेनन ब्लॉक प्रयोग किये जाते हैं।

9. कॉलम पर परीक्षण (Test on Column)

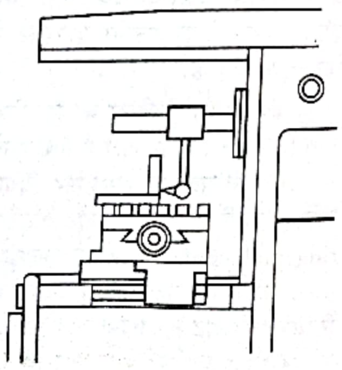
कॉलम का परीक्षण दो तरह से होता है—

(i) मिलिंग मशीन में लगी टेबल के साथ घुटने के कॉलम वेज (column ways of knee) की वर्गता तथा घुटने के आगे से पीछे भाग तक झुकाव (Inclination front to rear)

(ii) घुटने का पार्श्व झुकाव (Side inclination of knee)

इसकी जाँच के लिये टेबल को बीच में रखकर इसकी सतह पर एक वर्गाकार पीस (angle iron type square piece) को फिक्स कर देते हैं जिसकी एक भुजा (side) 300 मिमी होती है। डायल इंडिकेटर को स्पिण्डल मैण्ड्रिल पर फिक्स करते हैं तथा इसके फीलर को चित्रानुसार इस तरह स्पर्श कराते हैं कि वर्ग भुजा की ऊर्ध्व सतह के साथ उसके बॉटम एज (bottom edge) के पास आ जाये।

ऐसी स्थिति में डायल इंडिकेटर का पाठ्यांक नोट कर लिया जाता है। तत्पश्चात् टेबल को 300 मिमी की ऊँचाई तक उठाया (lift) जाता है और पुनः



चित्र 20 : कॉलम पर परीक्षण

डायल इंडिकेटर का पाठ्यांक नोट कर लिया जाता है। दोनों पाठ्यांकों के अन्तर से त्रुटि का पता चल जाता है। इसके द्वारा टेबल की सतह और घुटना आलम्ब (knee support) के बीच लम्बता त्रुटि का पता चलता है। इसकी जाँच ... में वर्ग पीस की दो अवस्थाओं में पाठ्यांक लिया जाता है। पहले डायल इंडिकेटर के फीलर को वर्ग पीस के अग्र भाग में ... दूसरे में वर्ग पीस के साइड में स्पर्श कराया जाता है अर्थात् पहली अवस्था में 90° डिग्री पर लेने वाला दूसरा प्रयोग पार्श्व झुकाव (side inclination) परीक्षण के लिये लिया जाता है।

10. स्पिण्डल के साथ ओवर आर्म की समान्तरता

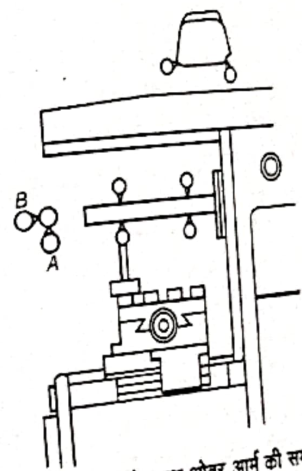
(Parallelism of Over Arm with Spindle)

स्पिण्डल के साथ ओवर आर्म की समान्तरता की जाँच भी दो तलों पर करके की जाती है—

(i) क्षैतिज तल (Horizontal plane)

(ii) ऊर्ध्व तल (Vertical plane)

इसकी त्रुटि की जाँच करने के लिये डायल इंडिकेटर टेबल पर फिक्स करके उसके फीलर को चित्रानुसार मैण्ड्रिल के निचले भाग पर स्पर्श कराते हैं।



चित्र 21 : स्पिण्डल के साथ ओवर आर्म की समान्तरता

जाँच के दौरान टेबल को पार्श्व दिशा में क्रॉस-वाइज (crosswise) चलाते हैं। इस प्रकार डायल इंडिकेटर के प्वाइन्टर के विचलन को नोट कर लेते हैं। अब क्षैतिज तल में त्रुटि की जाँच करने के लिए डायल इंडिकेटर के फीलर को ओवर आर्म के निचले भाग में स्पर्श कराते हुये पहले की तरह पाठ्यांक ले लेते हैं। इस प्रकार दोनों पाठ्यांकों की तुलना करके क्षैतिज तल में त्रुटि की गणना कर लेते हैं।

ऊर्ध्व तल में त्रुटि की जाँच करने के लिये डायल इंडिकेटर के फीलर को मैण्ड्रिल एवं ओवर आर्म की साइड में बारी-बारी से स्पर्श कराकर प्वाइन्टर के पाठ्यांक को नोट कर लेते हैं तथा पूर्व की भाँति पाठ्यांकों की तुलना करके त्रुटि की जानकारी हो जाती है।

उपरोक्त चित्र 21 में A क्षैतिज तल तथा B ऊर्ध्व तल में फीलर की स्थिति को दिखाया गया है। दोनों तलों में किसी भी दशा में त्रुटि 0·025 मिमी प्रति 300 मिमी से अधिक नहीं होनी चाहिए।

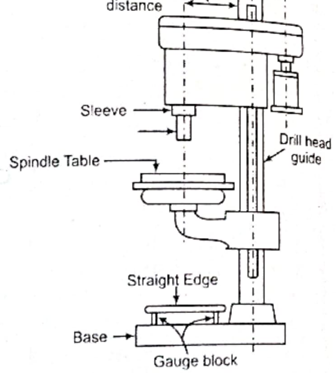
11. ओवर आर्म के ब्रैकेट के बोर के साथ मेन स्पिण्डल का संरेखन (Alignment of Main Spindle with Bore of the Bracket of the Over Arm)

इसका संरेखन करने के लिये मैण्ड्रिल को ब्रैकेट के बोर (bore) और स्पिण्डल टेपर के साथ समान्तर (parallel) फिट करते हैं। अब डायल इंडिकेटर को ओवर आर्म में फिक्स करके उसके फीलर को मैण्ड्रिल से स्पर्श कराते हैं। मेन स्पिण्डल को धीरे-धीरे घुमाकर डायल इंडिकेटर के प्वाइन्टर द्वारा दिखाये गये विचलन (deviation) से इसके संरेखन को समंजित (adjust) कर दिया जाता है।

7.7 पिलर टाइप ड्रिलिंग मशीन पर संरेखन परीक्षण (Alignment Test on Pillar Type Drilling Machine)

पिलर टाइप ड्रिलिंग मशीन पर संरेखन परीक्षण से पहले मशीन निर्माता द्वारा दिये गये निर्देशों के अनुसार मशीन को सही ढंग से लेवल कर लिया जाता है। उसके बाद मशीन पर परीक्षण प्रारम्भ करते हैं। परीक्षण के लिये बिन्दुवार तरीका निम्नलिखित है—

1. आधार की क्लैम्पिंग सतह की समतलता की जाँच (Testing of flatness of clamping surface of base)—इसके परीक्षण के लिये सर्वप्रथम दो गेज ब्लॉक (gauge block) लेते हैं और उसको आधार प्लेट के ऊपर विभिन्न जगहों पर रखते हैं तथा उनके ऊपर स्ट्रेट एज (straight edge) को रखकर जाँच करते हैं। गैप (gap) दिखने की दशा में उन गैपों (gaps) के बीच फीलर गेजों (filler gauges) को डालते हैं तथा त्रुटि को नोट कर लेते हैं। सतह के अवतल (concave) होने पर त्रुटि किसी भी दशा में 0·1 प्रति 1000 मिमी से ज्यादा नहीं होनी चाहिए। इसको चित्र 22 में दिखाया गया है।



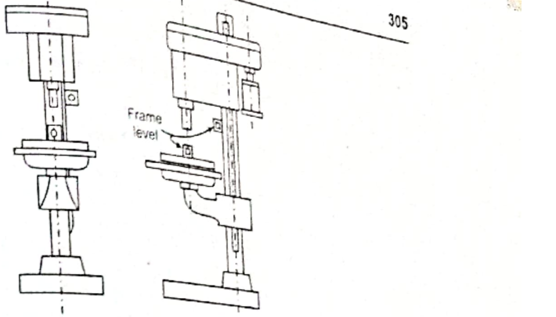
चित्र 22 : आधर के क्लैम्पिंग सतह की समतलता की जाँच

2. टेबल की सतह की समतलता की जाँच (Testing of flatness of surface of table)—टेबल की सतह के समतलता की जाँच बिन्दु (1) में बताये गये तरीके से ही की जाती है। अन्तर सिर्फ इतना है कि इसमें गेज ब्लॉक एवं स्ट्रेट एज को टेबल पर रखा जाता है। इसकी भी त्रुटि किसी भी दशा में 0·1 प्रति 1000 मिमी से ज्यादा नहीं होनी चाहिए।

3. आधार प्लेट से ड्रिल हैड गाइड की अभिलम्बता की जाँच (Testing of perpendicularity of drill head guide to the base plate)—इसकी जाँच के लिये पहले स्पिण्डल (spindle) एवं कॉलम (column) के अक्ष (axis) की ऊर्ध्वाधर सतह से गुजरने (passing) की जाँच की जाती है। तत्पश्चात् उस सतह से 90° पर सतह की जाँच की जाती है।

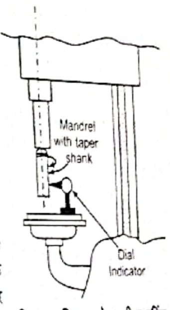
इसके लिये एक फ्रेम लेवल (frame level) को लेकर गाइड कॉलम एवं आधार प्लेट के बीच रखकर दो अलग-अलग लेवल पर त्रुटियों की जाँच करते हैं। इसके लिये दोनों लेवल के रीडिंग (reading) के अन्तर को नोट कर लिया जाता है। यह त्रुटि 0·25 प्रति 1000 मिमी से अधिक नहीं होनी चाहिए। तत्पश्चात् कॉलम के झुकने (inclination) की जाँच करते हैं। इसमें कॉलम के ऊपरी सिरा के झुकाव की त्रुटि 0·15 प्रति 1000 मिमी से अधिक नहीं होनी चाहिए। इसको चित्र 23 में दिखाया गया है।

4. टेबल से ड्रिल हैड गाइड की अभिलम्बता की जाँच (Testing of perpendicularity of drill head guide to the table)—इसकी जाँच बिन्दु (3) में बताये गये तरीके से ही की जाती है तथा त्रुटि भी उतनी ही होनी चाहिए। (देखिये चित्र 23)।



चित्र 23 : टेबल से ड्रिल हेड गाइड की अभिलम्बता की जाँच

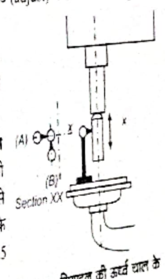
5. आधार प्लेट से स्पिण्डल स्लीव की अभिलम्बता की जाँच (Testing of perpendicularity of spindle sleeve with base plate)—आधार ...से स्पिण्डल स्लीव की अभिलम्बता की जाँच क्षैतिज एवं ऊर्ध्व दो तलों पर की ...ती है। इसके लिये स्प्रिट लेवल को स्पिण्डल स्लीव और आधार प्लेट पर रखकर ...पाठ्यांक लिया जाता है। दोनों स्थानों पर दर्शाये गये पाठ्यांकों का अन्तर लेवल की ...त्रुटि को दर्शाता है। किसी भी दशा में यह त्रुटि क्षैतिज से 0·15 प्रति 1000 मिमी से ...अधिक नहीं होनी चाहिए।



चित्र 24 : स्पिण्डल टेपर की टू-रनिंग

6. स्पिण्डल टेपर की टू-रनिंग (True running of spindle ...)—इसकी जाँच करने के लिये एक टेस्ट मैण्ड्रिल को लेकर स्पिण्डल के ...टेपर-होल (taper hole) में फिट कर दिया जाता है। डायल इंडिकेटर को टेबल पर ...फिक्स कर देते हैं तथा इसके फीलर को चित्रानुसार 24 मैण्ड्रिल से स्पर्श कराकर ...पाठ्यांक लिया जाता है।

जाँच करने के लिये पहले स्पिण्डल को उसकी चाल के बीच की स्थिति में एडजस्ट (adjust) करके धीरे-धीरे घुमाकर ...इंडिकेटर का पाठ्यांक लिया जाता है। इसकी त्रुटि 0·03 मिमी प्रति 100 मिमी से अधिक ...नहीं होनी चाहिए। यह त्रुटि की सीमा टेपर मोर्स न० 2 (taper morse no. 2) तक ही ...है। मोर्स न० 2 से अधिक टेपर के लिये त्रुटि का मान 0·04 मिमी प्रति 300 मिमी ...से अधिक नहीं होना चाहिए।



चित्र 25 : स्पिण्डल की ऊर्ध्व चाल के साथ स्पिण्डल अक्ष की समान्तरता

7. स्पिण्डल की ऊर्ध्व चाल के साथ स्पिण्डल-अक्ष की समानतरता (Parallelism of the spindle axis with its vertical movement)—इसकी जाँच भी ...तलों A एवं B के सापेक्ष की जाती है। ये दोनों तल (planes) आपस में एक-दूसरे से ...90° के कोण में होते हैं। इसकी जाँच के लिये एक टेस्ट मैण्ड्रिल को ड्रिलिंग मशीन के ...स्पिण्डल के टेपर-होल में फिट कर दिया जाता है। डायल इंडिकेटर को चित्रानुसार 25 ...टेबल पर फिक्स कर दिया जाता है।

अब स्पिण्डल को उसकी चाल के हिसाब से बीच में एडजस्ट (adjust) करके ...डायल इंडिकेटर के फीलर को मैण्ड्रिल से स्पर्श कराते हैं। जाँच के लिये स्पिण्डल को

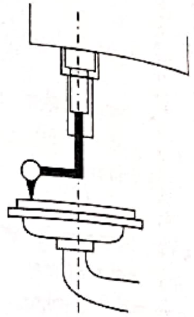
उसकी बीच की पोजिशन से ऊपर एवं नीचे चलाकर डायल इंडिकेटर के प्वाइन्टर का पाठ्यांक ले लिया जाता है। निम्न तालिका के हिसाब से पाठ्यांक की अनुमन्य त्रुटि सहनीय (tolereble) है—

तालिका 10.1-अनुमन्य त्रुटि (Permissible error)

		तल A (Plane A)	तल B (Plane B)
1.	मशीन के स्पिण्डल के टेपर मोर्स न० 2 तक अनुमन्य त्रुटियाँ	0·03/100 मिमी	0·03/100 मिमी
2.	मशीन के स्पिण्डल के टेपर मोर्स न० 2 से अधिक की अनुमन्य त्रुटियाँ	0·05/300 मिमी	0·05/300 मिमी

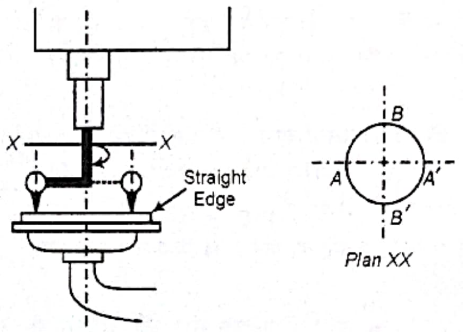
8. टेबल की क्लैम्पिंग सतह तथा उसके अक्ष से वर्गता (Squareness of clamping surfaces of table to its axis)—टेबल की क्लैम्पिंग सतह तथा उसके अक्ष से वर्गता की जाँच करने के लिये डायल इंडिकेटर को स्पिण्डल के टेपर-होल में फिक्स किया जाता है। डायल इंडिकेटर के फीलर को चित्रानुसार 26 टेबल की सतह से स्पर्श कराया जाता है।

अब पाठ्यांक के लिये टेबल को धीरे-धीरे घुमाया जाता है तथा डायल इंडिकेटर के पाठ्यांक को नोट कर लिया जाता है। इसकी त्रुटि का अनुमन्य मान 0·05 प्रति 300 मिमी से अधिक नहीं होना चाहिए। यहाँ पर यह अनुमन्य मान टेबल के व्यास के प्रति 300 मिमी लम्बाई की त्रुटि को प्रदर्शित करता है।



चित्र 26 : टेबल की क्लैम्पिंग सतह तथा उसके अक्ष से

9. स्पिण्डल अक्ष की टेबल के साथ वर्गता (Squareness of spindle axis with table)—इसकी जाँच करने के लिये एक स्ट्रेट एज (straight edge) को लेकर चित्र 27 के AA′ एवं BB′ पोजिशन पर बारी-बारी रखा जाता है।



चित्र 27 : स्पिण्डल अक्ष की टेबल के साथ वर्गता की जाँच

जाँच के लिये टेबल को उसकी ऊर्ध्व चाल (vertical movement) के बीच की पोजिशन में रखकर स्थापित कर दिया जाता है। डायल इंडिकेटर को स्पिण्डल के टेपर होल में फिक्स कर दिया जाता है तथा इसके फीलर को स्ट्रेट एज से स्पर्श (touch) करा दिया जाता है जिसको उपरोक्त चित्र 27 (ब) में दर्शाया गया है। इसके अनुसार माना कि बिन्दु A पर पाठ्यांक (a) है। अब स्पिण्डल को 180° पर घुमा दिया जाता है तथा फीलर को पुनः बिन्दु A' पर स्पर्श कराया जाता है, यहाँ का

...a' होता है। ऐसी स्थिति में दोनों पाठ्यांकों का अन्तर (a – a') ही स्पिण्डल अक्ष की टेबल के साथ वर्गता की त्रुटि को ...है। इसी प्रकार स्ट्रेट एज को BB' पोजिशन पर रखकर पाठ्यांकों के अन्तर को नोट कर लिया जाता है। ...AA' सेटअप के लिये 0·08 मिमी प्रति 300 मिमी तथा BB' सेटअप के लिये 0·05 मिमी प्रति 300 मिमी त्रुटि अनुमन्य ...ण्डल का झुकाव केवल कॉलम की तरफ ही होना चाहिए।

...मशीन औजार परीक्षण के लाभ (Advantages of Machine Tool Testing)

...मशीन औजार परीक्षण के निम्न लाभ हैं—

1. मशीन औजार परीक्षण करने से, मशीन औजार की मेन्टेनेन्स (maintenance) करने में सुगमता होती है।
2. मशीन औजार परीक्षण करने से, मशीन औजार की स्थिति (condition) का पता चलता है। इसके आधार पर ही ...न के कार्यकारी जीवन (working life) का अनुमान लगाया जा सकता है।
3. मशीन औजार परीक्षण करने से, मशीन की सूक्ष्मता की श्रेणी (class of precision) एवं उचित ग्रेड (proper ...des) का पता चलता है। इस आधार पर मशीन की गुणवत्ता (quality) एवं कीमत (cost) की सही स्थिति का पता चलता ...

