156

$ 18

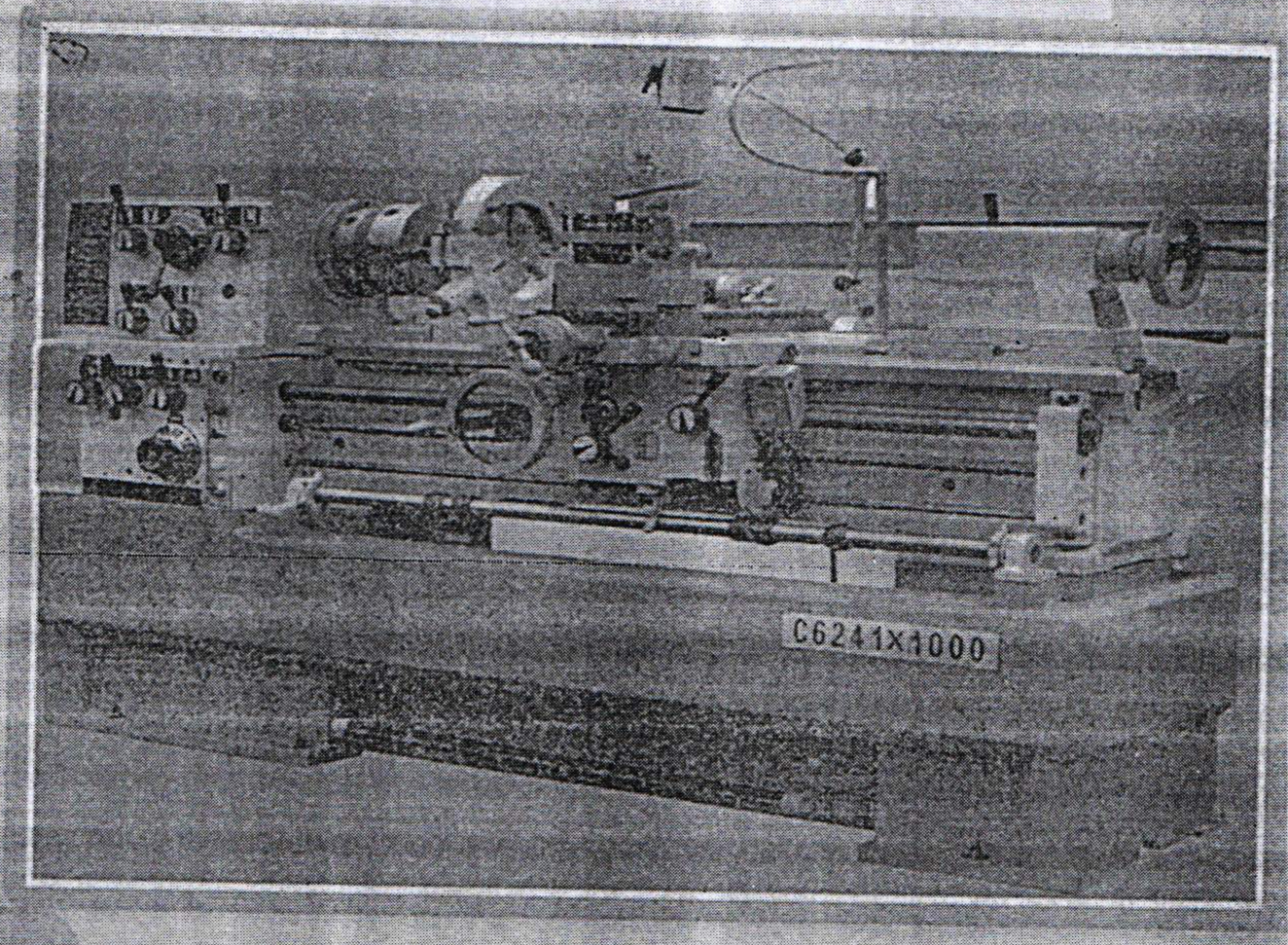
المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الكليات التقنية

الحقيبة التدريبية :

قياسات (نظري)

في تخصص التقنية الميكانيكية إنتاج



مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد بن عبدالله وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على الله ثم على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **قياسات** (نظري)" لمتدربي تخصص " التقنية الميكانيكية إنتاج" للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجلً أن تسهم بالشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، مدعم بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الفهـرس

الموضـــوع	رقم الصفحة
مقدمه	١
الفهرس	٢
تمهيد	٥
الوحدة الأولى : قياس الأبعاد	٧
١- ١ أهمية قياس الأبعاد	٩
٢- ١ الفحص والقياس	٩
٣- ١ وحدات القياس	١٠
١-٤ وسائل قياس الأبعاد	١٤
١- ٥ فحص القلاووظات (اللوالب)	٣١
تمارين	٣٦
الوحدة الثانية : قياس الزوايا	٣٨
١- ٢ مقدمة	٤٠
٢- ٢ وحدات قياس الزوايا و الميول	٤٠
٢- ٣ معدات و محددات قياس الزوايا	٤١
٢- ٤ معدات قياس الميل	٤٥
تمارين	٥١
الوحدة الثالثة : التفاوتات و الإزواجات	٥٢
١- ٣ مقدمة	٥٤
٢- ٣ التفاوتات (Tolerances)	٥٤
٣- ٣ الإزواجات(Fits)	٦٣
٤- ٣محددات القياس الحدية(Limit Gauges)	٦٩
تمارين	٧٢

الوحدة الرابعة : قياس خشونة الأسطح	٧٤
١- ٤ مقدمة	٧٦
٢- ٤ تصنيف عدم استواء الأسطح	٧٦
٣- ٤ مقاييس الخشونة	٧٨
٤- ٤ طرق قياس خشونة الأسطح	٨١
٥- ٤ رموز تشطيب الأسطح في الرسومات الهندسية	٨٤
٦ـ ٤ العلاقة بين عمق الخشونة والتفاوت المسموح	٨٦
تمارين	٨٨
الوحدة الخامسة : قياس الشكل و الوضع	٨٩
١- ٥ مقدمة	٩١
٢- ٥ أنواع التفاوتات الهندسية	٩٢
٣- ٥ أجهزة قياس التفاوتات الهندسية	٩٤
٤- ٥ قياس تفاوت الوضع	٩٧
الوحدة السادسة : قياس درجة الحرارة	١٠٠
٦- ١ مقدمة	١٠٢
٦- ٢ الثرموميتر الزجاجي	١٠٣
٦- ٣ الازدواج الحراري	١٠٤
٦- ٤ ثرموميتر المقاومة الكهربية	١٠٧
٦- ٥ أشباه الموصلات	١٠٩
تمارين	١١٠
الوحدة السابعة : قياس الضغط	١١١
٧-١ مقدمة	١١٣
٧-٢ المانوميترات	١١٤
٧- ٣ أنبوب بوردون	١١٧
٧-٤ المعايرة بواسطة الحمل الميت	١١٨

الوحدة الثامنة : قياس التدفق	١٢٠
٨-١ مقدمة	١٢٢
٨-٢ الفينشوري	١٢٢
٨-٣ الفوهة	١٢٤
٨-٤ الروتاميتر	١٢٥
٨-٥ السلك الساخن	١٢٧
٨-٦ أنبوب بيتوت	١٢٨
الوحدة التاسعة : القياسات الأساسية في الكهرباء	١٣٠
٩-١ مقدمة	١٣٢
٩-٢ قانون أوم	١٣٣
٩-٣ قياس فرق الجهد المنردد و المستمر	١٣٣
٩-٤ قياس المقاومة الكهربية	١٣٦
٩-٥ قياس شدة التيار	١٣٨
الوحدة العاشرة : أخطاء القياس	١٤٠
١٠- ١ مقدمة	١٤٢
١٠- ٢ تعريفات أساسية	١٤٣
١٠- ٣ أهمية خصائص معدات القياس	١٤٥
١٠- ٤ أنواع أخطاء القياس	١٤٦
تمارين	١٥٢
المراجع	١٥٣

تمهيد

يُعتبر علم القياسات من العلوم التطبيقية الأساسية التي تدرس للمتدربين في تخصص التقنية الميكانيكية نظراً لاحتياج كافة المقررات التخصيصية الأخرى التي يدرسها المتدرب. فدراسة تقنيات التشغيل والتشكيل تتطلب إلمام المتدرب بمهارة إجراء قياس الأبعاد للقطع التي يتم تشغيلها وتشكيلها . وكذلك إجراء الاختبارات المختلفة على المواد الهندسية، مثل اختبار الشد والضغط، حيث يحتاج للتحديد الدقيق لمقاسات العينات المستخدمة في الاختيارات إلى غير ذلك من المقررات العملية التي يدرسها المتدرب كي يتأهل التأهيل اللازم للعمل في المجال التقني .

والقياسات الميكانيكية الدقيقة نراها في حياتنا اليومية ، فمثلاً قياسات درجات حرارة وضغط الجو وقياس الأوزان وسرعة السيارات وضغط إطار السيارة والزمن الذي يقطعه عداء في مسابقة العدو وكمية الوقود التي تزود بها السيارة في محطة الوقود كما نجد أيضاً القياسات الأخرى المتعلقة بخواص المادة مثل الكثافة واللزوجة ودرجة غليان السوائل وإجهاد الشد في المعادن إلى غير ذلك من القياسات المتعددة والهامة التي تحيط بنا. ونظراً لأن هذه الحقيبة التدريبية تم إعدادها للمتدربين في الكليات التقنية حيث يبدأ المتدربون في دراسة المقررات الأساسية مثل الورش التأسيسية والرسم الهندسي فهو يحتاج لدراسة علم قياس الأطوال (Dimensional Metrology) في هذه المرحلة ، لذلك فإن المنهج التدريبي الذي تحتويه هذه الحقيبة يتناول دراسة الطرق والأساليب والأدوات المختلفة المستخدمة في "قياس الأبعاد" الذي يتم تغطيته في الوحدة الأولى من الحقيبة. وتتناول هذه الوحدة التعرف والتدريب على استخدام القدمة ذات الورنية والميكرومتر بأنواعهما لقياس الأبعاد الدقيقة ، ويتم أيضا التدريب على استخدام قوالب قياس الأبعاد. كما يتم استعراض الأنواع المختلفة من اللوالب الشائعة الاستخدام و الطرق المختلفة لفحصها.

وفي الوحدة الثانية يتم التعرف على الأنواع المختلفة من أدوات قياس الزوايا و الميول مثل المناقل و قضيب الجيب و قوالب قياس الزوايا بالإضافة لمحددات قياس الاستدقاق.

أما الوحدة الثالثة فتتناول شرحاً لمفهوم "التفاوتات والازواجات" للمشغولات مع التعرف على مواصفاتها واستخراج قيمها من الجداول القياسية، و كذلك التعرف على الأنواع المختلفة من محددات القياس الحدية.

ويأتي بعد ذلك في الوحدة الرابعة " قياس خشونة الأسطح" والتعريف بالطرق المختلفة لقياس خشونة الأسطح والمقاييس العالمية لتقدير جودة تشطيب الأسطح، كذلك عرض لرموز تشطيب الأسطح المستخدمة في الرسومات الهندسية و علاقة خشونة الأسطح بالتفاوتات المسموحة للأبعاد.

وتتناول الوحدة الخامسة " قياس الشكل والوضع" عن طريق التعرف على كيفية فحص التفاوتات الهندسية لبيان أهمية خواص الشكل مثل الأسطوانية والاستدارة والاستقامة، كما تعرض أيضاً فكرة موجزة عن الأجهزة الضوئية لقياس الوضع.

وتأتي الوحدة السادسة لتعرض أهم الأساليب المستخدمة في " قياس درجة الحرارة" مثل الثرمومتر الزجاجي و الازدواج الحراري. يلي ذلك الوحدة السابعة "قياس الضغط" و التي تغطي بإيجاز أشهر طرق قياس الضغط في مجال التقنية الميكانيكية. أما الوحدتين الثامنة و التاسعة فتتناولان "قياس التدفق" و "القياسات الكهربية الأساسية" على الترتيب.

ونظراً لأهمية تحديد الأخطاء المصاحبة للقياسات من أجل الحصول على قياسات ذات دقة عالية، فقد تم إفراد الوحدة العاشرة لذلك، فهي تغطي الخصائص المختلفة لأجهزة القياس مثل الدقة والحساسية و تطبيقاتها العملية، و كذلك الأنواع المختلفة من أخطاء القياس النظامية و حساب بعضها، بالإضافة للتعريف بالأخطاء العشوائية.

ويلي الوحدات النظرية السبع المشار إليها، الوحدة الثامنة التي تحتوي على تسع تجارب معملية تم وضعها بنفس ترتيب الوحدات النظرية بحيث يقوم المتدرب بإجراء هذه التجارب في المختبر بالتوازي مع الوحدات النظرية التي تُعطي له الخلفية النظرية اللازمة لإجراء تلك التجارب.

الوحدة الأولى

قياس الأبعاد

الوحدة الأولى : قياس الأبعاد

الجدارة :

التعرف على المبادئ الأساسية لتقنية قياس الأطوال و تطبيقاتها في مجال الإنتاج

الأهداف :

عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة بإذن الله على معرفة :

- المصطلحات الأساسية للقياس
- مبادئ تصميم القدمة ذات الورنية وأنواعها و استخداماتها
- مبادئ تصميم الميكرومتر وأنواعه و استخداماته
- حساب أطوال قوالب القياس المجمعة و استخداماتها
- الأنواع المختلفة للقلاوظات و كيفية فحصها بواسطة محددات فحص القلاوظات

مستوى الأداء المطلوب :

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100٪

الوقت المتوقع للتدريب :

4 ساعات

الوسائل المساعدة :

- عارض بيانات.
- حاسب آلي.
- سبورة.

متطلبات الجدارة :

الإلمام بمبادئ الفيزياء و الرياضيات

1-1 أهمية قياس الأبعاد:

منذ بدء الحضارة الإنسانية بدأ اهتمام الإنسان بقياس الأبعاد نظراً لأن معظم احتياجات الإنسان تتطلب تحديد قيم لأبعادها. فمثلاً إذا احتجنا لشراء ورق للكتابة فإننا يجب أن نحدد الأبعاد المطلوبة ، وإذا أردنا شراء ثوب فلابد أن نحدد للبائع بدقة المقاس الذي يناسبنا. كذلك إذا ذهب رجل لشراء قطعة أرض فإنه يسأل عن مساحتها التي تحتاج ضمنا لمعرفة أبعادها. هذه هي بعض الأمثلة القليلة مما يمكن أن نذكره إذا بحثنا في حياتنا اليومية عن التطبيقات المختلفة التي تحتاج لإجراء قياس للأبعاد.

ومن الجدير بالذكر أن دقة قياس أبعاد المنتجات ترتبط ارتباطاً وثيقاً بجودتها وبالتالي إرضاء المستهلك وإقباله على شراء هذه المنتجات فإذا ظهرت في الأسواق نوعية جديدة من ورق الطابعات - على سبيل المثال - وتم عمل حملات دعائية للإشادة بنوعية هذا الورق المصنوع من خامات ذات خواص جيدة وتوفره بسعر منافس، فإن الرضا التام للمستهلك وإقباله على شراء هذا النوع من الورق مرهون بدقة أبعاد كل ورقة . فإذا حدث اختلاف عن المقاس المحدد للورق، تسبب ذلك في حدوث مشاكل عند الاستخدام وبالتالي سينصرف المستهلك عن شراء هذه النوعية ويتجه إلى النوعيات الأخرى المتوافرة في الأسواق والتي توفر له الدقة المطلوبة في المقاس لتلافي مشاكل الاستخدام.

2-1 الفحص والقياس Inspection and Measurement:

تحتاج الشركات المنتجة لإجراء فحص على منتجاتها للتأكد من مطابقتها المنتجات للمواصفات الفنية المطلوبة و ذلك لضمان تصنيع منتجات تحقق مستوى الأداء المطلوب. ويشتمل علم التقييس (Metrology) على عمليات القياس (Measurement) ، الفحص (Inspection) والمعايرة (Calibration). ويُقصد بعملية قياس شيء معين تحديد قيمة صفه أو خاصية ما لهذا الشيء في صورة رقم عددي له مدلول بوحدات القياس المتعارف عليها . فإذا أخذنا قياس الأبعاد ، نجد أن المقصود هنا تحديد قيمة البعد المقاس بالنسبة لأحد الوحدات العالمية القياسية لقياس الأطوال مثل المتر (meter, m) وذلك عن طريق إجراء هذا القياس بواسطة معدات وأجهزة خاصة تم تصميمها لهذا الغرض. والقياس إما أن يكون مباشراً وذلك بمقارنة المشغولة المطلوب قياسها مباشرة بجهاز القياس كأن يُقارن طول المشغولة بالتدرج المحزز على المسطرة المدرجة. أما القياس غير المباشر فيتم بواسطة وسيلة قياس مساعده مثل فرجار القياس الداخلي وذلك لاستشعار البعد المراد قياسه من المشغولة ثم يتم قياس هذا البعد على مسطرة مدرجة أو قدمة ذات ورنية (كما سنرى فيما بعد) لتحديد

القيمة العددية للبعد المطلوب.

وتهدف عملية الفحص الى التأكد من مطابقة الشيء المراد فحصه للمواصفات المحددة له من حيث الشكل والأبعاد دون الحصول على قيمة عددية وذلك باستخدام محددات القياس (Gauges) . أما المعايرة فهي تلك العملية التي يتم خلالها مقارنة قراءة جهاز القياس مع معايير معلومة (Standards) ذات دقة عاليه بهدف تحديد قيمة الأخطاء النظامية (Systematic Errors). وتتم عملية المعايرة – في القدمة ذات الورنية و الميكرومتر على سبيل المثال– بواسطة محددات أو مجسدات القياس مثل قوالب القياس (Gauge Blocks) التي هي عبارة عن مجموعة من القوالب، كل منها على شكل متوازي مستطيلات ومكتوب عليه بُعد معياري معين. و يمكن استخدام هذه القوالب أيضاً، إلى جانب المعايرة، في إجراء عمليات قياس الأبعاد عند الحاجة لدقة عالية كما سيرد ذكر ذلك بالتفصيل في بقية هذه الوحدة.

ونظراً لأهمية القياسات الدقيقة فإنه توجد في معظم المنشآت الصناعية معامل للقياسات الدقيقة يتم فيه إجراء القياسات على بعض العينات المنتجة للتأكد من مطابقتها للمواصفات المطلوبة . كما تنتشر معامل القياسات الدقيقة في الجامعات والكليات التقنية ومراكز الأبحاث وذلك لإجراء التدريبات العملية للطلاب والتجارب المعملية التي تحتاجها البحوث العملية والتي تهدف إلى تطوير العمليات الإنتاجية والتطبيقية وغيرها في المجال التقني. ولكي تتم عمليات القياس بأقصى دقة ممكنة فلابد من استخدام وسائل قياس على أعلى درجات الدقة إلى جانب توافر بعض الشروط اللازمة في المعامل التي تجري فيها عملية القياس، لذلك يجب مراعاة ما يلي في معامل القياسات الدقيقة:

1- أن تكون درجة الحرارة داخل المعمل 20 مْ ± $^1/_2$ مْ.
2- أن تكون الرطوبة النسبية 50% ± 5%.
3- أن تكون المعامل خالية من الأتربة والغبار.
4- أن تكون المعامل بعيدة ومعزولة عن أي مصدر يسبب اهتزازات مثل المكابس.
5- أن تكون جيدة الإضاءة بحيث تسهل عملية أخذ القراءات من معدات القياس.

3-1 وحدات القياس (Measurement Units):

لإجراء قياس لكمية معينة فلابد من وجود معايير لتحديد القيمة المقاسة ، فبالنسبة لقياس الأبعاد ابتكر الإنسان في العصور المختلفة وحدات قياس مُتفق عليها يتم مقارنة الأبعاد المقاسة بها. فمثلاً في العصور الوسطى كان يتم استخدام القدم والذراع الملكي كوحدات لقياس الأطوال، وكان بديهياً أن تختلف هذا المعايير من بلد إلى بلد آخر. وفي العصر

الحديث اتخذ العالم الإنجليزي جيمس وات سُمك الشلن الإنجليزي كوحدة قياس لتحديد قيم التفاوتات المسموحة في أبعاد المحرك البخاري الذي قام بتصميمه وتنفيذه ليكون بعد ذلك أحد مؤشرات بداية الثورة الصناعية . وقد كانت تلك الوحدات المشار إليها في وقت استخدامها هي أقصى ما يمكن للإنسان الوصول إليه، حيث كانت أفضل الاختيارات المتاحة. ومع تطور وتقدم الصناعة زادت الحاجة إلى وجود وحدات قياس معيارية تتفق كل دول العالم عليها وتكون بمثابة معيار ثابت وموحد عالمياً. لذلك نشأت مع نهاية القرن التاسع عشر عدة نظم للوحدات كان أهمها وأحدثها النظام المتري للوحدات الذي تم اعتماده كنظام دولي لوحدات القياس (SI) اتفقت عليه و اعتمدته كل دول العالم في مؤتمر دولي للقياس عُقد في سنة ١٩٦٠. وهذا النظام يحدد وحدة قياس لكل كمية من الكميات الطبيعية التي نتعامل معها في حياتنا اليومية مثل الطول والكتلة والزمن وغير ذلك من الكميات التي يعرضها الجدول (1-1). و بالإضافة للوحدات الأساسية التي تم عرضها في الجدول (1-1) توجد وحدات مشتقة من تلك الوحدات مبينة في الجدول (١-٢). والمتر الطولي تم اتخاذه كوحدة لقياس الأطوال منذ عام 1875 وهو يساوي جزءاً من أربعين مليون من الأجزاء من طول خط الزوال الأرضي.

الجدول (1-1) : الوحدات الأساسية في النظام المتري للوحدات

الكمية المقاسة	وحدة القياس	الرمز
الطول	متر	m
الكتلة	كيلو جرام	kg
الزمن	ثانية	s
التيار الكهربي	أمبير	A
درجة الحرارة	كلفن	K
كمية المادة	مول	mol
شدة الإضاءة	قنديله	cd
الزاوية المسطحة	ردیان	rad
الزاوية المجسمة	ستردیان	sr

الجدول (١-٢) الوحدات المشتقة في النظام المتري للوحدات

الكمية المقاسة	الوحدة المشتقة	الرمز
المساحة	متر مربع	m^2
الحجم	متر مكعب	m^3
الذبذبة	هرتز	Hz
الكثافة	كيلو جرام لكل متر مكعب	kg/m^3
السرعة الخطية	متر لكل ثانية	m/s
العجلة الخطية	متر لكل ثانية مربعة	m/s^2
الزاوية	ردیان	rad
السرعة الزاوية	ردیان لكل ثانية	rad/s
العجلة الزاوية	ردیان لكل ثانية مربعة	rad/s^2
القوة	نيوتن	N
الضغط	نيوتن لكل متر مربع	N/m^2

وقد تم تصنيع المتر المعياري من سبيكة البلاتين والإيريديوم وتم حفظه في باريس بفرنسا وقد أخذت كل دولة من دول اتفاقية المتر الدولية نموذجاً من هذا المتر المعياري. ومن الطبيعي أن تنشأ عدة تفاوتات حتمية عند عمل تلك النماذج من المتر الأصلي ، لذلك فقد تم تحديد طول المتر المعياري بعدد موجات الضوء الأحمر البرتقالي لغاز الكريبتون -86 الخامل . فقد وجد أن المتر المعياري يقع عليه 1650763.73 موجه من هذا الضوء. و في عام 1982 تم تعديل تعريف المتر ليكون المسافة التي يقطعها الضوء خلال زمن مقداره $\frac{1}{299,792,458}$ ثانية.

و توجد كذلك معاملات للضرب تستخدم مع الوحدات الأساسية والمشتقة عند التعامل مع الأرقام الكبيرة مثل الكيلومتر الذي يساوي 10^3 (1000) متر أو الأرقام الصغيرة مثل الميكرون الذي يساوي 10^6 من المتر. ويبين جدول (١-٣) بقية معاملات الضرب الأخرى المعتمدة التي تتراوح ما بين 10^{12} وحتى 10^{-18}. ومن الجدير بالذكر إن هناك بعض الدول مثل إنجلترا والولايات المتحدة وكندا كانت تستخدم إلى عهد قريب النظام الانجليزي في قياس الأبعاد مثل الميل و البوصة والقدم واليادرة. و يبين الجدول (١-٤) العلاقة بين هذه الوحدات و بين الوحدات الدولية المعتمدة (SI). و ينتشر في المجال الصناعي استخدام أجزاء البوصة $^7/_8$ ، $^3/_4$ ، $^5/_8$ ، $^1/_2$ ، $^1/_4$ ، $^1/_8$ ، $^1/_{16}$ ، $^1/_{32}$ ، $^1/_{64}$ ، $^1/_{128}$ و المتعارف عليها في

كثير من التطبيقات كأقطار المواسير و الوصلات المختلفة.

الجدول (١-3) : معاملات الضرب للوحدات القياسية

معامل الضرب	اسم المعامل	الرمز
$١٠^{١٢}$	تيرا	T
$١٠^{٩}$	جيجا	G
$١٠^{٦}$	ميجا	M
$١٠^{٣}$	كيلو	k
10^{2}	هيكتو	h
١٠	ديكا	da
10^{-1}	ديسي	d
10^{-2}	سنتي	c
10^{-3}	ميللي	m
10^{-6}	ميكرو	μ
10^{-9}	نانو	n
10^{-12}	بيكو	p
10^{-15}	فيمتو	f
10^{-18}	أتو	a

الجدول (١-٤): العلاقة بين النظام البريطاني و النظام الدولي (SI) لوحدات الأبعاد

الوحدة الإنجليزية و رمزها		قيمة الوحدة	القيمة المناظرة في النظام الدولي (SI)
الميل	mile	١ ميل = ١٧٦٠ ياردة	١ ميل = 1.609 كم (km)
الياردة	yard	١ ياردة = ٣ قدم	١ ياردة = 91.44 م (m)
القدم	foot, ft	١ قدم = ١٢ بوصة	١ قدم = 30.48 سم (cm)
البوصة	Inch, in	in	١ بوصة = 25.4 مم (mm)

١-٤ وسائل قياس الأبعاد (Instruments for Dimentional Measurements)

لإجراء عملية قياس دقيقة لابد من استخدام وسيلة القياس المناسبة لذلك يتوافر في مجال قياس الأطوال أنواع متعددة من وسائل القياس تم تصميمها لتغطي أكبر عدد ممكن من الأبعاد المختلفة وأهم وسائل القياس التي سيتم تناولها بالدراسة هي :

1- المساطر المدرجة.

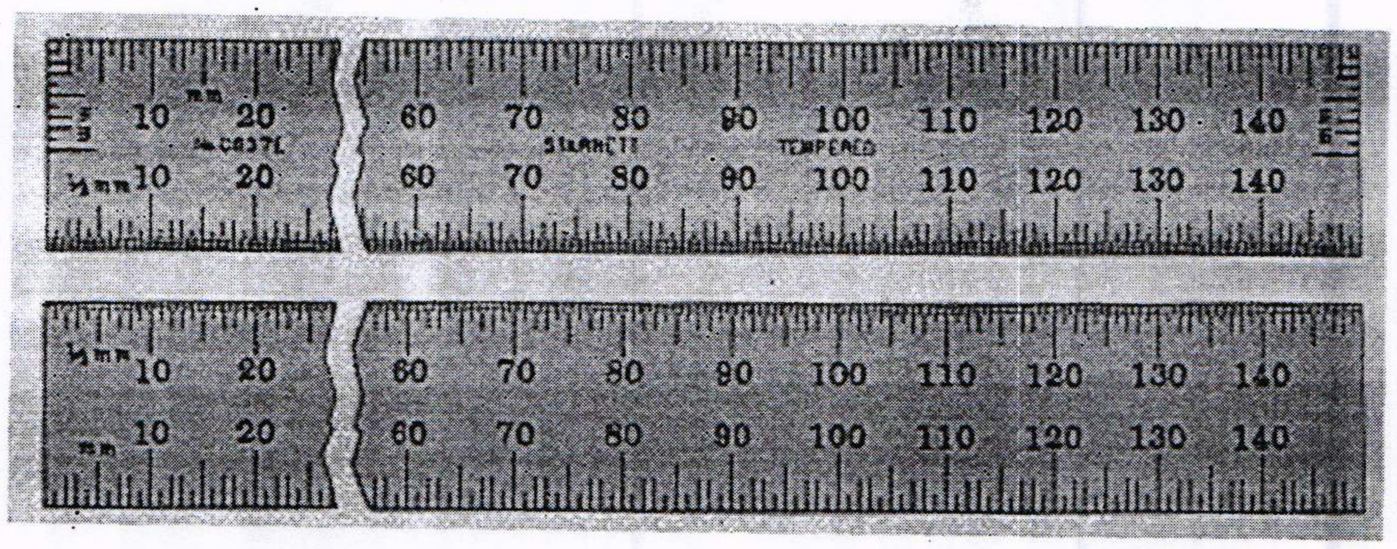
2- القدمات ذات الورنية.

3- الميكرومترات.

كذلك سيتم استعراض بعض أنواع الوسائل المساعدة للقياس مثل الفراجير بالإضافة للوسائل التي يمكن استخدامها للقياس والمعايرة معاً مثل قوالب القياس.

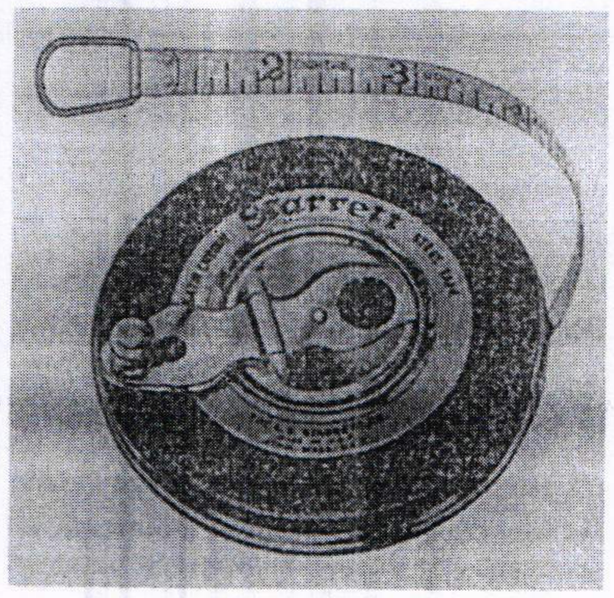
1-4-1 المساطر المدرجة (Rulers)

المساطر المدرجة (شكل (1-1)) هي أدوات قياس بسيطة لقياس الأطوال ويتم بواسطتها قراءة البعد المراد قياسه مباشرة من التدريج الموجود عليها وتتراوح أطوال المساطر المدرجة من 100 مم وحتى 5م وتستعمل في ورش الإنتاج مساطر فولاذية بأطوال 100 مم ، 300 مم، 500 مم. ويتم تصنيعها من فولاذ القوابض الرقيق المصلد، ويكون محفوراً عليها تدريج مليمتري أو نصف مليمتري وبالتالي يمكن استخدام المساطر المدرجة لقياس أبعاد حتى ٠,٥ مم حيث أن ذلك هو أقل تقسيم على المسطرة ويسمى بحساسية المسطرة.

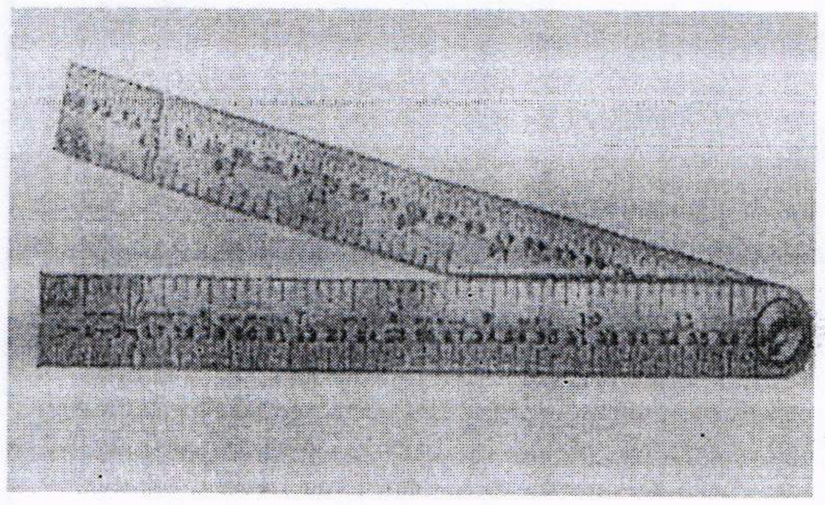


الشكل (1-1): المساطر المدرجة.

و توجد أيضاً المساطر المدرجة المفصلية و أشرطة القياس الموضحة بشكل (1-2) (أ) و (ب) على الترتيب، و هذه التصميمات تتيح إمكانية استخدامها لقياس أبعاد طويلة في حين أن الأداة يمكن طيها في حيز صغير.



(ب)

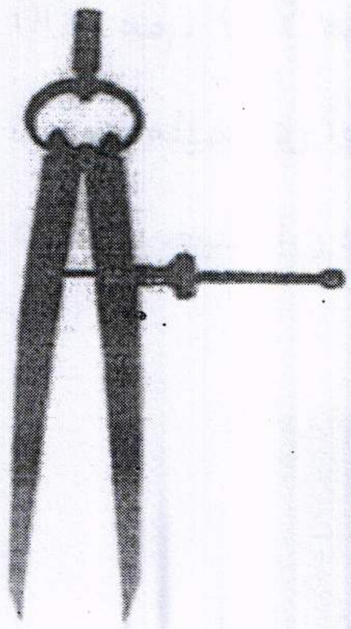


(أ)

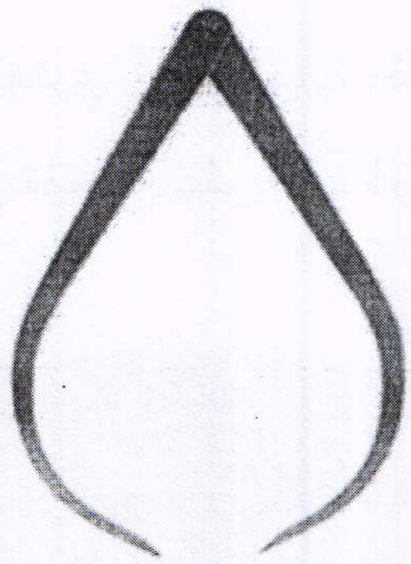
الشكل (1-2): المساطر المفصلية و شرائط القياس.

1-4-2 الفراجير (Dividers)

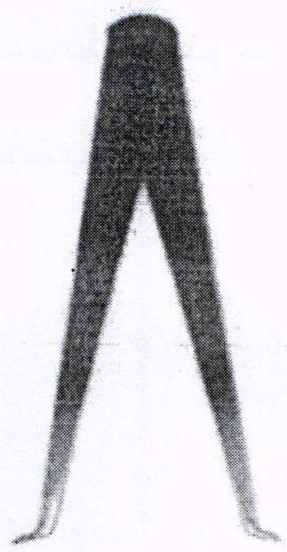
تستخدم الفراجير كوسائل مساعدة للقياس بطريقة غير مباشرة، فيتم بواسطتها نقل قيمة البعد من الشغلة إلى أداة القياس أو العكس. و تُصنع الفراجير بأشكال مختلفة لتناسب كافة المشغولات، فمنها الفرجار الداخلي و الخارجي و الفرجار ذو النابض و هي موضحة بشكل (1-3). وتصل حساسية الفرجارات (أي أقل قيمة يمكن قياسها) إلى 0.01 مم.



الفرجار ذو نابض



الفرجار الخارجي



الفرجار الداخلي

الشكل (1-3): أشكال مختلفة من الفراجير.

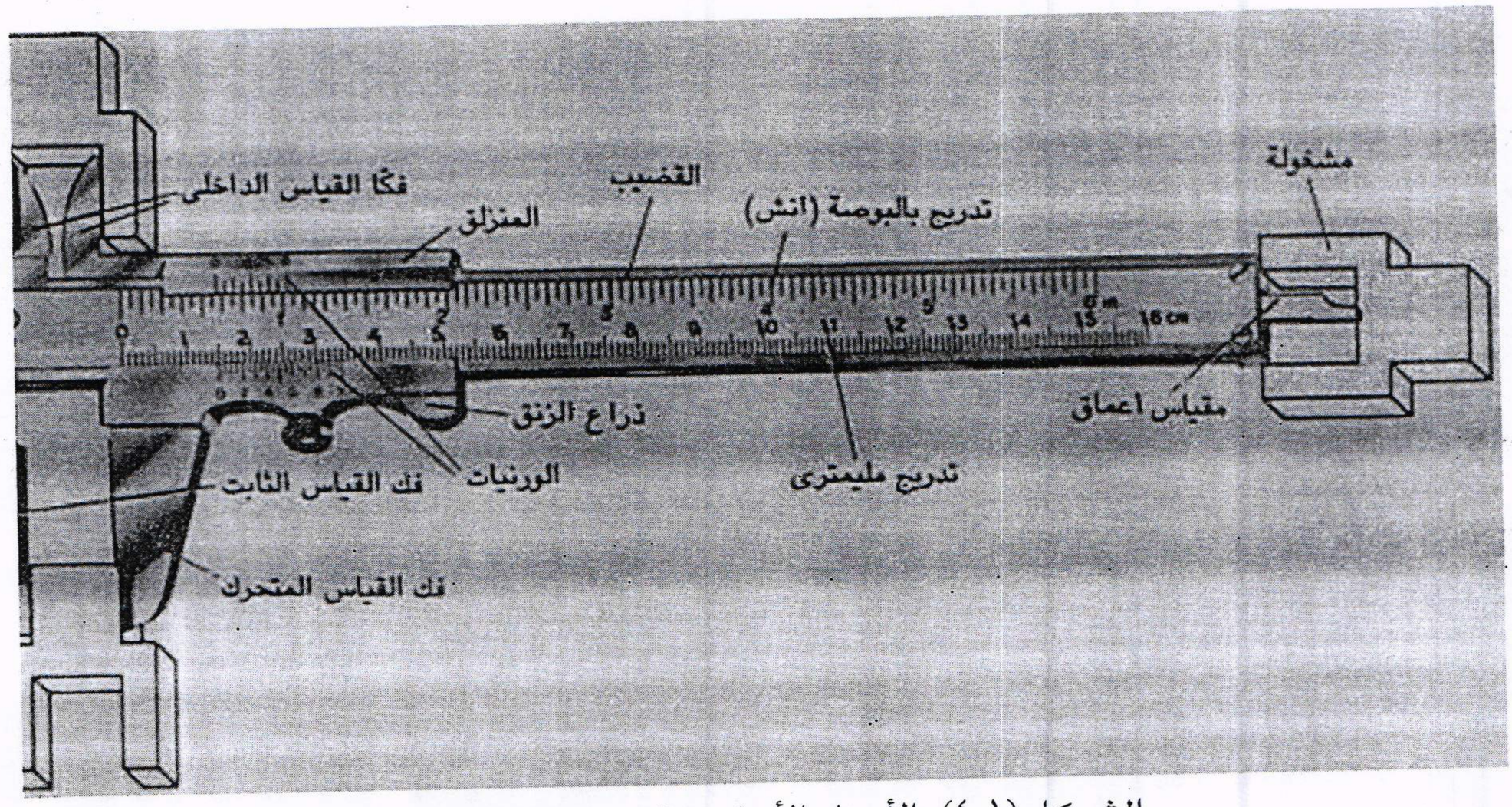
١-٤-٣ القدمة المنزلقة ذات الورنية (Vernier Caliper)

تعتبر القدمة المنزلقة ذات الورنية من أهم معدات القياس المستخدمة في تشغيل المعادن، وذلك بسبب إمكاناتها المتعددة في القياس وبساطة تصميمها وسهولة استخدامها بالإضافة لمناسبة حساسية قياسها للعديد من التطبيقات الميكانيكية في مجال التصنيع . كما إنها ملائمة بصفة خاصة للقياسات السريعة ، حيث يمكن أن تجري بها قياسات داخلية وخارجية

وفي أحيان كثيرة قياسات للأعماق لذلك فهي دائما موجودة على خطوط الإنتاج وماكينات التشغيل .

1-4-3-1 تركيب وتصميم القدمة ذات الورنية

تتكون القدمة ذات الورنية (شكل (١-٤)) من جزأين أساسين أحدهما ثابت ومدرج عليه مقياس مثل مقياس المسطرة ، يسمى بالمقياس الرئيس ، وهذا الجزء متصل بأحد فكي القياس وهو الفك الثابت . أما الجزء الأساسي الثاني فهو منزلق وبه تدرج آخر يسمى بالمقياس الثانوي أو الورنية ، وهذا الجزء متصل بأحد فكي القياس الذي يسمى بالفك المتحرك. وتتم عملية القياس بوضع المشغولة المراد تحديد مقاسها بين فكي القدمة وبذلك يكون الفك المتحرك (وبالتالي المقياس الثانوي) قد تحرك بالنسبة للمقياس الرئيس مسافة تساوي قيمة البعد المطلوب تحديده.

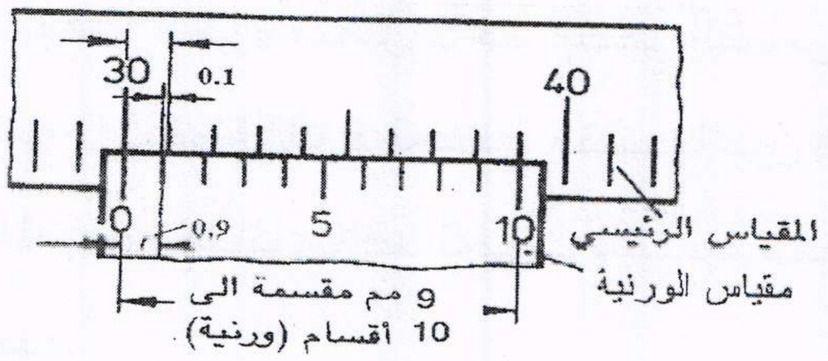


الشكل (١-٤): الأجزاء الأساسية للقدمة ذات الورنية.

وتعتمد فكرة القياس بواسطة القدمة ذات الورنية على نظرية مقياس الورنية و هى تحديد قيمة كسور أقل تدريج على المقياس الرئيس وهذه القيمة تعتمد على أسلوب تدريج مقياس الورنية الذي تم تقسيمه إلى عدد اختياري من الأقسام تبعاً للحساسية المطلوبة ، فكلما زاد عدد أقسام التدريج الثانوي (على الورنية) زادت حساسية الورنية، أي أمكن للقدمة قياس أبعاد أصغر.

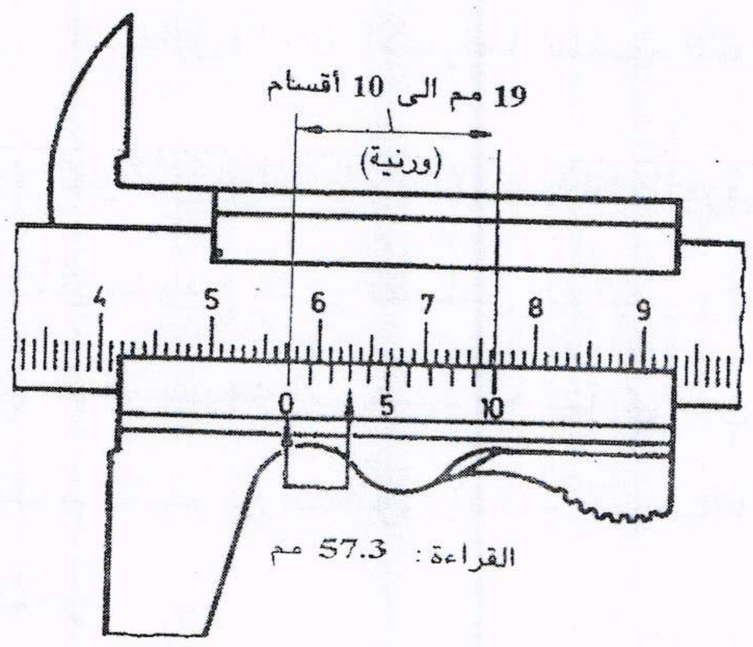
و لتوضيح نظرية مقياس الورنية سنتناول القدمة ذات التدريج المتري والتي يكون طول

القسم الواحد على التدريج الرئيس فيها يساوي 1 مم (شكل (١-٥)). فيتم اختيار عدد من أقسام التدريج الرئيس وليكن (ن) قسم، فيكون الطول الكلي لهذه الأقسام مساوياً ن مم. ويتم تقسيم هذه المسافة إلى عدد من الأقسام يساوي (ن +1) على مقياس الورنية، وبالتالي يكون طول القسم الواحد على تدريج الورنية يساوي $\frac{ن}{ن+1}$ مم. وعلى ذلك يكون الفرق بين طول القسم الواحد على التدريج الرئيس والتدريج الثانوي مساوياً ($\frac{1}{ن+1}$)، هذا الفرق هو أقل بعد يمكن تحديده باستخدام القدمة ذات الورنية و يسمى حساسية الورنية.



الشكل (١-٥): تقسيم مقياس الورنية العشرية.

وتوجد ورنيات عشرية وعشرينية وخمسينية ، وكما يتضح من التسميات تختلف هذه الورينات في عدد أقسام التدريج الثانوي. ففي القدمة ذات الورنية العشرية يكون عدد الأقسام (ن +1) = 10 وبالتالي تكون حساسية هذه القدمة $^1/_{10}$ = 0.1 مم. وبالمثل تكون حساسية القدمة العشرينية = $^1/_{20}$ = 0.05 مم. كما توجد قدمات ذات تدريج مُوسع على الورنية يكون فيه الطول الذي يتم تقسيمه على الورنية أطول من ذلك الموجود على القدمة العادية . فعلى سبيل المثال في الورنية العشرية الموسعة (شكل (١-٦))، يتم تقسيم 19 مم إلى 10 أقسام على الورنية (بدلاً من 9 مم في حالة الورنية التقليدية). ويجب التأكيد على أن هذه الزيادة في طول الأقسام على الورنية لا تؤثر على حساسية القدمة ولكن تجعل القراءة على الورنية أسهل وأوضح.



الشكل (١-٦): الورنية العشرية الموسعة.

1-4-3-2 كيفية قراءة الأبعاد على القدمة ذات الورنية

قبل الشروع في قراءة أحد الأبعاد المقاسة على القدمة ذات الورنية ، يجب مراعاة القواعد التالية التي تضمن إجراء القياس بأعلى دقة ممكنة:

1- يجب أن يكون فكاً القياس نظيفين.

2- يجب إبعاد فكي القياس عن المشغولة بقدر الإمكان أثناء تمريرهما عليها.

3- لا يجوز أن تكون القدمة مائلة ومرتكزة على حافتيها أثناء القياس ، فيجب عند قياس قطر داخلي مثلاً أن يكون فكاً القدمة متعامدين على محور المشغولة.

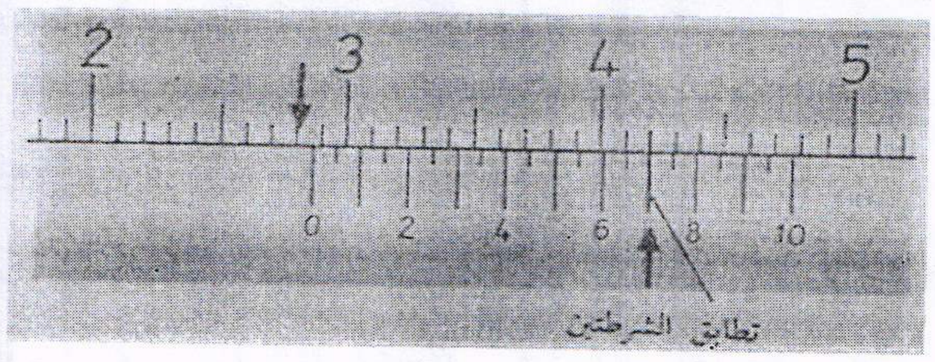
4- يجب أن يكون النظر عمودياً على تدريج القدمة أثناء القراءة.

5- يجب إمساك القدمة في الوضع الصحيح وتوفير قوة الضغط المناسبة للقياس.

6- بعد الانتهاء من القياس يجب حفظ القدمة ، كسائر أجهزة القياس الأخرى، منعزلة عن أدوات العمل (العدد) وفوق قاعدة لينة.

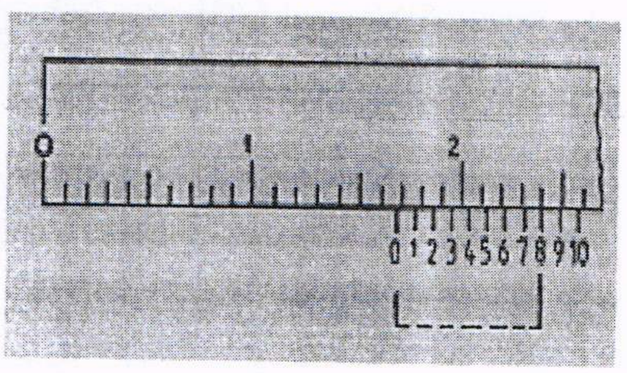
وعند القراءة يعتبر خط الصفر لمقياس الورنية بمثابة علامة عشرية ، أي يتم قراءة القيم الصحيحة للطول المقاس على يسار خط الصفر للورنية. و لتحديد قيمة البعد المقاس ، تحدد أولاً قراءة القيمة الصحيحة الكبرى على المقياس الرئيس ففي الشكل (1-7) هذه القيمة (2) أي 2 سم = 20 مم والقيمة الصحيحة الصغرى = ٨ مم (حيث أن صفر الورنية تعدى قسماً واحداً فقط بعد القراءة الصحيحة الكبرى)، وعلى ذلك تكون القراءة الصحيحة الكلية 28 مم. ثم يتم بعد ذلك تحديد القيمة الكسرية على مقياس الورنية عن طريق تحديد رقم التدريج الذي حدث عنده تطابق بين التدريج الرئيس وتدريج الورنية. ففي شكل (1-7) يتضح أن التطابق حدث عند التدريج رقم 14 ، وعلى ذلك تكون قيمة القراءة الكسرية = حساسية الورنية × عدد التدريجات حتى نقطة التطابق، أي = 0.05 × 14 = 0.7 مم (حيث إن الورنية الموضحة بالرسم عشرينية أي أن عدد الأقسام على الورنية = 20 قسم و بالتالي تكون حساسيتها = $\frac{1}{20}$ = 0.05 مم) وبناء على ذلك يتم تحديد البعد المقاس كمجموع القيمة الصحيحة والقيمة الكسرية للقراءة أي أن:

قيمة القراءة = 28 + 0.7 = 28.7 مم.

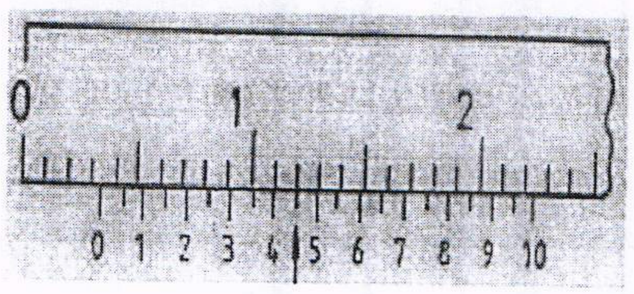


الشكل (1-7): قراءة القدمة ذات الورنية العشرينية.

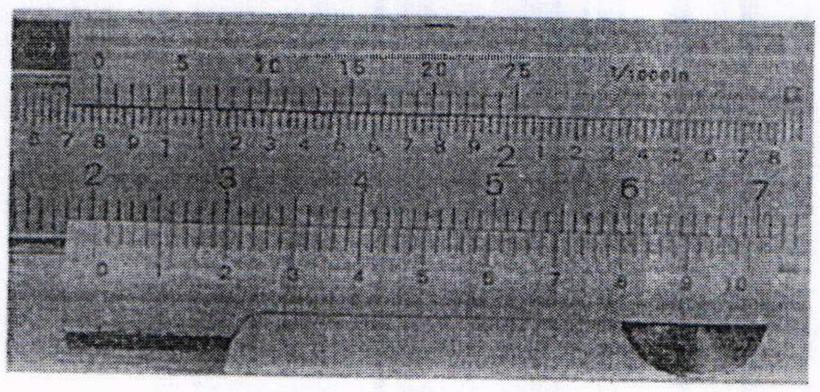
وهذه الطريقة في القراءة تُستخدم في جميع أنواع القدمات على اختلاف أنواعها مثل قدمة قياس الأعماق وقدمه قياس الارتفاعات اللتين سيرد ذكرهما بمزيد من التفصيل في بقية الفقرات التالية من الوحدة. .و يعرض شكل (1-8) بعض الأمثلة على قراءة الأبعاد المقاسة بواسطة القدمة ذات الورنية بحساسيات قياس مختلفة.



ورنيه عشرية: القراءة = 16.8مم



ورنيه عشرينية: القراءة = 3.45 مم

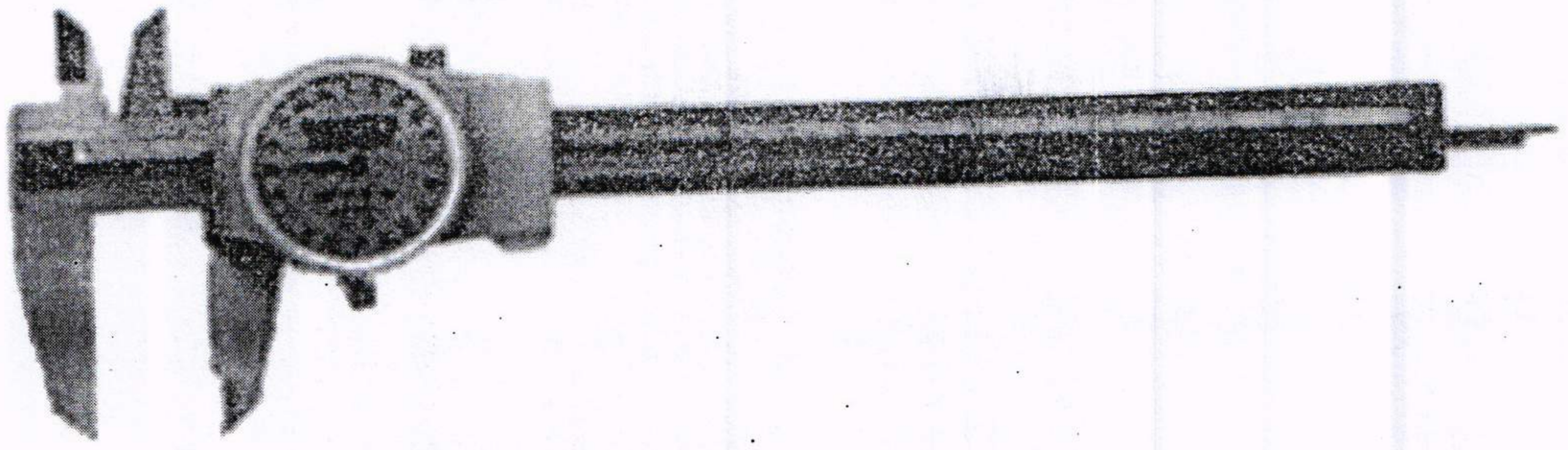


ورنيه خمسينية: القراءة = 20.26مم

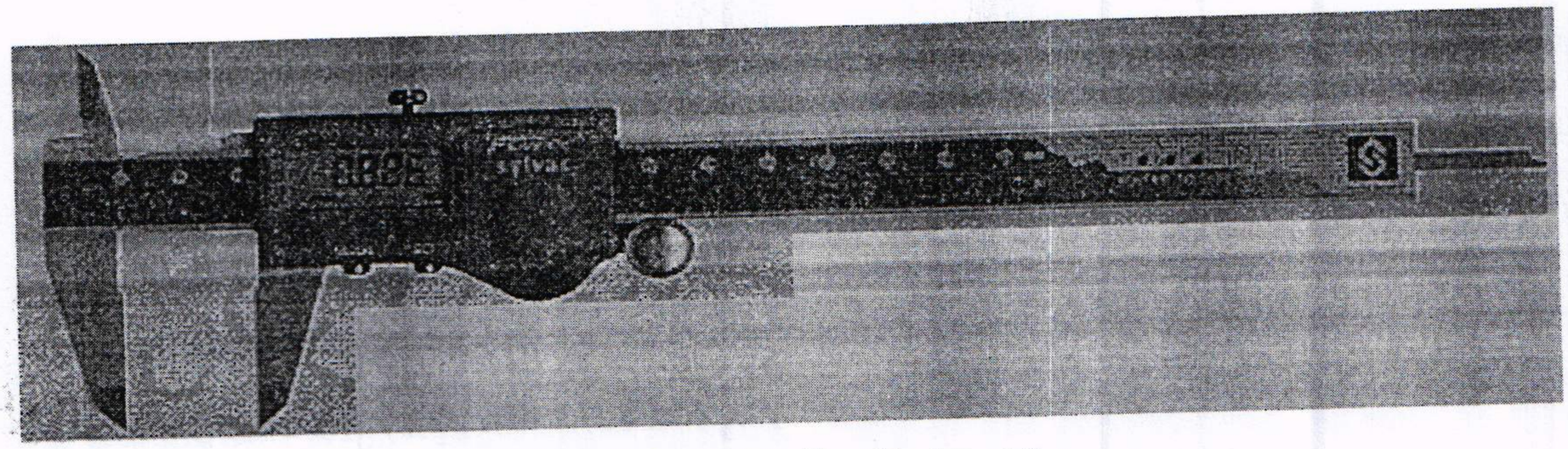
الشكل (1-8): أمثلة على قراءة القدمة ذات الورنية المترية.

1-4-3-3 أنواع القدمة ذات الورنية

بالإضافة إلى القدمة ذات الورنية التقليدية، توجد أيضاً القدمات التي تحتوي ورنيتها على مُبين ذي مؤشر (Dial Caliper) و التي تظهر في شكل (١-٩) و تسمى أيضاً قدمة وجه الساعة لأن المبين يكون على شكل الساعة التقليدية. و يتم بواسطة المبين تحديد قيمة القراءة بحساسية تصل إلى 0.02 مم أو "0.001. كما توجد القدمة الرقمية (Digital Caliper) كتلك المبينة في شكل (١-١٠). و تكون هذه القدمة مجهزة بشاشة صغيرة تظهر عليها القراءة مباشرةً و تصل حساسيتها إلى 0.01 مم أو "0.0005. و يوجد من القدمات الرقمية أنواع فيها إمكانيات التوصيل على وحدة تسجيل بيانات و بالتالي يمكن إجراء قياسات عديدة و تسجيل قيمها خلال فترة قصيرة دون الحاجة لتدوين قيم القراءات يدوياً.

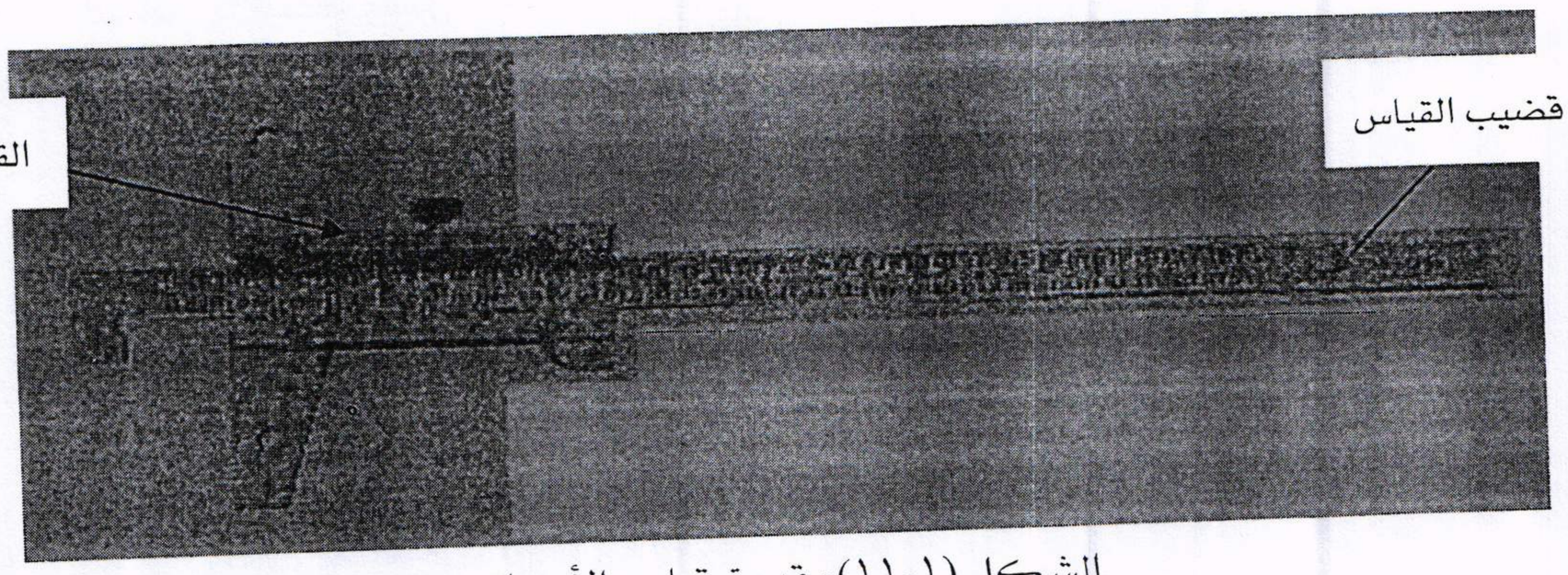


الشكل (١-٩): قدمة بمبين ذي مؤشر.



الشكل (١-١٠): القدمة الرقمية.

و توجد أشكال أخرى من القدمات ذات الورنية تم تصميمها لتلائم التطبيقات المختلفة في قياس الأبعاد. فقدمة قياس الأعماق (Depth Gauge) الموضحة في شكل (١-١١)، تستخدم لقياس أعماق المجاري والتدرجات والثقوب النافذة. وهيْ مكونه أساساً من قضيب للقياس وقنطرة تنزلق عليها الورنية.



الشكل (١-١١): قدمة قياس الأعماق.

ولإجراء عملية القياس تثبت القنطرة على سطح قطعة الشغل برفع قضيب القياس حتى يرتكز على السطح الداخلي (قاع الشغلة) ثم يربط مسمار التثبيت وتُحدد قيمة القراءة

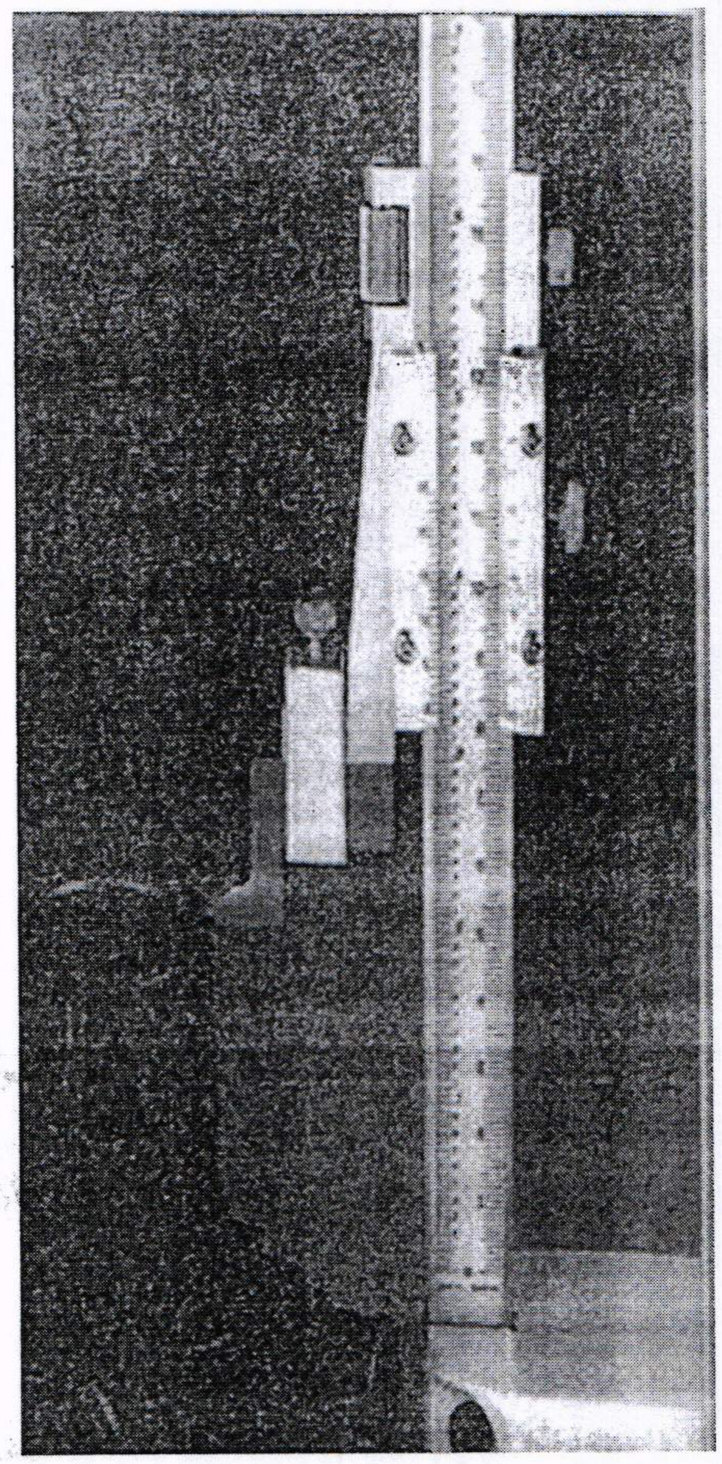
بنفس الطريقة المستخدمة في القدمة ذات الورنية التقليدية. ويجب مراعاة بعض القواعد، بالإضافة إلى ما تم ذكره من قبل، عند استخدام قدمة قياس الأعماق لتجنب بعض الأخطاء المصاحبة للقياس:

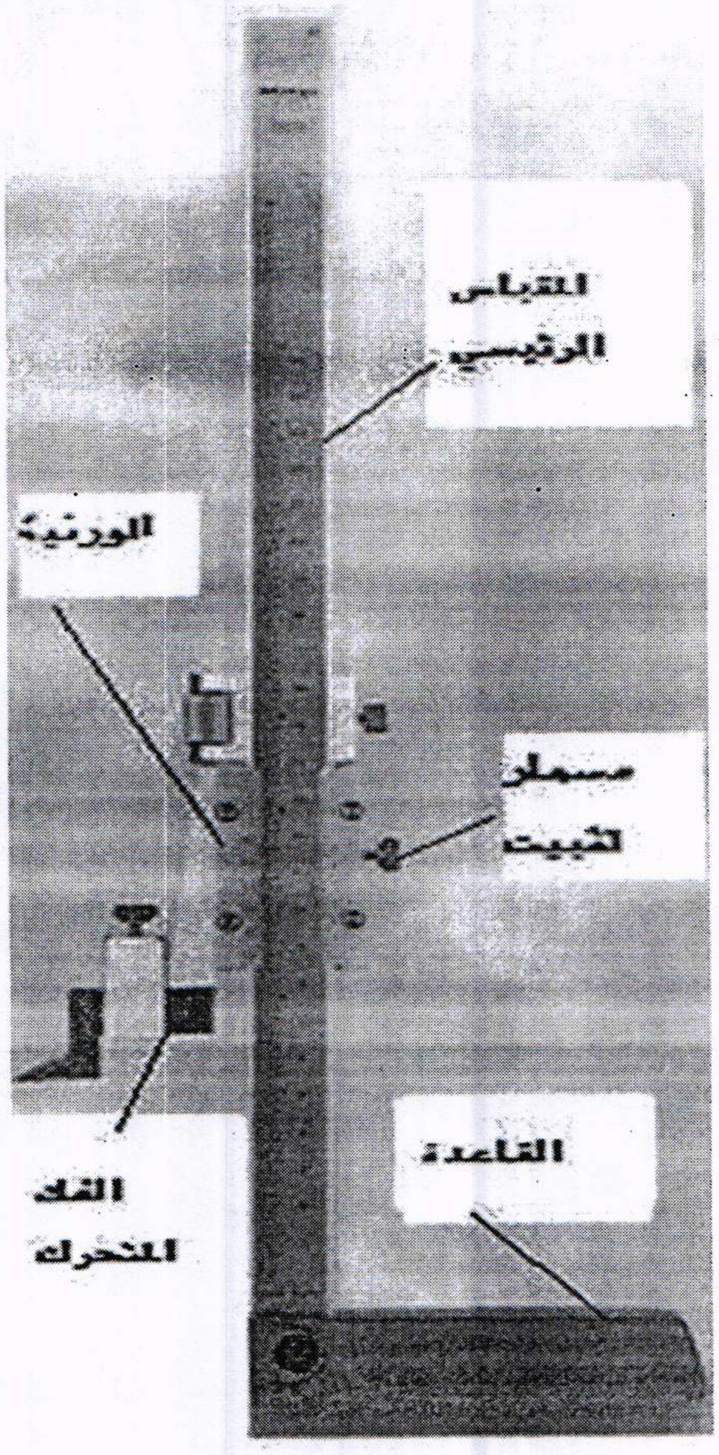
1- التأكد من امتداد فك القياس إلى المسافة الكافية لملامسة سطح الشغلة.
2- وضع القدمة عمودياً على الشغلة دون انحراف.
3- عدم زيادة أو نقصان ضغط ارتكاز فك القياس على الشغلة.

ولقياس ارتفاع بعض المشغولات التي يصعب قياسها بالقدمة التقليدية كما في شكل (١-١٢) نستخدم قدمة قياس الارتفاعات (Height Gauge) التي تم تصميمها لهذا الغرض. وهي تتكون أساساً من مقياس رئيس يرتكز على قاعدة القدمة و فك متحرك، يختلف شكله تبعاً لنوع القدمة، يحتوي على الورنية. وهذه القدمة يمكن استخدامها أيضاً في إنجاز العلامات على المشغولات (الشنكرة).

