مقرر علم القياس2

قسم القياسات وضبط الجودة

السنة الثانية

الفصل الدراسي الثاني

لعام 2019

مدرّس المقرر: د. باسم عمّار

الفصل الأول
مبادئ القياسات الميكانيكية

1- لمحة تاريخية:

تَبنّت أعظم الحضارات التي ظهرت في بلاد الرافدين والشام منظومات محددة للقياس والوزن، وأفاد بعضها من بعض. ولعل أسبقها إلى تبنّي مثل هذه المنظومات حضارة بابل في العراق والحضارة الفرعونية المصرية العريقة التي تميزت بالدقة والبراعة في القياسات، حيث كان الفراعنة يعدّون صوراً مصغّرة جداً لأبنيتهم الضخمة قبل بنائها، ثم يقومون بحساب الأبعاد النسبية مع تنفيذ هذه القياسات على الواقع بطريقة مذهلة ودقيقة، وأهرامات الجيزة تشهد على ذلك، حيث كانت التجاوزات المسموح بها لقاعدة الهرم الأكبر لاتتجاوز 0.05% من متوسط طول الهرم (230.36m).

ويجب ألا ننسى الدور الهام الذي قام به العرب في هذا المضمار، فقد كان الوفاء بالمكيال والميزان من الواجبات المقدسة، ويعد الخارج عن هذا النظام خارجاً عن المجتمع والقانون وتوقع به أشد العقوبات، حتى إن معايير الحق والعدالة في القوانين الاجتماعية خاضعة لنظام قياسي لا يمكن تجاوزه.

وقد استعمل العرب القفيز والمكوّك والمد والصاع من المكاييل، والرطل والأوقية والمنا من الأوزان، والمعروف أن ممالك الرافدين وشمالي سورية كانت تتبنى المنظومة السداسية في حساب واحدات القياس ومضاعفاتها، وقد حاول الآثاريون حساب قيمتها بواحدات القياس المعروفة اليوم مستندين إلى أبعاد المباني الأثرية التي كشف عنها وتضمنتها الوثائق القديمة.

إذ تعد الذراع واحدة القياس الأساسية وطولها ست قبضات والقبضة أربعة أصابع، والإصبع أصغر واحدة لقياس الطول.

1-1- تعريف علم القياس (المترولوجيا):

يدعى العلم الذي يختص بدراسة الأوزان والمقاييس وما يتصل بها من أدوات وآلات وعمليات قياس بعلم القياس أو التقييس. والقياس الدقيق هو الصرح القوي الذي تقوم عليه الصناعات الحديثة، وهو الدعامة الأولى بل الأساس الذي يعتمد عليه الإنتاج الصناعي في جميع مراحله، وما يترتب عليه من تبادل السلع بين دول العالم، إلى حتمية تصنيع منتجات بقياسات موحدة متفق عليها دولياً بتفاوتات تكاد تكون معدومة في معظم المشغولات.

عرف القاموس الدولي للقياسات 1993م علم القياس بأنه:"علم إجراء عملية القياس مع تحديد نسبة الخطأ المترتبة على عملية القياس".

من هذا التعريف نلاحظ أن لعلم القياس ثلاثة عناصر أساسية:

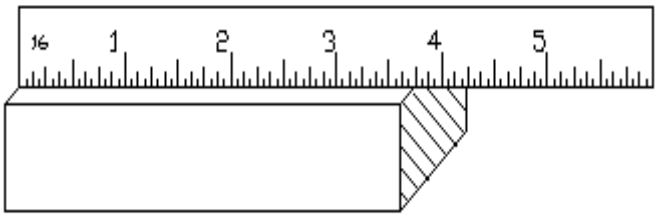
1- عملية القياس.

2- نظام وحدات القياس الدولي.

3- مرجعية عملية القياس.

أ- عملية القياس:

تُعرّف عملية القياس بأنها: عملية مقارنة بين البعد المراد قياســـه ووحدة قياس معلومة مجســـدة في جهاز قياس، الشكل(1-1).



الشكل(1-1) قياس طول المشغولة

تسمح عملية القياس بتحديد قيمة البعد المقاس بقيمة عددية بالنسبة لوحدة قياس معلومة. تحتوي نتيجة عملية القياس على ثلاث معلومات أساسية وهي:

1- القيمة العددية التي تحدد وصف البعد أو الخاصية المقاسة.

2- وحدة قياس مناسبة من نظام وحدات القياس الدولي.

3- نسبة خطأ معينة، حيث هناك في كل عملية قياس نسبة أخطاء معينة تعود لأسباب متعلقة بالجهاز أو مستخدم الجهاز وطريقة وظروف استعماله.

ب- طرائق إجراء عملية القياس:

تجرى عملية القياس بطريقتين: طريقة القياس المباشــر أو طريقة القياس غير المباشــر. يتم القياس المباشــر بمقارنة البعد المراد قياسه مباشرة مع جهاز القياس. أما طريقة القياس غير المباشر ففيها يتم الحصول فيها على مقدار مقيس بقياس كميات أخرى متعلقة وظيفياً بالمقدار المقيس.

يستعمل هذا النوع من القياس غالباً عندما يصعب أو يستحيل القياس المباشر، فيتم قياس مقدار (أو مقادير أخرى) لها علاقة بالمقدار المراد قياسه.

أمثلة:

- قياس ضغط بقياس ارتفاع عمود سائل.
- قياس درجة حرارة باستخدام مقاومة حرارية.
- قياس حجم كرة بدلالة حجم الماء المزاح.

1-1-1- القياسات في الصناعة:

تعتمد الصناعة والتجارة في أي بلد على القياسات بدرجة عالية من الأهمّية، وذلك لأن تصنيع جميع المنتجات الصناعية وتوزيعها يكون حسب مواصفات قياسية لإرضاء فئات معينة من المستهلكين والزبائن.

فبإجراء عمليات القياس يمكن تحديد مدى ملائمة هذه المنتجات الصناعية ومطابقتها للمواصفات القياسية (الوطنية أو الدولية) وهذا ما يضمن جودة المنتجات ويعزز القدرة التنافسية للمؤسسات الصناعية.