...शीन औजारों की ज्यामितीय त्रुटियों के कारण जॉब पर पड़ने वाले प्रभाव (...Effects of Geometrical Errors of Machine Tools on the Job)

मशीन औजारों की त्रुटियों के कारण मशीन पर बने जॉब (job) की परिशुद्धता पर काफी प्रभाव पड़ता है। इन प्रभावों का ...ति मशीन औजार के अनुसार नीचे किया जा रहा है।

...थ (Lathe)

1. लेथ के स्पिण्डल का अक्ष बेड के समान्तर न होने पर उस पर तैयार जॉब की सतह टेपरित (tapered) होगी।
2. लेथ के हैड-स्टॉक का सेन्टर यदि स्पिण्डल के साथ ट्रू-रनिंग (true-running) में नहीं है तब जॉब पर टर्निंग करते ...मय उसमें उत्केन्द्रता (eccentricity) आ जायेगी।
3. लेथ में अक्षीय स्लिप (axial slip) होने के कारण, इस मशीन पर काटे जाने वाली चूड़ी का प्रोफाइल एकसमान (...uniform) नहीं होगा।
4. लेथ मशीन के मेन स्पिण्डल के अक्ष के साथ सॉकेट के टेपर-होल का अक्ष यदि संकेन्द्रित (concentric) नहीं है तब ...सी स्थिति में उत्केन्द्रित (eccentric) एवं टेपरित (tapered) सतह की रचना होगी।

...मिलिंग मशीन (Milling Machine)

1. मिलिंग मशीन की टेबल की अनुप्रस्थ चाल (transverse movement) यदि स्पिण्डल के अक्ष के समान्तर नहीं होगी। ...ब कट की गहराई (depth of cut) एकसमान नहीं होगी अर्थात क्रॉस स्लाइड (cross slide) की गति बदलने के साथ कट की ...हराई भी बदल जायेगी।
2. अगर मिलिंग मशीन के कॉलम वेज (column ways) टेबल के साथ वर्गाकार नहीं होते हैं तब मशीन पर बनने वाली ...जॉब की सतह भी टेबल की सतह के साथ वर्गाकार नहीं होगी।
3. यदि टेबल की अनुदैर्घ्य चाल (longitudinal movement) एवं सेन्ट्रल T-स्लॉट (central T-slot) समान्तर नहीं ...गे, तब जॉब के कट की गहराई भी एकसमान नहीं होगी।
4. मशीन के स्पिण्डल शोल्डर का फेस उसके अक्ष के लम्बवत् (perpendicular) नहीं होने पर उसमें अक्षीय स्लिप ...उत्पन्न हो सकती है जिससे जॉब की परिशुद्धता खराब हो सकती है।

मैण्ड्रिल (Mandrel)

मैण्ड्रिल का उपयोग संरेखन परीक्षण (alignment test) के लिये होता है जो प्रयोग किये जाने वाले अक्ष को ही निरूपित (represent) करता है। मैण्ड्रिल दो प्रकार के होते हैं—

1. टेपर शैंक के साथ टेस्ट मैण्ड्रिल (Test Mandrel with Taper Shank)

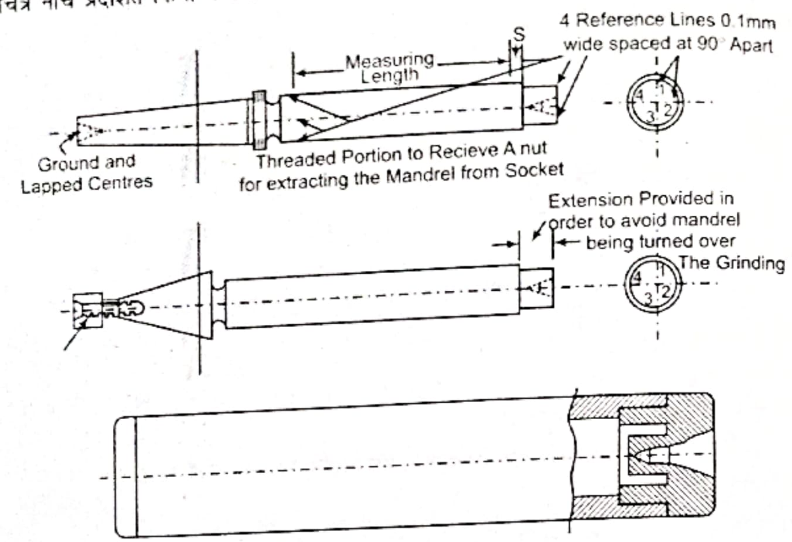
2. केन्द्रों के बीच का मैण्ड्रिल (Mandrels between Centres)

टेपर शैंक के साथ टेस्ट मैण्ड्रिल भी दो प्रकार का होता है—

(i) स्लो टेपर शैंक टेस्ट मैण्ड्रिल (Slow taper shank test mandrel)

(ii) स्टीप टेपर शैंक टैस्ट मैण्ड्रिल (Steep taper shank test mandrel)

इनका चित्र नीचे प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 28 : केन्द्रों के बीच का मैण्ड्रिल

अभ्यास-प्रश्न (Exercise)

1. मशीन औजार परीक्षण किन बिन्दुओं पर निर्भर करता है?
2. मशीन औजार परीक्षण में कौन-कौन-से स्टेप्स (steps) लिये जाते हैं?
3. मशीन औजार परीक्षण में कौन-कौन से यंत्रों या औजारों का प्रयोग किया जाता है?
4. लेथ मशीन पर निम्न को टेस्ट करने की विधि का सचित्र वर्णन करें—
   (i) क्रॉस-स्लाइड संरेखन
   (ii) स्पिण्डल-टेपर बोर रन आउट
   (iii) स्पिण्डल सेन्टर रन आउट
5. निम्न संरेखन टेस्ट करने की विधि का सचित्र वर्णन करें—
   (i) मशीन की लेवलिंग

(ii) मेन स्पिण्डल की टू-रनिंग
(iii) हैड-स्टॉक सेन्टर की टू-रनिंग
(iv) सैडल गति से मेन स्पिण्डल की समान्तरता
(v) सैडल गति के साथ टेल-स्टॉक स्लीव की समान्तरता
(vi) सैडल एवं टेल-स्टॉक सेन्टर्स का ऊर्ध्व प्लेन में संरेखन कैसे किया जाता है? समझाइये।

हैड-स्टॉक लेथ को टेस्ट करने के किन्हीं दो तरीकों का वर्णन करें।

किसी सेन्टर लेथ पर संरेखन करने के तरीके कौन-कौन-से हैं?

मिलिंग मशीन के बाह्य व्यास की उत्केन्द्रता की जाँच कैसे करेंगे? समझाइये।

मिलिंग मशीन के आन्तरिक टेपर की टू-रनिंग की जाँच करने की विधि को समझाइये।

मिलिंग मशीन का परीक्षण करने के लिये निम्न विधियों का सचित्र वर्णन करें—
(i) आन्तरिक टेपर की टू-रनिंग की जाँच
(ii) स्पिण्डल की अक्षीय स्लिप की जाँच
(iii) टेबल फेस और मेन स्पिण्डल के अक्ष की समान्तरता की जाँच
(iv) ओवर आर्म की स्पिण्डल के साथ समान्तरता की जाँच
(v) अनुप्रस्थ चाल से स्पिण्डल अक्ष की समान्तरता की जाँच।

पिलर टाइप ड्रिलिंग मशीन के लिये, स्पिण्डल की टेबल के साथ लम्बता की जाँच करने की विधि का सचित्र वर्णन करें।

किसी ड्रिलिंग मशीन को चेक करने के लिये प्रयोग होने वाली निम्न विधियों का सचित्र वर्णन करें—
(i) स्पिण्डल स्लीव की बेस प्लेट से लम्बता की जाँच
(ii) क्लैम्पिंग सतह के चपटेपन की जाँच
(iii) स्पिण्डल टेपर की टू-रनिंग की जाँच
(iv) ड्रिल हैड गाइड की बेस प्लेट से लम्बता की जाँच
(v) ड्रिल हैड गाइड की टेबल से लम्बता की जाँच
(vi) स्पिण्डल अक्ष की टेबल के साथ वर्गता की जाँच।

मशीन औजार को टेस्ट करने के क्या लाभ है? वर्णन करें।

लेथ मशीन पर ज्यामितीय त्रुटियों के जॉब पर क्या प्रभाव पड़ते हैं?

मिलिंग मशीन पर ज्यामितीय त्रुटियों के जॉब पर क्या प्रभाव पड़ते है?

मैंड्रिल पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिये। (BTE)

❑

प्रयोगात्मक कार्य
(Practical Work)

Experiment No. 1 (A)

उद्देश्य (Object)

साइन बार (Sine bar) की सहायता से दिये गये कार्यखण्ड के दो सतहों के बीच का कोण ज्ञात करना।

उपकरण (Apparatus)

साइन बार, सरफेस प्लेट, स्लिप गेज, डायल गेज इत्यादि।

विवरण (Description)

साइन बार कठोरीकृत स्टील का बना होता है जिसको चित्र में दिखाया गया है। इसकी सतह काफी परिष्कृत होती है, जो लैपिंग करके बनायी गयी होती है। इनके सिरों पर समान व्यास के दो रोलर लगे होते हैं, जिनके अक्ष परस्पर समानान्तर होते हैं। इन अक्षों के बीच की दूरी ही साइन बार की लम्बाई या साइज कही जाती है। इसमें कई छिद्र बने होते हैं जो इसके भार को कम करते हैं। प्रायः यह 100, 200 और 300 मिमी० लम्बाई के होते हैं।

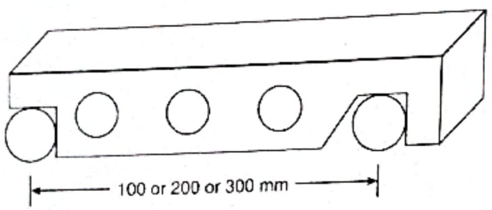
सिद्धान्त (Principle)

साइन बार त्रिकोणमिति के सिद्धांत पर कार्य करता है। यदि इसको क्षैतिज तल पर चित्र-1 (ख) के अनुसार तिरछा रखा जाए, तब—

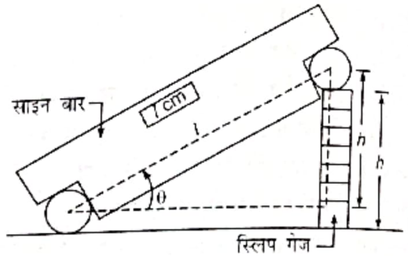
$\sin\theta = \frac{h}{l}$, जहाँ θ = क्षैतिज तल एवं साइन बार के तल के बीच का कोण।

l = साइन बार की लम्बाई

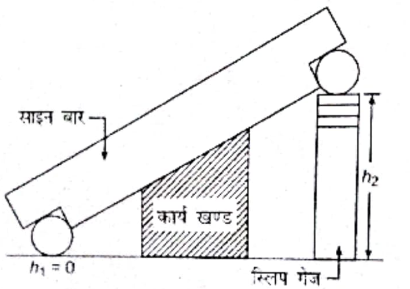
h = ऊपरी रोलर की क्षैतिज तल से ऊँचाई।



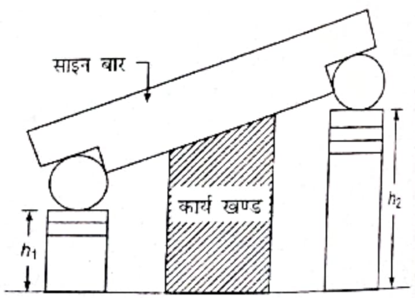
चित्र 1 (क) : साइन बार (Sine bar)



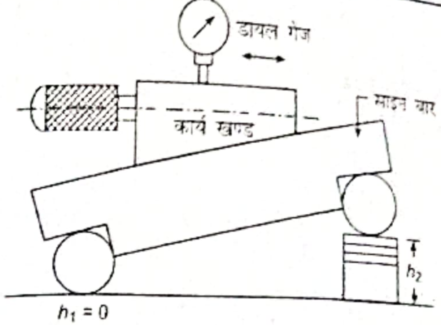
चित्र 1 (ख)



चित्र 1 (ग)



चित्र 1 (घ)



चित्र 1 (ङ)

प्रयोग विधि (Procedure)

1. सर्वप्रथम सरफेस प्लेट, साइन बार एवं स्लिप गेजों को मुलायम कपड़े से साफ कर लेते हैं।
2. सरफेस प्लेट पर कार्य खण्ड को रखते हैं।
3. कार्यखण्ड के ऊपर साइन बार को चित्र-1 (ग) या 1 (घ) के अनुसार रखते हैं।
4. यदि कार्य खण्ड की ऊँचाई कम है तो साइन बार का एक रोलर सरफेस प्लेट को स्पर्श करते हुए रखते हैं और दूसरे रोलर के नीचे स्लिप गेज को रखते हैं।
5. कई स्लिप गेजों को लगाने के लिए उनको अच्छी तरह रगड़कर (wringing) मिलाना चाहिए जिससे उनके बीच गैप न रहे और वे यथार्थ लम्बाई को दर्शायें।
6. इस प्रकार हमें l रोलर की लम्बाई, एवं h स्लिप गेज की ऊँचाई का पता चल जाता है।
7. तत्पश्चात् सूत्र में l एवं h का मान रखकर कोण θ का मान ज्ञात कर लिया जाता है।
8. जब एक रोलर सरफेस प्लेट पर रखा होगा तब h_1 का मान शून्य होगा। अगर रोलर दोनों तरफ स्लिप गेजों पर रखा होगा तब $h = h_2 - h_1$ होगा।

डायल गेज की सहायता से गणना—

1. साइन बार को सरफेस प्लेट पर रख देते हैं।
2. अब कार्यखण्ड को साइन बार के ऊपर चित्र-1 (ङ) के अनुसार रखते हैं।
3. अब डायल गेज को उसके स्टैण्ड में लगाकर सेट कर लेते हैं।
4. आवश्यकतानुसार स्लिप गेजों का सेट बनाकर एक रोलर के नीचे लगा देते हैं।
5. डायल गेज को चलाकर कार्यखण्ड के ऊपरी सतह के क्षैतिज होने की जाँच करते हैं।
6. स्लिप गेजों को तब तक सेट करते हैं जब तक डायल गेज के द्वारा क्षैतिजपन की पुष्टि नहीं हो जाती है।
7. कार्य खण्ड के क्षैतिज हो जाने पर स्लिप गेज की अन्तिम ऊँचाई h_2 ज्ञात हो जाती है।
8. तत्पश्चात् गणना द्वारा कोण का मान ज्ञात कर लिया जाता है।

प्रेक्षण (Observation)—साइन बार की लम्बाई l = ...mm.

S.No.	Height of slip gauge		$\sin\theta = \frac{h_2 - h_1}{l}$	θ°
	h_1 mm	h_2 mm		
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

$\therefore$ θ का औसत मान $= \frac{\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5}{5}$

θ = ... डिग्री... मिनट... सेकेण्ड

सावधानियाँ (Precautions)

1. स्लिप गेजो को फ्लैनेल के कपड़े (Flannel cloth) से अच्छी तरह साफ करने के बाद ही प्रयोग करना चाहिये।
2. स्लिप गेजों को एक-दूसरे पर रिंगिंग (Wringing क्रिया द्वारा रगड़कर मिलाने के बाद एक पर एक रखना चाहिए।
3. सरफेस प्लेट अच्छी तरह से साफ होना चाहिए।
4. स्लिप गेज के कार्यकारी सतहों का ही प्रयोग करना चाहिए।
5. साइन बार का तल और कार्यखण्ड का नत सतह, दोनों एक-दूसरे से अच्छी तरह स्पर्श करते हुए होने चाहिए।
6. कार्यखण्ड को क्षैतिज करते समय डायल गेज का पाठ्यांक सावधानीपूर्वक पढ़ना चाहिए।
7. कार्य समाप्त हो जाने के बाद स्लिप गेज और अन्य यंत्रों को साफ करके ग्रीस लगाकर या ऑयलिंग (oiling) करके यथास्थान रखना चाहिए।

Experiment No. 1 (B)

उद्देश्य (Object)

वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर की सहायता से दिये गये कार्यखण्ड के दो सतहों के बीच कोण ज्ञात करना।

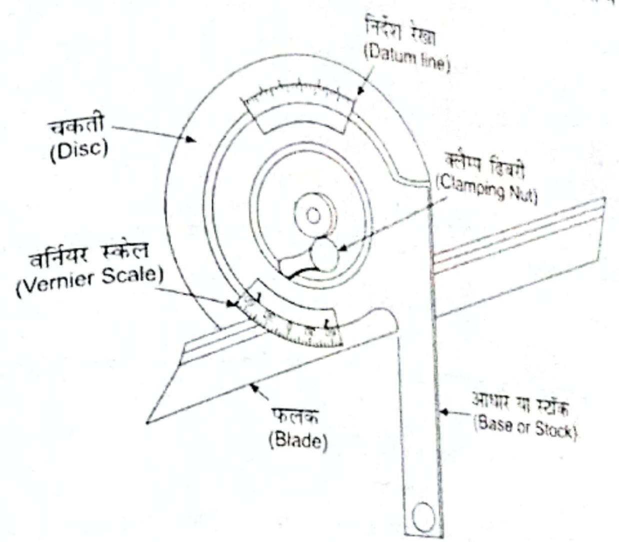
उपकरण (Apparation)

वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर और कार्यखण्ड।

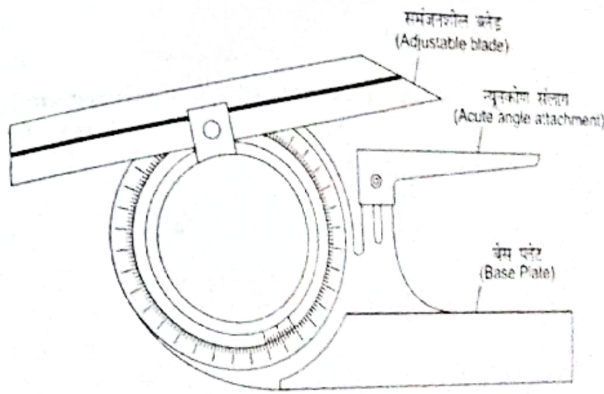
विवरण (Description)

वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर दो तरह के होते हैं, जिनको चित्र-1 (क) एवं 1 (ख) में दिखाया गया है। एक में न्यूनकोण अटैचमेन्ट (Acute angle attachment) लगा होता है तथा दूसरे में नहीं लगा होता है। इसके मुख्य पैमाने पर 90° -0°- 90° अंकित होता है, जिसमें कुल 360 खाने (Graduated) बने होते हैं और प्रत्येक खाने का मान 1° होता है। इसमें एक वर्नियर

...भी लगा होता है, जिसमें 24 खाने बने होते हैं और यह शून्य रेखा के दोनों तरफ 12-12 खानों में विभाजित होता है। ...पैमाने के 12 खाने मुख्य पैमाने के 23 खाने से मिलते हैं।



चित्र 1 (क) : वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर



चित्र 1 (ख) : वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर अटैचमेंट के साथ

अल्पतमांक (Least count)

$$\text{अल्पतमांक} = \frac{\text{मुख्य पैमाने के एक खाने का मान}}{\text{वर्नियर पैमाने पर खानों की संख्या}}$$

$$= \frac{1^\circ}{12} = \frac{1}{12} \times 60' \text{ (मिनट)}$$

$= \frac{60}{12}$ (मिनट) = 5′ (मिनट)

अल्पतमांक की गणना की दूसरी विधि—

वर्नियर पैमाने के एक छोटे खाने का मान $= \frac{23°}{12} = 1\frac{11°}{12}$

यह 2° से $\frac{1°}{12}$ कम है। अत: अल्पतमांक $= \frac{1°}{12}$

$= \frac{1}{12} \times 60'$ मिनट = 5′ (मिनट)

नोट—वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर कई तरह के उपलब्ध होते हैं, जिनका अल्पतमांक अलग-अलग होता है।

प्रयोग विधि (Proceture)

1. सर्वप्रथम वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर का अल्पतमांक ज्ञात करते हैं।
2. प्रोट्रेक्टर के आधार प्लेट को घुमाकर ब्लेड एवं आधार के बीच ऐसा कोण बनाते हैं जो मापी जाने वाली दोनों सतहों को स्पर्श करे।
3. इस स्थिति में कोण का पाठ्यांक नोट कर लेते हैं।
4. इस तरह दो सतहों के बीच का कोण ज्ञात कर लेते हैं।
5. कमी-कमी न्यूनकोण (Acute angle) के माप के लिये न्यूनकोण अटैचमैन्ट का प्रयोग करते है, जिसको चित्र-1 (ख) में दिखाया गया है।
6. वर्नियर स्कोल का पाठ्यांक लेने के लिए वर्नियर के स्पर्शी भाग को अल्पतमांक से गुणा कर देते हैं।

प्रेणक (Observation)

वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर का अल्पतमांक ....मिनट

S.No.	Main scale reading (a)	Vernier scale reading (b)	Measured angle = total of both reading (a + b)
1.			$\theta_1 =$
2.			$\theta_2 =$
3.			$\theta_3 =$
4.			$\theta_4 =$
5.			$\theta_5 =$

∴ θ का औसत मान $= \frac{\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5}{5}$

परिणाम

कार्यखण्ड के दिये गये दो नत सतहों के बीच का कोण θ = ... डिग्री .....मिनट

सावधानियाँ (Precautions)

1. वर्नियर बेवेल प्रोट्रेक्टर का ब्लेड और आधार प्लेट कार्यखण्ड के सतहों को स्पर्श करते हुए होना चाहिए।
2. पाठ्यांक लेने से पूर्व लॉकनट को कस लेना चाहिए ताकि पाठ्यांक में परिवर्तन न हो सके।

3. वर्नियर पैमाने कौन सा भाग मुख्य पैमाने के किस भाग से मिल रहा है अच्छी तरह से चेक कर लेना चाहिए।
4. पाठ्यांक लेते समय आँखों को सीधी रेखा में रहना चाहिए ताकि लम्बन त्रुटि से बचा जा सके।
5. पाठ्यांक लेते समय आवर्धन लेंस का प्रयोग कर लेना चाहिए।

Experiment No. 2

उद्देश्य (Object)

ऑप्टिकल प्रोफाइल प्रोजेक्टर (Optical profile projector) का सचित्र अध्ययन करना।

उपकरण (Apparatus)

ऑप्टिकल प्रोफाइल प्रोजेक्टर।

विवरण (Description)

ऑप्टिकल प्रोफाइल प्रोजेक्टर का रेखाचित्र अंगों सहित दर्शाया गया है तथा इसकी क्रिया विधि को भी सरल आरेख द्वारा ...या गया है। इसके मुख्य अंग निम्नलिखित है—

1. प्रकाश स्रोत
2. प्रेक्षण लेंस
3. पर्दा
4. दर्पण
5. संघनन कॉलीमेटर लेंस

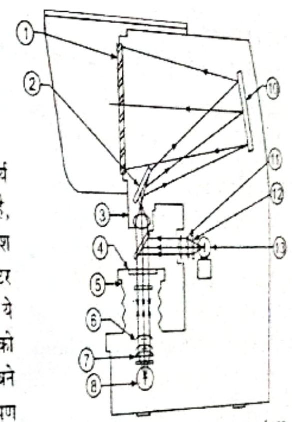
ऑप्टिकल प्रोजेक्टर के प्रकार—विभिन्न प्रकार के उपयोगों के आधार पर ये निम्न प्रकार के होते है—

1. जाँच एवं मापन कार्य में प्रयोग होने वाले ऑप्टिकल प्रोजेक्टर
2. ओवरहेड प्रोजेक्टर (Overhead projector)
3. स्लाइड प्रोजेक्टर (Slide projector)
4. एपिडायास्कोप (Epidiascope)

सिद्धांत (Principle)