4-4-1 الميكرومتر (Micrometer)

يعتبر الميكرومتر من معدات قياس الأبعاد البسيطة التي تستخدم بكثرة في المجال التقني حيث إنه يمتاز بسهولة الاستخدام وصغر الحجم إلى جانب حساسيته العالية (1/100 مم). وتتوفر عدة أنواع من الميكرومترات للاستخدامات المختلفة مثل القياس الخارجي والداخلي وقياس الأعماق وقياس القلاووظ الخارجي إلى غير ذلك من التطبيقات المتعددة. وسيتم عرض كل نوع من هذه الأنواع على حدة ولكن سنبدأ بالتعرف على مكونات المكيرومتر ونظرية القياس بالميكرومتر.





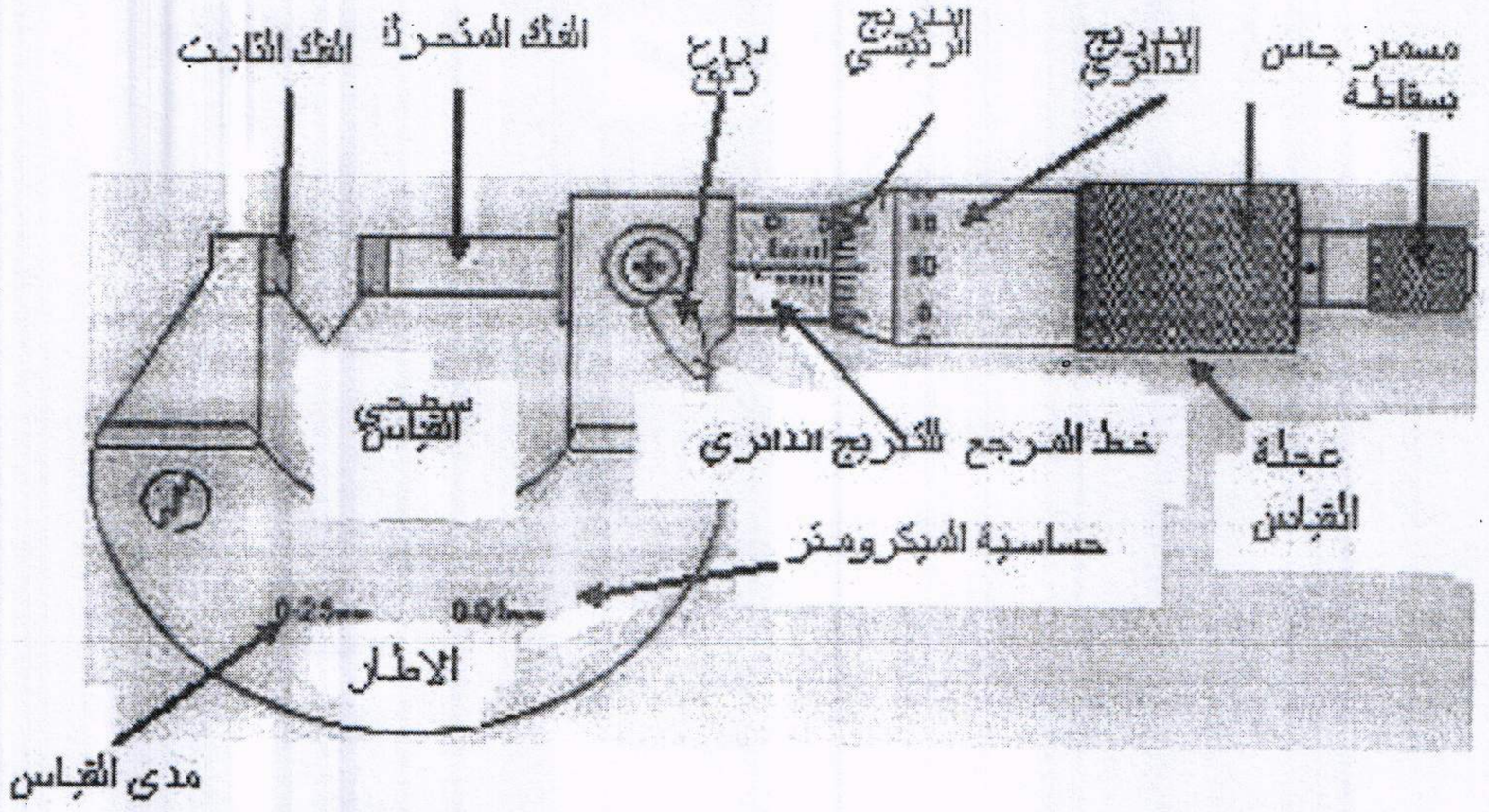
الشكل (١-١٢): قدمة قياس الارتفاعات واستخدامها في قياس بعض المشغولات.

1-4-4-1 تركيب وتصميم الميكرومتر

يتكون الميكرومتر (شكل (١-١٣) أساساً من الإطار و عجلة القياس و الفكين الثابت و المتحرك اللذين ينتهيان بسطحي القياس المصنوعين من الكربيد لمقاومة التآكل الناتج من الاحتكاك المتكرر مع الأسطح المقاسة. كما يوجد مسمار جاس بسقاطة انزلاقية تعمل على إبقاء قوة الضغط بين الشغلة المقاسة وفكي القياس ثابتة في حدود ١٠ N (نيوتن) لضمان الحصول على دقة قياس ثابتة. ويتم القياس بوضع القطعة المراد قياسها بين سطحيي القياس و يتم تحريك الفك المتحرك (عن طريق عجلة القياس) حتى يتلامس سطحا القطعة مع سطحي فكي القياس، ثم تُربط ذراع الزنق لتثبيت القطعة في وضع القياس و بالتالي يكون البعد المقاس مساوياً للمسافة التي تحركها الفك المتحرك.

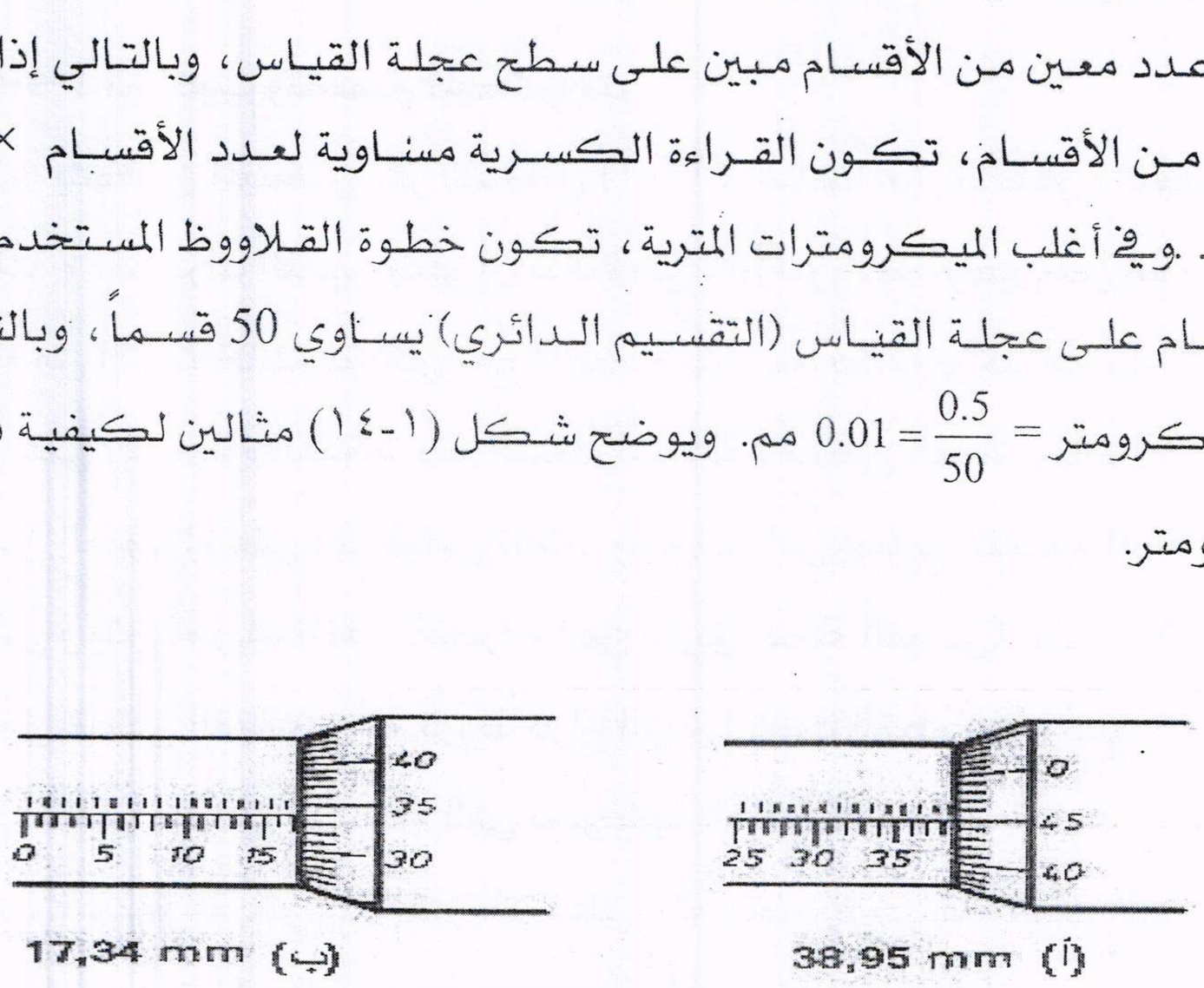
وتعتمد فكرة القياس بالميكرومتر على التحكم في حركة الفك المتحرك عن طريق حركة دائرية للولب قلاووظ تكون حركته المحورية المناظرة للحركة الدورانية هي الحركة الخطية للفك المتحرك. فإذا دار لولب القلاووظ دورة كاملة أدى ذلك إلى تحرك الفك المتحرك مسافة خطية تساوي خطوة القلاووظ المستخدم. والمقياس الرئيس للميكرومتر مقسم

لتدريجات تساوي كل منها قيمة خطوة لولب القلاووظ المستخدم و تُقرأ منه القراءة الصحيحة للبعد المقاس، بينما تُؤخذ القراءة الكسرية من عجلة القياس (التقسيم الدائري). فإذا نظرنا إلى شكل (١-١٤) نجد أن القراءة الصحيحة (على المقياس الرئيس) تساوي 38.5 مم للحالة (أ) و تساوي 17 مم للحالة (ب) في نفس الشكل.



الشكل (١-١٣):المكونات الأساسية للميكرومتر.

ولمعرفة قيمة الحركة الخطية المناظرة لدوران عجلة القياس جزء من اللفة، تم تقسيم عجلة القياس إلى عدد معين من الأقسام مبين على سطح عجلة القياس، وبالتالي إذا دارت عجلة القياس (ن) من الأقسام، تكون القراءة الكسرية مساوية لعدد الأقسام × حساسية الميكرومتر . وفي أغلب الميكرومترات المترية، تكون خطوة القلاووظ المستخدم = 0.5 مم ، وعدد الأقسام على عجلة القياس (التقسيم الدائري) يساوي 50 قسماً، وبالتالي تكون حساسية الميكرومتر = $\frac{0.5}{50}$ = 0.01 مم. ويوضح شكل (١-١٤) مثالين لكيفية قراءة الأبعاد على الميكرومتر.

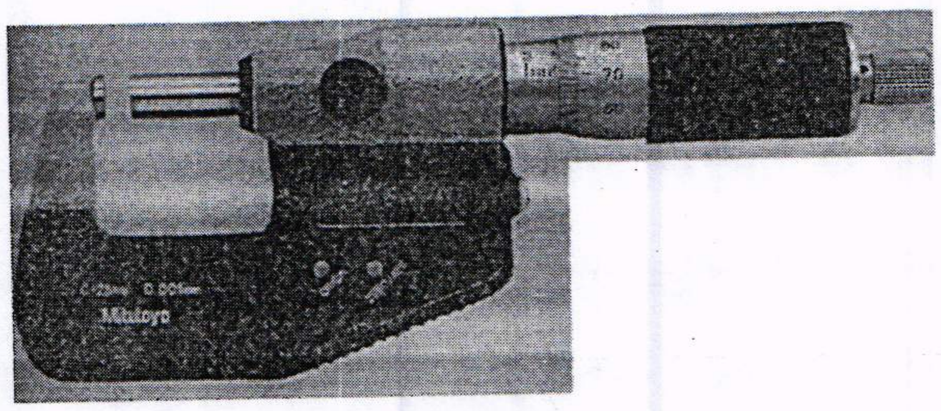


الشكل (١-١٤) : أمثلة على قراءة الميكرومتر.

1-4-4-2 ميكرومتر القياس الخارجي (Outside Micrometer)

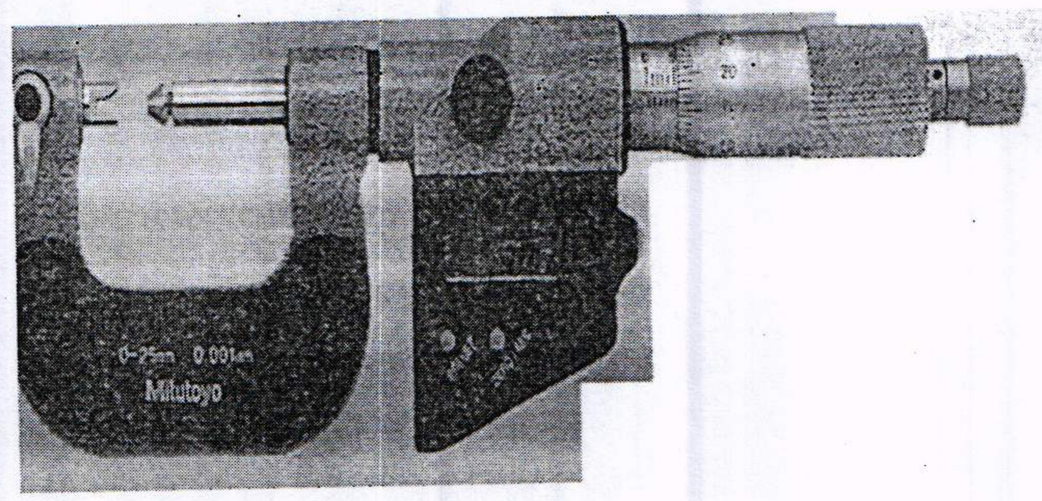
يوضح شكل (١-١٥) طرازات مختلفة من ميكرومترات القياس الخارجي تم تصميمها لتلائم مجال معين من تطبيقات القياس. وتتعدد نطاقات القياس لتناسب الأبعاد المطلوب قياسها ، فتبدأ من صفر إلى 25 مم، ومن 25 إلى 50 مم، ومن 50 إلى 75 مم، و هكذا إلى أن يصل أقصى بعد يمكن قياسه إلى 1000 مم. أما في النظام الإنجليزي فيمكن قياس أبعاد حتى ٤٠ بوصة بواسطة الميكرومتر.



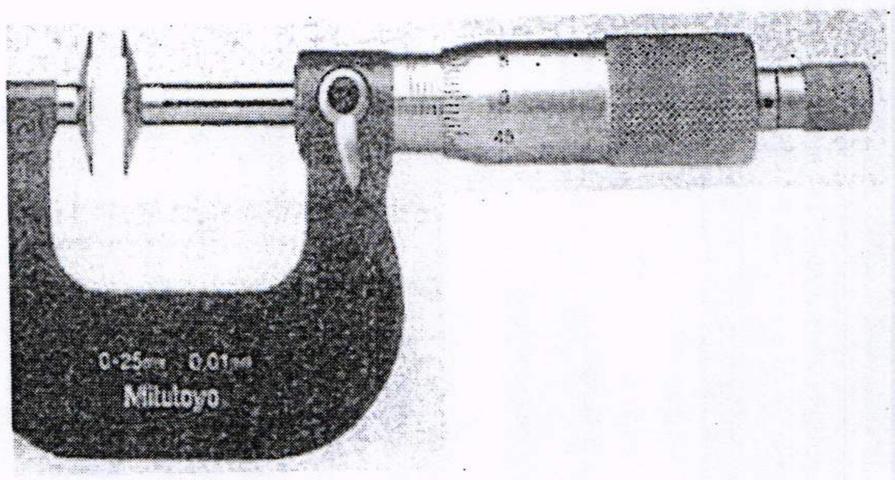


الشكل (١-١٥) : تصميمات مختلفة من ميكرومترات القياس الخارجي.

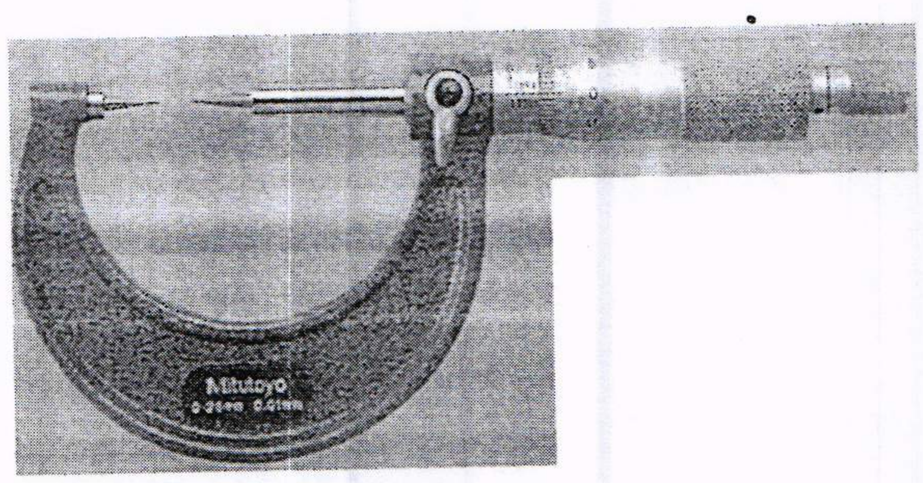
و توجد أشكال متعددة لسطحي القياس للفك الثابت و للفك المتحرك و هما يسميان بالساق و المصد أو اللقم. و يعرض شكل (١-١٦) نماذج من هذه الأشكال التى يناسب كل منها أحد التطبيقات المختلفة مثل قياس اللوالب (أ)، قياس السماكة للألواح المعدنية (ب)، قياس الفراغات الرفيعة والتي تحتاج لطرفي قياس مدببين (ج)، و كذلك المشغولات غير المنتظمة الشكل (د).



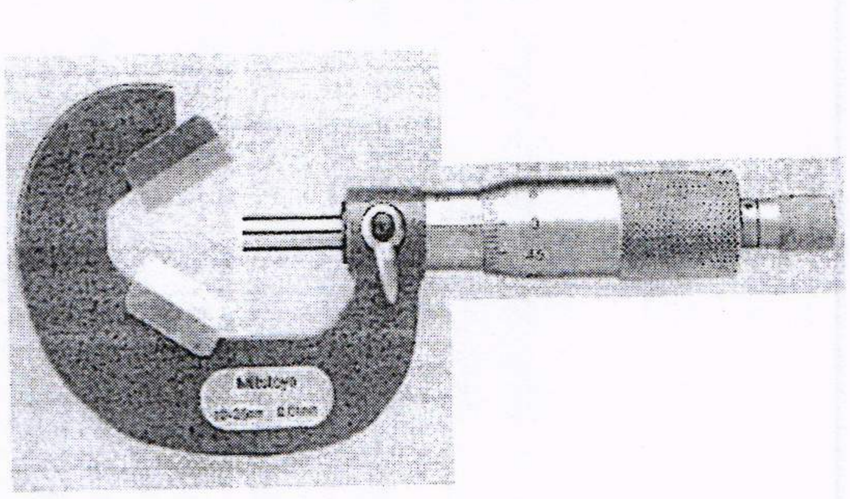
(أ)



(ب)



(ج)

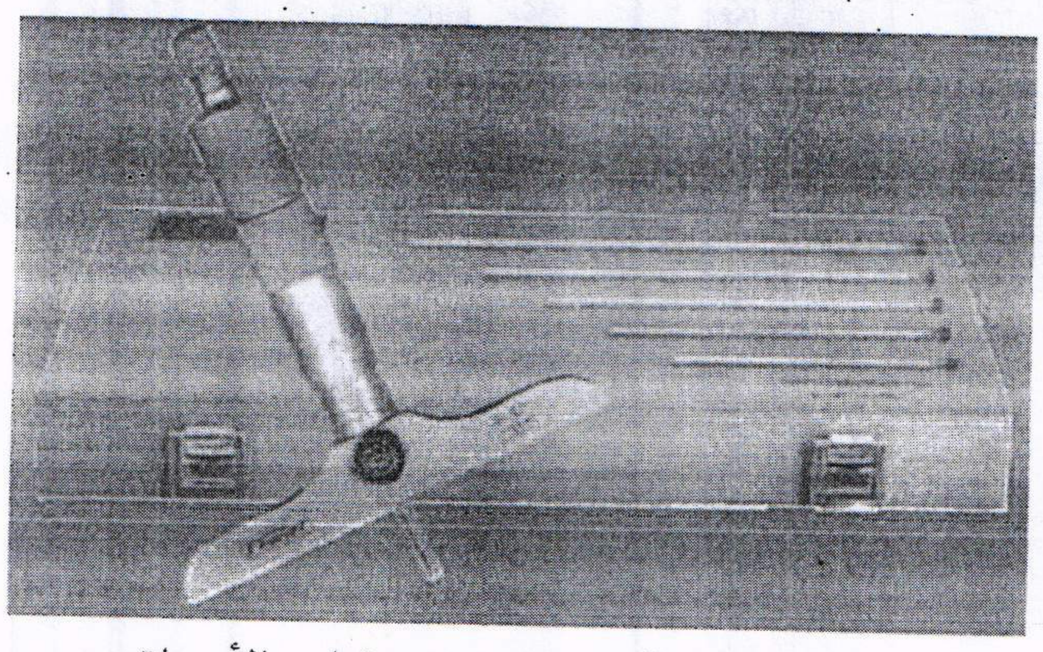


(د)

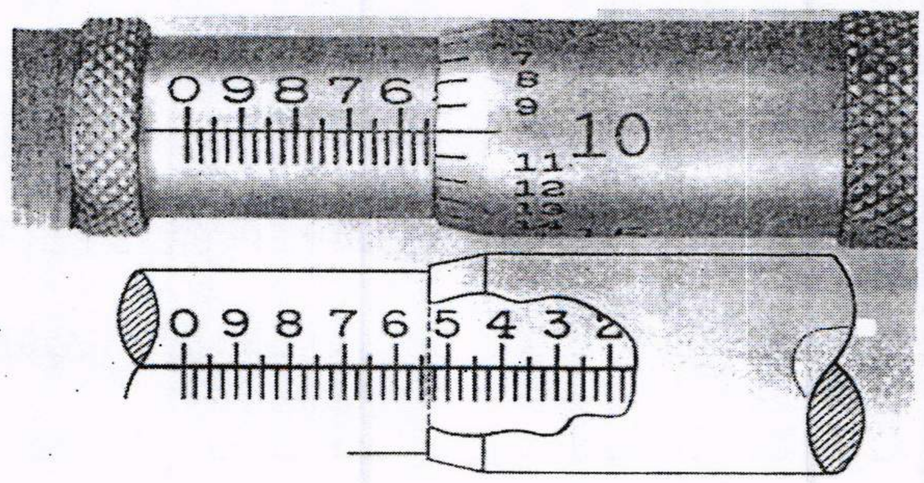
الشكل(١-١٦) : ميكرومترات القياس الخارجي ذات أشكال مختلفة للساق و المصد.

١-٤-٤-٣ ميكرومتر قياس الأعماق (Depth Micrometer)

يستخدم ميكرومتر قياس الأعماق لقياس عمق الثقوب والمجارى وارتفاعات الأكتاف و الحزوز. و يتكون ميكرومتر الأعماق، كما هو مبين في شكل (١-١٧) ، من حد ثابت وآخر متحرك كما في ميكرومتر القياسات الخارجية ، إلا أن شكل الحد الثابت مصمم بحيث يمكنه الارتكاز على الشغلة المراد قياس العمق فيها ، وبحيث يكون الحد الثابت موازياً لمحور الشغلة . وتوجد عجلة للقياس وتدريج دائري لتحديد القيمة الكسرية كما ذُكر سابقاً. و يجب ملاحظة أن التدريج الموجود على المقياس الرئيس يكون وضعه معاكساً لوضعه على ميكرومتر القياس الخارجي، فالتدريج يبدأ من الصفر الموجود في أعلى المقياس الرئيس وينتهي بالقيمة العظمى في أسفله . وهذا الانعكاس في التدريج ناتج من طبيعة قياس الأعماق حيث إنه كلما زاد العمق المقاس تطلب ذلك امتداد الحد المتحرك داخله وبالتالي تحركت عجلة القياس مسافة أكبر إلى أسفل ولزيادة مدى القياس. و كذلك بالنسبة لاتجاه التدريج على عجلة القياس فهو أيضاً معاكس بالمقارنة بالميكرومتر التقليدي كما يتضح ذلك من شكل (١-١٨) ولزيادة مدى القياس، توجد ميكرومترات أعماق ذات أعمدة قياس إضافية يتم توصيلها بالحد المتحرك لزيادة طوله. وحتى يتم القياس بدقة ، يجب مراعاة ألا يرتفع الحد الثابت عن الشغلة المقاسة بفعل قوة القياس.



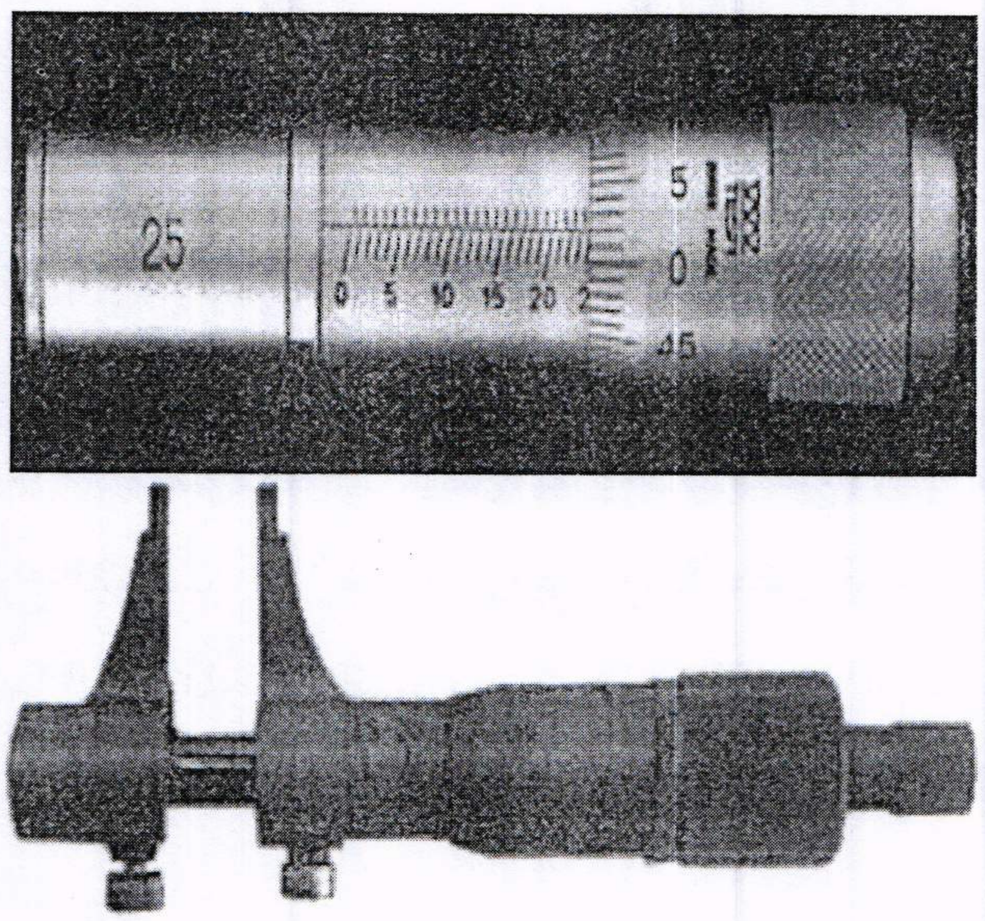
الشكل (١-١٧): ميكرومتر قياس الأعماق.



الشكل (١-١٨): قراءة ميكرومتر الأعماق.

4-4-4-1 ميكرومتر القياس الداخلي (Inside Micrometer)

يستخدم هذا النوع من الميكرومترات لإجراء القياسات الداخلية بدقة، وأجزائها الرئيسة موضحة في شكل (١-١٩) (أ). ويلاحظ أن هذا النوع من الميكرومترات تكون أسطح قياسه كروية لتناسب شكل الأسطح المقاسة كالأسطح الأسطوانية كما في حالة قياس القطر الداخلي لثقب على سبيل المثال. و يمكن تغير أعمدة القلاووظ بأخرى ذات أطوال مختلفة لزيادة مجال القياس، وطريقة أخذ القراءة هي نفسها كما في الميكرومتر الخارجي باستخدام المقياس الرئيس والتقسيم الدائري ، ولكن يجب أن يُضاف إلى هذه القراءة الطول الصفري للميكرومتر أي طول الميكرومتر عندما تكون قراءته مساوية للصفر. و تتوفر أيضاً ميكرومترات قياس داخلي بفكي قياس كما هو مبين في شكل(١-١٩) (ب)، و هو يلائم قياس الأبعاد الداخلية الضيقة التي لا يستطيع الميكرومتر التقليدي الوصول إليها.

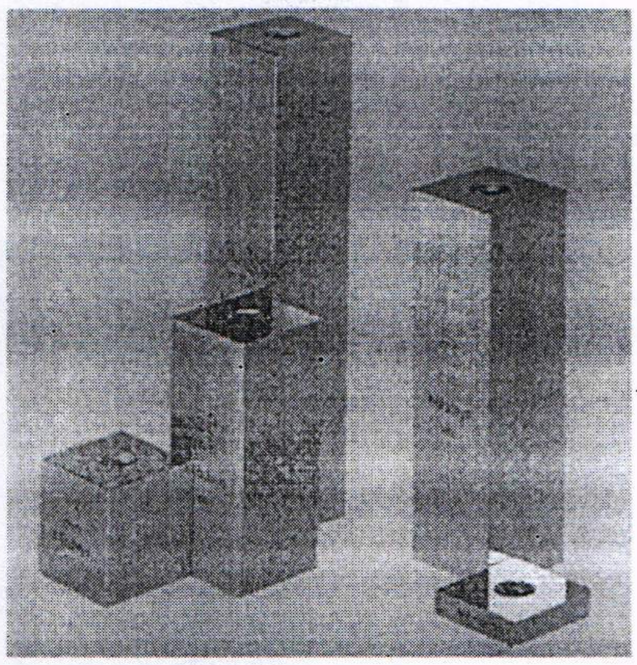


(أ) ميكرومتر قياس داخلي طوله الصفري 25 مم. (ب) ميكرومتر قياس داخلي بفكي قياس.

الشكل (١-١٩): ميكرومترات القياس الداخلي.

5-4-1 قوالب القياس Gauge Blocks

تعتبر قوالب القياس من الدعامات الأساسية في عمليات قياس الأبعاد ، فهي من أهم أنواع محددات القياس التي تُعد مرجعاً لاختبار دقة معدات القياس وتحديد مقدار الخطأ في قراءات تلك المعدات. إلى جانب هذا الدور الأساسي في مجال قياس الأبعاد ، تستخدم قوالب القياس في إجراء بعض عمليات القياس البسيطة. وقوالب القياس ، شكل (١-٢٠) عبارة عن مجموعة من القوالب كل منها على شكل متوازي مستطيلات ، و يكون مقطعها على شكل مستطيل أو مربع. ويتم تصنيعها من سبيكة من الفولاذ المقسى والمعامل حرارياً بحيث يتم رفع درجة حرارتها بشدة ثم تبريدها بصورة متتالية ليؤدي ذلك في النهاية إلى خلو هذه السبيكة من أي اجهادات داخلية. و يتوفر مع كل مجموعة من القوالب قالبان يسميان قالبي مقاومة التآكل (يكون سمك كل منهما 1 مم أو 2 مم)، وهما معالجان معالجة خاصة لمضاعفة مقاومتهما للتآكل نتيجة الاستعمال المتكرر للقوالب و الاحتكاك مع أسطح القياس. و يتم وضع المجموعة المختارة من قوالب القياس بين هذين القالبين حتى يكونا متلامسان مع سطحي القياس، و يجب أن يؤخذ في الاعتبار قيمة سُمك قالبي القياس عند حساب البعد المقاس



الشكل(١-٢٠): مجموعة قوالب قياس متوازية ذات مقطع مربع مصنوعة من الفولاذ.

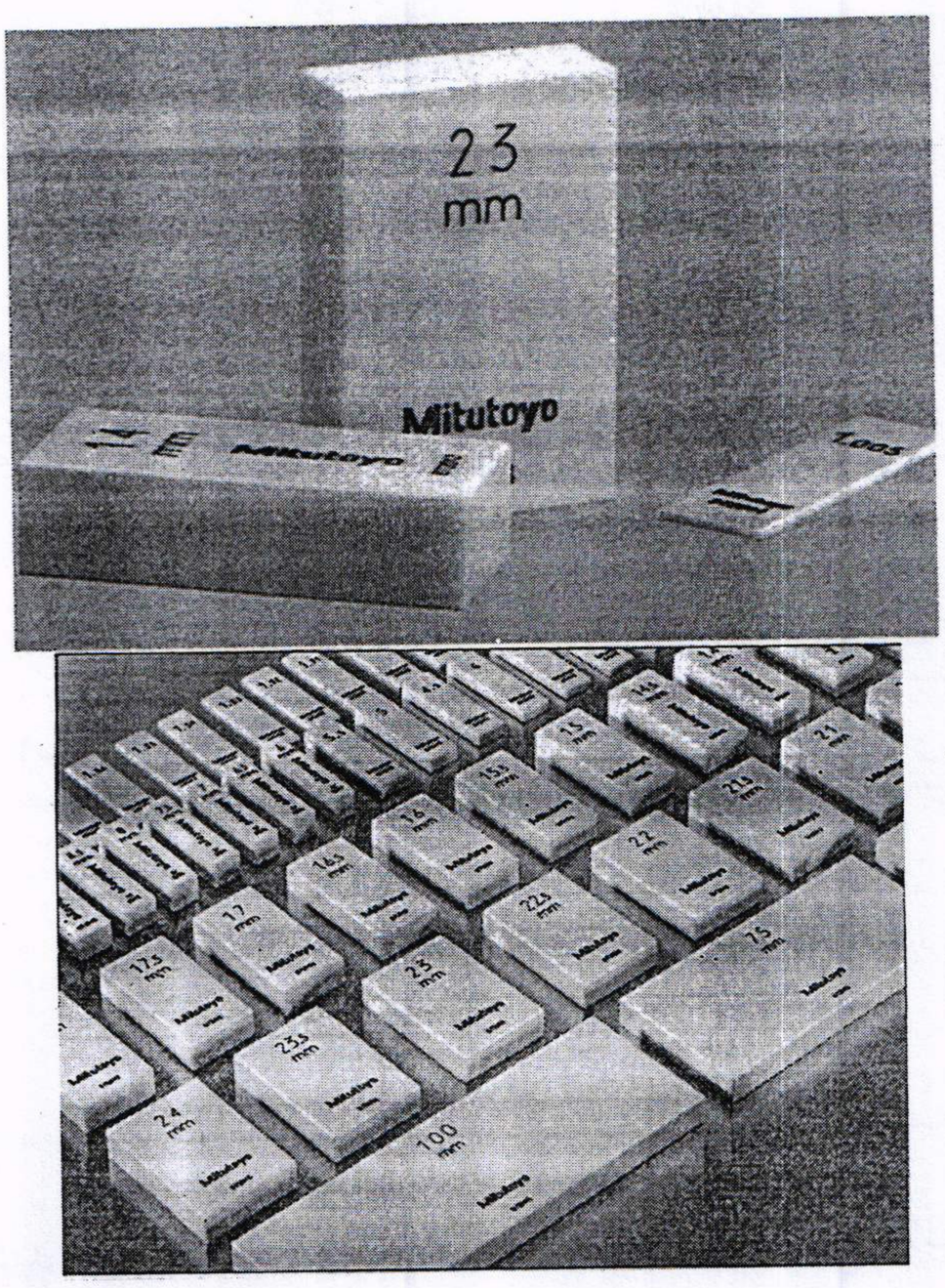
و بغض النظر عن نوع القوالب، فإن سطحي القياس في كل قالب يكونا مصقولين ومتوازيين ويكتب على أحدهما البعد المحدد للقالب ، وتكون دقة هذا البعد عالية للغاية وتتراوح ما بين 0.00006 مم حتى 0.00045 مم. و طبقاً لأخر مواصفات ISO وDIN ، هناك الرتب الأربع التالية لدقة قوالب القياس:

1- رتبة ٠٠ : وهي ذات دقة عالية (0.06 ± ميكرون)، وتستخدم في المعامل وتصنيع النماذج.
2- رتبة 0: وهي تستخدم في ضبط أجهزة القياس في المعامل وتبلغ دقتها 0.12 ± ميكرون.

3- رتبة1: تصل دقتها إلى 0.2 ± ميكرون، و تستخدم لفحص المشغولات ذات الدقة العالية.

4- رتبة 2: وهي أطقم الشغل ، وتكون دقتها في حدود 0.45 ± ميكرون .و تستخدم لكافة تطبيقات قياس الأبعاد في الورشة.

كما ظهرت حديثاً قوالب قياس مصنوعة من السيراميك (CERA Blocks)، و التي يوضحها شكل (١-٢١). و تمتاز هذه النوعية من القوالب عن تلك المصنوعة من الفولاذ بخفة وزنها ومقاومتها العالية للتآكل و التي تفوق مقاومة الفولاذ بعدة أضعاف، كما أن معامل تمددها الحراري منخفض، و لذلك فإن أسعارها مرتفعة مقارنة بالقوالب الفولاذية التقليدية.



الشكل (١-٢١): مجموعة قوالب قياس متوازية ذات مقطع مستطيل مصنوعة من السيراميك.

وتتوفر قوالب القياس في شكل أطقم، و يتكون كل طاقم من عدد معين من القوالب متدرجة الأبعاد ، وهذه الأبعاد مدرجة إما بالبوصة أو بالميللمتر. ونظراً لشيوع النظام المتري سنعرض هنا مثالين لطاقمين من قوالب القياس مدرجة بالميللمتر. ففي جدول رقم (5-1) نجد أن الطاقم الأول يحتوي على عدد 112 قالباً مقسمة كالتالي : قالب واحد طوله 1.0005 مم وتسعة (9) قوالب تتدرج أطوالها من 1.001 مم حتى 1.009 مم بزيادة ثابتة (تسمى الخطوة) تساوي 0.001 مم. كما يوجد تسعة وأربعون (49) قالباً بأطوال تبدأ من 1.01 مم

وبزيادة ثابتة مقدارها 0.01 مم لتصل أبعاد هذه الفئة إلى 1.49 مم وهناك تسعة وأربعون (49) قالباً تبدأ أطوالها من 0.5 مم وحتى 24.5 مم بخطوه مقدارها 0.5 مم، وأخيراً يوجد أربعة (4) قوالب بأطوال 25 مم، 50 مم ، 75 مم، 100 مم أي أن خطوتها تساوي 25 مم.

جدول (1-5): أحد أطقم قوالب القياس.

الخطوة (مم)	أطوال قوالب القياس (مم)	عدد القوالب
٠,٠٠٠٥	١,٠٠٠٥	١
٠,٠٠١	١,٠٠١ ، ١,٠٠٢ ، ١,٠٠٣ ،.....، ١,٠٠٨ ، ١,٠٠٩	٩
٠,٠١	١,٠١ ، ١,٠٢ ، ١,٠٣ ، ١,٠٤ ،..... ، ١,٤٨ ، ١,٤٩	٤٩
٠,٥	0.5، 1 ، 1.5 ، 2 ، 2.5 ،.....، 23.5 ،٢٤، 24.5	49
٢٥	25 ، ٥٠ ، ٧٥ ، ١٠٠	٤

ويعرض الجدول (1-6) مثالاً آخر لطاقم من قوالب القياس ولكن مجموع القوالب 88 قالباً و قيمة الخطوة مختلفة في القوالب الكبيرة. وهكذا توجدأطقم أخرى كثيرة بخطوات وأعداد مختلفة لتناسب تطبيقات الاستخدام المختلفة، كذلك توجد أطقم قوالب قياس مدرجة بالبوصة لفحص المشغولات المصنعة بالوحدات الإنجليزية.

جدول (1-6): أحد مجموعات قوالب القياس.

الخطوة (مم)	أطوال قوالب القياس (مم)	عدد القوالب
٠,٠٠٠٥	١,٠٠٠٥	١٠
٠,٠٠١	١,٠٠١ ، ١,٠٠٢ ، ١,٠٠٣ ،..... ، ١,٠٠٨ ، ١,٠٠٩	٩
٠,٠١	١,٠١ ، ١,٠٢ ، ١,٠٣ ، ١,٠٤ ،..... ، ١,٤٨ ، ١,٤٩	٤٩
٠,٥	١,٥ ، ٢ ،..... ، ٨,٥ ، ٩ ، ٩,٥	١٩
١٠	١٠ ، ٢٠ ، ٣٠ ،.....، ٨٠ ، ٩٠ ، ١٠٠	١٠

ولتحديد بعد معين بواسطة قوالب القياس يجب أولاً التأكد من النظافة التامة للقوالب وخلوها من أي أتربة وما شابه ثم توضع نهاية أحد القالبين المراد تجميعها على نهاية القالب الآخر ويتم ضغط القالبين أثناء إزلاق أحدهما على الآخر حتى يتم في النهاية التصاقهما .

ولمعرفة عدد القوالب اللازمة نبدأ أولاً باختيار قالب القياس الذي يحقق أقل رقم عشري في البعد المطلوب، يليه قالب قياس آخر يُحقق الرقم العشري التالي وهكذا حتى يكتمل البعد الكلي المراد تحديده. ويُراعي عند اختيار قوالب القياس أن يكون عددها أقل ما يمكن لأن ذلك يقلل أي أخطاء قياس محتملة بالإضافة إلى عدم استهلاك عدد أكبر من القوالب.

ولتوضيح عملية تجميع القوالب لتحديد بعد معين سنأخذ بعض الأمثلة العددية و التي لم يستخدم فيها قالبا مقاومة التآكل و سيتم الاستعانة بطاقم قوالب القياس الموضح في جدول (1-5).

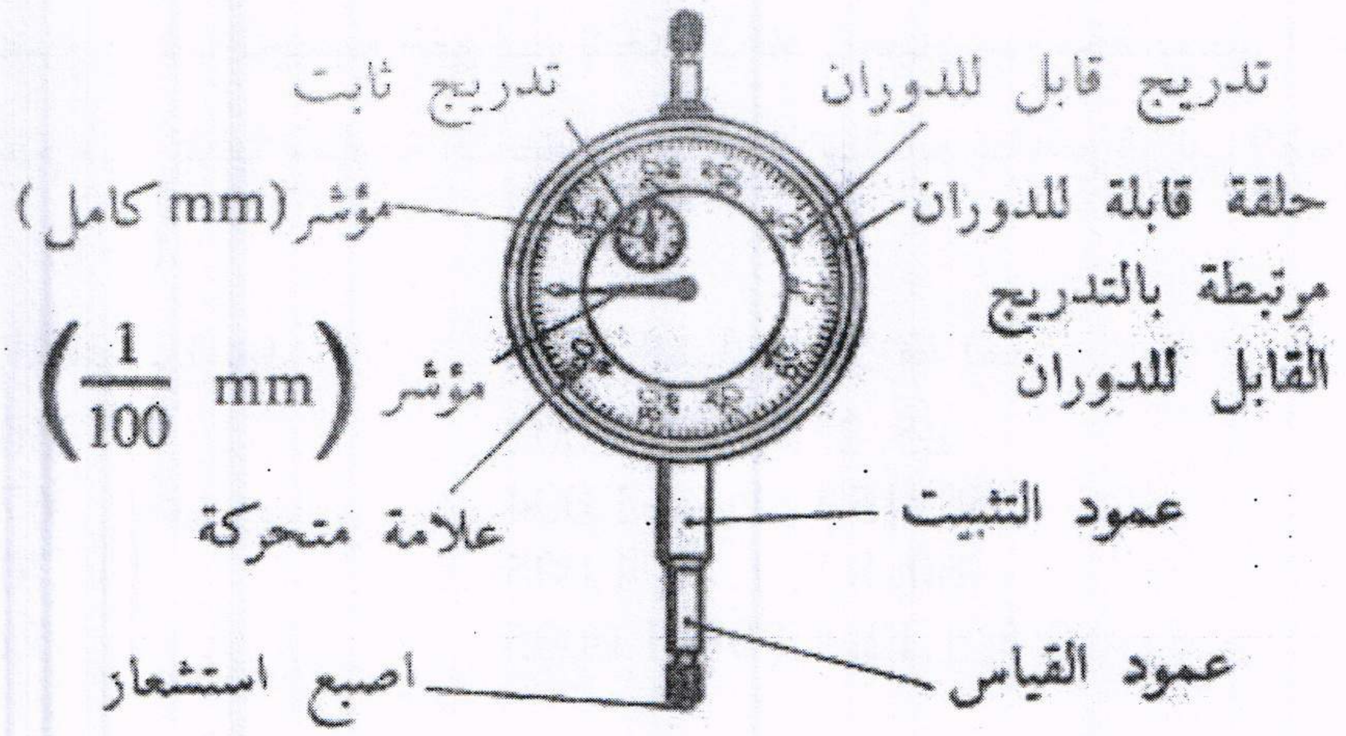
البعد المطلوب (مم)	قوالب القياس اللازمة (مم)
50.392	25, 23, 1.39, 1.002
67.984	50, 15.5, 1.48, 1.004
70.615	60, 8.5, 1.11, 1.005
5.6295	2.5, 1.12, 1.009, 1.0005

أما إذا استخدمنا قالبي مقاومة التآكل بسمك 1 مم لكل منهما، فستصبح المجموعة اللازمة للبعد 67.984 مم، على سبيل المثال، كالآتي:

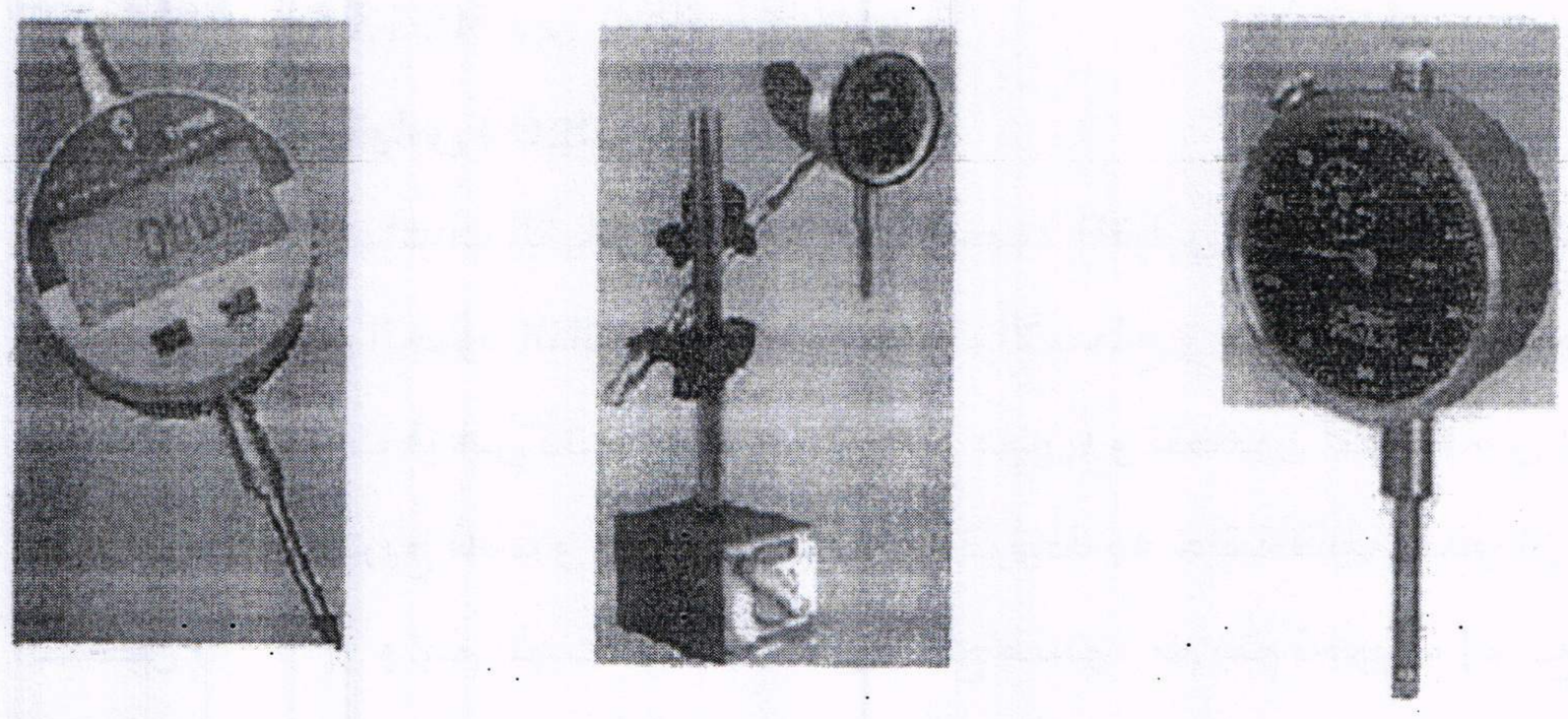
50, 13.5, 1.48, 1.004 مم.

6-4-1 ساعات القياس (Dial Gauges)

تستخدم ساعات القياس لتحديد قيمة حيود المقاس الفعلي عن المقاس النظري لقطع الشغل مثل قياس الحيود الناتج عن عدم استواء الأسطح و عدم انتظام دوران الأعمدة. و هي عبارة عن محددات قياس ذات قرص مدرج (أو مبين) و تتكون أساساً من إصبع استشعار و عمود تثبيت و تدريج ثابت و آخر قابل للدوران ترتبط به حلقة قابلة للدوران كما يتضح من الشكل (١-٢٢). و يتم تثبيت الساعة على سطح مستو، ثم يتم تحريك إصبع الاستشعار على السطح المراد قياسه فتنتقل انحرافات المقاس من إصبع الاستشعار ، عن طريق مجموعة من التروس لتكبير الحركة، إلى المؤشر الكبير الذي يتحرك على القرص المدرج و المقسم إلى 100 قسم دائري. و تناظر الدورة الكاملة للمؤشر 1 مم من الحركة الخطية لإصبع الاستشعار. و يوجد مؤشر صغير يعطي قيمة القراءة المناظرة للدورات الكاملة للمؤشر الكبير. و يعرض شكل (١-٢٣) (أ) إحدى ساعات القياس ذات المؤشر وكذلك طريقة تثبيتها أثناء القياس في شكل (١-٢٣) (ب). كما تظهر في شكل (١-٢٣) (ج)، ساعة قياس رقمية تعطى قيمة القراءة مباشرة على شاشة صغيرة بدلاً من أخذ قراءة المؤشر، وبالتالى تقل أخطاء القياس.



الشكل (١-٢٢): المكونات الأساسية لساعة القياس.



(أ) (ب) (ج)

الشكل (١-٢٣): ساعات القياس و طريقة تثبيتها أثناء القياس.

١-٥ فحص القلاووظات (اللوالب) (Inspection of Threads)

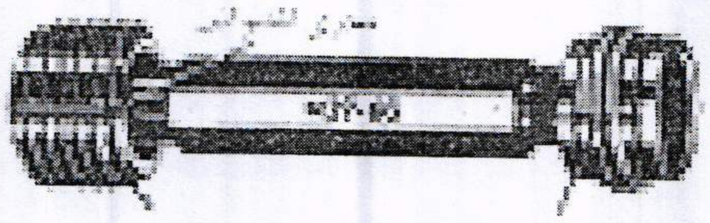
١-٥-١ أنواع اللوالب (Types of Threads)

من التطبيقات شائعة الانتشار في الورش و المصانع، تصنيع اللوالب وذلك لكثرة استخداماتها في العديد من الأجزاء الميكانيكية، و ينشأ الخط الحلزوني للولب عند تحرك نقطة في الاتجاه الطولي (اتجاه المحور) على سطح أسطوانة تدور بانتظام حول محورها. وتسمى المسافة التي تحركتها النقطة في الاتجاه الطولي على مدار دورة واحدة بالخطوة. وقبل أن نستعرض الوسائل المختلفة لفحص اللوالب، لابد من تناول بعض التعريفات الأساسية و التعرف على الأنواع المختلفة من اللوالب. فضماناً لتبادلية الأنواع المختلفة من اللوالب بين الدول، تم اعتماد عدة أنواع قياسية من اللوالب، فيوجد اللولب المتري للمواصفات القياسية

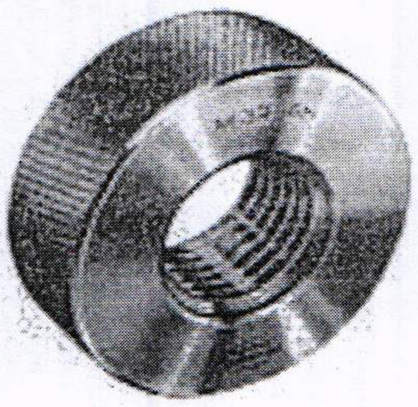
الألمانية DIN و الذي استبدل باللولب المتري لمواصفات ISO. كذلك يوجد لولب ويتروث الذي تعطى أبعاده بالبوصة و لولب شبه المنحرف واللولب الكتفي و اللولب المستدير. و تختلف هذه الأنواع من اللوالب في زاوية السن و في أشكالها (كما يتضح من تسميتها) من حيث الاستدارات و التسطحات و الخلوصات على القطر الخارجي و قطر قاع السن. و يتم حساب أبعاد كل نوع من الأنواع السابقة بواسطة معادلات خاصة بكل نوع. و تعتمد تلك المعادلات التصميمية على بعدي اللولب الأساسين أي الخطوة و القطر الخارجي.

2-5-1 معدات فحص اللوالب (Gauges for Thread Inspection)

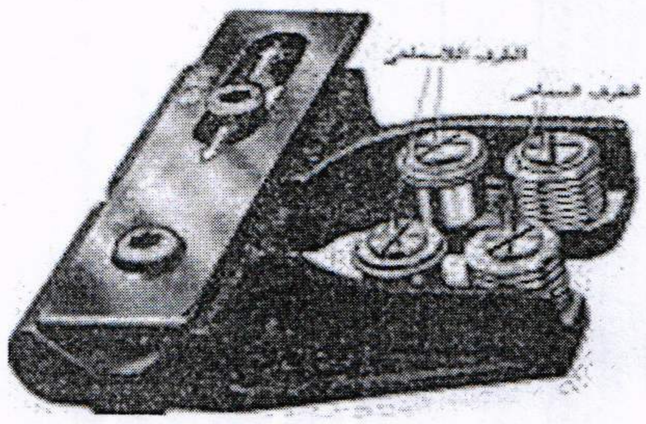
يُجرى فحص اللوالب عن طريق القياس و المعايرة للتأكد من مطابقة أبعادها الفعلية للأبعاد التصميمية القياسية. وهذه الأبعاد هي القطر المتوسط و الخطوة و زاوية السن و يمكن فحصها في عملية واحدة بواسطة محددات قياس اللوالب الموضحة في شكل (١-٢٤). و توجد محددات قياس اللوالب الحلقية لتحديد مقاس اللوالب الخارجية، أما اللوالب الداخلية فيستخدم لقياس أبعادها محددات قياس اللوالب السدادية (Thread plug gauges) . ويوجد على الطرف السماحي (GO) لهذه المحددات شكل الجانبية الكاملة للولب، حيث يجب أن يسمح بلولبته داخل المشغولة، أما الطرف اللاسماحي (NO GO) فعليه شكل اختياري للجانبية على القطر الخارجي و الداخلي للقاع ولا يختبر به إلا القطر المتوسط، حيث يجب ألا يسمح بلولبته داخل المشغولة. و يميز محدد القياس الحلقي اللاسماحي للوالب و الطرف اللاسماحي لمحدد قياس اللوالب السدادي باللون الأحمر.



محدد قياس لوالب سدادي



محدد قياس لوالب حلقي

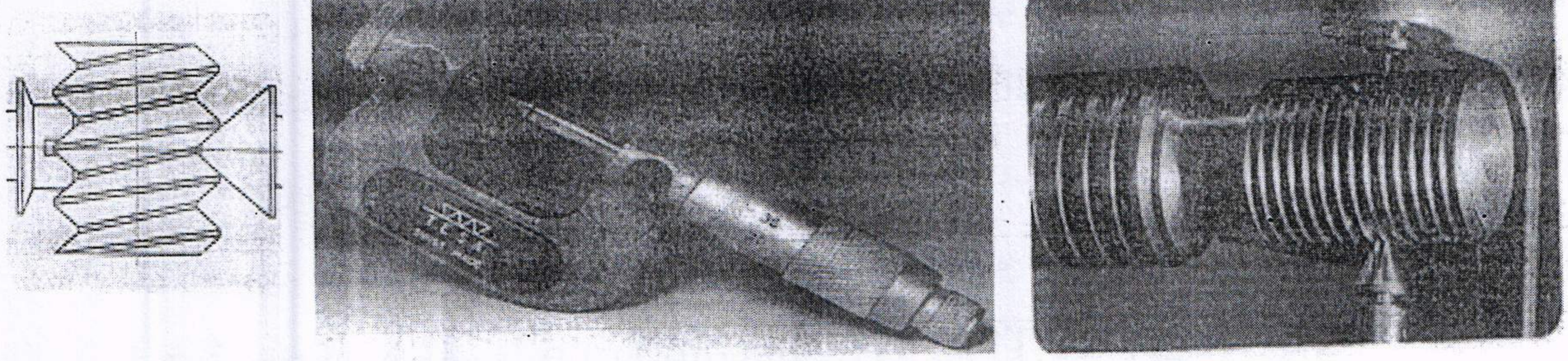


محدد قياس لوالب حدي ذو استيطينات

الشكل (١-٢٤): محددات قياس اللوالب السدادية و الحلقية.

و لإجراء قياس للقطر الخارجي للولب يتم استخدام ميكرومتر دقيق، أما القطر المتوسط (و هو قطر تخيلي يناظر قطر دائرة الخطوة في التروس) فيمكن قياسه في أبسط صورة كما هو موضح في شكل (١-٢٥) (أ) بواسطة ميكرومتر الجانبية (شكل (١-٢٥) (ب)) الذي يختلف عن الميكرومير العادي في استبدال سطحي القياس المستويين (اللقم) بآخرين

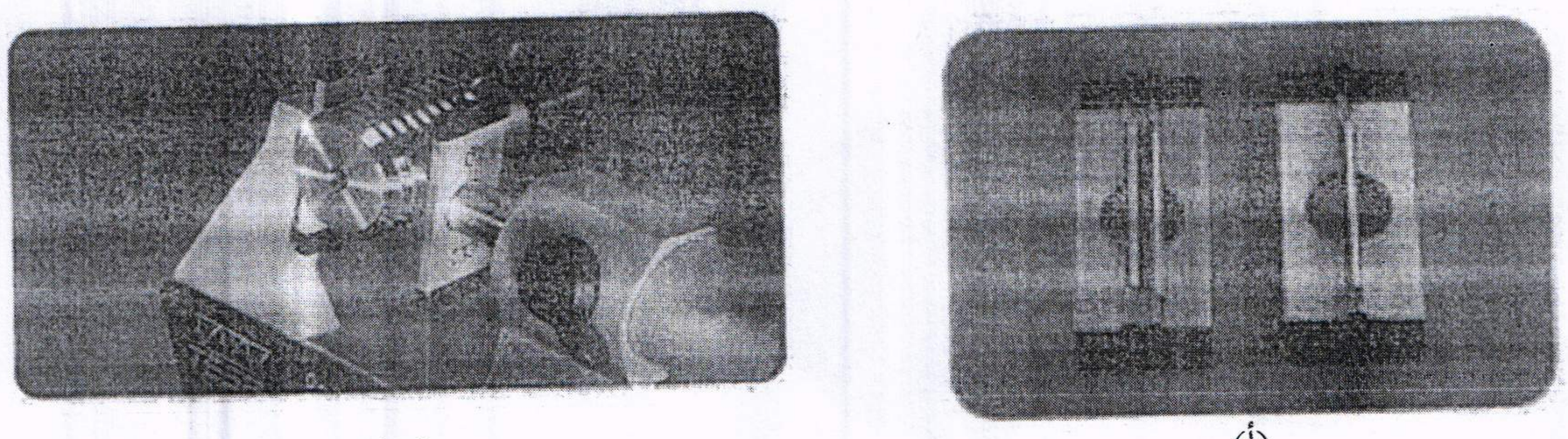
توجد عليهما قطعتا قياس (مخروط و تجويف) تناسبان الخطوة و زاوية السن (شكل (١-٢٥) (ج)).



(أ) (ب) (ج)

الشكل (١-٢٥): قياس القطر المتوسط للولب بواسطة ميكرومتر الجانبية.

و يمكن استخدام طريقة الأسلاك الثلاثة للحصول على قيم أكثر دقة للقطر المتوسط. و في هذه الطريقة يوضع بداخل فجوات اللولب على أحد جانبيه سلك قياس و على الجانب الأخر سلكين كما هو مبين في شكل (١-٢٦) (أ). ثم يتم القياس من فوق الأسلاك بواسطة ميكرومتر قياس خارجي، (شكل (١-٢٦) (ب))، أو باستخدام إحدى الوسائل البصرية ذات الحساسية العالية. و ترتبط أقطار الأسلاك المصنعة بدقة متناهية مع خطوة اللولب المراد فحصه، و المقاس الناتج عن هذه الطريقة ليس هو القطر المتوسط و لكنه مقاس اختباري، يتم بواسطته استنباط القطر المتوسط من جداول فنية مخصصة لذلك.

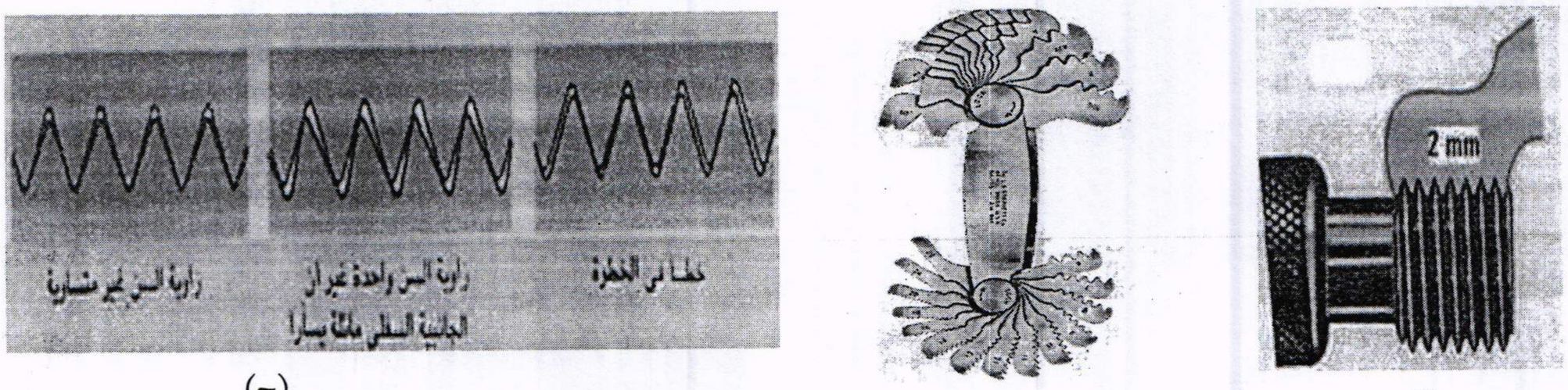


(أ) (ب)

شكل (١-٢٦): قياس القطر المتوسط للولب بطريقة الأسلاك الثلاثة.

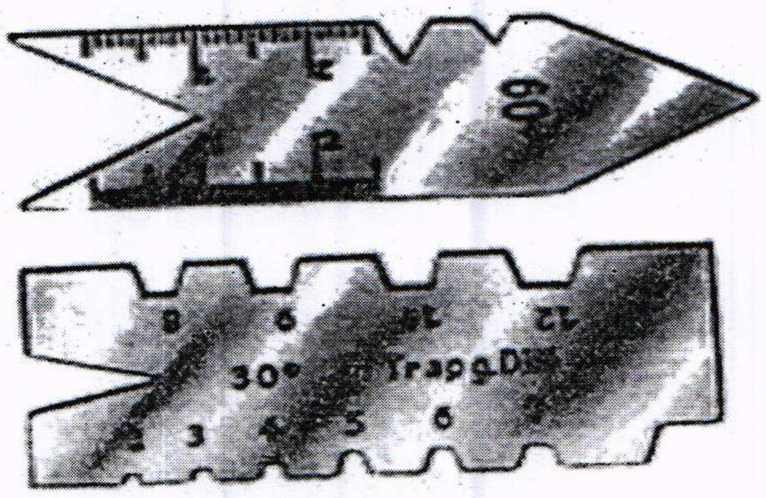
أما خطوة اللولب فيتم قياسها بطريقة مبسطة، إما بواسطة الفرجار و القدمة ذات الورنية و ذلك بقياس المسافة بين عدد اختياري من الأبواب ثم تُقسيمها على هذا العدد، أو باستخدام طبعات اللوالب (Pitch gauges) المبينة في شكل (١-٢٧) (أ)، و التي تأتي على شكل أطقم كذلك الطاقم

المبين في شكل (١-٢٧) (ب). و يتكون الطاقم من عدة طبعات بزاوية سن واحدة محددة على الطاقم، و كل طبعة عليها مقاس لخطوة معينة سواءً بالمليمتر أو بالبوصة. و يمكن استخدام طبعات اللوالب أيضاً لفحص دقة اللوالب وتحديد أي أخطاء سواءً في الخطوة أو في زاوية السن كما يتضح من الأمثلة المعروضة في شكل (١-٢٧) (ج). أما زاوية وعمق سن اللوالب فيتم قياسهما في الورش باستخدام قدود قياس زوايا السن و العمق المبينة في شكل (١-٢٨).

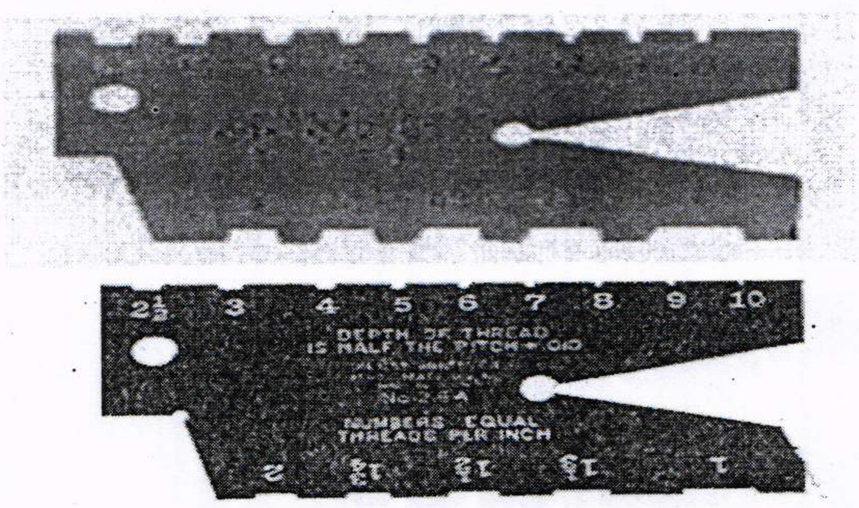


(أ) (ب) (ج)

الشكل (١-27): استخدام طبعة اللوالب في قياس الخطوة و اختبار دقة اللوالب.