لقد حاز علم القياس أهمية استراتيجية على جميع المستويات الصناعية، الاقتصادية والاجتماعية... وهذا راجع إلى ثلاثة قوى أدّت دوراً أساسياً في إعادة هيكلة الاقتصاد العالمي. هذه القوى هي:

- عولمة التجارة والاستثمار والصناعة وشموليتهم.
- تطوير مواصفات دولية لجميع المنتجات والخدمات، خاصة منها المتعلقة بنظم إدارة الجودة والمتعارف عليها ISO9000: 2015
- النمو السريع في التقنيات العالية المستعملة في جميع الجوانب الاقتصادية والصناعية. أدّت هذه العوامل دوراً مهمّاً في رفع درجة الحرص على تطبيق القياسات الصناعية على مستوى الصناعة، وكذلك الإرتقاء بمستوى الكفاءات المهنية والتقنية للكوادر العاملة في مختلف القطاعات الصناعية (الميكانيكية، والكهربائية، والصيدلانية، والغذائية والعسكرية...).

ولا يمكن أن يتحقق ذلك إلا بتطوير ورفع مستوى التعليم والتدريب في هذا المجال. إن الطلب على تكوين كوادر وكفاءات في مجال القياسات الصناعية على المستوى العالمي والمحلي لا يمكن إلا أن يتزايد خلال السنوات القادمة، وهذا راجع للقوى الثلاث السالفة الذكر والتي تُعد المحرك الأساسي للاقتصاد المعاصر.

إن أي خلل بعمليات القياس الصناعي يؤدي إلى آثار سلبية بالغة الخطورة على المستوى الصناعي والاقتصادي، وقد تؤدي إلى نتائج وخيمة جداً على مستوى الأفراد والمؤسسات وحتى الدول.

1-1-2- القياسات الصناعية أو علم المترولوجيا:

هو علم إجراء عملية القياس الدقيق ويُعدّ اللبنة الأساسية في تنظيم جميع المعاملات التجارية والصناعية بلا استثناء. وهو أيضاً الأساس في بناء نظام جودة المنتجات الصناعية (الميكانيكية، والكهربائية، والغذائية، والصيدلانية...).

تقوم فكرة القياس والوزن على أسس ثلاثة هي وحدة المنظومة وواحدة القياس والمعيار، فالوحدة هي جوهر كل منظومة معتمدة للقياس أو الكيل أو الوزن، وتفترض مفهوماً محدداً ودقيقاً للكتلة أو الطول أو

الحجم، أما واحدة القياس فهي مقدار محدد متفق عليه يقاس به مقدار آخر غير معلوم، وأما المعيار فهو المرجع الذي يستند إليه لضبط مقدار واحدة القياس.
عندما بدأت مرحلة الإنتاج الصناعي الكمي(بالجملة) واجه التقنيون والفنيون مشكلات متعددة، من أهمها إيجاد وسيلة للتفاهم بين مختلف المصانع، وتوحيد القياسات للمنتج الواحد المصنّع من قبل شركات مختلفة.

بحيث تسهل عملية التبادل بين مختلف المنتجين، وبالتالي اتضحت أهمية التوحيد والتماثل في تصميم أجزاء الجهاز الواحد والمنتجة في مصانع أو دول متعددة مما أدى بالنتيجة إلى ضمان استخدام قطع الغيار المختلفة بأمان ودقة مع تبسيط إنتاج هذه القطع، وتوفير بالتكلفة، والإقلال من الجهد المبذول.

وإن جميع هذه المهام أُلقيت على عاتق رجال القياس، حيث تم البدء بتطبيق أساليب حديثة في التقييس سواء بما يشمله من مقاييس ومواصفات قياسية أم بتوحيد لأساليب الإنتاج مع تحقيق مستوى فائق الدقة للأداء الأمثل.

1-1-3- تصنيف علم القياس (المترولوجيا):

يمكن تصنيف علم القياس إلى:

1-1-3-1 علم القياس العلمي (المترولوجيا العلمية): هو جميع الأنشطة المتعلقة بالبحث في مجالات القياس التالية: وحدات القياس، معايير القياس، طرائق القياس، وأدوات القياس وأجهزته، والعمل على تطويرها. يهتم هذا الصنف بتطوير طرائق القياس وتقنياته لمختلف العوامل الفيزيائية عن طريق البحث العلمي.
حيث يقوم على هذه المهمة مراكز البحث بالجامعات والكليات ومعاهد البحث المتخصصة.

1-1-3-2 علم القياس الصناعي: هو جميع الأنشطة المترولوجية المتعلقة بمجال الإنتاج الصناعي والتكنولوجي؛ أي جميع الأنشطة التي تتعلق بضمان صحة نتائج أدوات القياس المستخدمة في العمليات الصناعية من إنتاج وفحص وتفتيش ومراقبة.

إن جودة المنتج هي أهم وظائف القياس وهي النتيجة النهائية لعمليات القياس، ففي البداية يتم وضع المواصفة المناسبة ثم تطبّق هذه المواصفة باستخدام عمليات القياس لمعرفة مدى مطابقة المنتج للمواصفة الموضوعة، فإذا تم التطابق بين المنتج والمواصفة كان هذا المنتج حائزاً الجودة المطلوبة، أي ملائماً للغرض الذي وُضع من أجله، ولضمان جودة المنتج تجري عمليات ضبط الجودة للمنتج.

1-1-3-3 علم القياس القانوني: هو مجموعة الإجراءات التشريعية والإدارية والفنية الصادرة عن السلطات العمومية أو الراجعة لها بالنظر لتحديد وضمان مستوى ملائم من الجودة والمصداقية في عمليات التقييس المتعلقة بالمراقبة الرسمية والتجارة والصحة والسلامة والبيئة.

والمترولوجيا القانونية هي النشـــاط المتعلق بالمتطلبات القانونية الإلزامية للقياس ووحدات القياس وأدوات القياس وطرق القياس، بحيث تشرف على تنفيذها أو ممارستها جهة حكومية مختصة.

يُعدُّ نشاط المترولوجيا القانونية أهم الأدوات في مراقبة الأسواق وحمايتها، حيث تمارس عادة هذا النشاط جهات حكومية تفرض من خلال القوانين والأنظمة واللوائح الفنية متطلبات إلزامية على أدوات القياس المستخدمة في التعامل التجاري أو التي قد تؤثر في صحة أفراد المجتمع وسلامتهم.