ये प्रकाश के परावर्तन एवं अपवर्तन के सिद्धांत पर कार्य ...ता है। जिस कार्य खण्ड का निरीक्षण या मापन करना होता है, ...से इस यंत्र के मेज पर रखे काँच की प्लेट पर रखते है। प्रकाश ...की किरणें प्रकाश स्रोत से उत्पन्न होकर एक संघनन कॉलीमेटर ...लेंस (Condensing collimator lens) से गुजरती हैं जिससे ये ...सभी किरणें आपस में समानान्तर हो जाती हैं। इन किरणों को ...परावर्तक द्वारा उचित दिशा में घुमाकर मेज के नीचे से, मेज में बने ...छिद्र द्वारा कार्यखण्ड पर डाला जाता है। पुन: ये किरणें प्रक्षेपण ...लेंस से गुजरने के बाद पर्दे पर पड़ती हैं जिसको चित्र में दिखाया ...गया है।

इस प्रकार पर्दे पर कार्यखण्ड का वास्तविक, उल्टा एवं बड़ा ...प्रतिबिम्ब बनता है। सभी प्रकार के प्रकाशीय यंत्र इसी सिद्धांत पर ...कार्य करते हैं।



1. Screen 2. Mirror No. 1 3. Projection Lens 4. Half Reflecting Mirror 5. Stage Glass 6. Color Filter 7. Auxiliary Condenser Lens 8. Condenser Lens 9. Bulb 10. Mirror No. 2 11. Condenser Lens 12. Insulating Plier 13. Bulb

चित्र 2 : ऑप्टिकल प्रोफाइल प्रोजेक्टर

प्रयोग विधि (Procedure)

जिस अवयव की जाँच करनी होती है, उसे पारदर्शी काँच की सतह पर रख दिया जाता है। तत्पश्चात् उच्च तीव्रता के हैलोजन बल्ब से निकलने वाला समानान्तर प्रकाश, संघनन लेंस से समान्तर प्रकाश पुंज में परिवर्तित हो जाती है तथा अवयव से होते हुए प्रक्षेपण लेंस पर गिरती है। तत्पश्चात् प्रकाश की किरणें दो दर्पणों से परावर्तित होकर पर्दे पर प्रतिबिम्ब बनाती है।

जब किसी अवयव की सतह का आवर्धित प्रतिबिम्ब पर्दे पर देखना होता है, तब अवयव को पारदर्शी काँच की मेज पर रख कर दो बल्बों द्वारा प्रतिदीप्त किया जाता है। अवयव से परावर्तित होकर प्रकाश की किरणें पर्दे पर प्रतिबिम्ब बनाती हैं। यह विधि बन्द छिद्रों (blind holes) के भीतर का प्रतिबिम्ब देखने के लिए बहुत उपयोगी होती है।

उपयोग (Uses)

इसका उपयोग निम्नलिखित कार्यों के लिए किया जाता है—

1. पेंच के चूड़ियों की जाँच की जाती है।
2. इनसे निर्मित गियरों की जाँच की जाती है।
3. रूपण औजारों की जाँच करने में इनका प्रयोग होता है।
4. यदि इसके कार्यखण्ड रखे जाने वाले मेज में माइक्रोमीटर लगे हों तो इससे कार्यखण्ड विभिन्न अवयवों की माप ली जा सकती है।
5. यदि इसके पर्दे में कोण मापन के लिये गोलाकार पैमाने लगे हों और पर्दे को अपनी अक्ष पर घुमाया जा सके तो इनसे कार्यखण्ड के विभिन्न कोणों का मापन कर सकते हैं।
6. गेजों आदि की नियमित एवं अनियमित प्रोफाइल की जाँच करने में इनका प्रयोग किया जाता है।
7. विभिन्न प्रकार के छिद्रों की जाँच करने में भी इनका प्रयोग किया जाता है।

Experiment No. 3

उद्देश्य (Object)

विभिन्न प्रकार के तुलनित्रों (Comparators) का सचित्र अध्ययन करना।

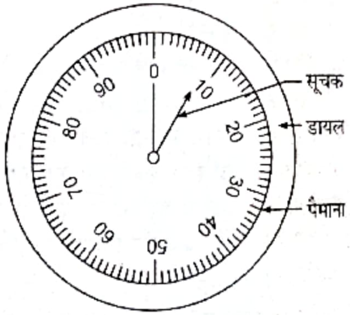
उपकरण (Apparatus)

यांत्रिक तुलनित्र (डायल गेज) परास 100 mm, स्लिप गेज एवं सरफेस प्लेट।

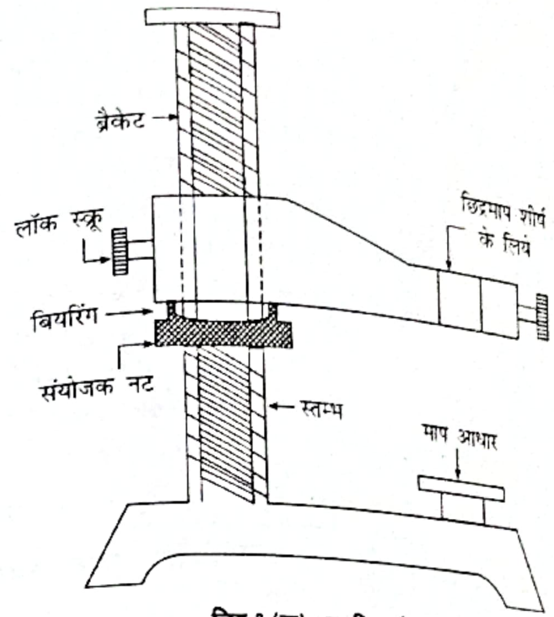
विवरण (Description)

जो यन्त्र तुलनात्मक मापन के आधार पर कार्य करता है, उसे तुलनित्र कहते है। यह एक ऐसा यन्त्र है जिसके द्वारा हम किसी अवयव के मूल साइज से उसके वास्तविक साइज की तुलना करते हैं। इंजिनियरो में इसका प्रयोग बहुत अधिक होता है। वृहद उत्पादन (Mass production) में, एक ही माप के बहुत से अवयवों की जाँच तुलनित्र द्वारा बहुत ही कम समय में कर ली जाती है।

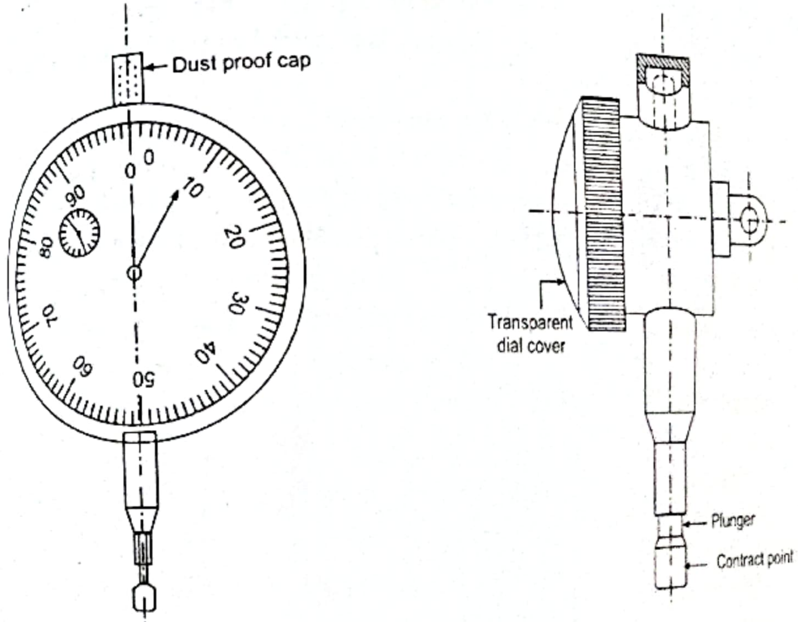
किसी अवयव के माप की निम्न तथा उच्च सीमा होती है। अवयव की माप इन सीमाओं में है या नहीं, इसकी जाँच तुलनित्र द्वारा की जा सकती है।



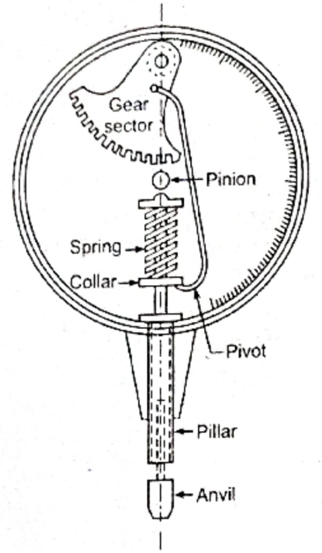
चित्र 3 (क) : डायल सूचक तुलनित्र



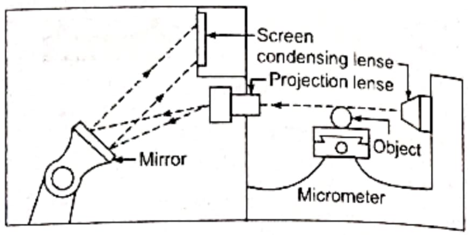
चित्र 3 (ख) : तुलनित्र स्टैण्ड



चित्र 3 (ग) : डायल गेज का बाहरी आकार



चित्र 3 (घ) : डायल गेज की भीतरी बनावट



चित्र 3 (ङ) : प्रकाशीय प्रक्षेपण तुलनित्र

सिद्धान्त (Principle)

डायल गेज तुलनित्र, प्लंजर (Plunger) के अत्यन्त सूक्ष्म विस्थापन को आवर्धित करके विक्षेप के रूप में डायल गेज के मेन स्केल पर व्यक्त करता है।

डायल गेज तुलनित्र इस सिद्धांत पर कार्य करता है कि सम्पर्क बिन्दु पर प्राप्त सूक्ष्म विस्थापन उसमें लगें प्लंजर से सम्बद्ध संयुक्त गियर यंत्रीवली द्वारा इस प्रकार आवर्धित (magnify) किया जाता है कि डायल गेज के मेन स्केल पर सूचक (Inducator) विस्थापित हो जाता है।

डायल गेज तुलनित्र बहुत ही परिशुद्ध परिणाम देते हैं। सामान्यत: डायल गेज का अल्पतमांक 0·01 mm होता है, इसमें एक मेन स्केल लगा होता है, जो 100 बराबर भागों में बँटा होता है। इसके सम्पर्क बिन्दु या प्लजंर का 1 mm विस्थापन होने पर सूचक एक चक्र पूर्ण कर लेता है। सूचक के चक्करों की संख्या को गिनने के लिए इस पर एक चक्कर काउन्टर (Revolution counter) लगा होता है। कुछ डायल गेज 0·001 mm (1 μm) तक यथार्थतापूर्वक माप ले सकते हैं। माप लेते समय डायल गेज को स्टैण्ड पर लगाया जाता है।

वर्गीकरण (Classification)

तुलनित्र निम्न प्रकार के होते है—

1. **यांत्रिक तुलनित्र—**
   (अ) डायल गेज
   (ब) माइक्रोकेटर
   (स) रीड प्रकार का तुलनित्र
   (द) सिग्मा तुलनित्र
2. यांत्रिक प्रकाशीय तुलनित्र
3. विद्युतीय तुलनित्र
4. प्रकाशीय प्रक्षेपण तुलनित्र
5. वायवीय तुलनित्र

6. इलेक्ट्रॉनिक तुलनित्र
7. द्रव विस्थापन तुलनित्र

...विधि (Procedure)

1. सर्वप्रथम सरफेस प्लेट एवं तुलनित्र को अच्छी तरह से साफ कर लेते हैं।
2. मानक माप के रूप में कुछ स्लिप गेजों को अच्छी तरह से राइकर (Wringing) स्लिप गेज का साइज तैयार कर लेते हैं।
3. अब स्लिप गेज प्लंजर को विस्थापित करके उसके सूचक को शून्य पर सेट कर देते है।
4. उसके बाद स्लिप गेज हटाकर उसके स्थान पर नापे जाने वाले कार्यखण्ड को रखते हैं।
5. तुलनित्र के सूचक की स्थिति को चेक करते है तथा निश्चित सीमा में कार्यखण्ड के स्वीकार्य होने की स्थिति ज्ञात कर लेते हैं।

...(Observation)

डायल गेज तुलनित्र का अल्पतमांक = ...mm

S.No.	Actual standard size of slip gauge *S* mm	Position of indicator deflection - Nos. of divisions *D*	Correct size of workpiece $=S \pm D$
1.		$+D_1$	$S+D_1=$
2.		$+D_2$	$S+D_2=$
3.		$+D_3$	$S+D_3=$
4.		$+D_4$	$S+D_4=$
5.		$+D_5$	$S+D_5=$

...(Result)

कार्यखण्ड के माप की स्वीकार्य सीमा को जानकर जॉब के सही होने की पुष्टि करते है तथा कार्यखण्ड का वास्तविक ... निकाल सकते हैं।

...(Uses)

1. गेजों के परीक्षण में इसका प्रयोग होता है।
2. प्रयोगशाला मानक के रूप में इसका प्रयोग होता है।
3. वृहद उत्पादन में एक ही माप के अवयवों की जाँच करने में इसका प्रयोग होता है।
4. कुछ मशीनों के साथ इसका प्रयोग करके इसे कार्यकारी गेज की तरह भी प्रयोग करते हैं।

...नियाँ (Precautions)

1. इसका प्रयोग करते समय सफाई का बहुत ध्यान रखना चाहिए।
2. कार्यखण्ड की सतह एवं प्लंजर के मापन शीर्ष के बीच गंदगी नहीं होनी चाहिये।
3. माप लेने से पूर्व तुलनित्र का अंशांकन (Calibration) कर लेना चाहिये।
4. मापन करते समय प्लंजर का सही दबाव रखना चाहिये।
5. डायल गेज के मेन स्केल एवं चक्कर काउन्टर का सही पाठ्यांक (Reading) लेना चाहिये।

Experiment No. 4

उद्देश्य (Object)

परिशुद्ध बॉल (Precision balls) की सहायता से दिये गये छिद्र का व्यास करना।

उपकरण (Apparatus)

समान व्यास वाली परिशुद्ध बॉल्स (Balls)–3 Nos., बड़े व्यास का बॉल 1 No., सरफेस प्लेट, वाह्य माइक्रोमीटर, वर्नियर ऊँचाई गेज या वर्नियर गहराई गेज और स्लिप गेज सेट।

सिद्धांत (Principle)

किसी छिद्र का परिशुद्धतापूर्वक आन्तरिक व्यास मापन के लिए इस विधि का प्रयोग किया जाता है। इसकी सहायता से व्यास मापने के लिए चित्र-4 (क) के अनुसार सरफेस प्लेट पर कार्यखण्ड को रखकर छिद्र के अन्दर समान व्यास वाली तीनों गोलियों (Balls) को रखने के बाद उसके ऊपर एक अलग से चौथी गोली (Balls) रखते है, तो —

यदि D_1 = समान व्यास की तीन परिशुद्ध गोलियों का व्यास

D_2 = बड़े व्यास वाली एक गोली का व्यास

D = कार्यखण्ड या दिये गये छिद्र का व्यास

H = सरफेस प्लेट से गोली के ऊपरी सतह की ऊँचाई

तब,

$$D = 2\,AB + D_1$$

अब,

$$AB^2 = AC^2 - BC^2 \quad ...(1)$$

$$= \left(\frac{D_1+D_2}{2}\right)^2 - \left[H - \left(\frac{D_1+D_2}{2}\right)\right]^2$$

$$= H(D_1+D_2) - H^2$$

$$= H(D_1+D_2-H)$$

$$AB = \sqrt{H(D_1+D_2-H)}$$

अब समी० (1) से—

$$D = 2AB + D_1$$

या

$$D = 2[H(D_1+D_2-H)]^{1/2} + D_1$$

या

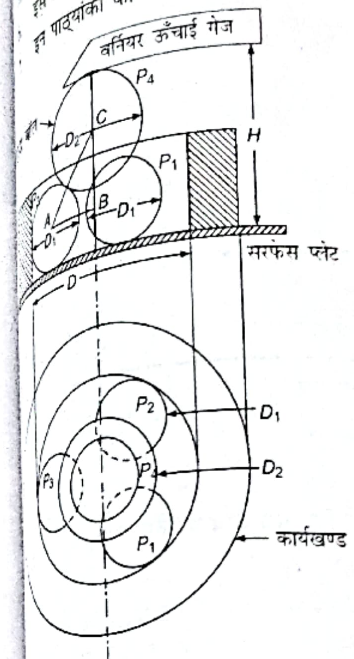
$$D = 2\sqrt{H(D_1+D_2-H)} + D_1$$

इस सूत्र से छिद्र का व्यास D का मान निकाला जा सकता है।

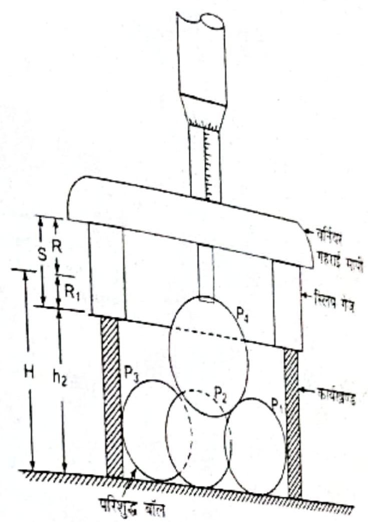
प्रयोग विधि (Procedure)

1. सर्वप्रथम ऐसे व्यास की परिशुद्ध गोलियाँ लेते हैं कि उन्हें छिद्र के अन्दर रखने पर तीनों समान व्यास वाली गोलियाँ सरफेस प्लेट की सतह को स्पर्श करें तथा चौथी गोली का कुछ हिस्सा छिद्र के ऊपर निकला हुआ रहे।
2. सभी गोलियों के व्यास को बाह्य माइक्रोमीटर की सहायता से माप कर ज्ञात कर लेते हैं।
3. अब गोलियों को छिद्र में, ऊपर बताये गये तरीके से डाल देते हैं।
4. वर्नियर ऊँचाई गेज की सहायता से ऊपर वाली गोली के ऊपरी सतह की ऊँचाई H ज्ञात कर लेते हैं। (चित्र-4 (क) के अनुसार)।

यदि गहराई गेज का प्रयोग करना पड़ता है तो H का मान चित्र-4 (ख) के अनुसार ज्ञात कर लेते हैं।
इस प्रकार हमें D_1, D_2 और H का मान ज्ञात हो जाता है।
इन पाठ्यांकों को नोट करके ऊपर बताये गये सूत्र द्वारा छिद्र के व्यास D की गणना कर लेते हैं।



चित्र 4 (क)



चित्र 4 (ख)

(Observation)

बाह्य माइक्रोमीटर का अल्पतमांक = ... मिमी०।

बाह्य माइक्रोमीटर का परास = ... मिमी०

वर्नियर ऊँचाई/गहराई मेज का अल्पतमांक = ... मिमी०

वर्नियर ऊँचाई/गहराई मेज का परास = ... मिमी०

बाह्य माइक्रोमीटर की शून्य त्रुटि = ... मिमी०

वर्नियर ऊँचाई/गहराई गेज की शून्य त्रुटि = ... मिमी०

क्र.संख्या	व्यास D_1	व्यास D_2	ऊँचाई H	छिद्र का व्यास D
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

गणना (Calculation)

$$\text{छिद्र का औसत व्यास} = \frac{D \text{ के अपरोक्त मानों का योग}}{5}$$

= .... मिमी०

परिणाम (Result)

कार्यखण्ड के छिद्र का व्यास = ... मिमी०

सावधानियाँ (Precautions)

1. छिद्र के अन्दर की तीनों समान गोलियाँ, सरफेस प्लेट को स्पर्श करते रहना चाहिए।
2. D_1 का मान हमेशा D_2 से कम होना चाहिये।
3. ऊँचाई गेज एवं माइक्रोमीटर के शून्य त्रुटि की जाँच कर लेनी चाहिए तथा शून्य त्रुटि होने पर गणना में उसको भी सम्मिलित कर लेना चाहिए।
4. कार्यखण्ड को पलटकर दूसरी तरफ से भी प्रेक्षण ले लेना चाहिए।

Experiment No. 5

उद्देश्य (Object)

मानक बॉल/रोलर (Standard ball/roller) की सहायता से दिये गये जॉब का टेपर (Taper) ज्ञात करना।

उपकरण (Apparatus)

सरफेस प्लेट, स्लिप गेज सेट, बाह्य माइक्रोमीटर, समान व्यास के मानक रोलर/बॉल 2 Nos.