قدود قياس زاوية السن

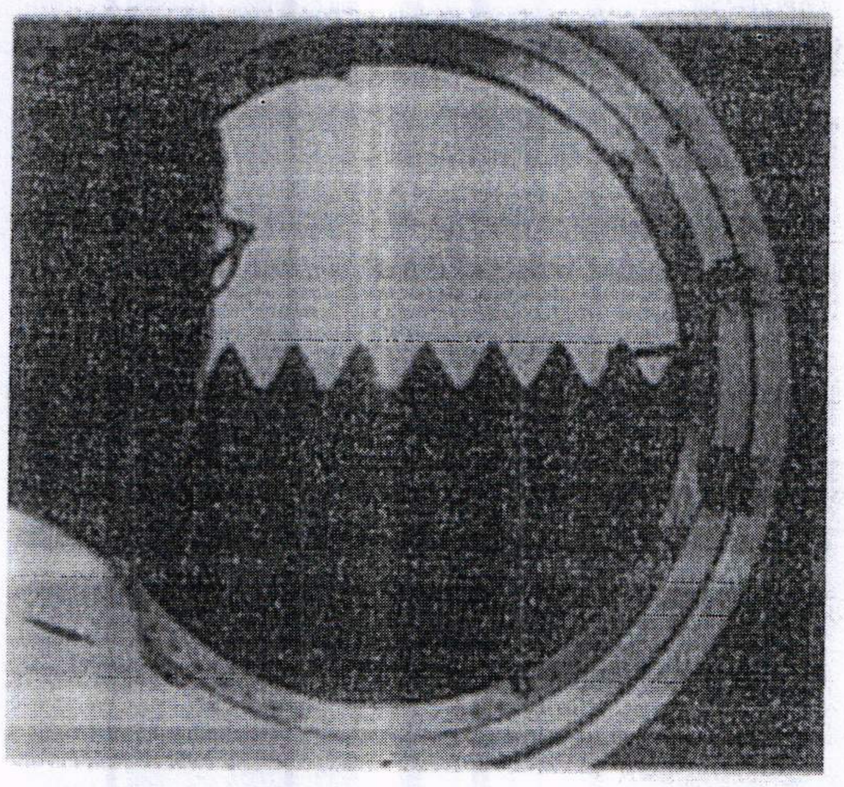


قدود قياس عمق السن

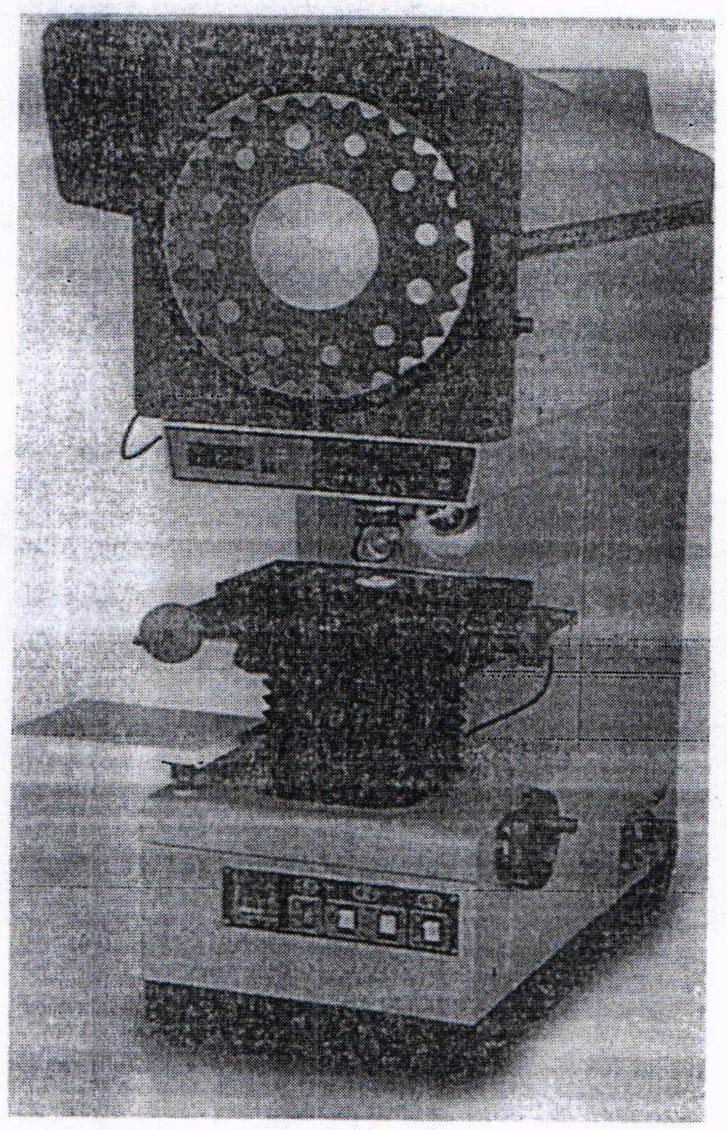
الشكل (١-٢٨): قدود قياس زوايا و عمق أسنان اللوالب.

و يجب التأكيد على أن الوسائل التي ذكرْت لقياس أبعاد و زوايا اللوالب ما هي إلا طرق مبسطة و سريعة للاستخدام في الورش و المصانع، أما القياس الدقيق فيحتاج لوسائل أخرى متطورة و ذات حساسية عالية، كجهاز الإسقاط الضوئي المبين في شكل (١-٢٩) (أ). و يحتوي هذا الجهاز على مجهر خاص (Microscope) لتكبير صورة جانبية اللولب فتظهر

بوضوح و دقة، كما في شكل (١-٢٩) (ب)، ليتم مقارنتها بجانبيات لوالب معيارية مرسومة على أقراص زجاجية تُوضع على شاشة الجهاز.



(ب)

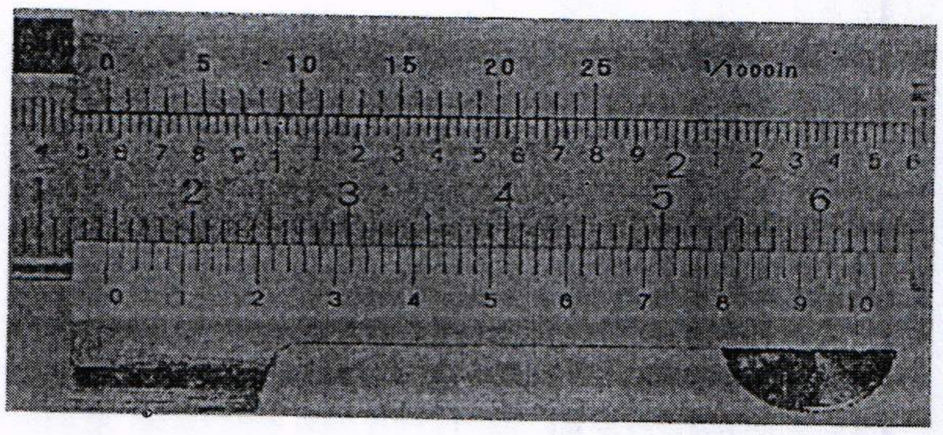


(أ)

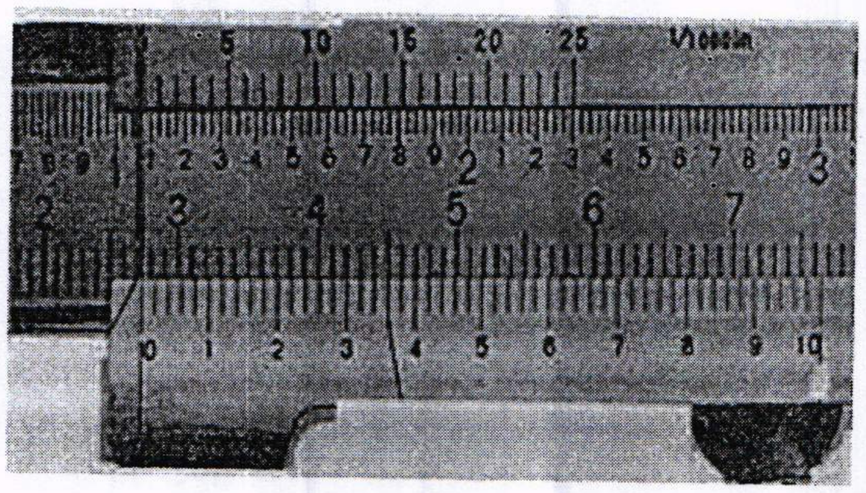
الشكل (١-٢٩): جهاز الإسقاط الضوئي (Profile Projector) و يظهر على شاشته بوضوح جانبية أحد

تمارين

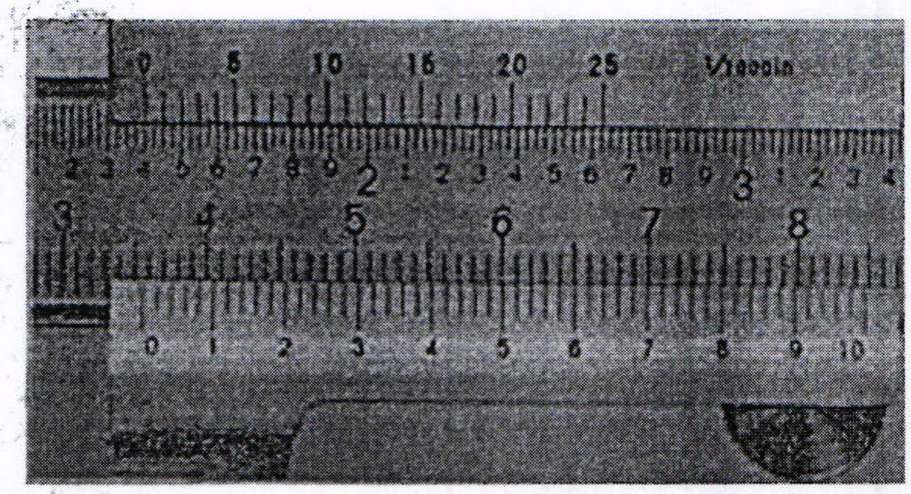
(١) حدد قيم قراءات القدمات ذات الورنية المترية في الأشكال التالية مع كتابة وحدة القياس.



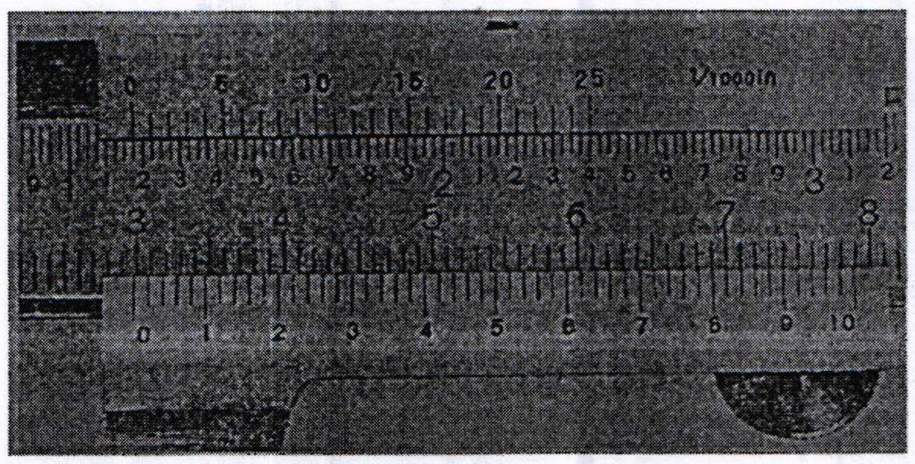
(ب)



(أ)



(د)

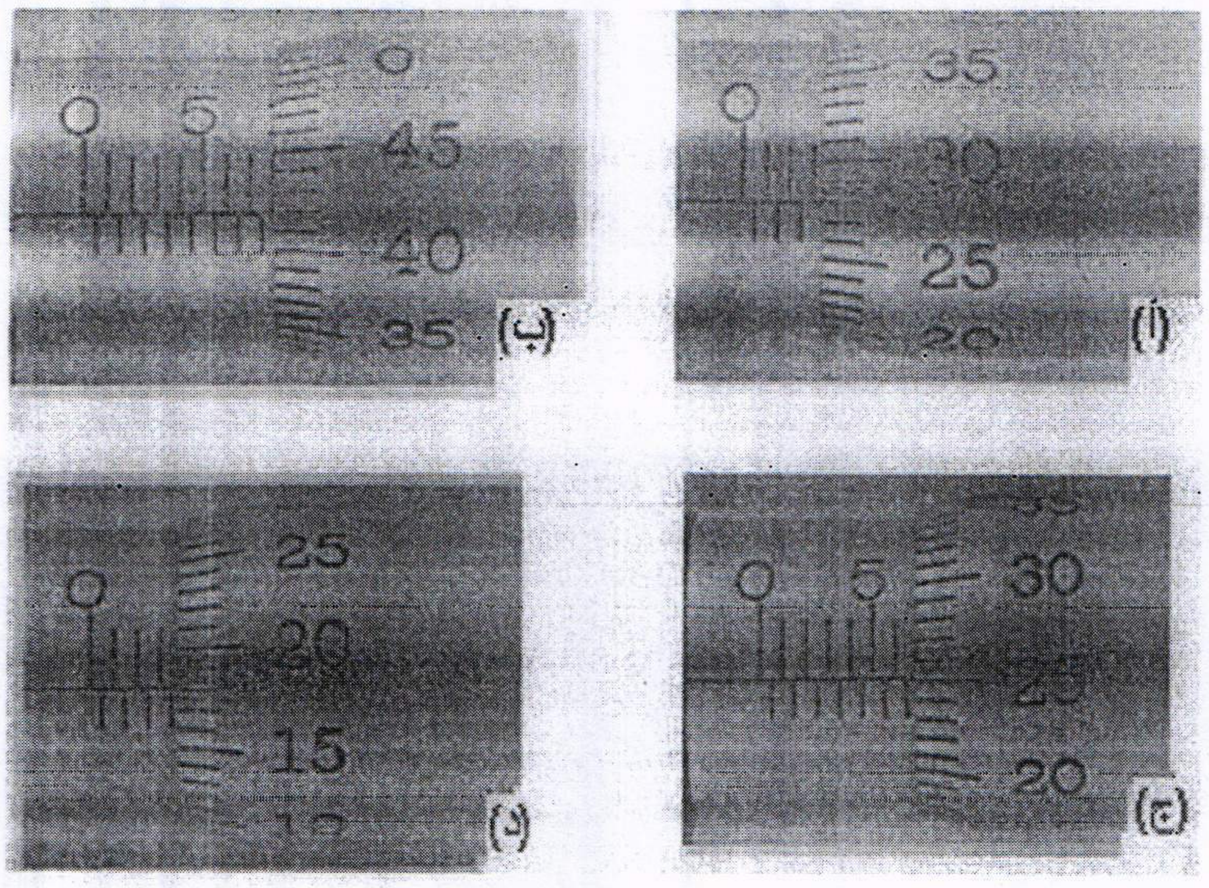


(ج)

(٢) المطلوب اختيار إحدى القدمات المترية الثلاث الآتية لقياس بُعد = 34.28مم، اختر القدمة المناسبة وأذكر سبب الاختيار، ثم حدد بوضوح إمكانية استخدام القدمة المختارة لبعد آخر = 68.25 مم.

رقم القدمة	أ	ب	ج
عدد أقسام تدريج الورنية	١٠	٢٠	٥٠

(٣) حدد قيم قراءات الميكرومترات المترية في الأشكال التالية مع كتابة وحدة القياس.



(٤) كّون لكل من الأطوال التالية مجموعتين من قوالب القياس، الأولى باستخدام قالبي مقاومة تآكل سُمك كل منهما 1مم، و الثانية بدون استخدامهما ، وذلك بالاستعانة بالجدولين (1-5) و(1-6):

(أ) 79.633 مم.
(ب) 128.7385مم.
(ج) 53.١٩٦ مم.
(د) 99.123 مم.

الوحدة الثانية

قياس الزوايا

الوحدة الثانية :قياس الزوايا

الجدارة :

التعرف على الطرق المختلفة لقياس الزوايا و الميل

الأهداف:

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة بإذن الله على معرفة:

- المعدات البسيطة لقياس الزوايا
- كيفية استخدام قضيب الجيب في قياس الزوايا
- الطرق الشائعة لقياس زوايا الأسطح المائلة

مستوى الأداء المطلوب :

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب:

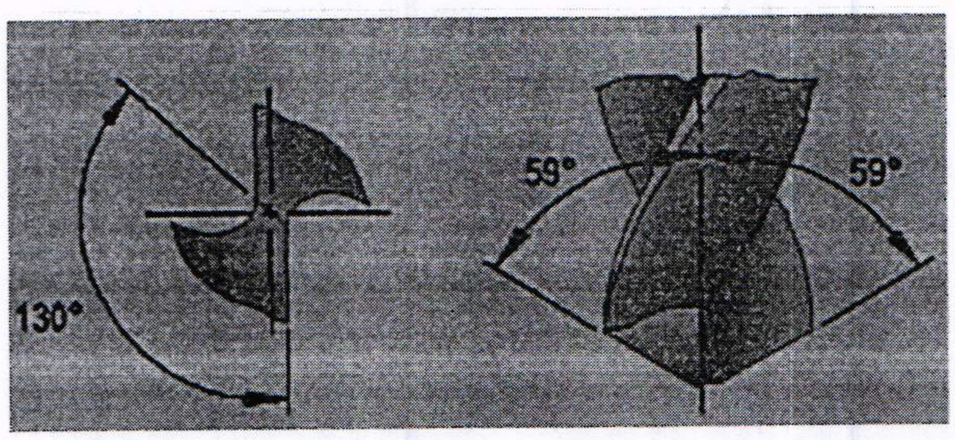
2 ساعة

متطلبات الجدارة

اجتياز الوحدات السابقة

2-1مقدمة

يُعتبر قياس الزوايا من القياسات الأساسية في مجال التشغيل نظراً لانتشار الأسطح المائلة و الجوانب المشطوبة (أي غير المتعامدة لتجنب النهايات الحادة) في المشغولات المختلفة. فعلى سبيل المثال، قياس زوايا القَطع الموجودة يتم بعدد القَطع كأقلام الخراطة و بنط الثقب الموضحة في شكل (2-1) و المشغولات ذات الأسطح المستدقة (المخروطية) و إلى غير ذلك من التطبيقات الميكانيكية المتعددة. و قياس الزوايا إما أن يكون بتحديد قيمتها مباشرة بواسطة المنقلة ،على سبيل المثال، أو عن طريق معرفة قيمة إحدى النسب المثلثية لها و من ثم يتم استنتاج مقدار هذه الزاوية. وقبل أن نتعرض لتفاصيل معدات القياس المختلفة، سيتم استعراض الوحدات المستخدمة في قياس الزوايا و الميول.



شكل (2-1): زوايا القطع في بنط الثقب.

٢-٢ وحدات قياس الزوايا و الميول (Measurement units for angles)

وحدة قياس الزوايا في النظام الإنجليزي هي الدرجة (^{o})، و تناظر الدورة الكاملة على محيط الدائرة زاوية مقدارها ٣٦٠ درجة. و تنقسم الدرجة الواحدة إلى ستين دقيقة (1^o = 60') ، كما تنقسم الدقيقة إلى ستين ثانية ("60 = '1)، لذلك يسمى هذا النظام بالنظام الستيني. أما في النظام المتري فتقاس الزوايا بوحدة الرديان (rad) حيث تناظر الدورة الكاملة على محيط الدائرة زاوية مقدارها 2π رديان ،حيث π هي النسبة التقريبية بين محيط الدائرة و قطرها($\pi \approx \frac{22}{7}$)،يسمى هذا النظام بالنظام الدائري. و للتحويل بين النظامين الإنجليزي و المتري في الزوايا، يمكن استخدام إحدى العلاقتين الآتيتين تبعاً لاتجاه التحويل:

$$\text{الزاوية بالتقدير الدائري (رديان)} = \text{الزاوية بالتقدير الستيني } (^o) \times \frac{2\pi}{360}$$

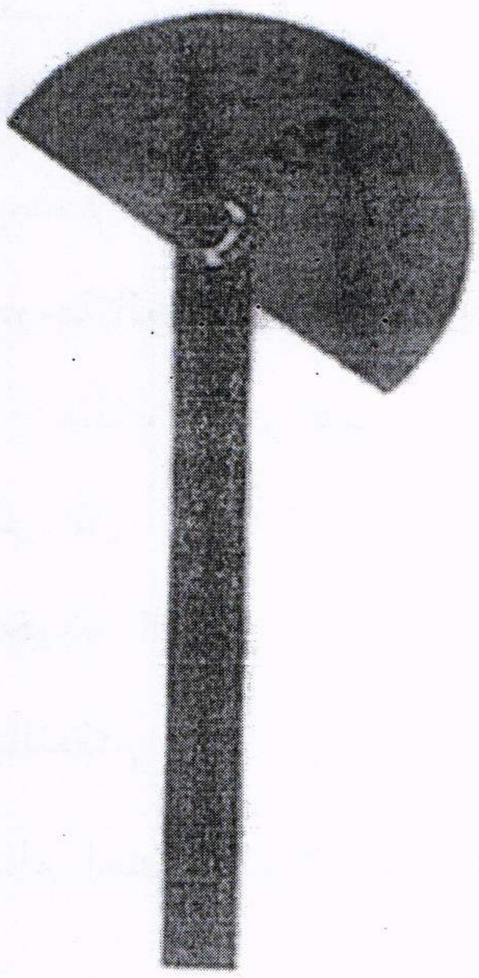
$$\text{الزاوية بالتقدير الستيني } (^o) = \text{الزاوية بالتقدير الدائري (رديان)} \times \frac{360}{2\pi}$$

و على ذلك فالزاوية القائمة (٩٠ْ) تكافئ ($\frac{\pi}{2}$ رديان) والزاوية المستقيمة (١٨٠ْ) تناظر (π رديان). أما وحدة قياس الميول فتعطى كنسبة تبعاً للوحدات المستخدمة، ففي النظام المتري تستخدم وحدة (مم/م). وتعني هذه الوحدة مقدار الارتفاع (أو الانخفاض) بين نقطتي المسافة بينهما و تساوي 1 متر على السطح المراد قياس ميله.

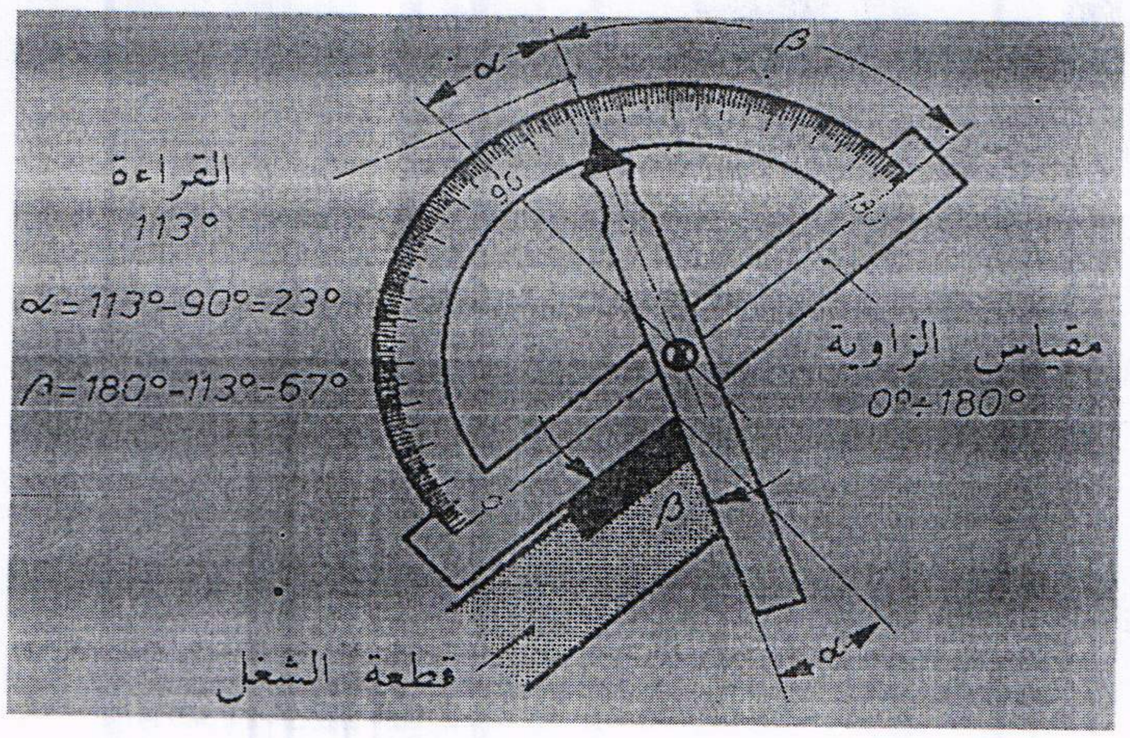
٢- ٣ معدات و محددات قياس الزوايا

١- ٢- ٢ المنقلة البسيطة (Simple Protractor)

من أبسط معدات القياس المباشر للزوايا المنقلة البسيطة، شكل (2-2)، التي يمكن بواسطتها قياس الزوايا بالدرجات بحساسية تصل إلى نصف أو ربع الدرجة في الأنواع الجيدة منها. و عند قراءة المنقلة، يجب التأكد على أي سطح من أسطح المشغولة ترتكز ساق القياس. فعلى سبيل المثال، أن تكون قيمة إحدى الزوايا على المشغولة تساوي ١١٥ْ ، بينما القيمة التي يشير إليها المؤشر ٦٥ْ ، فتكون قيمة القياس الصحيحة في هذه الحالة هي : ٩٠ْ + (٩٠ ْ- ٦٥) = ١١٥ْ. ويوضح الشكل (2-3) مثالاً لكيفية تحديد قيم الزاويتين α (ميل سطح الشغلة على المستوى الرأسي) و β (ميل سطح الشغلة على المستوى الأفقي) باستخدام قراءة مأخوذة بواسطة المنقلة البسيطة.



لشكل (2-2): المنقلة البسيطة



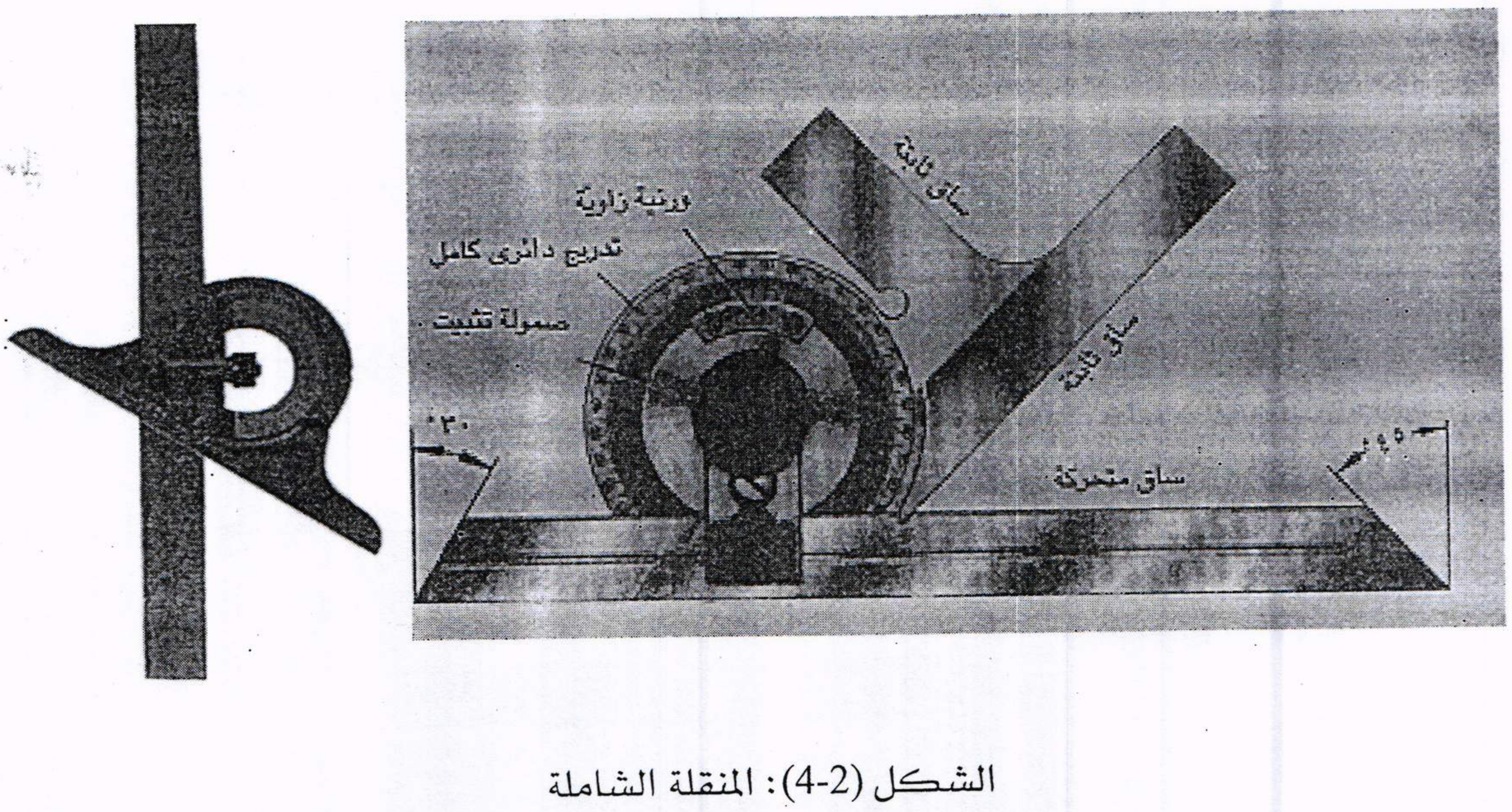
الشكل (2-3): تحديد الزوايا بواسطة المنقلة البسيطة

2-2-2المنقلة الشاملة

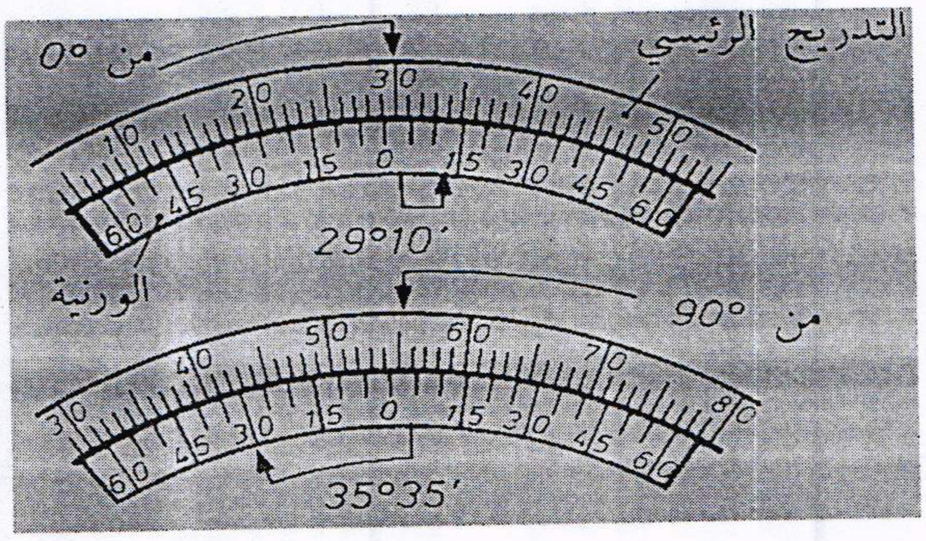
أما المنقلة الشاملة (Universal Bevel Protractor) فهي إحدى الأشكال المتطورة للمنقلة البسيطة. و تتكون أجزاؤها الأساسية من الساق المتحركة و ساقين ثابتتين و تدريج دائري كامل و ورنيتين تضم كلاً منها 12 قسماً على جانبي خط الصفر و صامولة تثبيت كما هو مبين في شكل (2-4). و حساسية الورنية هي الفرق بين تقسيم التدريج الرئيس و تقسيم الورنيه و هو يساوي $\frac{1}{12}^{o}=5'$.

أما الساق المتحركة فهي قابلة للحركة في الاتجاه الطولي و ينتهي أحد طرفيها بحافة قياس بزاوية 45^{o} بينما ينتهي الأخر بحافة قياس بزاوية 30^{o}.

و تُحسب الدرجات من الصفر أو من 90^{o}، حسبما يتم الضبط، و حتى خط الصفر للورنيه، ثم يتجه القارئ إلى أسفل على الورنية في نفس الاتجاه حتى يجد خط تقسيم على التدريج الرئيس يقابل خط تقسيم على الورنية فيقرأ منه الدقائق كما هو مبين بالشكل (2-5).

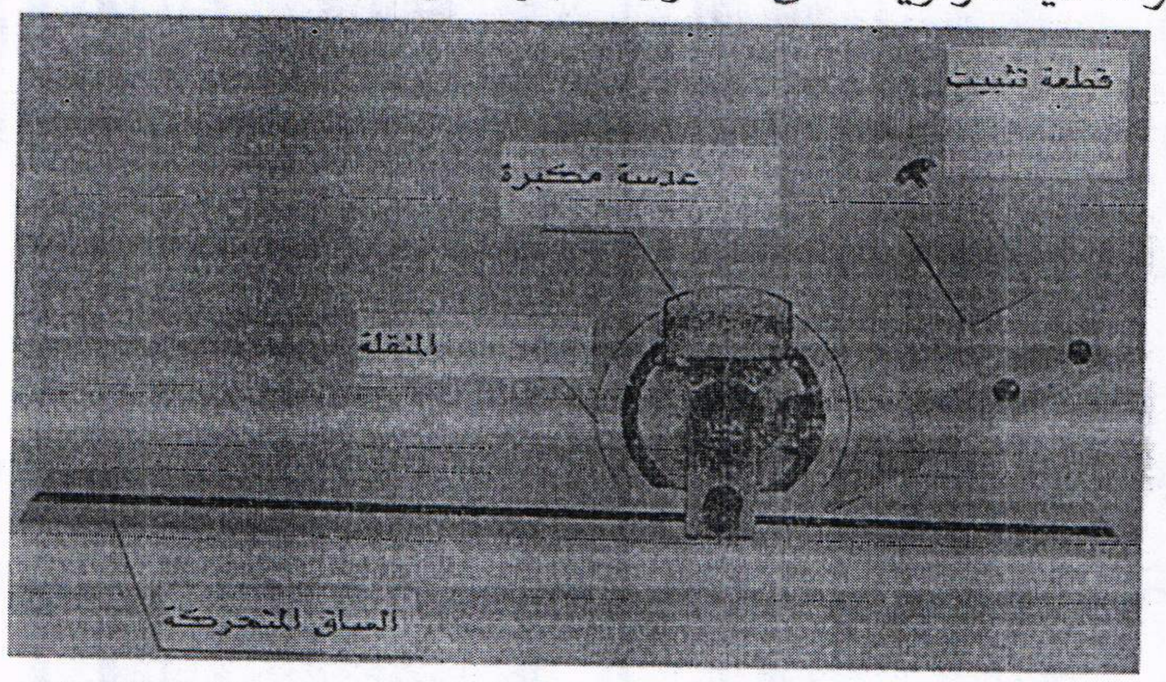


الشكل (2-4): المنقلة الشاملة



الشكل (2-5): قراءة الزوايا بواسطة المنقلة الشاملة.

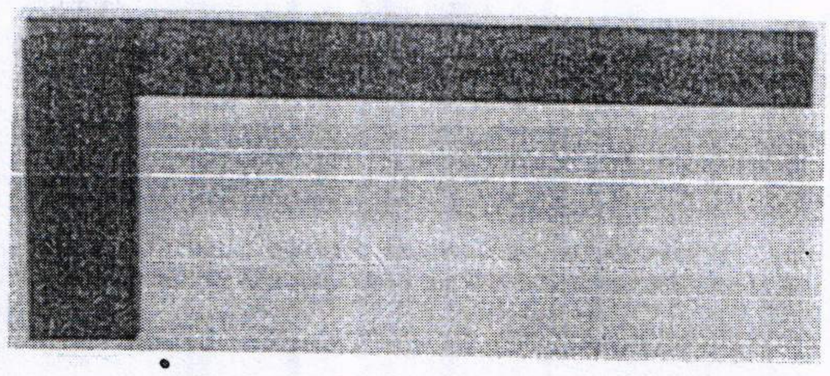
و تتم القراءة على المنقلة البصرية الشاملة (Universal Optical Protractor) المبينة في شكل (2-6) بواسطة نظام عدسات بصرية يمكنها إظهار قيمة الزاوية المقاسه مكبرة على شاشة معتمة. ويجب الانتباه عند قراءة قيمة الزاوية و تحديد أي جانب بدأ منه القياس، كي يمكن الحصول على قيمة الزاوية الصحيحة. ومن خلال التكبير الذي يبلغ ثلاثين ضعفاً، يمكن قراءة قيمة زاوية حتى 5' دون اللجوء إلى الورنيه.



الشكل (2-6): المنقلة البصرية الشاملة.

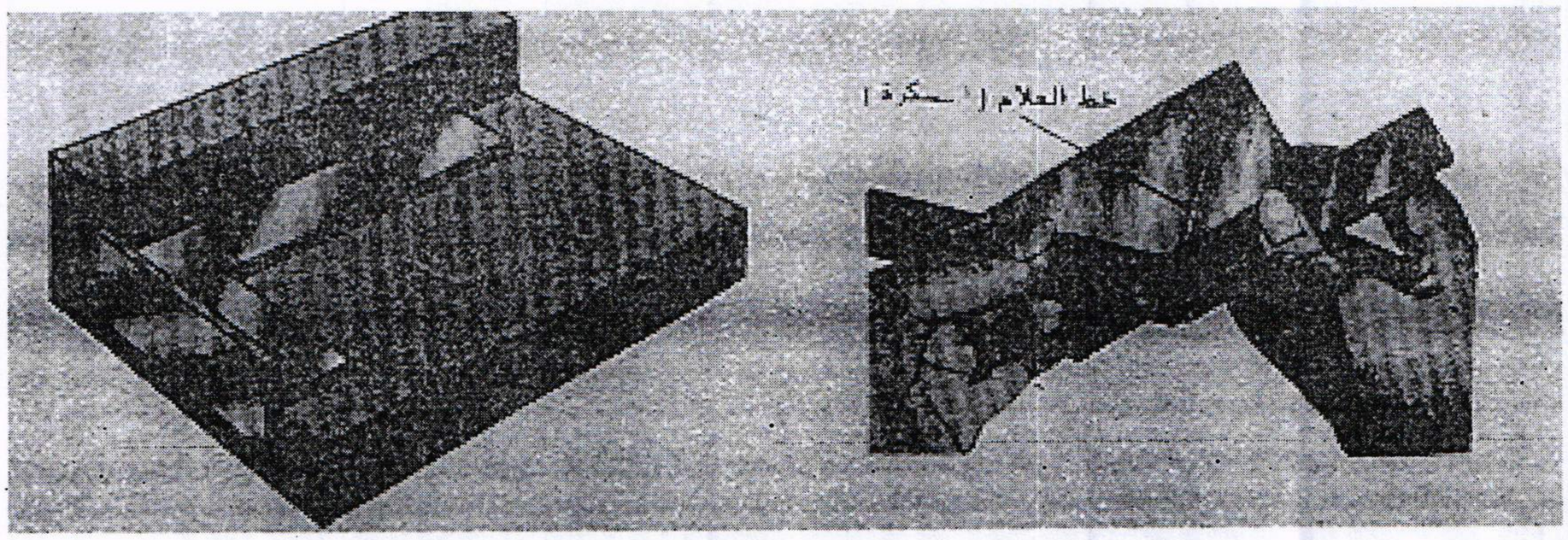
٢-٢-٣ محددات قياس الزوايا (Angle Gauges)

يتوافر العديد من أشكال محددات قياس الزوايا التي تستخدم لفحص زوايا الأسطح المائلة. و من أكثر هذه المحددات استعمالاً هي الزاوية المسطحة ذات الزاوية القائمة (٩٠°)، والتي تصنع من خامة لينة أو مصلدة كما هو مبين في شكل (2-7). و توجد أيضاً محددات زوايا واسعة الاستخدام ذات زوايا أخرى مثل ١٢٠° (الزاوية المسدسة)، و ١٣٥° (زاوية الشطب) الموضحة في شكل (2-8).



الشكل (٢-٧): الزاوية القائمة

و تنتشر كذلك زاوية الضبط القائمة (شكل (٢-8) التي يوجد على ضلعها القصير مصد يتم الارتكاز به على حافة الإسناد و ذلك لزيادة دقة فحص المشغولة.



الشكل (2-8): زاوية الشطب و زاوية ضبط قائمة بمصد أثناء فحص بعض المشغولات.

٢-٢-٤ قوالب قياس الزوايا (Angle Gauge Blocks)

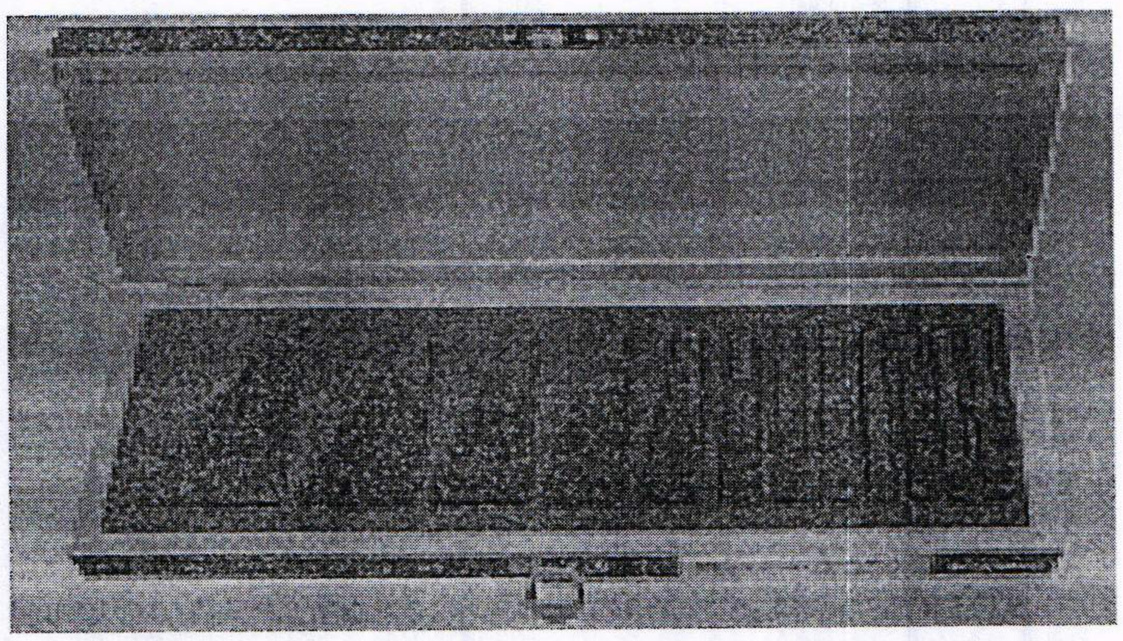
هي قوالب من الفولاذ اسفينية الشكل تستخدم كتجسيد لمقاسات الزوايا (شكل -9 (2))، حيث يشكل سطحاً القياس فيها زاوية معينة تكون محفورة على أحد السطحين. ويمكن تكوين مجموعات منها مثل قوالب قياس الأطوال للزوايا من صفر إلى ٩٩° بتدرج يعتمد على أطقم القوالب المتاحة. و تستخدم هذه القوالب لاختبار المحددات و العدد و المشغولات و كذلك لضبط المكنات و المثبتات و أدلة التشغيل.

وتتنوع أطقم قوالب الزوايا عددا و مقاسا، فعلى سبيل المثال، يوجد طاقم يتكون من 16 قالباً مقسمة إلى ثلاثة فئات كالتالي:

ستة قوالب بزوايا تبلغ:٤٥،٣٠،١٥،٥،٣،١ درجة (°)

خمسة قوالب بزوايا تبلغ :٣٠،٢٠،٥،٣،١ دقيقة (')

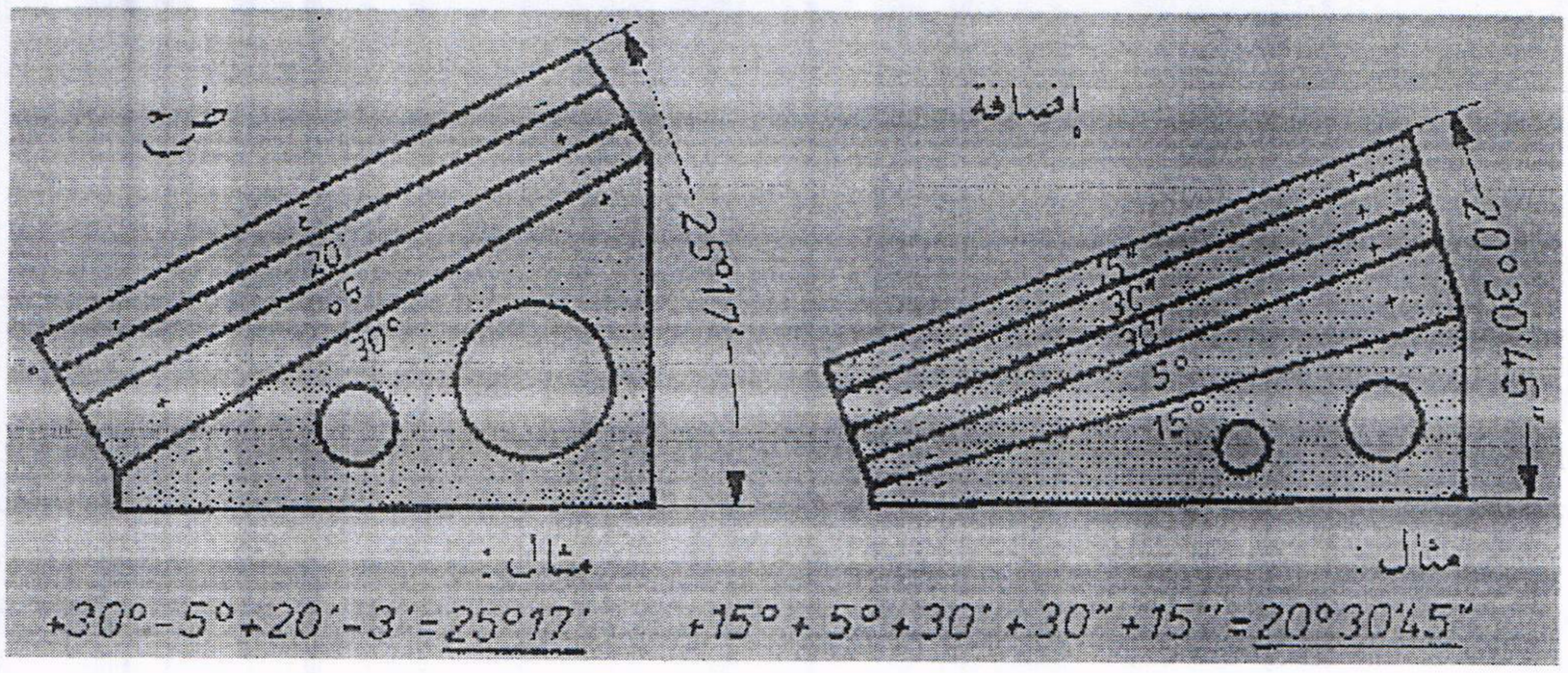
خمسة قوالب بزوايا تبلغ :٣٠،١٥،٥،٣،١ ثانية (")



الشكل (2-9): قوالب قياس الزوايا

و هناك طريقتان لتجميع قوالب الزوايا لقياس زاوية معينة، ففي طريقة الإضافة يتم تجميع القوالب بحيث يكون اتجاه ميل السطح المائل لجميع القوالب واحداً. و في هذه الحالة

تكون الزاوية الناتجة هي مجموع زوايا كل قالب. أما في طريقة الطرح، توضع بعض القوالب في اتجاه معاكس لبعضها البعض، و بالتالي تكون الزاوية عبارة عن الفرق بين مجموع زوايا القوالب في اتجاه الميل الرئيس و مجموع الزوايا في الاتجاه الآخر. و تتضح كلتا الطريقتين من المثال الموضح بالشكل (2-10).



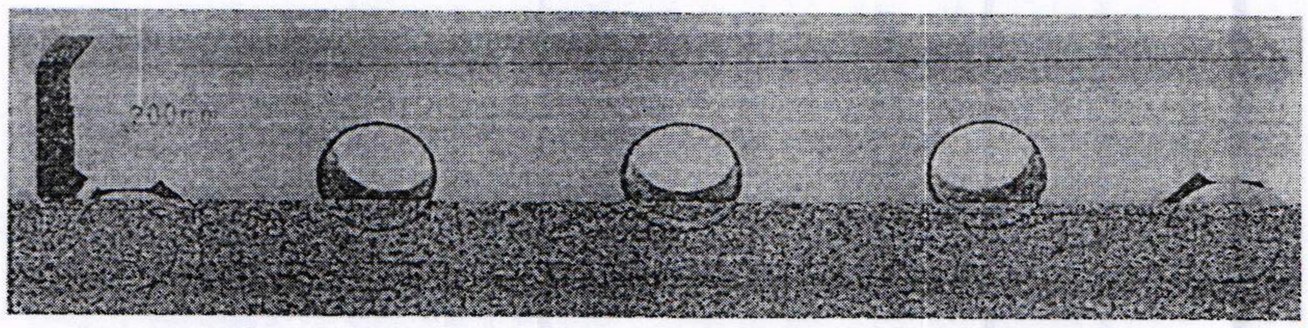
الشكل (2-10): استخدام قوالب قياس الزوايا بطريقتي الإضافة و الطرح.

3-2 معدات قياس الميل (Insturements for slope measurements)

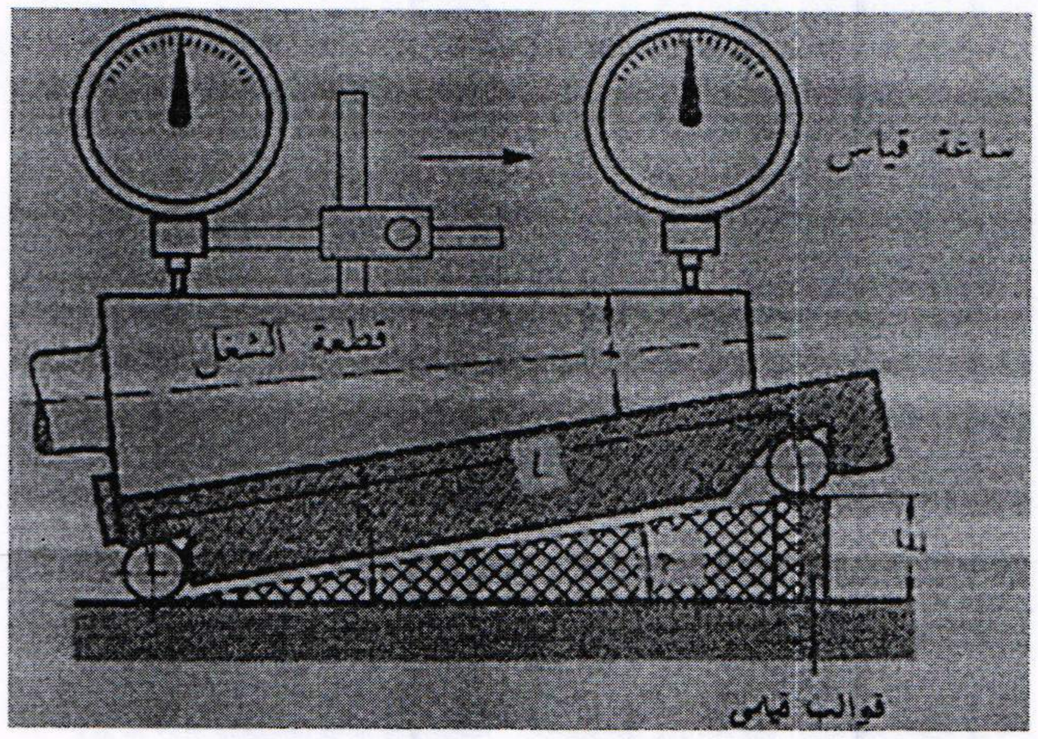
نظراً لأن قياس الزوايا بطريقة مباشرة ليس بسهولة قياس الأطوال، لذا يُفضل في حالات كثيرة الاستعاضة عن ذلك بقياس المسافات (الإحداثيات) التي تنشأ عن هذه الزوايا. و يمكن عن طريق تلك المسافات حساب النسب المثلثية للزاوية المطلوبة و بالتالي إيجاد قيمتها. و فيما يلي عرض لبعض و سائل القياس التي تستخدم لهذا الغرض.

٢-٣-١ قضيب جيب الزاوية (Sine Bar)

يُستخدم قضيب جيب الزاوية (شكل (2-11)) لتحديد قيمة جيب الزاوية (جا = sin) لسطح مائل و بالتالي يمكن حساب قيمة زاوية الميل. ويتكون قضيب الجيب من مسطرة و بكرتين أسطوانيتين ذواتا قطرين متساويين، بينهما مسافة 100 أو ٢٠٠ أو ٣٠٠ مم. و لإجراء القياس يوضع السطح المائل للمشغولة على سطح القضيب كما في شكل (٢-١٢)، ثم يتم رفع أحد طرفي القضيب تدريجياً ،بواسطة عدد من قوالب القياس، حتى يصبح سطح المشغولة أفقيا. .ويمكن التأكد من ذلك عن طريق ساعة قياس ميول الأسطح التي يجب أن تُعطي قراءة قيمتها صفراً إذا مر مجسها عل سطح أفقي تماماً. عند هذا الوضع تكون زاوية ميل سطح المشغولة مساوية لزاوية ميل قضيب القضيب على الأفقي (α).



الشكل (2-11): قضيب جيب الزاوية.



الشكل (2-12): قياس زاوية استدقاق المخروط بواسطة قضيب جيب الزاوية.

و بناءً على ذلك يمكن حساب جيب الزاوية ($\sin\alpha$) من العلاقة:

$$\sin\alpha = \frac{E}{L}$$

حيث E : هو ارتفاع قوالب القياس، L هي المسافة بين بكرتي القضيب (= طول قضيب القياس).

فإذا كانت المسافة بين بكرتي القياس للقضيب المستخدم (L) = ١٠٠ مم، و ارتفاع قوالب القياس (E) = 37.623 مم، فيمكن حساب جيب زاوية المخروط ($\sin\alpha$) كالتالي:

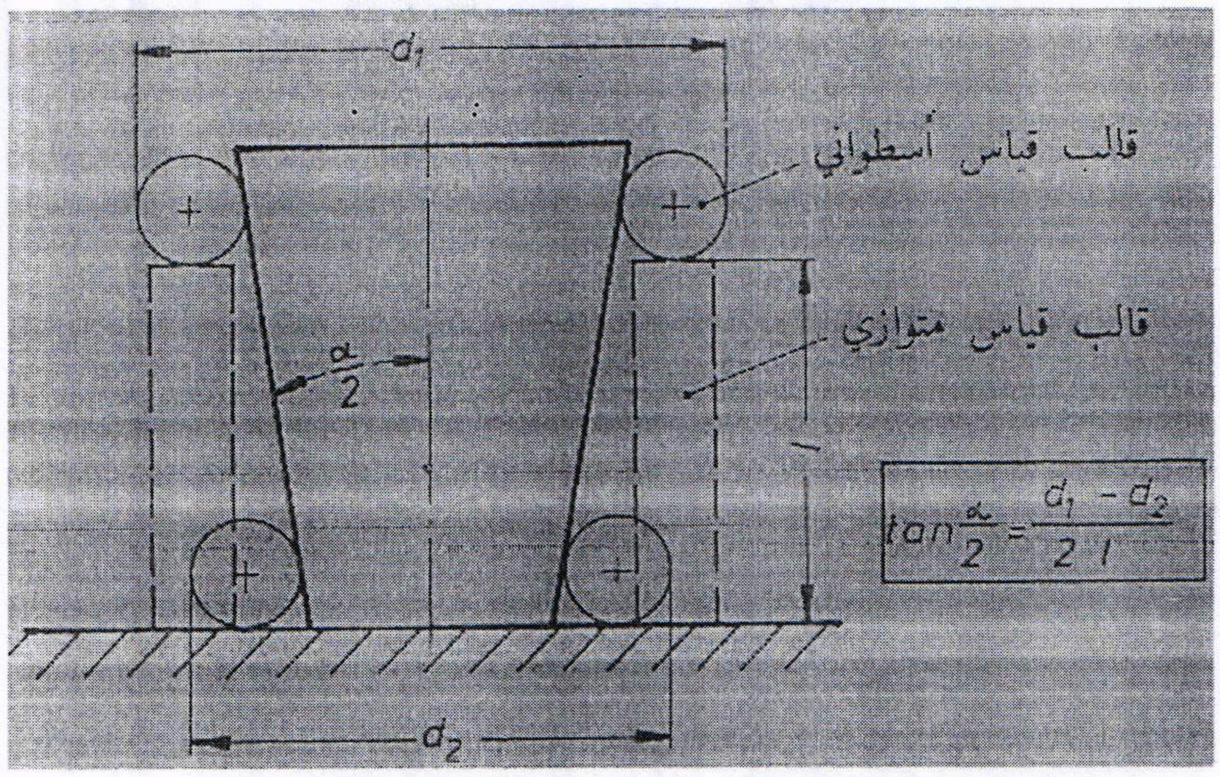
$$\sin\alpha = \frac{E}{L}$$
$$= \frac{37.623}{100} = 0.37623$$

و باستخدام الآلة الحاسبة نجد أن:

$$\alpha = 22.1°$$
$$= 22° 6' 1" \ \alpha$$

ويوضح شكل (2-13) مثالاً عملياً اخر لقياس زاوية استدقاق المخروط بواسطة قوالب قياس الأطوال المتوازية و قوالب القياس الأسطوانية، و هي عبارة عن اسطوانات قياسية مصنوعة من نفس الخامات و بنفس دقة و جودة قوالب القياس التقليدية، و يكون محفوراً

عليها أبعادها (٥ مم ، 10مم، ...). و تمتاز هذه القوالب بدقتها العالية عند استخدامها لقياس مشغولات ذات أسطح اسطوانية أو مُستدقة حيث أن استدارة أسطحها يضمن الدقة العالية لتلامسها مع الأسطح المقاسه. ويمكن من الشكل استنتاج العلاقة التالية بين ظل الزاوية ($\tan\frac{\alpha}{2}$) و أبعاد المخروط:



الشكل (2-13): قياس زاوية استدقاق مخروط باستخدام قوالب القياس المتوازية والاسطوانية.

$$\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{d_1-d_2}{2l}$$

حيث، d_2,d_1 : هما القطران الأكبر و الأصغر مضافاً لهما ضعف قطر قالب القياس الاسطواني (D)

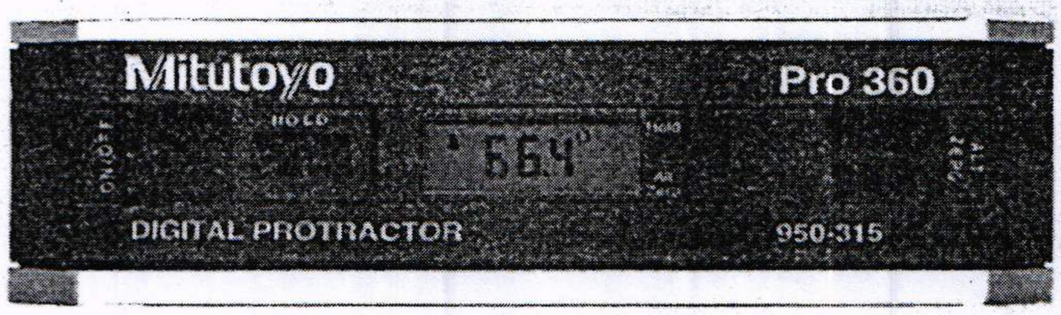
l : ارتفاع المخروط مطروحاً منه قطر قالب القياس الاسطواني (D).

٢- ٣- ٢ ميزان الاستواء (Level Gauge)

يكثر استخدام ميزان الاستواء (ميزان الماء) بشكل رئيس في التركيبات و تأسيس الماكينات، فبواسطته يمكن اختبار أحد الأسطح فيما إذا كان أفقياً أو رأسياً، كما يمكن استخدامه في قياس بعض الميول البسيطة. و يتكون ميزان الاستواء (Block level) الموضح في شكل (2-14) من الجسم الخارجي الذي تتعامد أسطحه مع بعضها البعض، و أنبوب ذي شكل برميلي أو مقوس مملوء بالأثير أو الكحول (وليس بالماء) إلى حد أن تبقى بداخلها فقاعة هوائية صغيرة تستقر دائماً في أعلى نقطة. فإذا كان السطح المراد اختباره أفقياً (أو رأسياً) استقرت الفقاعة الهوائية في منتصف الأنبوبة، أما إذا كان السطح مائلاً استقرت الفقاعة في أعلى نقطة للميل و بالتالي يمكن تحديد اتجاه ميل السطح. و

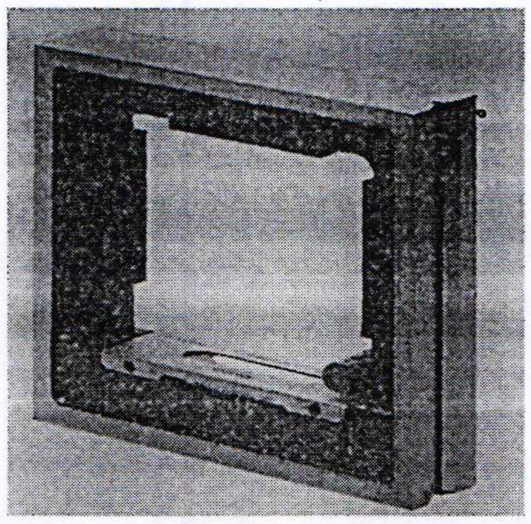
يوجد تدريج على السطح الخارجي للأنبوبة لتحديد قيمة الميل بحساسية تتراوح من **0.03** إلى **0.5** مم لكل متر من الطول وذلك تبعاً لنوعية الميزان المستخدم. ويتم اختبار دقة قياس ميزان الاستواء بوضعه على سطح مستو ثم يدار بمقدار ١٨٠ ، وفي كلا الوضعين يجب أن يعطي الميزان نفس قيمة القراءة. و توجد أيضاً المناقل الرقمية **(Digital Protractors)** التي تشبه موازين الاستواء و لكنها تعطي قيمة الميل بالدرجة. و هذه النوعية تمتاز بدقتها العالية حيث أن قيمة زاوية الميل المقاس تؤخذ مباشرة من الشاشة الموجودة بالمنقلة كما يتضح من شكل **(2-15)**.

الشكل (2-14): ميزان الاستواء.



الشكل (2-15): المنقلة الرقمية.

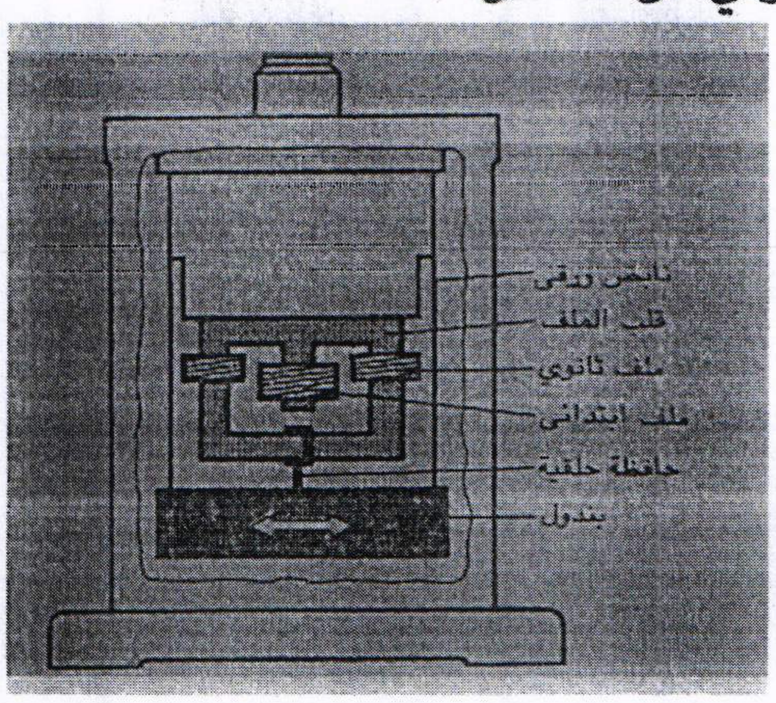
و توجد تصميمات أخرى من ميزان الاستواء كالميزان المبين في شكل **(2-16)** و هو عبارة عن إطار مربع **(Frame level)** مُثبت على ضلعين من أضلاعه المتجاورة ميزاني استواء تقليديين يُمكن بواسطتهما قياس الحيودات الأفقية و الرأسية في وقت واحد ، و من ثم يُستخدم هذا النوع لضبط أفقية و رأسية الماكينات الدقيقة.



الشكل (2-16): ميزان الاستواء ذو الإطار.

2- ٤- 3 مقياس الميول الإلكتروني (Electronic Level Gauge)

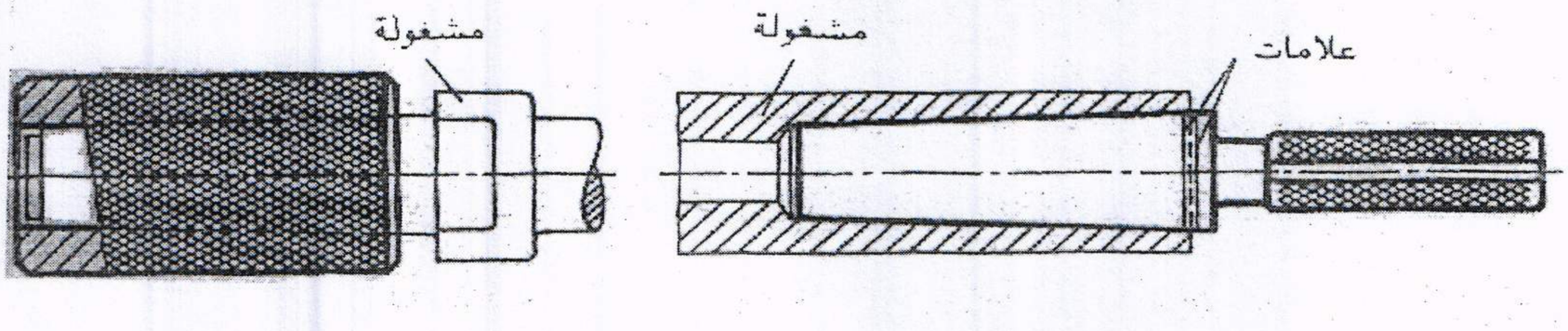
يُستخدم جهاز قياس الميول الإلكتروني عند الحاجة لحساسية قياس عالية تصل إلى "1. ويحتوي الجهاز على بندول معلق بواسطة نابضين ورقيين على حامل مثبت على غلاف رأس القياس. و عندما يميل سطح القياس، يُغير البندول من وضعه فيتغير وضع الحلقة المثبتة على البندول بالنسبة للضلع الأوسط لقلب الملف، و ينتج عن ذلك تغير المجال المغناطيسي مما يتسبب في إثارة تيار في الملف. ويكون مقدار هذا التيار المتولد مؤشراً لدرجة الميل، ويتم معايرة الجهاز ليعطي قيمة الميل مباشرةً بوحدات الميل المتعارف عليها و ذلك على مبين رقمي أو ذي مؤشر تبعاً لطراز الجهاز. و يعرض شكل (2-17) رسماً تخطيطياً مبسطاً للمكونات الأساسية لمقياس الميول الإلكتروني من الداخل.



الشكل (2-17): مقياس الميول الإلكتروني.

٢-٤-٤ محددات فحص الاستدقاق (Tapering Inspection Gauges)

يستخدم هذا النوع من المحددات لفحص الاستدقاقات الداخلية و الخارجية للمشغولات التي تحتوي على أشكال مخروطية، وهي نوعان خارجية و سدادية و كلاهما مبين بشكل (2-18). و يتم فحص استدقاقات العدد مثل المثاقب الحلزونية و عدد التفريز و أعمدة التجويف وذلك بواسطة محددات فحص الاستدقاق الخارجية ،أما التجاويف المخروطية الشكل فيتم فحصها باستخدام محددات الاستدقاق السدادية.

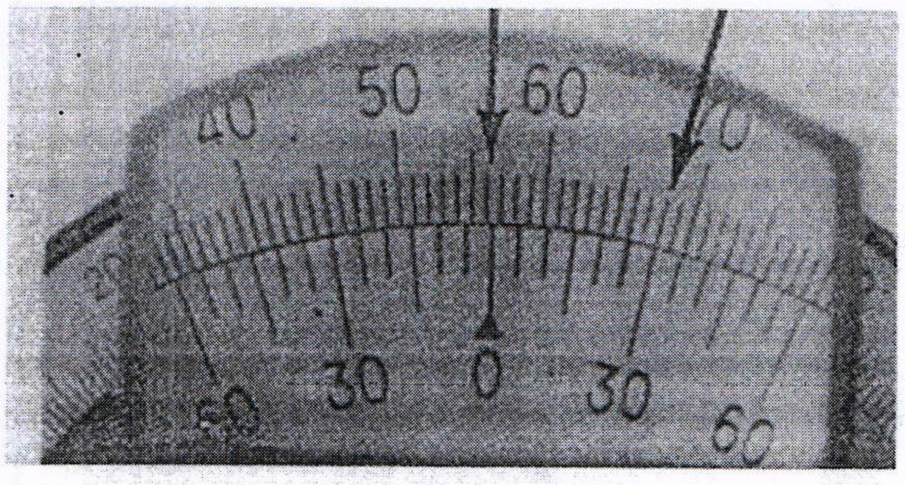


الشكل (2-18): محدد استدقاق سدادي ومحدد استدقاق خارجي

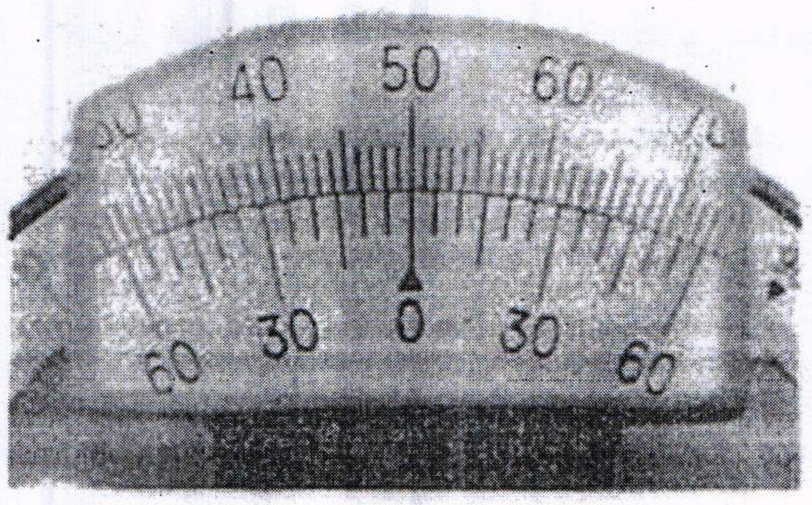
وُيراعى قبل استخدام هذه المحددات أن يوضع خط بالطباشير الدهني على الاستدقاق الخارجي للمحدد أو للمشغولة في الاتجاه المحوري ثم تدار المشغولة و المحدد فوق بعضهما البعض في اتجاه معاكس و بهذه الطريقة يمكن التأكد من دقة انتظام الاستدقاق، فإذا كان منتظما انمحى خط الطباشير بشكل منتظم أيضاً. أما إذا وجدت مواضع لم يحدث فيها هذا الانتظام، دل ذلك على عدم تلامس السطح المستدق و محدد الفحص و بالتالي عدم انتظام شكل السطح المراد فحصه.