وتهدف هذه المتطلبات إلى الوصـــول إلى الثقة بنتائج أدوات القياس التي تخضـــع لمثل هذه المتطلبات، مثال:(الأوزان والموازين المســـتخدمة في التعامل التجاري، ومضـــخات تعبئة الوقود، وأجهزة قياس ضـــغط الدم الطبية، وأجهزة قياس درجة الحرارة الطبية، وأجهزة القياس الكهربائية، وأجهزة قياس الأبعاد، وعدّادات اســـتهلاك المياه والكهرباء...الخ). وتختص المترولوجيا القانونية بالجوانب التنظيمية والتشـريعية للمعاملات ولاسـيما التجارية منها، والتي ترتكز على أجهزة القياس مثل: الموازين، وعدّادات الاستهلاك... إلخ.

ففي حقل التجارة يقوم علم القياس القانوني بزرع الثقة في نفوس المواطنين بأدوات القياس العامة؛ لأن هذه الثقة مهمة بالنسبة لتطوير عمليات تبادل السلع والبيع والشراء.

أما في مجال حماية البيئة من التلوث فيقوم علم القياس القانوني بوضـع القواعد والقوانين والمعايير المناسـبة التي تحدّد نسباً محددة مسموحاً بها من التلوث لضمان سلامة المواطنين وحماية حياتهم.

ويمكن التحدث أيضاً عن مستوى الضجيج المسموح به في الأماكن المزدحمة بوسائل النقل، مثل: مراكز المدن والأماكن القريبة من المطارات، وكما هو معلوم فكثير من وســـائل الحضـــارة الحديثة والمنتجات الصناعية تشكل خطراً على سلامة الإنسان إذا لم تُسنّ التشريعات التي تضمن هذه السلامة.

على المســـتوى الدولي أدى الاهتمام بعلم القياس إلى إنشـــاء العديد من المنظمات الدولية المعنية بأمور القياس، منها:

1. المنظمة الدولية للأوزان والمقاييس BIPM:

هذا المصطلح هو اختصار الحروف الأولى للجملة الفرنسية

(Bureau International des Poids Mesures) تهتم هذه المنظمة بتعريف الوحدات وتقوم بحفظ معايير القياس الدولية .

2. المنظمة الدولية للمترولوجيا القانونية OIML:

وهذا المصطلح هو أيضاً اختصاراً للحروف الأولى من الجملة الفرنسية

(Organisation International de Métrologie Légale): تهتم هذه المنظمة بأمور القياس المتعلقة مباشرةً بالتجارة وأموال المواطنين وبصحتهم وسلامتهم، وتعمل باستمرار على إصدار المواصفات الدولية الخاصة بأدوات القياس المستخدمة في هذه المجالات.

1-2- أهمية القياس (المترولوجيا):

تكمن أهمية علم المترولوجيا في الحاجة الملحة لتوحيد النظام القياسي العالمي ورفع جودة المنتجات، إضافة إلى إيجاد آلية لتسهيل حركة التجارة وإزالة العقبات التجارية، ويُعد النظام المترولوجي بنداً إلزامياً للدول النامية حتى تكون قادرة على مواكبة الأنظمة والقوانين التابعة للدول الصناعية، كما يُعد شرطاً مهماً لحماية البيئة والعمال، وإرضاء حاجات المستهلك الذي أصبح أكثر وعياً بالأمور المتعلقة بالجودة.

ونظراً لأهمية علم القياس، فقد تم إنشاء هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية التي تسهم بشكل أساسي وفعّال في تطوير الاستثمارات الداخلية، وجذب الاستثمارات الخارجية، وإزالة العقبات التجارية لتسهيل حركة التجارة، وتحسين جودة المنتجات السورية ، ورفع مستوى المنافسة على الصعيدين المحلي والعالمي.

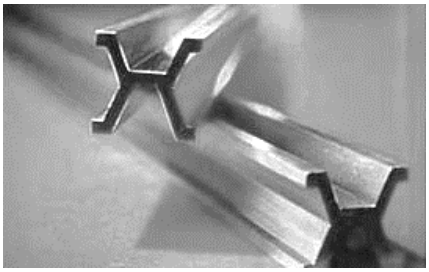
مما يعزز الاقتصاد الوطني ويؤثر بطريقة إيجابية في المواطن السوري وعلى معظم القطاعات منها المترولوجيا العلمية والصناعية والقانونية التي تشمل أجهزة القياس المختصّة بصحة المواطن وسلامته.

1-3- واحدات القياس الأساسيّة:

جرت عدة دراسات حول إمكانية وضع منظومة موحدة للأوزان والمقاييس تحلُّ محل المنظومات المحلية المختلفة التي تعيق الاتصال التجاري والعلمي بين الأمم، وكان أول مشروع تقدم به الراهب غابريل موتون سنة 1670م، واقترح فيه مقياس طول على أساس طول قوس مقداره دقيقة واحدة من خط الزوال (خط الطول)، على أن يقسم هذا المقياس عشرياً ويعطى أسماء تدل مقاطعها الأولى على أجزائه، وظل هذا الاقتراح موضع أخذ ورد حتى سنة 1790 إلى أن أصدرت أكاديمية العلوم الفرنسية توصية باعتماد خط الطول المار بباريس بين القطب الشمالي وخط الاستواء أساساً لاشتقاق واحدات الطول، على أن يسمى الجزء الواحد من عشرة ملايين جزء من خط الطول المذكور متراً، ويقسم المتر إلى أجزاء عشرية وله مضاعفات عشرية أيضاً.

كذلك تضمنت التوصية واحدة وزن تشتق من المتر، أساسها وزن متر مكعب من الماء النقي، فيكون الغرام وزن سنتمتر مكعب واحد من الماء بدرجة الحرارة التي يبلغ فيها الماء أقصى كثافته. وقد أقّرت الجمعية الوطنية (الجمعية التأسيسية) الفرنسية النظام المتري سنة1791، وغدت المنظومة المترية حقيقة شعارها «لكل الشعوب وجميع الأزمنة»، وصنع على هذا الأساس متراً معيارياً من البلاتين، وكيلوغرام معياري أيضاً من البلاتين.

يبين الشكل(2-1) المتر الدولي القياسي.



الشكل(2–1) المتر القياسي

1-3-1- النظام الدولي لوحدات القياس SI:

يعبّر مصـــطلح **SI** عن الحروف الأولى للجملة الفرنســـية: النظام الدولي للواحدات Système Internationale d'Unités . بَقيت منظومة المتر المنظومة الأسـاسـية للأوزان والمقاييس ولاسـيما في البحوث العلمية، وقد اتسع مجالها وتشعبت استعمالاتها بعد أن جمعت مع واحدة الزمن، أي الثانية.