सिद्धान्त (Principle)

चित्र-5 के अनुसार कार्यखण्ड को सरफेस प्लेट पर रखते हैं। उसके बाद समान व्यास के दो रोलर या बॉल को चित्रानुसार जॉब के बगल में सटाते हुये सरफेस प्लेट पर रखकर उनके बीच की दूरी m_1 का मान ज्ञात कर लेते हैं। अब जॉब के दोनों तरफ समान ऊँचाई के स्लिप गेजों को रखकर उसके ऊपर उन्हीं दो रोलरों को पुन: रखते हैं। अब उनके बीच की दूरी m_2 का मान भी ज्ञात कर लेते हैं। तत्पश्चात् , स्लिप गेज की ऊँचाई h भी ज्ञात कर लेते हैं। यदि जॉब का टेपर कोण θ हो, तो

$$\tan\theta = \frac{m_2 - m_1}{2h}$$

जहाँ h = स्लिप गेज की ऊँचाई

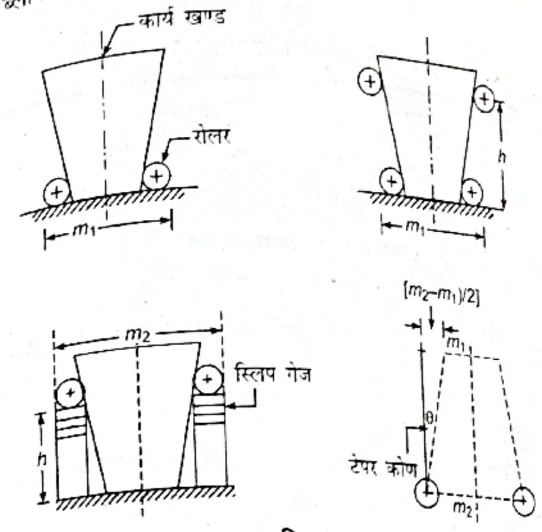
m_1 = टेपर जॉब के दोनों तरफ सरफेस प्लेट पर रखे मानक बॉल की आर-पार दूरी,

m_2 = स्लिप गेज के दो बराबर ऊँचाइयों के कालमों पर रखे मानक बॉल की आर-पार दूरी।

प्रयोग विधि (Procedure)

1. सर्वप्रथम जॉब को छोटे व्यास की तरफ से सरफेस प्लेट पर रखते हैं।
2. अब चित्रानुसार समान व्यास के दो मानक बॉल या रोलर जॉब के साथ सटाकर एक-दूसरे के विपरित, सरफेस प्लेट पर रखते हैं।
3. बाह्य माइक्रोमीटर की सहायता से रोलरों/बॉल के बीच की दूरी m_1 ज्ञात कर लेते हैं।
4. इसके बाद दो समान ऊँचाई के स्लिप गेज ब्लॉक बनाकर उनके ऊपर उन्हीं रोलरों को पुन: जॉब से सटाकर, सरफेस प्लेट पर रखते हैं।

5. पुन: बाह्य माइक्रोमीटर की सहायता से रोलरों के बीच की दूरी m_2 ज्ञात कर लेते हैं।
6. इसी प्रकार स्लिप गेज के विभिन्न ऊँचाइयों के सापेक्ष m_2 के अलग-अलग मान ज्ञात कर लेते हैं।
7. स्लिप गेज ब्लॉक की ऊँचाई h को भी ज्ञात कर लेते हैं।



चित्र 5

प्रेक्षण (Observation)

1. माइक्रोमीटर का अल्पतमांक = ... मिमी०
2. माइक्रोमीटर का परास = ... मिमी०
3. माइक्रोमीटर की शून्य त्रुटि = ... मिमी०

क्र० सं०	रोलरों के बीच की दूरी m_1	रोलरों के बीच की दूरी m_2	स्लिप गेज ब्लॉक की ऊँचाई h	टेपर कोण θ	औसत टेपर कोण θ
1.				θ_1	
2.				θ_2	
3.				θ_3	
4.				θ_4	
5.				θ_5	

गणना (Calculation)

$$\text{औसत टेपर कोण } \theta = \frac{\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5}{5} = \text{....................}$$

सावधानियाँ (Precautions)

1. रोलर हमेशा जॉब से सटा हुआ होना चाहिए।
2. उचित व्यास के रोलरों या बॉल्स का प्रयोग करना चाहिए।

3. दोनों रोलर समान व्यास के होने चाहिए।
4. जॉब के टेपर का छोटा व्यास सरफेस प्लेट पर रखा जाना चाहिए।
5. स्लिप गेज ब्लॉक बनाते समय, रिंगिंग विधि का प्रयोग करना चाहिए।
6. मापन करते समय, माइक्रोमीटर द्वारा कम से कम बल लगाना चाहिए।
7. टेपर जॉब की लम्बाई 100 mm से अधिक नहीं होनी चाहिए।

Experiment No. 6

उद्देश्य (Object)

किसी दिये गये स्क्रू (Screw) की चूड़ी के अवयवों का मापन करना।

उपकरण (Apparatus)

चूड़ी पिच गेज, स्क्रू चुड़ी माइक्रोमीटर, प्वाइंट माइक्रोमीटर, टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप और विभिन्न प्रकार के स्क्रू जिनके अवयवों का मापन करना है।

विवरण (Discription)

किसी भी स्क्रू, बोल्ट या अन्य पार्ट्स जिन पर चूड़ियाँ कटी होती हैं, वे कई प्रकार के होते हैं; जैसे—

1. B.S.W. चुड़ी (British standard Whitworth thread)
2. मीट्रिक चूड़ी (Metric thread)
3. वर्ग चूड़ी (Square thread)
4. बट्रेस चूड़ी (Buttress thread)
5. पाइप चूड़ी (Pipe thread)
6. कनड्यूट चूड़ी (Conduit thread)
7. साइकिल चूड़ी (Cycle thread)
8. B.A. चूड़ी (British Association thread)
9. एकमी चूड़ी (Acme thread)

इंजीनियरी में ज्यादातर B.S.W., मैट्रिक एवं वर्ग चूड़ियों का प्रयोग किया जाता है। किसी स्क्रू चूड़ी के विभिन्न अवयवों को चित्र में दिखाया गया है, जो कि निम्न है—

(i) पिच (Pitch)
(ii) दीर्घ व्यास (Major diameter)
(iii) लघु व्यास (Minor diameter)
(iv) पिच व्यास (Pitch diameter) या प्रभावी व्यास (Effective diameter)
(v) चूड़ी का आकार (Form of thread)
(vi) चूड़ी का फ्लैंक कोण (Flank angle)

कुछ चूड़ियाँ ऐसी होती हैं जिनका समय-समय पर सूक्ष्म मापन द्वारा जाँच करने की आवश्यकता पड़ती है; जैसे—गेजों की चूड़ियाँ, चूड़ी काटने वाले औजार, जैसे टैप एवं डाई आदि की चूड़ियाँ इत्यादि।

चूड़ी के अवयवों का मापन (Measurement of Elements of Thread)

1. चूड़ी के पिच का मापन करने के लिए, चूड़ी पिच गेज का प्रयोग करके पिच का मान ज्ञात कर लेते हैं।

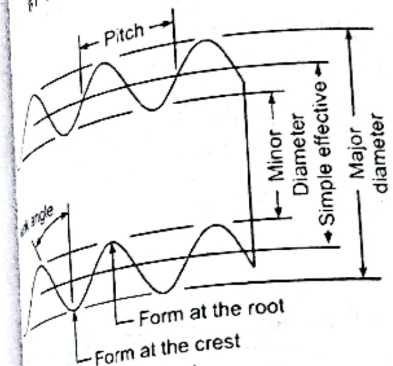
...र्घ व्यास का मापन करने के लिए बाह्य माइक्रोमीटर या बेंच माइक्रोमीटर का प्रयोग करते हैं। इसके लिये माइक्रोमीटर के निहाई (Anvil) को चूड़ी पर चित्रानुसार सम्पर्क कराते हैं। यदि सम्पर्क पूरी तरह से नहीं बन पा रहा हो तो वहाँ पर निहाई एवं चूड़ी के बीच स्लिप गेज को लगाकर प्रयोग करते हैं।

इसी प्रकार लघु व्यास का मापन प्वाइंट माइक्रोमीटर की सहायता से ज्ञात कर लेते हैं।

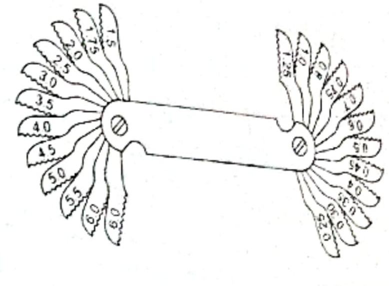
चूड़ी के आकार (form) की जाँच करने के लिए पहले से बनी फार्म की मैचिंग टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप से करते हैं जिससे आकार का पता चल जाता है।

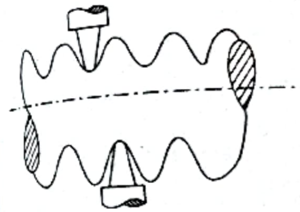
चूड़ी के कोण (flank angle) का मापन भी टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप का प्रयोग करके ज्ञात कर लेते हैं।

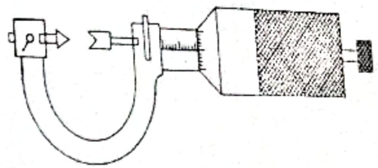
चूड़ी के पिच व्यास या प्रभावी व्यास को मापने के लिए पिच व्यास माइक्रोमीटर सबसे आसान युक्ति (Device) है। इस युक्ति में विभिन्न माप के निहाई का प्रयोग किया जाता है।

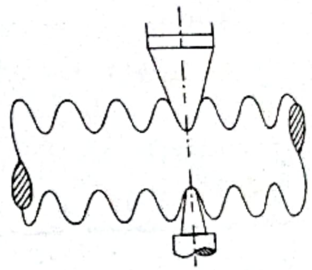


चित्र 6 (क) : चूड़ी के अवयव


चित्र 6 (ख) : चूड़ी पिच गेज


चित्र 6 (ग) : खण्ड के उपयोग


चित्र 6 (घ) : चूड़ी माइक्रोमीटर


चित्र 6 (ङ) : चूड़ी के मापन

यदि चूड़ी का दीर्घ व्यास D हो, तो

मीट्रिक चूड़ी का पिच व्यास $= D - 0{\cdot}6495p$

व्हिटवर्थ चूड़ी का पिच व्यास $= D - 0{\cdot}6403p$

जहाँ, p चूड़ी का पिच है

तथा दो तार विधि (Two wire method) द्वारा चूड़ी पिच व्यास का मापन—

यदि d = तार का व्यास, p = चूड़ी का पिच, m = तारों के ऊपरी सिरों के बीच की दूरी,

$\frac{\theta}{2}$ = चूड़ी का फ्लैंक कोण E = पिच व्यास या प्रभावी व्यास

तब पिच व्यास या प्रभावी व्यास

$$E = M - 2d + \frac{p}{2}\cot\frac{\theta}{2} - d\left(\operatorname{cosec}\frac{\theta}{2} - 1\right)$$

मीट्रिक चूड़ी के लिए $\theta = 60°$

व्हिटवर्थ चुड़ी के लिए $\theta = 55°$ लेते हैं।

तथा, तार के व्यास के लिए

$$d = \frac{p}{2}\sec\frac{\theta}{2}$$

प्रेक्षण (Observation)

क्रम संख्या	चूड़ी के अवयव	मीट्रिक चूड़ी $\theta = 60°$	व्हिटवर्थ चूड़ी $\theta = 55°$
1.	पिच		
2.	दीर्घ व्यास		
3.	लघु व्यास		
4.	चूड़ी का आकार		
5.	चूड़ी का फ्लैंक कोण		
6.	पिच व्यास या प्रभावी व्यास		

सावधानियाँ (Precautions)

1. मापन करते समय माइक्रोमीटर के निहाई की अक्ष (axis) चूड़ी की अक्ष के लम्बवत् रहनी चाहिए।
2. टूल मेकर्स माइक्रोमीटर की कार्य मेज (Work table) पर मापी जाने वाले स्क्रू को दृढ़तापूर्वक स्थिर करके कस देना चाहिए।
3. मापन करते समय प्रकाश की समुचित व्यवस्था होनी चाहिए।
4. माइक्रोमीटर के शून्य त्रुटि की जाँच कर लेनी चाहिए।

उद्देश्य (Object)

दिये गये स्पर गियर (Spur gear) के विभिन्न अवयवों (elements) का मापन करना।

उपकरण (Apparatus)

वर्नियर कैलिपर, गियर दाँत वर्नियर (gear tooth vernier) बेंच वाइस और स्पर गियर।

विवरण (Description)

किसी भी गियर के प्रमुख अवयवों को चित्र में दिखाया गया है जिनमें मुख्य रूप से निम्न है—

(i) माड्यूल (Module)—गियर के इकाई दाँत पर पिच वृत्त व्यास की लम्बाई को माड्यूल कहते है। इस प्रकार माड्यूल कहते है। इस प्रकार माड्यूल

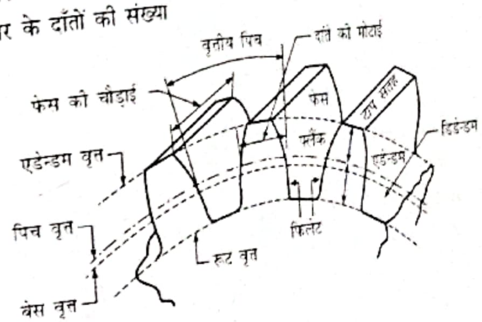
$$m = \frac{\text{गियर का पिच वृत्त व्यास (P.C.D.)}}{\text{गियर दाँतो की संख्या}} = \frac{D}{T} \text{ मिमी०}$$

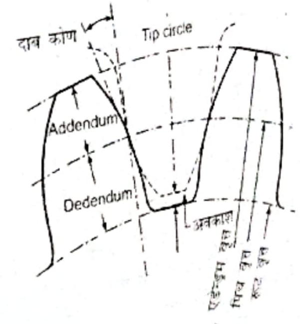
(ii) पिच वृत्त व्यास (Pitch circle diameter or P.C.D.)—पिच वृत्त के व्यास को पिच वृत्त व्यास या पिच व्यास कहते हैं। गियर के साइज को पिच वृत्त व्यास से दर्शाया जाता है। दो परस्पर गियर इसी व्यास पर सम्पर्क बनाते है।

$$D = \frac{T \times OD}{T + 2}$$

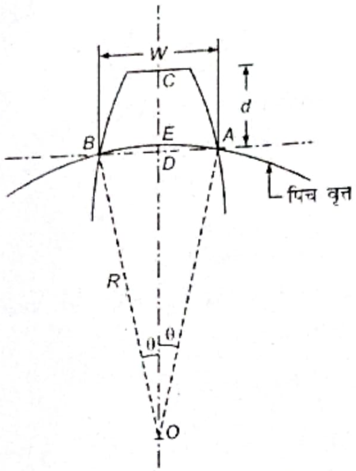
जहाँ OD = गियर का बाहरी व्यास

T = गियर के दाँतों की संख्या

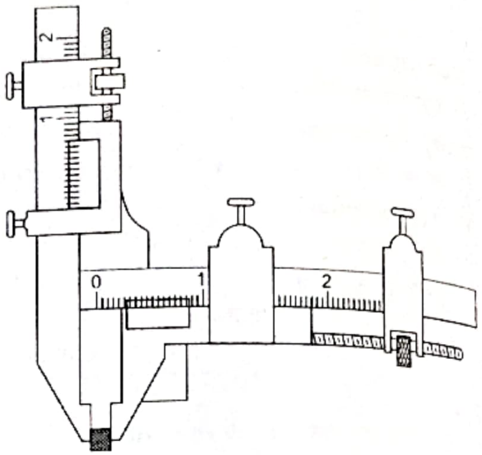




चित्र 7 (क) : गियर



चित्र 7 (ख) : गियर की मोटाई



चित्र 7 (ग) : गियर दाँत वर्नियर

(iii) वृत्तीय पिच (Circular pitch)—किसी गियर के पिच वृत्त की परिधि पर एक दाँत से दूसरे दाँत के बीच की दूरी वृत्तीय पिच कहलाती है। इसे P_c से व्यक्त किया जाता है।

$$Pc = \frac{\pi D}{T}$$

(iv) अवकाश (Clearance)—किसी गियर के दाँतों के ऊपरी किनारे से तथा उससे मिलने वाले गियर के दाँतों की जड़ तक की त्रैज्यिक दूरी को अवकाश कहते हैं। यह दाँते के एडेन्डम तथा डिडेन्डम के अन्तर के बराबर होता है। इसका मान (Value) 0·157 m के बराबर होता है।

(v) एडेन्डम (Addendum)—गियर के पिच वृत्त से दाँतों के ऊपरी भाग तक की त्रैज्यिक दूरी को एडेन्डम कहते हैं। इसका मान m के बराबर होता है।

(vi) डिडेन्डम (Dedendum)—गियर के पिच वृत्त से दाँतों के जड़ तक की त्रैज्यिक दूरी (radial distance) को डिडेन्डम कहते हैं। इसका मान 1·157 m के बराबर होता है।

(vii) गियर दाँत की मोटाई (Thickness of gear tooth)—किसी गियर के दोनों सिरों के बीच की चाप (Arc) की लम्बाई को दाँते की मोटाई कहते हैं। इसे w से व्यक्त करते हैं।

$$\text{दाँत की मोटाई } w = D\sin\frac{90°}{T}$$

तथा

$$\text{एडेन्डम } d = \frac{D}{2}(1 + \frac{2}{T} - \cos\frac{90°}{T})$$

प्रयोग विधि (Procedure)

1. सर्वप्रथम दिये गये स्पर गियर के दाँतों की संख्या को गिन लेते हैं।
2. इसके बाद वर्नियर कैलिपर की सहायता से गियर का बाहरी व्यास (OD) माप लेते हैं।
3. अब गियर के पिच वृत्त व्यास (D) की गणना सूत्र द्वारा कर लेते हैं।
4. इसी प्रकार अन्य अवयव जैसे—माड्यूल (m), एडेन्डम डिडेन्डम तथा अवकाश की गणना भी कर लेते हैं।

5. अब गियर दाँत वर्नियर की सहायता से ऊर्ध्व वर्नियर को जैविक एडेन्डम के लिए सेट कर लेते तथा क्षैतिज वर्नियर के जबड़ों के दाँत को अच्छी तरह से पकड़ लेते हैं।
6. इस प्रकार क्षैतिज वर्नियर की माप ही दाँत की जैविक मोटाई है।
7. अन्त में मानक गियर दाँत की मोटाई w_s को नोट कर लेते है तथा गियर दाँत की जैविक मोटाई से प्रतिशत त्रुटि की गणना कर लेते हैं।

प्रेक्षण एवं गणना (Observation and calculation)

ऊर्ध्व वर्नियर का अल्पतमांक = ... मिमी०

क्षैतिज वर्नियर का अल्पमांक = ... मिमी०

गियर पर बने दाँतों की संख्या, T = ... मिमी०

गियर का बाहरी व्यास OD = ... मिमी०

पिच वृत्त व्यास $D = \frac{T \times OD}{T+2}$ मिमी०

माड्यूल $m = \frac{D}{T} = ...$ मिमी०

एडेन्डम $a = m = ...$ मिमी०

डिडेन्डम $d = 1{\cdot}157\,m = ...$ मिमी०

अवकाश $= 0{\cdot}157\,m = ...$ मिमी०

वृत्तीय पिच $P_c = \pi\, m = \pi\frac{D}{T} = ...$ मिमी०

मानक गियर दाँत की मोटाई $w_s = ...$ मिमी०

गियर दाँत की जैविक मोटाई $w = ...$ मिमी०

गियर दाँत मोटाई की प्रतिशत त्रुटि $= \frac{w_s \sim w}{w_s} \times 100 = ...\%$

परिणाम (Result)

इस प्रकार गियर के अवयवों का मापन पूर्ण कर लेते हैं।

सावधानियाँ (Precautions)

1. वर्नियर के शून्य त्रुटि की जाँच कर लेनी चाहिए तथा यथासंभव उसकी गणना में जोड़ या घटा लेनी चाहिए।
2. मापन से पहले गियर को अच्छी तरह से साफ कर लेना चाहिए।
3. सम्पूर्ण मापन प्रकिया गियर के एक से अधिक दाँतों के लिए करनी चाहिये।
4. मापन सावधानीपूर्वक करना चाहिए।

Experiment No. 8

उद्देश्य (Object)

ऑटो-कॉलीमेटर की सहायता से दिये गये जॉब की वर्गीयता या लम्बता (Squareness or perpendicularity) की जाँच करना।

उपकरण (Apparatus)

ऑटो-कॉलीमेटर (Auto-collimator), ऑटो-कॉलीमेंटर स्टैण्ड, सरफेस प्लेट, परावर्तक या दर्पण (Reflector or mirror), प्रकाशीय वर्ग (optical square or pentag) एवं जॉब।

ऑटो-कॉलीमेटर का सिद्धांत (Principle of auto-collimator)

ऑटो-कॉलीमेटर के सिद्धांत को चित्र-8 (क) में दर्शाया गया है। चित्र 8 (ख) में ऑटो कॉलीमेटर को दिखाया गया है।

चित्र 8 (क) के अनुसार यदि लेंस के फोकस पर एक बिन्दु प्रकाश स्रोत रखा जाये और दर्पण को प्रकाशीय अक्ष के लम्बवत् रखा जाय तो, दर्पण पर पड़ने वाली समानान्तर किरण परावर्तित होकर उसी दिशा में वापस चली जायेगी और प्रकाश स्रोत का प्रतिबिम्ब फोकस पर ही बनेगा।

अब यदि दर्पण को $\theta°$ कोण पर घुमा दिया जाए, तो प्रकाश स्रोत का प्रतिबिम्ब फोकस A पर न बनकर चित्र के अनुसार B पर बनेगा और परावर्तन के नियम के अनुसार AB लेंस के केन्द्र पर $2\theta°$ कोण बनायेगा। ऐसी स्थिति में

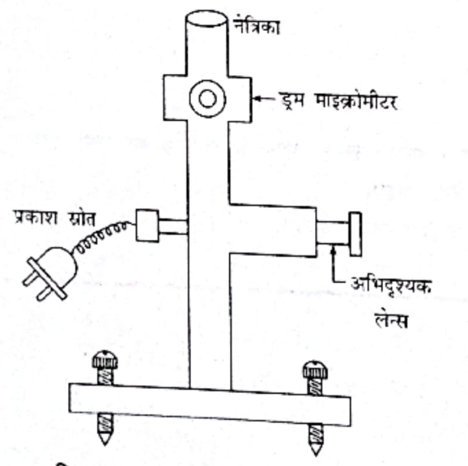
$$AB = OA \times 2\theta$$
$$= f \times 2\theta$$