تمارين

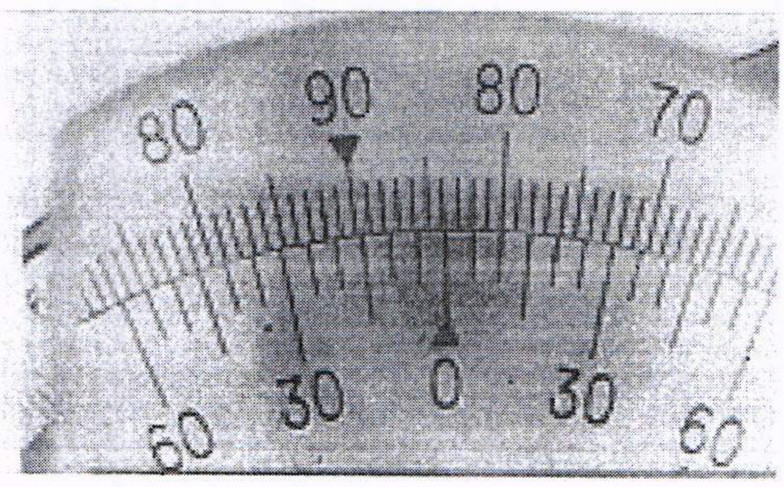
(1) حدد قيم الزوايا المقاسه بواسطة المنقلة ذات الورنيه في الأشكال التالية من (أ) إلى (د).



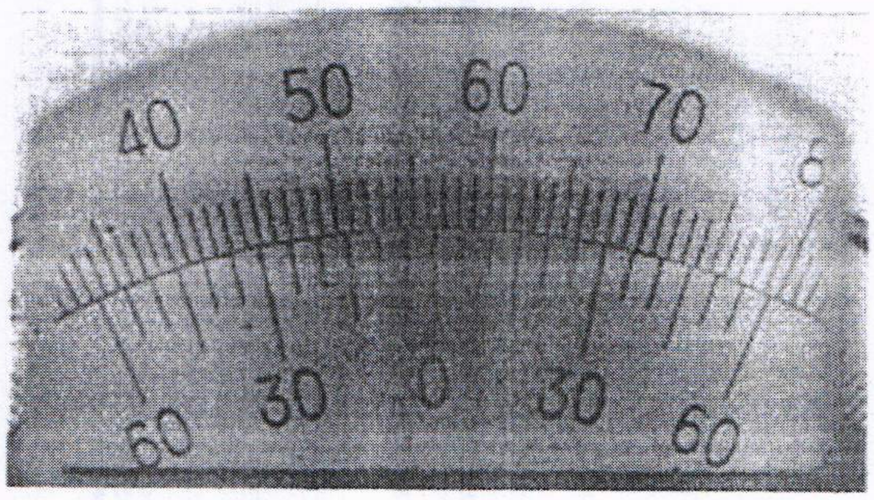
(أ)



(ب)



(ج)



(د)

(2) تم قياس زاوية استدقاق لمخروط بواسطة قضيب الجيب. فإذا كان ارتفاع قوالب القياس المستخدمة 37.25مم، احسب زاوية استدقاق المخروط و اختر مجموعة قوالب القياس اللازمة إذا كان طول القضيب المستخدم يساوي:

(أ) 100 مم.

(ب) 200 مم.

(3) في ترتيبة القياس الموضحة بشكل (2-13)، إذا كان قطر اسطوانات القياس المستخدمة = 5 مم، احسب زاوية نصف رأس المخروط ($\frac{\alpha}{2}$) إذا كان ارتفاع المخروط = 350 مم، و قطراه الأكبر والأصغر = 180مم ، 120 مم على الترتيب. انتقِ أيضاً مجموعة القوالب اللازمة لإجراء القياس.

(٤) أعد حل التمرين رقم (3) إذا تم تبديل القوالب الاسطوانية بقوالب أخرى قطرها = 10 مم

الوحدة الثالثة

التفاوتات و الإزواجات

الوحدة الثالثة :التفاوتات و الإزواجات

الجدارة

التعرف على مواصفات التفاوتات و الإزوجات و استخدام جداول التفاوتات

الأهداف

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة بإذن الله على معرفة:

- نظام التفاوتات طبقاً لمواصفات ISO العالمية
- المصطلحات الأساسية للإزوجات طبقاً لمواصفات ISO, DIN
- تمثيل التفاوتات المسموحة على الرسومات الهندسية
- الأنواع المختلفة من محددات القياس الحدية

مستوى الأداء المطلوب

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب

4 ساعات

الوسائل المساعدة:

- عارض بيانات.
- حاسب آلي.
- سبورة.

متطلبات الجدارة

اجتياز الوحدات السابقة

3-1 مقدمة

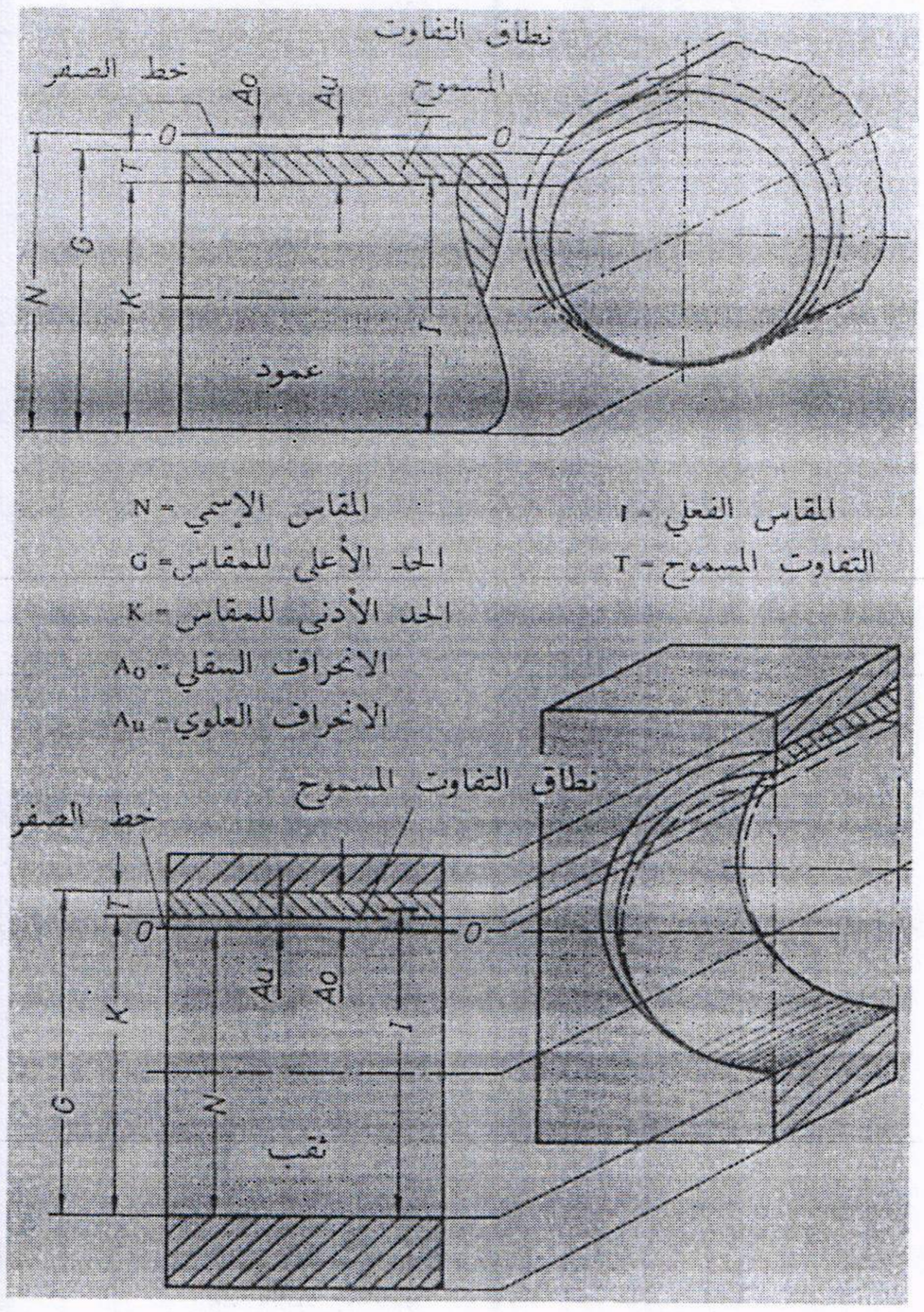
من أهم الصعوبات التي تواجه القائمين على عمليات التشغيل مطابقة أبعاد المشغولة بعد تصنيعها لأبعادها المحددة على الرسومات التصميمية. و الواقع العملي يؤكد أن هناك استحالة في تصنيع المنتج بنفس أبعاده التصميمية (الأبعاد الاسمية) تماماً و دون وجود بعض التفاوتات (أوالانحرافات) في هذه الأبعاد. و هناك أسباب عديدة تؤدي إلى حدوث تلك الانحرافات منها على سبيل المثال عدم الدقة المطلقة لماكينات التشغيل و احتمال حدوث بعض الأخطاء التي يصعب تفاديها أثناء عملية قياس المشغولة (سيتم مناقشة و عرض الأنواع المختلفة من أخطاء القياس في الوحدة السادسة). بالإضافة إلى أن المعدات المستخدمة لإجراء القياس أثناء مراحل التشغيل المختلفة بها مقدار من الخطأ وذلك لاستحالة تصنيعها هي الأخرى خالية من بعض التجاوزات الضئيلة التي يتم إعطاؤها كأحد أهم مواصفات تلك المعدات.

و قد تم اعتماد مجموعة من المواصفات الدولية لتحديد قيم التجاوزات المسموحة طبقاً لمجالات الاستخدام. ويهدف هذا التوحيد في المواصفات إلى تأكيد مبدأ التصنيع التبادلي الذي يتيح استخدام المنتجات في أي مكان بغض النظر عن مكان التصنيع طالما أن هذه المنتجات مطابقة للمواصفات الدولية المتفق عليها. ومن البديهي أن تكون قيم هذه التجاوزات في حدود ضئيلة جداً و إلا أدى ذلك إلى حدوث اختلاف ملموس في أبعاد المنتج و بالتالي التسبب في عدم إمكانية استخدامه للغرض المُصنع من أجله. فمعظم القطع المنتجة تكون عبارة عن أجزاء يتم تجميعها معاً لتكوين المنتج النهائي، لذلك يجب أن يكون هناك توافق (أو إزواج) بين أبعاد القطع المنتجة حتى تتراكب مع بعضها البعض بطريقة سليمة لتؤدي وظيفتها أثناء العمل بدون خلل. و لكي نتعرف على القيم المسموح بها لتفاوتات الأبعاد لابد من التعرف أولاً على بعض المصطلحات المستخدمة في مجال التفاوتات و الإزواجات و هذا ما سيرد في الفقرة التالية.

3-2 التفاوتات (Tolerances)

3-2-1 تعريفات أساسية

تستخدم التعريفات التالية كأساس لإجراء الحسابات اللازمة لتحديد قيم التفاوتات للمشغولات أثناء تصميمها ، ويوضح الشكل (3-1) مدلول هذه التعريفات.



الشكل (3-1): المصطلحات الأساسية للتفاوتات.

العمود (Shaft): كل جزء مستدير مطلوب تركيبه داخل أحد الثقوب (Hole)، بغض النظر عما إذا كان يسمى غير ذلك مثل: محور أو مسمار ربط أو مرتكز أو تيلة إلى غير ذلك من المسميات المشابهة.

المقاس الاسمي (Nominal value, N): هو المقاس المبين بالرسم و الذي تميز به المشغولة.

التفاوت الأعلى للمقاس (Upper tolerance, A_o): هو الفرق بين المقاس الاسمى و الحد الأعلى للمقاس.

التفاوت الأدنى للمقاس (Lower tolerance,A_u): هو الفرق بين المقاس الاسمي و الحد الأدنى للمقاس.

خط الصفر (Base line) : هو خط تخيلي يكون عليه مقدار الانحراف عن المقاس الاسمي صفراً.

الحد الأعلى للمقاس (Upper limit, G): هو أكبر بعد مسموح به، ولا يجوز أن يتعداه المقاس الاسمي للمشغولة. و على ذلك فإن:

$$G = N + A_0$$

الحد الأدنى للمقاس (Lower limit, K): هو أصغر بعد مسموح به، ولا يجوز أن يقل عنه المقاس الاسمي للمشغولة. وعلى ذلك فإن:

$$K = N + A_u$$

البعدان الحديان (Upper and lower limit): هما كل من الحد الأعلى و الأدنى للبعد.

المقاس الفعلي (Actual value, I): هو البعد الذي يجرى تعيينه بقياس المشغولة ، ويجب أن يقع بين البعدين الحديين، أي أن:

$$K \le I \le G$$

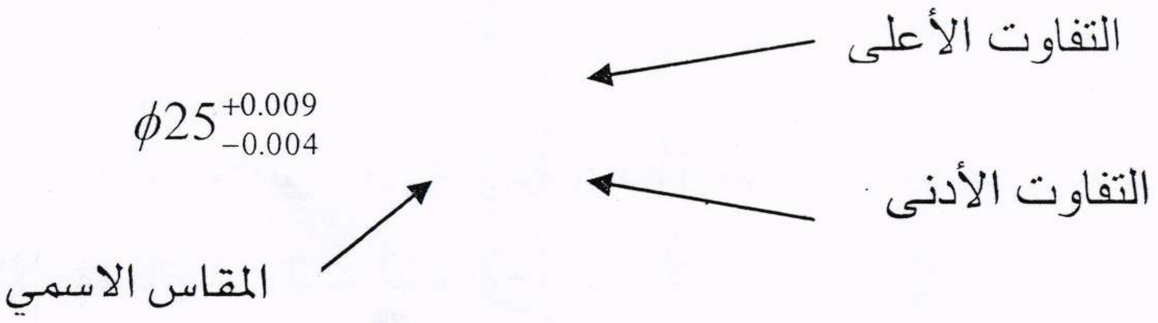
التفاوت المسموح (Allowable tolerance, T) : هو الفرق بين البعدين الحديين أو الفرق بين الانحرافين الأعلى و الأدنى للمقاس. و على ذلك فإن:

$$T = G - K$$

أو:

$$T = A_0 - A_u$$

و لتوضيح المصطلحات السابقة سنعرض المثال العددي التالي:



$$G = N + A_0$$

$$G = 25 + 0.009 = 25.009mm$$

$$K = N + A_u$$

$$K = 25 + (-0.004) = 24.996mm$$

و بالتالي يكون البعد الفعلي (I):

$$24.996mm \le I \le 25.009mm$$

أما التفاوت المسموح (T):

$$T = G - K$$

$$T = 25.009 - 24.996 = 0.013mm$$

أو

$$T = 0.009 - (-0.004) = 0.013mm$$

3- 2- 2 تمثيل المواضع الأساسية لنطاقات التفاوت بالنسبة لخط الصفر

يتم تمثيل نطاق التفاوت لبعد معين بالنسبة لخط الصفر بمستطيل صغير مهشر يكتب على طرفه العلوي الانحراف الأعلى للمقاس و على طرفه السفلي الانحراف الأدنى للمقاس كما هو موضح بالشكل (3-2). و تكون قيم التفاوتات بوحدة الميكرون (µm). الانحرافات الواقعة فوق خط الصفر تكون موجبة و الانحرافات السالبة فتوضع تحت خط الصفر، أما إذا كانت قيمة الانحراف صفرا فلا يكتب لأنه في هذه الحالة يكون أحد طرفي المستطيل ملامساً لخط الصفر. و هناك خمسة مواضع أساسية لنطاقات التفاوت بالنسبة لخط الصفر مبينة في الشكل (3-2). .و هذه المواضع يمكن تصنيفها كالتالي:

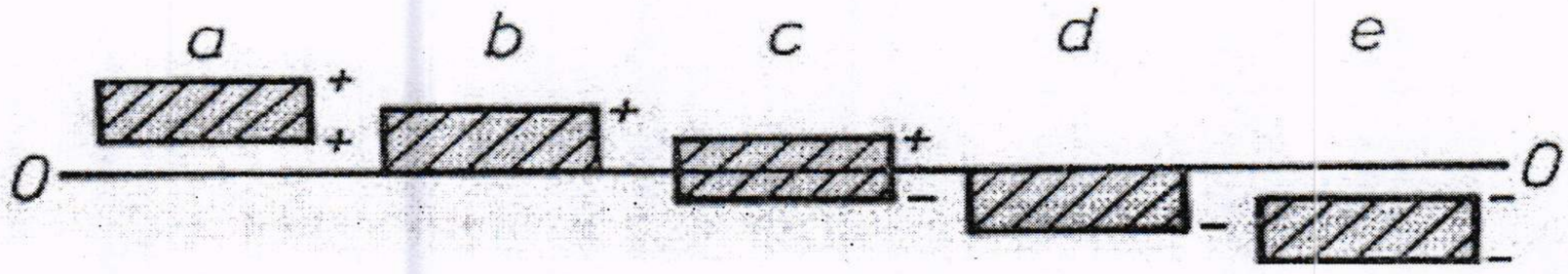
أ - عندما يقع نطاق التفاوت بأكمله فوق خط الصفر، و في هذه الحالة يكون البعد الفعلي دائماً أكبر من البعد الاسمي.

ب - عندما يبدأ نطاق التفاوت من خط الصفر إلى أعلى، و في هذه الحالة لا يمكن للبعد الفعلي أن يتعدى البعد الاسمي إلا بمقدار التفاوت المسموح على الأكثر.

ج- عندما يقع نطاق التفاوت على جانبي خط الصفر، و بالتالي يتقارب البعدان الاسمي و الفعلي.

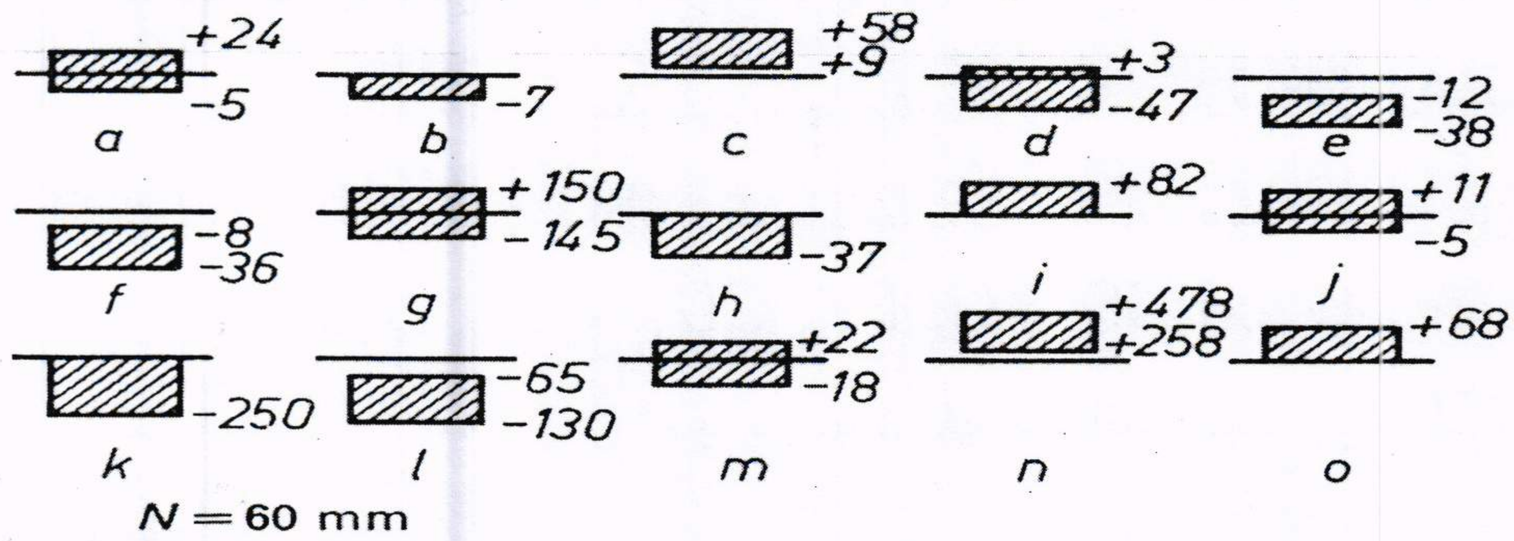
د- عندما يبدأ نطاق التفاوت من خط الصفر إلى أسفل، و في هذه الحالة لا يمكن للبعد الفعلي أن يقل عن البعد الاسمي إلا بمقدار التفاوت المسموح على الأكثر.

هـ- عندما يقع نطاق التفاوت بأكمله تحت خط الصفر، و في هذه الحالة يكون البعد الفعلي دائماً أصغر من البعد الاسمي.



الشكل (3-2): المواضع الأساسية لنطاقات التفاوت.

مثال: احسب القيم K, G, T, A_u, A_o بالمليمتر من نطاقات التفاوتات المسموحة المعطاة في الحالات من (a) إلى (o) الموضحة بالرسم ، علماً بأن البعد الاسمي (N) = 60 مم.



فإذا أخذنا الحالة (a) على سبيل المثال نجد أن:

$$G = N + A_0$$

$$G = 60 + 0.024 = 60.024mm$$

$$K = N + A_u$$

$$k = 60 + (-.005) = 59.995mm$$

$$T = G - K$$

$$T = 60.024 - 59.995 = 0.029mm$$

$$= 29\mu m$$

أو

$$T = A_0 - A_u$$

$$T = 0.024 - (-0.005) = 0.029mm$$

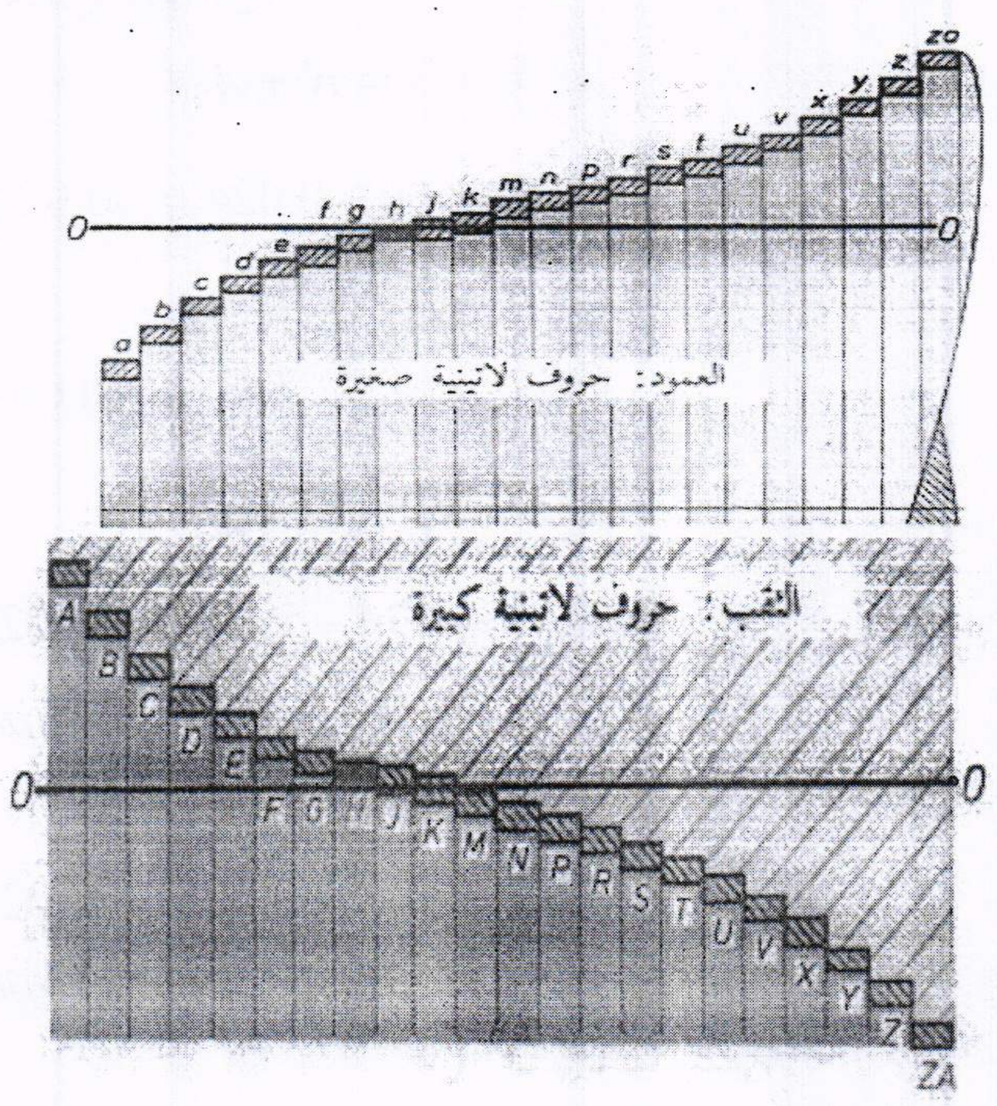
$$= 29\mu m$$

و يلاحظ من القيم التي تم حسابها في هذا المثال أن البعد الفعلي يتقارب من الحدين الأعلى و الأدنى للمقاس حيث إنه يقع بينهما ، أي أن هذه الحالة تمثل الموضع رقم (ج) من

مواضع نطاقات التفاوت الأساسية بالنسبة لخط الصفر التي سبق الإشارة إليها في شكل (2-3).

3-2-3 المواضع التفصيلية لنطاقات التفاوت بالنسبة لخط الصفر

يحتاج التطبيق العملي في مجال التفاوت لمواضع أكثر تفصيلاً من المواضع الأساسية الخمسة و ذلك نظراً لاختلاف طبيعة كل تطبيق. فبعض التطبيقات تحتاج لموضع التفاوت (أ) مع مراعاة أن يكون البعد الفعلي مقارباً للبعد الاسمي. و في تطبيق آخر يتطلب موضع (أ) أيضاً و لكن بحيث أن يكون البعدان الفعلي و الاسمي متباعدين نسبياً. لذلك تم تحديد مواضع تفصيلية يُرمز إليها بالحروف اللاتينية، و تم الاتفاق على أن تُخصص الحروف الصغيرة للأعمدة و الكبيرة للثقوب كما هو موضح بالشكل (3-3) . و قد استبعدت بعض الحروف (w, q, o, l, I,W, Q ,O, L, I) وهي التي قد تسبب بعض اللبس عند استخدامها و استبدلت بالحروف المركبة (za, zb, zc, ZA, ZB,ZC). و طبقاً لأحدث مواصفات ISO، فقد استحدثت نطاقات بينية بديلة عن تلك المستبعدة و تم تسميتها بالحروف المركبة (js, fg, ef, cd, JS, FG, EF, CD) و ذلك للأقطار الاسمية حتى 10 مم، ومن ثم يصل عدد المواضع التفصيلية إلى 28 موضعاً بالنسبة لخط الصفر.



الشكل(3-3): المواضع التفصيلية لنطاقات التفاوت للأعمدة و الثقوب.

و حتى يكون هناك مجال أوسع لتحديد قيم للتفاوتات يتناسب مع التنوع في التطبيقات الميكانيكية المختلفة، فقد تم تقسيم المواضع التفصيلية بالنسبة لخط الصفر إلى عشرين رتبة طبقاً لمواصفات ISO، و يرمز لهذه الرتب بالأعداد من 1 إلى 18 بالإضافة 0 ، التي تعطى لبعض التطبيقات الدقيقة التي تحتاج للتفاوتات الضئيلة مثل قوالب القياس. و حيث إنه لا يمكن تحديد مقدار تفاوت لكل بعد اسمي على حده (لوجود عدد لانهائي من الأبعاد الاسمية) فقد تم تحديد مجالات اسمية من ١ مم إلى ٥٠٠ مم لتغطية الأبعاد الاسمية الشائعة الاستخدام. فعلى سبيل المثال توجد مجالات اسمية كالتالي:

أكبر من 1 مم حتى 3 مم
أكبر من 3 مم حتى 6 مم
أكبر من 6 مم حتى 10 مم
أكبر من 10 مم حتى 18 مم و هكذا.

و يوضح جدول (3-1) قيم التفاوتات للأعمدة المناظرة لعينة من المواضع وذلك لمجالات اسمية تبدأ من ١ مم و حتى 18 مم بناءً على مواصفات ISO. و يتضح من قيم التفاوتات المعطاة في الجدول اعتماد تلك القيم على مجال المقاس الاسمي و رتبة التفاوت المسموح والتي يتم اختيارها حسب الغرض من الاستخدام. فإذا أخذنا عموداً قطره = ٢٠ مم ذا تفاوت $h_٦$ ، نجد أن أن مقدار التفاوت يبلغ ١٣ ميكرون ، في حين أن هذا المقدار يساوي ٢٥ ميكرون لعمود قطره = ١٥٠ مم و له نفس نطاق التفاوت ($h_٦$). و يمكن أن نصل إلى نفس الاستنتاج إذا استعرضنا الجدول (٢- ٣) والذي يحتوي على عينة من قيم التفاوتات المعتمدة من ISO للثقوب و ذلك للمجال الاسمي من ٣ مم حتى ٤٠٠ مم.

جدول (١- ٣): تفاوتات ISO للأعمدة.

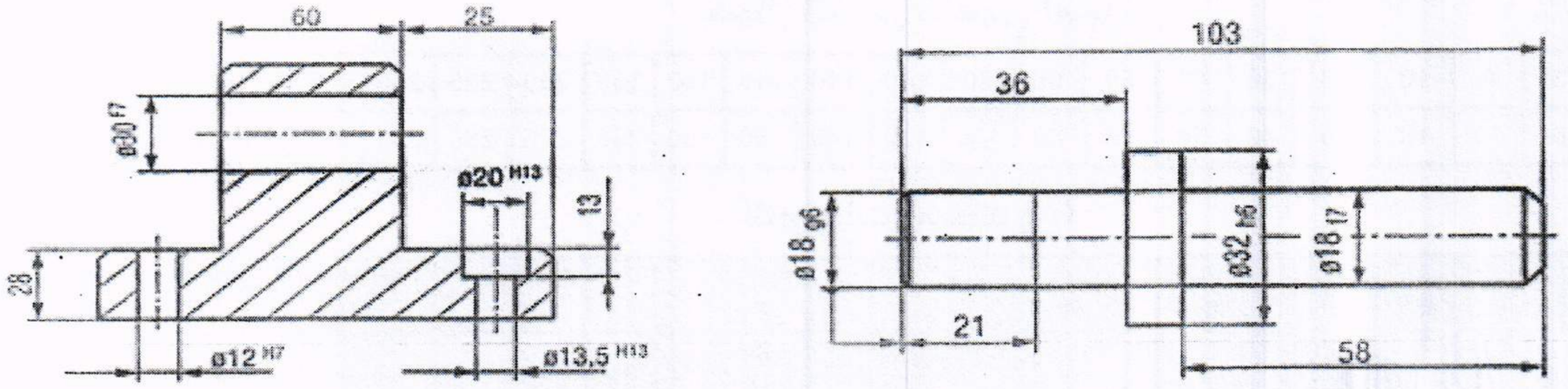
مجال المقاس الاسمي (مم)																				
من	3	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355
حتى	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
التفاوتات (ميكرون)																				
e13	-20 -200	-25 -245	-32 -302	-40 -370	-50 -440		-60 -520		-72 -612		-85 -715			-100 -820			-110 -920		-125 -1015	
f6	-10 -18	-13 -22	-16 -27	-20 -33	-25 -41		-30 -49		-36 -58		-43 -68			-50 -79			-56 -88		-62 -98	
f7	-10 -22	-13 -28	-16 -34	-20 -41	-25 -50		-30 -60		-36 -71		-43 -83			-50 -96			-56 -108		-62 -119	
g5	-4 -9	-5 -11	-6 -14	-7 -16	-9 -20		-10 -23		-12 -27		-14 -32			-15 -35			-17 -40		-18 -43	
g6	-4 -12	-5 -14	-6 -17	-7 -20	-9 -25		-10 -29		-12 -34		-14 -39			-15 -44			-17 -49		-18 -54	
g7	-4 -16	-5 -20	-6 -24	-7 -28	-9 -34		-10 -40		-12 -47		-14 -54			-15 -61			-17 -69		-18 -75	
h5	-0 -5	-0 -6	-0 -8	-0 -9	-0 -11		-0 -13		-0 -15		-0 -18			-0 -20			-0 -23		-0 -25	
h6	-0 -8	-0 -9	-0 -11	-0 -13	-0 -16		-0 -19		-0 -22		-0 -25			-0 -29			-0 -32		-0 -36	
h7	-0 -12	-0 -15	-0 -18	-0 -21	-0 -25		-0 -30		-0 -35		-0 -40			-0 -46			-0 -52		-0 -57	
h8	-0 -18	-0 -22	-0 -27	-0 -33	-0 -39		-0 -46		-0 -54		-0 -63			-0 -72			-0 -81		-0 -89	
h10	-0 -48	-0 -58	-0 -70	-0 -84	-0 -100		-0 -120		-0 -140		-0 -160			-0 -185			-0 -210		-0 -230	
h11	-0 -75	-0 -90	-0 -110	-0 -130	-0 -160		-0 -190		-0 -220		-0 -250			-0 -290			-0 -320		-0 -360	
j6	+6 -2	+7 -2	+8 -3	+9 -4	+11 -5		+12 -7		+13 -9		+14 -11			+16 -13			+16 -16		+18 -18	
js6	+4 -4	+4.5 -4.5	+5.5 -5.5	+6.5 -6.5	+8 -8		+9.5 -9.5		+11 -11		+12.5 -12.5			+14.5 -14.5			+16 -16		+18 -18	
k5	+6 +1	+7 +1	+9 +1	+11 +2	+13 +2		+15 +2		+18 +3		+21 +3			+24 +4			+27 +4		+29 +4	
m7	+16 +4	+21 +6	+25 +7	+29 +8	+34 +9		+41 +11		+48 +13		+55 +15			+63 +17			+72 +20		+78 +21	
n5	+13 +8	+16 +10	+20 +12	+24 +15	+28 +17		+33 +20		+38 +23		+45 +27			+51 +31			+57 +34		+62 +37	
p6	+20 +12	+24 +15	+29 +18	+35 +22	+42 +26		+51 +32		+59 +37		+68 +43			+79 +50			+88 +56		+98 +62	
r6	+23 +15	+28 +19	+34 +23	+41 +28	+50 +34	+60 +41	+62 +43	+73 +51	+76 +54	+88 +63	+90 +65	+93 +68	+106 +77	+109 +80	+113 +84	+126 +94	+130 +98	+144 +108	+150 +114	

جدول (3-2) : تفاوتات ISO للثقوب.

مجال المقاس الاسمي (مم)																				
من	3	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355
حتى	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
التفاوتات (ميكرون)																				
E13	+200 +20	+245 +25	+302 +32	+370 +40	+440 +50	+520 + 60	+612 +72	+715 +85		+820 +100		+920 +110		+1 015 +125						
F6	+18 +10	+22 +13	+27 +16	+33 +20	+41 +2	+49 + 30	+58 +36	+68 43		+79 +50		+88 +56		+98 +62						
F7	+22 +10	+28 +13	+34 +16	+41 +20	+50 +25	+60 + 30	+71 +36	+83 43		+96 +50		+108 +56		+119 +62						
F8	+28 +10	+35 +13	+43 +16	+53 +20	+64 +25	+76 + 30	+90 +36	+106 43		+122 +50		+137 +56		+151 +62						
G7	+16 +4	+20 +5	+24 +6	+28 +7	+34 +9	+40 +10	+47 + 12	+54 +14		+61 +15		+69 +17		+75 +18						
G8	+22 +4	+27 +5	+33 +6	+40 +7	+48 +9	+56 +10	+66 + 12	+77 +14		+87 +15		+98 +17		+107 +18						
H6	+8 0	+9 0	+11 0	+13 0	+16 0	+19 0	+22 0	+25 0		+29 0		+32 0		+36 0						
H7	+12 0	+15 0	+18 0	+21 0	+25 0	+30 0	+35 0	+40 0		+46 0		+52 0		+57 0						
H8	+18 0	+22 0	+27 0	+33 0	+39 0	+46 0	+54 0	+63 0		+72 0		+81 0		+89 0						
H9	+30 0	+36 0	+43 0	+52 0	+62 0	+74 0	+87 0	+100 0		+115 0		+130 0		+140 0						
H10	+48 0	+58 0	+70 0	+84 0	+100 0	+120 0	+140 0	+160 0		+185 0		+210 0		+230 0						
H11	+75 0	+90 0	+110 0	+130 0	+160 0	+190 0	+220 0	+250 0		+290 0		+320 0		+360 0						
J6	+5 -3	+5 -4	+6 -5	+8 -5	+10 -6	+13 -6	+16 -6	+18 -7		+22 -7		+25 -7		+29 -7						
JS7	+6 -6	+7.5 -7.5	+9 -9	+10.5 -10.5	+12.5 -12.5	+15 -15	+17.5 -17.5	+20 -20		+23 -23		+26 -26		+28.5 -28.5						
K7	+3 -9	+5 -10	+6 -12	+6 -15	+7 -18	+9 -21	+10 -25	+12 -28		+13 -33		+16 -36		+17 -40						
M8	+2 -16	+1 -21	+2 -25	+4 -29	+5 -34	+5 -41	+6 -48	+8 -55		+9 -63		+9 -72		+11 -78						
N7	-4 -16	-4 -19	-5 -23	-7 -28	-8 -33	-9 -39	-10 -45	-12 -52		-14 -60		-14 -66		-16 -73						
P8	-12 -30	-15 -37	-18 -45	-22 -55	-26 -65	-32 -78	-37 -91	-43 -106		-50 -122		-56 -137		-62 -151						
R6	-12 -20	-16 -25	-20 -31	-24 -37	-29 -45	-35 -54	-37 -56	-44 -66	-47 -69	-56 -81	-58 -83	-61 -86	-68 -97	-71 -100	-75 -104	-85 -117	-89 -121	-97 -133	-103 -139	

وتعتبر الرموز الخاصة بتفاوتات الأعمدة و الثقوب من أهم الرموز المستخدمة في الرسومات الهندسية للمشغولات و التي تُرسل إلى المصنع ليقوم الفنيون بتصنيع القطعة المطلوبة طبقاً للأبعاد و المواصفات المحددة على الرسم. ففى شكل (3-4) (أ) عمود يحتاج إلى تفاوتات متعددة (g_6, h_6, f_7) تم اختيارها لتناسب طبيعة عمل هذا العمود. و كذلك توجد أيضاً المشغولة المرسومة في نفس الشكل(3-4) (ب)، و التي تحتوي على عدد من الثقوب

بأقطار مختلفة و كل منها يحتاج لتفاوت يختلف عن الآخر(F_7, H_{13}, H_7) و ذلك تبعاً للوظيفة التي سيقوم بها هذا الثقب عند استخدام هذه المشغولة.



(أ) (ب)

الشكل (3-4) : تمثيل التفاوتات المسموحة على الرسومات الهندسية.

٣- ٣ الإزواجات (Fits)

الإزواج هو العلاقة بين مقاسات قطع الشغل قبل تركيبها مع بعضها البعض و يطلق عليها أيضاً التوافقات. وتتضح أهمية الإزواجات إذا أخذنا في الاعتبار مبدأ التصنيع التبادلي الذي يكفل سهولة الحصول على قطع الغيار بغض النظر عن مكان تصنيعها. فالعمود المنتج في مصنع ما يجب أن يزوج (يركّب) مع المحمل المنتج في مصنع آخر بحيث يؤديان الوظيفة السابق تحديدها لهما (بأن يدور العمود بخلوص صغير في المحمل على سبيل المثال). و الإزواجات إما أن تكون اسطوانية أو مسطحة و ذلك تبعاً للشكل الهندسي لقطع الشغل. ففي الإزواجات الاسطوانية تكون المشغولات ذات أسطح اسطوانية و يسمى الجزءان المزوجان بالعمود (Shaft) و الثقب (Hole). أما إذا كانت الأسطح مستوية، فيطلق على هذا الشكل الإزواج المسطح، و تُسمى قطعتا الشغل المزوجتان بالجزء الداخلي و الخارجي. و نظراً لشيوع الإزواجات الاسطوانية في الكثير من التطبيقات الميكانيكية فسيتم التركيز عليها في بقية هذه الوحدة، مع ملاحظة أن ما سيذكر عن الإزواجات الأسطوانية يصلح أيضاً بصورة مشابهة للإزواجات المسطحة. و يُشار إلى الإزواج برمز يجمع بين القطر الاسمي للثقب (أو العمود) و نطاقا التفاوت للثقب و العمود. فالرمز ϕ 30 H_9/f_5 يعني أن الإزواج لثقب و عمود قطرهما الاسمي = 30 مم و نطاق تفاوت الثقب H_9 و نطاق تفاوت العمود f_5. و يمكن تقسيم الإزواجات إلى ثلاثة أنواع: الإزواج الخلوصي و الإزواج الانتقالي و الإزواج التداخلي، سيتم مناقشة كل نوع بالتفصيل إن شاء الله.

(أ) الإزواج الخلوصي (Clearance Fit)

في هذا النوع يتم اختيار نطاق التفاوتات لكل من العمود و الثقب بحيث يوجد دائماً خلوص بينهما عند أي قيم ممكنة للمقاسات الفعلية التي يجب أن تقع داخل نطاق المقاسات الحدية كما هو موضح بالشكل (3-5). و يتوقف مقدار الخلوص على اختيار مواضع نطاقات التفاوت (التي تعتمد على الاستخدام المطلوب للعمود و الثقب). فإذا أُعطي الثقب نطاق التفاوت (H) و العمود نطاق تفاوت (f) فإن الخلوص يكون صغيراً، أما إذا أُعطي العمود نطاق تفاوت (d)، فإن الخلوص يكون أكبر عدة مرات. و بما أنه لكل من الثقب و العمود حد أعلى و آخر أدنى لمقاسيهما، فيمكن للخلوص أن يتخذ حداً أكبر أو حداً أصغر يمكن حسابهما كالتالي:

الخلوص الأكبر (Upper Clearance, C_g) : هو الفرق بين الحد الأعلى لمقاس الثقب (G_H) و الحد الأدنى لمقاس العمود(K_s).

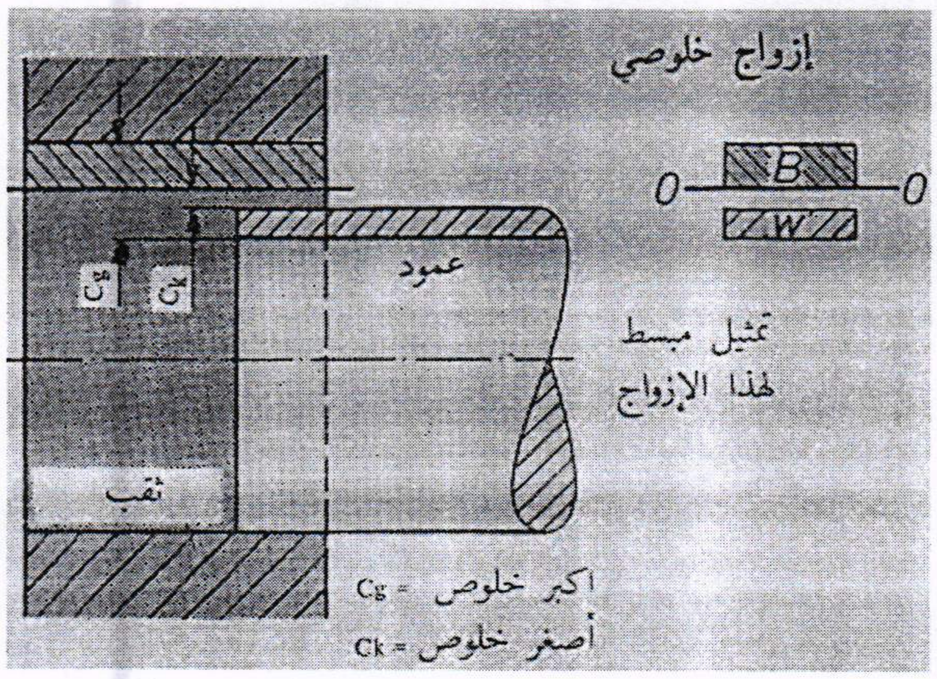
$$C_g = G_H - K_s$$

الخلوص الأصغر (Lower Cclearance, C_k): هو الفرق بين الحد الأدنى لمقاس الثقب (K_H) و الحد الأعلى لمقاس الغمود(G_s).

$$C_k = K_H - G_S$$

و يمكن أيضاً حساب التفاوت المسموح به في الإزواج (T_f) من العلاقة:

$$T_f = G_g - C_K$$



الشكل(3-5) : الإزواج الخلوصي.

(ب) الإزواج التداخلي(Interference Fit)

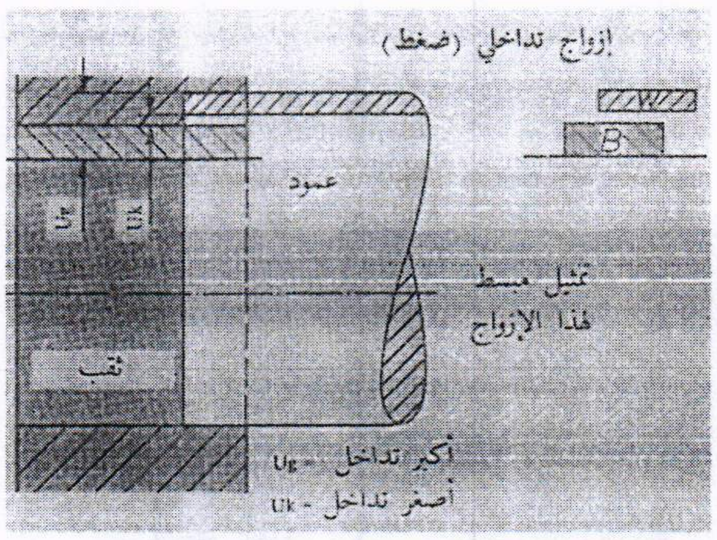
يقع نطاقا التفاوت في هذا النوع بحيث يوجد تداخل دائم عند أي قيم ممكنة للمقاسات الفعلية التي يجب أن تقع داخل نطاق المقاسات الحدية، ويكون مقاس العمود دائماً أكبر من مقاس الثقب كما في شكل (3-6). و قد يتبادر إلى الذهن تساؤل عن كيفية تركيب عمود ذي مقاس أكبر (بمقدار التفاوت) داخل ثقب ذي مقاس أصغر. يتم ذلك بعدة طرق منها على سبيل المثال الكبس الطولي بواسطة مكبس و طريقة الإزواج بالانكماش (بتسخين الثقب) و التمدد (بتبريد العمود) أو بالانكماش و التمدد معاً. ويعتمد مقدار التداخل على مواضع نطاقات التفاوت المختارة للعمود و الثقب، فإذا كان التفاوت (H) للثقب و (s) للعمود نتج عن ذلك تداخل صغير. أما إذا كانت هناك حاجة لتداخل كبير، فيمكن اختيار عمود ذي تفاوت (za) مع نفس الثقب. و يتم حساب قيم التداخلين الأكبر و الأصغر كما يلي:

التداخل الأكبر (Upper Fit, U_g) : هو الفرق بين الحد الأعلى لمقاس العمود (G_s) و الحد الأدنى لمقاس الثقب (K_H).

$$U_g = G_S - K_H$$

التداخل الأصغر (Lowe Fit, U_k): هو الفرق بين الحد الأدنى لمقاس العمود (K_s) و الحد الأعلى لمقاس الثقب (G_H).

$$U_k = K_S - G_H$$

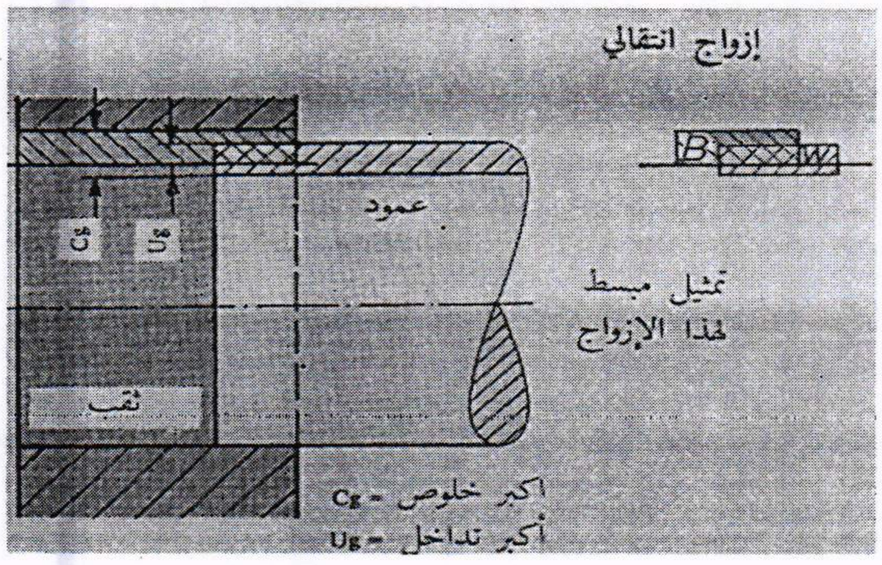


الشكل (3-6):الإزواج التداخلي.

(ج) الإزواج الانتقالي (Transition Fit)

يتداخل في هذا النوع نطاقا التفاوت للثقب و للعمود بحيث يكون الناتج إما خلوصاً أو تداخلاً ، كما هو مبين في شكل (3-7) و ذلك تبعاً لقيم التفاوتات المختارة، وفي هذه

الحالة يتم حساب أكبر خلوص و تداخل ممكنين كما سبق في الإزواجين الخلوصي و التداخلي.



الشكل (3-7) : الإزواج الانتقالي.

مثال:

حدد نوع الإزواج H_7/g_6 $\phi 50$ واحسب كلاً من C_g و C_k و كذلك التفاوت المسموح به في الإزواج.

الحل

بالنظر في جدول (3-1) و (3-2) نجد أن:

للثقب: $A_0 = 25\mu m \quad A_u = 0$,

و للعمود: : $A_U = -9\mu m \; A_0 = -25\mu m$,

يتضح من نظرة سريعة لهذه القيم أن انحراف الثقب أكبر من انحراف العمود، وبالتالي يكون هذا الإزواج خلوصياً لأن قطر الثقب سيكون دائماً أكبر من قطر العمود. و لحساب القيم المطلوبة، سنستخدم المعادلات الخاصة بالإزواج الخلوصي كالتالي:

$$G = N + A_0$$

$$G_H = 50 + 0.025 = 50.025mm$$

$$K = N + A_u$$

$$K_H = 50 + 0 = 50.0mm$$

$$G_S = 50 + (-0.009) = 49.991mm$$

$$K_S = 50 + (-0.025) = 49.975mm$$

$$C_g = G_H - K_S$$

$$= 50.025 - 49.975 = 0.050mm$$

$$C_K = G_S - K_H$$

$$= 50 - 49.991 = 0.009mm$$

و يمكن أيضاً حساب التفاوت المسموح به في الإزواج (T_f) من العلاقة :

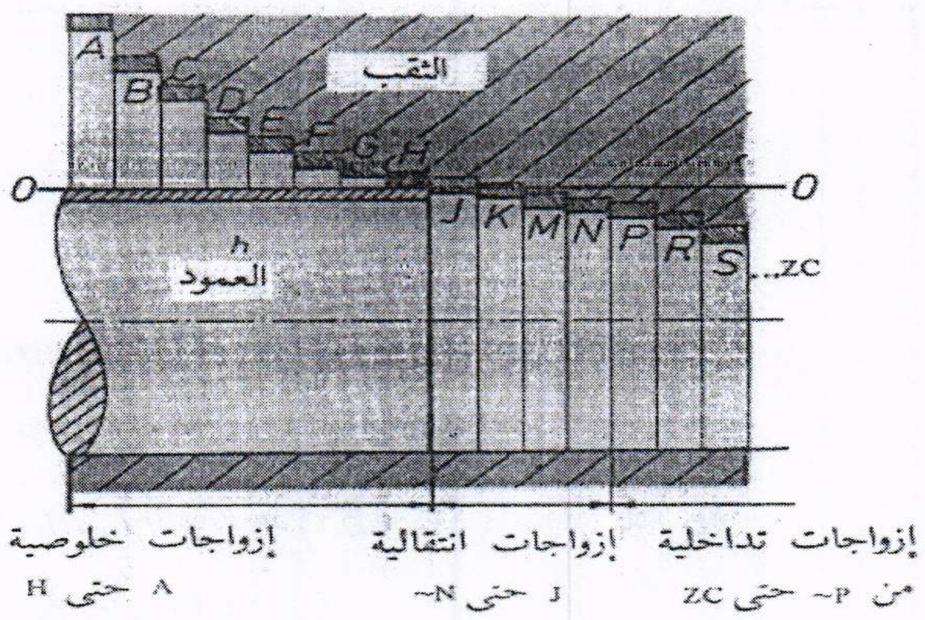
$$T_f = C_g - C_K$$
$$= 0.05 - 0.009 = 0.041mm$$

ومن الممكن اختيار أزواج أخرى من التفاوتات لكل من العمود و الثقب لتأدية نفس الغرض. هذا التعدد في التفاوتات المتاحة لنفس الغرض ليس اقتصادياً من الناحية العملية نظراً لأن ذلك سيحتاج لشراء أعداد كبيرة من أدوات الفحص للتأكد من قيم هذه التفاوتات أثناء التصنيع و بالتالي زيادة في تكلفة المنتج النهائي. لذلك فقد تم وضع نظامين محددين للإزواجات هما نظام أساس العمود و نظام أساس الثقب و سيتم استعراض كل منهما بالتفصيل في الفقرتين التاليتين.

3-3-1 نظام أساس العمود(Shaft-based system)

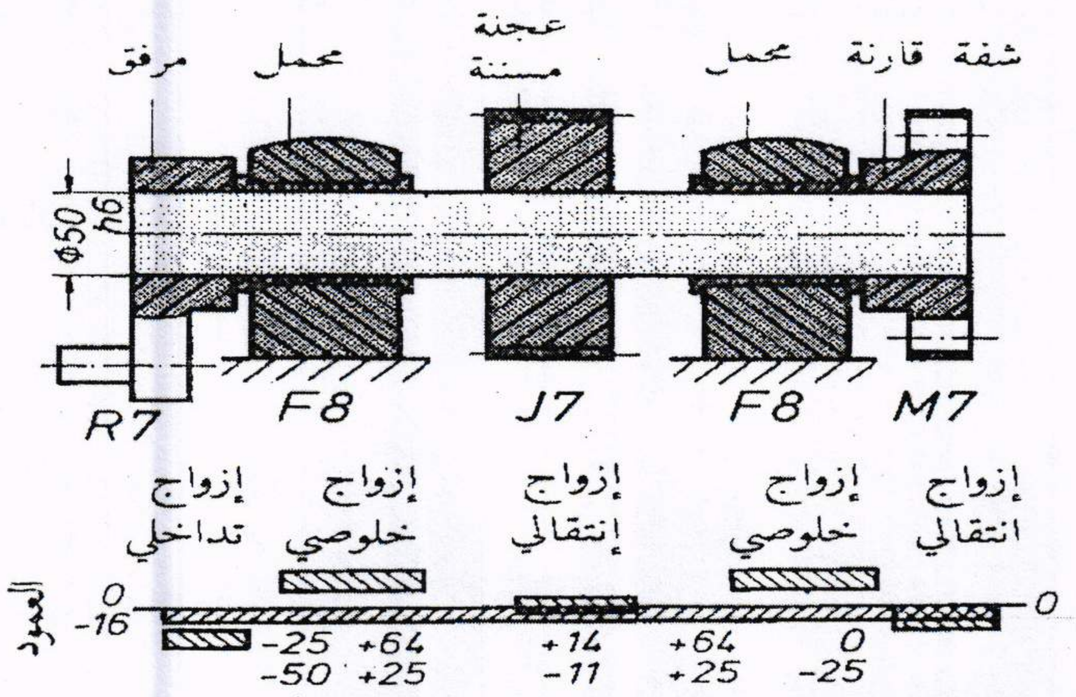
في هذا النظام يتم تثبيت تفاوت العمود عند الوضع h و تختار لجميع الثقوب التي تزوج مع هذا العمود نطاقات تفاوتات تقابل نوع الإزواجات المطلوب (خلوصي أو انتقالي أو تداخلي) لتحقق الأداء المطلوب عند تركيب العمود داخل الثقب. و بالنظر إلى شكل (3-8) نجد أن:

العمود ذو تفاوت h مع ثقب ذي تفاوت من A حتى H يعطي إزواجات خلوصية
العمود ذو تفاوت h مع ثقب ذي تفاوت من J حتى N تقريباً يعطي إزواجات انتقالية
العمود ذو تفاوت h مع ثقب ذي تفاوت من P تقريباً حتى ZC يعطي إزواجات تداخلية



الشكل (3-8): نظام أساس العمود.

ويُستخدم هذا النظام في الصناعات التي تحتاج أعمدة طويلة ثابتة المقطع كالآلات الزراعية و ماكينات النسيج والأوناش. و يبين الشكل (3-9) عموداً جاهزاً ذا تفاوت مركب عليه عدة أجزاء مختلفة يحتاج كل منها إلى نوعية إزواج تختلف عن الأخرى و ذلك لاختلاف طبيعة عمل كل منهما أثناء تشغيل العمود.



الشكل (3-9) : مثال تطبيقي لنظام أساس العمود.

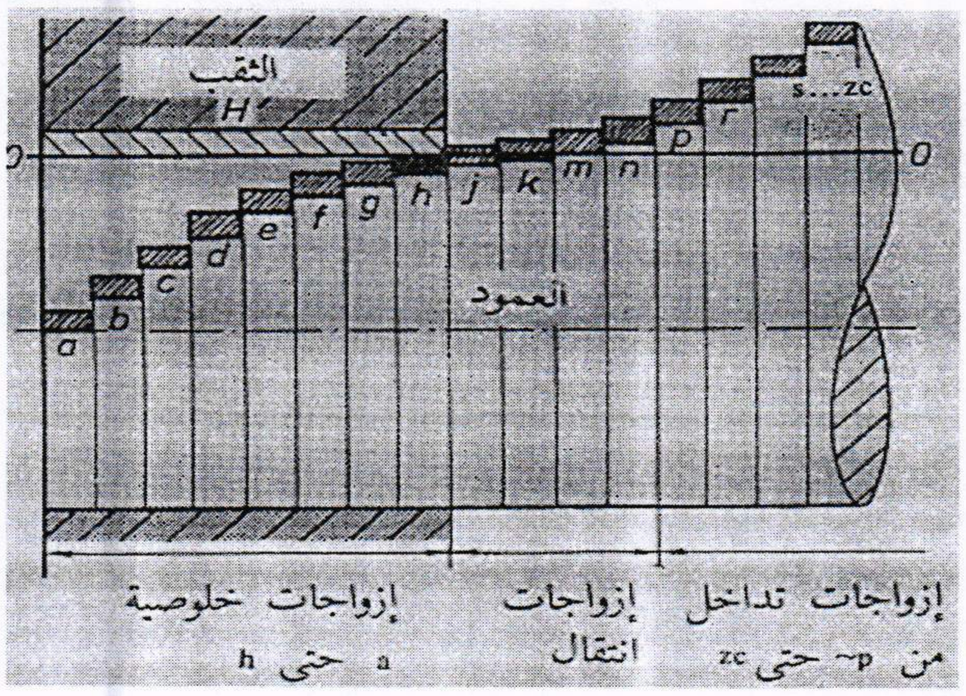
٣- ٣- ٢ نظام أساس الثقب (Hole-based system)

يثبت في هذا النظام نطاق التفاوت للثقب على H ،كما يتضح من شكل (3-10) ، و يتم تحديد تفاوت العمود طبقاً للإزواج المطلوب كما يتضح من الشكل و تكون اختيارات تفاوتات العمود كالتالي:

الثقب ذو تفاوت H مع عمود ذي تفاوت من a حتى h يعطي إزواجات خلوصية

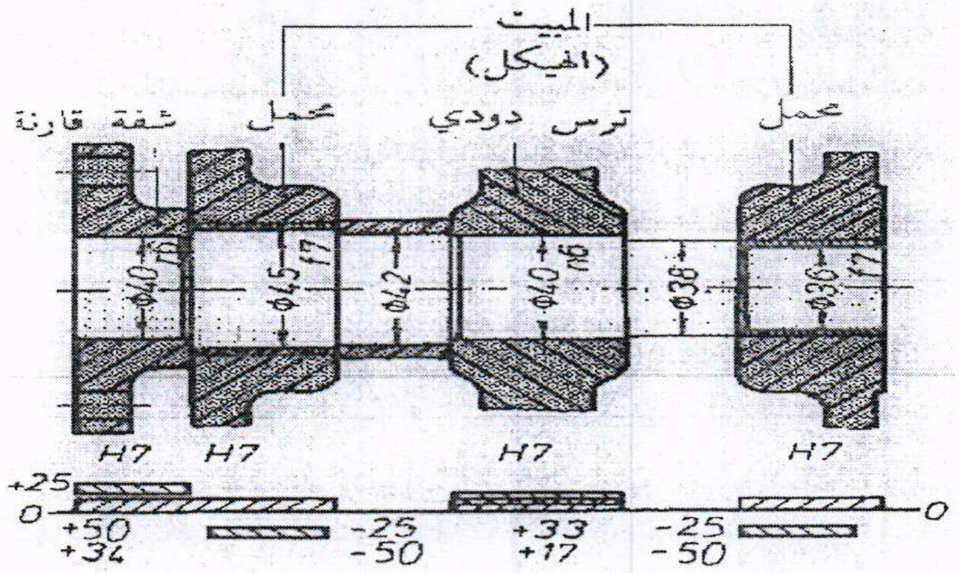
الثقب ذو تفاوت H مع عمود ذي تفاوت من j حتى n تقريباً يعطي إزواجات انتقالية

الثقب ذو تفاوت H مع عمود ذي تفاوت من p تقريباً حتى zc يعطي إزواجات تداخلية



الشكل (3-10): نظام أساس الثقب.

و ينتشر استخدام هذا النظام في المصانع التي يغلب فيها استخدام أعمدة متدرجة الأقطار مثل صناعة السيارات. و يعطي الشكل (3-11) مثالاً عملياً لاستخدام نظام أساس الثقب الذي يعتبر أسهل في التصنيع مقارنة بنظام أساس العمود، حيث أن تشغيل الأعمدة بالخراطة و التجليخ إلى الأبعاد المطلوبة للإزواج يكون أبسط من تشغيل الثقوب. و تتوافر جداول خاصة لإزوجات ISO التي تحقق إزواجات انتقالية و خلوصية و أخرى للإزواجات التداخلية. و تحدد في هذه الجداول قيم التفاوتات المناسبة لكل من الثقب و العمود و التي تحقق الإزواجات المطلوبة.

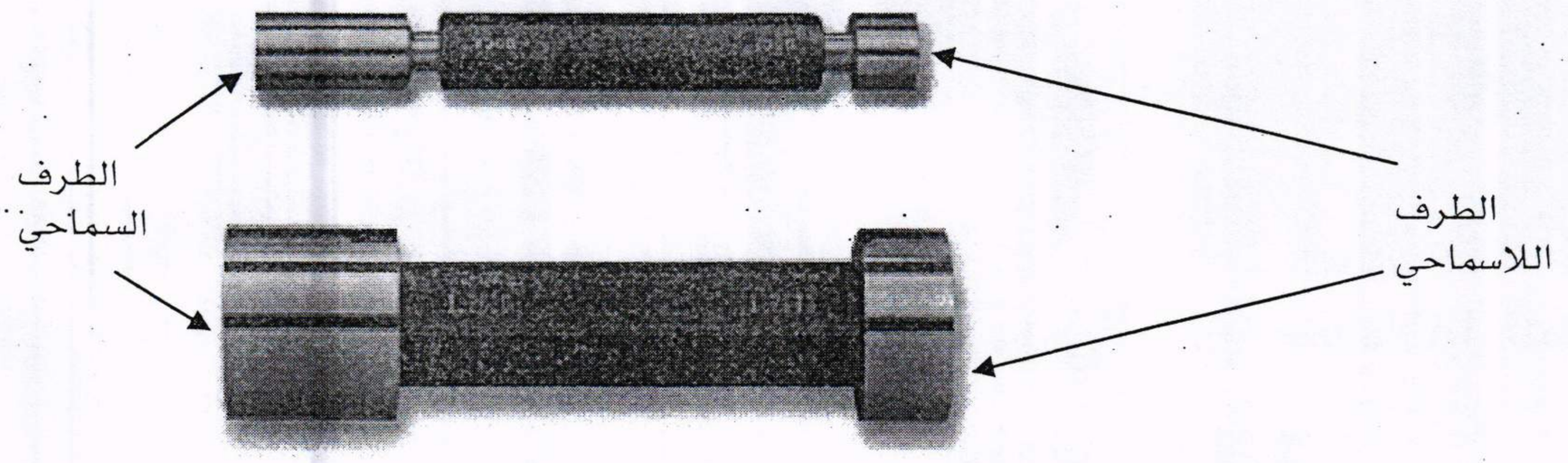


الشكل (3-11): مثال تطبيقي لنظام أساس الثقب.

3-4 محددات القياس الحدية (Limit Gauges)

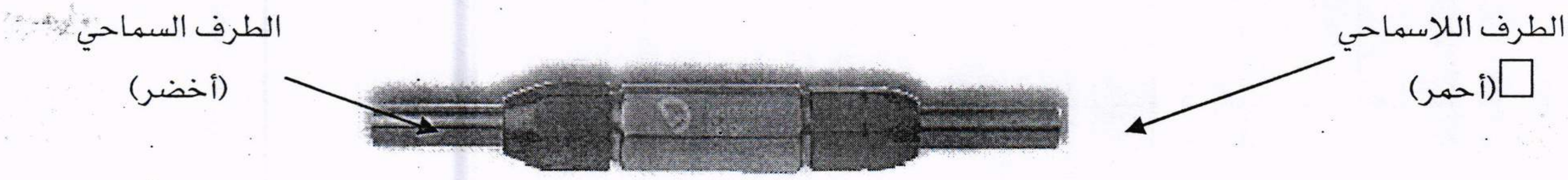
يمكن بواسطة محددات القياس الحدية التأكد بطريقة سهلة و سريعة من وقوع المقاس الفعلي للمشغولات داخل حدي التفاوت المسموحين، أي الحدين الأعلى و الحد الأدنى للمقاس، و بالتالي قبول أو رفض المشغولة. وتنقسم هذه المحددات إلى محددات سداديه (Plug Gauges) لفحص الثقوب، ومحددات قياس فكية (Snap Gauges) و حلقية (Ring Gauges) لفحص الأعمدة. و يوضح شكل (3-12) محددات القياس الحدية السدادية الأسطوانية و هي تتكون من طرفين كلاهما على شكل أسطوانة، يُسمى الأول الطرف السماحي (Go gauge) و يكون عليه المقاس الأصغر، و الطرف الثاني عليه المقاس الأكبر و يُسمى الطرف اللاسماحي (No Go gauge)، و يكون محفوراً على كل محدد المقاس الاسمي و رمز التفاوت الخاص به. و يجب أن يدخل الطرف السماحي برفق و دون استخدام العنف، أما الطرف اللاسماحي فلا يختاج سوى أن يُعلق قليلاً في الثقب المراد اختباره، و هو يُميز بوجود دائرة حمراء عليه. أما الطرف السماحي فيُمكن تمييزه بأنه **أطول**

من الطرف اللاسماحي لأنه يدخل في الثقوب بمعدلات كبيرة لذلك يمكنه أن يُستخدم أيضاً لاختبار الشكل الهندسي للثقب فضلاً عن استخدامه الأصلي.



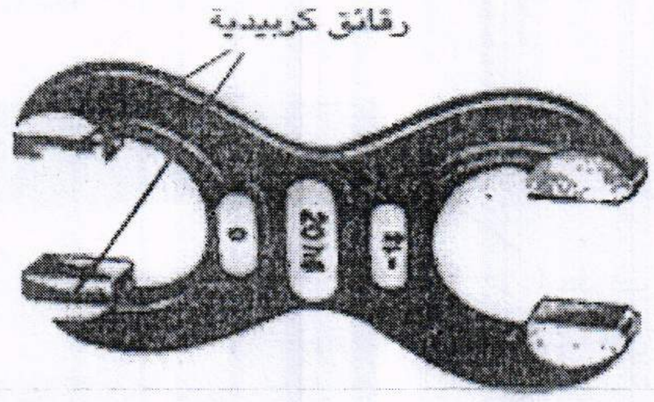
الشكل (3-12): محددات القياس السدادية

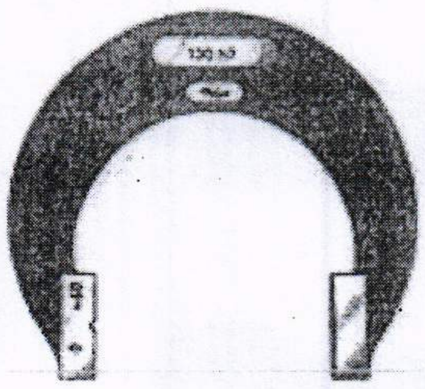
و قد ظهرت حديثا محددات قياس سدادية يميز فيها الطرف اللاسماحي باللون الأحمر و السماحي باللون الأخضر، كذلك الموضح بشكل (3-13)، لتجنب أي التباس عند الاستعمال. و نظراً لتعرض الطرف السماحي للاحتكاك فغالبا تتم كسوته بطبقة كربيدية لمقاومة البري.