وسمح هذا الجمع باشـتقاق واحدات أخرى كثيرة لتمييز الظواهر الفيزيائية، وإدخال تعديلات وإضـافات كثيرة عليهـا. وفي عـام 1874 أدخلـت الجمعيـة البريطـانيـة لتقـدم العلوم BAAS (British Association for the Advancement of Science)جملة الواحدات المسـماة CGS، وهي جملة واحدات تسـتند إلى الواحدات الميكانيكية الأسـاسـية الثلاث، **السـنتيمتر والغرام والثانية** (وتدعى بالعربية الجملة السـغثية)، واسـتخدمت البادئات من الميكرو إلى الميغا للتعبير عن الأجزاء والمضـاعفات العشرية.

لكن تَبيّن فيما بعد أن مقادير واحدات الجملة CGS غير ملائمة لمجالي الكهرباء والمغناطيســـية، لذلك أدخلت الجمعية البريطانية BAAS ومؤتمر الكهرباء الدولي جملة من الواحدات العملية كان فيها الأوم واحدة المقاومة الكهربائية والفولط واحدة القوة المحركة الكهربائية والأمبير واحدة التيار الكهربائي.

يعد المؤتمر العام للأوزان والمقاييس CGPM وهو اختصـار الحروف الفرنسـية الأولى Conférence Générale des Poids et Mesures) السـلطة الدولية المخوَّلة بنشـر الجملة الدولية SI وتعديلها عند الضرورة لكي تلبي أحدث التطورات العلمية والتقنية.

وقد أُحدثت المنظمة الدولية CGPM بمعاهدة تدعى اتفاقية المتر التي وقَّعها عام 1875 ممثلو17دولة في باريس. وفي المؤتمر العام CGPM الرابع عشر المنعقد عام 1971 استُكملت جملة الواحدات الدولية SI بإضافة المول واحدةً لكمية المادة، وبذلك أصبح عدد الواحدات الأساسية سبعة.

يسـتند النظام الدولي إلى سـبع واحدات أسـاسـية لسـبعة مقادير أسـاسـية مسـتقل أحدها عن الآخر ووحدتين مكملتين هما الراديان والاسـتيراديان لقياس الزوايا المسـتوية والمجسـمة كما يبيّنه الجدول(1-1). ولكل وحدة من الوحدات الأسـاسـية معيار دولي معرّف بدقة متناهية ومحفوظ من طرف المنظمة الدولية

للقياس (ISO)، يستعمل هذا المعيار الدولي لمعايرة المعايير الوطنية الموجودة على مستوى مختلف دول العالم والمحفوظة من طرف الهيئات الوطنية للمقاييس والمواصفات مثل هيئة المواصفات العربية السورية.

ويجب التأكيد على أن رموز الكميات هي أحرف لاتينية مائلة (رمز الكتلة m)، أما رمز دليل الكمية فيكتب بأحرف مائلة إذا كان يمثل كمية فيزيائية وبأحرف قائمة إذا كان غير ذلك.

الجدول(1-1) الواحدات الأساسية والمكملة في النظام الدولي SI

الكمية المقاسة		وحدة القياس		الرمز	
الطول أو البعد	Length	متر	meter	م	m
الكتلة	Mass	كيلوغرام	Kilogram	كلغ	kg
الزمن	Time	ثانية	Second	ث	s
درجة الحرارة	Temperature	درجة الكلفن	Kelvin	ك	k
التيار الكهربائي	Electrical Current	أمبير	Ampere	أ	A
كمية المادة	Quantity of matter	مول	Mole	مول	mol
شدة الإضاءة	Luminosity	قنديلة	Candela	قد	cd
الزاوية المستوية	Plane angle	راديان	Radian	راد	rad
الزاوية المجسمة	Solid angle	ستراديان	steradian	سر	st

وبالنسبة لوحدات القياس فيرمز لها بأحرف لاتينية قائمة (رمز المتر m).

كما أقرّت اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس جملة من واحدات القياس والوزن المشتقة أو المستنبطة من الواحدات الأساسية كالنيوتن لقياس القوة، والجول لقياس العمل، والفولت لقياس الكمون الكهربائي...الخ. يبين الجدول(2-1) بعض الوحدات المشتقة.

الجدول(2-1) بعض الوحدات المشتقة في النظام الدولي

الكمية المقاسة		الوحدة المشتقة	الرمز
المساحة	Surface	متر مربع	m^2
الحجم	Volume	متر مكعب	m^3
السرعة الخطية	Speed	متر لكل ثانية	m/s
الذبذبة	Frequency	هرتز	Hz
الكثافة	Density	كيلو غرام لكل متر مكعب	kg/m^3
التسارع الخطي	Acceleration	متر لكل ثانية مربعة	m/s^2
القوة	Force	نيوتن	N
الضغط	Pressure	نيوتن لكل متر مربع	N/m^2
التدفق	Flow Rate	متر مكعب لكل ثانية	m^3/s

تُعرف عملية قياس كمية ما بأنها مقارنة هذه الكمية بوحدة القياس المعتمدة بحيث نحصل في نهاية المقارنة على قيمة عددية تدل على عدد الوحدات الموجودة في الكمية المقيسة. يمكن التعبير عن الكمية المقيسة بواسطة وحدة القياس والقيمة العددية:

الكمية المقيسة = القيمة العددية x وحدة القياس

1-3-2- أجزاء ومضاعفات النظام الدولي للوحدات:

يحدد النظام الدولي للوحدات (SI) مجموعة من الوحدات تعرف باسم السوابق. وهذه السوابق عبارة عن كلمات تسبق الواحدة البسيطة للقياس لتعبر عن المضاعفات أو الكسور العشرية للواحدة. قام بوضع هذه الواحدات المكتب الدولي للأوزان والمقاييس في الفترة بين 1960-1991.

الهدف من استخدام تلك السوابق هو التقليل من عدد الأصفار التي تظهر عند كتابة مضاعفات أو كسور وحدة ما، مثال: بدلاً من كتابة0.000000001 متر، نكتب (1nm)، أي تسبق كلمة متر بكلمة نانو فتصبح نانومتر ومن المألوف استخدام سوابق (بادئات) مثل كيلو: كيلومتر وكيلوغرام وكيلوبايت وغيرها. وهي تعني ألف متر وألف غرام وألف بايت على التوالي، وهكذا.