जहाँ f = लेंस की फोकस दूरी ।

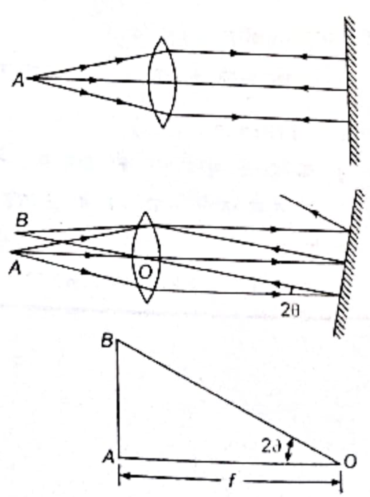
इस प्रकार ऑटो-कॉलीमेटर से θ का मान ज्ञात कर लेते हैं।

विवरण (Description)

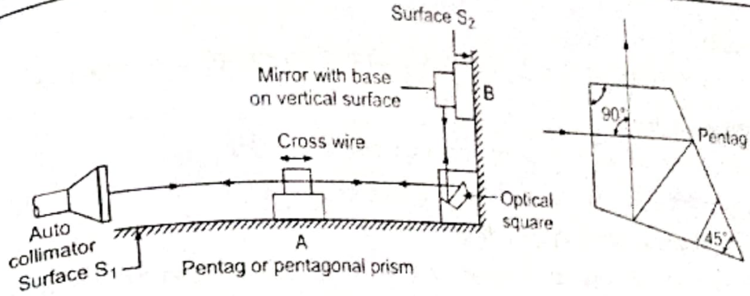
चित्र 8 (ख) में एक साधारण ऑटो-कॉलीमेटर को दिखाया गया है। यह एक प्रकाशीय उपकरण है जिसकी सहायता से सूक्ष्म कोणों का अन्तर परिवर्तन का मापन किया जाता है। इस यंत्र में प्रकाश की किरणें अभिदृश्यक लेंस से निकलकर परावर्तक पर पड़ती है और वहाँ हसे परावर्तित होकर लेंस से वापस गुजरती है। ऐसी स्थिति में नेत्रिका (eye piece) द्वारा देखने पर क्रास रेखाओं के प्रतिबिम्ब दिखाई देते हैं।



चित्र 8 (क) : ऑटो-कॉलीमेटर का रेखाचित्र



चित्र 8 (ख)



चित्र 8 (ग) : ऑटो-कॉलीमेटर द्वारा लम्बता मापन

जिस सतह की जाँच करनी होती है, उस सतह के किसी एक स्थान पर परावर्तक को रखते हैं और ड्रम माइक्रोमीटर द्वारा क्रॉस लाइन के प्रतिबिम्ब की स्थिति का मान θ_1 ज्ञात कर लेते हैं। अब सतह के दूसरे स्थान पर परावर्तक रखने पर प्रतिबिम्ब की स्थिति बदलने पर, नई स्थिति का मान θ_2 ज्ञात कर लेते हैं। इन्हीं दोनों मानों का अन्तर $(\theta_1 - \theta_2)$ ही सतह के इन दो स्थानों की ऊँचाई, निचाई या उसके सीधेपन में त्रुटि को दर्शाता है।

प्रयोग विधि (Procedure)

यहाँ पर दो मशीन सतहों की लम्बता की सूक्ष्म जाँच की विधि को उदाहरण के तौर पर बताया जा रहा है।

1. सर्वप्रथम ऑटो-कॉलीमेटर को किसी दृढ़ सतह पर लगभग एक मीटर की दूरी पर क्षैतिज अवस्था में रख दिया जाता है।
2. ऑटो-कॉलीमेटर से निकलने वाली प्रकाश किरण ही मापन की अक्ष बन जाती है।
3. अब ऑप्टिकल स्क्वायर (Optical square) की सहायता से प्रकाश किरण का 90° पर मोड़ा जाता है।
4. इस प्रकार ऑटो-कॉलीमेटर से निकलने वाली प्रकाश, ऑप्टिकल स्क्वायर से 90° पर मुड़कर ऊर्ध्व सतह पर लगे परावर्तक द्वारा परावर्तित होकर पुनः ऑटो-कॉलीमेटर में पहुँचता है और वहाँ पर क्रास वायर (cross wire) का प्रतिबिम्ब बनाता है।
5. चित्र-8 (ग) के अनुसार यदि दोनों सतहें S_1 एवं S_2 आपस में लम्बवत् हैं तो, वास्तविक क्रॉस वायर तथा बनने वाला प्रतिबिम्ब एक-दूसरे पर संपाती होते हैं।
6. इसी प्रकार परावर्तक को ऊर्ध्व सतह पर आगे सरकाकर पूरी लम्बाई के लिए दोनों सतहों के बीच लम्बता ज्ञात कर लेते हैं।

प्रेक्षण (Observation)—इस माइक्रोमीटर का अल्पतमांक = ... मिमी०

क्रम संख्या	परावर्तक को क्षैतिज सतह पर रखने पर ऑटो-कॉलीमेटर का पाठ्यांक = θ_1	परावर्तक को ऊर्ध्वाधर सतह पर रखने पर ऑटो-कॉलीमेटर का पाठ्यांक = θ_2	दोनों पाठ्यांकों का अन्तर $(\theta_1 - \theta_2)$	औसत मान
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

परिणाम (Result)

उपरोक्त प्रेक्षण से यह पता चलता है कि दिये गये जॉब की सतहें पूर्णतया वर्ग हैं या पूर्णतया वर्ग नहीं हैं।

सावधानियाँ (Precautions)

1. कार्य खण्ड या जॉब की सतहें पूर्णतया समतल एवं सीधी होनी चाहिये।
2. ऑटो-कॉलीमेटर परावर्तक सतह से लगभग एक मीटर दूर होनी चाहिए।
3. लेंस के फोकस का समायोजन पहले ही कर लेनी चाहिए।
4. ऑटो-कॉलीमेटर को उसके आधार पर और जॉब को सरफेस प्लेट पर रखकर इस तरह से व्यवस्थित करना चाहिए कि परावर्तक के दर्पण का अक्ष और ऑटो-कॉलीमेटर के लेंस का प्रकाशीय अक्ष एक रेखा में हो।

Experiment No. 9

उद्देश्य (Object)

ऑटो-कॉलीमेटर की सहायता से सरफेस प्लेट पर दिये गये सरल रेखा से लगी सतह के सीधेपन (straightness) की जाँच करना।

उपकरण (Apparatus)

ऑटो-कॉलीमेटर, ऑटो-कॉलीमेटर का स्टैण्ड, परावर्तक सरफेस प्लेट, सीधी कोर (Straight edge)।

सिद्धांत (Principle)

(i) ऑटो-कॉलीमेटर का सिद्धांत—ऑटो-कॉलीमेटर के सिद्धांत को चित्र 8 (क) में दर्शाया गया है। चित्र 8 (ख) में ऑटो-कॉलीमेटर को दिखाया गया है। चित्र 8 (क) के अनुसार यदि लेंस के फोकस पर एक बिन्दु प्रकाश स्रोत रखा जाये और दर्पण को प्रकाशीय अक्ष के लम्बवत् रखा जाये तो दर्पण पर पड़ने वाली समान्तर किरण परावर्तित होकर उसी दिशा में वापस चली जायेगी और प्रकाश स्रोत का प्रतिबिम्ब फोकस पर ही बनेगा।

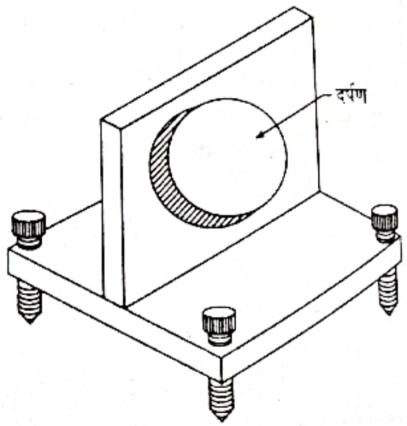
अब यदि दर्पण को $\theta°$ कोण पर घुमा दिया जाए तो प्रकाश स्रोत का प्रतिबिम्ब, फोकस A पर न बनकर चित्र के अनुसार B पर बनेगा और परावर्तन के नियम के अनुसार AB लेंस केन्द्र पर $2\theta°$ का कोण बनायेगा।

ऐसी स्थिति में $AB = OA \times 2\theta$

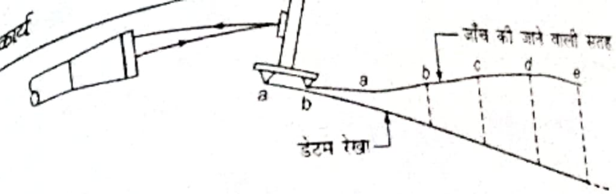
$$= f \times 2\theta$$

जहाँ f = लेंस की फोकस दूरी।

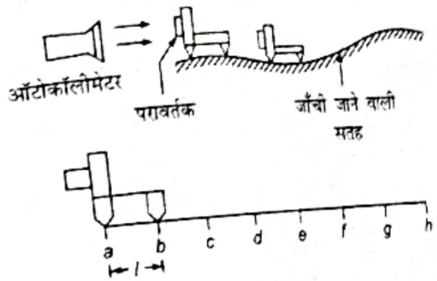
(ii) परावर्तक—इसमें एक दर्पण (Mirror) लगा होता है। यदि दर्पण प्रकाश की किरणों को परावर्तित करती है। इसके आधार पर चार स्क्रू लगे होते हैं जिनकी सहायता से इस परावर्तक को समतल अवस्था में रखा जा सकता है। परावर्तक को चित्र 9 (क) में दिखाया गया है। परावर्तक कई तरह के होते हैं। प्रयोगों के अनुसार उनकी बनावट भिन्न-भिन्न होती है।

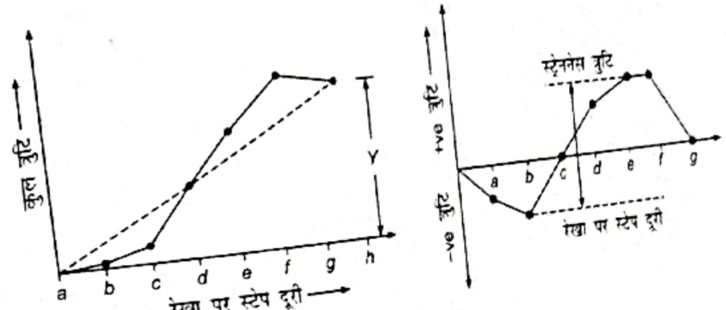


चित्र 9 (क) : परावर्तक



चित्र 9 (ख)





चित्र 9 (ग)

विवरण (Description)

चित्र 8 (ख) में एक साधारण ऑटो-कॉलीमेटर को दिखाया गया है। यह एक प्रकाशीय उपकरण है जिसकी सहायता से सूक्ष्म कोणों का अन्तर, परिवर्तन का मापन किया जाता है। इस यंत्र में प्रकाश की किरणें, अभिदृश्यक लेंस से निकलकर परावर्तक पर पड़ती हैं और वहाँ से परावर्तित होकर लेंस से वापस गुजरती हैं। ऐसी स्थिति में नेत्रिका (Eye piece) द्वारा देखने पर क्रॉस रेखाओं के प्रतिबिम्ब दिखाई देते हैं।

जिस सतह की जाँच करनी होती है, उस सतह के किसी एक स्थान पर परावर्तक को रखते हैं और माइक्रोमीटर द्वारा क्रॉस लाइन के प्रतिबिम्ब की स्थिति का मान θ_1 ज्ञात कर लेते हैं। अब सतह के दूसरे स्थान पर परावर्तक रखने पर प्रतिबिम्ब की स्थिति बदलने पर नई स्थिति का मान θ_2 ज्ञात कर लेते हैं। इन्हीं दोनों मानों का अन्तर $(\theta_1 - \theta_2)$ ही सतह के इन दोनों स्थानों की ऊँचाई, निचाई या उसके सीधेपन में त्रुटि को दर्शाता है।

प्रयोग विधि (Procedure)

सतह के सीधेपन की जाँच स्पिरिट लेवल या ऑटो-कॉलीमेटर द्वारा किया जा सकता है। इनके द्वारा रेखा के किसी सन्दर्भ बिन्दु के सापेक्ष विभिन्न बिन्दुओं की कोणीय स्थिति का पता चलता है। ये कोणीय स्थिति ऊँचाई या निचाई में हो सकती है।

जिस सतह के सीधेपन की जाँच करनी होती है उस सतह पर एक सीधी रेखा बना दी जाती है। इस रेखा को कई बराबर भागों में बाँट दिया जाता है। इसके एक भाग की लम्बाई ऑटो-कॉलीमेटर के परावर्तक के आधार या स्पिरिट लेवल के आधार के बराबर रख जाता है। इस प्रकार बाँटी गई रेखा के प्रत्येक भाग की लम्बाई परावर्तक के आधार के बराबर रखी जाती है।

ऑटो-कॉलीमैटर से क्षैतिज एवं ऊर्ध्वाधर दोनों सतहों के सीधेपन की जाँच की जा सकती है। जाँच करते समय सतह से लगभग एक मीटर की दूरी पर किसी दृढ़ सतह पर ऑटो-कॉलीमेटर के स्थिर या फिक्स कर दिया जाता है। ऑटो-कॉलीमेटर से प्रकाश की समान्तर किरण पुंज को नापी जाने वाली सतह पर प्रक्षेपित किया जाता है।

पाठ्यांक लेने के लिये, परावर्तक को रेखा पर बने चिन्हों पर एक के बाद एक रखा जाता है। सतह पर त्रुटि होने पर क्रॉस वायर (cross wire) का प्रतिबिम्ब विस्थापित हो जाता है। इस विस्थापन को नेत्रिका पर रीडिंग पढ़कर उसक संगत ऊँचाई के अन्तर की गणना करके नोट करते जाते हैं।

रीडिंग की यथार्थता के लिए एक बार a से h की ओर जाते हुये तथा एक बार h से a की ओर जाते हुये रीडिंग लेना चाहिए। प्रत्येक संगत स्टेप की दोनों रीडिंग का औसत मान ज्ञात कर लेते हैं तथा मानों की गणना नीचे दिये गये तालिका के अनुसार कर ली जाती है।

सीधेपन की त्रुटि की गणना (Calculation of straightness error)

परावर्तक के आधार की स्थिति	ऑटो-कॉलीमेटर की रीडिंग मिनट (′) में	प्रथम रीडिंग से अन्तर मिनट (′)	l दूरी पर संगत ऊँचाई या गहराई µm (चिन्ह सहित)	कुल ऊँचाई या गहराई µm में	सिरों को शून्य करने का समायोजन	माध्य रेखा से सीधेपन की त्रुटि µm में
1	2	3	$4 = 3 \times l$	5	6	$7 = 5 - 6$
a	...	...	...	0	0	0
$a-b$	θ_1	0	0	0	$-y/n$	$-y/n$
$b-c$	θ_2	$\theta_2-\theta_1$	$(\theta_2-\theta_1).l$	$(\theta_2-\theta_1).l$	$-2y/n$	$(\theta_2-\theta_1).l-2y/n$
$c-d$	θ_3	$\theta_3-\theta_1$	$(\theta_3-\theta_1).l$	$(\theta_2-\theta_1).l+(\theta_3-\theta_1).l$	$-3y/n$	$(\theta_2-\theta_1).l+(\theta_3-\theta_1).l-3y/n$
$e-f$	...	...	...	...	...	...
$f-g$	...	...	...	...	...	...
$g-h$	θ_n	$\theta_n-\theta_1$	$(\theta_n-\theta_1).l$	$\Sigma(\theta_n-\theta_1).l$	$-y$	0

उपरोक्त तालिका से सतह पर खींची गयी रेखा के स्टेप तथा कुल ऊँचाई या गहराई (कॉलम-5) के बीच कुल त्रुटि का ग्राफ खींचा जाता है। अब यदि कुल n मान लिये गये हैं तो अन्तिम बिन्दु को भी शून्य करने के लिए $-y/n, -2y/n, -3y/n$ ... का समायोजन (कॉलम-6) कर लिया जाता है। इस प्रकार प्रारम्भिक बिन्दु एवं अन्तिम बिन्दु शून्य हो जाते हैं। कॉलम 5 में से कॉलम 6 को घटाने पर कॉलम 7 द्वारा प्रत्येक स्टेप पर त्रुटि ज्ञात हो जाती है। उच्चतम बिन्दु तथा निम्नतम बिन्दु की दूरी ही, रेखा की कुल सीधेपन की त्रुटि होती है जिसे एक निश्चित सीमा (limit) के अन्दर ही होना चाहिए।

सावधानियाँ (Precautions)

1. कार्य खण्ड या जॉब की सतहें पूर्णतया समतल एवं सीधी होनी चाहिये।
2. ऑटो-कॉलीमेटर, परावर्तक सतह से लगभग एक मीटर दूर होनी चाहिए।
3. लेंस के फोकस का समायोजन पहले ही कर लेनी चाहिए।
4. ऑटो-कॉलीमेटर को उसके आधार पर और जॉब को सरफेस प्लेट पर रखकर इस तरह से व्यवस्थित करना चाहिए कि परावर्तक के दर्पण का अक्ष और ऑटो-कॉलीमेटर के लेंस का प्रकाशीय अक्ष एक रेखा में हो।

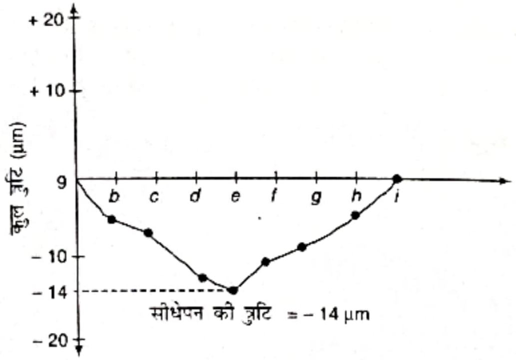
उदाहरण (Example) ऑटो-कॉलीमेटर एवं परावर्तक द्वारा किसी मशीनित बेड (machined bed) के सीधेपन की जाँच करना। इसकी जाँच के लिए मशीनित बेड के विभिन्न बिन्दुओं a, b, c, d ... i के मान मिनट (′) में पाये गये हैं। ऑटो-कॉलीमेटर पर 1 मिनट विक्षेप, परावर्तक दर्पण का 20 µm का टेढ़ापन दर्शाता है। ऑटो-कॉलीमेटर का विभिन्न बिन्दुओं पर मान निम्न है—

स्थिति	कोण
a	15·55
$a-b$	15·70
$b-c$	15·45
$c-d$	15·75
$d-e$	15·95
$e-f$	15·90
$f-g$	16·10
$g-h$	15·95
$h-i$	

परावर्तक के आधार की स्थिति	ऑटो-कॉली-मेटर की रीडिंग मिनट में (′)	रीडिंग का अन्तर मिनट में (′)	परावर्तक सतह का टेढ़ापन (µm)	कुल टेढ़ापन	समायोजन	सीधेपन की त्रुटि
1	2	3	$4 = 3 \times 20\,\mu m$	5	6	$7 = 5 - 6$
a				0	0	0
$a-b$	15·55	0	0	0	−5	−5
$b-c$	15·70	+0·15	+3	+3	−10	−7
$c-d$	15·50	+0·05	−1	+2	−15	−13
$d-e$	15·75	+0·20	+4	+6	−20	−14
$e-f$	15·95	+0·40	+8	+14	−25	−11

$f-g$	15·90	+0·35	+7	+21	−30	−9
$g-h$	16·10	+0·55	+11	+32	−35	−3
$h-i$	15·95	+0·40	+8	+40 = y	−40	0
$n = 8$						

इसका ग्राफ निम्न प्रकार से बनेगा—



चित्र 9 (घ)

परिणाम (Result)

अतः मशीन बेड की कुल सीधेपन की त्रुटि 14 μm है।

Experiment No. 10

उद्देश्य (Object)

माइक्रोमीटर की सहायता से दिये गये जॉब की लम्बाई, चौड़ाई तथा ऊँचाई ज्ञात करना।

उपकरण (Apparatus)

बाह्य माइक्रोमीटर, सरफेस प्लेट एवं जॉब।

सिद्धांत (Principle)