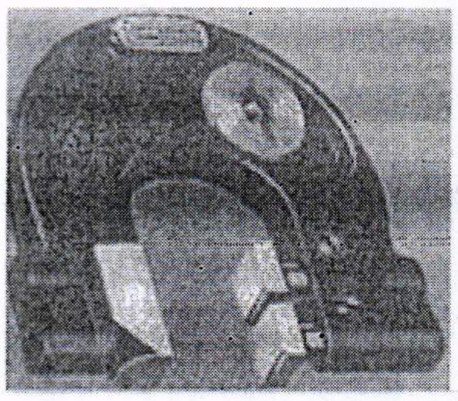


الشكل (3-13): محددات القياس السدادية الملونة

وتُستخدم محددات القياس الفكية لاختبار تفاوتات الأعمدة، و يوجد منها عدة أنواع مثل المحددات المزدوجة (Double End) (شكل (٣- ١٤) (أ))، وأحادية الطرف (Single End)(شكل (٣- ١٤) (ب))، و أحادية الطرف القابلة للضبط (Adjustable) (شكل (٣- ١٤) (ج)) و الأخيرة يُمكن ضبط مدى قياسها بواسطة قوالب القياس على عدة نطاقات للتفاوت، و بالتالي تُستخدم لاختبار عدد من التفاوتات، على عكس المحددات العادية التي تستخدم للتفاوت المدون عليها فقط. و يوجد من هذا النوع تصميمات بها ُمبينات رقمية أو بمؤشر (شكل (٣- ١٥)) لضمان الحصول على أعلى دقة ضبط.

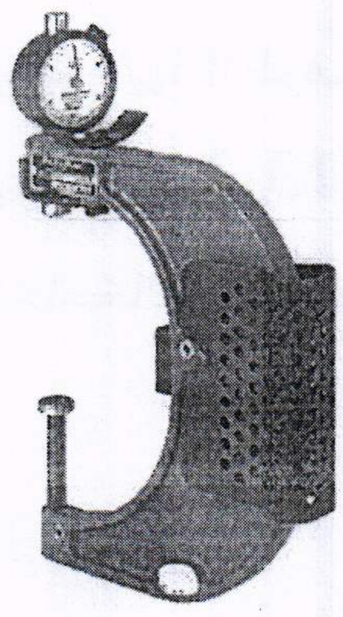


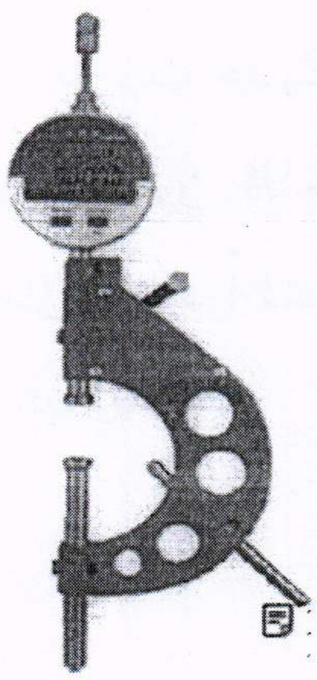




(أ): محدد مزدوج (ب): محدد أحادي (ج) محدد قابل للضبط الطرف

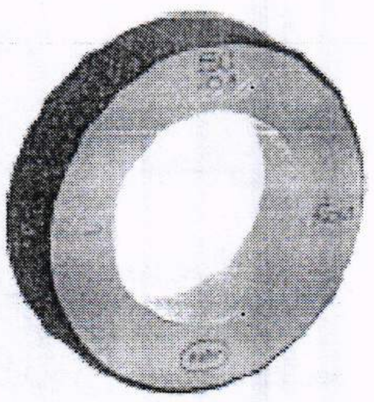
الشكل (٣-١٤): محددات القياس الفكية.

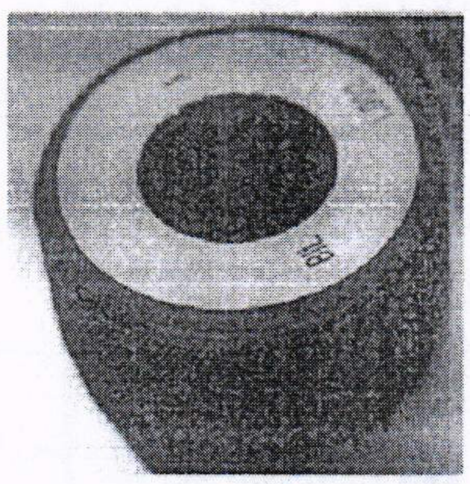




الشكل (٣- ١٥): محددات القياس الفكية القابلة للضبط ذوات مبين بمؤشر أو رقمية

و بالإضافة إلى المحددات الفكية، تستخدم محددات القياس الحلقية الموضحة في شكل (٣- ١٦) لفحص الأعمدة، و هي عبارة عن أقراص مستديرة مثقوبة و مجلخة. و لكل مقاس تفاوت يوجد قرصان أحدهما سماحي و الثاني لا سماحي، و يستخدم هذا النوع بكفاءة عالية لاختبار الأعمدة الطويلة.





الشكل (٣-١٦): محددات القياس الحلقية.

تمارين

(يمكن استخدام الجدول التالي لاستخراج قيم التفاوتات لكل من الأعمدة و الثقوب التي سترد في التمارين التالية.)

نظام أساسية العمود (الانحرافات الاسمية بوحدة µm) نظام أساسية الثقب (الانحرافات الاسمية بوحدة µm) .

مجال البعد الاسمي أكبر من... حتى	ثقب	أعمدة							ثقب	عمود	ثقب	أعمدة		عمود	ثقب	عمود	ثقب			عمود	ثقب	
	H7	s6	r6	n6	k6	j6	g6	f7	H8	e8	H11	d9	c11	h6	G7	h9	F8	E9	D10	h11	C11	A11
18 ... 30	+21 0	+48 +35	+41 +28	+28 +15	+15 +2	+9 −4	−7 −20	−20 −41	+33 0	−40 −73	+130 0	−65 −117	−110 −240	0 −13	+28 +7 −	0 52	+53 +20	+92 +40	+149 +65	0 −130	+240 +110	+430 +300
30 ... 40	+25	+59	+50	+33	+18	+11	−9	−25	+39	−50	+160	−80	−120 −280	0	+34	0	+64	+112	+180	0	+280 +120	+470 +310
40 ... 50	0	+43	+34	+17	+2	−5	−25	−50	0	−89	0	−142	−130 −290	−16	+9 −	62	+25	+50	+80	−160	+290 +130	+480 +320
50 ... 65	+30	+72 +53	+60 +41	+39	+21	+12	−10	−30	+46	−60	+190	−100	−140 −330	0	+40	0	+76	+134	+220	0	+330 +140	+530 +340
65 ... 80	0	+78 +59	+62 +43	+20	+2	−7	−29	−60	0	−106	0	−174	−150 −340	−19	+10 −	74	+30	+60	+100	−190	+340 +150	+550 +360
80 ... 100	+35	+93 +71	+73 +51	+45	+25	+13	−12	−36	+54	−72	+220	−120	−170 −390	0	+47	0	+90	+159	+260	0	+390 +170	+600 +380
100 ... 120	0	+101 +79	+76 +54	+23	+3	−9	−34	−71	0	−126	0	−207	−180 −400	−22	+12 −	87	+36	+72	+120	−220	+400 +180	+630 +410
120 ... 140		+117 +92	+88 +63										−200 −450								+450 +200	+710 +460
140 ... 160	+40 0	+125 +100	+90 +65	+52 +27	+28 +3	+14 −11	−14 −39	−43 −83	+63 0	−85 −148	+250 0	−145 −245	−210 −460	0 −25	+54 +14 −	0 100	+106 +43	+185 +85	+305 +145	0 −250	+460 +210	+770 +520
160 ... 180		+133 +108	+93 +68										−230 −480								+480 +230	+830 +580

(1) احسب T,K,G للثقب φ 30 H 7. {30.021مم، 30 مم، 0.021 مم}

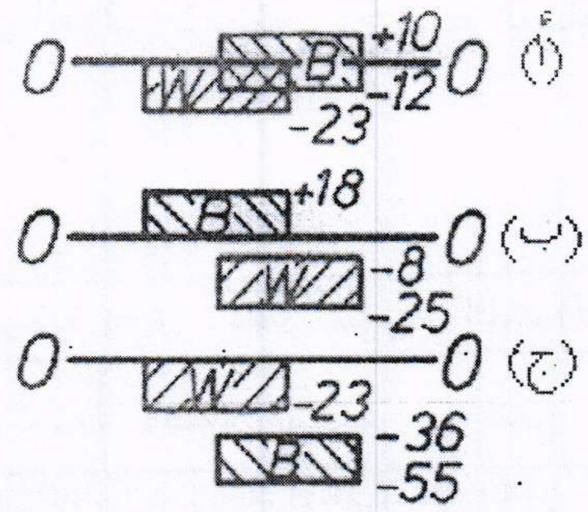
(2) احسب بوحدة الميكرون (C_g و C_k) أو (U_g و U_k) أو(C_g و U_k) للإزوجات الآتية و حدد نوع كل منها:

(ا) φ 25 H_7/g_6 { ٤١ ميكرون ، ٧ ميكرون ، خلوصي}

(ب) φ 25 H_7/n_6 { ٦ ميكرون ، ٢٨ ميكرون ، انتقالي}

(ج) φ 25 H_{11}/s_6 { ٤١ ميكرون ، ٧ ميكرون ، تداخلي}

(٣) في الشكل التالي، حدد نوع الإزواج و احسب مقادير الخلوص و التداخل في كل حالة.



(٤) أكمل الجدول التالي و وضح نوع الإزواج في كل حالة.

رمز الإزواج / القيم المطلوبة	$\varphi 25\ D_{10}/f_7$	$\varphi 50H_{11}/n_6$	$75\ H_7/s_6$
التفاوت الأعلى للثقب (ميكرون) A_o			
التفاوت الأدنى للثقب (ميكرون) A_u			
القطر الفعلي للثقب (مم) I			
التفاوت الأعلى للعمود (ميكرون) A_o			
التفاوت الأدنى للعمود(ميكرون) A_u			
القطر الفعلي للعمود (مم) I			
الخلوص C_g (أو التداخلU_g) الأكبر (ميكرون)			
الخلوص C_k (أو التداخلU_k) الأصغر (ميكرون)			
نوع الإزواج			

(٥) حدد الأبعاد K,G لعمود مزوج مع ثقب $\varphi 50\ H_8$ بحيث يكون أصغر خلوص = 0.065 C_g mm ، وأكبر خلوص C_k = 0.2 mm. احسب أيضاً قيم التفاوتات (T) للعمود و التفاوت المسموح به في الإزواج (T_f).

الوحدة الرابعة

قياس الخشونة

الوحدة الرابعة :قياس خشونة الأسطح

الجدارة

التعرف على المفاهيم الأساسية لجودة تشطيب أسطح المنتجات

الأهداف

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة بإذن الله على معرفة:

- أساسيات خشونة الأسطح
- المقاييس العالمية لخشونة الأسطح
- تأثير خشونة الأسطح على التفاوتات المسموحة و بالتالي على جودة المنتج
- الطرق المختلفة لقياس خشونة الأسطح

مستوى الأداء المطلوب

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب

2 ساعة

الوسائل المساعدة

- عارض بيانات.
- حاسب آلي.
- سبورة.

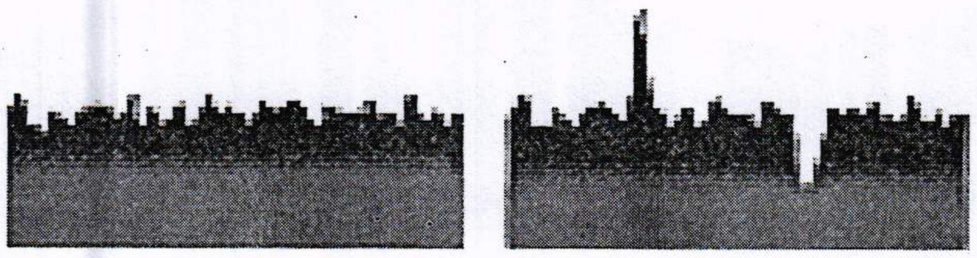
متطلبات الجدارة

اجتياز الوحدات السابقة

4-1 مقدمة

من الخصائص الهامة التي يجب أن تتوافر في المنتجات درجة نعومة أسطحها ، حيث إن كثيراً من التطبيقات العملية تحتاج إلى أسطح على درجة عالية من النعومة حتى تؤدى الوظيفة المطلوبة منها بأفضل أداء ممكن. لذلك فقد اهتم المتخصصون في مجال التصنيع بالتوصيف الدقيق للأسطح عن طريق التعبير عن طبيعة هذه الأسطح بقيم عددية تعكس درجة نعومتها. و في الماضي كانت الأسطح تُوصف بأنها كالمرآة إذا كانت على درجة عالية من النعومة. و قد أثبت الواقع العملي افتقار هذا الأسلوب الوصفي لدقة التحديد الكامل لنعومة السطح المراد تصنيعه، ومن ثم عدم تقيد المُصنع بدرجة النعومة المطلوبة.

و قد أثبتت الخبرة العملية عدم إمكانية تصنيع أسطح ذات نعومة مطلقة مهما كانت دقة و إمكانيات الآلات الحديثة المستخدمة في التشغيل. فإذا أخذنا أحد المشغولات و قمنا بفحص أحد أسطحه تحت مجهر ذي درجة تكبير عالية، سنرى أن لهذا السطح تضاريس ، كما هو موضح بالشكل (4-1)، أي قمم و منخفضات و أخاديد قد لا نشعر بوجودها بالعين المجردة أو بمجرد إمرار اليد على هذا السطح. وهذا يُثبت أن استواء السطح ليس مطلقاً بل لابد من وجود بعض الانحرافات الطفيفة و التي تكون خشونة الأسطح أحد مظاهرها.



الشكل (4 -1) : تضاريس السطح تحت المجهر.

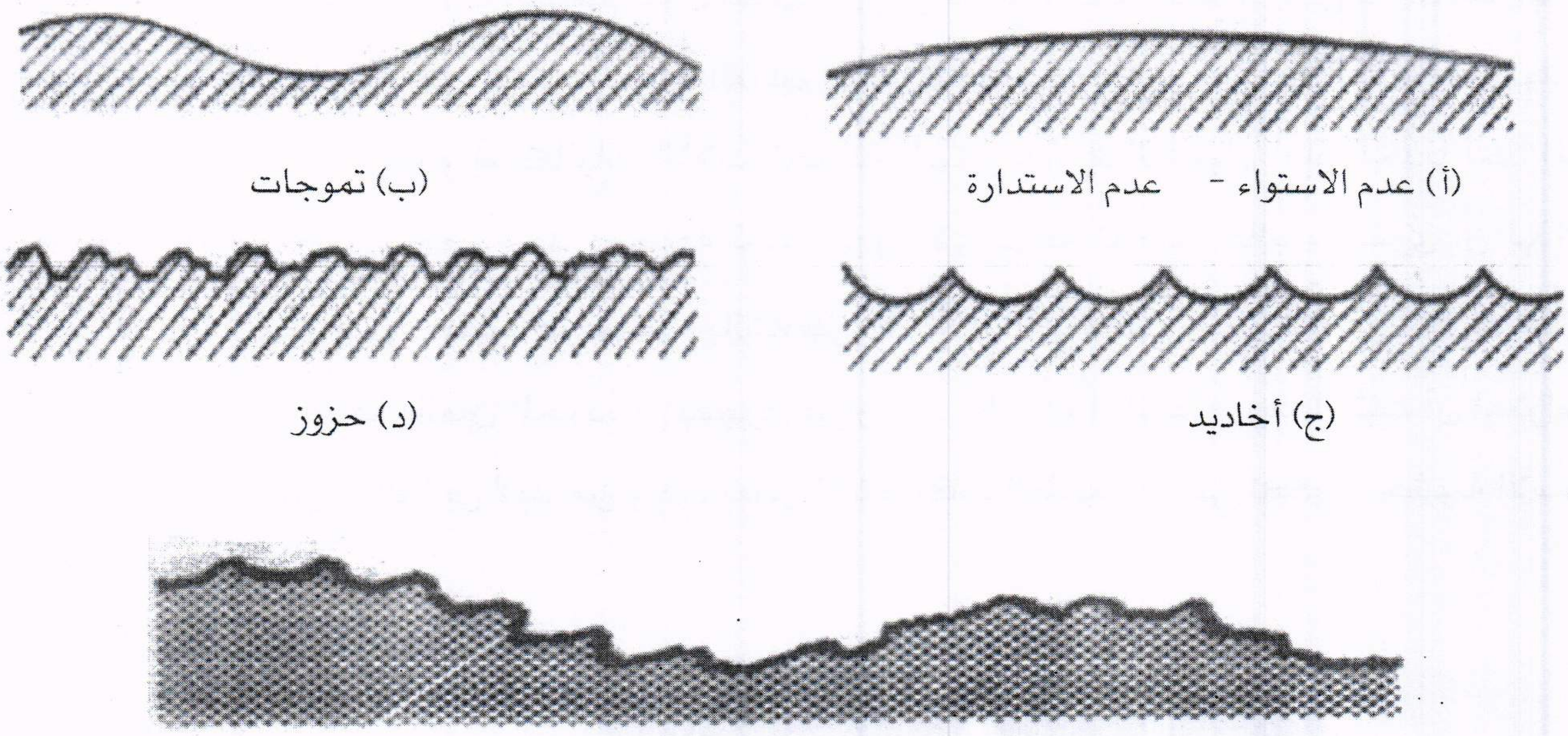
4-2 تصنيف عدم استواء الأسطح

تختلف أشكال و أبعاد انحرافات الأسطح و التي تؤدي إلى عدم استوائها تبعاً لمتغيرات متعددة مثل نوع الخامة المستخدمة وطريقة التثبيت و دقة ماكينات التشغيل وغير ذلك من العوامل الأخرى. و يُمكن تقسيم عدم استواء الأسطح إلى ما يلي تبعاً لأشكالها المختلفة الموضحة بشكل (4-2):

(أ) الحيود (Deviation) : و هو يعني الانحراف أو عدم الاستواء في الأشكال المسطحة و عدم الاستدارة في الأشكال الأسطوانية، كما يظهر ذلك في شكل (4-2) (أ). و ينشأ هذا النوع نتيجة لوجود خلوص بين المسارات الدليلية للأدلة

الانزلاقية بماكينات التشغيل، أو لانحناء الماكينة أو المشغولة نتيجة عدم التثبيت الأمثل للمشغولة، إلى جانب احتمالية وجود عيوب أو تشوه بالتصليد في الخامة المستخدمة.

(ب) التموجات (Waviness): يوضح شكل (4-2) (ب) هذه النوعية من عدم استواء الأسطح و التي تنتج من الدوران غير المنتظم، أو للاهتزازات الزائدة لأعمدة ماكينات التشغيل، أو لحدوث أخطاء في تثبيت المشغولة. و يتراوح طول هذه التموجات بين 1 مم ،25 مم وارتفاعها بين 0.02 مم ، 0.05 مم.



الشكل (4-2): الأشكال المختلفة لعدم استواء الأسطح.

(ج) الأخاديد (Grooves): تنتج هذه الانحرافات في المشغولات نتيجة لوجود عيوب في التركيب البنائي لسطحها، كما تنشأ من شكل حد القطع للعدة و التغذية غير المناسبة. وُيبين شكل (4-2) (ج) تمثيلاً لأخاديد السطح.

(د) الحزوز (Notches): تنشأ حزوز الأسطح التي تظهر في شكل (4-2) (د)، نتيجة أسلوب توجيه العدة على السطح المُشغل و التصاق الرائش بالحد القاطع للعدة.

و في الحياة العملية تجتمع الأسباب التي تم ذكرها معاً و تتراكب الأنواع المختلفة لانحرافات الشكل وبالتالي يكون السطح غير مستو و تظهر فيه تموجات و أخاديد و حزوز في نفس الوقت، كما هو مبين بشكل (4-2 (و)).

و تشمل خشونة الأسطح (Surface Roughness) وجود الأخاديد والحزوز، و تكون أبعادها في غاية الصغر ،فيتراوح طولها بين 0.005 مم ، 0.25 مم وارتفاعها بين 0.000025 مم ، 0.012 مم. أما التموجات و عدم الاستواء (أو عدم الاستدارة) فيتم تصنيفها على أنها عدم انتظام في الشكل، و هذا ما سيتم تناوله بتفصيل أكثر في الوحدة الخامسة.

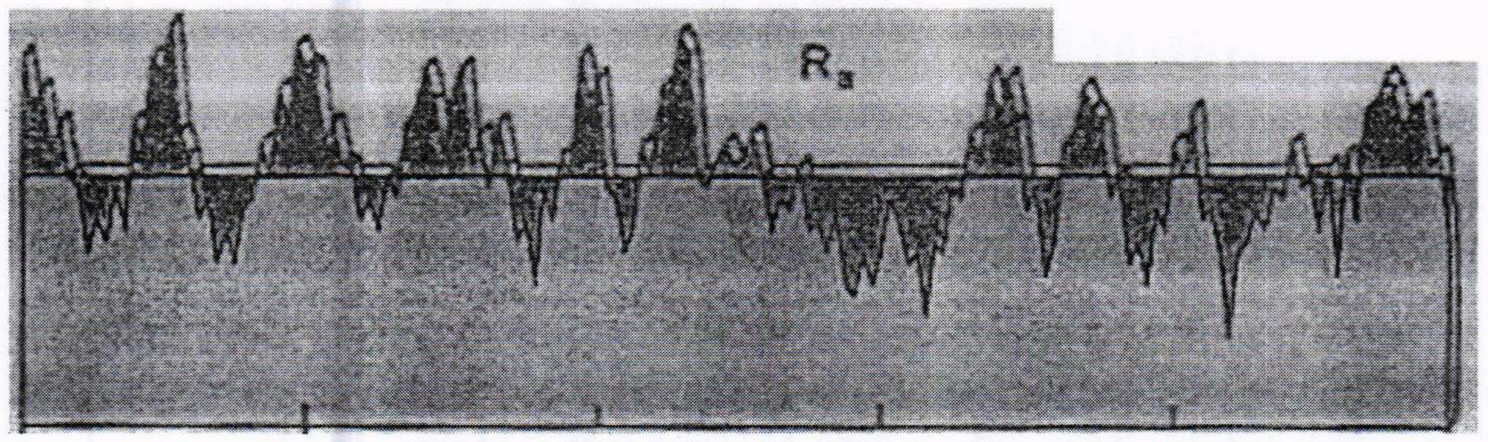
3-4 **مقاييس الخشونة** (Roughness parameters)

لكي يتم وصف خشونة الأسطح بطريقة محددة، كان لابد من الاتفاق على مقاييس عددية تعبر عن درجة خشونة السطح. و قد اتفق المتخصصون في مجال خشونة الأسطح على عدد من المقاييس العددية لتكون مقاييس موحدة تستخدم للتمييز بين الأسطح ذات درجات الخشونة المختلفة. و هذه المقاييس هي:

٤-٣-١ الخشونة المتوسطة (Arithmetic average roughness, R_a)

هي المتوسط الحسابي لمدى ابتعاد الانحرافات عن البعد الفعلي المتوسط. و يتم حساب الخشونة المتوسطة بقسمة مجموع المساحات المظللة (شكل (4-3)) على طول العينة. و يمكن تقريب هذه القيمة لتكون مجموع الانحرافات (r_n) مقسوماً على عددها (N)،أي:

$$R_a = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} r_n$$



شكل (4 -3) :الخشونة المتوسطة R_a.

4-3-2 عمق الخشونة (Roughness depth, R_t)

هو البعد بين الحد الأقصى و الحد الأدنى للانحرافات. و يعتبر عمق الخشونة من أكثر المقاييس المستخدمة لتقييم بنية الأسطح، و لكنه لا يعطي فكرة واضحة عن

الخواص الانزلاقية للأسطح و مقاومتها للبري. لذلك يتم الاستعانة بمقاييس أخرى لخشونة الأسطح للوصول لأعلى دقة في تقييم الأسطح.

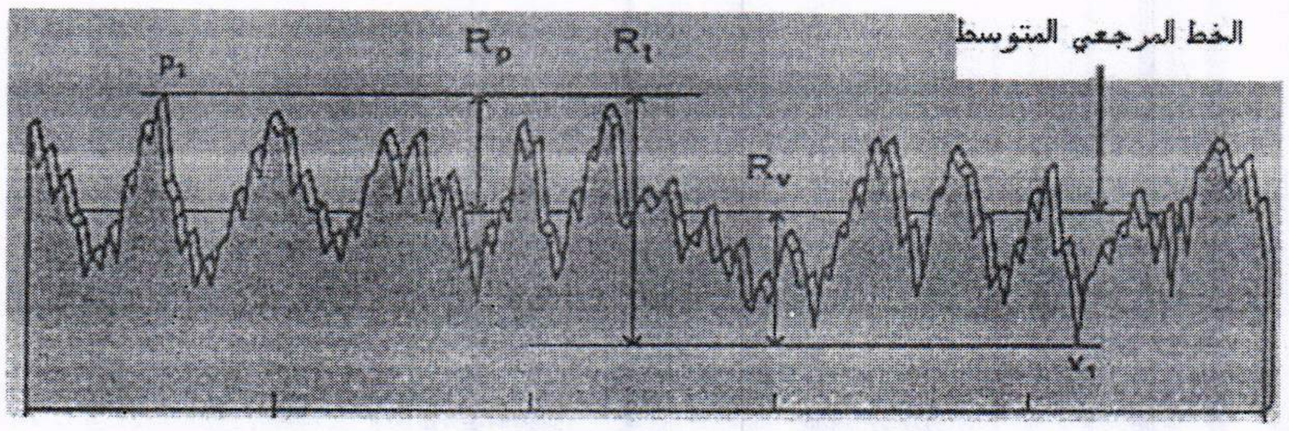
4-3-3 عمق التسطيح (الاستواء) (Maximum peak height, R_p)

هو البعد بين الحد الأقصى و الخط المرجعي المتوسط للانحرافات. و يدل هذا المقياس على المقدار اللازم لضغط قمم التموج الفعلية حتى تصبح مستوية. و يمتاز هذا المقياس عن المقاييس الأخرى للخشونة، بأنه يعطي أفضل بيان عن الأداء الوظيفي للسطح مثل الأسطح الانزلاقية أسطح الإزواجات التداخلية التي يتم تركيبها بالكبس.

4-3-4 العمق الأدنى للخشونة (Minimum valley depth, R_v)

هو البعد بين الحد الأدنى و الخط المرجعي المتوسط للانحرافات. و يوضح الشكل (4-4) كلاً من مقاييس الخشونة R_t, R_p, R_v و التي ترتبط ببعضها البعض بالعلاقة الآتية:

$$R_t = R_p + R_v$$

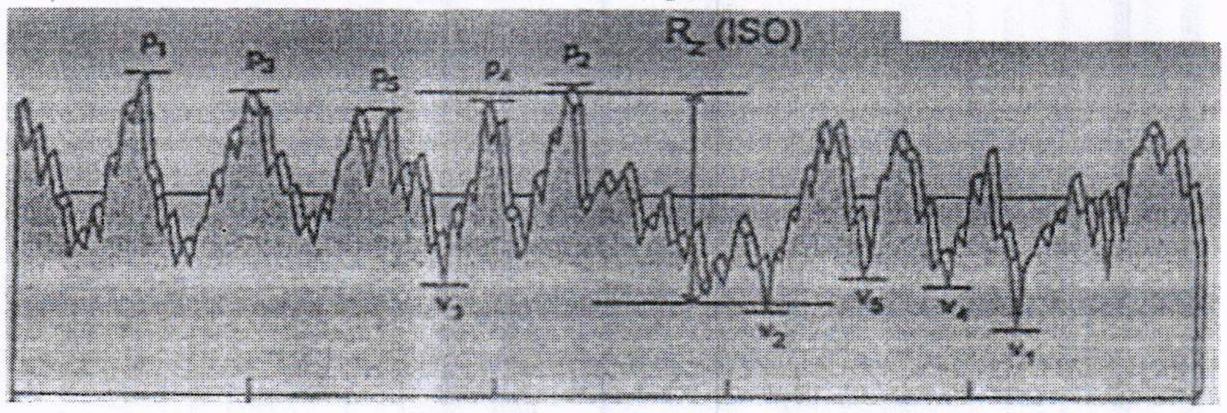


الشكل (4 -4) :عمق الخشونة R_t و عمق التسطيح R_p.

4-3-5 متوسط أقصى انحرافات للسطح (R_z)

هو متوسط الفرق بين أعلى خمسة انحرافات (شكل (4 -5)) $(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5)$ و أدنى خمسة انحرافات $(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5)$ في العينة المقاسة. و طبقاً لمواصفات ISO و بالنظر إلى شكل (4-5) نجد أن:

$$R_z = \frac{(p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5) - (v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5)}{5}$$



الشكل (4 -5) : متوسط أقصى انحرافات للسطح R_z.

6-3-4 متوسط الجذر التربيعي لانحرافات السطح (Root mean squared roughness, R_q)

هو الجذر التربيعي لمتوسط مجموع مربعات الانحرافات. و تظهر أهمية هذا المقياس عند تقييم الخواص الضوئية للأسطح. و تستخدم المعادلة التالية لحساب R_q :

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} r_n^2}$$

حيث N : عدد نقاط القياس.

r_n: قيمة الانحراف عند نقاط القياس.

• إن المقاييس التي تم تعريفها هي أكثر المقاييس أهمية و استخداماً في مجال الإنتاج، ولكن توجد أيضاً مقاييس أخرى مشابهة و كذلك مقاييس لحساب طول موجة الخشونة. و هذه المقاييس يستخدمها المتخصصون بكثرة عند إجراء دراسات بحثية في مجال خشونة الأسطح.

مثال:

في تجربة معملية لتقييم خشونة أحد الأسطح تم أخذ القراءات التالية عند ١٨ نقطة قياس على السطح:

موضع القياس	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	١٨
الانحراف (μm)	٧	١٩	٢٧	١٩	١٧	١٥	٩	٣	١٣	١٥	١٩	١١	٢٢	١٣	٨	٣	١	١١

احسب مقاييس الخشونة R_t, R_z, R_a, R_q.

الحل:

بالرجوع إلى شكل (4 -4) نجد أن عمق الخشونة R_t يمكن حسابه كالتالي:

$$R_t = p_1 - v_1$$
$$= 27 - 1 = 26 \ \mu m$$

و باستخدام معادلات تعريف كل من R_q, R_a, R_z، نستطيع حساب القيم المطلوبة كالتالي:

$$R_z = \frac{(p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5) - (v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5)}{5}$$

$$R_z = \frac{(27+22+19+19+19)-(1+3+3+7+8)}{5} = 16.8 \ \mu m$$

$$R_a = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} r_n$$

µm

$$R_a = \frac{(7+19+27+19+17+15+9+3+13+15+19+11+22+13+8+3+1+11)}{18} = 12.89$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} r_n^2}$$

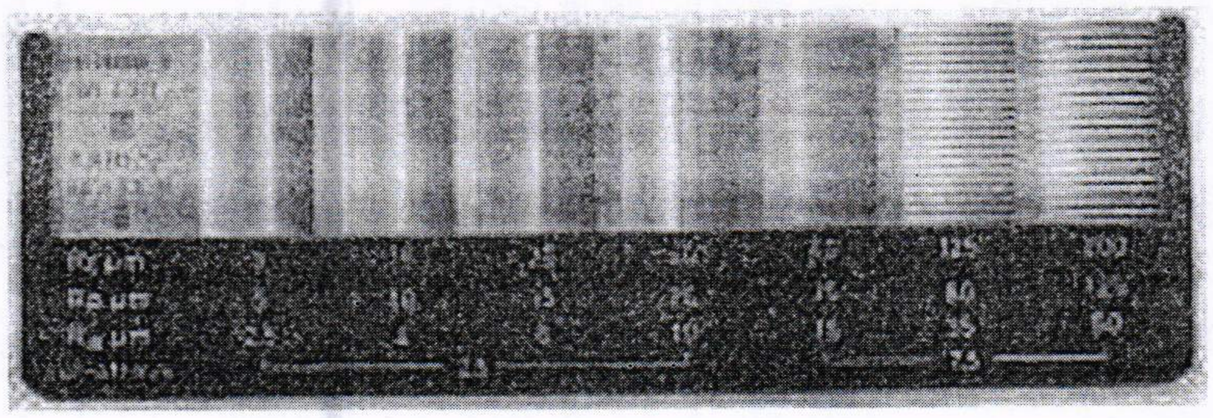
$$R_q = \sqrt{\frac{(7^2+19^2+27^2+.....+3^2+1^2+11^2}{18}} = 14.58\,\mu m$$

4-4 طرق قياس خشونة الأسطح (Measurement of Roughness)

توجد عدة طرق لتقدير درجة خشونة الأسطح تعتمد كل منها على درجة الدقة المطلوبة في القياس، فمنها طريقة الإحساس اليدوي و التي تصلح للفحص السريع الذي لا يتطلب دقة عالية. كما توجد أجهزة فحص ميكانيكية و كهربية و إلكترونية و ضوئية تستخدم لتتبع تضاريس السطح (قمم ، منخفضات، حزوز، .إلخ...) و تكبيرها و رسمها و حساب مقاييس الخشونة التي سبق الإشارة إليها. و فيما يلي عرض لأهم الطرق الشائعة في قياس خشونة الأسطح.

4-4-1 فحص خشونة الأسطح بواسطة المقارنة بالعينات القياسية

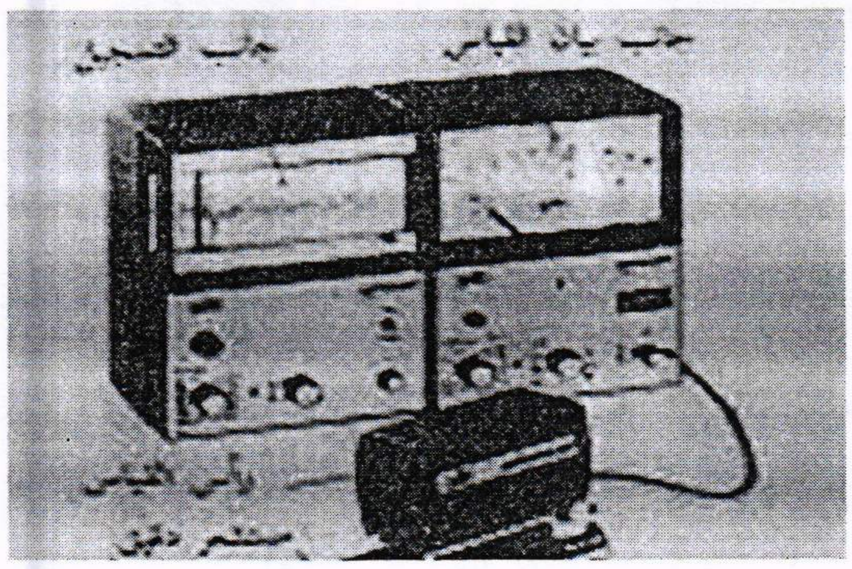
يمكن تقييم عمق الخشونة بطريقة تقريبية بشيء من الخبرة المتوفرة لدى بعض الفنيين ذوي المهارة، و ذلك بإمرار الظفر على سطح قطعة الشغل و سطح عينة مقارنة قياسية عدة مرات بالتناوب. و تكون هذه الطريقة كافية في حالات كثيرة كالخراطة الطولية و الوجهية و التفريز و التجليخ و الكشط بنوعيه. و تتوفر العينات القياسية في شكل مجموعات، تحتوي كل مجموعة على عدد معين من العينات القياسية، ُمدوناً أسفل كل منها عمق الخشونة (R_t) و عمق الاستواء (R_p) و الخشونة المتوسطة (R_a). و حيث إن درجة الخشونة الناتجة تعتمد على طبيعة عملية التشغيل، لذلك توجد لكل عملية تشغيل مجموعة عينات قياسية تناسبها، كتلك المعروضة في شكل (4-6) و الخاصة بعمليات الخراطة الطولية.



الشكل (4-6): أحد العينات القياسية لفحص الخشونة السطحية للخراطة الطولية

2-4-4 قياس الخشونة بجهاز قياس جودة الأسطح (Surface quality instrument)

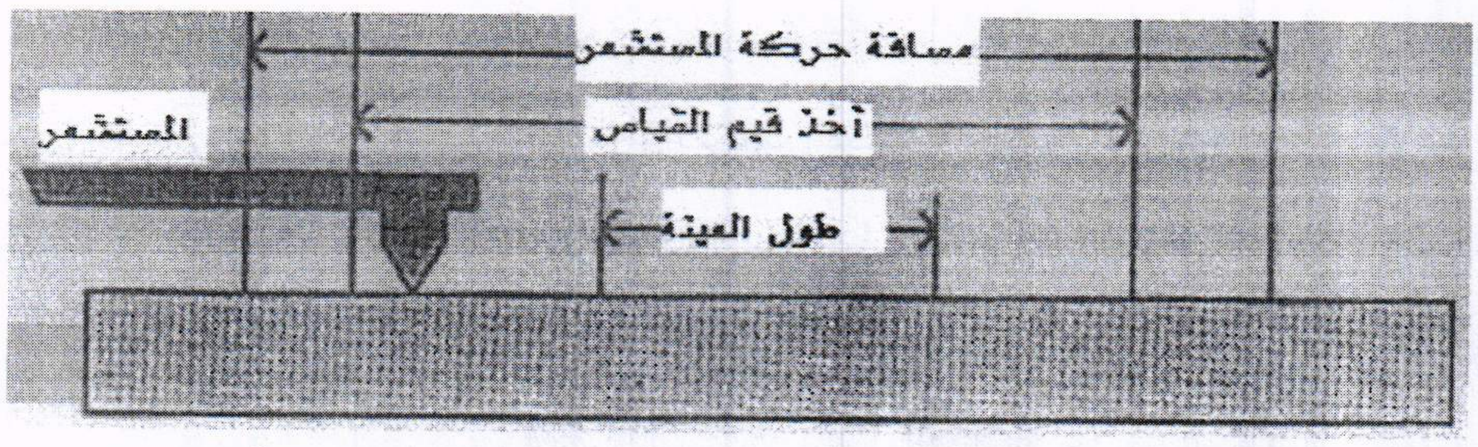
عند الحاجة لقياس خشونة الأسطح بطريقة دقيقة يمكن من خلالها تحديد قيم مقاييس الخشونة الثلاثة (R_t, R_p, R_a) يتم استخدام جهاز قياس جودة الأسطح. و المقصود بجودة الأسطح هنا مدى درجة نعومتها ، فكلما زادت درجة النعومة ارتفعت جودة السطح. و يبين شكل (4-7) أحد الطرازات من هذا الجهاز الذي يتكون من رأس قياس ذي مستشعر دقيق أو جاس (stylus) به إبرة ماسية يبلغ نصف قطرها من 1ميكرون إلى 5 ميكرون لتتمكن من الوصول إلى أدق تضاريس السطح المقاس. و يتصل رأس المستشعر بوحدة بيان (بمؤشر أو رقمية) و بوحدة تسجيل لإظهار و حفظ نتائج القياس على الترتيب. و يمكن تثبيت رأس القياس على حامل عند قياس قطع شغل صغيرة، أو يتم مسكها باليد على قطع الشغل الكبيرة. و في كلتا الحالتين يتحرك المستشعر الدقيق لمسافة معينة تتراوح من 1 مم إلى 5 مم وتسمى هذه المسافة بطول العينة. و لإجراء القياس يتم تحديد طول العينة المقاسة، ثم تتحرك إبرة المستشعر على السطح المقاس خلال مسافة أطول عدة مرات من طول العينة وذلك.



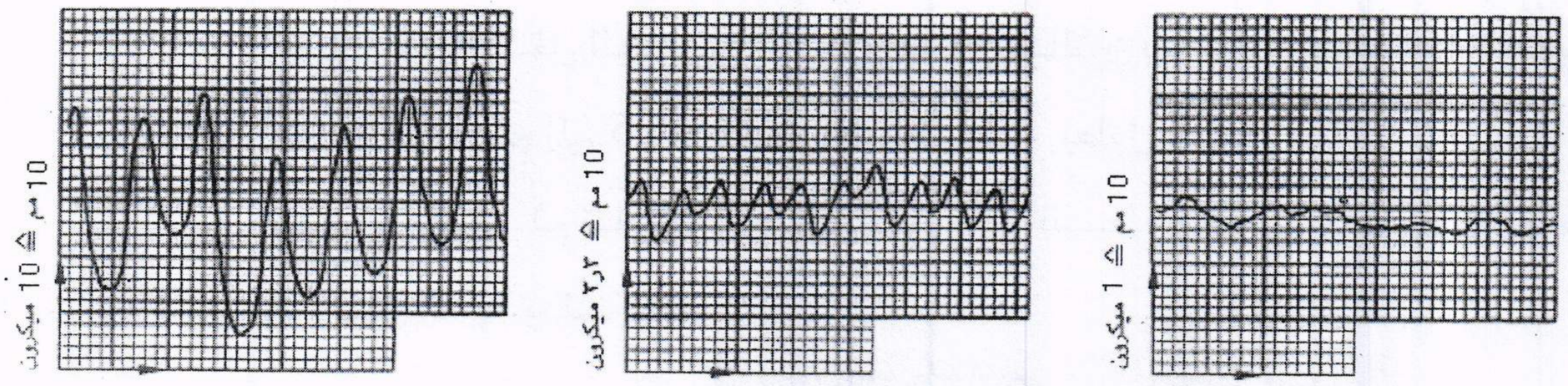
شكل (4-7): جهاز قياس جودة الأسطح

لضمان استقرار حركة المستشعر. و عندما يقترب المستشعر من طول العينة يبدأ في التقاط تضاريس السطح من ارتفاعات و أخاديد كما هو موضح بشكل(4-8). و حيث إن هذه التضاريس تكون ضئيلة جداً، فإنه يتم تضخيمها بواسطة مضخم إلكتروني (مزود به الجهاز) ليتم في النهاية عرضها على وحدة البيان ثم يتم تسجيلها على وحدة التسجيل بغرض

الحفظ و تحليل النتائج لاحقاً. كما يمكن رسم نتائج القياس في صورة منحنى (يمثل محوره الأفقي موضع القياس على طول العينة و المحور الرأسي يمثل قيم التضاريس المقاسه) بواسطة وحدة رسم. ويمكن أن يظهر هذا المنحنى على شاشة مزود بها بعض الأنواع من أجهزة قياس جودة الأسطح. و يتم تكبير القيم المقاسة (المحور الرأسي) عدة أضعاف قد تصل إلى 100,000ضعف و ذلك تبعاً لإمكانيات الجهاز و دقة تضاريس السطح المقاس. أما المحور الأفقى فتكون نسبة تكبيره في حدود من 20 إلى 100ضعف حتى يمكن طباعة المنحنى على شريط طباعة بطول مناسب لتسهيل عرض نتائج القياس و تحليلها كما هو موضح بشكل (4-9).

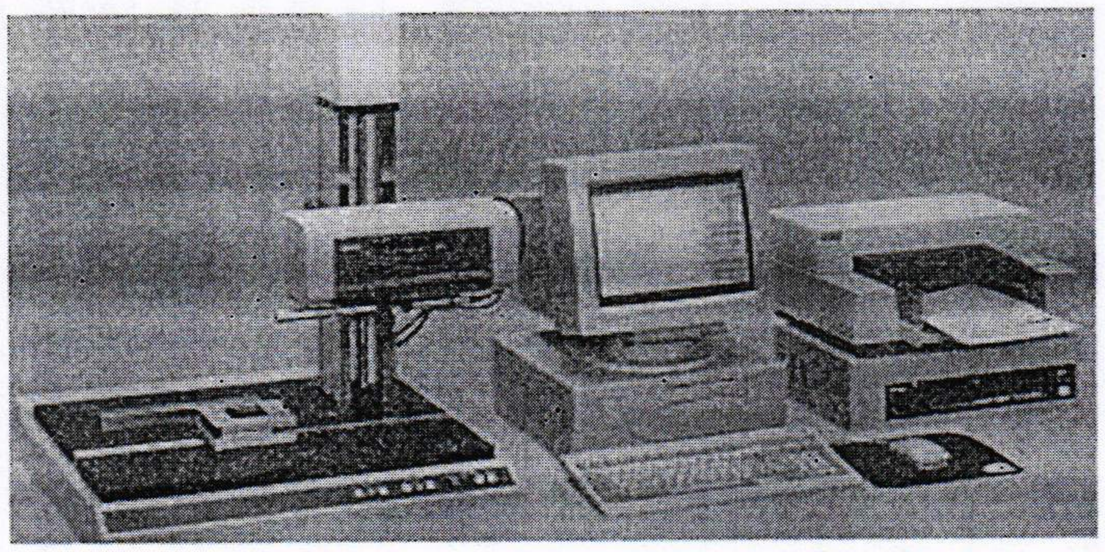


الشكل (4-8): كيفية حركة مستشعر جهاز قياس جودة الأسطح.

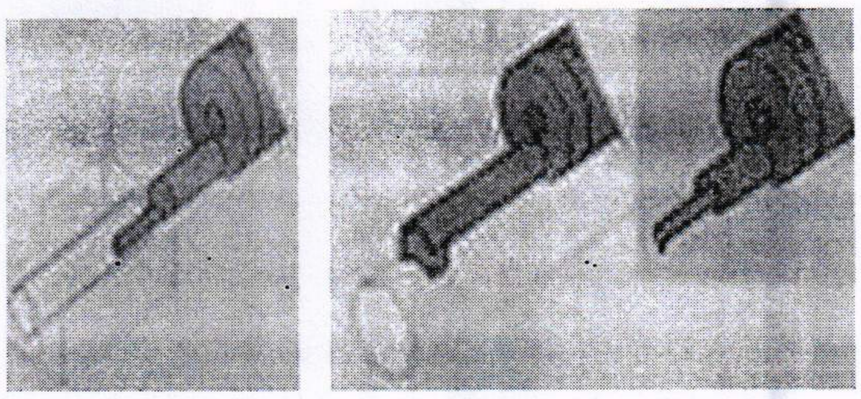


الشكل (4-9): عينات من نتائج قياس تضاريس سطح مكبرة بنسب تكبير مختلفة.

و قد حدث في السنوات الأخيرة تطور كبير في أجهزة قياس خشونة الأسطح لتواكب أحدث تقنيات العصر كالجهاز الموضح في شكل (4-10) (أ). و تكون هذه الأجهزة مبرمجة، فالبيانات تصل مباشرة و بمجرد التقاطها بواسطة المستشعر إلى الحاسب المتصل بالجهاز ليقوم بحساب مقاييس الخشونة المطلوبة و رسمها على شاشته بنسب تكبير تصل إلى 500,000 ضعف، ثم تتم الطباعة بواسطة الطابعة المرفقة. أما المستشعر فيأتي كوحدة متكاملة يتم تركيبها في الجهاز. و توجد أشكال متعددة لطرف المستشعر يمكن تبديلها لتلائم شكل السطح المراد قياسه كما هو موضح في شكل (4-10) (ب).



(أ)

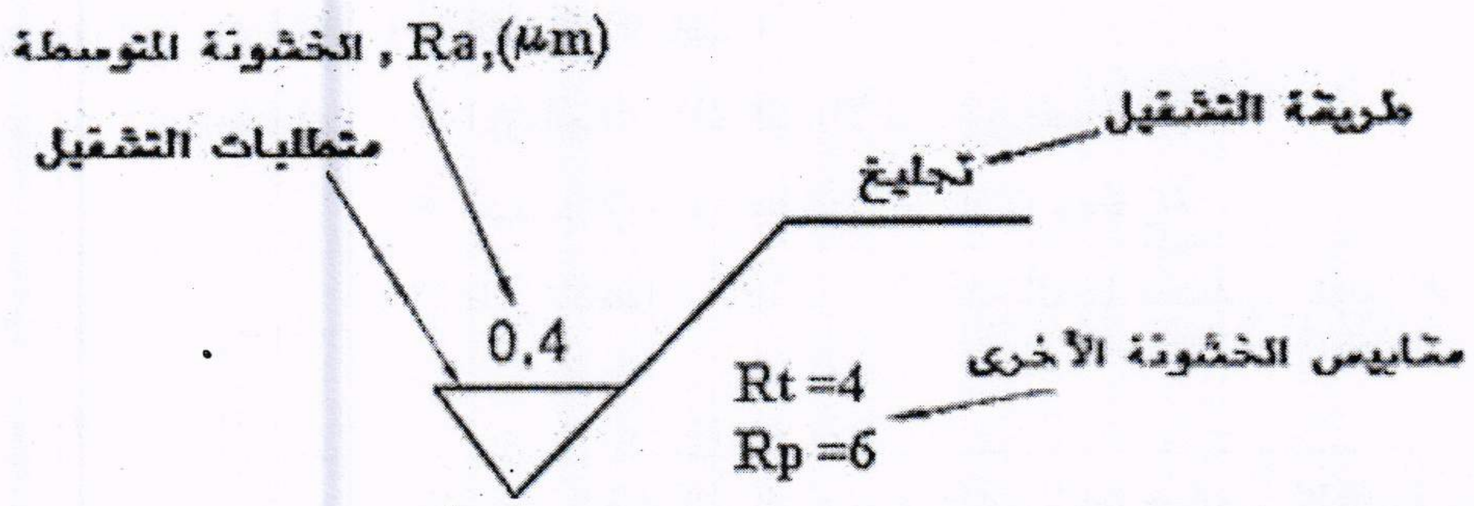


(ب)

الشكل (4-10): أحد أجهزة قياس خشونة الأسطح الحديثة و عدد من المستشعرات لتطبيقات مختلفة.

٤-٥ رموز تشطيب الأسطح في الرسومات الهندسية(Surface finish specification standards)

من المعروف أن الرسومات الهندسية تحتوي على رموز و مصطلحات لتمييز الأبعاد و الأقطار الخارجية و الداخلية و عمليات التصنيع المختلفة التي تتم على المشغولات التي تحتوي عليها هذه الرسومات، بالإضافة لذلك توجد رموز و مصطلحات تمييز الدرجات المختلفة لخشونة الأسطح. و قد أصدرت منظمة ISO مواصفة رقم 1302 عام 1978 و التي تحتوي على مصطلحات و علامات خاصة تشير إلى مقاييس الخشونة و جودة السطح و أسلوب الإنتاج. و يوضح شكل (4-11) هذه الرموز التي تشير إلى مقاييس الخشونة (R_a, R_p, R_t) و طريقة التشغيل (تنعيم ، تجليخ، خراطة، .....) و أي متطلبات أخرى للتشغيل (إزالة رايش، عدم تشغيل لسطح، .....إلخ).

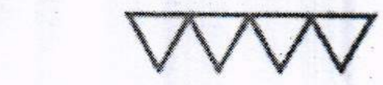
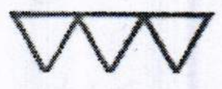
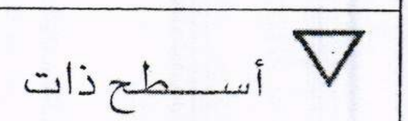


الشكل (4-11): رموز تشطيب السطح طبقاً لمواصفة ISO.

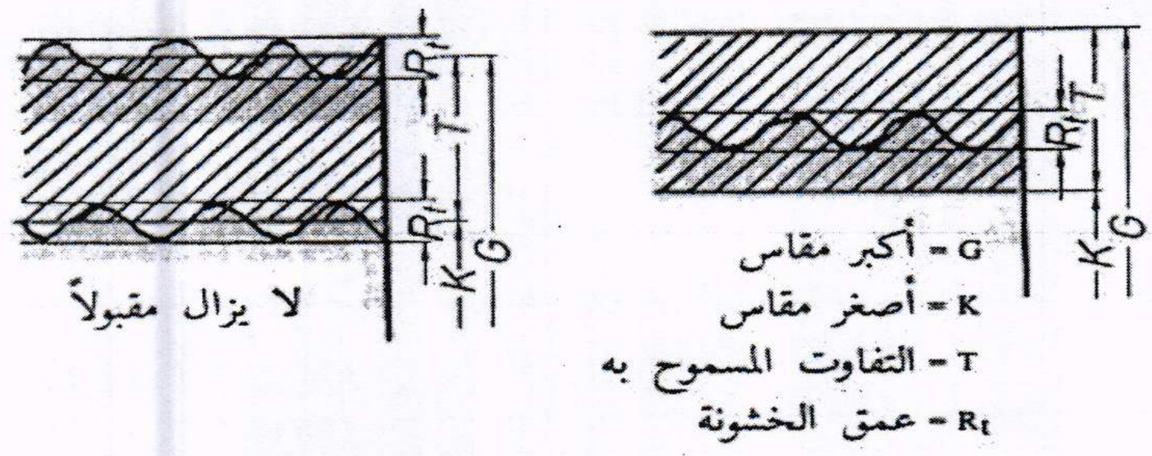
و من الجدير بالذكر أنه قبل صدور مواصفة ISO كانت الرموز الشائعة الاستخدام هي تلك التي تتبع مواصفة DIN ١٤٠ لعام 1960، و فيها تتم الإشارة إلى درجة تشطيب

(إنجاز) السطح بالعلامات الموضحة في جدول (4-1) و الذي يحتوي أيضاً على أمثلة من التطبيقات التي تستخدم درجات التشطيب المذكورة.

جدول (4-1): رموز تشطيب (إنجاز) الأسطح و الاستخدامات المناظرة.

رمز تشطيب (إنجاز) السطح و مدلوله	تطبيقات الاستخدام
 الأسطح ذات قيم الإنجاز الفائقة	• الأسطح المانعة بدون استخدام مواد مانعة للتسرب و التي تستخدم للضغوط العالية (أوعية الضغط و أنابيب الضغط العالي). • الإزواجات الخلوصية المعرضة لتحميل عالٍ (الاسطوانات و الكباسات الهيدروليكية). • الإزواجات التداخلية (أعمدة التوربينات و أطواق العجلات). • أسطح القياس في أجهزة القياس (قوالب القياس المنزلقة ، محددات القياس السدادية). • الأسطح الانزلاقية (أسطوانات و مكابس المحركات).
 الأسطح ذات قيم الإنجاز العالية	• الأسطح المانعة بدون استخدام مواد مانعة للتسرب و التي تستخدم للضغوط المنخفضة (أوعية الضغط). • الإزواجات الخلوصية المعرضة لتحميل كبير (المحامل الانزلاقية). • الإزواجات الانزلاقية (العجلات المنزلقة على الأعمدة). • الأسطح الانزلاقية (الأدلة الانزلاقية). • أسطح التدحرج (المحامل التدحرجية و جوانب أسنان التروس). • أسطح التثبيت (الثقوب و السيقان المخروطية لتثبيت العدد).
 الأسطح ذات قيم الإنجاز المتوسطة	• الأسطح المانعة باستخدام مواد مانعة للتسرب (الشفاه). • أسطح الإزواجات الخلوصية المعرضة لتحميل خفيف (المحامل الانزلاقية ذات الخلوص الكبير). • الإزواجات الانتقالية (الأعمدة و صرر العجلات). • أسطح الإزواج (حواف و أكتاف المركزة).
 أسطح ذات قيم إنجاز منخفضة	أسطح الاتصال و التقابل، وأسطح الربط بمسامير ملولبة للأجزاء الكبيرة.
	الأسطح الخام الناتجة من عمليات لا تنتج رايشاً (الصب النظيف ، التشكيل بالقوالب، الطرق بعناية، التشغيل بالبرادة).
بدون علامة	الأسطح الخام الناتجة من عمليات الحدادة و السحب و الضغط و الدرفلة و التشكيل.

و نظراً لأن خشونة السطح تسبب زيادة أو نقص (انحرافات) في أبعاد قطع الشغل، فيجب مراعاة ألا تتعدى هذه الانحرافات قيم التفاوتات المسموحة و إلا أصبح المنتج غير مقبول. لذلك فإن عمق الخشونة (R_t) يجب أن يكون في حدود نسبة صغيرة (لا تزيد عن 30%) من التفاوت المسموح، و بالتالي يُراعى تقليل عمق الخشونة كلما كان التفاوت المسموح منخفضاً. ويوضح شكل (٤-١٢) المقاسات المختلفة لقطعة شغل و عمق خشونة سطحها الذي يظهر كجزء صغير من التفاوت المسموح به للأبعاد، لذلك فقيمة هذا العمق لا تزال مقبولة في كلتا الحاليتين المبينتين.



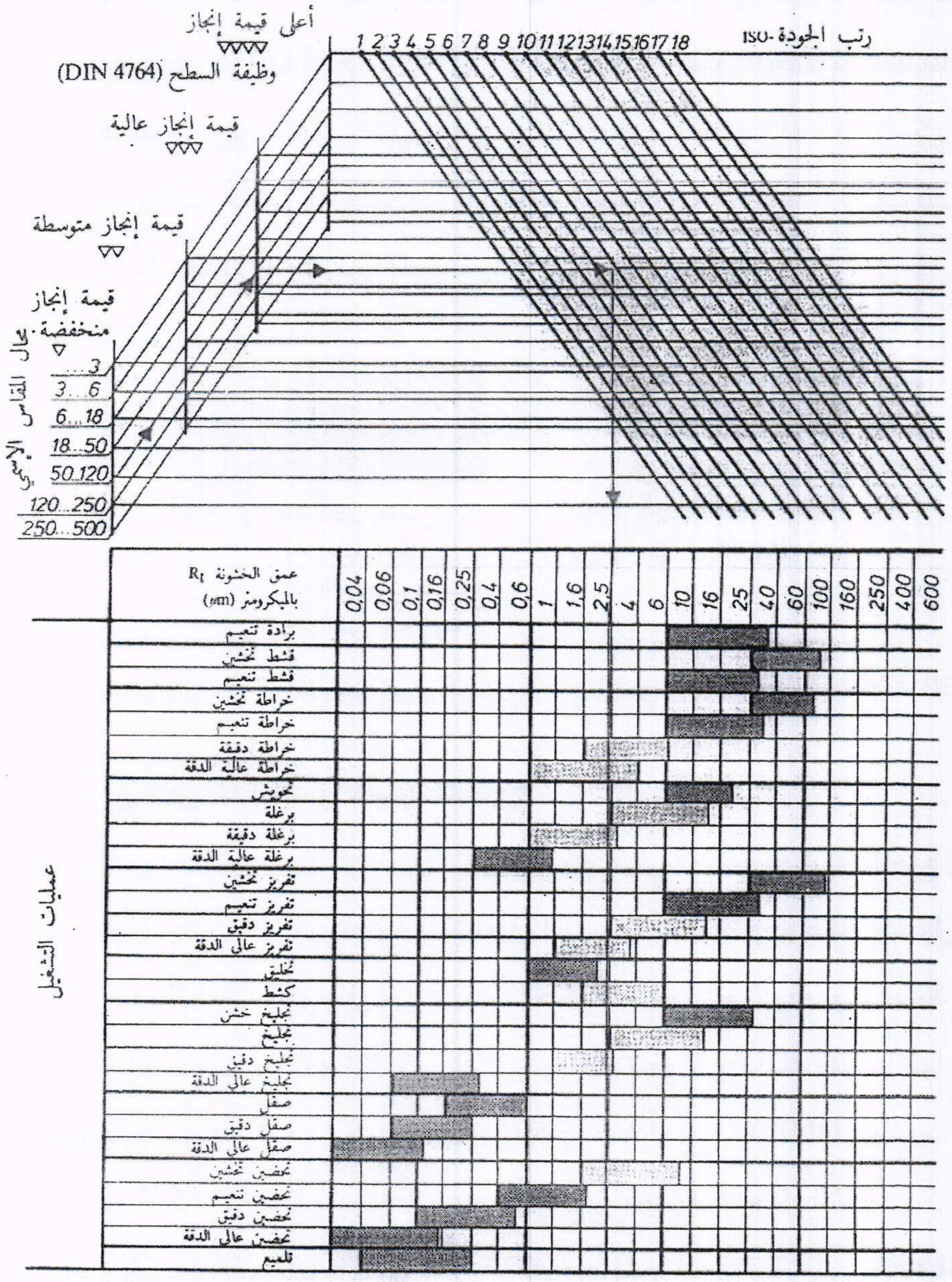
الشكل (٤-١٢): تناسب عمق الخشونة مع التفاوت المسموح للمشغولات المقبولة.

٤-٦ العلاقة بين عمق الخشونة والتفاوت المسموح

و لكي يصل عمق الخشونة إلى القيم التي تحقق تناسبها مع قيم التفاوتات المسموحة، فيجب استخدام عملية التشغيل المناسبة لذلك. و يوضح جدول (4-2) عمليات التشغيل التي يمكن بها التوصل إلى ألقيم المختلفة لعمق الخشونة. و ارتباط تلك العمليات برتب التفاوتات المسموحة و المقاس الاسمي للمشغولة و ذلك طبقاً لمواصفات ISO. و لتوضيح كيفية استخدام هذا الجدول، سنأخذ مثالاً لعمود $\varphi 60\ h7$ مطلوب تشغيله بدرجة تشطيب سطح ▽▽ ، فإذا تتبعنا الأسهم بداية من تحديد المجال الاسمي (50-120) ثم الوصول إلى قيمة التشطيب المطلوبة (▽▽▽)، فالتحرك أفقياً حتى ملاقاة رتبة التفاوت (الجودة (7))، و أخيرا النزول رأسياً، سنجد أن عمق الخشونة (R_a) المراد الوصول إليه على هذا العمود يجب ألا يزيد عن 2.5µm. و يتضح من الجدول أن هذه القيمة يمكن الحصول عليها عن طريق أي من عمليات التشغيل التي تقع على يسار قيمة عمق الخشونة المطلوبة (الخراطة عالية الدقة، ...). وإذا رجعنا إلى جدول (3-1) للتفاوتات المسموحة للأعمدة ، سنجد أن قيمة التفاوت المسموح ($T = 30\mu m$)، أي أن نسبة عمق الخشونة إلى

التفاوت المسموح تقل عن 10% و هذا يجعل العمود المنتج مقبولاً من حيث الأبعاد كما ذكرنا من قبل.

جدول (4-2): عمليات التشغيل المختلفة و علاقتها برتب التفاوت و عمق الخشونة.



تمارين

(1) قارن بين كل من:

(أ) الأنواع المختلفة من عدم استواء الأسطح

(ب) المقاييس المختلفة لخشونة الأسطح

(2) في تجربة معملية لتقييم خشونة أحد الأسطح تم أخذ القراءات التالية عند ١٣ نقطة قياس على سطح القياس، احسب مقاييس الخشونة R_q, R_a, R_t

رقم نقطة القياس	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣
الانحراف (μm)	٣	١٩	٢٢	١٥	٣٠	١٩	٢٧	١٩	٣٠	١٢	٢٢	١٤	٥

{27 ميكرون، 18.2 ميكرون، 19.9 ميكرون}

(3) في التطبيقات الثلاثة التالية، حدد عمق الخشونة و عملية التشغيل المناسبة مستعيناً بالجدول (4-2) و جداول تفاوتات الثقوب و الأعمدة بالوحدة الثالثة.

(أ) إزواج خلوصي لمحمل انزلاقي $\varphi 40\ H_6$ مُعرض لتحميل كبير.

(ب) إزواج انتقالي لعمود $\varphi 100\ n_7$ و مُصرة ترس $\varphi 100\ H_7$

(ج) إزواج خلوصي لاسطوانة هيدروليكية $\varphi 8\ h_6$ و كباس $\varphi 8\ H_6$ معرض لتحميل كبير.

الوحدة الخامسة

قياس الشكل و الوضع

الوحدة الخامسة :قياس الشكل و الوضع

الجدارة

التعرف على كيفية فحص الأشكال الاسطوانية و قياس الوضع

الأهداف

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة بإذن الله على معرفة:

- أهمية التفاوتات الهندسية لبعض القطع الانتاجية
- توصيف التفاوتات الهندسية في الرسومات الفنية
- أجهزة قياس التفاوتات الهندسية
- أجهزة قياس الوضع

مستوى الأداء المطلوب

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب

ساعتان

الوسائل المساعدة:

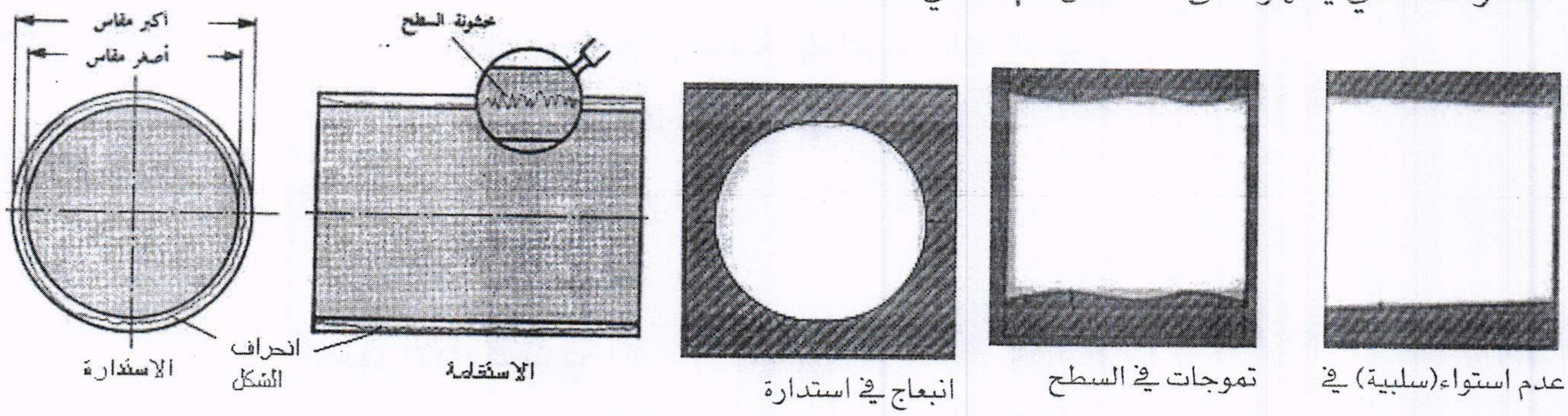
- عارض بيانات.
- حاسب آلي.
- سبورة.

متطلبات الجدارة

اجتياز الوحدات السابقة

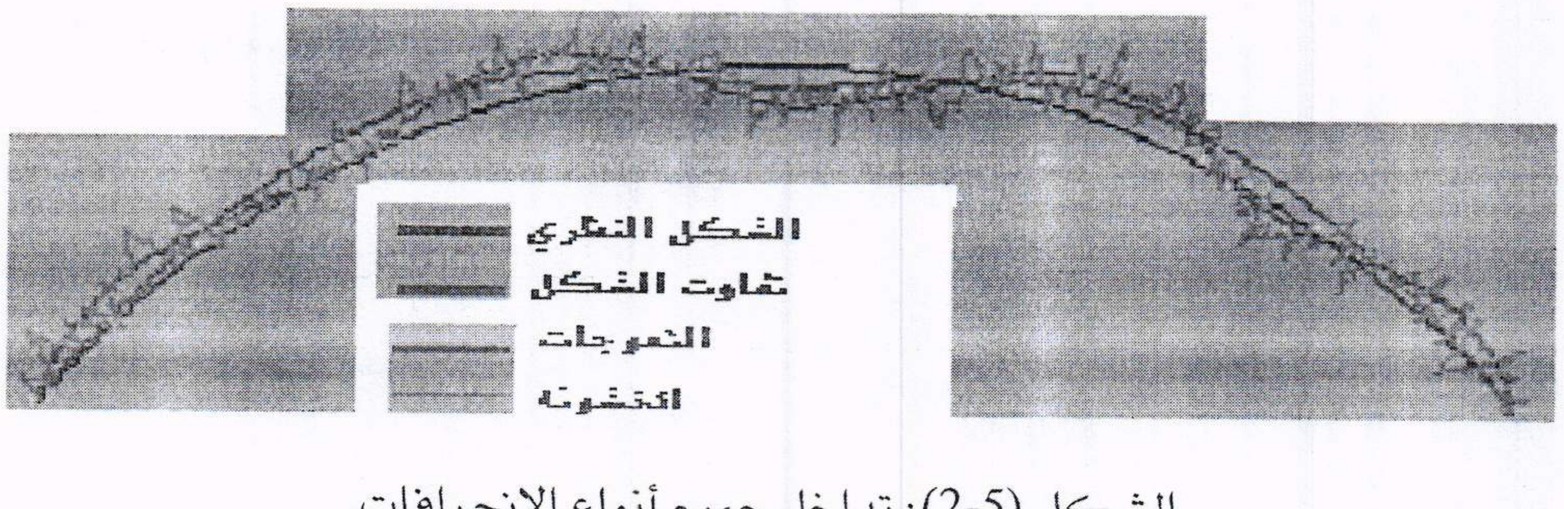
5-1 مقدمة

تطرقنا في الوحدة الثالثة لدراسة التفاوتات التي تحدث في الأبعاد الاسمية للمنتجات و كيفية تحديدها بحيث تقع في نطاق مسموح ومن ثم يمكن التجاوز عنها و يصبح المنتج مقبولاً من ناحية الأبعاد. لكن هذه التفاوتات ليست الوحيدة التي لا يمكن التخلص منها بصورة مطلقة، بل توجد انحرافات أخرى كتلك الأخطاء التي تظهر على الأشكال الداخلية و الخارجية للقطع الموضحة في شكل (5-1). و يتضح من هذه الأمثلة أن الأبعاد الفعلية للقطع تقع ما بين الحدين الأدنى و الأعلى للمقاس، و لكن هناك حيوداً آخر غير حيود الأبعاد قد يجعل هذه القطع غير مقبولة ، و هذا الحيود يُسمى بالتفاوت الهندسي أي الانحراف الذي يظهر على الشكل الهندسي للقطعة.