وقد أثبتت التطبيقات التكنولوجية أن نظام المضاعفات والأجزاء العشرية هو النظام الأمثل للوفاء بمختلف احتياجات هذه التطبيقات.

يؤكد النظام الدولي للوحدات SI على تطبيق القواعد التالية للاستفادة القصوى من نظام الوحدات وكذلك لسهولة التعامل مع هذا النظام:

1- يتكون نظام الأجزاء والوحدات بضرب وحدة القياس بالعدد 10 بعد رفعه لأس صحيح موجب من أجل المضاعفات ولأس صحيح سالب من أجل أجزاء الوحدات.

$$1\mu m = 10^{-6}m$$

$$1km = 10^{3}m$$

2- تشكل البادئة التي تعبر عن الأجزاء والمضاعفات مع رمز الوحدة رمزاً واحداً وترتبط بها وتكتب من دون وضع نقطة أو فاصلة بينهما. مثلاً: mm, µs, Mpa.

3- لا يسمح بتشكيل بادئات مركبة بوضع عدة بادئات خلف بعضها، مثلاً: mµm ميلي ميكرون خطأ ويجب كتابة nm، ولا يجوز مثلاً كتابة KM كيلو ميغا بدلاً منG.

4- للدلالة على مضاعفات أو أجزاء وحدات القياس العشرية من أجل وحدات مشتقة كسرية، يمكن إلحاق البادئة إما بالوحدات الموجودة في البسط أو الموجودة في المقام أو الموجودة في البسط والمقام معاً، وذلك حسب الصيغة الأنسب.

$$10^{-6}m^2 = (10^{-3}m)^2 = 1mm^2$$

$$10^{6}s^{-1} = (10^{-6}s)^{-1} = 1\mu s^{-1}$$

5- يجب استخدام البادئة مترافقة برمز وحدة القياس بحيث يشكلان وحدة مترابطة. فلا يجوز قول(ميلي) بل يجب أن نقول ميلي متر، أو ميلي غرام، كذلك لاينبغي أن نقول(كيلو) فقط، بل يجب أن نقول كيلومتراً أو كيلوغراماً.

6- عند تكوين وحدة مركبة بضرب أو تقسيم وحدتين أو أكثر، فيمكن التعبير عن الوحدة المركبة بإحدى الطرائق التالية:

$N \cdot m$ النقطة فوق السطر بقليل، أو N.m النقطة على السطر، أو N m بترك فراغ بين الوحدتين، أو Nm دون ترك فراغ.

ويجب عدم الخلط بين رمز البادئة ورمز الوحدة عند قراءة الوحدات المركبة. مثلاً: mN يعني ميلي نيوتن، وليس متر نيوتن.ممكن كتابة: $\frac{m}{s}$ أو m/s أو ms^{-1}

7- لا يجوز حذف أي جزء من اسم وحدة القياس أو إضافة أي صفة لهذه الوحدة بل يجب التعبير عنها بالشكل الذي حددته المنظمة الدولية SI حسب الجداول الموضحة. مثلاً لا يجوز أن نقول (درجة) بدلاً من (درجة سليزيوس).

يبين الجدول(3-1) معاملات الضرب المعتمدة التي تتراوح بين 10^{24} و10^{-24}. يوجد عشرون بادئة مستخدمة للأجزاء والمضاعفات العشرية للواحدات الدولية. ومن المهم ملاحظة أن الكيلوغرام هو الواحدة الدولية الوحيدة التي تشكل البادئة فيها جزءاً من اسمها ورمزها، لذلك لا يمكن استخدام البادئات مع الكيلوغرام لكنها يمكن أن

تستخدم مع الواحدة غرام (g) كالتالي: $10^{-6}kg = 1mg \neq 1\mu kg$

حيث: µkg: ميكرو كيلوغرام. mg: ميليغرام.

أي إن واحد ميليغرام لا يساوي واحد ميكرو كيلوغرام.

معامل الضرب	اسم المعامل	الرمز	الرقم العشري
10^{24}	يوتا – yotta	Y	1000000000000000000000000
10^{21}	زيتا – zetta	Z	1000000000000000000000
10^{18}	إكسا- exa	E	1000000000000000000
10^{15}	بيتا- peta	P	1000000000000000
10^{12}	تيرا- tera	T	1000000000000
10^{9}	غيغا - giga	G	1000000000
10^{6}	ميغا- mega	M	1000000
10^{3}	كيلو- kilo	k	1000
10^{2}	هكتو - hecto	h	100

10^1	deca - ديكا	da	10
10^{-1}	deci -ديسي	d	0.1
10^{-2}	centi – سنتي	c	0.01
10^{-3}	milli ميللي -	m	0.001
10^{-6}	micro -ميكرو	μ	0.000001
10^{-9}	nano - نانو	n	0.000000001
10^{-12}	pico – بيكو	p	0.000000000001
10^{-15}	فيمتو – femto	f	0.000000000000001
10^{-18}	atto - أتو	a	0.000000000000000001
10^{-21}	zepto – زيبتو	z	0.000000000000000000001
10^{-24}	yokto – يوكتو	y	0.000000000000000000000001

الجدول(3-1) بادئات النظام الدولي للوحدات SI (أجزاء ومضاعفات المتر)

وفيما عدا هذا الإستثناء يمكن استخدام أي بادئة مع أي واحدة SI بما في ذلك درجة الحرارة سليزيوس ^oC. جرت العادة على كتابة بادئات المضاعفات العشرية بحرف كبير وبادئات الأجزاء العشرية بحرف صغير (Km و mm) أي كيلومتر وميلي متر.

1-3-3- واحدات خارج الجملة الدولية SI:

أوصت اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس بقبول استخدام الواحدات غير المنتمية إلى جملة الواحدات الدولية المذكورة في الجدول(1-1).

إن وحدة المتر المستعملة في النظام الدولي أخذت من النظام المتري الفرنسي. وبالموازاة مع هذا النظام هناك النظام الإنكليزي الذي مازال مستعملاً بصورة أقل شمولية من النظام الدولي في إنكلترا والولايات المتحدة وكندا.

يعتمد النظام الإنكليزي على وحدات القياس التالية:

الميل، الياردة، القدم، البوصة، الباوند...كما في الجدول(4-1).