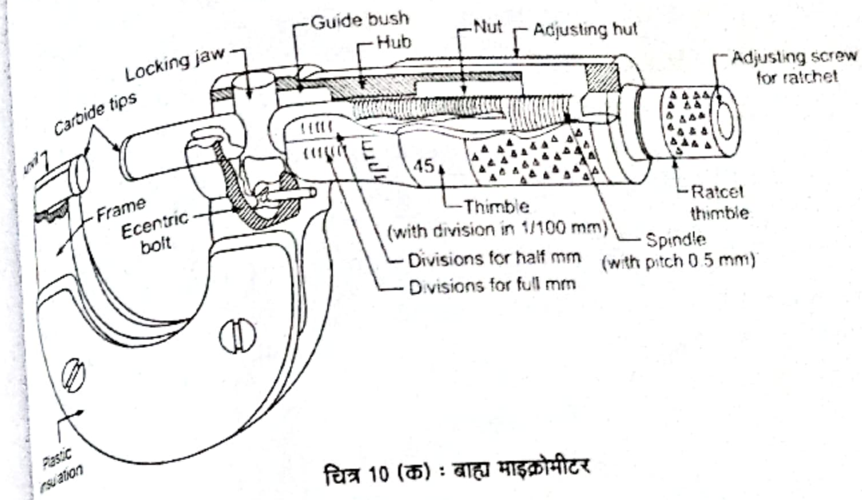
माइक्रोमीटर 'स्क्रू एवं स्क्रू नट' सिद्धांत पर कार्य करता है। एक पूर्ण चक्कर घुमाने पर स्क्रू द्वारा चली गयी दूरी को स्क्रू चूड़ी का पिच (Pitch) कहते हैं। बाह्य माइक्रोमीटर को चित्र 10 में दिखाया गया है, किसी मापन यंत्र द्वारा कम-से-कम जितना सही मान प्राप्त किया जा सकता है उसे उस यंत्र का अल्पतमांक (Least count) कहते हैं। इस प्रकार—

$$\text{माइक्रोमीटर का अल्पतमांक} = \frac{\text{एक पूर्ण चक्कर में स्क्रू द्वारा चली गयी दूरी (पिच) मिमी०}}{\text{थिम्बल में बने वृत्ताकार स्केल के कुल खानों की संख्या}}$$

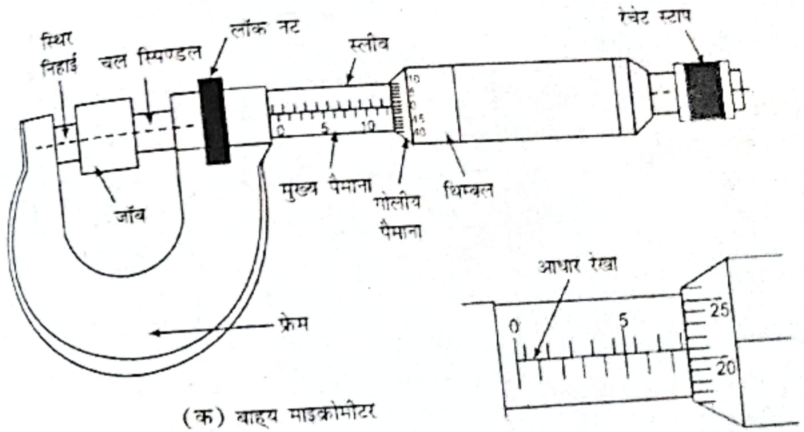
यदि दिये गये माइक्रोमीटर की चूड़ी का पिच (pitch) 0·5 मिमी हो तथा वृत्ताकार स्केल पर कुल 50 खाने बने हो, तो—

$$\text{अल्पतमांक} = \frac{\text{चूड़ी का पिच}}{\text{वृतीय स्केल पर बने खानो की संख्या}}$$

$$= \frac{0\cdot5}{50} \text{ मिमी०} = 0\cdot01 \text{ मिमी०}$$



चित्र 10 (क) : बाह्य माइक्रोमीटर



(क) बाह्य माइक्रोमीटर

(ख) माइक्रोमीटर पर रीडिंग लेना

चित्र 10 (ख) : बाह्य माइक्रोमीटर

विधि (Procedure)

1. सर्वप्रथम प्रयोग होने वाले माइक्रोमीटर का अल्पतमांक ज्ञात करते हैं।
2. माइक्रोमीटर की निहाई (anvil) को साफ करके एक-दूसरे से मिलाकर उसके शून्य त्रुटि की जाँच करते हैं तथा त्रुटि पाये जाने पर उसके पाठ्यांक की गणना कर लेते हैं।
3. शून्य त्रुटि यदि धनात्मक (+ve) है तो उसे प्रेक्षित मान से घटा देते हैं परन्तु शून्य त्रुटि यदि ऋणात्मक (−ve) है तो उसे प्रेक्षित मान में जोड़ देते हैं।

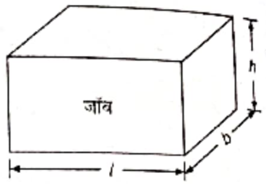
4. अब जॉब का मापन करने के लिए जॉब को सरफेस प्लेट पर टिकाकर उसे निहाई एवं स्पिण्डल के बीच रखकर रैचेट (ratchet) द्वारा तब तक कसते हैं जब तक रैचेट से आवाज न निकलने लगे। ऐसी स्थिति में पाठ्यांक को नोट कर लेते हैं।
5. शून्य त्रुटि को समायोजन स्क्रू (adjustment screw) द्वारा समायोजन (adjust) करके भी दूर किया जा सकता है।
6. इस प्रकार मापो के कई पाठ्यांक लेकर उसका औसत मान ज्ञात कर लेते हैं।

मापन विधि (Method of Measurement)

1. मापे जाने वाले जॉब को माइक्रोमीटर की निहाई एवं स्पिण्डल के बीच कसने के बाद लॉक नट (lock nut) से लॉक कर देते हैं।
2. इसके बाद स्लीव पर दिखने वाले मुख्य पैमाने का पाठ्यांक नोट कर लेते हैं।
3. तत्पश्चात् वृत्ताकार पैमाने का वह पाठ्यांक जो आधार रेखा से मिलता है, नोट कर लेते हैं।
4. इस प्रकार, कुल माप = मुख्य पैमाने का पाठ्यांक + (वृत्ताकार पैमाने का पाठ्यांक × अल्पतमांक)

प्रेक्षण (Observation)

बाह्य माइक्रोमीटर का अल्पतमांक = ... मिमी॰)
बाह्य माइक्रोमीटर का परास = ... मिमी॰
बाह्य माइक्रोमीटर की शून्य त्रुटि = ... मिमी॰



चित्र 10 (ग)

क्रम संख्या	मापे जाने वाला प्राचाल (Parameter)	मुख्य पैमाने का पाठ्यांक X	वृत्तीय पैमाने का आधार रेखा से मिलने वाला भाग Y	वृत्तीय पैमाने का पाठ्यांक $Z = Y \times$ अल्पतमांक	कुल पाठ्यांक $(X + Z) \pm$ शून्य त्रुटि	औसत मान (मिमी॰)
1. 2. 3.	लम्बाई l					.... मिमी॰
1. 2. 3.	चौड़ाई b					.... मिमी॰
1. 2. 3.	ऊँचाई h					.... मिमी॰

परिणाम (Result)

दिये गये जॉब की लम्बाई .... मिमी॰
दिये गये जॉब की चौड़ाई .... मिमी॰
दिये गये जॉब की ऊँचाई .... मिमी॰

सावधानियाँ (Precautions)

1. माइक्रोमीटर के निहाई एवं स्पिण्डल सिरे साफ होने चाहिए।
2. मापन के लिये स्पिण्डल को आगे बढ़ाने के लिये रैचेट (Ratchet) का प्रयोग करना चाहिए।
3. मापी जाने वाली वस्तु का बाँये हाथ से एवं माइक्रोमीटर को दाँये हाथ से पकड़ना चाहिए।
4. प्रयोग से पहले शून्य त्रुटि को जरूर जाँच लेना चाहिए तथा उसकी गणना कर लेनी चाहिए।
5. पाठ्यांक लेते समय स्पिण्डल को लॉक नट से लॉक कर देना चाहिए।
6. पाठ्यांक हमेशा लम्बवत लेने का प्रयास करना चाहिए।
7. माइक्रोमीटर को रखते समय दोनों निहाइयों को आपस में नहीं सटाना चाहिये।

Experiment No. 11

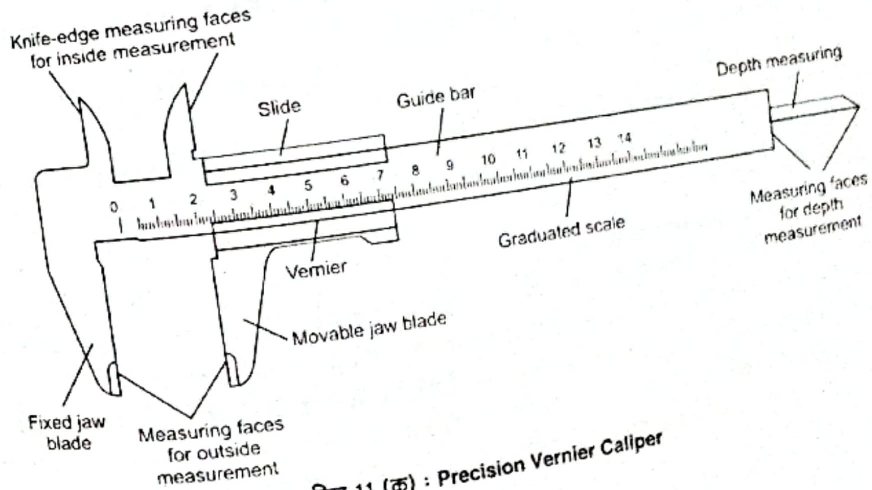
उद्देश्य (Object)

वर्नियर कैलिपर (Vernier caliper) की सहायता से दिये गये जॉब की लम्बाई, चौड़ाई एवं ऊँचाई ज्ञात करना।

उपकरण (Apparatus)—वर्नियर कैलिपर (Precision Vernier Caliper), सरफेस प्लेट एवं जॉब।

सिद्धांत (Principle)

वर्नियर कैलिपर, वर्नियर के सिद्धांत पर कार्य करता है। एक परिशुद्ध वर्नियर कैलिपर को चित्र 11 (क) में दिखाया गया



चित्र 11 (क) : Precision Vernier Caliper

वर्नियर कैलिपर सामान्यतः लम्बाई, चौड़ाई, ऊँचाई, गहराई, बाह्य तथा आन्तरिक व्यास मापने के काम आता है। इस यंत्र में एक मेन स्केल (Main scale) तथा एक वर्नियर स्केल (Vernier scale) होता है। मापन लेते समय दोनों स्केल की मदद ली जाती है।

अल्पतमांक (Least count)—किसी यंत्र द्वारा मापी जा सकने वाली कम से कम दूरी को उस यंत्र का अल्पतमांक कहते है। वर्नियर के मेन स्केल के एक खाले के मान एवं वर्नियर स्केल के एक भाग के मान का अन्तर ही वर्नियर कैलिपर का अल्पतमांक होगा।

इस प्रकार—

वर्नियर का अल्पतमांक = मेन स्केल के एक भाग का मान − वर्नियर स्केल के एक भाग का मान

यदि वर्नियर स्केल के एक भाग का मान 1 मिमी० हो और वर्नियर मिमी० स्केल के 50 भाग मेन स्केल के 49 भाग के बराबर हो, तो

$$\text{वर्नियर स्केल के एक भाग का मान} = \frac{49}{50} \text{ मिमी०}$$

$$\therefore \quad \text{वर्नियर कैलिपर का अल्पतांक} = 1 - \frac{49}{50} = 0{\cdot}02 \text{ मिमी०}$$

अल्पतमांक निकालने की दूसरी सरल विधि

किसी भी वर्नियर कैलिपर का अल्पतमांक हम सीधे ही सूत्र द्वारा निकाल सकते हैं—

$$\therefore \quad \text{वर्नियर कैलिपर का अल्पतमांक} = \frac{\text{मेन स्केल के एक भाग का मान}}{\text{वर्नियर स्केल पर बने भागों की संख्या}}$$

$$\text{इस प्रकार, अल्पतमांक} = \frac{1}{50} = 0{\cdot}02 \text{ मिमी०}$$

प्रयोग विधि (Procedure)

1. सर्वप्रथम प्रयोग होने वाले वर्नियर कैलिपर का अल्पतमांक ज्ञात करते हैं।
2. इसके बाद वर्नियर के दोनों जबड़ों (Jaws) को आपस में मिलाकर उसके शून्य त्रुटि की जाँच करते हैं तथा त्रुटि पाये जाने पर उसकी गणना करते हैं।
3. शून्य त्रुटि यदि धनात्मक (+ve) है तो प्रेक्षित मान से घटा देते हैं परन्तु शून्य त्रुटि यदि ऋणात्मक (–ve) है तो उसे प्रेक्षित मान में जोड़ देते हैं।
4. अब, जॉब को सरफेस प्लेट पर टिकाकर उसे वर्नियर के दोनों जबड़ों के बीच रखकर जबड़ों को सटा देते हैं तथा उसी स्थिति में क्लैम्पिंग स्क्रू (Clamping screw) की सहायता से कस देते हैं।
5. इस प्रकार मापों के कई पाठ्यांक लेकर उसका औसत मान ज्ञात कर लेते हैं।

मापन विधि (Method of Measurement)

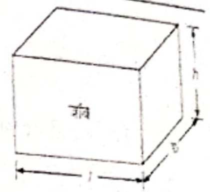
1. मापे जाने वाले जॉब को वर्नियर के दोनों जबड़ों के बीच रखकर कसने के बाद क्लैम्पिंग स्क्रू से कस देते हैं।
2. इसके बाद वर्नियर के मेन स्केल के पाठ्यांक का नोट कर लेते हैं।
3. तत्पश्चात् वर्नियर स्केल के उस भाग को चेक करते हैं जो मेन स्केल के किसी भी भाग के बिल्कुल सीध में हो (संपाती हो)। वर्नियर के उस भाग की संख्या को नोट कर लेते हैं।
4. इस प्रकार कुल माप = मेन स्केल का पाठ्यांक + (वर्नियर के संपाती भाग की क्रम संख्या × अल्पतमांक)

प्रेक्षण (Observation)

वर्नियर कैलिपर का अल्पतमांक = ... मिमी०

वर्नियर कैलिपर का परास = ... मिमी०

वर्नियर कैलीपर की शून्य त्रुटि = ... मिमी०



चित्र 11 (ख)

क्रम संख्या	मापे जाने वाला प्राचाल (Parameter)	मुख्य पैमाने का पाठ्यांक X	वर्नियर स्केल के संपाती भागों की संख्या Y	वर्नियर स्केल का पाठ्यांक Z = Y × अल्पतमांक	कुल पाठ्यांक = (X + Z) ± शून्य त्रुटि	औसत मान (मिमी०)
1. 2. 3.	लम्बाई l					
1. 2. 3.	चौड़ाई b					
1. 2. 3.	ऊँचाई h					

परिणाम (Result)

दिये गये जॉब की लम्बाई = ... मिमी०

दिये गये जॉब की चौड़ाई = ... मिमी०

दिये गये जॉब की ऊँचाई = ... मिमी०

सावधानियाँ (Precautions)

1. वर्नियर कैलिपर के जबड़े साफ होने चाहिए।
2. शून्य त्रुटि की जाँच जरूर कर लेनी चाहिए तथा उसकी गणना भी कर लेनी चाहिए।
3. मेन स्केल बीम (beam) एवं वर्नियर स्केल आपस में ढीले नहीं होने चाहिए।
4. माप लेते समय जबड़ों के भीतर का भाग प्रयोग करना चाहिए क्योंकि जबड़ों के किनारे घिसे हुये हो सकते है।
5. वर्नियर के स्केल के संपाती भागों की संख्या को जाँच सावधानीपूर्वक या आवर्धन लेंस के द्वारा करनी चाहिए।

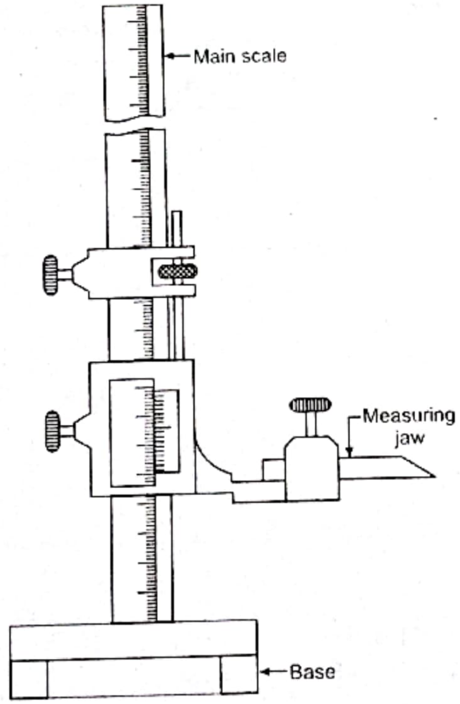
Experiment No. 12

उद्देश्य (Object)

वर्नियर ऊँचाई गेज की सहायता से दिये गये जॉब की ऊँचाई ज्ञात करना तथा वर्नियर कैलिपर की सहायता से उसी जॉब के आधार का व्यास ज्ञात करना।

उपकरण (Apparatus)

वर्नियर ऊँचाई गेज, वर्नियर कैलिपर, सरफेस प्लेट तथा जॉब।



चित्र 12 (क) : वर्नियर ऊँचाई गेज

सिद्धांत (Principle)

वर्नियर कैलिपर, वर्नियर के सिद्धांत पर कार्य करता है। एक परिशुद्ध वर्नियर कैलिपर को चित्र 11 (क) में दिखाया गया है।

वर्नियर कैलिपर सामान्यतः लम्बाई, चौड़ाई, ऊँचाई, गहराई, बाह्य तथा आन्तरिक व्यास मापने के काम आता है। इस यंत्र में एक मेन स्केल (Main scale) तथा एक वर्नियर स्केल (Vernier scale) होता है। मापन लेते समय दोनों स्केल की मदद ली जाती है।

अल्पतमांक (Least count)—किसी यंत्र द्वारा मापी जा सकने वाली कम से कम दूरी को उस यंत्र का अल्पतमांक कहते है। वर्नियर के मेन स्केल के एक खाने के मान एवं वर्नियर स्केल के एक भाग के मान का अन्तर ही वर्नियर कैलिपर का अल्पतमांक होगा।

इस प्रकार—

वर्नियर का अल्पतमांक = मेन स्केल के एक भाग का मान − वर्नियर स्केल के एक भाग का मान

यदि वर्नियर के मेन स्केल के एक भाग का मान 1 मिमी० हो और वर्नियर स्केल के 50 भाग मेन स्केल के 49 भाग के बराबर हो, तो

वर्नियर स्केल के एक भाग का मान $= \frac{49}{50}$ मिमी०

∴ वर्नियर कैलिपर का अल्पतांक $= 1 - \frac{49}{50}$

$= 0.02$ मिमी०

अल्पतमांक निकालने की दूसरी सरल विधि

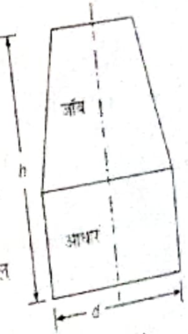
किसी भी वर्नियर कैलिपर का अल्पतमांक हम सीधे ही सूत्र द्वारा निकाल सकते हैं—

∴ वर्नियर कैलिपर का अल्पतमांक $= \frac{\text{मेन स्केल के एक भाग का मान}}{\text{वर्नियर स्केल पर बने भागों की संख्या}}$

इस प्रकार, अल्पतमांक $= \frac{1}{50} = 0.02$ मिमी०

प्रयोग विधि (Procedure)

1. वर्नियर ऊँचाई गेज एवं वर्नियर कैलिपर का अल्पतमांक एवं शून्य त्रुटि Experiment 11 में बताये गये विधि के अनुसार ज्ञात कर लेते हैं।
2. अब जॉब को सरफेस प्लेट (Surface plate) पर रखकर वर्नियर ऊँचाई गेज को कार्यखण्ड के पास सरफेस प्लेट पर रखते हैं।
3. वर्नियर ऊँचाई गेज के मापन जबड़े (measuring jaw) को ऊपर से नीचे की ओर खिसका कर जॉब के ऊपरी सिरे पर टिका देते है तथा क्लैम्पिंग स्क्रू को कस देते हैं।
4. इसके बाद वर्नियर के मेन स्केल का पाठ्यांक व वर्नियर स्केल के संपाती भाग की संख्या को नोट कर लेते हैं।
5. तत्पश्चात् प्रेक्षण तालिका के अनुसार गणना कर लेते हैं तथा अभीष्ट ऊँचाई निकाल लेते हैं।
6. अब वर्नियर कैलिपर द्वारा जॉब के आधार का व्यास निकालते हैं। इसके लिये वर्नियर कैलिपर के जबड़ो के बीच जॉब के आधार को कस देते हैं तथा पूर्व मे बताये गये तरीके से मेन स्केल का पाठ्यांक एवं वर्नियर स्केल के संपाती भाग की संख्या को नोट कर लेते हैं।
7. तत्पश्चात् प्रेक्षण तालिका के अनुसार गणना करके जॉब के आधार का व्यास निकाल लेते है।



चित्र 12 (ख)

प्रेक्षण (Observation)

ऊँचाई मापन—वर्नियर ऊँचाई गेज का अल्पतमांक = ... मिमी०

वर्नियर ऊँचाई गेज की शून्य त्रुटि = ... मिमी०

वर्नियर ऊँचाई गेज का परास = ... मिमी०

क्रम संख्या	मापे जाने वाला प्राचाल (parameter)	मेन स्केल का पाठ्यांक X	वर्नियर स्केल से संपाती भागों की संख्या Y	वर्नियर स्केल का पाठ्यांक $Z = YX$ अल्पतमांक	कुल पाठ्यांक शून्य त्रुटि $(X + Z) \pm$ शून्य त्रुटि	औसत मान मिमी०
1. 2. 3.	ऊँचाई h					