الشكل (5-1): التفاوتات الهندسية المختلفة.

و كما أشرنا في الوحدة الرابعة، فإن الحزوز و الأخاديد الموجودة على الأسطح يتم تصنيفها كخشونة لهذه الأسطح، أما التموجات و عدم الاستواء (أو عدم الاستدارة) فهي أحد أنواع التفاوتات الهندسية التي سيتم تناولها بشيء من التفصيل في هذه الوحدة. و يجب التأكيد عل أن كلاً من الانحرافات الهندسية و الخشونة تكون في الواقع مجتمعة معاً (شكل (5-2)) في قطعة الشغل و لا يمكن فصل بعضها عن بعض.



الشكل (5-2): تداخل جميع أنواع الانحرافات.

2-5 أنواع التفاوتات الهندسية (Types of Geometrical tolerances)

يمكن تقسيم التفاوتات الهندسية في المشغولات إلى خمسة أنواع تم تعريف كل منها كما يلي و ذلك طبقاً للمواصفة ANSI Y14.5M-1982.

تفاوت الشكل (Form tolerance): يعبر عن مدى حيود سطح فعلي عن الشكل المرغوب والذي يتضمنه الرسم الهندسي. وهو يشمل: الاستواء و الاستقامة و الاستدارة و الاسطوانية.

تفاوت الجانبية (Profile tolerance): يعبر عن مدى حيود سطح فعلي عن الشكل المرغوب ،والذي يتضمنه الرسم الهندسي، بالنسبة لمرجع أو مراجع إسناد. و الانحرافات الجانبية إما أن تكون لخط أو لسطح.

تفاوت الاتجاه (Direction tolerance) : يعبر عن مدى حيود سطح فعلي بالنسبة لمرجع أو مراجع إسناد. و تتضمن انحرافات اتجاه كل من التعامد و الزاوية و التوازي.

تفاوت الموضع (Position tolerance) : يعبر عن مدى حيود أحد سمات المقاس الفعلي عن الموقع المحدد بالرسم الهندسي و الذي يرتبط بمرجع إسنادي أو بمراجع إسنادية أو بسمات أخرى. و هذه النوعية تشمل انحرافات الوضع و أحادية المركز.

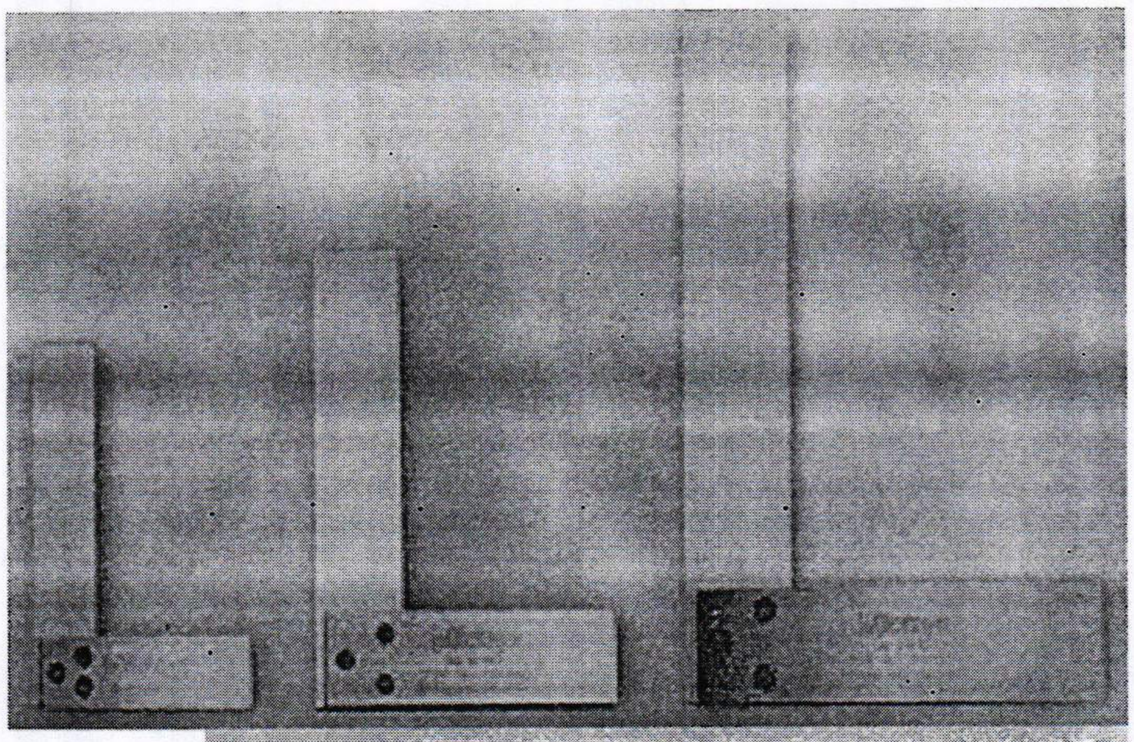
تفاوت الانتحاء (Circular roundout tolerance) : يعبر عن مدى حيود سطح فعلي عن الشكل المرغوب والذي يتضمنه الرسم الهندسي. وذلك أثناء دوران السطح دورة كاملة (360^{o}) حول محور إسنادي. و الانتحاء إما أن يكون دائرياً أو أن يكون كلياً.

و قد تم إعطاء رمز خاص لكل نوع من أنواع التفاوتات الهندسية، كما يعرض ذلك جدول (5-1)، حتى يسهل التعبير عنها في المراحل المختلفة التي يمر بها المنتج بدءًا من وضع التصميم على الرسومات الهندسية و مروراً بمرحلة التصنيع إلى أن يصبح في صورته النهائية. وتجدر الإشارة إلى أن قيم أي من هذه التفاوتات يجب ألا يتعدى حدود التفاوت المسموح بها في المقاس ما لم ينص في الرسم على غير ذلك. كما تُستخدم هذه المصطلحات للتعبير عن مدى دقة أدوات القياس التي تكون التفاوتات الهندسية عنصراً مؤثراً فيها مثل

قوالب القياس و فكوك قياس الميكرومتر و القدمة. فمن المهم جداً أن تحتوي الكتالوجات الخاصة بهذه الأدوات على قيم التفاوتات الهندسية التي لها تأثير مباشر على عملية القياس مثل التوازي و التعامد و الاستواء و الاستقامة. فإذا أخذنا على سبيل المثال الكتالوج الموضح في شكل(5-3) لأحد محددات قياس الزوايا ، نجد أنه يحتوي على القيم المسموح بها لتفاوتات الاستقامة و التوازي لأحرف ساقي القياس و كذلك الاستواء و التوازي لأوجه سطحي القياس.

الجدول (5-1): رموز الانحرافات الهندسية.

الرمز	المدلول	الرمز	المدلول
	الاستواء (Flatness)	//	التوازي (Parallelism)
—	(لمحور) الاستقامة (Straightness) (of an axis)	⌒	جانبية خط (Profile) (of a line)
—	(لسطح) الاستقامة (Straightness) (surface element)	⌓	جانبية سطح (Profile) (of a surface)
○	الاستدارة (Roundness)	↗	الانتحاء الدائري (Circular Runout)
⌭	الاسطوانية (Cylindericity)	⌰	الانتحاء الكلي (Total Runout)
⊥	التعامد (Perpendicularity)	◎	أحادية المركز (Concentricity)
∠	الزاوية (Angularity)	⌖	الوضع الصحيح (True Position)



DESCRIPTION	STRAIGHTNESS OF BLADE EDGES GRADE A	GRADE B	PARALLELISM OF BLADE EDGES GRADE A	GRADE B
75mm/3"	4µm	8µm	5µm	8µm
100mm/4"	4µm	8µm	5µm	8µm
150mm/6"	4µm	8µm	5µm	8µm
200mm/8"	4µm	8µm	8µm	12µm
225mm/9"	6µm	12µm	8µm	12µm
300mm/12"	6µm	12µm	8µm	12µm

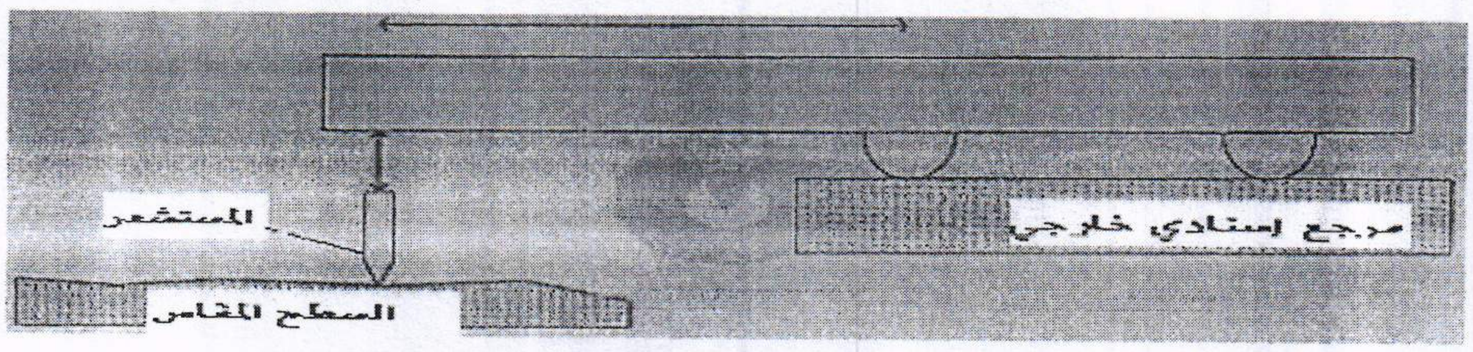
DESCRIPTION	FLATNESS OF WORKING FACES GRADE A	GRADE B	PARALLELISM OF WORKING FACES GRADE A	GRADE B
75mm/3"	2µm	4µm	3.5µm	5µm
100mm/4"	3µm	6µm	3.5µm	5µm
150mm/6"	3µm	6µm	3.5µm	5µm
200mm/8"	4µm	8µm	5µm	8µm
225mm/9"	4µm	8µm	5µm	8µm
300mm/12"	4µm	8µm	5µm	8µm

الشكل (5-3): قيم التفاوتات الهندسية المسموحة لبعض محددات قياس الزوايا.

5-3 أجهزة قياس التفاوتات الهندسية (Geometrical tolerance measuring Instruements)

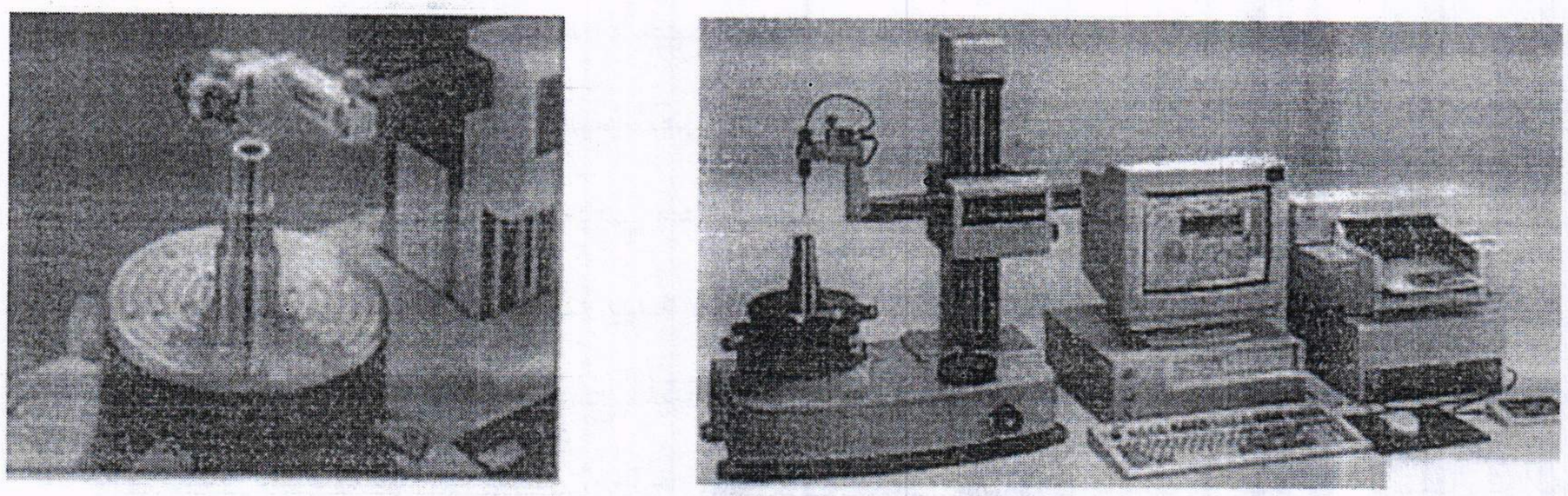
يتم قياس التفاوتات الهندسية السابق تعريفها (عدا تفاوتات الوضع) بواسطة أجهزة اختبار الأسطح، و هي أجهزة إلكترونية تتشابه في شكلها مع أجهزة قياس خشونة الأسطح، فهي تعتمد أساساً على وجود مستشعر دقيق (Stylus) يتحرك على السطح المقاس خلال طول العينة المحددة للقياس بسرعة دورانية أو خطية تختلف قيمها باختلاف طراز الجهاز و القطعة المقاسة. و هذه الأجهزة تكون مبرمجة و متوفر في ذاكرتها مسارات هندسية مرجعية قياسية تمد بها المستشعر لتعطيه شكل الحركة المطلوبة. فحركة المستشعر لابد أن تكون مرتبطة بسطح مرجعي معين (مرجع إسنادي) ،كالموضح في شكل (5-4) على سبيل المثال، و ذلك لتتم المقارنة بينه و بين السطح المراد قياس تفاوتاته الهندسية. و بالتالي يتم تحديد مدى انحراف السطح المقاس عن السطح المرجعي. و يختلف الشكل الهندسي للسطح المرجعي تبعاً لشكل السطح المقاس، فإذا كان مستوياً نُدخل ذلك في الجهاز فيقوم باستدعاء مسار هندسي لسطح مرجعي مستوٍ، أما إذا كان السطح المقاس أسطوانياً فإن

المسار الذي سيحدد حركة المستشعر لسطح مرجعي أسطواني، و هكذا لبقية الأشكال الهندسية الأخرى. و يتم معايرة هذه الأجهزة على فترات دورية للتأكد من دقة قياسها بواسطة أسطح قياسية ،تكاد تكون خالية من أي انحرافات هندسية، يتم تركيبها على الجهاز و تؤخذ القراءات التي يجب أن تكون صفرية تقريباً إذا كان الجهاز مضبوطاً. أما إذا حادت القراءات عن الصفر، فيتم ضبط الجهاز من خلال اتباع إجراءات محددة في الكتالوج الخاص بالجهاز ليكون بعد ذلك جاهزاً لإجراء قياسات دقيقة.

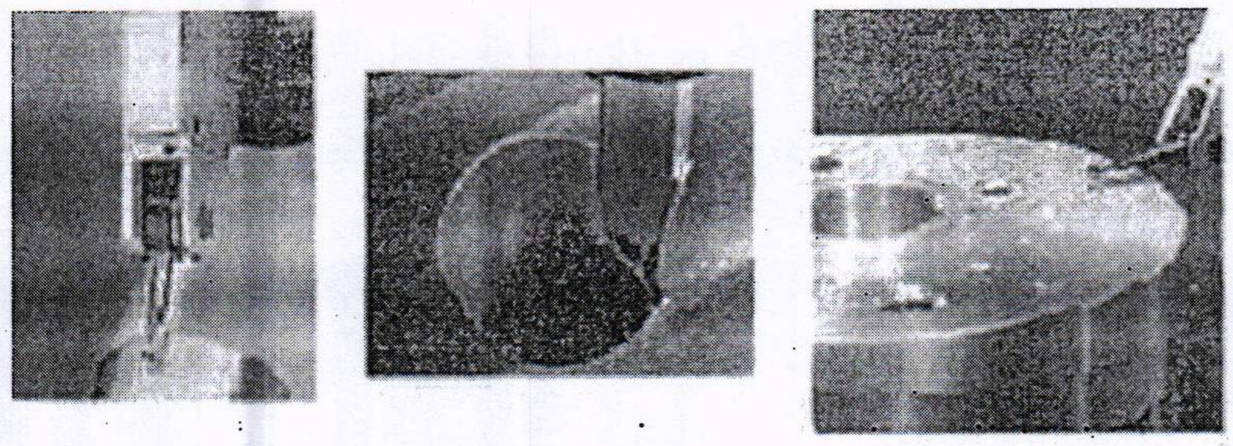


الشكل (5-4): المبدأ الأساسي لطريقة قياس التفاوتات الهندسية.

و بالإضافة للمستشعر، تحتوي أجهزة اختبار الأسطح على وحدة إلكترونية لالتقاط و معالجة حركة المستشعر ثم إرسالها إلى حاسب (يكون مرفقاً مع الجهاز) لحساب القيم المراد قياسها ومن ثم رسمها على شاشته و طباعتها إذا لزم الأمر بواسطة طابعة مرفقة. و بالرغم من أن هذه الأجهزة يمكنها قياس جميع التفاوتات الهندسية (عدا تفاوت الوضع)، إلا أنها تُسمى بأسماء ترتبط بالاستدارة مثل (Teleround, Roundtest,..). و يعرض شكل (5-5) أحد الطرازات من هذه الأجهزة مع توضيح حركة المستشعر بالنسبة لسطح القطعة المقاسة. و يختلف شكل طرف المستشعر باختلاف طبيعة القطعة المقاسة، و يُصنع من الكربيد أو التنجستون أو الياقوت الأزرق، و يتراوح قطره من 0.25 مم إلى 1.6 مم. و يبين شكل (5-6) أمثلة على أشكال متعددة من القطع أثناء قياس تفاوتات أسطحها، كما يعرض شكل (5-7) عينة من المستشعرات بأشكال مختلفة لتغطي العديد من التطبيقات العملية.

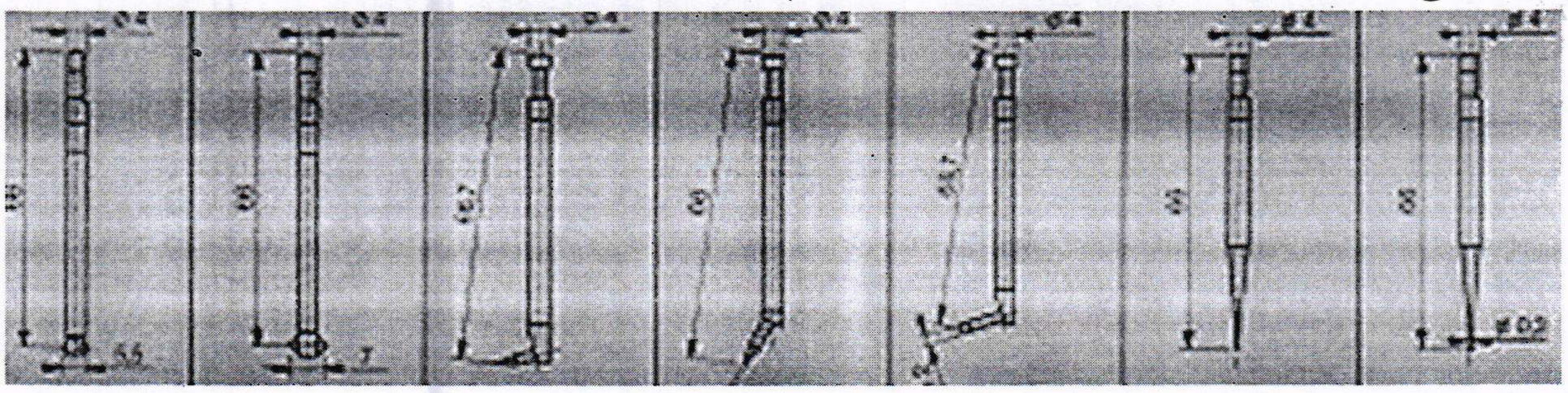


الشكل (5-5): جهاز اختبار الأسطح.



الشكل (5-6): أمثلة لقطع ذات أشكال مختلفة أثناء قياس تفاوتات أسطحها.

و توجد أيضاً أجهزه ضوئية حديثة لقياس التفاوتات الهندسية ، و تعتمد نظرية عمل هذه الأجهزة على إسقاط شعاع الليزر (Laser) على السطح المقاس فينعكس جزء منه و يتشتت الباقي في جميع الاتجاهات، فتقوم وحدة استشعار ضوئي في الجهاز بتجميع بعضاً من الشعاع المشتت و المنعكس. و يمكن بعد ذلك استنباط العلاقة بين نسبة الضوء المشتت و المنعكس و بين الانحرافات الهندسية التي نتج عنها هذه النسبة من التشتت و الانعكاس لشعاع الليزر. و تمتاز هذه الطريقة في

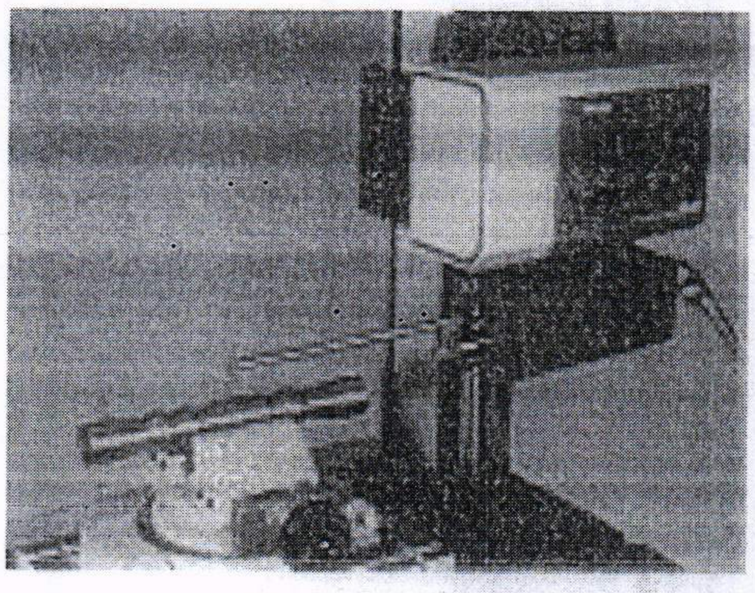


للثقوب الدقيقة | للثقوب الصغيرة | للمجاري المخددة | للأركان | للحزوز | للأسطح الغير منتظمة | للاستخدامات العامة

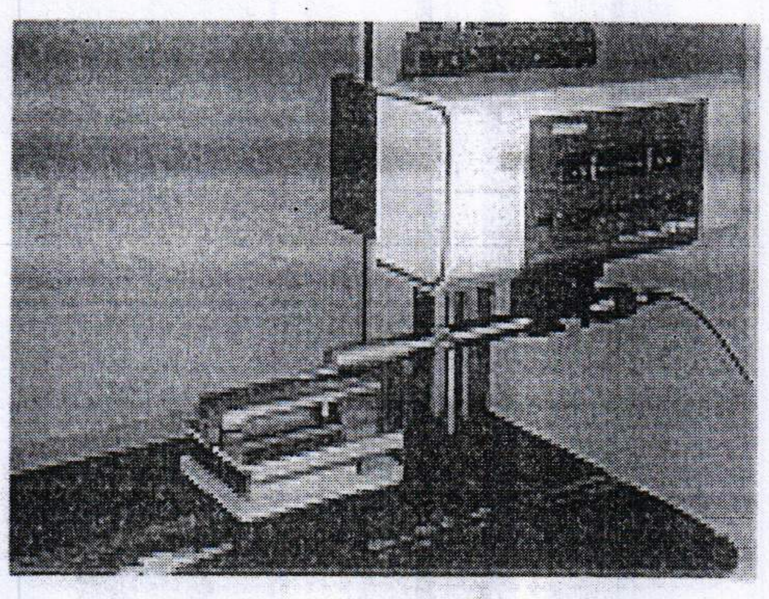
شكل (5-7): عينة من المستشعرات بأشكال مختلفة.

القياس بعدم تلامس المستشعر للسطح المقاس، و بالتالي لا يتعرض السطح المقاس لأي احتمال لحدوث خدوش نتيجة احتكاكه مع المستشعر. و تبرز أهمية هذه الطريقة عند قياس الأسطح المصنوعة من المطاط و ما شابة من المواد اللينة و التي ستتأثر حتماً عند ملامسة المستشعر لسطحها.

و نظراً للتقارب بين قياس تفاوتات الشكل و قياس الخشونة ، فقد تم تصنيع أجهزة تُسمى أجهزة تتبع الشكل (Formtracer) لإجراء كلا القياسين و ذلك عن طريق تركيب المستشعر الذي يناسب كل قياس على حده، كما يتضح ذلك من شكل (5-8).



قياس الخشونة

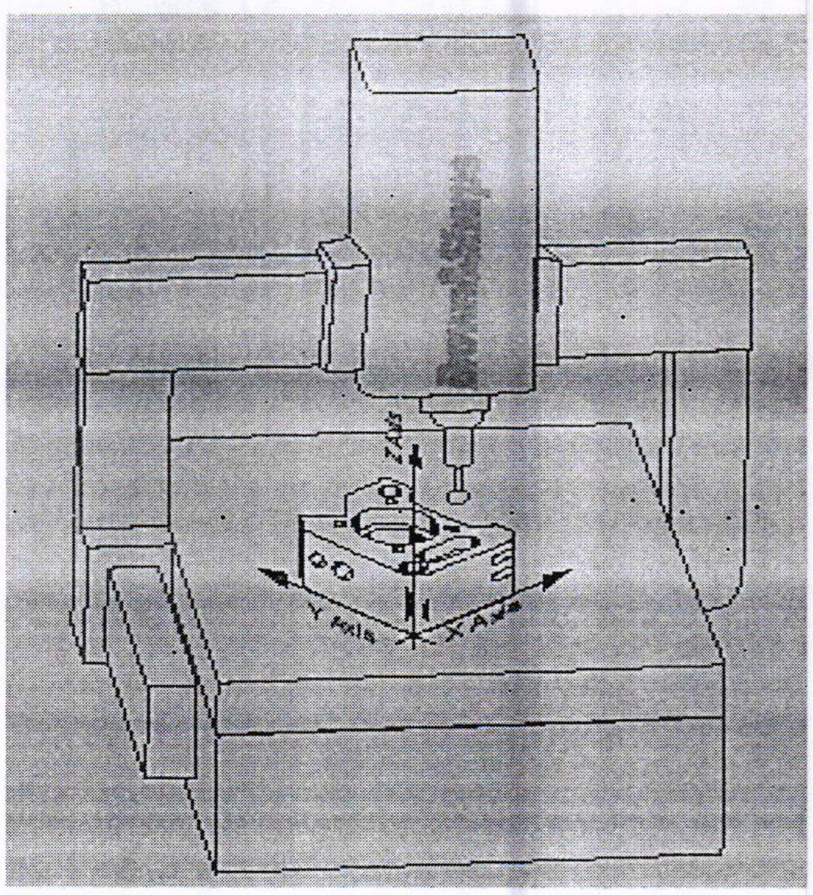


قياس تفاوتات الشكل

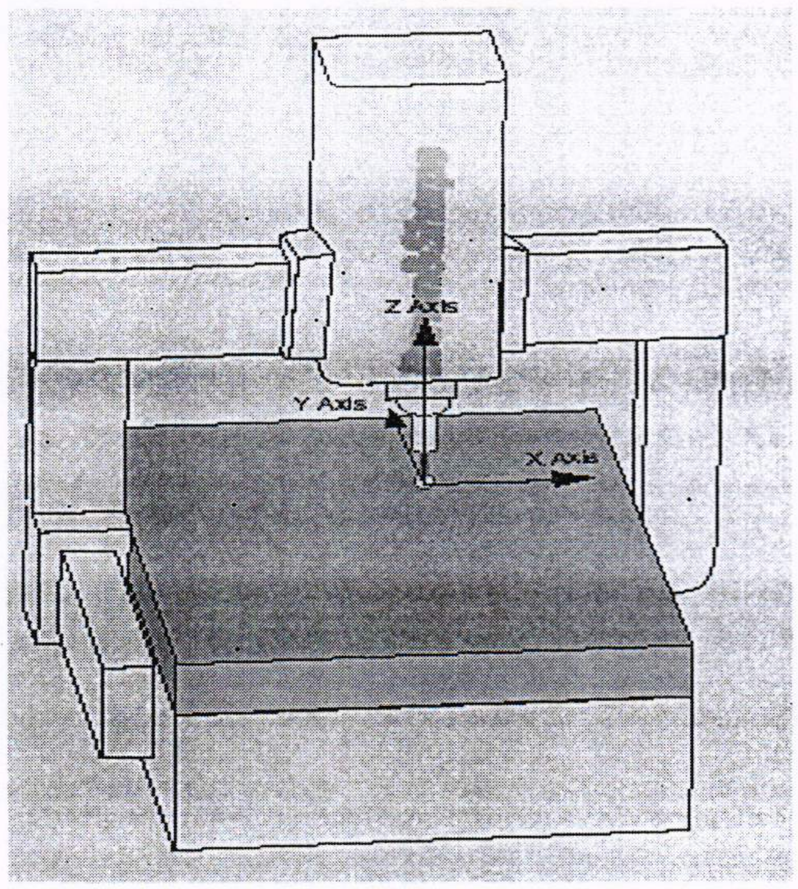
الشكل (5-8): جهاز تتبع الشكل.

5-4 قياس تفاوت الوضع(Position tolerance measurement)

سبق و أن ذكرنا أن أجهزة اختبار السطح يمكنها إجراء جميع القياسات الخاصة بالتفاوتات الهندسية كالاستواء و الاستدارة و أحادية المركز ، فيما عدا تفاوت الوضع، و ذلك لاختلاف طبيعته عن بقية الأنواع الأخرى من التفاوتات. فالهدف هنا هو تحديد الوضع الصحيح لسمة معينة في قطعة الشغل، كموقع أحد الثقوب الداخلية في قطعة شغل معينة. لذلك تستخدم أجهزة خاصة لهذا الغرض تسمى ماكينات قياس الإحداثيات (Coordinate Measuring Machines, CMM). و تنقسم ماكينات قياس الإحداثيات إلى نظامين هما نظام إحداثيات الماكينة و نظام إحداثيات قطعة الشغل. في النظام الأول تكون مرجعية المحاور الثلاثة بالنسبة لحركة الماكينة (شكل (5-9) (أ)) ، أما في نظام إحداثيات قطعة الشغل تكون المحاور الثلاثة مرتبطة بمرجع أو سمة موجودة في قطعة الشغل كما يبين ذلك شكل (5-9)(ب).



(ب)



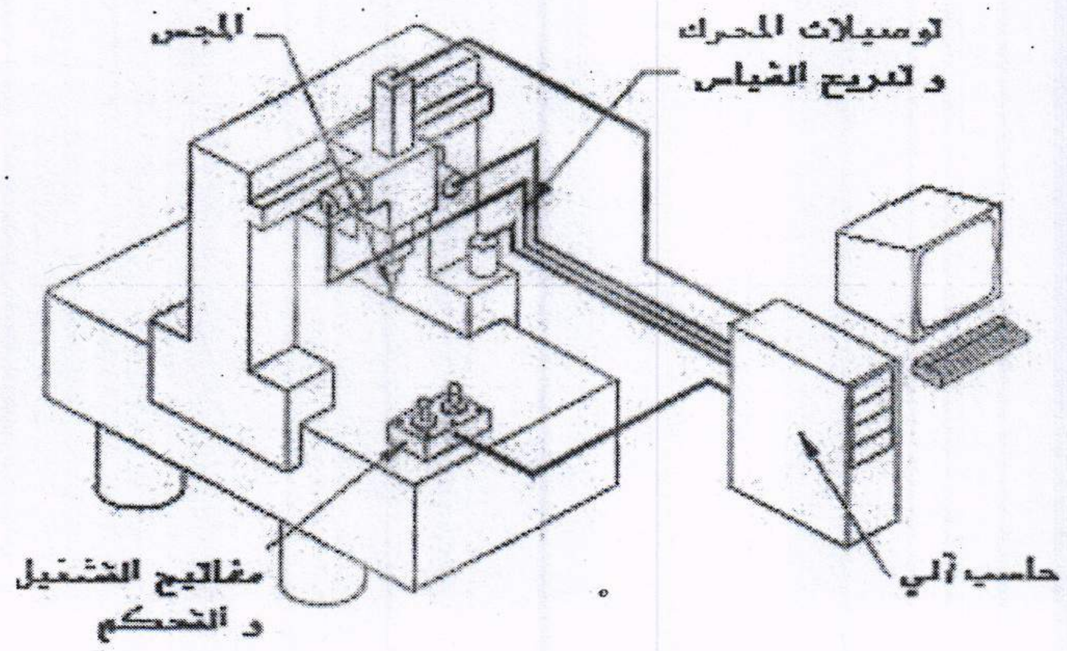
(أ)

الشكل (5-9): نظام إحداثيات الماكينة و نظام إحداثيات قطعة الشغل لماكينات قياس الإحداثيات.

و يمكن إيجاز نظرية عمل هذه الماكينات بطريقة مبسطة في أنها تعتمد على وجود حاجز محزز بدقة عالية و تكون المسافة بين الحزوز هي حساسية القياس للجهاز و طول الحاجز هو مدى القياس. و يوجد حاجز آخر شفاف مثبت على رأس وحدة القياس التي تتحرك تبعاً للموضع المطلوب تحديده، و به نفس الحزوز ولكن يوضع بحيث تكون حزوزه مائلة بزاوية صغيرة على حزوز الحاجز الأساسي، والحاجزان بينهما مسافة صغيرة في حدود 0.001مم. عند القياس تتحرك رأس القياس خلال القطعة المقاسة و حتى الموضع المراد تحديده، و يتم إمرار ضوء من مصدر ضوئي خلالْ عدسة تجعله في شكل أشعة متوازية يتم إسقاطها على الحاجزين المحززين. و عندما تمر أشعة الضوء المتوازية من خلال الحاجز الشفاف إلى الحاجز المصمت، يتكون عدد من الهالات الضوئية تعكس أشعة الضوء الساقط إلى إحدى الخلايا الضوئية ،الموجودة في الجهاز، فتتحول إلى إشارة كهربية تزداد شدتها كلما تحرك الحاجزان بالنسبة لبعضهما البعض، أي كلما تحرك رأس القياس و بالتالي يمكن تحديد الموضع بناءً على شدة الإشارة الكهربية التي تسجل على وحدة قراءة رقمية.

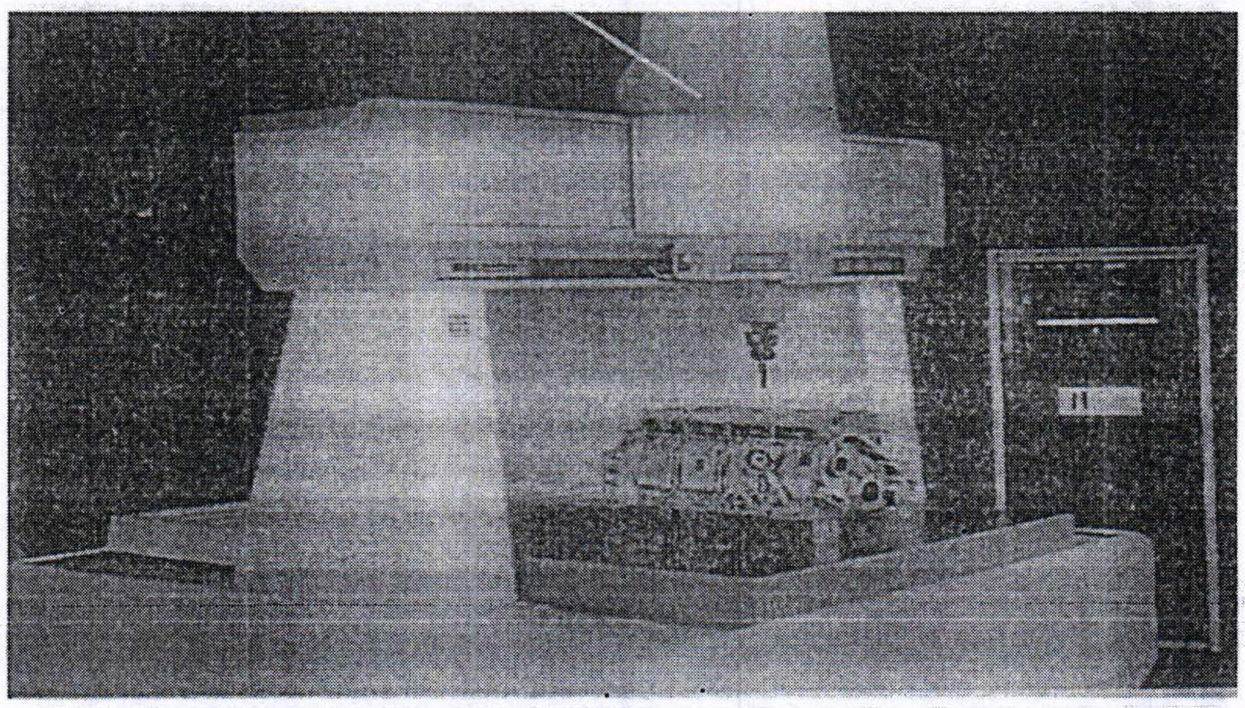
و تتكون هذه الماكينات بنظاميها ، كما هو موضح في شكل (5-10)، من ثلاثة محاور متعامدة كل منها مزود بوحدة تدريج إلكترونية متصلة بالحاسب الآلي المرفق مع الماكينة ، و رأس قياس دقيق يكتسب حركته من المحاور الثلاثة. و يوجد في بعض الماكينات محرك كهربي متصل بوحدة التحكم لتحريك المحاور الثلاثة ، كما توجد أيضاً بعض الطرازات يتم تحريك المحاور فيها يدوياً. و يتم تصنيف نوع الماكينات الذي تكون

حركة محاوره آلية عن طريق المحرك الكهربي و الحاسب الآلي كآلات التحكم الرقمية في الحاسب (CNC CMM).



الشكل (5-10): المكونات الأساسية **لماكينة قياس الإحداثيات.**

و إلى جانب تحديد الوضع، تستطيع ماكينات قياس الإحداثيات أيضاً قياس الأبعاد لقطعة الشغل بدون وسائل أو محددات قياس إضافية، لذلك يتم تركيبها على خطوط الإنتاج للفحص النهائي للمنتج من حيث الأبعاد و المواضع الصحيحة لسماته المختلفة كالتفاصيل العديدة لجسم محرك الاحتراق الداخلي الموضح في شكل (5-11) أثناء عملية فحصه.



الشكل (5-11): فحص سمات و أبعاد محرك احتراق داخلي بواسطة ماكينة قياس الإحداثيات.

الوحدة السادسة

قياس درجة الحرارة

الوحدة السادسة : قياس درجة الحرارة

الجدارة

التعرف على كيفية قياس درجة الحرارة

الأهداف

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة بإذن الله على معرفة:

- قياس درجة الحرارة بواسطة الثرمومتر الزجاجي
- قياس دُرجة الحرارة بواسطة الازدواج الحراري
- قياس درجة الحرارة بواسطة ثرمومتر المقاومة الكهربية
- قياس درجة الحرارة بواسطة أشباه الموصلات

مستوى الأداء المطلوب

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب

ساعتان

الوسائل المساعدة:

- عارض بيانات.
- حاسب آلي.
- سبورة.

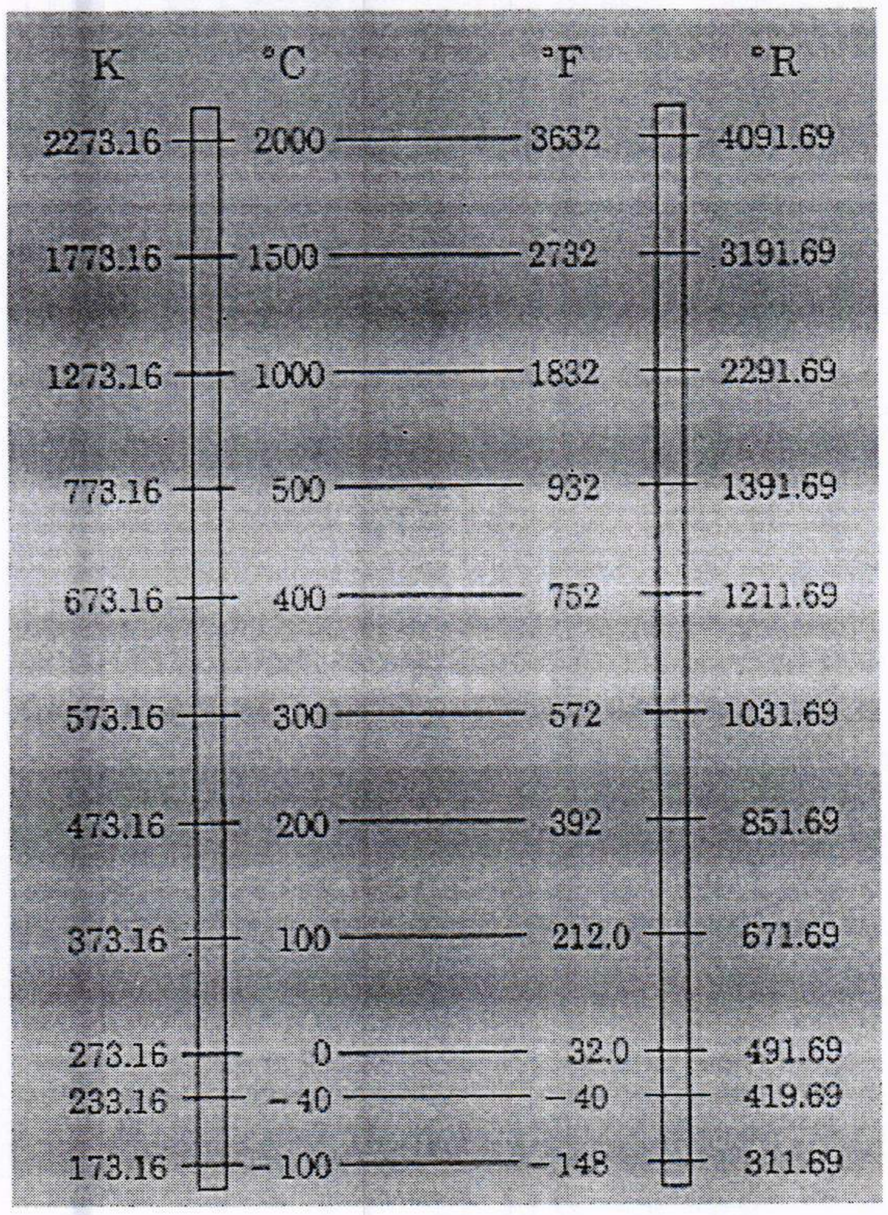
متطلبات الجدارة

اجتياز الوحدات السابقة

٦-١ مقدمة

تعتبر درجات الحرارة من الكميات الهامة و التي نحتاج لقياسها في مجال التقنية الميكانيكية بصفة عامة و في مجال الإنتاج بصفة خاصة. فمعظم المواد و الآلات تعمل عند درجات حرارة أعلى من درجات الحرارة المحيطة و لكنها يجب ألا تتعدى درجة حرارة التشغيل الموصي بها حتى لا تنهار خواصها الميكانيكية و يؤدي ذلك إلى الأداء السيئ أو التلف والتوقف في النهاية.

و توجد أكثر من وحدة متعارف عليها لقياس درجة الحرارة (Temperature) ، ومن أشهرها درجة الحرارة المئوية (Celsuis, ^{o}C). و قد تم تعريف درجة الصفر فيها ($0\ ^{o}C$) على أنها نقطة تجمد الماء النقي عند الضغط الجوي المعتاد. أما درجة المائة ($100\ ^{o}C$) فهي عند نقطة غليان الماء. و تستخدم الدرجة المئوية في تطبيقات كثيرة في المجال الصناعي نظراً لبساطتها ، و هناك وحدة أخرى هامة هي الكلفن (Kelvin, K) و هي الوحدة المعتمدة في النظام الدولي للوحدات و يتم استخدامها في الحسابات العلمية. بالاضافة الى هاتين الوحدتين، توجد وحدتان أخريان مناظرتان لهما تستخدمان في النظام الإنجليزي للوحدات و هما الفهرنهيت (Fahrenheit, ^{o}F) و الرانكين (Rankine, ^{o}R). و يبين الشكل (٦-١) العلاقة بين الوحدات المختلفة لقياس درجة الحرارة.



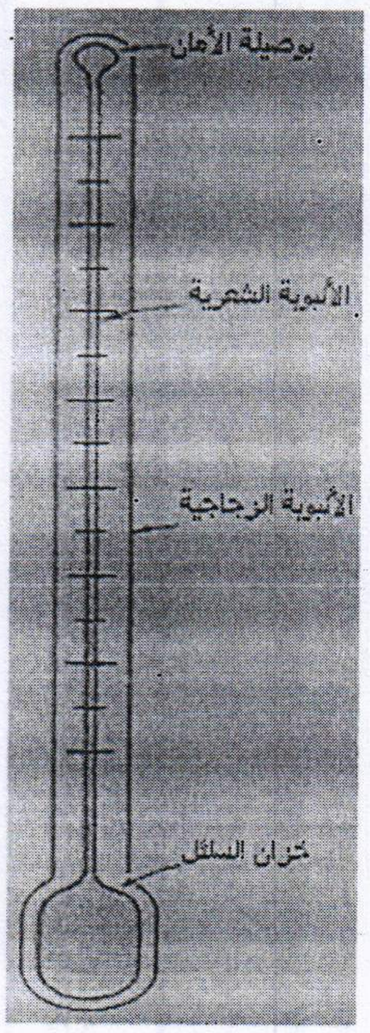
الشكل (٦-١): العلاقة بين وحدات قياس درجات الحرارة

و توجد وسائل متعددة لقياس درجة الحرارة تختلف باختلاف التطبيقات التي تستخدم فيها. نذكر من هذه الوسائل أكثرها شيوعاً و استخداماً في مجال الإنتاج و هي:

١ - الثرمومتر الزجاجي **(Glass thermometer)**
٢ - الازدواج الحراري **(Thermocouple)**
٣ - ثرمومتر المقاومة الكهربية **(Resistance thermometer, RTD)**
٤ - أشباه الموصلات **(Thermistors)**

٦-٢ الثرمومتر الزجاجي (Glass thermometer)

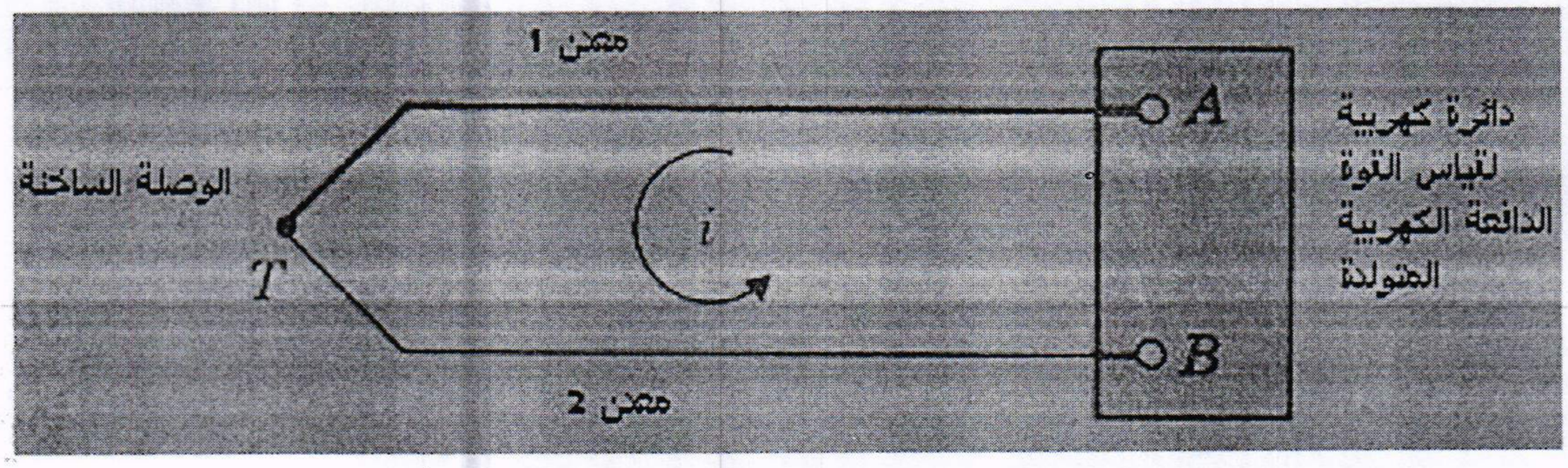
يتكون الثرمومتر الزجاجي في أبسط صورة، كما هو موضح في الشكل (٦-٢)، من أنبوبة زجاجية عليها تدريج القياس. و هذه الأنبوبة تحتوي بداخلها على أنبوبة شعرية ينتهي أحد طرفيها بخزان صغير مملوء بسائل يتأثر بوضوح بالتغيرات الطفيفة لدرجات الحرارة و يظهر ذلك بتمدده أو انكماشه. أما الطرف الأخر فينتهي ببوصيلة أمان و ذلك لاحتواء السائل في حالة إذا ما تعرض لدرجة حرارة مرتفعة قد تسبب زيادة تمدده على طول الأنبوبة الشعرية. و يستخدم الزئبق كسائل في التطبيقات التي تزيد عن درجة تجمده ($38.72\ ^{o}C$ -) و أقل من درجة غليانه ($357\ ^{o}C$). أما عند قياس درجات الحرارة تحت الصفر، فتستخدم سوائل أخرى ذات درجات تجمد منخفضة مثل ايثيل الكحول و البنتين و التولوين.



الشكل (٦-٢): الثرمومتر الزجاجي

٦-٣ الازدواج الحراري (Thermocouple)

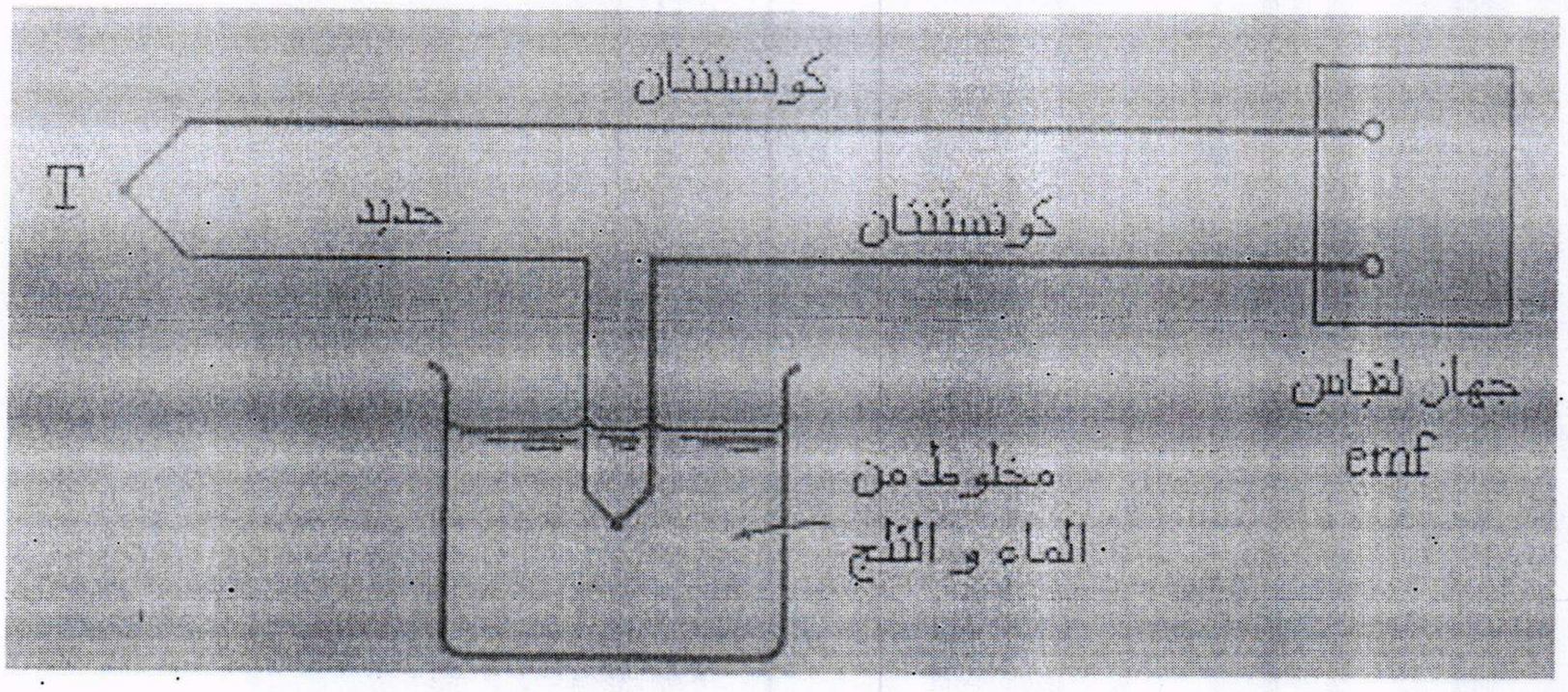
تعتمد طريقة استخدام الازدواج الحراري لقياس درجة الحرارة على أنه إذا تم توصيل معدنين مختلفين بحيث تكون نهايتهما متصلتان و عند درجة حرارة تختلف عن درجة حرارة النهايتين الأخريين (شكل (٦-٣))، فانه تتولد قوة دافعة كهربية (emf) تعتمد على الفرق بين درجتي الحرارة. و بناء على ذلك يتم قياس القوة الدافعة الكهربية المتولدة لمعرفة الفرق في درجات الحرارة.



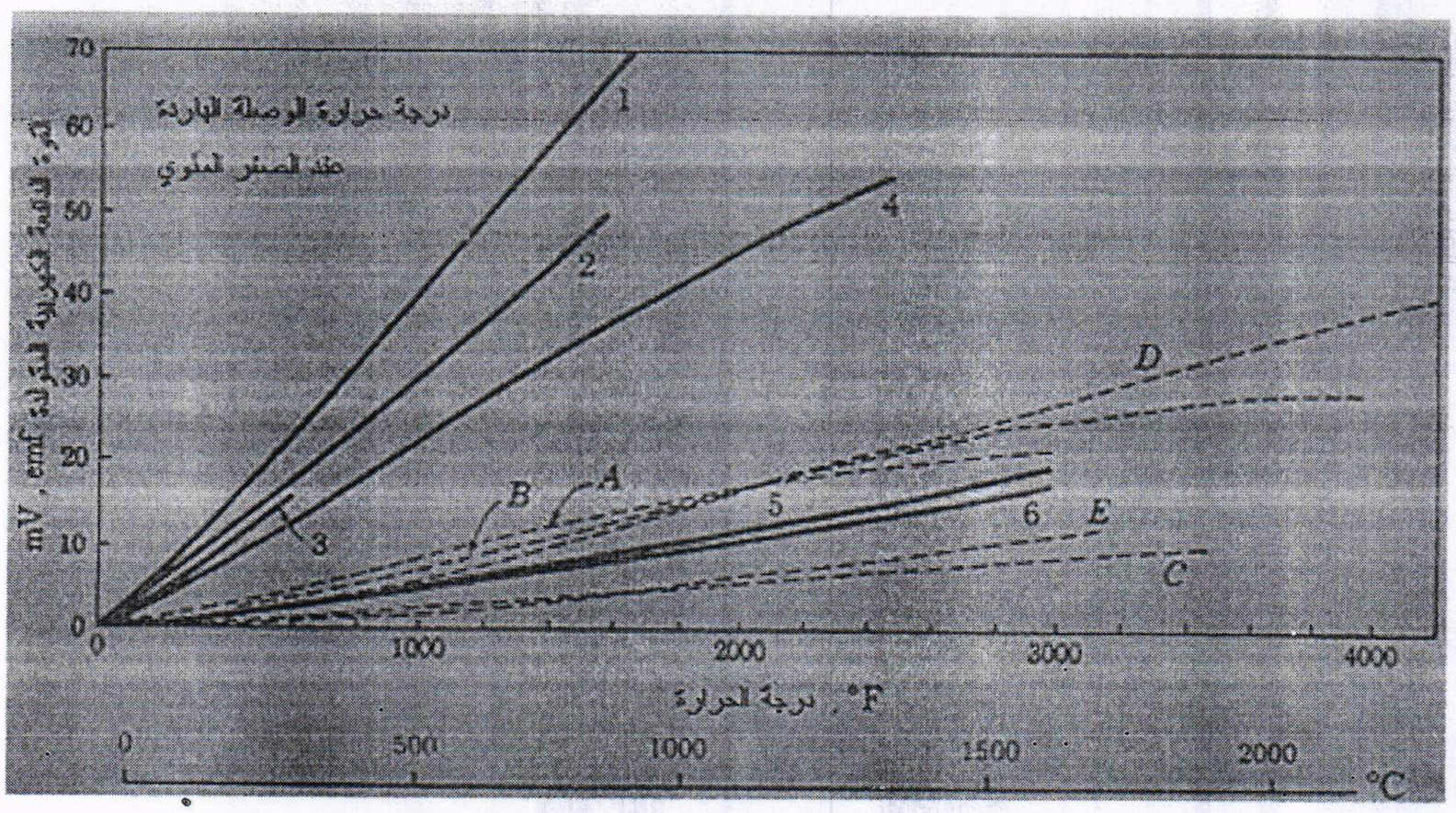
الشكل (٦-٣): الازدواج الحراري

و من الواضح أنه لابد من وجود وصلتين للازدواج الحراري تسمى الأولى **الوصلة الساخنة** (Hot junction) و تكون عند درجة الحرارة المراد قياسها. أما الثانية فيطلق عليها **الوصلة الباردة** (Cold junction) و تكون غالباً عند درجة الحرارة المحيطة. و نظراً لاختلاف درجات الحرارة المحيطة تبعاً لمكان و وقت القياس، فقد تم الاتفاق على اتخاذ درجة حرارة مرجعية (هي الصفر المئوي) للوصلة الباردة و بالتالي تكون درجة حرارة الوصلة الساخنة هي مباشرة فرق درجات الحرارة الناتجة من الازدواج الحراري. أما إذا تركت الوصلة الباردة عند درجة الحرارة المحيطة فيتم قياسها و تعديل القوة الدافعة المقاسة لحساب الدرجة الفعلية للوصلة الساخنة. و يبين شكل (٦-4) إحدى الطرق التقليدية لوضع درجة حرارة مرجعية لازدواج حراري.

و تعتمد قيمة القوة الدافعة الكهربية المتولدة (emf) إلى جانب فرق درجات الحرارة –على نوع المعدنين المصنوع منهما الازدواج الحراري. و تكون العلاقة - بين درجة الحرارة و emf - خطية في معظم الأنواع كما يتضح من شكل (٦-٥).



الشكل (6-4): وضع درجة حرارة مرجعية لازدواج حراري من النوع حديد – كونستنتان



الشكل (٦-٥): علاقة emf المتولدة مع فرق درجات الحرارة

و يعرض جدول (٦-١) بعض أنواع الازدواجات الحرارية شائعة الاستخدام والتي تم الإشارة إليها في شكل (6-4) . و لكل نوع من الأنواع استخداماته التي تعتمد على مدى حساسية و دقة القياس المطلوبة و كذلك سرعة الاستجابة في حالة قياس درجات الحرارة المتذبذبة في بعض التطبيقات. و توجد جداول تعطي قيم القوة الدافعة المتولدة و درجات الحرارة المناظرة لها لكل نوع من أنواع الازدواجات الحرارية السابق ذكرها مثل جدول (٦-٢).

الجدول (6-1): الأنواع المختلفة من الازدواجات الحرارية

الرقم	النوع	الرقم	النوع
١	كروميل- كونستنتان (type E)	A	رينيوم - موليبديوم
٢	حديد - كونستنتان (type J)	B	رينيوم - تانجستن
٣	نحاس - كونستنتان(type T)	C	اريديوم – ايرديوم روديوم
٤	كروميل – ألوميل(type K)	D	تانجستن – تانجستن رينيوم
٥	بلاتينيوم – بلاتينيوم رديوم (type R)	E	بلتينيوم روديم – بلاتينيوم 10%روديوم
٦	بلاتينيوم – بلاتينيوم رديوم(type S)		

جدول (٦-٢): emf المناظرة لدرجات الحرارة لأنواع الازدواجات الحرارية الشائعة

Temp. °C)	Type E	Type J	Type K	Type N	Type S	Type T
−10	−0.581	−0.501	−0.392	−0.260	−0.053	−0.383
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.591	0.507	0.397	0.261	0.055	0.391
20	1.192	1.019	0.798	0.525	0.113	0.789
30	1.801	1.536	1.203	0.793	0.173	1.196
40	2.419	2.058	1.611	1.064	0.235	1.611
50	3.047	2.585	2.022	1.339	0.299	2.035
60	3.683	3.115	2.436	1.619	0.365	2.467
70	4.329	3.649	2.850	1.902	0.432	2.908
80	4.983	4.186	3.266	2.188	0.502	3.357
90	5.646	4.725	3.681	2.479	0.573	3.813
100	6.317	5.268	4.095	2.774	0.645	4.277
110	6.996	5.812	4.508	3.072	0.719	4.749
120	7.683	6.359	4.919	3.374	0.795	5.227
130	8.377	6.907	5.327	3.679	0.872	5.712
140	9.078	7.457	5.733	3.988	0.950	6.204
150	9.787	8.008	6.137	4.301	1.029	6.702
160	10.501	8.560	6.539	4.617	1.109	7.207
170	11.222	9.113	6.939	4.936	1.190	7.718
180	11.949	9.667	7.338	5.258	1.273	8.235
190	12.681	10.222	7.737	5.584	1.356	8.757
200	13.419	10.777	8.137	5.912	1.440	9.286
210	14.161	11.332	8.537	6.243	1.525	9.820
220	14.909	11.887	8.938	6.577	1.611	10.360
230	15.661	12.442	9.341	6.914	1.698	10.905
240	16.417	12.998	9.745	7.254	1.785	11.456
250	17.178	13.553	10.151	7.596	1.873	12.011
260	17.942	14.108	10.560	7.940	1.962	12.572
270	18.710	14.663	10.969	8.287	2.051	13.137
280	19.481	15.217	11.381	8.636	2.141	13.707
290	20.256	15.771	11.793	8.987	2.232	14.281
300	21.033	16.325	12.207	9.340	2.323	14.860
310	21.814	16.879	12.623	9.695	2.414	15.443
320	22.597	17.432	13.039	10.053	2.506	16.030
330	23.383	17.984	13.456	10.412	2.599	16.621
340	24.171	18.537	13.874	10.772	2.692	17.217
350	24.961	19.089	14.292	11.135	2.786	17.816
360	25.754	19.640	14.712	11.499	2.880	18.420
370	26.549	20.192	15.132	11.865	2.974	19.027
380	27.345	20.743	15.552	12.233	3.069	19.638
390	28.143	21.295	15.974	12.602	3.164	20.252
400	28.943	21.846	16.395	12.972	3.260	20.869
410	29.744	22.397	16.818	13.344	3.356	
420	30.546	22.949	17.241	13.717	3.452	

مثال:

تم استخدام ازدواج حراري من النوع (type J) لقياس درجة حرارة فرن كهربي لمعالجة المعادن حرارياً. فاذا كانت درجة حرارة الوصلة الباردة $= 0\ ^{o}C$ و القوة الدافعة الكهربية المقاسة (emf) $= 6.90\ mV$

(أ) احسب درجة حرارة الفرن

(ب) إذا كانت المعالجة الحرارية تحتاج إلى درجة حرارة $= 300\ ^{o}C$، فما هي (emf) المقاسة في هذه الحالة

الحل:

(أ) باستخدام جدول (٦-٢) للازدواج الحراري J ، نجد أن أقرب قيمة ل emf هي 6.907

و بالرجوع أفقياً لعمود درجة الحرارة (^{o}C) نستخرج قيمة درجة الحرارة $= 130\ ^{o}C$.

درجة حرارة الفرن $= 130\ ^{o}C$.

(ب) بالنظر في عمود درجة الحرارة عند $(300\ ^{o}C)$ في جدول (٦-٢) لنوع الازدواج الحراري J، نجد أن قيمة $emf = 16.325\ mV$.

القوة الدافعة الكهربية المقاسة $= 16.325\ mV$.

6-٤ ثرمومتر المقاومة الكهربية (Resistance thermometer, RTD)

تعتمد طريقة قياس درجة الحرارة بواسطة المقاومة الكهربية على ظاهرة تغير قيمة المقاومة الكهربية لسلك معدني إذا ما تعرض هذا السلك لتغير في درجة حرارته. و هناك علاقة عامة تعبر عن هذا التغير تعطيها المعادلة التالية:

$$R = R_0[1 + aT + bT^2] \qquad (6.1)$$

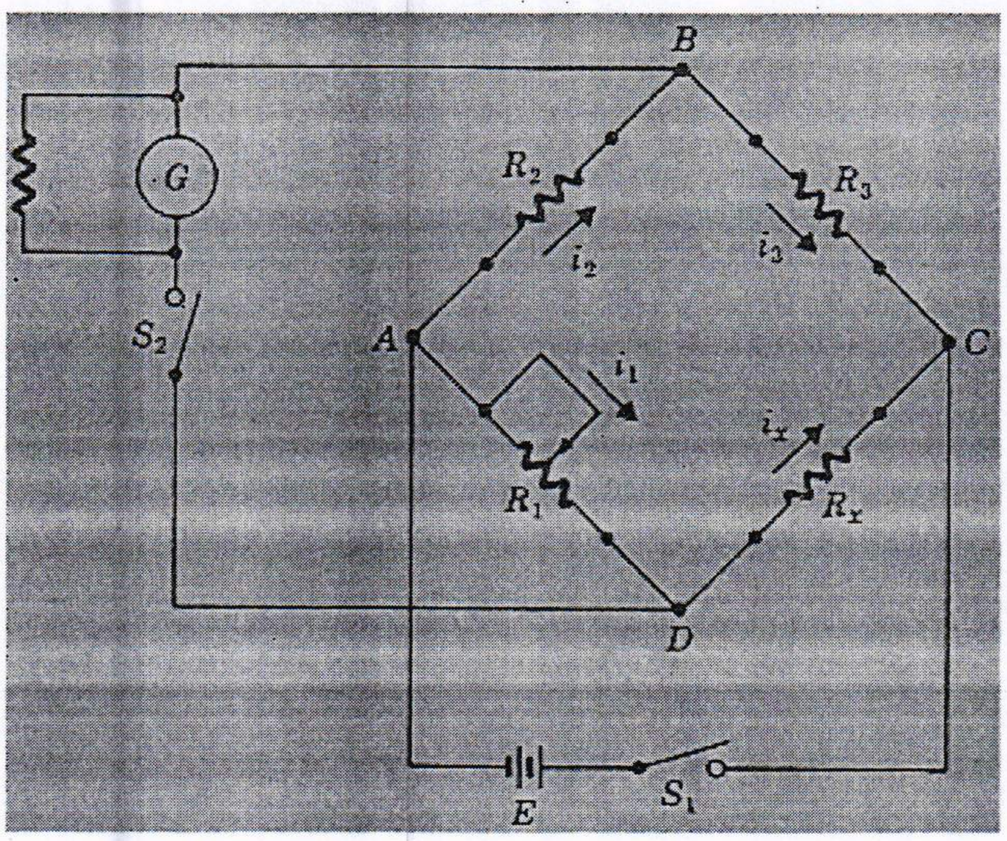
حيث:

R : قيمة المقاومة الكهربية عند درجة حرارة T

R_0: قيمة المقاومة الكهربية عند درجة الحرارة المرجعية T_0

a , b :ثوابت تبعاً لنوع مادة المقاومة الكهربية و يتم تحديدهما معملياً

و بناءً على ذلك فانه إذا تم قياس قيمة المقاومة الكهربية، فيمكن حساب قيمة درجة الحرارة باستخدام المعادلة (6.1). و يتم قياس المقاومة الكهربية عن طريق إدخال هذه المقاومة في دائرة كهربية مثل قنطرة هيوستون (Wheastone bridge) الموضحة في شكل (٦-٥).



الشكل (٦-٥): قنطرة هيوستون

حيث:

R_2, R_3: مقاومتان معلومتان و ثابتان

R_1 : مقاومة متغيرة لعمل الاتزان في الدائرة

R_x : المقاومة المجهولة المطلوب قياسها

و يمكن الوصول للاتزان في قنطرة هيوستون بواسطة تطبيق فرق الجهد (E) على الدائرة مع تغير قيمة المقاومة (R_1) حتى تصبح قراءة الجلفانومتر (G) صفرية. في هذه الحالة يمكن استخدام قوانين كيرشوف للدوائر الكهربية لاستنتاج المعادلة التالية:

$$\frac{R_2}{R_3} = \frac{R_x}{R_1} \qquad (6.2)$$

و بالتالي يمكن حساب المقاومة المجهولة من المعادلة (6.3) و من ثم معرفة قيمة درجة الحرارة بواسطة المعادلة (6.1) كما ذكر سابقاً.

$$R_x = R_1 \times \frac{R_2}{R_3} \qquad (6.3)$$

و من الجدير بالذكر أن البلاتين و الذهب و الفضة و النيكل من أشهر المواد المستخدمة في تصنيع ثرمومتر المقاومة الكهربية ، . و يمتاز هذا النوع من الثرمومترات بدقة و حساسية قياس عاليتين و لكن مدى قياسه صغير و سعره مرتفع.