الجدول(4-1) وحدات الأبعاد في النظام الإنكليزي

الوحدة الإنكليزية		رمزها وقيمتها	قيمتها في النظام الدولي SI
الميل	miles	1mile = 1760yard	1mile = 1.609km
الياردة	yard	1yard = 3ft	1yd = 91.44cm
القدم	foot	1ft = 12in	1ft = 30.48cm
البوصة	inch	In	1in = 25.4mm

تُعدُّ البوصة من بين الوحدات المعمول بها في المجال الصناعي. لذا نجد أن معظم أجهزة قياس الأبعاد مثل المسطرة الحديدية أو القدمة ذات الورنية مدرجة بهذه الوحدة إضافة إلى وحدة المليمتر. يمكن استخدام البادئات من أجل الوحدات من خارج النظام الدولي مثل ميلي ليتر (ml)، ميلي بوصة (minch)، ميكرو بوصة (µinch). توصي المنظمة الدولية للتقييس (**ISO**: International Standardization Organization) جميع دول العالم الالتزام بوحدات القياس الدولية (SI)، علماً أن معظم الدول التزمت بهذا النظام، حتى تلك الدول التي لا تزال تستخدم النظام الإنكليزي تلتزم الآن بتطبيق النظام الدولي إلى جانب نظامها، وأوجدت علاقات تحويل بين نظامها والنظام الدولي وبالعكس.

4-3-1 - المفاهيم الأساسية للتقييس:

إن للتقييس أسساً وضعت للارتكاز عليها في أثناء إعداد المواصفات، نذكر أهمها:

1- التبسيط: عرّفته المنظمة الدولية للتقييس (ISO) بأنه اختصار عدد نماذج المنتجات إلى العدد الذي يكفي لمواجهة الإحتياجات السائدة في وقت معين، وذلك عن طريق اختصار أو استبعاد النماذج الزائدة أو استحداث نموذج جديد ليحل محل نموذجين أو أكثر، على ألا يخل ذلك بحاجة المجتمع ورغبات المستهلكين.

ويهدف التبسيط إلى عدم تعدد وتنوع النماذج المختلفة من السلع شائعة الاستعمال، لما في ذلك من إسراف في التكاليف، وزيادة في الجهود الإنتاجية، لذا فهو يؤدي إلى زيادة في حجم الإنتاج وخفض التكاليف، مع تحسين كبير في الخدمات المتاحة له من حيث توافر السلع والسرعة في استلامها، وسهولة إصلاحها وصيانتها.

2- التنميط أو التوحيد: عرّفته المنظمةالدولية للتقييس (ISO) بأنه توحيد مواصفتين أو أكثر لجعلها مواصفة واحدة حتى يمكن للمنتجات الناتجة أن تكون قابلة للتبادل عند الاستخدام.

ولقد أدخل التنميط تطوراً هائلاً على أساليب الصناعة فإليه يرجع الفضل الأكبر في إمكان الانتاج على نطاق واسع.

3- التوصيف: يعني تحديد خصائص المواد والمنتجات وكذلك الطرق والوسائل الكفيلة لتحقيق توافر هذه الخصائص.

4- تحقيق الملائمة للاستعمال: يتلخص هذا التحقيق في أن الجودة ليست مطلقة وإنما يجب أن ترتبط بظروف الاستخدام.

فما هو جيد في مكان معين وتحت ظروف معينة قد لا يكون جيداً في أماكن أخرى أو في ظروف مخالفة. فمواصفات الإسمنت الذي يستخدم في الأراضي المالحة يختلف عن ظروف الإسمنت في الأراضي العادية.

ونظراً لضـــرورة هذا المبدأ فإنه يجب الاهتمام بوضـــع المواصـــفات الوطنية في كل بلد من دون نقل للمواصـفات الأجنبية مهما كانت مشـهورة. وباختصـار فإن تحقيق الملائمة للغرض هي قدرة المنتج أو العملية أو الخدمات على تحقيق هدف ما محدد تحت ظروف محددة.

5- التبادلية: من نتائج التبســـيط انخفاض التنوع في المقاســـات والأحجام والنماذج، وقد فرض هذا الانخفاض التبادلية، أي إنتاج عدد كبير من الأجزاء المتماثلة في الحجم والشـكل والأداء إلى حد يضـمن استبدال جزء منها بجزء آخر، له درجة الأداء نفسها.

6- السلامة: هناك العديد من المواصفات القياسية للمنتجات التي أُعدت خصيصاً لحماية حياة الإنسان وصحته، مثل (أحزمة الأمان في السيارات، والألبسة الواقية في المجال الصناعي ومجال الأشعة).

7- الإتفاق العام: إن العمل التقييســـي لا يمكن أن ينجح أو يحقق أهدافه إلا من خلال الإتفاق العام حول محتويات المواصفة القياسية، وذلك لن يتم إلا بتعاون جميع الجهات المعنية ووصولها إلى فهم متبادل لوجهات نظر بعضها البعض.

8- القابلية للتطبيق: إن المواصفة المتفق عليها لا يكون لها أية قيمة مالم تكن قابلة للتطبيق، وتأخذ حيز التنفيذ بحيث تحقق هدفها في خدمة الناس وتوفير حياة مريحة لهم.

9- الوصـــول للحل الأنســـب: إن الطريق الواجب اتباعه في وضـــع المواصـــفات هو اختيار الحل الأنسـب وتثبيته فترة كافية، وذلك من خلال وضـع الأولويات بالشـكل الذي يناسـب الحالة التي تتم دراستها، وممكن أن يتم ذلك إذا أخذ بالحسبان ما يلي عند العمل:

أ- الاختيار العقلاني للأكثر ملائمة من بين الاختيارات.

ب- جعل الحل الذي يجري اختياره ثابتاً وفي مأمن من التغيير لمدة من الزمن.

ج- المراجعة الدورية: إن المواصفة مهما حاولنا إبقائها ثابتة لفترة من الزمن، إلا أنها قابلة للتغيير والتعديل والمراجعة حسب التطورات العلمية والتكنولوجية، مع مراعاة العوامل الاقتصادية المؤثرة.

10- ربط المواصفة مع المواصفات التي لها علاقة بها: يجب عند وضع المواصفة وتحديد خصائص سلعة معينة أو أدائها أن يتم تحديد طريقة قياس أو فحص هذه السلعة لبيان مدى مطابقتها للمواصفة الخاصة بها، أو كيفية أخذ العينات منها، أو كيفية استخدامها وغير ذلك من خلال مواصفات تكون مربوطة مع المواصفة المعنية.