व्यास मापन—वर्नियर कैलिपर का अल्पतमांक = ... मिमी०

वर्नियर कैलिपर की शून्य त्रुटि = ... मिमी०

वर्नियर कैलिपर का परास = ... मिमी०

क्रम संख्या	मापे जाने वाला प्राचाल (parameter)	मेन स्केल का पाठ्यांक X	वर्नियर स्केल से संपाती भागों की संख्या Y	वर्नियर स्केल का पाठ्यांक $Z = Y \times$ अल्पतमांक	कुल पाठ्यांक $(X + Z) \pm$ शून्य त्रुटि	औसत मान मिमी०
1. 2. 3.	ऊँचाई d					

परिणाम (Result)

दिये गये जॉब की ऊँचाई = ... मिमी०

तथा आधार का व्यास = ... मिमी०

सावधानियाँ (Precautions)

1. वर्नियर कैलिपर के जबड़े साफ होने चाहिए।
2. शून्य त्रुटि की जाँच जरूर कर लेनी चाहिए तथा उसकी गणना भी कर लेनी चाहिए।
3. मेन स्केल बीम (beam) एवं वर्नियर स्केल आपस में ढीने नहीं होने चाहिए।
4. माप लेते समय जबड़ों के भीतर का भाग प्रयोग करना चाहिए क्योंकि जबड़ों के किनारे घिसे हुये हो सकते हैं।
5. वर्नियर के स्केल के संपाती भागों की संख्या की जाँच सावधानीपूर्वक या आवर्धन लेंस के द्वारा करनी चाहिए।

Experiment No. 13

उद्देश्य (Object)

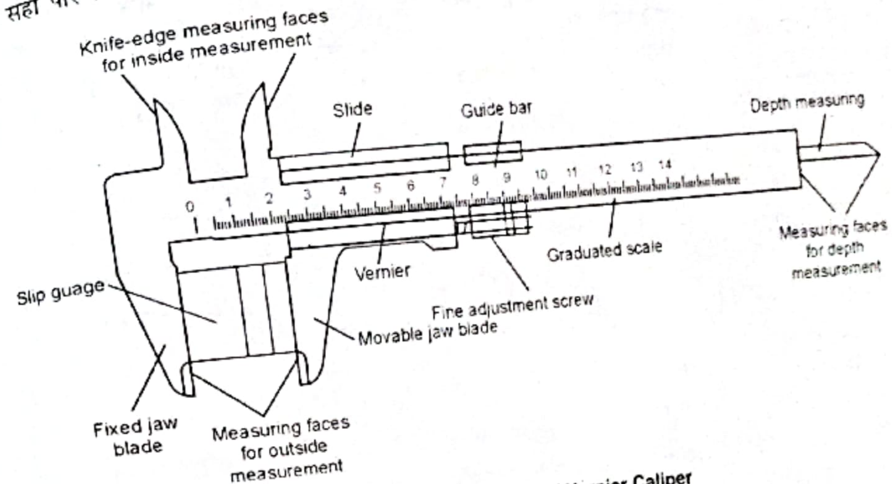
स्लिप गेज (Slip Gauge) की सहायता से वर्नियर कैलिपर का अंशांकन (calibration) करना।

उपकरण (Apparatus)

वर्नियर कैलिपर, स्लिप गेज, सेट बॉक्स।

सिद्धांत (Principal)

कोई भी मापन यंत्र कितना विश्वसनीय है यह जाँच उस यंत्र के अंशांकन द्वारा पता चलता है। लम्बी अवधि तक उपयोग करने एवं अन्य कारणों से भी मापन यंत्र की यथार्थता (Accuracy) एवं सूक्ष्मता (Precision) कम हो जाती है। अतः मापन यंत्र द्वारा सही परिणाम प्राप्त करने के लिए उनका समय-समय पर अंशांकन करना बहुत जरूरी होता है।



चित्र 13 (क) : Calibration of Vernier Caliper

प्रयोग विधि (Procedure)

1. सर्वप्रथम वर्नियर कैलिपर के शून्यांक त्रुटि को जाँच करते हैं।
2. अब रिंगिग (Wringing) विधि द्वारा, आवश्यक मान का स्लिप गेज ब्लॉक तैयार करते हैं।
3. स्लिप गेज ब्लॉक के पाठ्यांक (कुल मोटाई) को नोट कर लेते हैं।
4. अब स्लिप गेज ब्लॉक को वर्नियर के जबड़ों के बीच अच्छी तरह से पकड़कर वर्नियर के पाठ्यांक को नोट कर लेते हैं।
5. यदि मापन यंत्र ठीक है तो यंत्र का कुल पाठ्यांक तथा स्लिप गेज ब्लॉक का पाठ्यांक समान रहता है।
6. स्लिप गेज ब्लॉक का साइज बदलकर उपरोक्त चरणों को फिर से दोहराते हुये कई पाठ्यांक लेते हैं तथा मापन यंत्र के पूरे परास (Range) के लिये भी पाठ्यांक लेते हैं।

विभिन्न अल्पतमांक के वर्नियर कैलिपर की ग्राह्य त्रुटि (Permissible error) निम्न प्रकार से है—

परीक्षण	ग्राह्य त्रुटि (Permissible error) अल्पतमांक 0·02 mm	अल्पतमांक 0·05 mm
शून्य में त्रुटि	0·02 mm	0·05 mm
पाठ्यांक में त्रुटि	0·02 mm	0·05 mm

यदि मापन यंत्र में इससे अधिक त्रुटि पाई जाती है तो वह मापन यंत्र उपयोग के योग्य नहीं है।

प्रेक्षण (Observation)

वर्नियर कैलिपर का अल्पतमांक = ... मिमी०

वर्नियर कैलिपर का परास = ... मिमी०

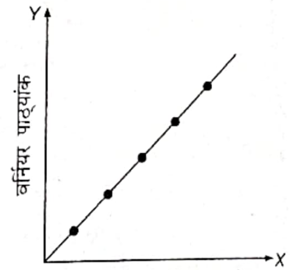
वर्नियर कैलिपर की शून्य त्रुटि = ... मिमी०

क्रम संख्या	मेन स्केल का पाठ्यांक (X)	वर्नियर स्केल के संपाती भागों की संख्या (Y)	वर्नियर स्केल का पाठ्यांक $Z = Y \times$ अल्पतमांक	कुल पाठ्यांक $= (X + Z) \pm$ (शुन्य त्रुटि) (A)	स्लिप गेज ब्लॉक की साइज या पाठ्यांक (B)	अन्तर $B - A$ (+/–)
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

परिणाम (Result)

उपरोक्त परीक्षण से यह पता चलता है कि पाठ्यांक में अधिकतम अन्तर .... मिमी० है। अत: यंत्र का उपयोग किया जा सकता है नहीं किया जा सकता है।

यदि त्रुटि नहीं है तो ग्राफ सीधी रेखा तथा अक्ष से 45° कोण पर झुका रहेगा। यदि यंत्र में त्रुटि होगी तो ग्राफ सीधी रेखा में नहीं बनेगा।



चित्र 13 (ख)

सावधानियाँ (Precautions)

1. स्लिप गेज का प्रयोग सावधानीपूर्वक एवं उनके मापन साइड की तरफ करना चाहिए।
2. स्लिप गेज ब्लॉक बनाते समय स्लिप गेजों को रिंगिंग विधि के अनुसार ही जोड़ना चाहिए।
3. अंशांकन के पूर्व मापन यंत्र की त्रुटि ज्ञात कर लेनी चाहिए। कुल पाठ्यांक के समय उसका समायोजन कर लेना चाहिए।
4. मापन यंत्र एवं स्लिप गेजों को अच्छी तरह से साफ कर लेना चाहिए।

Experiment No.14

उद्देश्य (Object)

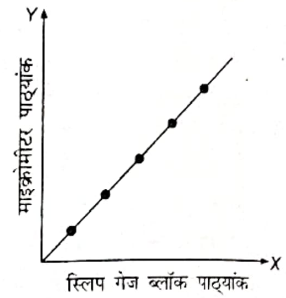
स्लिप गेज (Slip gauge) की सहायता से बाह्य माइक्रोमीटर (Outside micrometer) का अंशांकल (Calibration) करना।

क्रम संख्या	मुख्य पैमाने का पाठ्यांक X	वृत्तीय पैमाने का आधार रेखा से मिलने वाला भाग Y	वृत्तीस पैमाने का पाठ्यांक $Z = Y \times$ अल्पतमांक	कुल पाठ्यांक $= (X + Z) \pm$ शून्य त्रुटि (A)	स्लिप गेज ब्लॉक का साइज या पाठ्यांक (B)	अन्तर $B - A$ (+/–)
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

परिणाम (Result)

उपरोक्त परीक्षण से यह पता चलता है कि पाठ्यांक में अधिकतम अन्तर .... मिमी० है। अत: यंत्र का उपयोग किया जा सकता है नहीं किया जा सकता है।

यदि त्रुटि नहीं है तो ग्राफ सीधी रेखा तथा अक्ष से 45° कोण पर झुका रहेगा। यदि यंत्र में त्रुटि होगी तो ग्राफ सीधी रेखा में नहीं बनेगा।



चित्र 14 (ख)

सावधानियाँ (Precautions)

1. स्लिप गेज का प्रयोग सावधानीपूर्वक एवं उनके मापन साइड की तरफ करना चाहिए।
2. स्लिप गेज ब्लॉक बनाते समय स्लिप गेजों को रिंगिंग विधि के अनुसार ही जोड़ना चाहिए।
3. अंशांकन के पूर्व मापन यंत्र की त्रुटि ज्ञात कर लेनी चाहिए। कुल पाठ्यांक के समय उसका समायोजन कर लेना चाहिए।
4. मापन यंत्र एवं स्लिप गेजों को अच्छी तरह से साफ कर लेना चाहिए।

Experment No. 15

उद्देश्य (Object)

स्लिप गेज की सहायता से वर्नियर ऊँचाई गेज (Vernier height gauge) एवं वर्नियर गहराई गेज (Vernier depth gauge) का अंशांकन करना।

उपकरण (Apparatus)

वर्नियर ऊँचाई गेज, वर्नियर गहराई गेज, सरफेस प्लेट एवं स्लिप गेज सेट बॉक्स।

सिद्धांत (Principle)

कोई भी मापन यंत्र कितना विश्वसनीय है यह जाँच उस यंत्र के अंशांकन द्वारा पता चलता है। लम्बी अवधि तक उपयोग करने एवं अन्य कारणों से भी मापन यंत्र की यथार्थता (Accuracy) एवं सूक्ष्मता (Precision) कम हो जाती है। अत: मापन यंत्र द्वारा सही परिणाम प्राप्त करने के लिए उनका समय-समय पर अंशांकन करना बहुत जरूरी होता है।

प्रयोग विधि (Procedure)

1. सर्वप्रथम मापन यंत्र का अल्पतांक निकालकर उसकी शून्य त्रुटि की जाँच करते हैं।
2. अब रिंगिंग विधि द्वारा आवश्यक मान का स्लिप गेज ब्लॉक तैयार करते हैं।
3. स्लिप गेज ब्लॉक को सरफेस प्लेट तथा वर्नियर ऊँचाई गेज या वर्नियर गहराई गेज के जबड़े के बीच रखकर पाठ्यांक नोट कर लेते हैं।
4. यदि मापन यंत्र ठीक है तो यंत्र का कुल पाठ्यांक तथा स्लिप गेज ब्लॉक का पाठ्यांक समान रहता है।
5. स्लिप गेज ब्लॉक के साइज को परिवर्तित करके मापन यंत्रों के कई पाठ्यांक नोट कर लेते हैं।
6. मापन यंत्र के पूरे परास के लिये भी उपरोन्त क्रिया दोहराते हैं तथा प्रत्येक पाठ्यांक को नोट करते जाते हैं।

प्रेक्षण (Observation)

1. वर्नियर ऊँचाई गेज के अंशांकन के लिये

   वर्नियर ऊँचाई गेज का अल्पतमांक = ... मिमी०

   वर्नियर ऊँचाई गेज का परास = ... मिमी०

   वर्नियर ऊँचाई गेज की शून्य त्रुटि = ... मिमी०

2. वर्नियर गहराई गेज के अंशांकन के लिए

   वर्नियर गहराई गेज का अल्पतमांक = ... मिमी०

   वर्नियर गहराई गेज का परास = ... मिमी०

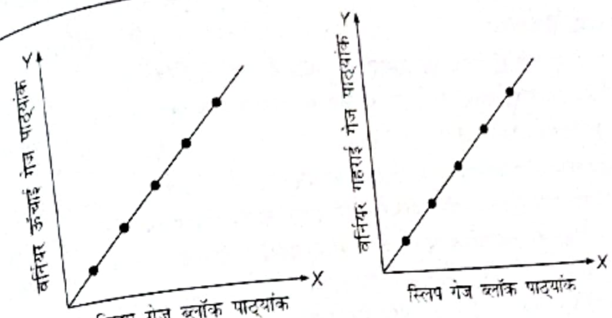
   वर्नियर गहराई गेज की शून्य त्रुटि = ... मिमी०

क्रम संख्या	मेन स्केल का पाठ्यांक (X)	वर्नियर स्केल के संपाती भागों की संख्या (Y)	वर्नियर स्केल का पाठ्यांक $Z = Y \times$ अल्पतमांक	कुल पाठ्यांक $= (X+Z) \pm$ (शून्य त्रुटि) (A)	स्लिप गेज ब्लॉक का साइज या पाठ्यांक (B)	अन्तर $B - A$ (+/–)
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

परिणाम (Result)

उपरोक्त परीक्षण से यह पता चलता है कि पाठ्यांक में अधिकतम अन्तर .... मिमी० है। अतः यंत्र का उपयोग किया जा सकता है नहीं किया जा सकता है।

यदि त्रुटि नहीं है तो ग्राफ सीधी रेखा तथा अक्ष से 45° कोण पर झुका रहेगा। यदि यंत्र में त्रुटि होगी तो ग्राफ सीधी रेखा में नहीं बनेगा।



चित्र 15 (स)

सावधानियाँ (Precautions)

1. स्लिप गेज का प्रयोग सावधानीपूर्वक एवं उनके मापन साइड की तरफ करना चाहिए।
2. स्लिप गेज ब्लॉक बनाते समय स्लिप गेजों को रिंगिंग विधि के अनुसार ही जोड़ना चाहिए।
3. अंशांकन के पूर्व मापन यंत्र की त्रुटि ज्ञात कर लेनी चाहिए। कुल पाठ्यांक के समय उसका समायोजन कर लेना चाहिए।
4. मापन यंत्र एवं स्लिप गेजों को अच्छी तरह से साफ कर लेना चाहिए।

Experiment No. 16

उद्देश्य (Object)

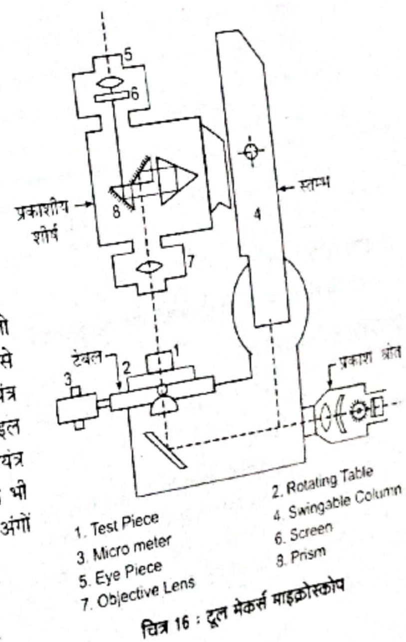
टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप (Tool maker's microscope) की सहायता से किसी चूड़ीदार (Threaded) अवयव का अध्ययन करना।

उपकरण (Apparatus)

टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप, स्क्रू एवं विभिन्न ग्लास टेम्प्लेट्स (Templets)।

सिद्धांत (Principle)

टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप एक प्रकार का प्रकाशीय यंत्र है जो प्रकाश के सिद्धांतों पर कार्य करता है। इस यंत्र की सहायता से किन्हीं दो बिन्दुओं के बीच की दूरी ज्ञात की जा सकती है। इस यंत्र द्वारा किसी चूड़ीदार अवयव जैसे-स्क्रू या बोल्ट की प्रोफाइल (profile) तथा कोण व वक्रता की जाँच की जा सकती है। इस यंत्र के साथ कई प्रकार के मापन अटैचमेन्ट (Attachment) का भी प्रयोग किया जाता है। एक टूलमेकर्स माइक्रोस्कोप को उनके अंगों के नाम के साथ चित्र 16 में दिखाया गया है।



चित्र 16 : टूल मेकर्स माइक्रोस्कोप

कार्य विधि (Working Method)

इस यंत्र के आधार के पीछे की तरफ एक प्रकाश स्रोत होता है, जहाँ से क्षैतिज प्रकाश पुंज निकलकर दर्पण द्वारा 90° कोण पर परावर्तित होकर टेबल पर पड़ती है। टेबल के बीच का भाग एक पारदर्शी ग्लास प्लेट का बना होता है, जिस पर निरीक्षण करने वाला कार्यखण्ड रखा जाता है।

प्रकाश पुंज, ग्लास प्लेट और कार्यखण्ड से होकर प्रकाशीय शीर्ष के प्रक्षेपक लेंस (Objective lens) से गुजरता है। इसके बाद प्रकाश की किरणें प्रिज्म द्वारा परावर्तित होकर स्क्रीन पर पड़ती है। नेत्रिका (Eyepiece) से देखने पर कार्यखण्ड का प्रतिबिम्ब स्क्रीन पर दिखाई देता है। अब स्क्रीन पर बने क्रास वायर, कोणीय मापन के लिये वृत्ताकार पैमाना और टेबल पर लगे माइक्रोमीटर की सहायता से कार्यखण्ड के विभिन्न भागों का निरीक्षण करते हैं तथा मापन लेते है। प्रक्षेपक लेंस को बदलकर कार्यखण्ड का 10 से 100 गुना तक आवर्धित प्रतिबिम्ब प्राप्त किया जा सकता है।

प्रयोग (Uses)

1. इसके द्वारा सूक्ष्म छिद्र का व्यास ज्ञात किया जा सकता है।
2. कार्यखण्ड के सूक्ष्म भागों की जाँच की जा सकती है।
3. वक्रता त्रिज्या (Radius of curvature) ज्ञात की जा सकती है।
4. दो सतहों के बीच बने कोण का मान ज्ञात किया जा सकता है।
5. विभिन्न बिन्दुओं के सापेक्ष स्थिति ज्ञात की जा सकती है।
6. चूड़ियों के विभिन्न अवयवों जैसे-व्यास, कोण, पिच इत्यादि का मापन लिया जा सकता है।
7. विभिन्न प्रकार के अटैचमेंट का प्रयोग करके इसकी उपयोगिता बढ़ाई जा सकती है तथा कई अन्य प्रकार के मापन या निरीक्षण में काम आ सकते हैं।

सावधानियाँ (Precautions)

1. मापी या जाँचे जाने वाले स्क्रू या अवयव को साफ करके यंत्र पर रखना चाहिए।
2. वर्क टेबल पर स्क्रू सावधानीपूर्वक रखना चाहिए।
3. ग्लास टेम्प्लेट से मिलान करते समय सन्दर्भ रेखा का प्रयोग करना चाहिए।
4. बैकलैश (Backlash) त्रुटि से बचने के लिये माइक्रोमीटर स्क्रू हमेशा एक ही दिशा में घुमाने चाहिए।

Experiment No. 17

उददेश्य (Object)

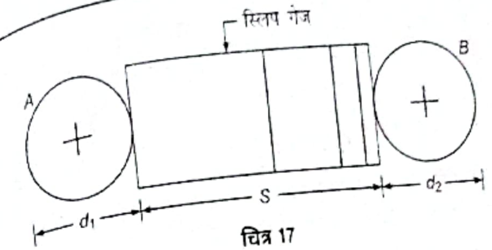
दो पिनों के केन्द्रों के बीच की दूरी को स्लिप गेज की सहायता से ज्ञात करना।

उपकरण (Apparatus)

पिन लगा हुआ फिक्सचर (fixture), सरफेस प्लेट, स्लिप गेज सेट बॉक्स एवं बाह्य माइक्रोमीटर।

सिद्धांत (Principle)

स्लिप गेज एक मानक मापन गेज (standard measuring gauge) है। किसी भी बिन्दुओं के बीच की दूरी को परिशुद्धतापूर्वक स्लिप गेजों द्वारा मापा जा सकता है। दो या अधिक स्लिप गेजों को आपस में जोड़ने या ब्लॉक बनाने के लिए रिंगिंग (wringing) विधि अपनायी जाती है। किसी भी माप का स्लिप गेज ब्लॉक बनाने के लिये स्लिप गेजों की संख्या न्यूनतम रखने की कोशिश होनी चाहिए। इससे उसके द्वारा मापे गये मापन की शुद्धता बढ़ जाती है।



चित्र 17

विधि (Procedure)

1. सर्वप्रथम सरफेस प्लेट एवं फिक्स्चर/पिनों को अच्छी तरह से साफ कर लेते हैं।
2. इसके बाद बाह्य माइक्रोमीटर की सहायता से दोनों पिनों का बाह्य व्यास d_1 एवं d_2 ज्ञात करके नोट कर लेते है।
3. पिनों के बीचकी दूरी के बराबर (अंदाज से) रिंगिंग विधि से स्लिप गेज ब्लॉक बना लिया जाता है तथा उसे पिनों के बीच प्रवेश कराया जाता है।
4. ब्लॉक प्रवेश कराने पर, यदि ढीला (loose) लगे तो आवश्यक स्लिप गेज की मोटाई को पुनः रिंगिंग विधि द्वारा बढ़ाया जाता है।
5. यदि ब्लॉक प्रवेश कराने पर कसा (tight) लगे तो आवश्यक स्लिप गेज की मोटाई को कम किया जाता है।
6. इस प्रकार दोनों पिनों के बीच की सही दूरी ज्ञात कर ली जाती है।