٦-٥ أشباه الموصلات (Thermistors)

تشترك هذه الطريقة في قياس درجة الحرارة مع طريقة ثرمومتر المقاومة الكهربية في استخدامهما لظاهرة تغير المقاومة مع درجة الحرارة. و لكن الفرق الأساسي بينهما أن أشباه الموصلات المستخدمة في تصنيع الثرمستور هي عبارة عن أكاسيد معدنية و ليست معادن نقية و بالتالي تختلف خواصهما الكهربية. فعند زيادة درجة حرارة الثرمستور تقل مقاومته على عكس ثرمومتر المقاومة الكهربية. الا أن الثرمستور يمتاز بالدقة و الحساسة العالية في القياس إلى جانب انخفاض السعر و لكن استخدامه محدود لقياس درجات حرارة أقل من 300 ^{o}C حيث أن أشباه الموصلات تنهار خواصها عند درجات الحرارة الأعلى من ذلك. و العلاقة بين المقاومة الكهربية و درجة الحرارة للثرمستور هي علاقة أسية تعبر عنها المعادلة التالية:

$$R = R_0\, e^{[\beta(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_0})]} \qquad (6.4)$$

حيث:

e: الأساس اللوغأريتمي الطبيعي $\approx$ 2.718

R: قيمة المقاومة الكهربية عند درجة حرارة T

R_0 : قيمة المقاومة الكهربية عند درجة الحرارة المرجعية T_0

β: ثابت يعتمد على نوع المادة المصنوع منها الثرمستور و يتم تحديده معملياً

تمارين

(١) قارن بين الازدواج الحراري و ثرموميتر المقاومة الكهربية و أشباة الموصلات من حيث:

(أ) دقة و حساسية القياس.

(ب) الاستخدامات و التكلفة.

(٢) أعد حل المثال الموجود في صفحة 92 باستخدام:

(أ) ازدواج حراري type K

(ب) ازدواج حراري type T

(ملاحظة: يمكن تقريب القيم الموجودة في الجدول تقريباً معقولاً بالنظر)

(٣) استخدم جدول (٦-٢) الموجود صفحة 91 ، لرسم العلاقة بين درجة الحرارة و القوة الدافعة الكهربية (كما في شكل (٦-٤) صفحة 90) المتولدة في الازدواجات الحرارية type T و type S ثم احسب حساسية القياس لكل منهما.

الوحدة السابعة

قياس الضغط

الوحدة السابعة :قياس الضغط

الجدارة

التعرف على كيفية قياس الضغط

الأهداف

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة بإذن الله على معرفة:

- قياس الضغط بواسطة المانومتر
- قياس الضغط أنبوب بوردون
- معايرة أجهزة الضغط بالحمل الميت

مستوى الأداء المطلوب

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب

ساعتان

الوسائل المساعدة:

- عارض بيانات.
- حاسب آلي.
- سبورة.

متطلبات الجدارة

اجتياز الوحدات السابقة

٧- ١ مقدمة

يعرف الضغط - بصفة عامة - على أنه القوة لكل وحدة مساحة، و هذه الوحدة تتناول قياس الضغط للموائع (السوائل أو الغازات) التي ينتشر استخدامها بكثرة في الأنظمة الميكانيكية مثل المضخات و الروافع الهيدروليكية و غيرها من التطبيقات العديدة.

و وحدة قياس الضغط في النظام الدولي للوحدات هي N/m^2 أو Pa (بسكال). و قيمة الضغط الجوي (P_{at}) عند مستوى سطح البحر ≈ 101 kPa. و قبل البدء في استعراض بعض و سائل قياس الضغط، لابد من معرفة المقصود من التعريفات التالية:

(أ) الضغط المطلق (Absolute pressure, P_a)

هو القيمة المطلقة للقوة لكل وحدة مساحات التي يبذلها المائع على الجدران التي تحتوي هذا المائع.

(ب) الضغط المقاس (Gauge pressure, P_g)

هو الفرق بين الضغط المطلق و الضغط الجوي المحيط

$$P_g = P_a - P_{at} \qquad (7.1)$$

(ج) ضغط التفريغ (Vacuum pressure, P_{vac})

هو القيمة التي يزيد بها الضغط الجوي عن الضغط المطلق

$$P_{vac} = P_{at} - P_a \qquad (7.2)$$

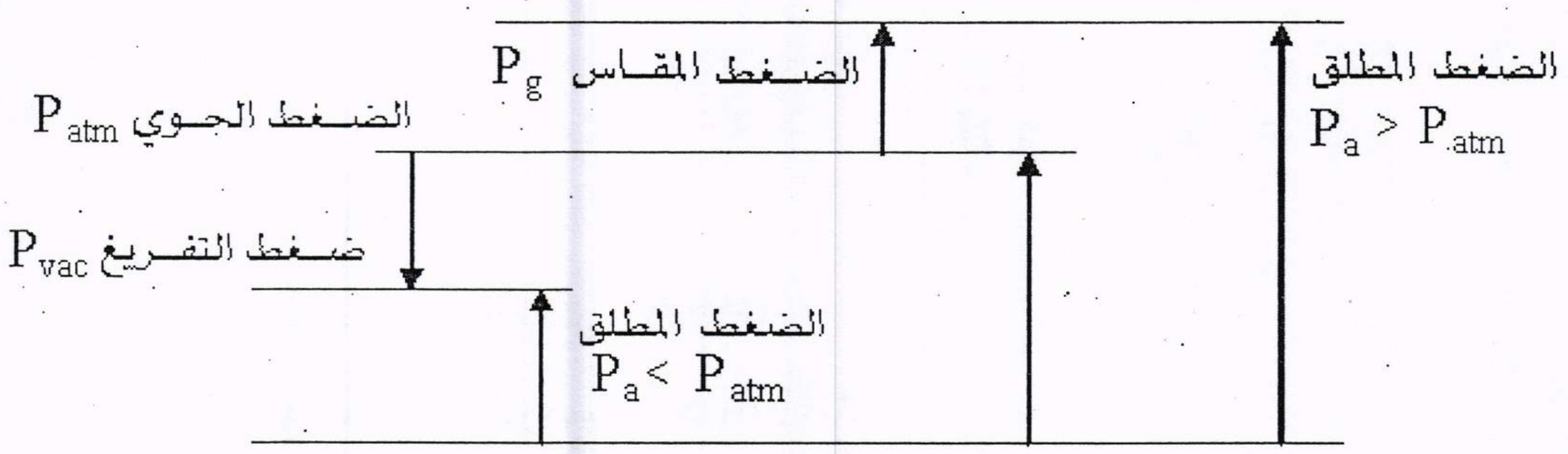
و يوضح الشكل (٧-١) العلاقة بين هذه الضغوط الثلاثة الأساسية. و يتم تصميم أجهزة قياس الضغط لتعطي قيمة الضغط المقاس أو ضغط التفريغ حسب الحالة، أما الضغط المطلق فيتم حسابه باستخدام المعادلتين (7.1) أو (7.2) تبعاً لقيمة الضغط المطلق.

ومن أهم وسائل قياس الضغط و التي سيتم عرضها بإيجاز في هذه الوحدة:

١ - المانومترات (Manometers)

٢ - أنبوب بوردون (Bourdon tube)

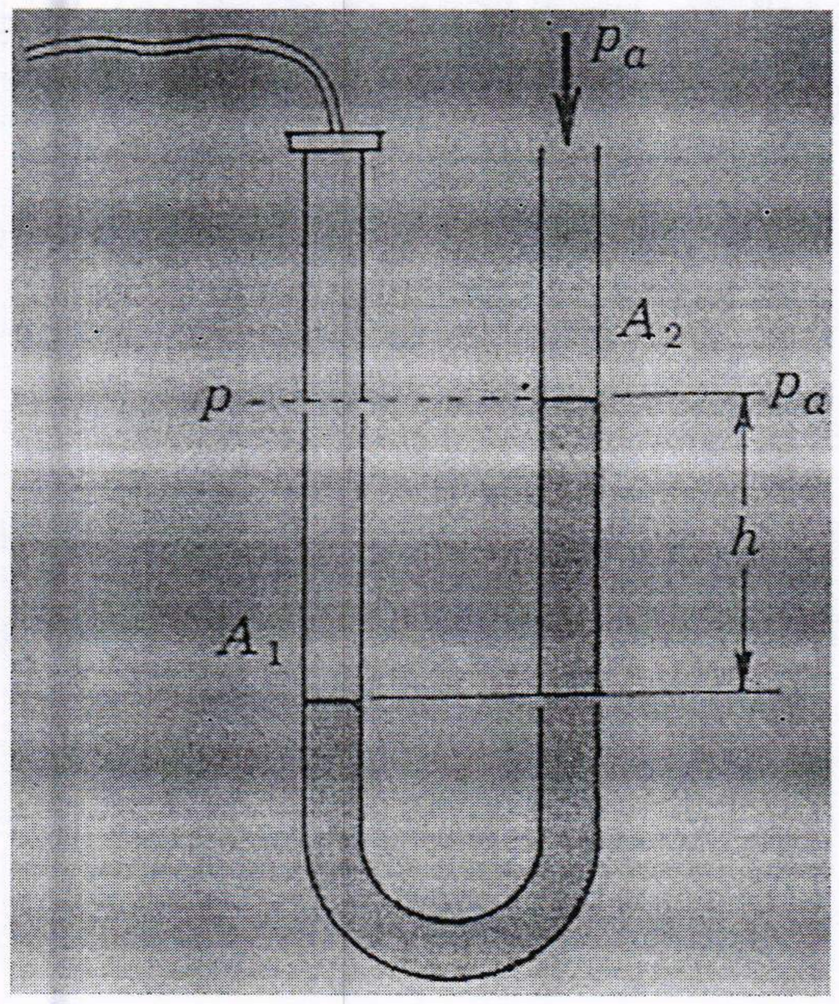
كما سيتم عرض طريقة المعايرة بالحمل الميت (Dead weight testser).



الشكل (٧-١): العلاقة بين الضغوط الثلاثة الأساسية في الموائع

٧-٢ المانومترات (Manometers)

المانومترات هي وسائل لقياس ضغوط الموائع في كثير من التطبيقات و خاصة في المختبرات. و تتميز ببساطتها و دقتها التي تناسب استخدامات عديدة و لكنها تستطيع قياس الضغوط المنخفضة نسبياً. و المانومتر في أبسط صوره هو عبارة عن أنبوب على شكل حرف U (U tube manometer) و تتصل نهايتي الأنبوب بالضغطين المطلوب قياس الفرق بينهما كما هو موضح في شكل (٧-٢).



الشكل (٧-٢): مانومتر شكل حرف U

و عندما يصل المانومتر إلى وضع الاتزان، يمكن حساب الضغط المجهول p بواسطة معادلة برنولي الشهيرة بعد تبسيطها في حالة الموائع الساكنة، كما في المعادلة (٣-٧) لتلائم ظروف القياس بالمانومتر.

$$p = p_a + \rho g h \quad (7\text{-}3)$$

حيث:

ρ : كثافة سائل المانومتر (kg/m^3)

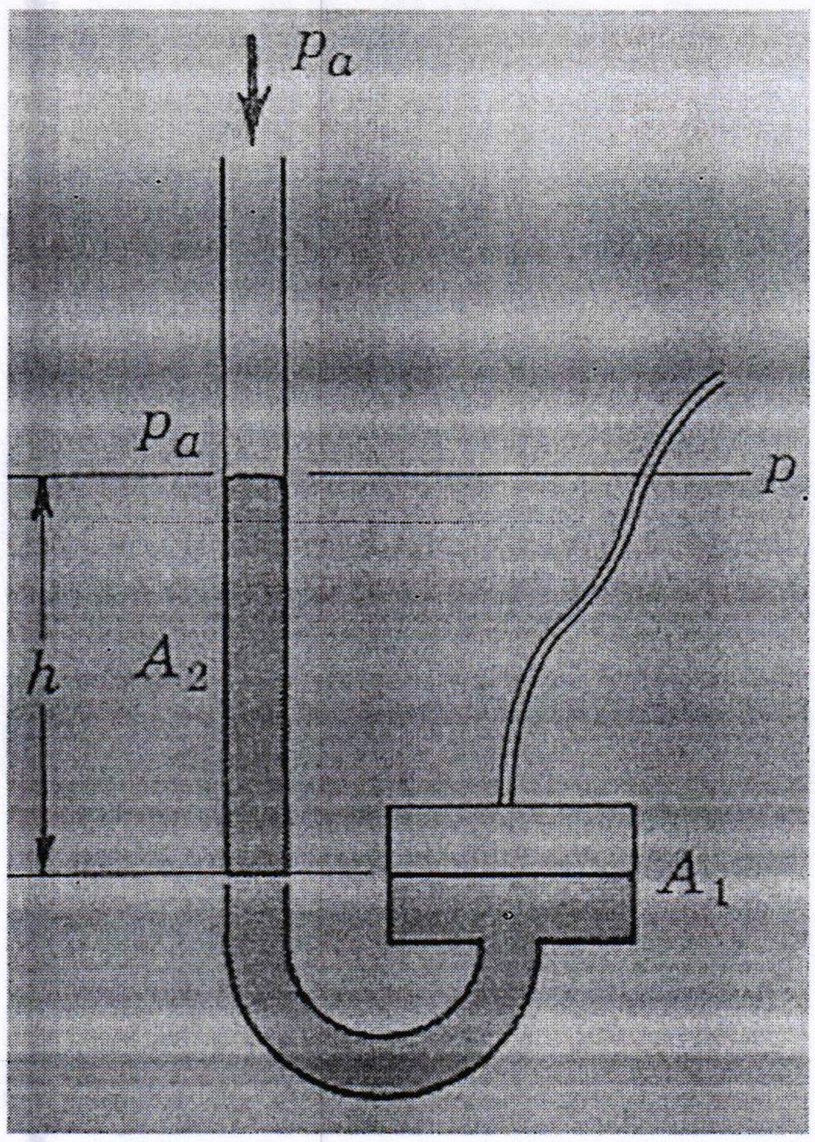
g : عجلة الجاذبية الأرضية ($9.81\ m/S^2$)

h: فرق الارتفاع في السائل بين طرفي الأنبوب (m)

و توجد عدة سوائل تستخدم في المانومتر مثل الماء و الكحول و الزئبق و تتحدد نوعية السائل المستخدم وفقاً لقيمة الضغط المراد قياسه، فيتم استخدام الماء(بعد إضافة صبغة إليه) في حالة الضغوط المنخفضة، أما الضغوط الأعلى فيستخدم فيها الزئبق ليعطي فرق ارتفاع مناسباً في هذه الحالة. و يجب الإشارة إلى أن ضغط المقاس لا يعتمد على مساحة مقطع الأنبوب كما يتضح من المعادلة (2-7) ، لذلك يوجد نوع آخر من المانومترات يسمى أحادي الساق كالمبين في الشكل (٧-٣). و يمتاز هذا النوع بسهولة قراءة قيمة فرق الارتفاع h حيث إنه في المانومتر ذي الساقين لا يوجد خط مرجعي لقياس الارتفاع، لأن السائل في الطرق عالي الضغط يهبط لأسفل و الآخر يرتفع لأعلى.

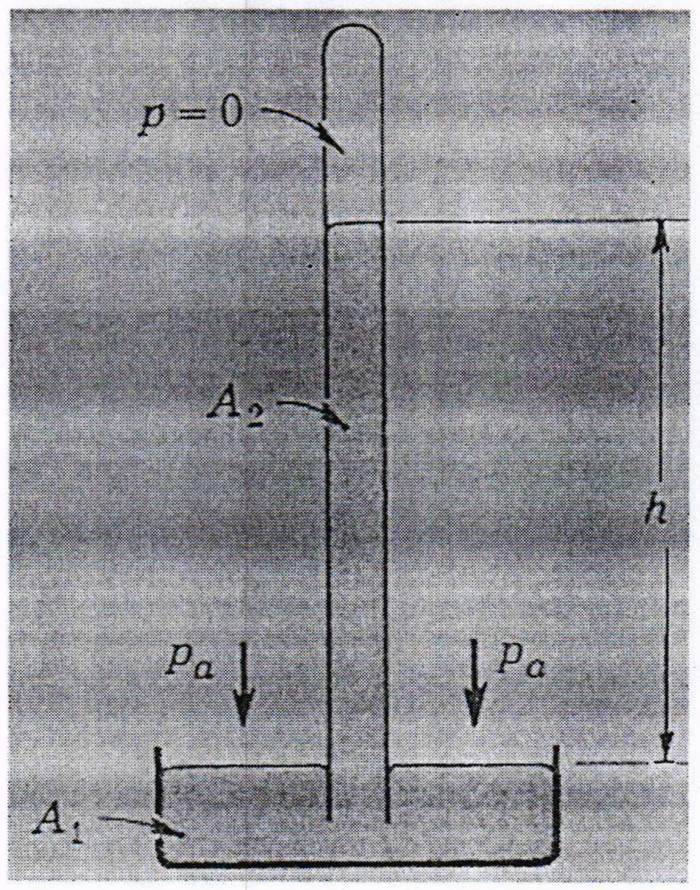
أما في المانومتر أحادي الساق، فيؤخذ مستوى السائل في الطرف العالي الضغط كخط مرجعي للقياس لأن الانخفاض فيه يكون صغيراً للغاية (نظراً لكبر مساحة مقطع هذا الطرف A_1 بالنسبة لمساحة الطرف منخفض الضغط A_2) و من الممكن إهماله أو عمل تصحيح بسيط له دون الخلل بدقة القياس. و يوجد تدريج على ساق المانومتر ليعطي قيمة ارتفاع السائل و تذكر وحداته مع نوع السائل المستخدم. فمثلاً $mm\ H_2O$ تعني أن الارتفاع بالميلليمتر و السائل هو الماء، أما mm Hg فتعني أن الارتفاع أيضاً بالميلليمتر و لكن السائل زئبق. و في جميع الحالات يتم تحويل قيمة الارتفاع إلى وحدات الضغط عن طريق المعادلة التالية مع مراعاة أن يكون الارتفاع بوحدة المتر m.

$$p = \rho g h \quad (7\text{-}4)$$



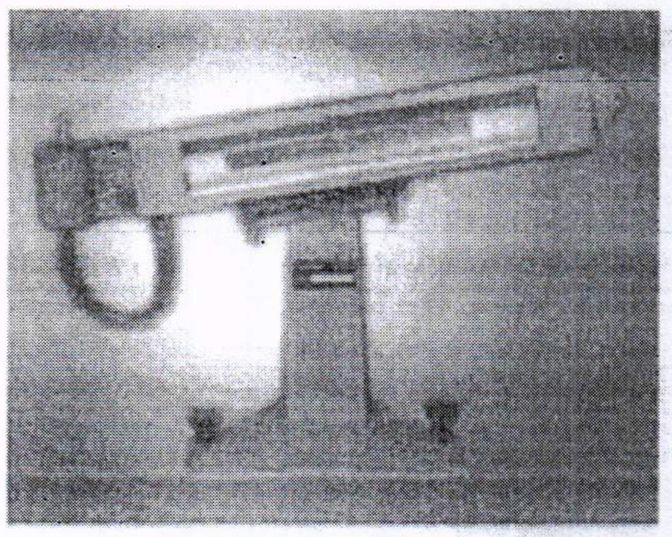
الشكل (٧-٣): المانومتر أحادي الساق

و يمكن إجراء تعديل في المانومتر أحادي الساق كما في الشكل (٧-٤) و يسمى في هذه الحالة بارومتر (Barometer) و هو مناسب لقياس الضغط الجوي. و يعبأ الفراغ الموجود بأعلى ساق الأنبوب ببخار الزئبق المشبع الذي له ضغط منخفض للغاية و يمكن إهماله و بالتالي تعطي قراءة البارومتر قيمة الضغط الجوي المطلق و يكون ارتفاع عمود الزئبق عند درجة حرارة 20 °C و على ارتفاع مستوى البحر = 760 mm Hg.



الشكل (٧-٤): بارومتر قياس الضغط الجوي

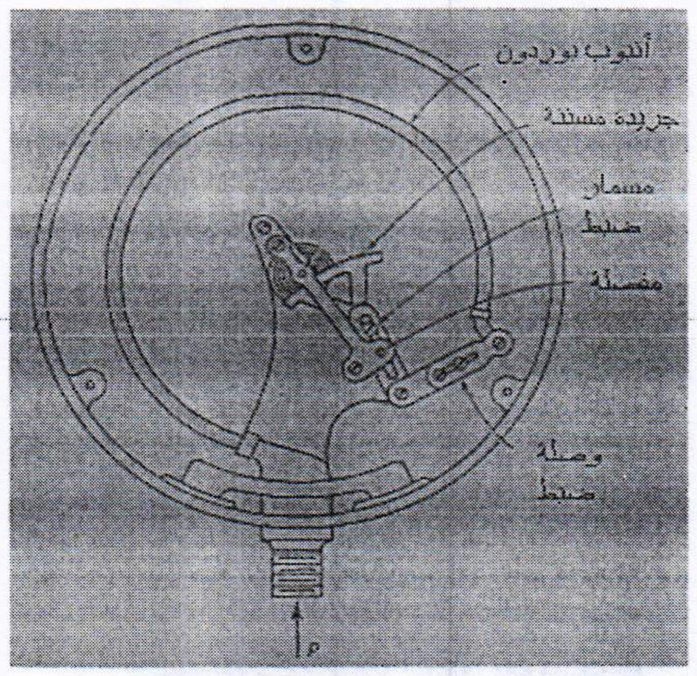
و يوجد أيضاً في المختبرات المانومتر المائل الموضح في شكل (٧-٥) و الذي يستخدم في الحالات التي يكون فيها ضغط القياس منخفضاً. و تؤدي إمالة ساق المانومتر إلى سهولة القراءة و من ثم إمكانية تحديد الارتفاعات الطفيفة للسائل بدقة.



الشكل (٧-٥) : المانومتر المائل

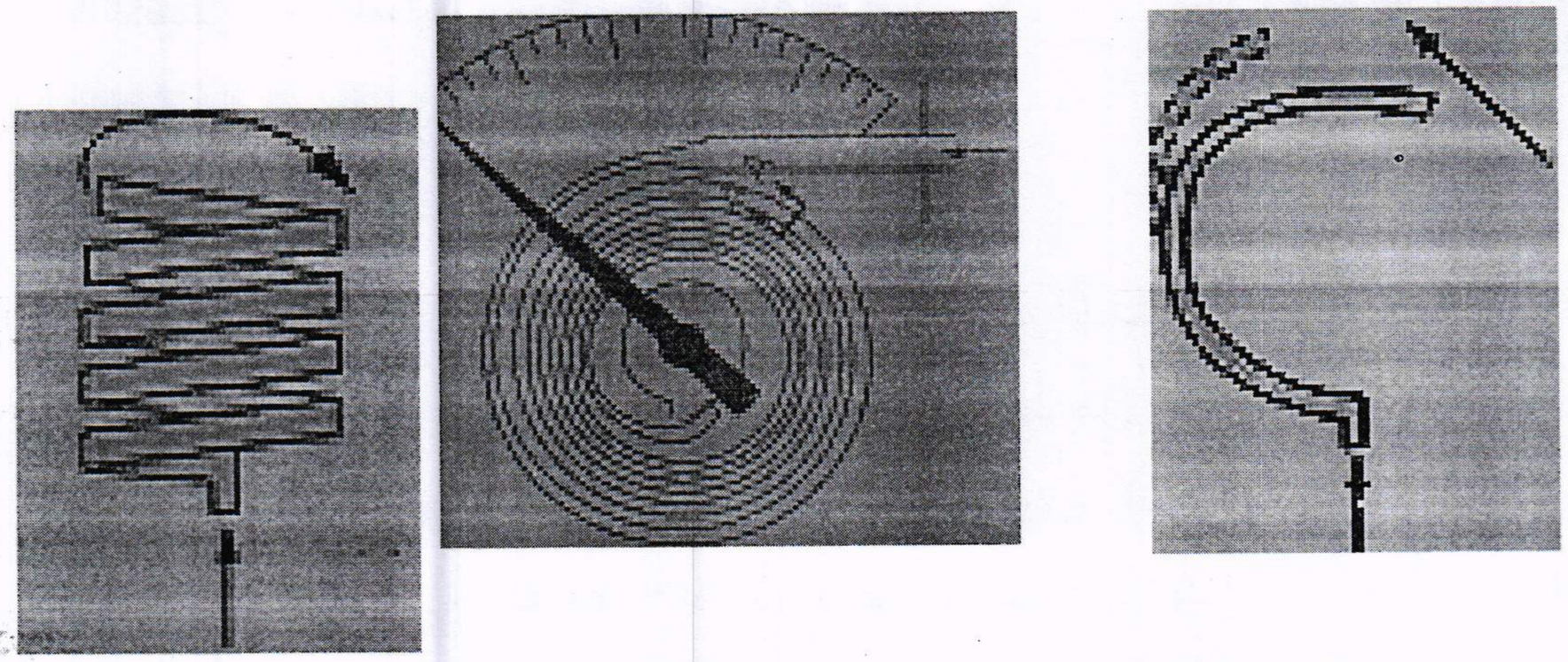
٧ ٣ أنبوب بوردون (Bourdon tube)

تعتمد الفكرة الأساسية لأنبوب بوردون على خاصية التغير المرن في الشكل لبعض المواد إذا وضعت تحت تأثير ضغط ثم عودتها لشكلها الأصلي بعد إزالة هذا الضغط، كما يكون هناك بمناسب خطي بين الضغط و مقدار التغير في الشكل. و يصنع الأنبوب من إحدى هذه المواد المرنة ويكون عادة على شكل حرف C، ويكون أحد طرفي الأنبوب مغلقاً و الطرف الآخر متصلاً بالضغط المراد قياسه. و يتصل أنبوب بوردون ،المبين في شكل (٧-٦) ، بوصلة مقيدة بياي و مجموعة من الروافع و الوصلات وذلك لتكبير الاستطالة الحادثة في الأنبوب و تحويلها إلى حركة دورا نية من خلال مؤشر يعطي قيمة القراءة بوحدات الضغط التقليدية.



الشكل(٧-٦): مقياس أنبوب بوردون

كما توجد أشكال أخرى لأنبوب بوردون إلى جانب شكل C، مثل الشكل العنكبوتي (spiral) و الشكل الحلزوني (helical) الموضحين في شكل (٧-٧) والمشار بالأسهم على كل منها اتجاه الحركة عند تطبيق الضغط المطلوب قياسه. و الشكلان العنكبوتي و الحلزوني لكل منهما مميزات تزيد عن أنبوب شكل C. ومن أهم هذه المميزات الدقة و الحساسية العاليتين و لكن تكلفتهما أعلى من أنبوب شكل C الذي يمتاز ببساطة التصميم و ملائمته لكثير من التطبيقات التي لا تتطلب حساسية قياس عالية.

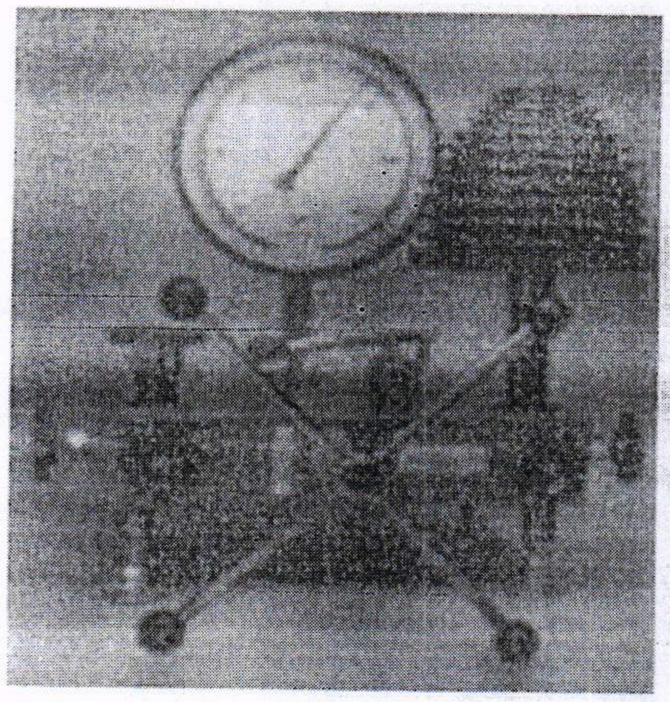


(أ) الشكل C (ب) الشكل العنكبوتي (ج) الشكل الحلزوني

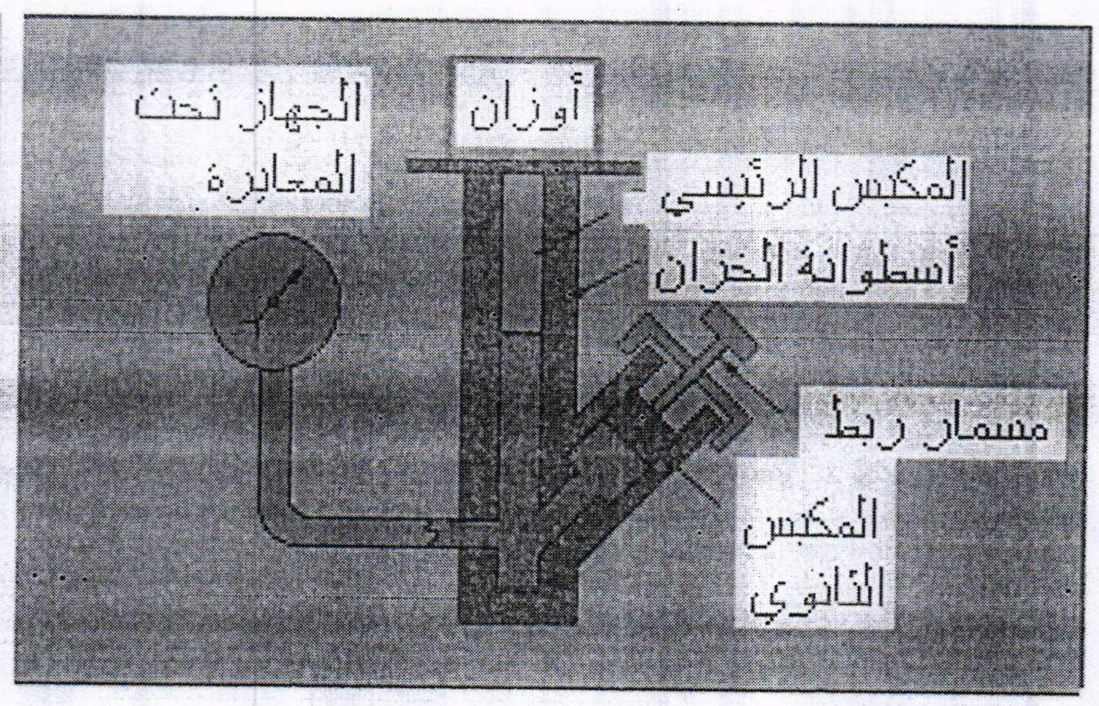
الشكل (٧-٧): الأشكال المختلفة لأنبوب بوردون.

٧-٤ المعايرة بواسطة الحمل الميت (Calibration using dead weight tester)

يستخدم جهاز الحمل الميت لمعايرة أجهزة قياس الضغط الأخرى و ذلك لتميزه بدقة عالية و إمكانية الوصول لضغوط مرتفعة، ولكنه نادراً ما يستخدم كوسيلة تقليدية لقياس الضغط. و تعتمد طريقة عمله على عمل توازن بين ضغط القوة الناتجة عن ضغط السائل المراد قياسه و وزن (أو حمل) معلوم الكتلة. و يبين الشكل (٧-٨) رسماً تخطيطياً للأجزاء الأساسية لجهاز الحمل الميت و وضعية أحد أجهزة قياس الضغط أثناء معايرته، كما يصور الشكل (٧-٩) أحد الأجهزه التي تستعمل فعلياً في مختبرات المعايرة.



الشكل (٧-٩): جهاز الحمل



الشكل (٧-٨): المعايرة بواسطة جهاز الحمل الميت

ا

و الجهاز معبأً بزيت نقي يتم ضغطه عن طريق الأوزان (الأحمال) الموضوعة على سطح المكبس الرئيس، و يتم حساب قيمة هذا الضغط من المعادلة (٥-٧) و ذلك عند وضع الاتزان - بواسطة تهوية مسمار الربط- بين الأوزان و القوة الناتجة من ضغط الزيت على مساحة مقطع الأسطوانة. وفي هذه الحالة يتم مقارنة قيمة الضغط المحسوبة بقراءة الجهاز المراد معايرته و يتم تكرار نفس الخطوات عند أوزان مختلفة لاتمام عملية المعايرة.

$$p = \frac{mg}{A} \qquad (٧-٥)$$

حيث:

p: قيمة الضغط (Pa)

m: كتلة الأوزان (kg)

A : مساحة مقطع أسطوانة الخزان (m^2)

g: عجلة الجاذبية الأرضية ($9.81\ m/s^2$)

الوحدة الثامنة

قياس التدفق

الوحدة الثامنة :قياس التدفق

الجدارة

التعرف على كيفية قياس التدفق

الأهداف

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة على معرفة:

- قياس التدفق بواسطة الفنشوري
- قياس التدفق بواسطة الفوهة
- قياس التدفق بواسطة الروتاميتر
- قياس التدفق بواسطة السلك الساخن
- قياس التدفق بواسطة أنبوب بيتوت

مستوى الأداء المطلوب

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب

ساعتان

الوسائل المساعدة:

- عارض بيانات.
- حاسب آلي.
- سبورة.

متطلبات الجدارة

اجتياز الوحدات السابقة

٨-١ مقدمة

يعتبر قياس معدل تدفق الموائع من القياسات الهامة في المجال التقني، ففي كثير من ماكينات التشغيل يتم تبريد قطعة العمل عن طريق تغذيتها بمائع التبريد الذي يتم ضبط معدل سريانه بواسطة جهاز لقياس التدفق. و الأساليب المتبعة في قياس معدل التدفق هي:

(أ) أسلوب خنق المائع (الفنشوري و الفوهة)

(ب) أسلوب إعاقة المائع (الروتاميتر و المقياس التوربيني)

(ت) أسلوب الاتزان الحراري (السلك الساخن)

(ث) أسلوب الجاس (أنبوب بيتوت)

(ج) الأساليب الضوئية

و سيتم في هذه الوحدة التعرف على بعض أشهر الطرق المستخدمة لقياس معدل التدفق و هي:

١ - الفنشوري (Venturi)

٢ - الفوهة (Orifice)

٣ - الروتامتر (Rotameter)

٤ - السلك الساخن (Hot wire amemometer)

٥ - أنبوب بيتوت (Pitot tube)

٨-٢ الفنشوري (Venturi)

تعتمد نظرية عمل الفنشوري على خنق المائع أثناء سريانه عن طريق تقليل مساحة المقطع تدريجياً ثم زيادته مرة أخرى كما هو موضح في شكل (٨-١). و ينتج عن خنق المائع انخفاض ضغطه (p) و بالتالي زيادة سرعته (u). و لكي يتم معرفة معدل سريان الكتلة (Mass flow rate, $\dot{m}$) للمائع لابد من الاستعانة ببعض المعادلات الطبيعية المبسطة التي تربط بين المتغيرات المختلفة أثناء السريان المنتظم للمائع أي بفرض ثبات هذه المتغيرات مع الزمن. و هذه المعادلات هي:

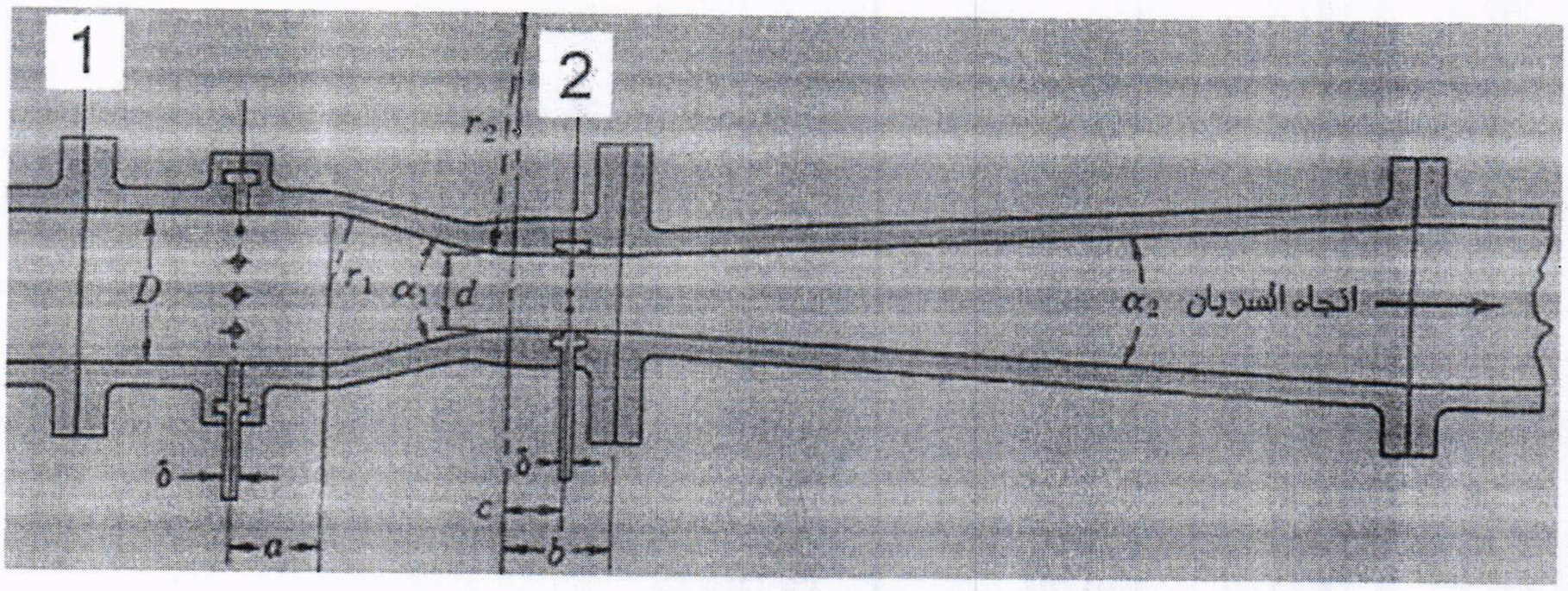
(أ) معادلة الاستمرارية (Continuity equation)

$$\dot{m} = \rho_1 \, u_1 \, A_1 = \rho_2 \, u_2 \, A_2 \qquad (٨-١)$$

حيث:

ρ: كثافة المائع (fluid density)

A_1, A_2: مساحتي المقطعين ١ ، ٢ (cross-sectional areas)الموضحين في شكل (٨-١)



الشكل (٨-١): رسم تخطيطي للفنشوري؟

وفي حالة ثبات الكثافة فيكون معدل السريان الحجمي النظري (Discharge, Q_{th}) تأخذ معادلة الاستمرارية الشكل التالي:

$$(Q_{th} = u_1 \, A_1 = u_2 \, A_2 \qquad (8\text{-}2$$

(ب) معادلة برنولي (Bernoulli's equation)

$$(\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{u_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{u_2^2}{2g} \qquad (8\text{-}3$$

و بحل المعادلتين (٢-٨) و (٣-٨) يمكن الوصول إلى المعادلة (8-4) لحساب فرق الضغط الناتج من خنق المائع في الفنتوري؟ و منها يتم حساب معدل التدفق الحجمي من المعادلة (٥- ٨).

$$(\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{\rho\ u_2^2}{2g}\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right] \quad \textbf{(8-4}$$

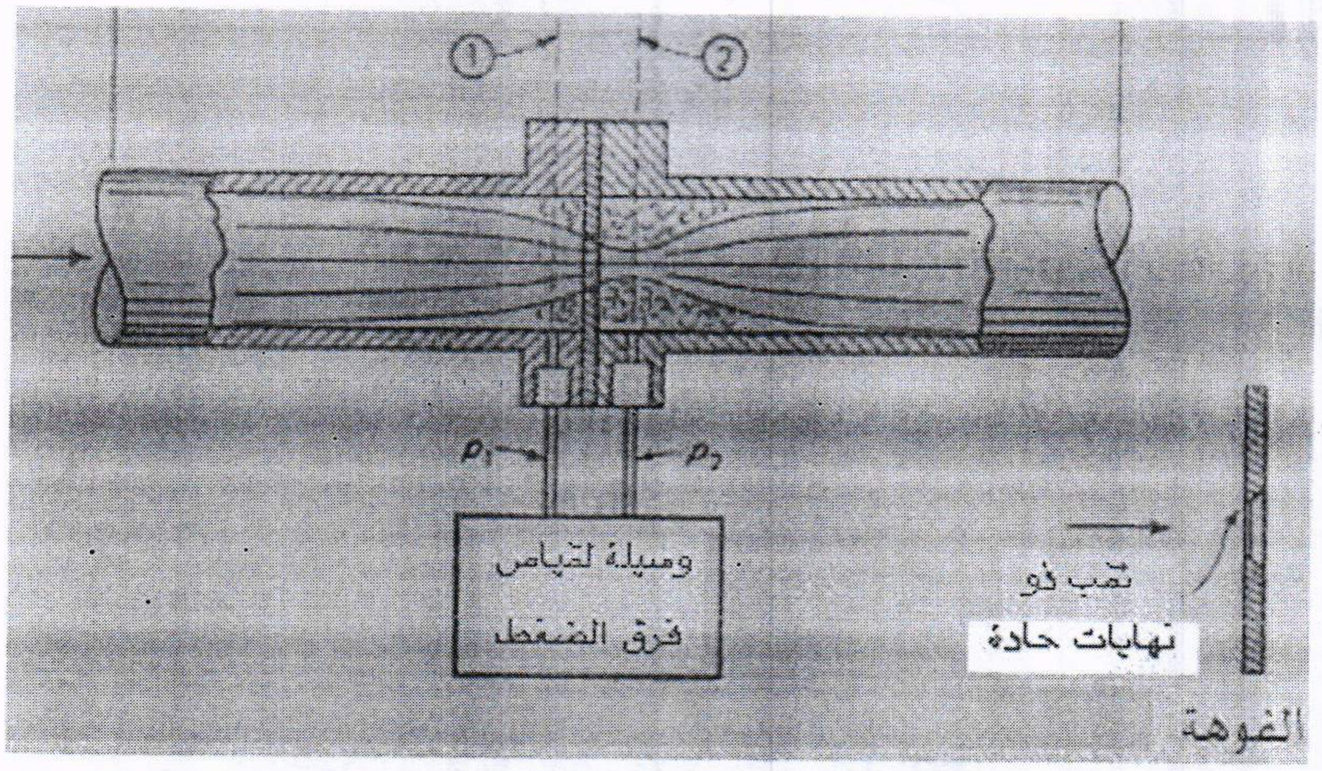
$$Q_{th} = A_2 u_2 = \frac{A_2}{\sqrt{1-(A_2/A_1)^2}} \sqrt{\frac{2g\,(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad \textbf{(8-5)}$$

و يتضح من (٥-٨) أنه بقياس فرق الضغط Δp الناتج من تأثير الفنشوري؟ يمكن حساب معدل التدفق الحجمي Q_{th}. و يجب أن نأخذ في الاعتبار أن هذه المعادلة مستنتجة من مجموعة معادلات نظرية مبسطة، و بالتالي فالقيمة الفعلية لمعدل التدفق الحجمي Q_{act}، يتم تصحيحها عن طريق ضرب قيمة Q_{th} المحسوبة من المعادلة في معامل تصحيح الفنتوري؟، C، كما توضح المعادلة (٦-٨). و توجد منحنيات تعتمد على نوع الفنتوري؟ و سرعة و نوع المائع لاعطاء قيمة معامل التصحيح C.

$$(Q_{act} = C\,Q_{th} = C\,A_2\,u_2 \quad \textbf{(8-6}$$

٨ ٣ الفوهة (Orifice)

طريقة الفوهة من الطرق المنتشرة لقياس الموائع و هي تشبه الفنتوري؟ مع الفرق في أن الفوهة صغيرة الحجم ومنخفضة التكلفة و لكنها أقل دقة. و الفوهة عبارة عن قرص معدني في مركزه ثقب صغير مثقوب بشكل متدرج و تكون نهايتي الثقب حادتين. و يسبب هذا الشكل للفوهة خنق المائع و إحداث فرق في الضغط كما هو مبين في شكل (٨-٢). و تختلف أبعاد الفوهات و تصميمها تبعاً للتطبيق الذي ستستخدم فيه و المائع الذي يمر خلالها.



الشكل (٨-٢): الفوهة أثناء قياس معدل تدفق مائع في أنبوبة

و غالباً ما يتم قياس فرق الضغط الناتج من تأثير الفوهة بواسطة إحدى طرق قياس الضغط التي سبق ذكرها في الوحدة السابقة. فيمكن توصيل طرفي مانوميتر بفتحتين صغيرين قبل و بعد الفوهة لقياس فرق الضغط الناتج. و يتم استخدام نفس المعادلات التي تم استنتاجها للفنشوري؟ لحساب معدل التدفق الحجمي النظري ، Q_{th}، مع إجراء تعديل بسيط في المعادلة الأخيرة لحساب معدل التدفق الفعلي كالآتي:

$$Q_{act} = C_d \, Q_{th} \qquad (8\text{-}7)$$

حيث:

C_d : معامل التدفق للفوهة يتم إيجاده من منحنيات خاصة وحسب أبعاد الفوهة و نوع و سرعة المائع

A_1, A_2 : مساحتى المقطع قبل و بعد الفوهة على الترتيب

و في جميع الحالات يمكن حساب معدل تدفق الكتلة الفعلي، $\dot{m}_{act}$، من المعادلة (٨-٨):

$$\dot{m}_{act} = \rho_1 \, Q_{act} \qquad (8\text{-}8)$$

٨ ٤ الروتاميتر (Rotameter)

تنتشر أجهزة الروتاميتر في التجهيزات التي تتطلب قياساً سريعاً لمعدل التدفق الحجمي و لا تحتاج لدقة و حساسية قياس عاليتين. فهذه الأجهزة تعطي قراءه مباشرة دون الحاجة لإجراء حسابات كما في أجهزة الخنق على سبيل المثال، كما أنها تتميز بسهولة

التركيب والتكلفة المعقولة. و مبدأ القياس في الروتاميتر الموضح في شكل (٨-٣)، مبني على إعاقة سريان المائع - بواسطة عوامة- أثناء مروره خلال أنبوب مسلوب (مخروطي). فكلما زاد معدل السريان ازداد دفع المائع للعوامة فترتفع لأعلى لإفساح مساحة أكبر لتدفق المائع حولها و العكس صحيح في حالة انخفاض معدل التدفق. و بالتالي يمكن استنتاج المعادلة (9-8) لتعبر عن العلاقة بين معدل التدفق الحجمي Q و المسافة y التي تتحركها العوامة المبينة في شكل (٨-٣). لذلك تتم معايرة الروتاميتر بعد تصنيعه و تدريجه بحيث يعطي قيمة معدل التدفق الحجمي مباشرة.

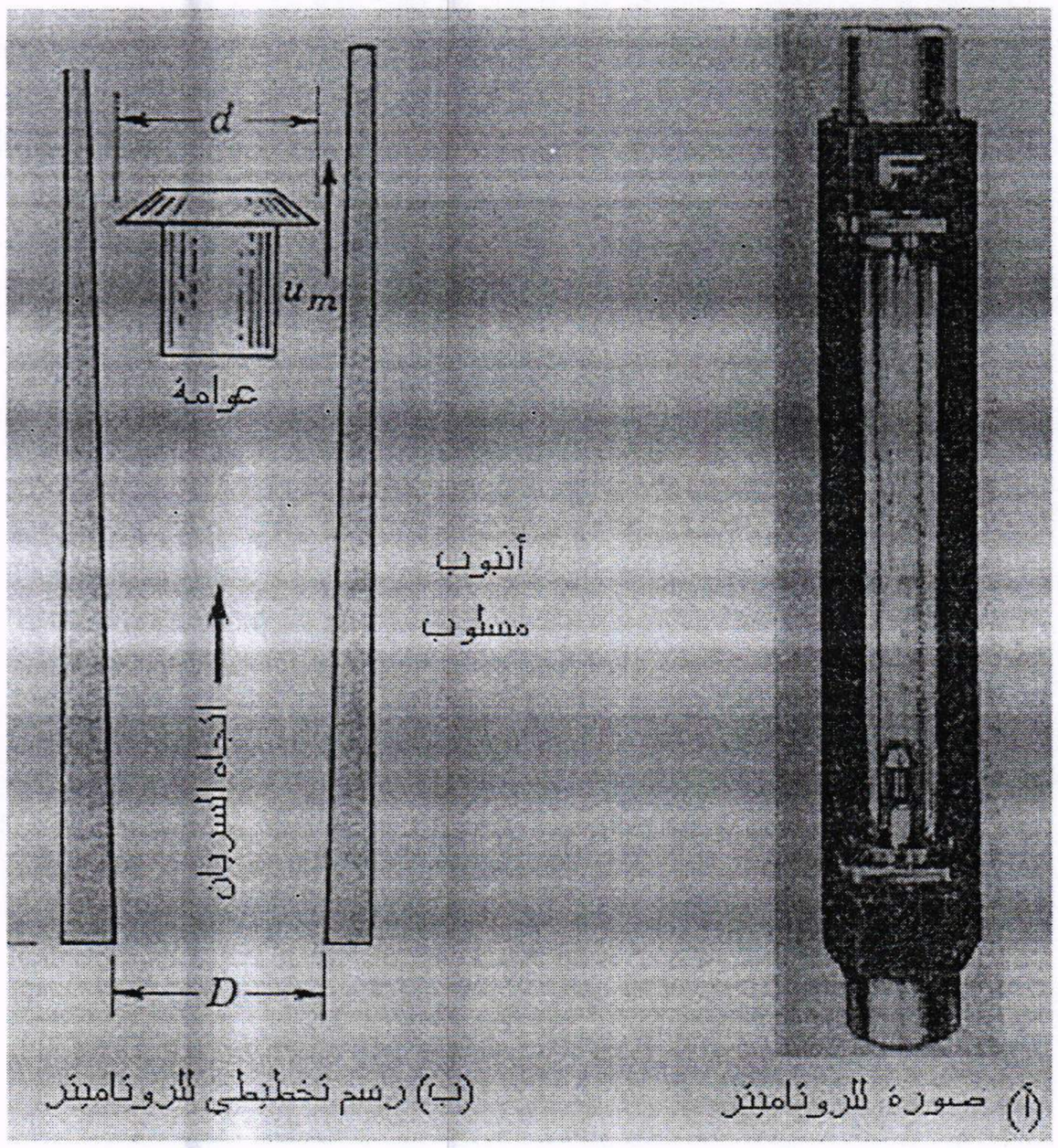
$$Q = C_1\, y \sqrt{\frac{(\rho_b - \rho_f)}{\rho_f}} \qquad (8\text{-}9)$$

حيث:

C_1 : ثابت الروتاميتر

ρ_b : كثافة المادة المصنوعة منها العوامة

ρ_f : كثافة المائع

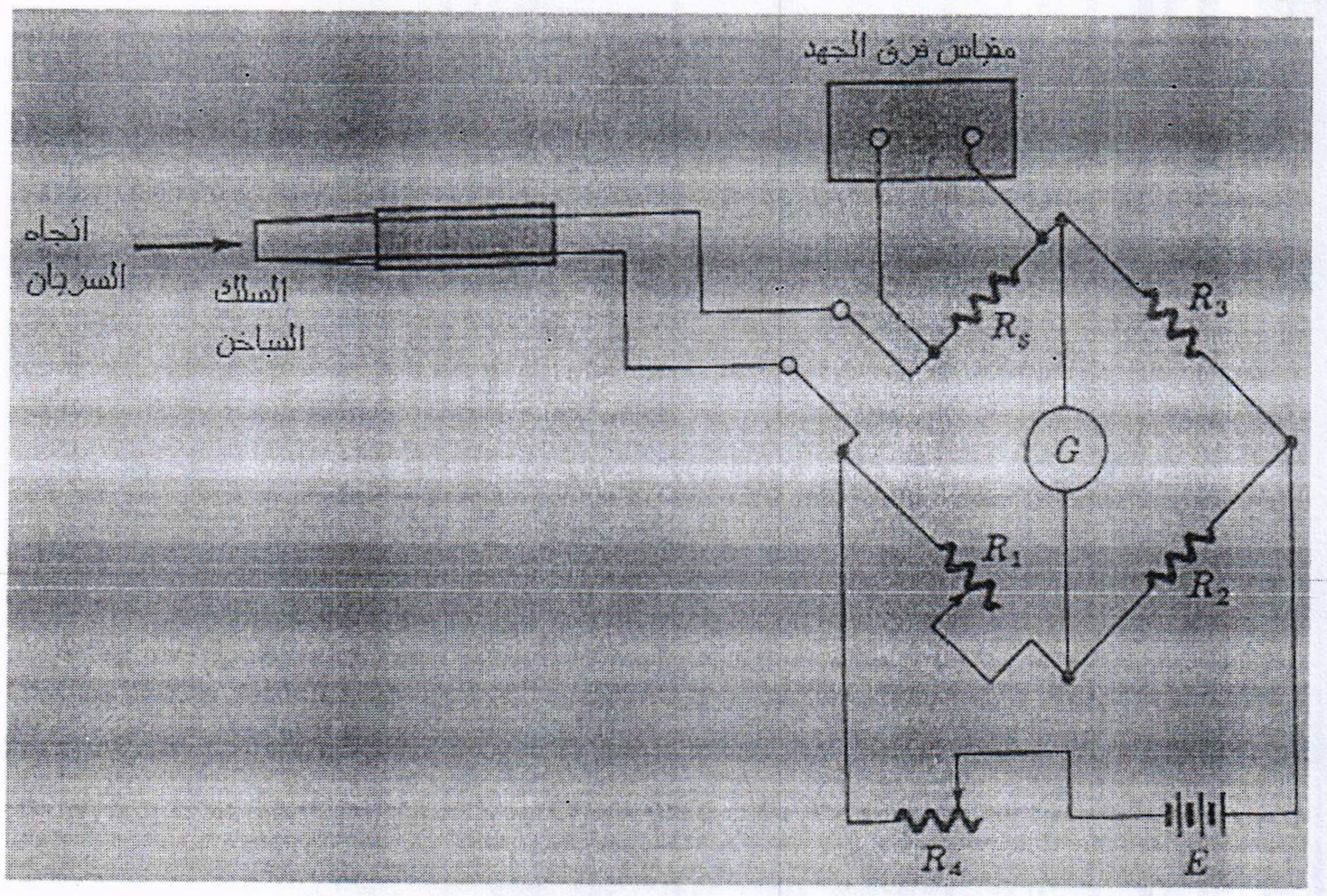


الشكل (٨-٣): جهاز الروتاميتر

٨-٥ السلك الساخن (Hot wire anemometer)

تستخدم طريقة قياس سرعة الموائع بالسلك الساخن عندما يكون التغير في السرعة المقاسة كبيراً و عند الحاجة لحساسية و دقة قياس عاليتين. كما أنه يمكنه قياس مدى من السرعات بدايةً من السرعات المنخفضة و حتى سرعات تفوق سرعة الصوت، لذلك فهذه الطريقة مكلفة و تحتاج لمهارة عالية من الشخص الذي يجري عملية القياس، و هي غالباً ما تستخدم في الأبحاث العلمية.

و السلك الساخن عبارة عن سلك معدني مصنوع من البلاتين أو التنجستن أو بعض السبائك، و قد يصل قطره إلى 0.0025 mm و طوله في حدود 25 mm. و يتم توصيل السلك بدائرة كهربية كالمبينة بالشكل (٨-٤) و هي تشبه قنطرة هيوستون التي تم الإشارة إليها في الوحدة السادسة من خلال قياس درجة الحرارة بالازدواج الحراري. و يتم تسخين السلك بواسطة سخان كهربي، ثم يوضع السلك في مجال سريان المائع المراد قياس سرعته فيتسبب ذلك في تبريد السلك. و ثبت علمياً أن هناك علاقة رياضية بين سرعة المائع و معدل تبريد السلك الساخن. و بناءً على ذلك يمكن تحديد سرعة المائع بتغير معدل التسخين حتى نصل لوضع التساوي بين معدلي التبريد و التسخين فيحدث الاتزان في قنطرة هيوستون .



الشكل (٨- ٤): قياس السرعة بواسطة السلك الساخن

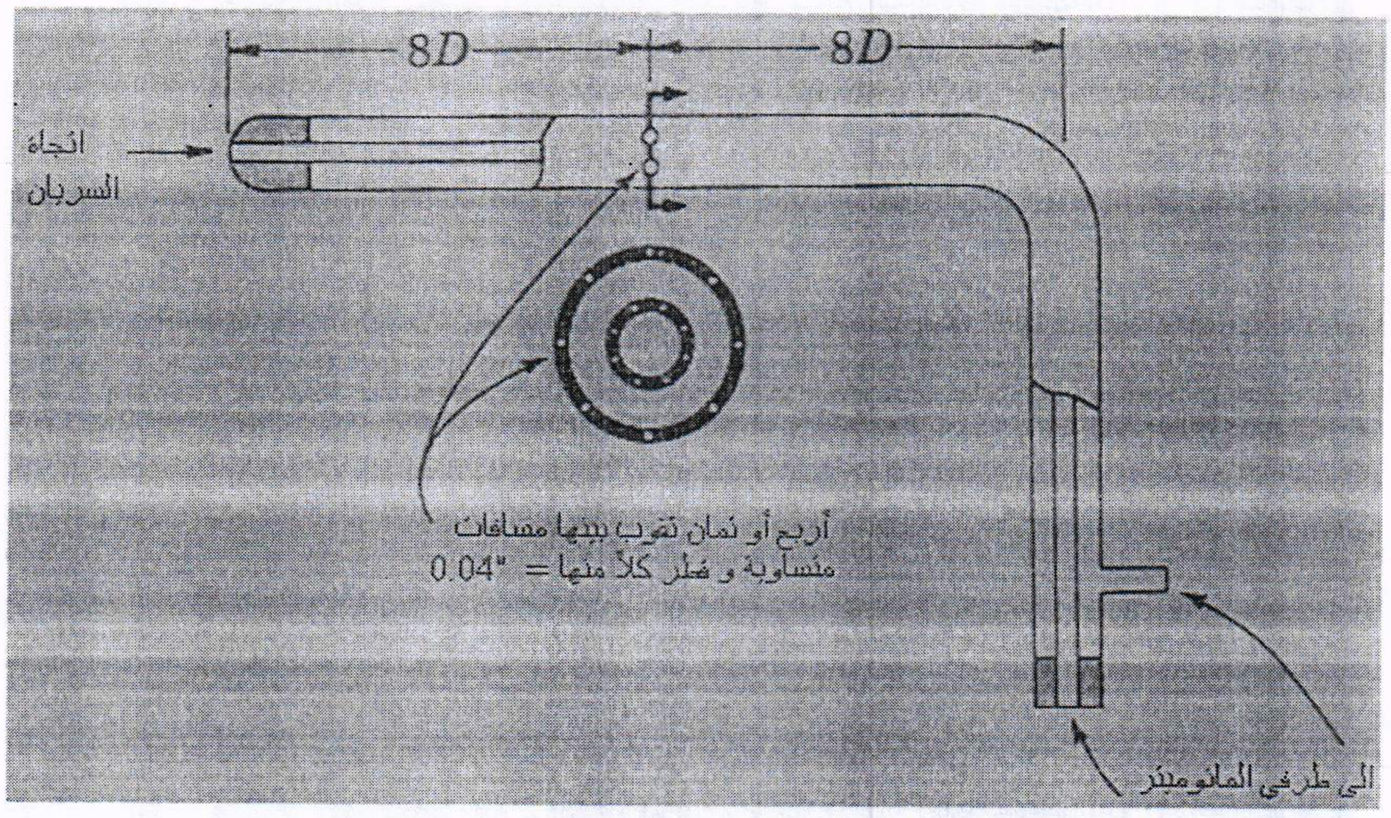
٨-٦ أنبوب بيتوت (Pitot tube)

تتميز طريقة أنبوب بيتوت على غيرها من الطرق الأخرى لقياس معدل التدفق بأنها تستطيع تحديد قيمة السرعة عند نقطة محددة داخل المائع. أما في الطرق الأخرى فيتم قياس قيمة متوسطة على المقطع الذي يتم عنده القياس، و بالتالي تناسب طريقة أنبوب بيتوت ظروف القياس التي تختلف فيها قيمة سرعة المائع عند نفس المقطع. بالإضافة لذلك فهي تستخدم تقريبا نفس المعادلات المستنتجة للفنتوري و الفوهة مع إدخال بعض التعديلات البسيطة عليها.

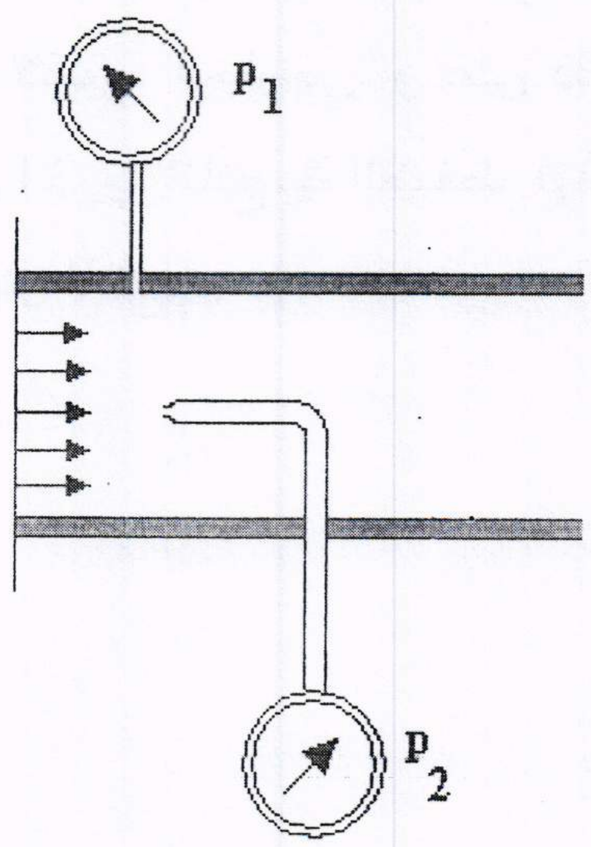
و بالنظر إلى الشكل (٨-٥) نجد أن أنبوب بيتوت هو عبارة عن أنبوبين متداخلين و متمركزين داخل بعضهما البعض و هما على شكل زاوية قائمة. الأنبوب الداخلي مفتوح من كلا طرفيه، أما الأنبوب الخارجي فمسدود عند أحد طرفيه ولكن به عدد من الثقوب الجانبية الصغيرة عند الطرف الأول، و كذلك فتحة جانبية قبل نهاية الطرف الثاني. و نظرية القياس مبنية على أنه إذا وضع الأنبوب مواجهاً لسريان المائع، فسينتج عن ذلك حدوث فرق في الضغط بين حزمة المائع التي دخلت في الأنبوب الداخلي و الحزمة الأخرى التي دخلت في الأنبوب الخارجي. و على ذلك، إذا تم توصيل نهايتي الأنبوبين بمانوميتر فيمكن قياس الفرق الناتج في الضغط Δp كما يوضح ذلك شكل (٨-٦) و من ثم حساب سرعة سريان المائع،

باستخدام المعادلة التالية:

$$u = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \qquad (8\text{-}9)$$



الشكل (٨-٥): أنبوب بيتوت



الشكل (٨-٦): أنبوب بيتوت أثناء قياس سرعة مائع يسري داخل أنبوب

الوحدة التاسعة

القياسات الأساسية في الكهرباء

الوحدة التاسعة :القياسات الأساسية في الكهرباء

الجدارة

التعرف على القياسات الأساسية في الكهرباء

الأهداف

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة بإذن الله على معرفة:

- الجهد الثابت و المتردد بالفولتميتر
- قياس المقومات الكهربية
- قياس شدة التيار بالأميتر

مستوى الأداء المطلوب

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب

ساعتان

الوسائل المساعدة:

- عارض بيانات.
- حاسب آلي.
- سبورة.

متطلبات الجدارة

اجتياز الوحدات السابقة

٩-١ مقدمة

نشأت أهمية القياسات الأساسية في الكهرباء بالنسبة لمتدربي تقنية الإنتاج نظراً لأن الكثير من أجهزة القياس الأخرى تحتاج في تشغيلها لمعرفة القياسات الكهربية. فعلى سبيل المثال، عند استخدام الازدواج الحراري لقياس درجة الحرارة (الوحدة السادسة) لابد أن يعلم المتدرب كيف تقاس القوة الدافعة الكهربية المتولدة نتيجة فرق درجات الحرارة المطبق. كذلك في مجال اللحام الكهربي، يتم ضبط ماكينة اللحام على شدة التيار الكهربي التي تتناسب مع نوع المعدن المراد لحامه و سمك الشغلة و غير ذلك من العوامل الأخرى المؤثرة في عملية اللحام. لذلك فسيتم في هذه الوحدة التعرف على القياسات الكهربية الأساسية و هي:

١ -قياس الجهد الثابت و المتغير

٢ -قياس المقاومات

٣ -قياس شدة التيار

٩-٢ قانون أوم (Ohm's law)

يعتبر قانون أوم من أهم القوانين الأساسية في التقنية الكهربية وهو الذي يربط بين هذه المتغيرات الثلاثة الأساسية في أي دائرة كهربية و يعطى في صورة المعادلة الآتية:

$$E = I R \qquad (9\text{-}1)$$

حيث:

E: فرق الجهد بالفولت (Potential difference, V)

I : شدة التيار بالأمبير (Current, A)

R: المقاومة بالأوم (Resistance, Ω)

و يستخدم قانون أوم (Ohms's law) عادةً في القياسات الكهربية للتأكد من القيم المقاسة، فإذا قيس التيار (I) و كانت المقاومة (R) معلومة، أمكن التعويض مباشرةً في المعادلة (١-٩) لحساب فرق الجهد. و في الحالات الأخرى التي تختلف فيها الكميات المعلومة و المقاسة، فيتم إعادة ترتيب المعادلة لتناسب كل حالة. و لتسهيل هذه العملية ، يمكن وضع قانون أوم على شكل مثلث في قمته فرق الجهد (E) و على قاعدته شدة التيار (I) و المقاومة (R) و يفصل بينهما خط أفقي و آخر رأسي. و المتغير المطلوب حسابه يكتب في الطرف الأيسر من المعادلة و يحذف من المثلث، فيكون المتغيران الآخران هما

الطرف الأيمن للمعادلة والخط الفاصل بينهما يبين العملية الحسابية (ضرباً أم قسمة). و يوضح جدول (٩-١) كل الحالات التي يعاد فيها ترتيب قانون أوم تبعاً للمعطيات المتاحة.

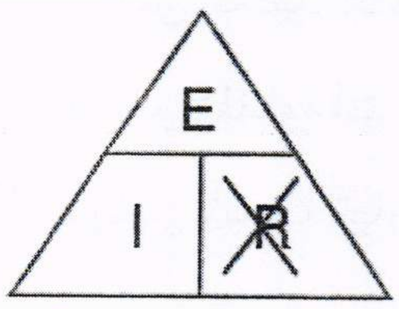
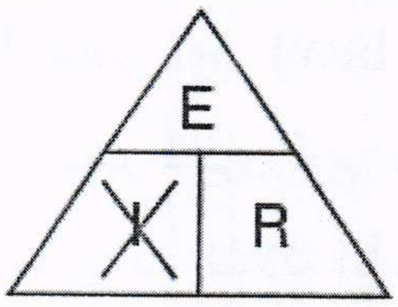
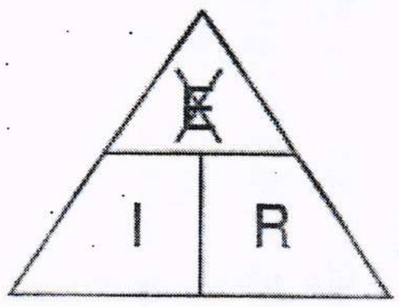
مثال:

احسب شدة التيار الكهربي المار في مصباح مقاومته الكهربية Ω ٣ إذا كانت البطارية التي تغذي هذا المصباح تعطي فرق جهد مقداره ١٢ V.