11- إلزامية تطبيق المواصـــفة: عند وضـــع المواصـــفة يجب مراعاة كونها إلزامية أو اختيارية آخذين بعين الاعتبار جميع الظروف المحيطة، ومعتمدين على المواصـــفة نفســـها، ومســـتوى التصـــنيع في البلد المنتج، وعلاقة المواصفة مع القوانين السارية في هذا البلد.

وتطبق المواصفة بشكل إلزامي عندما تكون متعلقة بـ:

1- سلامة المواطن وصحته.

2- منع الغش (المكاييل والأوزان).

3- حماية البيئة.

4- الأمن القومي.

1-3-5- المصطلحات الأساسية للقياس:

القياس: هو تحديد كمية فيزيائية مثل: الطول أو الزمن أو الكتلة أو درجة الحرارة أو شـــدة التيار أو... وذلك بوسـاطة جهاز قياس. ويعرف القياس أيضـاً بأنه ذلك المجال من المعرفة البشـرية المتعلقة بالتحديد الكمي للخواص الفيزيائية بطريقة ملموسـة، ويُعدّ مجال القياس ومسـتواه في أي مجتمع مقياسـاً لمسـتوى تقدمه وحضارته.

المعايرة: هي مجموعة من عمليات القياس التي تتم تحت ظروف محددة باسـتخدام أجهزة وأدوات قياس مسـندة إلى المعايير الدولية التي تحقق وحدات النظام الدولي للقياس ISO، وتحدد هذه العمليات مدى دقة أجهزة القياس وملاءمتها للغرض المستخدمة من أجله، ومدى مطابقتها للنظام الدولي للقياس.

ويتم تحديد خصائص أجهزة القياس وأدواته عن طريق إيجاد العلاقة بين القيمة الحقيقية والقيمة المقاسة.

الاختبار: هو تحديد ما إذا كانت قطعة الشغل تفي بالشروط السابق وضعها على سبيل المثال من حيث الطول، والزاوية، ودرجة حرارة التشغيل.

المقارنة: هي عملية مقارنة الجزء المطلوب اختباره مع محدد القياس (قدمة قياس) حسـب الشـكل وأبعاد قطع الشغل، وتستخدم طبعات خاصة بذلك.

أجهزة القياس: هي كلّ المعدات والأدوات والمكاييل والأجهزة التي تسـتخدم للمعاينة المباشـرة أو غير المباشرة بين الكمية المقيسة ووحدة القياس.

أجهزة المعايرة: أدوات ومعدات قياس عالية الدقة مضـبوطة على أئمة القياس، تعاير عليها أجهزة القياس للوقوف على مدى دقتها والقياس بضبطها.

مطابقة المواصفات القياسية: هي عملية التحقق من مدى انطباق المواصفات القياسية على السلع أو الخامات في شكلها المعروف.

معيار القياس:مقياس مادي أو جهاز أو مادة مرجعية أو نظام قياس، الغاية منه تعريف أو تحقيق أو حفظ أو إعادة توليد واحدة قياس أو قيمة واحدة أو أكثر لمقدار ليكون بمثابة مرجع.

ارتياب القياس: معامل مرافق لنتيجة القياس يعبّر عن تشـتت القيم التي يمكن إعطاؤها للمقدار المقيس بصورة منطقية.

معيار القياس الدولي: معيار معترف به باتفاق دولي، الغاية منه تشكيل قاعدة دولية لإعطاء قيم للمعايير الأخرى المعنية بالمقدار نفسه.

معيار القياس الوطني: معيار معترف به بقرار وطني، الغاية منه تشكيل قاعدة وطنية لإعطاء قيم للمعايير الأخرى المعنية بالمقدار نفسه.

المعيار المرجعي: معيار يمتاز بأعلى نوعية قياس متوفرة في مكان ما أو منظمة ما وتكون القياسات التي تجري في هذا المكان مشتقة من هذا المعيار.

المعيار الأولي: معيارٌ مصنّف أو معترف به على نطاق واسع لامتيازه بأعلى نوعية قياس، وتكون القيمة التي يقدمها هذا المعيار مقبولة من دون الرجوع إلى معايير أخرى للمقدار نفسه.

المعيار الثانوي: معيار تُعطى قيمته بالمقارنة مع المعيار الأولي للمقدار نفسه.

الدقة: الدقة هي مطابقة القراءة المأخوذة على الجهاز بالقيمة الحقيقية للبعد المقاس، والفرق بينهما، إن وجد، يُعرّف على أنه الخطأ فى المقاس.

والخطأ فى الدقة يمكن حسابه بالمسافة بين متوسط القراءات المأخوذة والقيمة الحقيقية.

في أي عملية قياس يجب اختيار الأجهزة بحيث تكون دقتها مرتبطة بمدى الدقة المطلوبة في قياس الجزء المراد قياسه، والعكس أيضاً صحيح، إذ يمتنع استخدام جهاز ذي دقة عالية جداً في قياس الأبعاد غير المطلوب فيها دقة عالية.

ضباطة القياس: مدى قرب نتيجة القياس من القيمة الحقيقية للمقدار المقاس.

الحساسية: الحساسية هي النسبة بين حركة المؤشر مقاسة بالميليمتر أو بطول التدريج والتغير المناظر في البعد الحقيقي. أو هي قدرة الجهاز للإحساس بالتغيرات الصغيرة في البعد.

من المهم ملاحظة أن الحساسية متعلقة بالأجهزة المستخدمة في حين أن الضباطة والدقة متعلقين بعملية القياس نفسها، ولذا يمكن القول: إن أكثر الأجهزة حساسية قد لا يؤدي إلى أدق النتائج أو أضبطها.

الرقابة المترولوجية القانونية: هي الرقابة المجراة على أدوات وطرائق القياس وكذلك على الظروف التي تم فيها الحصول على نتائج القياس والتعبير عنها واستغلالها، والتي تهدف إلى معاينة الأدوات وطرق القياس والتأكد من مطابقتها للشروط القانونية والترتيبية الجاري بها العمل.