प्रेक्षण (Observation)

1. पिनों के व्यास का मापन

बाह्य माइक्रोमीटर का अल्पतमांक = ... मिमी०

बाह्य माइक्रोमीटर की शून्य त्रुटि = ... मिमी०

क्रम संख्या	प्राचाल (Parameter) व्यास	मुख्य पैमाने का पाठ्यांक X	वृत्तीय पैमाने का आधार रेखा से मिलने वाला भाग Y	वृत्तीय पैमाने का पाठ्यांक $Z = Y \times$ अल्पतमांक	कुल पाठ्यांक $= (X + Z) \pm$ शून्य त्रुटि	औसत मान मिमी०
1. 2. 3.	d_1					
1. 2. 3.	d_2					

2. पिनों के बीच की मापी गयी दूरी (स्लिप गेज ब्लॉक द्वारा) $S =$ .... मिमी०

गणना (Calculation)

चित्र 17 के अनुसार, यदि दोनों पिनों A एवं B के केन्द्रों के बीच की दूरी D हो, तो

$$D = S + \left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right) = \ldots\ldots\ldots\ldots$$

परिणाम (Result)—दिये गये फिक्सचर (Fixture) के पिनों के केन्द्रों के बीच की दूरी = ... मिमी० है।

सावधानियाँ (Precautions)

1. स्लिप गेजों को साफ करके प्रयोग करना चाहिए।
2. स्लिप गेज ब्लॉक बनाते समय स्लिप गेजों को रिंगिंग विधि से ही जोड़ना चाहिए।
3. माइक्रोमीटर की शून्य त्रुटि का समायोजन अवश्य कर लेना चाहिए।
4. स्लिप गेज ब्लॉक का पिनों के बीच प्रवेश न ज्यादा कसा एवं न ज्यादा ढीला होना चाहिए।
5. पिनों के व्यास की रीडिंग का औसत मान निकाल कर ही गणना करनी चाहिए।

Experiment No. 18

उद्देश्य (Object)

बाह्य माइक्रोमीटर की सहायता से किसी प्लग गेज (Plug Gauge) की यथार्थता (Accuracy) की जाँच करना।

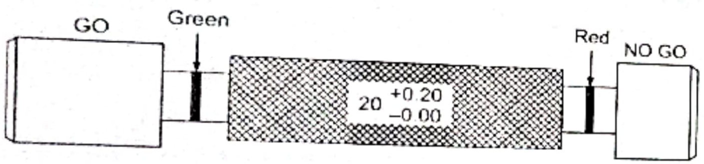
उपकरण (Apparatus)

बाह्य माइक्रोमीटर, प्लग गेज।

सिद्धांत (Principle)

वृहद उत्पादन (Mass production) में कई तरह के गेजों का प्रयोग किया जाता है जिनमें सीमा गेज (limit gauge) का प्रयोग मुख्य रूप से होता है। इससे समय की काफी बचत होती है।

वृहद उत्पादन में छिद्र के व्यास की जाँच करने के लिए प्लग गेज (plug gauge) का प्रयोग किया जाता है। यहाँ पर प्लेन प्लग गेज को चित्र 18 में दिखाया गया है।



चित्र 18 : प्लेन प्लग गेज

प्लग गेज GO एवं NO GO सिद्धांत पर कार्य करता है। इसके द्वारा अमुक माप के OK होने या NOT OK होने का पता चलता है। इसके दो सिरे होते हैं। एक OK सिरा और दूसरा NO GO सिरा होता है।

किसी छिद्र के व्यास की दो ग्राह्य सीमायें (Permissible Limits) होती हैं। एक उच्च सीमा (High Limit) और दूसरी निम्न सीमा (Low Limit)। छिद्र का व्यास इन्हीं दो सीमाओं के अन्दर होना चाहिए। प्लग गेज में Go सिरा व्यास की निम्न सीमा और NO GO सिरा व्यास की उच्च सीमा को निर्धारित करता है। किसी छिद्र के व्यास की जाँच के लिए उस छिद्र के अन्दर GO सिरा जाना चाहिए। और NO GO सिरा नहीं जाना चाहिये।

...का प्रयोग अधिक होता है, इसलिये इस सिरे की लम्बाई NO GO सिरे की लम्बाई की अपेक्षा अधिक ...के लिये GO सिरे पर हरे रंग का तथा NO GO सिरे पर लाल रंग का चिह्न बना दिये जाते हैं।

...(Procedure)

...प्लग गेज एवं बाह्य माइक्रोमीटर को अच्छी तरह से साफ कर लिया जाता है।

...मीटर की शून्य त्रुटि की जाँच कर लेते हैं तथा उसको नेट कर लेते हैं।

...प्लग गेज के GO सिरे के शीर्ष पर बाह्य माइक्रोमीटर द्वारा नाप लेते हैं तथा कुल पाठ्यांक निकाल कर नोट कर लेते हैं।

...प्रक्रिया तीन स्थानों पर अलग-अलग करते हैं।

...प्लग गेज को 90° पर घुमा कर पुनः मापन प्रक्रिया करते हैं।

...उपरोक्त प्रक्रिया को प्लग गेज के NO GO सिरे के लिये भी दोहराते है तथा कुल पाठ्यांक नोट कर लेते हैं।

...(Observation)

...माइक्रोमीटर का अल्पतमांक = ... मिमी०

...माइक्रोमीटर का परास = ... मिमी०

...माइक्रोमीटर की शून्य त्रुटि = ... मिमी०

...GO सिरे का मानक व्यास = ... मिमी०

NO GO सिरे का मानक व्यास = ... मिमी०

...संख्या	GO सिरे की माप				NO GO सिरे की माप			
	व्यास d_1	व्यास d_2	गोलाई की त्रुटि $(d_1 - d_2)$	माइक्रोमीटर का कुल पाठ्यांक	व्यास d_1	व्यास d_2	गोलाई की त्रुटि $(d_1 - d_2)$	माइक्रोमीटर का कुल पाठ्यांक
1.								
2.								
3.								

...रिणाम (Result)

1. GO सिरे की माप = ... मिमी०
2. NO GO सिरे की माप = ... मिमी०
3. गोलाई की त्रुटि (GO सिरे के लिये) = ...
4. गोलाई की त्रुटि (NO GO सिरे के लिये) = ...

सावधानियाँ (Precautions)

1. माइक्रोमीटर की शून्य त्रुटि की जाँच कर लेनी चाहिए तथा कुल पाठ्यांक में उसका समायोजन कर लेना चाहिए।
2. माइन के समय, माइक्रोमीटर निहाई एवं स्पिण्डल की सतह प्लग गेज के अक्ष के सीध में होनी चाहिए।
3. यथार्थता की जाँच के लिए, माइक्रोमीटर का पाठ्यांक 0·001 mm होना चाहिए।

Experiment No. 19

उद्देश्य (Object)

दिये गये मशीनित सतह (machined surface) की रुक्षता (roughness) ज्ञात करना।

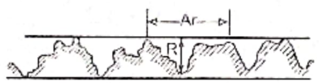
उपकरण (Apparatus)

सतह रुक्षतामापी (surface roughness tester), डिटेक्टर, नोज पिन, सपोर्ट पीस, डिस्प्ले यूनिट, ड्राइव यूनिट, ए सी एडाप्टर, जॉब (specimen) इत्यादि।

सिद्धांत (Principle)

किसी मशीनित सतह (machined surface) की मशीनिंग के उपरान्त प्राप्त, सबसे अधिक स्पष्ट सतह के पैटर्न (Predominant Surface Pattern) को 'ले' (lay) कहते हैं। यह उत्पादन प्रक्रम पर निर्भर करता है। सतह की रुक्षता का मापन हमेशा 'ले' की लम्बवत दिशा में किया जाता है।

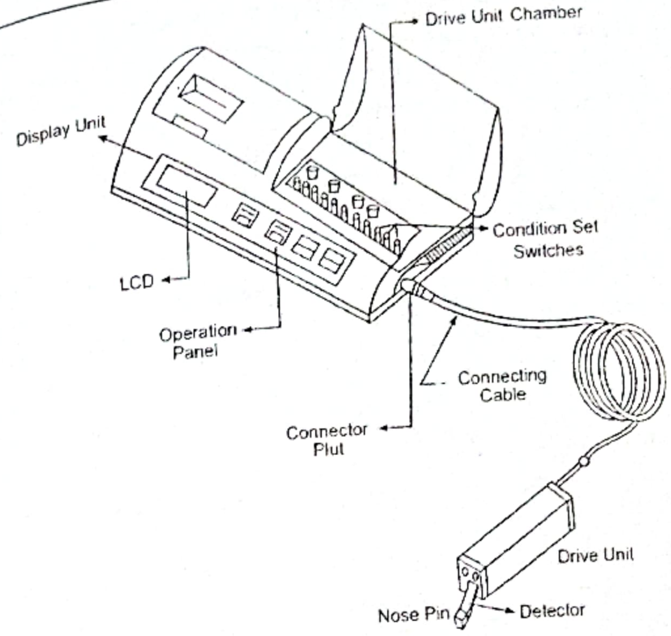
सतहों की रुक्षता के मापन के लिये विभिन्न प्रकार के स्टाइलस (stylus) यंत्रों का प्रयोग किया जाता है। सतहों की रुक्षता का परीक्षण करने के लिये हम सतह रुक्षतामापी (surface roughness tester) का प्रयोग करते हैं। इस यंत्र में लगे स्टाइलस द्वारा सतह की रुक्षता का मापन ज्ञात किया जाता है। जब मापन यंत्र का स्टाइलस रुक्ष सतह पर बने शीर्ष (crest) व गड्ढों (valley) को स्पर्श करता है तो प्राप्त ग्राफ पर शीर्ष व गड्ढे 10,000 से लेकर 50,000 गुना तक बड़े तक बड़े दिखायी देते हैं तथा लम्बाई में लिये गये प्रेक्षण 300 गुना तक बड़े दिखायी देते हैं। चित्र 19 (क) मशीनित सतह रुक्षता को दर्शाया गया है। इस ग्राफ की सहायता से सतहों की अनियमितताओं की कुल ऊँचाइयाँ ज्ञात की जाती हैं। चित्रानुसार दो क्रमागत शीर्ष के बीच की दूरी उन शीर्ष के बीच स्थित गड्ढे की ऊँचाई से 20 गुना से कम है तो सतह रुक्ष कही जाती है। यदि शीर्ष के गड्ढों की ऊँचाई तथा उनके मध्य की दूरी अत्यन्त छोटे हैं तो सतह चिकनी कही जाती है। देखें चित्र 19 (क)।



चित्र 19 (क) : मशीनित सतह

प्रयोग विधि (Procedure)

1. सतह रुक्षतामापी को प्रयोग करने से पूर्व यह सुनिश्चित कर लें कि उसका ए० सी० एडाप्टर सही ढंग से विद्युत स्रोत से जुड़ा हुआ है तथा पावर का स्विच 'ऑन' (ON) है। यदि एडाप्टर नहीं जुड़ा है या सही ढंग से नहीं जुड़ा है तब उपकरण अपनी बैटरी से चलता है।
2. मशीन के सेटिंग के पश्चात् R_a, R_z, R_{max}, R_I एवं R_p मानों को रफनेस प्रोफाइल (roughness profile) R तथा प्राइमरी प्रोफाइल (primary profile) P के लिये ज्ञात करते हैं।
3. अब जॉब या नमूने के ऊपर मशीन के डिटेक्टर (detector) को चालू (start) स्थिति पर रखते हैं।
4. सतह की रुक्षता का मापन शुरू करने के लिए मशीन के 'Start/Stop' बटन को पुश (push) करके दबाते हैं।
5. सतह की रुक्षता का मापन पूर्ण (complete) होने पर रुक्षता का प्रिन्ट आउट (print out) निकाल लेते हैं।
6. यदि मशीन को प्रक्रिया के दौरान या बाद में 30 सेकेण्ड के लिये निष्क्रिय (idle) छोड़ दिया जाए तो उसका डिस्प्ले (display) गायब हो जाता है, जिसे पुनः देखने के लिये ON/data बटन को दबाना पड़ता है।
7. इस प्रकार प्रिन्ट आउट से सतह की रुक्षता का पता चल जाता है।



चित्र 19 (ख)

...क्षण (Observation)

क्रम संख्या	प्राचाल (Parameter)	प्राइमरी प्रोफाइल (Primary Profile) P	रफनेस प्रोफाइल (Roughness Profile) R
1.	R_a		
2.	R_Z		
3.	R_{max}		
4.	R_I		
5.	R_P		

सावधानियाँ (Precautions)

1. सतह रुक्षतामापी से धूल, गंदगी इत्यादि साफ कर लेनी चाहिए तथा इसे कम्पन से दूर रखना चाहिए क्योंकि यह अत्यन्त सूक्ष्म मापन यंत्र है।
2. कंपन होने की दशा में सतह की रुक्षता का मान सही नहीं आयेगा एवं अनियमित होगा।

3. मशीन को हीटर की ऊष्मा से एवं सीधे सूर्य की रोशनी से बचाना चाहिए।
4. डिटेक्टर को सावधानीपूर्वक धीरे से जॉब की सतह पर रखना चाहिए अन्यथा उसके नोज पिन (nose pin) खराब हो सकते हैं।
5. मापनी जाने वाली सतह भी साफ होनी चाहिए।

Experiment No. 20

उद्देश्य (Object)

फीलर गेज (Feeler gauge), रेडियस गेज (Radius gauge), वायर गेज (Wire gauge) तथा फिलेट गेज (Fillet gauge) का प्रयोग करना।

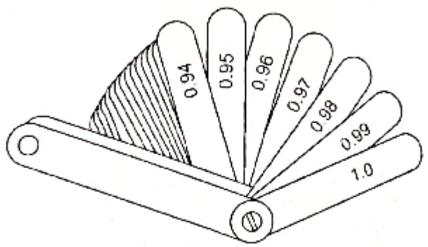
उपकरण (Apparatus)

फीलर गेज, रेडियस गेज, वायर गेज एवं फिलेट गेज तथा जॉब जिस पर प्रयोग करना है।

विवरण (Description)

विभिन्न प्रकार के जॉब की निश्चित प्रोफाइल, मोटाई, गहराई, गैप इत्यादि को ज्ञात करने के लिये इन गेजों का प्रयोग किया जाता है। इनके प्रयोग से समय की काफी बचत होती है।

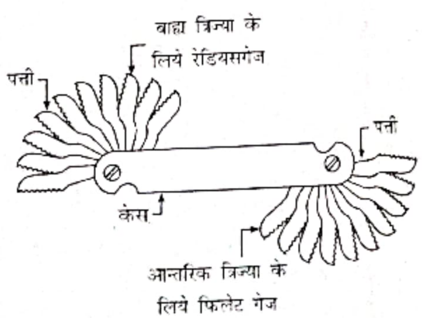
1. फीलर गेज (Feeler gauge)—फीलर गेज का उपयोग दो मिलने वाली या समान्तर सतहों के बीच अवकाश (gap) नापने के लिये किया जाता है। फीलर गेज में विभिन्न मोटाइयों की इस्पात (steel) की अनेक पत्तियाँ होती हैं जो एक केस (case) में लगी रहती हैं। जिसको चित्र 20 (क) में दिखाया गया है। प्रत्येक पत्ती पर उसकी मोटाई अंकित रहती है। प्रत्येक सेट वाली फीलर गेज में पत्तियों की संख्या और इनकी मोटाई के परास (range) अलग-अलग होते हैं।



चित्र 20 (क) : फीलर गेज

इन गेजों से 0·03 मिमी० से 1 मिमी० तक की मोटाई जाँची जा सकती है। विभिन्न परासों के लिये ये गेजें 1 से 7 नम्बर तक होती हैं।

इस प्रकार किसी अवकाश (gap) की जाँच करने के लिये एक या एक से अधिक पत्तियों को अवकाश /गैप में प्रविष्ट किया जाता है। सही तरह से जाँच करने के लिये पत्ती न तो अधिक कसी होनी चाहिए और न ही अधिक ढीली होनी चाहिए। इस प्रकार जिस साइज की पत्ती अवकाश में सही ढंग से प्रविष्ट हो जाये वही अवकाश की माप होती है। फीलर गेज की बनावट पीछे से 12 मिमी० चौड़े तथा शीर्ष पर टेपर में 6 मिमी० चौड़े होते हैं।



चित्र 20 (ख) : त्रिज्यामापी गेज

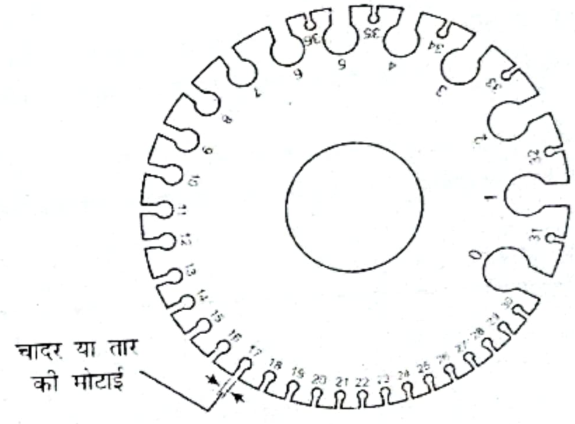
2. रेडियस एवं फिलेट गेज (Radius and Fillet Gauge)—रेडियस गेज द्वारा किसी वस्तु की बाहरी गोलाई की जाँच की जाती है ओर उस गोलाई की त्रिज्या/रेडियस भी ज्ञात की जाती है। चूड़ी पिच गेज की तरह ही इसमें भी एक केस (case) के दोनों किनारों पर इस्पात की अनेक पत्तियाँ लगी होती हैं। इसके एक किनारे पर भीतरी ... तथा दूसरे किनारे पर बाहरी गोलाई को जाँचने वाले गेज को रेडियस या त्रिज्या गेज ... को चित्र 20 (ख) में दिखाया गया है। ... रहते हैं। इसको ... के सिरे निर्धारित माप एवं गोलाई में ... प्रत्येक पत्ती पर गोलाई की त्रिज्या की माप अंकित रहती है तथा इसके पत्तियों के सिरे निर्धारित माप एवं गोलाई में ... रहते हैं। ये गेजें सामान्यतः 1 से 25 मिमी० की त्रिज्या जाँचने के काम आती हैं।

3. वायर गेज/तारमापी (Wire gauge)—तार मापी या वायर गेज कर प्रयोग तार का व्यास एवं धातु चादर की मोटाई जाँचने के लिये होता है। इसमें विभिन्न अंशांकित व्यास के छिद्र कटे होते हैं, जो किनारे की तरफ अंशांकित मोटाई में भी खुले रहते हैं। इनमें क्रमशः तार या धातु चादर को प्रविष्ट कराया जाता है। यदि वे बिना अधिक दबाव के उसमें चले जाते हैं। तो ... चादर की मोटाई या तार का व्यास होगा। धातु चादर की मोटाई या तार के व्यास को गेज नम्बर से प्रदर्शित किया जाता है। ... नम्बर जितना कम होगा कार्य वस्तु की मोटाई उतनी ही अधिक होगी। अच्छे तारमापी/वायर गेजों में दोनो रूप (गेज नम्बर और माप) अंकित रहते हैं। तालिका द्वारा गेज नम्बर को मिमी० में बदला जा सकता है।

प्रेक्षण (Observation)

तार मापी/वायर गेज

नमूना नम्बर	गेज नम्बर	माइक्रोमीटर द्वारा मापन
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		



चित्र 20 (ग) : वायर गेज/तारमापी

मापन गेजों द्वारा ली गई मापें–

क्रम संख्या	कार्यखण्ड/जॉब का नाम	फीलर गेज	रेडियस गेज	वायर गेज	
				नम्बर	साइज/माप
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					

परिणाम (Result)

1. **फीलर गेज**—(अ) दिये गये जॉब में अवकाश/गेप = ... मिमी०
   (ब) स्पार्क प्लग में गैप = ... मिमी०

2. **रेडियस व फिलेट गेज**
   (अ) दिये गये जॉब का फिलेट = ... मिमी०
   (ब) दिये गये जॉब का रेडियस = ... मिमी०

3. **वायर गेज**
   (अ) दिये गये तार का व्यास = ... मिमी०
   (ब) दिये गये धातु चादर की मोटाई = ... मिमी०

सावधानियाँ (Precautions)

1. सभी प्रकार के गेजों को प्रयोग से पूर्व अच्छी तरह से साफ कर लेना चाहिए।
2. फीलर गेज एवं वायर गेज के प्रयोग में यह ध्यान रखना चाहिए कि यह न तो अधिक ढीला या न ही अधिक व हो।
3. फीलर गेज क्रम से माप बढ़ाते हुये प्रयोग करना चाहिए।
4. फिलेट व रेडियस गेज को जॉब पर सेट करने के बाद उसे प्रकाश के विरुद्ध देखकर सही रेडियस का अनु लगाना चाहिए।
5. प्रयोग के बाद गेजों को साफ करके रखना चाहिए।