الحل:

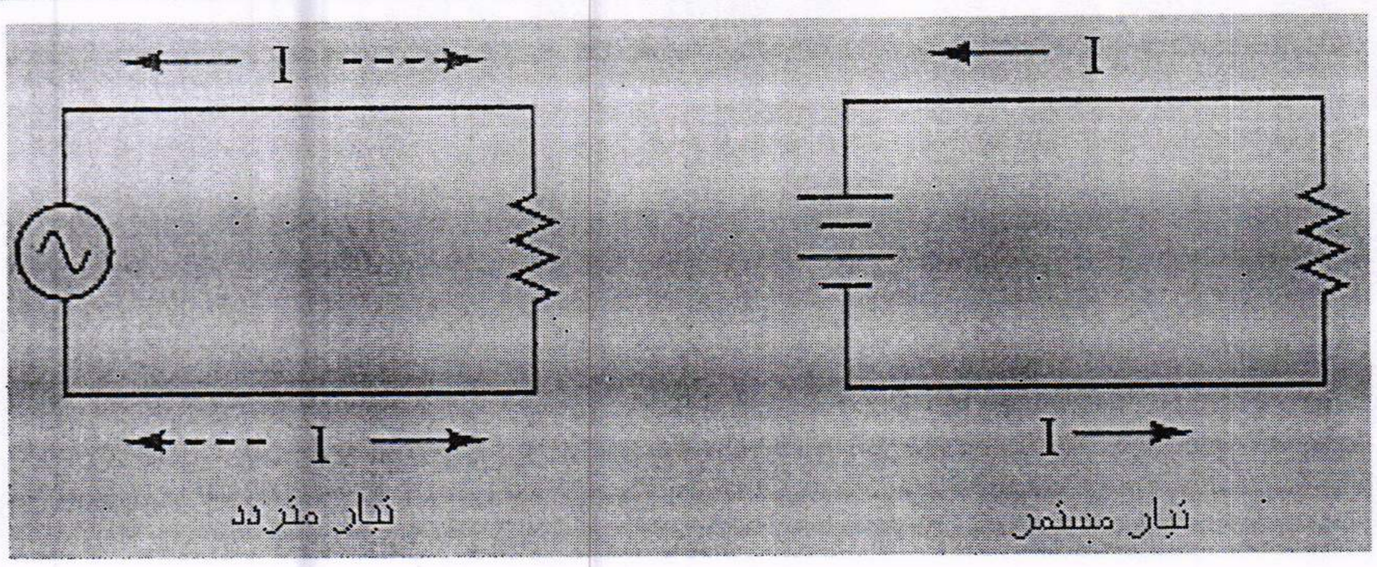
$$I = \frac{E}{R} = \frac{12}{3} = 4\ A$$

جدول (٩-١): الأشكال المختلفة لقانون أوم تبعاً للمتغيرات المعلومة و المجهولة

المتغيران المعلومان	المتغير المطلوب حسابه	شكل المثلث والمعادلة
فرق الجهد (E) و شدة التيار (I)	المقاومة (R)	$R = \frac{E}{I}$ 
فرق الجهد (E) و المقاومة (R)	شدة التيار (I)	$I = \frac{E}{R}$ 
شدة التيار (I) و المقاومة (R)	فرق الجهد(E)	$E = I R$ 

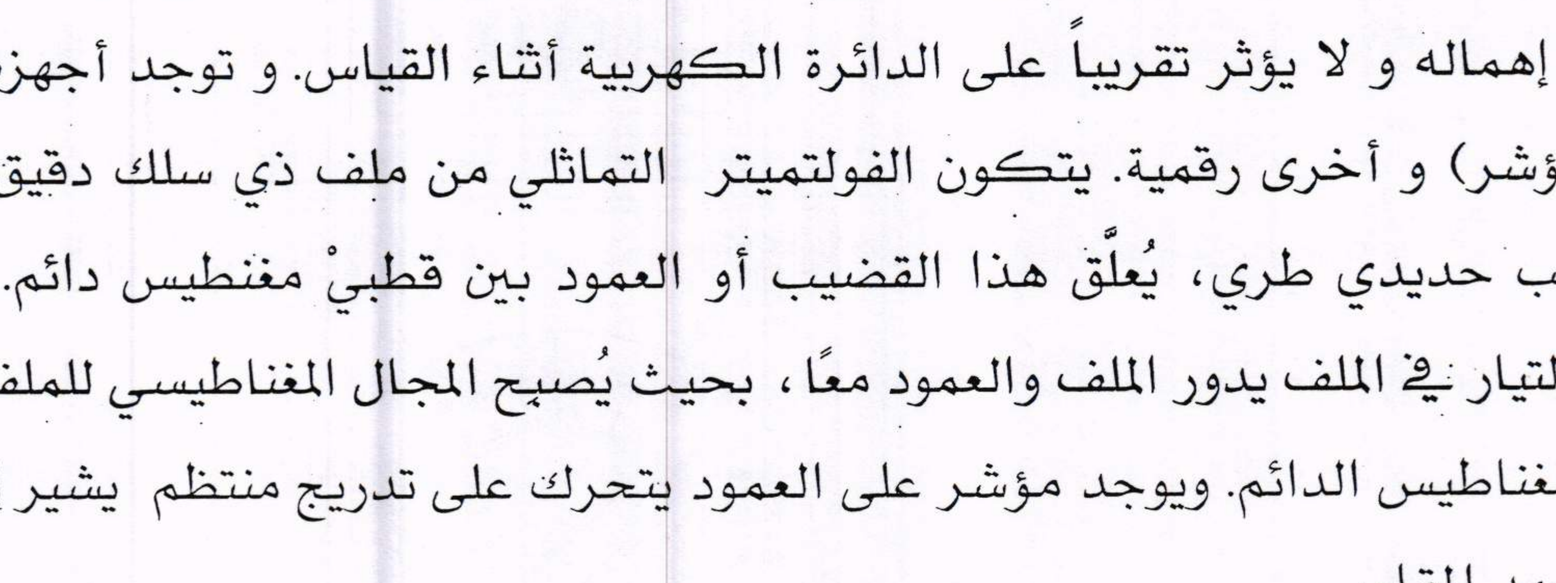
٩-٣ قياس فرق الجهد المستمر و المتردد
(Direct and alternating voltage measurement)

قبل أن نستعرض كيفية قياس فرق الجهد، لابد من إيضاح الفرق بين الجهد المستمر الذي يكون له اتجاه ثابت لسريان التيار الكهربي، و الجهد المتردد الذي يتغير اتجاه التيار فيه بشكل دوري كما هو موضح في الشكل (٩-١). و الجهد المستمر يتولد خلال البطاريات التي يكون لها طرفان موجب و سالب محددان (لذلك تسمى أحادية القطبية)، أما الجهد المتردد فيتم توليده بواسطة المولدات الكهربية كما في محطات توليد الطاقة الكهربية التي تنتشر حول المدن لتغذيها بالطاقة الكهربية التي تحتاجها في كافة الأغراض الصناعية و المنزلية.



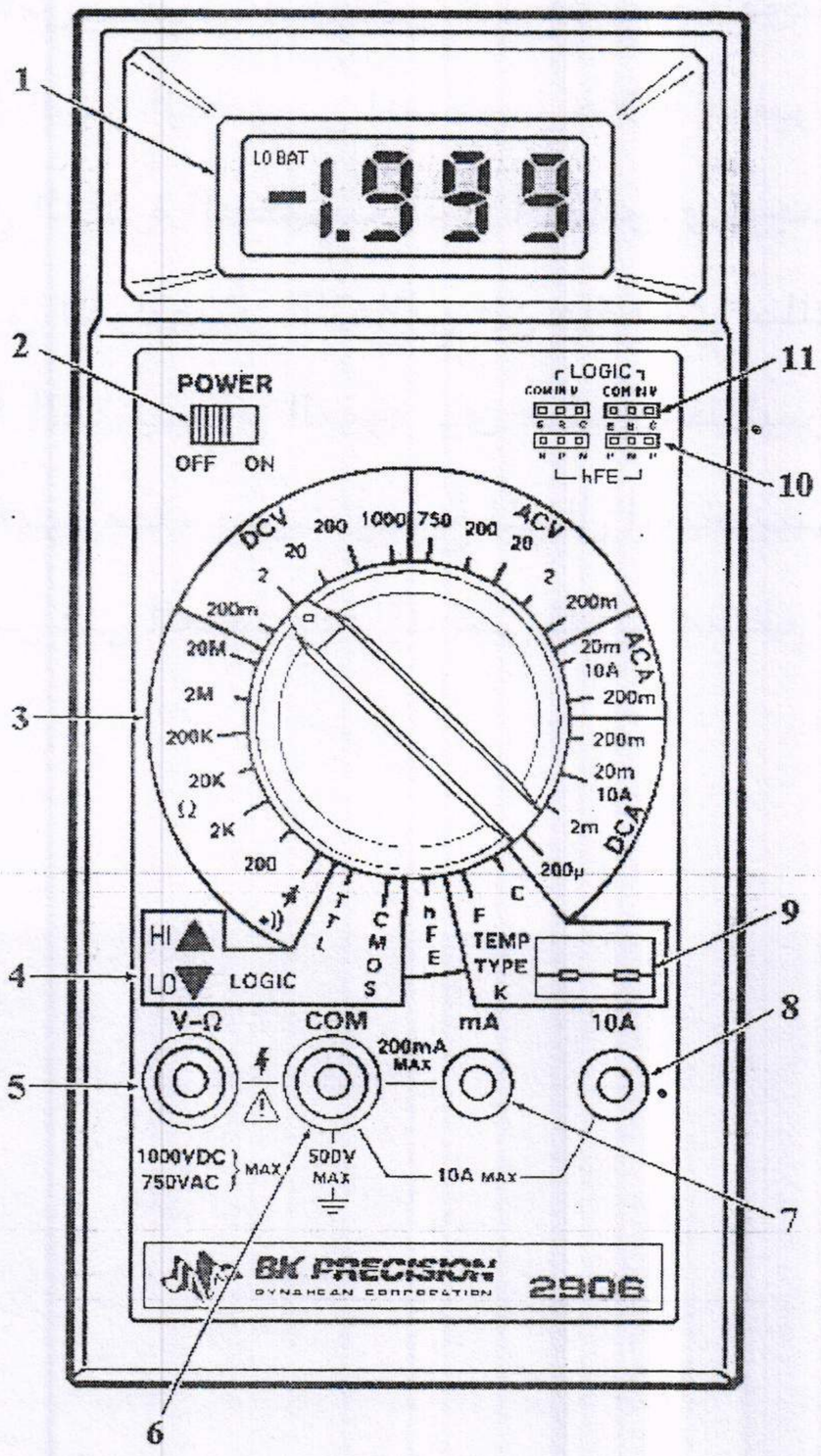
الشكل (٩-١): الفرق بين الجهد المستمر و الجهد المتردد

ويتم قياس فرق الجهد بواسطة جهاز الفولتميتر (Voltmeter) وذلك بتوصيل طرفيه (الأحمر و هو الموجب ، و الأسود و هو السالب) بنهايتي العنصر المراد قياس فرق الجهد عبره و هو العنصر رقم (٤) كما هو موضح بالشكل (٩-٢). و يسمى هذا النوع من التوصيل بالتوصيل على التوازي حيث يكون فرق الجهد المطبق على الفولتميتر هو نفسه عبر العنصر (٤). و يجب مراعاة التوصيل الصحيح لطرفي الفولتميتر لأن عكس التوصيلات سيؤدي إلى عكس إشارة قيمة فرق الجهد المقاس (V_4) . و يراعى عند تصميم الفولتميتر أن تكون مقاومته الداخلية عالية حتى يكون التيار الكهربي المسحوب خلاله صغيراً جداً و بالتالي يمكن إهماله و لا يؤثر تقريباً على الدائرة الكهربية أثناء القياس. و توجد أجهزه تماثلية (ذات مؤشر) و أخرى رقمية. يتكون الفولتميتر التماثلي من ملف ذي سلك دقيق ملفوف حول قلب حديدي طري، يُعلَّق هذا القضيب أو العمود بين قطبيْ مغنطيس دائم. وعندما يسري التيار في الملف يدور الملف والعمود معًا، بحيث يُصبح المجال المغناطيسي للملف موازيًا لمجال المغناطيس الدائم. ويوجد مؤشر على العمود يتحرك على تدريج منتظم يشير إلى قيمة فرق الجهد المقاس.



الشكل (٩-٢): توصيل الفولتميتر لقياس فرق الجهد عبر العنصر (٤)

و نادراً ما يكون الفولتميتر جهازاً منفرداً و إنما يكون غالباً أحد الاختيارات الموجودة في جهاز الأفوميتر أو الملتيميتر (Multimeter) . و يستخدم الأفوميتر - إلى جانب قياس فرق الجهد- في العديد من القياسات الكهربية الأخرى مثل شدة التيار و المقاومة و التردد. و هناك تصميمات متعددة للأفوميتر و بالتالي قد تختلف الأشكال من جهاز لآخر ولكنها جميعاً تحتوي على أجزاء متشابهة كتلك الموضحة بشكل (٩-٣). و وحدة قياس فرق الجهد هي الفولت (V)، وفي حالة قياس فرق جهد ثابت (مستمر) يضبط الجهاز على (DC) ، أما في حالة قياس فرق الجهد المتغير(المتردد) فستخدم وضع القياس (AC). و جدير بالذكر أن الأفوميتر يعطي القيمة المتوسطة (RMS) لفرق الجهد في حالة الجهد المتغير و ليس القيمة العظمى . و أحياناً توجد بعض أجهزة الأفوميتر بشاشات ذات مؤشر كالتي يبينها الشكل (٩-٤) و الذي يوضح أيضاً مفتاح اختيار مدى القياس سواءً لقياس فرق الجهد أو المقاومة أو شدة التيار.



١ مفتاح التشغيل

٢ مفتاح الاختيار

٣ مفتاح ضبط مدى القياس

٤ لمبة إيضاح لقياس العالي و المنخفض

٥ مدخل قياس فرق الجهد و المقاومة

٦ مدخل توصيل القيم المرجعية

٧ مدخل قياس شدة التيار حتى 200 mA

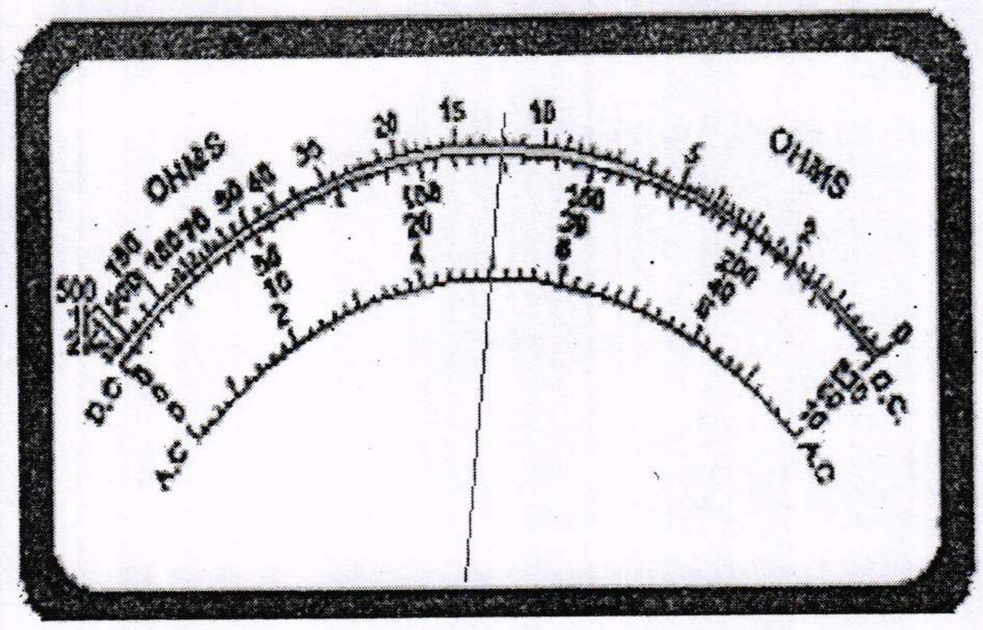
٨ مدخل قياس شدة التيار حتى 10 A

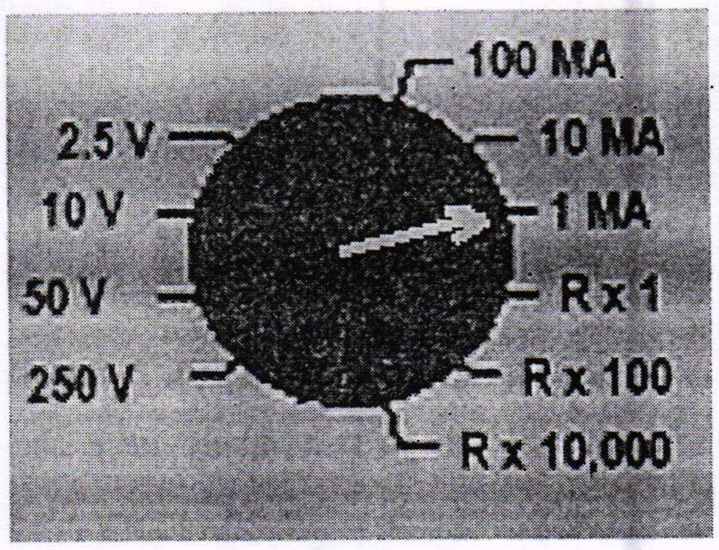
٩ مدخل للتوصيل بازدواج حراري من النوع Type K

١٠- مدخل لتوصيل أطراف الترانزستور

١١- مدخل لتوصيل طرف ذي ثلاثة مسامير

الشكل (٩-٣): مكونات الأفوميتر (من النوع الرقمي).



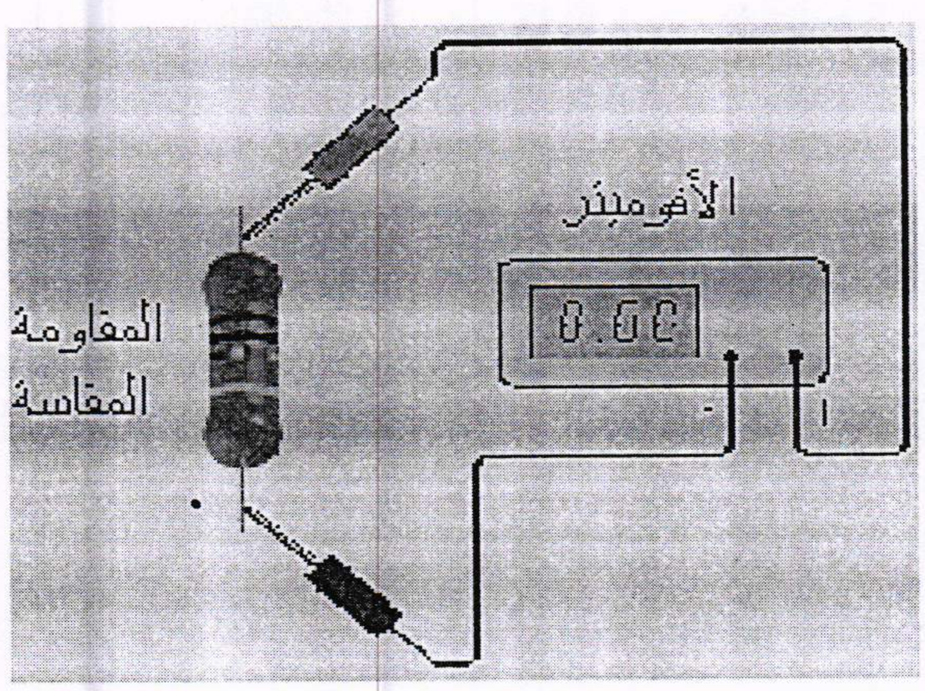


الشكل (٩-٤): شاشة أفوميتر تماثلي (بمؤشر) و بجواره مفتاح اختيار مدى القياس.

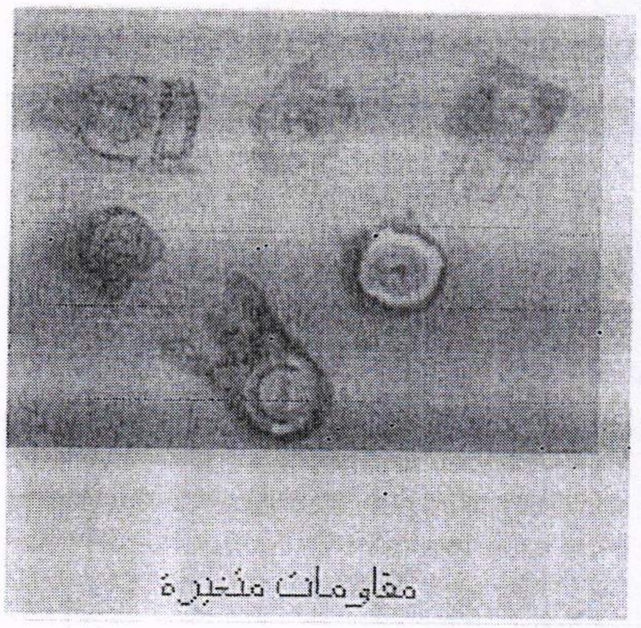
و تجدر الإشارة إلى أنه في حالة قياس فروق الجهود العالية (كما في محطات توليد الطاقة الكهربية) تستخدم محولات فرق الجهد ,PT. و تقوم هذه الأجهزة بقياس فرق الجهد دون الحاجة إلى قطع الموصل و بالتالي عدم إيقاف المنظومات إلي يتم أن القياس خلالها.

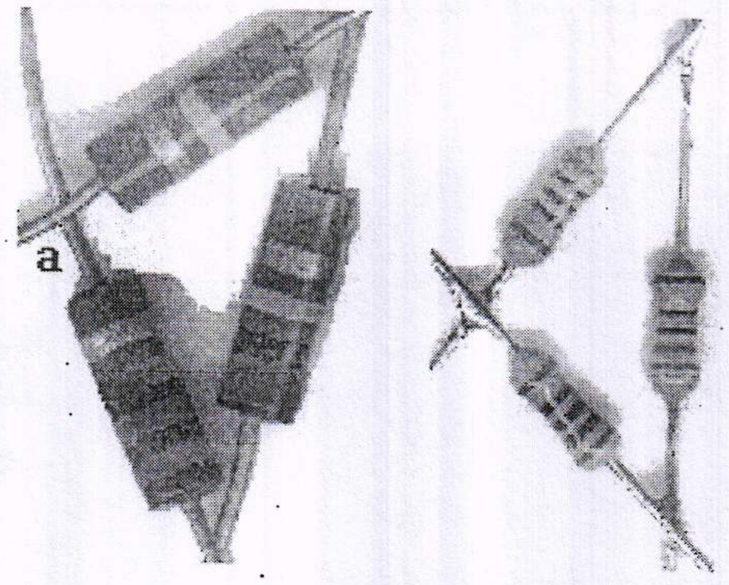
٩-٤ قياس المقاومة الكهربية (Resistance measurement)

يستخدم الأفوميتر أيضاً في قياس المقاومات الكهربية بعد تعديل مفتاح الاختيار إلى وضع قياس المقاومة و اختيار مدى القياس بالأوم (Ω) أو kΩ ($1k\,\Omega = 10^3\,\Omega$) ، حيث أن الأوم هو وحدة قياس المقاومة. ويتم توصيل نهايتي المقاومة بطرفي القياس بالأفوميتر كما هو مبين في شكل (٩-٥). والمقاومات إما ثابتة و تعطى رموزاً لونية تشير إلى قيمتها بالأوم، أو قابلة للضبط و متغيرة القيمة و تسمى بوتنشوميتر كما يوضح ذلك (شكل ٩-٦).



الشكل (٩-٥): قياس المقاومة الكهربية بالأفوميتر





الشكل (٩ ٦): المقاومات الكهربية الثابتة و المتغيرة

و يعطي الجدول (٩-٢) القيم العددية التي تشير إليها أوان المقاومات، مع ملاحظة أن ترتيب الأرقام يبدأ من اليسار إلى اليمين. فعلى سبيل المثال، يمكن حساب قيمة المقاومة ذات الألوان أحمر – أصفر – برتقالي كالتالي:

اللون الأول من اليسار: أحمر رقمه: ٢

اللون الثاني من اليسار: أصفر رقمه: ٤

اللون الثالث من اليسار: برتقالي معامل الضرب: 10 k

قيمة المقاومة $24\ k\Omega = 24000\Omega$

الجدول (٩-٢): القيم العددية لألوان المقاومات الثابتة

عدد الأصفار (إلى اليمين)	معامل الضرب	اللون	الرقم
0	١	أسود	٠
1	١٠	بني	١
2	١٠٠	أحمر	٢
3	1000 (1 k)	برتقالي	٣
4	k١٠	أصفر	٤
5	100 k	أخضر	٥
6	k (1 M)١٠٠٠	أزرق	٦
7	M١٠	بنفسجي	٧
		رمادي	٨
		أبيض	٩

كما يوجد على المقاومة لون رابع يعطي مدى التفاوت النسبي في قيمة المقاومة و هو مؤشر لمقدار تباعد القيمة الفعلية للمقاومة عن القيمة المشار إليها بالألوان. فكلما قل

التفاوت، كانت قيمة المقاومة الفعلية أقرب ما يكون إلى القيمة النظرية التي تشير إليها الألوان. و قيم هذه التفاوتات كالتالي:

اللون الأحمر : ± 2%

اللون الذهبي: ± 5%

اللون الفضي: ± 10%

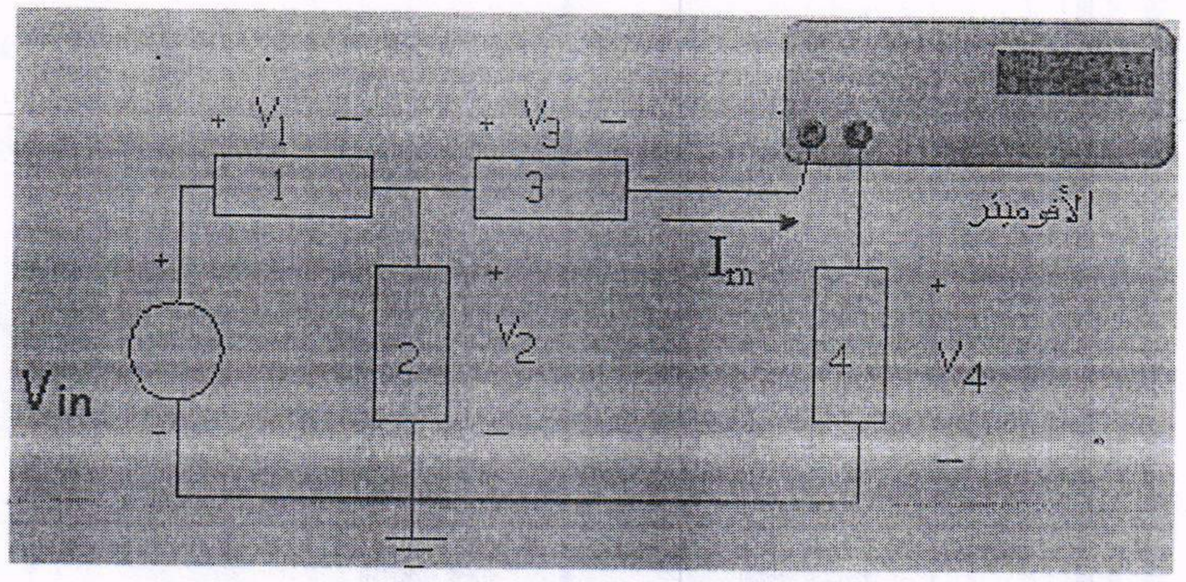
بلا لون: ± 20%

٩-٥ قياس شدة التيار (Current measurement)

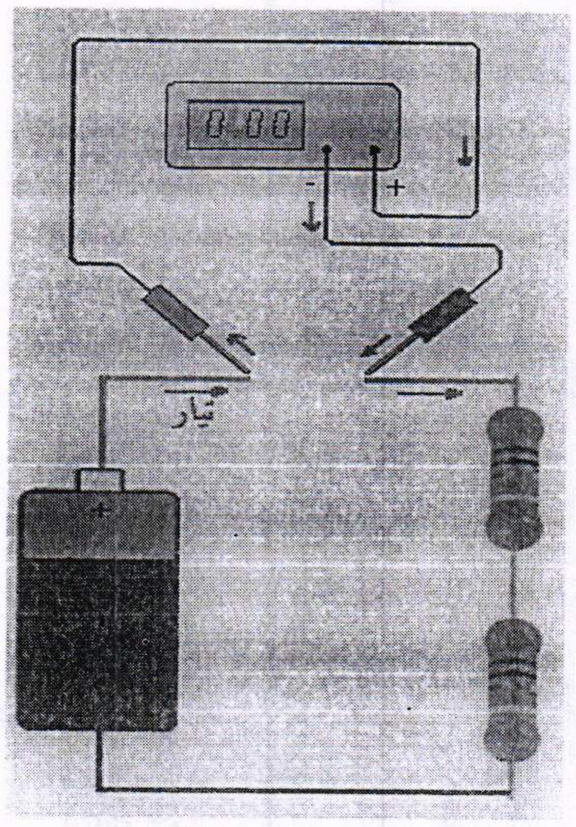
يستخدم جهاز الأميتر لقياس شدة التيار الكهربي، و كما سبقت الإشارة، فإنه يمكن استخدام الأفوميتر لقياس شدة التيار بعد أن يتم ضبط مفتاح الاختيار على شدة التيار مع تحديد مدى القياس المستخدمة الأميتر المطلوب. و الوحدة المعتمدة لقياس شدة التيار في النظام الدولي للوحدات (SI) هي الأمبير (A). و لذلك يتم أيضا اختيار وحدة القياس سواءً (A) أو ($mA = 10^{-3}$ A) أو يوجد أحياناً ($\mu A = 10^{-6}$ A) على جهاز الأميتر. و من أشهر أنواع الأميترات التماثلي (ذا المؤشر) النوع ذي القلب الحديدي المتحرك و الذي يتكون من ملف يرتكز بين قطبي مغناطيس دائم، حيث يسري التيار المراد قياسه خلال الملف فينشأ عنه مجال يتبادل الفعل معه مجال المغناطيس الدائم. يركب في الملف المتحرك مؤشر يشير إلى مقدار الأمبيرات على تدرج مركب على سطح الجهاز. أما الأميتر الرقمي فلا يحتوي على أي أجزاء متحركة، وعندما يمر تيار من خلال المقياس فإنه يحول الجهد الكهربائي بين نقطتين إلى رمز رقمي ثم يعالج هذا الرمز إلكترونيًا لحساب التيار.

و كما ذكرنا في قياس فرق الجهد، فإنه في حالة قياس تيار متردد (AC) تكون القيمه المقاسه لشدة التيار هي القيمة المتوسطة (RMS). و يوضح الشكل (٩-٧) كيفية توصيل الأفوميتر بين نقطتين في الدائرة المبينة لقياس شدة التيار الكهربي المار في العنصر رقم (٤) (لاحظ الفرق عند توصيل الأفوميتر في حالة قياس فرق الجهد كما في شكل (٩-١)). و يسمى التوصيل في هذه الحالة بالتوصيل علي التوالي أي أن التيار الساري في العنصر (٤) هو نفسه المار في الأميتر. و حتى لا يتسبب توصيل الأميتر في حدوث فرق جهد إضافي يؤثر على الدائرة الكهربية أثناء القياس يراعى عند تصميم الأميتر أن تكون مقاومته الداخلية منخفضة للغاية حتى يكون فرق الجهد الكهربي عبره صغيراً جداً و مهملاً. ومن الأمور الهامة التي يجب مراعاتها أثناء قياس شدة التيار الكهربي، تحديد اتجاه

سريان التيار وذلك بتحليل دائرة القياس و تحديد قطبية فرق الجهد للعنصر المراد قياس شدة التيار خلاله. و كما يظهر في الشكل (٩-٨) فإنه يمكن تحديد اتجاه التيار (I_m) الذي يمر خلال العنصر (٤)، و كذلك في شكل (٩-٨) يمكن تحديد اتجاه التيار بمعرفة قطبية البطارية الموصلة في دائرة القياس.



الشكل (٩-٧):استخدام الأفوميتر كأميتر لقياس شدة التيار



الشكل (٩-٨): تحديد اتجاه سريان التيار الكهربي

و تجدر الإشارة إلى أنه في حالة قياس القيم المرتفعة لشدة التيار تستخدم محولات التيار , CT ,والتي تعتمد نظرية عملها على قياس التيار المنساب في الموصلات بدون الحاجة إلى قطع الموصل ، وإنما من خلال قياس التيار الحثي للموصل والذي يتناسب وشدة التيار المار فيه.

الوحدة العاشرة

أخطاء القياس

الوحدة العاشرة :أخطاء القياس

الجدارة

التعرف على خصائص أجهزة القياس و أخطاء القياس

الأهداف

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة بإذن الله على معرفة:

- الخصائص الأساسية لمعدات القياس (الحساسية و الدقة و الضباطة)
- الفرق بين الأخطاء النظامية و العشوائية
- كيفية تقدير بعض الأخطاء النظامية

مستوى الأداء المطلوب

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100٪.

الوقت المتوقع للتدريب

ساعتان

الوسائل المساعدة:

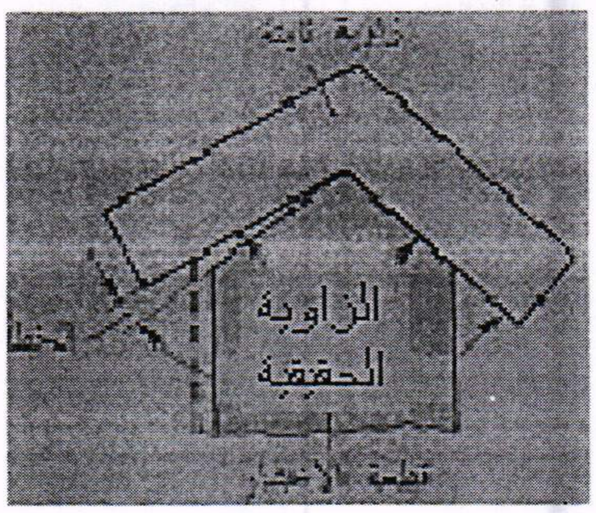
- عارض بيانات.
- حاسب آلي.
- سبورة.

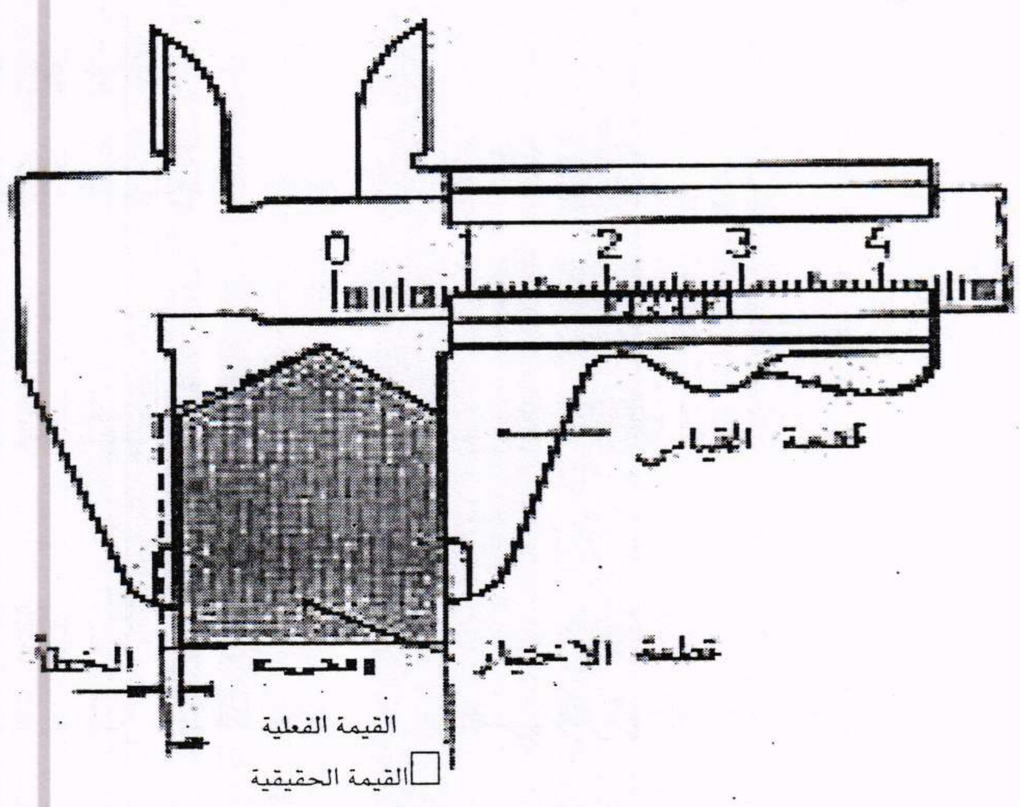
متطلبات الجدارة

اجتياز الوحدات السابقة

١٠-١ مقدمة

من الأسئلة الهامة التي تتبادر سريعاً إلى الذهن عند إجراء قياس معين لقطعة شغل، هل عملية القياس تمت بالدقة الكافية التي تضمن أن تكون القيمة المقاسة هي القيمة الحقيقية لما هو مطلوب قياسه؟ أم أن هناك بعض الأخطاء قد حدثت أثناء القياس و بالتالي فإن هناك فرق بين هاتين القيمتين؟ إن الواقع العملي فرض علينا حقيقة هامة يدركها كل المهتمين بالقياسات و هي أنه لا يوجد أي قياس صحيح بصورة مطلقة، حيث إن هناك أسباباً واقعية لا يمكن تجنبها تماماً، تجتمع معاً أثناء القياس لتؤدي في النهاية إلى عدم التطابق الكامل بين القيمة المقاسة و القيمة الحقيقية. و يوضح شكل (١٠-١) بعض الأمثلة العملية لأخطاء تحدث أثناء إجراء قياسات مختلفة للأبعاد و الزوايا. و من البديهي أن نتعرف على هذه الأسباب لمحاولة تفاديها، قدر الإمكان، لكي يتضاءل تأثيرها و تصبح القيمة المقاسة أقرب ما يكون للقيمة الحقيقية.





الشكل (١٠-١): حدوث بعض الأخطاء أثناء عمليات القياس المختلفة.

و نظراً لأهمية هذا الموضوع فقد أفردت له وحدة مستقلة سنتناول فيها بالتفصيل أهم ما يتعلق بأخطاء القياس بصفة عامة مع التركيز على بعض الأخطاء التي تحدث أثناء قياس الأطوال. و سنبدأ ببعض التعريفات الأساسية التي تخص عملية القياس و أهم الخصائص في أجهزة قياس الأطوال التي تتعلق بأخطاء القياس.

١٠-٢ تعريفات أساسية

- القيمة الحقيقية (True Value)

هي القيمة الاسمية أو النظرية للكمية المطلوب قياسها.

- القيمة الفعلية (Measured Value)

هي القيمة المقاسة فعلاً بواسطة أداة أو جهاز القياس.

- الخطأ (Error)

هو الفرق بين القيمة الفعلية (المقاسة) و القيمة الحقيقية (الاسمية).

الخطأ = القيمة الفعلية – القيمة الحقيقية

خ = ل – ك

وقد يكون الخطأ موجباً أو سالباً تبعاً لطبيعة ظروف القياس.

- الخطأ النسبي (Relative Error)

هو النسبة بين الخطأ و القيمة الحقيقية.

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{\text{خ}}{\text{ك}}$$

و أحياناً يحسب الخطأ كنسبة مئوية و ذلك بالضرب في 100%.

- الظنية أو الشك (Uncertainty)

هي القيمة المحتملة لنطاق ما نظن أنه الخطأ ، و هي مرتبطة بخطأ غير معلوم المصدر والذي ستتم مناقشته عندما نتعرف على الأنواع المختلفة لأخطاء القياس.

- مدى القياس (Range of Measurement)

هو أقصى قيمه مقاسه يمكن الحصول عليها بواسطة أداة القياس.

- دقة القياس (Accuracy of Measurement)

هي أقصى قيمة فرق بين القيمة المقاسة و القيمة الفعلية ، أي أقصى قيمة للخطأ. و بالتالي فإن دقة القياس تعتبر وصفاً لدرجة صحة القياس و خلوه من الخطأ. و في أحيان كثيرة تعطى الدقة كنسبة مئوية من مدى القياس.

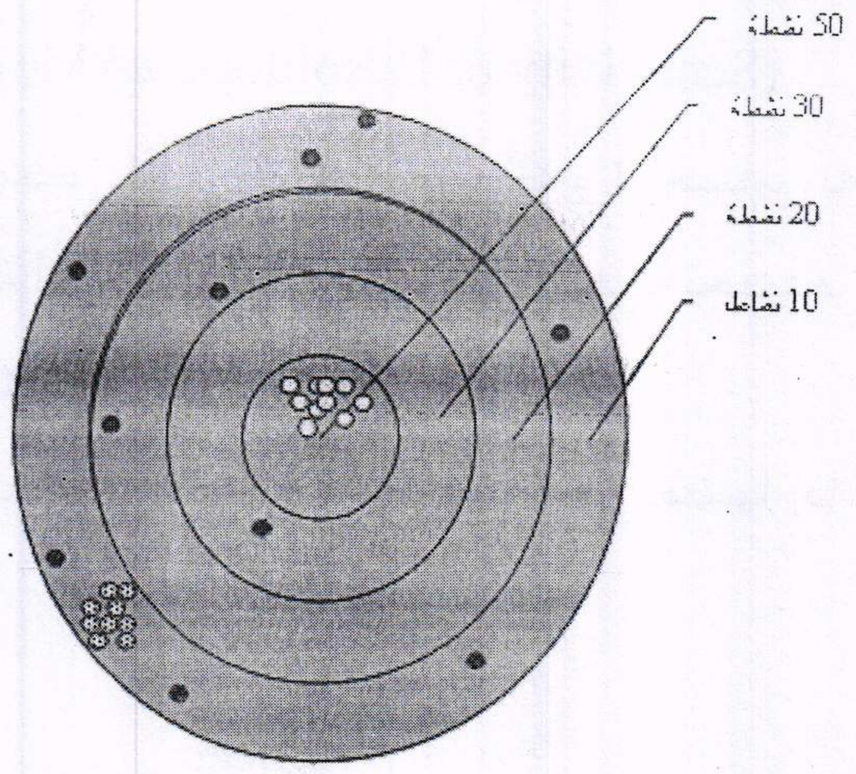
- حساسية القياس (Sensitivity or Resolution of Measurement)

هي أقل تغير في الكمية المقاسة يمكن لأداة القياس إدراكه و الإحساس به. ففي القدمة ذات الورنية مثلاً تكون الحساسية أقل رقم عشري تستطيع القدمة تحديده.

- الضباطة أو الانضباط (Precision)

درجة تقارب القيم المقاسة لنفس الكمية المقاسة (بُعد مثلاً) من بعضها إذا تكررت عملية القياس
تحت نفس الظروف المحيطة.

و غالباً ما يحدث تداخل بين مدلول بعض الخصائص الأساسية لأدوات القياس مثل الضباطة و الدقة، لذلك فقد قال أحد العلماء في هذا الصدد إن الدقة هي قول الحقيقة، أما الضباطة فهي ذكر هذه الحقيقة لمرات متعددة". و لإيضاح هذا المعنى سنأخذ المثال التالي عن طريق محاكاة عملية القياس بعملية التصويب على هدف مكون من أربع دوائر متحدة المركز و يحاول الرامي أن يصيب الدائرة الصغيرة القريبة من المركز حيث إنها تعطي أعلى عدد من النقاط كما هو موضح في شكل (١٠-٢). و يعرض الشكل أيضاً نتائج التصويب لثلاثة متسابقين كل منهم قام بالتصويب على الهدف عشر مرات. نلاحظ أن المتسابق (أ) هو الأفضل لأن جميع تصوييباته متقاربة و تقع داخل أصغر دائرة على عكس المتسابقين (ب) و (ج)، و من ثم فإن (أ) هو الأعلى دقة و ضباطة. و لكن إذا دققنا النظر، سنجد أن تصويبات المتسابق (ب) رغم أنها تقع جميعاً داخل أكبر دائرة، أقل دقة و من ثم سيحصل على أقل درجة، لكنها متقاربة للغاية مثل المتسابق (أ)، أي أنه ذو ضباطة عالية. أما المتسابق (ج) فدقته و ضباطته منخفضتين لأن كل تصوييباته وقعت خارج الدائرة الصغيرة كما أنها مبعثرة بصورة عشوائية في جميع الاتجاهات.



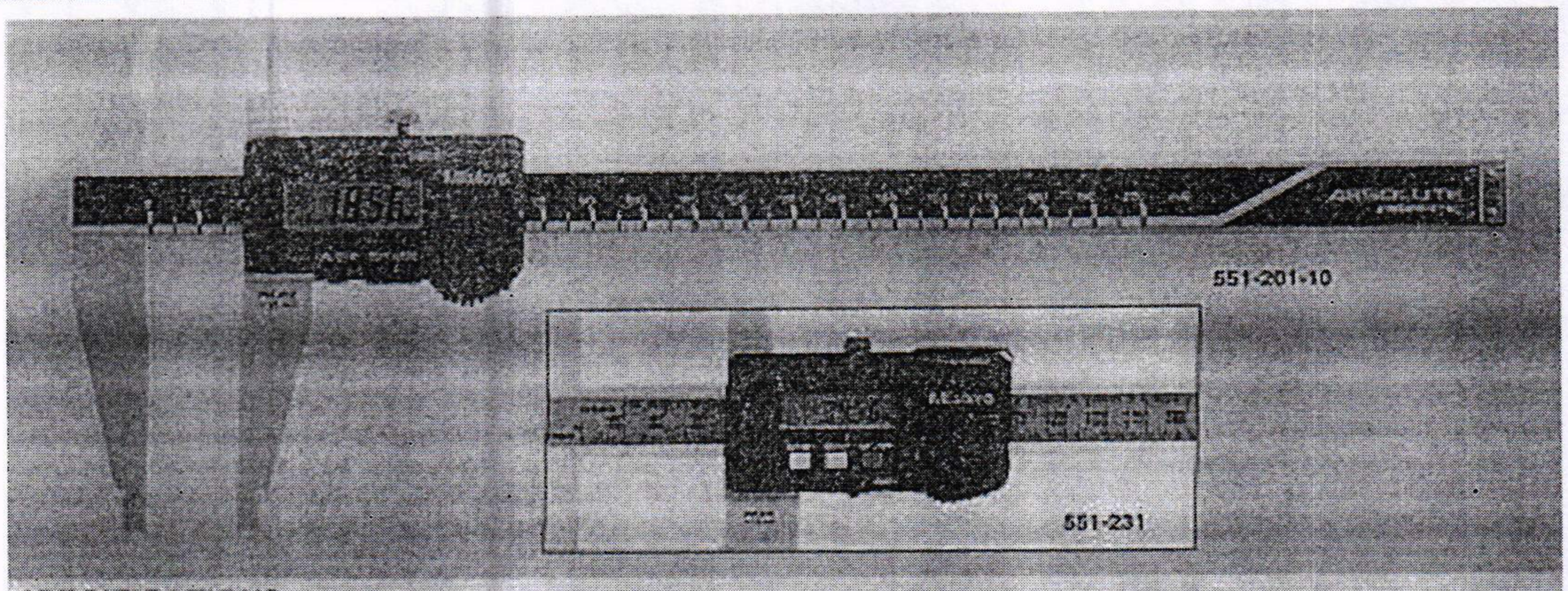
- متسابق (أ): دقة عالية و ضباطة عالية
(high accuracy and high precission)
- متسابق(ب) : ضباطة عالية و دقة منخفضة
(low accuracy and high pression)
- متسابق (ج): دقة منخفضة و ضباطة منخفضة
(low accuracy and low precission)

الشكل (10-2): محاكاة دقة و ضباطة التصويب بدقة و ضباطة القياس.

١٠-٣ أهمية خصائص معدات القياس

تعرفنا في الفقرة السابقة على بعض الخصائص الهامة لمعدات القياس مثل الضباطة و الحساسية و الدقة، و تتبع أهمية هذه الخصائص من كونها العناصر الأساسية لتوصيف معدات القياس. فعندما يحتاج مصنع لشراء بعض أدوات القياس، يقوم أحد المختصين في القياسات أولاً بتحديد متطلبات هذه الأدوات في صورة خصائصها المختلفة السابق ذكرها، ثم يقوم بالاطلاع على أحدث الكتالوجات المتاحة في هذا المجال، و التي تحتوي على العديد من الاختيارات. وعند هذه المرحلة يتم عمل مفاضلة بين الاختيارات المتاحة، بعد استيفاء المواصفات الفنية، على أساس عدة عوامل منها السعر و اسم المورد. لذلك فمن البدهي أن يكون المهتمون بالقياسات على دراية جيدة بخصائص أدوات القياس ليستطيعوا استخراج ما يحتاجونه من تفاصيل عند التعامل مع مثل هذه الكتالوجات في الحياة العملية.

فإذا أخذنا على سبيل المثال الكتالوج المبين في شكل (١٠-٣)، وهو لقدمة رقمية، سنجد أنه يعرض لنا مواصفات (Specifications) هذه القدمة ممثلة في خصائصها. أولاً نجد أن هناك فئتين من هذه القدمة، الأولى مترية فقط (Metric) و الثانية مترية و تقيس بالبوصة أيضاً (Inch/Metric).



SPECIFICATIONS

Metric

Range		Order No.	Resolution	Accuracy	Remarks
OD	ID				
0 - 200mm	10 - 210mm	551-201-10	0.01mm	±0.03mm	ABS Digimatic Caliper
0 - 300mm	10 - 310mm	551-231	0.01mm	±0.04mm	with Preset function
0 - 500mm	20 - 520mm	551-204-50	0.01mm	±0.06mm	—
0 - 750mm	20 - 770mm	551-205-50	0.01mm	±0.07mm	—
0 - 1000mm	20 - 1020mm	551-207-50	0.01mm	±0.07mm	—

Inch/Metric

Range		Order No.	Resolution	Accuracy	Remarks
OD	ID				
0 - 8"/200mm	.4" - 8"/10.16 - 210mm	551-221-10	.0005"/0.01mm	±.001"	ABS Digimatic Caliper
0 - 12"/300mm	.4" - 12"/10.16 - 310mm	551-241	.0005"/0.01mm	±.002"	with Preset function
0 - 20"/500mm	.5" - 20.5"/12.7 - 512mm	551-224-50	.0005"/0.01mm	±.0025"	—
0 - 30"/750mm	.5" - 30.5"/12.7 - 762mm	551-226-50	.0005"/0.01mm	±.003"	—

الشكل (١٠-٣): أحد الكتالوجات للقدمة الرقمية.

و في كل فئة يوجد عدد من القدمات كل واحدة بمدى قياس مختلف، ففي العمود الأول نجد أن مدى قياس الأقطار الخارجية (OD) هو 0-200 مم و الثاني 0-300 مم، وهكذا حتى يصل إلى 1000 مم. و في العمود الثاني من الجدول، نجد مدى قياس الأقطار الداخلية (ID) لهذه الفئة يبدأ من 10-210 مم و ينتهي إلى 20-1020 مم للقدمة المترية. يأتي بعد ذلك الرقم الذي يتم به طلب إحدى القدمات و يسمى رقم الطلبية (Order No.)، فالقدمة الأولى رقم طلبيتها هو 551-201-10. يلي رقم الطلبية في العمودين الرابع و الخامس اللذين يحتويان على قيم الحساسية (Resolution) و الدقة (Accuracy) على الترتيب. فالقدمة الأولى حساسيتها 0.01 مم و دقة قياسها 0.03± مم.

١٠-٤ أنواع أخطاء القياس (Types of measurement errors)

تنقسم أخطاء القياس إلى نوعين أساسيين هما الأخطاء النظامية و الأخطاء العشوائية. و المقصود بالأخطاء النظامية هي تلك النوعية من الأخطاء التي تكون قيمتها ثابتة و مصدرها معلوم ، على عكس الأخطاء العشوائية التي لا تكون معلومة المصدر و ذات قيمة متغيرة. و من طبيعة عمليات قياس الأطوال، فإن حدوث الأخطاء النظامية يكون

أكثر من وقوع الأخطاء العشوائية. و يجب اجراء عملية المعايرة لأجهزة القياس بصورة دورية للتعرف على الأخطاء النظامية التي تحدث نتيجة لتكرار استخدام هذه الأجهزة و بالتالي اتخاذ الاجراءات التصحيحية المناسبة للتخلص من تلك الأخطاء لضمان إجراء القياس بدقة عالية.

١٠-٤-١ الأخطاء النظامية (Systematic errors)

لكي تتم دراسة الأخطاء النظامية بهدف تجنبها أو محاولة حساب قيمتها من أجل تصحيحها، فإنه يتم تصنيفها إلى عدد من الأخطاء الفرعية، و ذلك تبعاً لمصدر كل منها، كما يلي:

(أ) أخطاء أدوات القياس (Instrument errors)

و هي الأخطاء التي تحدث نتيجة وجود بعض العيوب في أداة القياس ، كوجود خلوص زائد بين الفك المتحرك في القدمة و قضيب القياس، أو عدم الحصول على قراءة صفرية عند انطباق فكي الميكرومترو يسمى هذا النوع بالخطأ الصفري. و هذه النوعية من الأخطاء يمكن تصحيحها بمعايرة أداة القياس. ولتصحيح الخطأ الصفري للميكرومتر مثلاً نقوم بإطباق الفكين و نحدد قيمة القراءة، التي هي في الواقع قيمة الخطأ الصفري. ويتم تسجيل قيمة القراءة على الأداة، و ذلك لإضافتها جبرياً (تبعاً لإشارته) إلى قيم القراءات التي ستؤخذ بعد ذلك لكي نحصل على القيم الحقيقية للأبعاد المقاسة بهذا الميكرومتر.

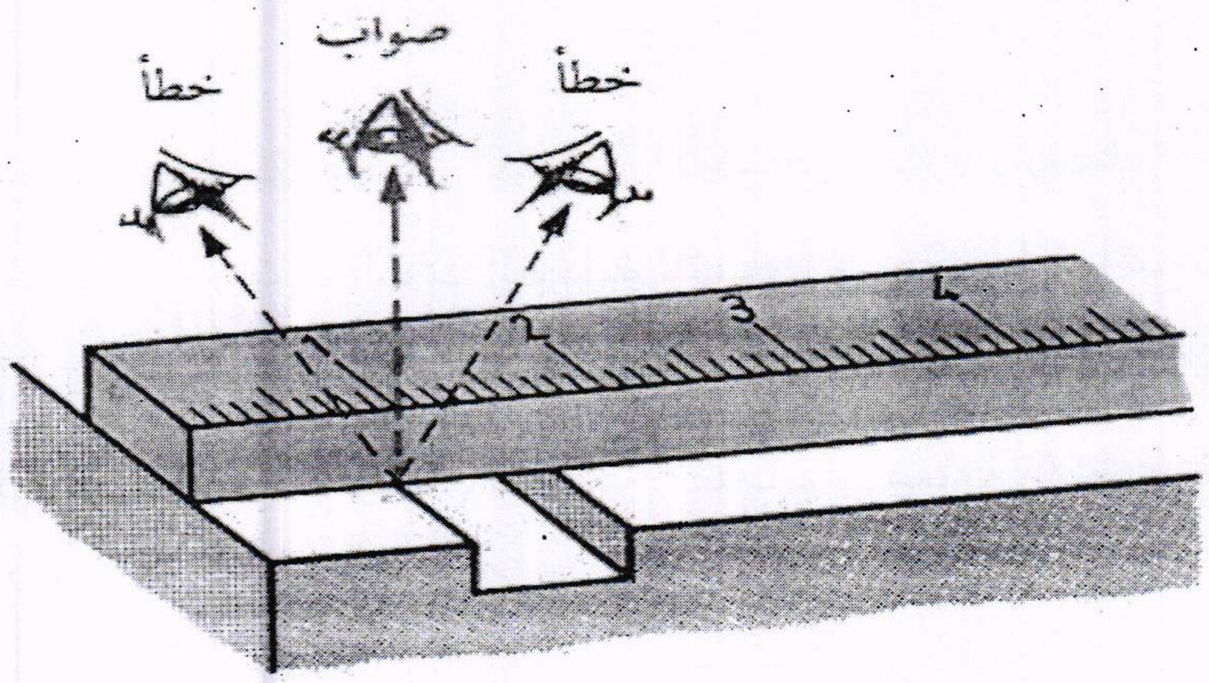
(ب) أخطاء أسلوب القياس (Method of measurement error)

و هي الأخطاء التي تنتج عن عدم استخدام الأسلوب الأمثل الذي لا يسبب أي تغير في طبيعة القطعة المقاسة أثناء إجراء القياس. ، كزيادة ضغط القياس عند استخدام ميكرومتر قياس خارجي بدون مسمار جاس يضمن ضغطاً ثابتاً للقياس.

(ت) الأخطاء البشرية (Human errors)

هي الأخطاء التي تحدث من الشخص الذي يقوم بعملية القياس و ذلك بسبب و جود قصور في مهارة استخدام أدوات القياس. ومن أشهر الأمثلة على هذه النوعية من الأخطاء،

خطأ النظر بميل على موضع القياس كما هو مبين في شكل (١٠-٤)، و خطأ عدم محاذاة أداة القياس و القطعة المقاسة.



الشكل (١٠-٤): خطأ النظر بزاوية مائلة على موضع القياس.

(ث) أخطاء في الظروف المحيطة بالقياس (Ambient conditions errors)

و هي الأخطاء التي تحدث نتيجة لإجراء القياس في ظروف مغايرة للظروف القياسية، كدرجة حرارة القياس التي يجب أن تكون في حدود 20 مْ ± $^1/_2$ مْ.

١٠-٤-٢ حساب بعض الأخطاء النظامية (Estimation of some systematic errors)

فيما يلي سنقوم بحساب خطأين نظاميين دارجين و هامين في قياس الأطوال هما خطأ درجة الحرارة و خطأ عدم المحاذاة.

١٠-٤-٢-١ حساب خطأ درجة الحرارة (Temperature error)

نظراً لأن التغير في درجة الحرارة يؤدي إلى تمدد أو انكماش (حسب اتجاه التغير) قطع الشغل المقاسة، فقد تم تحديد درجة حرارة قياسية (20 مْ) يتم عندها قياس الأطوال و يعتبر الطول المقاس في هذه الحالة هو الطول الحقيقي (ل). فإذا حدث و تم القياس عند درجة حرارة أخرى (د) فإن الطول المقاس ($ل_د$) سيختلف عن (ل)، ويكون الخطأ (خ) في هذه الحالة:

$$خ = ل_د - ل$$

$$= ل م (د - 20)$$

$$ل_د = ل [1 + م (د - 20)]$$

حيث:

م: معامل التمدد الحراري الطولي لمعدن قطعة الشغل.

مثال:

قطعة شغل مصنوعة من النحاس الأحمر درجة حرارتها = 30 مْ، تم قياسها في مختبر القياسات و لم تترك الوقت الكافي لتتساوى درجة خرارتها مع درجة خرارة المختبر (20 مْ). فإذا كان الطول الحقيقي للقطعة = 400 مم، احسب طول القطعة المقاس عند 30 مْ، و خطأ القياس الناتج في هذه الحالة، علماً بأن معامل التمدد الحراري الطولي للنحاس = 16.5×10^{-6} / مْ.

الحل:

$$ل_د = ل\,[1 + م\,(د - 20)]$$

$$= 400\,[1 + 16.5\times10^{-6}\,(30 - 20)]$$

$$= 400\,[1 + 165\times10^{-6}]$$

$$= 400.066 \text{ مم}$$

$$خ = ل_د - ل$$

$$= 400.066 - 400$$

$$= 0.066 \text{ مم}$$

١٠-٤-٢-٢ حساب خطأ عدم المحاذاة (Mis-alignment error)

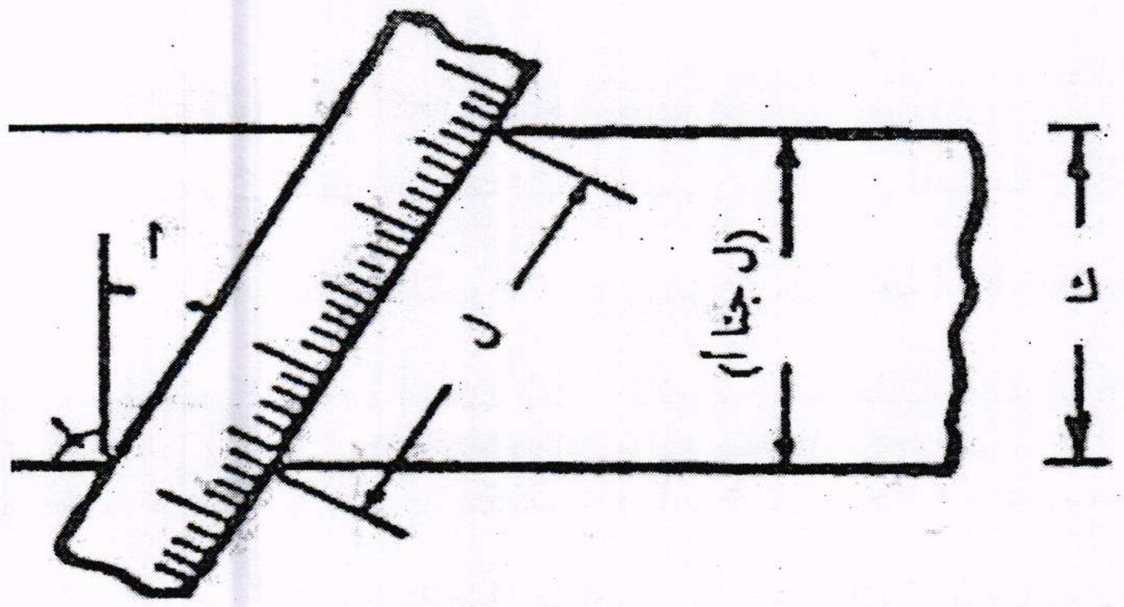
يحدث هذا الخطأ – على سبيل المثال- بسبب ميل مسطرة القياس عن اتجاه القياس الصحيح بزاوية (أ) كما يتضح من شكل (١٠-٥). لذلك ينشأ خطأ (خ) بين البعد الحقيقي (ك) و البعد المقاس (ل). و إذا استخدمنا التعريفات الأساسية للخطأ و لجيب تمام الزاوية (جتا أ)، يمكن استنتاج العلاقات الآتية:

$$خ = ل - ك$$

$$جتا\ أ = \frac{ك}{ل}$$

$$خ = ل - ل\ جتاأ$$

= ل(١ – جتاأ)



الشكل (١٠-٥): خطأ عدم المحاذاة عند استخدام المسطرة.

فإذا كان الطول المقاس (ل) = 150مم ، و زاوية عدم المحاذاة (أ) = 6°، فإن الخطأ (خ) يكون:

خ = ل(١ – جتاأ)

= 150 (١ – جتا 6°)

= 0.822 مم

و بالتالي يصبح الطول الحقيقي (ك):

ك = ل – خ

= 150 –0.822

= 149.178 مم

و يكون الخطأ النسبي = $\frac{\text{خ}}{\text{ك}}$

= $\frac{0.822}{149.178} \times 100\%$ = 0.55 ٪

١٠-٤-٣ الأخطاء العشوائية (Random errors)

رغم حرص المختصين في القياسات على تجنب حدوث الأخطاء أثناء القياس عن طريق تتبع مصادرها لخفض قيمها لأدنى حد ممكن، إلا أنه ثبت بالممارسة العملية أن هناك أخطاء غير معلومة المصدر و تحدث بصورة غير منتظمة لذلك فهي تسمى بالأخطاء العشوائية. و حدوث هذه الأخطاء، كما يتضح من اسمها، لا يتم بشكل محدد و بالتالي فقيمها هي الأخرى غير محددة.

و لنأخذ مثالاً يوضح الأخطاء العشوائية في قياس الأطوال ، فعند استخدام القدمة يمكن أن تتعدد القراءات لنفس القيمة المقاسة بالرغم من إجراء القياس في نفس الظروف. و قد نقوم بالتخمين لكي نتوقع مصادر هذه الأخطاء، كاختلاف الضغط على القطعة المقاسة، أو لوجود بعض ذرات الغبار على سطحي القياس تختلف كميتها نتيجة لتكرار القياس و من ثم تتغير القراءة،أو ربما يوجد خلل إلكتروني بسيط في شاشة القدمة الرقمية. و هكذا توجد احتمالات كثيرة و لكنها غير مؤكدة لأسباب حدوث الأخطاء العشوائية، و من ثم فلا يمكننا حساب قيمة محددة لقيمة الخطأ العشوائي. لذلك فقد أجريت العديد من الدراسات لإيجاد طرق إحصائية التقدير، وليس لحساب، قيمة الخطأ العشوائي و الذي تم استبدال إسمه بالظنية أو بالشك (Uncertainty) لأن كلمة خطأ تعني قيمة محددة يمكن حسابها (كما تم حساب بعض الأخطاء النظامية)، أما الظنية فهي النطاق المحتمل لما نظن أنه الخطأ العشوائي.

ولإيضاح مدلول الظنية نفرض أن القيمة التي تم تقديرها للظنية = 10± ميكرون، و حيث أن هذه القيمة تقديرية تحتمل الصواب و الخطأ، فهي لا تكفي وحدها لتحديد الظنية بل تصاحبها قيمة أخرى تسمى مستوى الموثوقية (Confidence Level) و تُعطى في صورة نسبة مئوية. فإذا كانت هذه النسبة = 99% مثلاً فهذا يعني أن احتمال صحة الحسابات التي أجريت لتقدير قيمة الظنية = 99%، أي أن قيمة الخطأ العشوائي يحتمل ألا تزيد عن 10+ ميكرون، وألا تقل عن 10- ميكرون بنسبة 99% ، و بالتالي فهناك احتمال ضئيل (1%) أن تتعدى قيمة الخطأ العشوائي 10± ميكرون. و يتم تقدير الظنية باستخدام أسلوب التحليل الاحصائي الذي يعتمد على اجراء القياس المطلوب اعدد معين من المرات في نفس الظروف المحيطة. و يجب التأكيد على أن ضآلة قيم الأخطاء النظامية أو نطاق الأخطاء العشوائية (الظنية)، لا يعني أنه يمكن إهمالها أو التجاوز عنها، لأن هذا شيء نسبي يعتمد أساساً على التطبيق العملي الذي يتم القياس من أجله. فإذا كان مدى التفاوت المسموح كبيراً، فيمكن في هذه الحالة التجاوز عن قيمة الخطأ، أما في التطبيقات التي تسمح بتفاوت محدود فيجب أن نحدد تماماً قيمة خطأ القياس، و قد يلزم أيضاً استخدام أجهزة قياس متطورة ذات دقة بالغة بدلاً من أدوات القياس التقليدية.

تمارين

(١) قارن بين كل من:

(أ) الأخطاء النظامية و الأخطاء العشوائية.

(ب) دقة القياس و حساسية القياس.

(٢) قطعة شغل مصنوعة من الصلب درجة حرارتها = 30 مْ، تم قياسها في مختبر القياسات و لم تترك الوقت الكافي لتتساوى درجة حرارتها مع درجة حرارة جهاز القياس (20 مْ). فإذا كان الطول المقاس للقطعة = 500.0288 مم، احسب الطول الحقيقي للقطعة المقاس ، و خطأ القياس الناتج في هذه الحالة، علماً بأن معامل التمدد الحراري الطولي للصلب = 11.5×10^{-6}/ مْ.

{500 مم ، 0.0288 مم}

(٣) مشغولة مصنوعة من الالمنيوم طولها الحقيقي = 300 مم، تم قياسها في مختبر القياسات و لم تترك الوقت الكافي لتتساوى درجة حرارتها مع درجة حرارة أداة القياس (20 مْ). فإذا كان خطأ القياس الناتج من اختلاف درجات الحرارة = 0.0966 مم، احسب الطول الفعلي للقطعة ، و درجة حرارة القياس، علماً بأن معامل التمدد الحراري الطولي للألمنيوم = 23×10^{-6}/ مْ.

{٣٠٠.0966مم، 34 مْ }

(٤) قام فني في أحد مختبرات القياس باستخدام مسطرة مدرجة ليقيس أحد الأبعاد الطولية، فسجل قراءة مقدارها 142.1مم. و لكنه اكتشف أن حرف المسطرة لم يكن موازياً تماماً لاتجاه البعد المقاس، و نتج عن ذلك زاوية عدم محاذاة مقدارها 7^{o}.
ماذا تقترح على هذا الفني ليحصل على القيمة الحقيقية للبعد الذي قام بقياسه؟

المراجع

الرقم	المرجع
١	الرسم الفني للميكانيكا العامة، للمعاهد الثانوية الصناعية ، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني ، المملكة العربية السعودية ، ١٩٩٥.
٢	تكنولوجيا ميكانيكا الآلات للمدارس المهنية الثانوية ، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني ، المملكة العربية السعودية ، ١٩٨٥.
٣	الحساب الفني لميكانيكا الآلات للمدارس المهنية الثانوية، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني ، المملكة العربية السعودية ، ١٩٧٩.
٤	التكنولوجيا لمهن تشغيل المعادن، هكلر أند كوخ ، ألمانيا الاتحادية، ١٩٧٧.
٥	أجهزة القياس والمعايرة، أحمد زكي حلمي، دار الفجر للنشر والتوزيع ، القاهرة ، ١٩٩٩.
٦	Technology Of Machine Tools, Steve F. Krar & J. William Publishing Company , Fourth Edition , Oswald, McGraw-Hill 1991.
٧	Machine Tool Practices, Jon E. Neely & Roland O. Meyer & Warren T. White , John Wiley & Sons ,Inc., 2nd Edition , 1982
٨	Experimental Methods for Engineers, J.P. Holman, Sixth Edition, 1994
٩	Catalogue, Starrett Company,U.S.A. ,1998
١٠	Catalog, Measuring Instruments, Mitutoyo Company, Japan ,1998
١١	Catalog, Dimensional Metrology , Mahr Company, Germany.
١٢	Catalogue, Measuring Instruments, Mauser Company, Germany.
١٣	Catalogue, The Innovative Measurement Experts, Time Technology Europe, 2001 9- Catalogue, TESA, geräte und Systeme für Quälitatssicherung, Sweden, 1990
١٤	Including Geometric Feature Variations in Tolerance Analysis of Mechanical Assemblies, Kenneth W. Chase, Jinsong Gao, Spencer P. Magleby, Carl D.Sorensen
١٥	Catalogue, Fowler, Tool-A- Thon, 2002

١٦	الصفحة الإلكترونية لمادة قياسات الأبعاد /http://hctmetrology.tripod.com/
١٧	عرض و تدريب على القدمة ذات الورنية من جامعة تورنتو بكندا : http://www.upscale.utoronto.ca/PVB/Harrison/Vernier/Vernier.html
١٨	موقع عن خشونة الأسطح Surface Metrology guide Home , www.predev.com
١٩	٤ -تدريب تفاعلي على قراءة القدمة ذات الورنية http://members.shaw.ca/ron.blond/Vern.APPLET
٢٠	تدريب تفاعلي على الميكرومتر: http://members.shaw.ca/ron.blond/Micrometer.APPLET/index.html