المواصفة القياسية: وثيقة توضع بالاتفاق العام وتقرّها جهة معترف بها، وتوفر للاستخدام العادي والمتكرر قواعد وإرشادات أو خصائص للأنشطة أو نتائجها بهدف تحقيق الدرجة المثلى من المعطيات في سياق معين.

المواصفات: هي عرض موجز لمجموعة متطلبات (مثل الخواص، والشكل الخارجي، والأبعاد، وطرائق الاختبار، ومجالات الاستخدام ووحدات القياس) يجب أن تحققها سلعة أو مادة أو عملية وتشير إلى الطريقة التي يمكن بوساطتها تحديد ما إذا كانت هذه المتطلبات محققة أو لا.

وبالطبع يمكن أن تكون المواصـــفات مواصـــفة قياســـية أو جزءاً من مواصـــفة قياســـية، وأحياناً تكون المواصفات مستقلة عن أية مواصفة قياسية. أما بالنسبة للمتطلبات المعطاة فيجب التعبير عنها بالأرقام وبوساطة واحدات مناسبة.

التبســـيط: يعبّر عن تخفيض عدد أنواع الســـلع إلى الحدود الدنيا مع تغطية الاحتياجات العامة كافة وفي وقت محدد. ويُعدّ التبسيط من العوامل الاقتصادية التي تخدم المستهلك والمنتِج معاً.

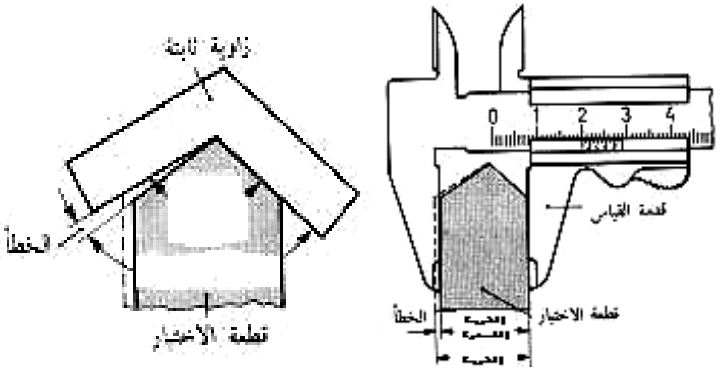
التوحيد: إنّ جمع أكثر من مواصفة قياسية في المنتج نفسه وتوحيدها يؤدي إلى الحصول على سلع قابلة للتبادل حيث يعبّر عن هذه المواصفات بمواصفة قياسية واحدة.

الفصل الثاني
طرق حساب الارتياب

مقدمــة:

إن الواقع العملي فرض علينا حقيقة مهمة يدركها كل المهتمين بالقياســات، وهي أنه لا يوجد أبداً أي قياس صــحيح بصــورة مطلقة، حيث أن هناك أســباباً واقعية لا يمكن تجنبها تماماً، تجتمع معاً أثناء القياس لتؤدي في النهاية إلى عدم التطابق الكامل بين القيمة المقاســـة والقيمة الحقيقية. ولكن لتحقيق عمليات قياس ذات نتائج قريبة من المثالية يمكن اعتماد أجهزة قياس دقيقة، وبوجود كادر من القائســين المتدربين جيداً بالإضافة إلى استخدام أساليب قياس حديثة. وتجدر الإشارة إلى أهمية مكان مختبر القياس ومدى صـلاحيته لعمليات القياس إذ ينبغي أن تتحقق شـروط معينة في مختبرات القياس من أهمها: درجة الحرارة القياسـية، ونسـبة الرطوبة، والضـغط الجوي، ولاننسـى بُعد أجهزة القياس عن مصـادر الاهتزازات، ولتحقيق هذه الشـروط تسـتخدم أجهزة تكييف الهواء، ويجب أن تكون جدران المختبر معزولة جيداً عن المباني الخارجية، كما يجب أن تكون جدران ونوافذ وأبواب المختبر مزدوجة منعاً لتسرب الحرارة أو الغبار.
على الرغم من كون الخطأ غير معلوم إلا أنه أحياناً من خلال الخبرة والممارسـة والطرائق يمكن تقدير القيم الحقيقية للكمية المقيســة بالإضــافة إلى تحديد الارتياب الذي يتماشــى مع نتائج القياس, ويعرّف الخطأ على أنّه عبارة عن تقدير لقيمة الشك في القراءة من جهاز القياس، وهو الفرق بين القيمة الحقيقية لمقدار ما وقيمته المقاسة أو المحسوبة.

ولابد من الإشارة إلى أهم العوامل التي تؤخذ بالحسبان أثناء تصميم أجهزة القياس والتي تؤثر في دقة نتائج القياس مثل الحســاسـية والمقروئية والاسـتقرار وغيرها من العوامل التي يجب التركيز عليها ودراسـتها جيداً للتمكن من التعامل مع أجهزة القياس بنجاح.
ويوضـــح الشـــكل(1-2) بعض الأمثلة العلمية لأخطاء تحدث عند إجراء قياســـات مختلفة للأبعاد والزوايا.حيث يبيّن الشكل عدم حدوث تطابق بين أداة القياس والقطعة المراد قياسها (الجهة اليسرى من أداة القياس).



الشكل (1-2) حدوث بعض الأخطاء أثناء عمليات القياس المختلفة

إن الهدف من دراســـة أخطاء أجهزة القياس هو التمكن من تجنب تلك الأخطاء وتلافيها من جهة، والحصول على نتائج قياس عالية الدقة ومطابقة للمواصفات القياسية من جهة أخرى، وبالتالي الحصول على الجودة العالية التي هي المطلب النهائي لعملية القياس.

2-1- طرائق القياس:

تنقسم طرائق القياس إلى ثلاثة أقسام: طريقة القياس المباشرة، وطريقة القياس غير المباشرة، وطريقة القياس الموحدة.

2-1-1- طريقة القياس المباشرة:

هي مقارنة المقدار المراد قياسه مباشرة بالوحدة المعيارية ذات الطبيعة نفسها. إمّا مباشرة أو بوساطة الأجهزة المدرَّجة بالوحدات المطلوبة، وتقرأ نتائجه مباشرة كقياس الطول والكتلة والزمن والزاوية وشدة التيار الكهربائي وفَرْق الكمون.

إن أي متغير في أعمال القياس يتم قياسه مباشرة دون إجراء أي عملية حسابية يسمى بالقياس المباشر. ويتم بوساطة هذه الطريقة تحديد قيمة الكمية المقيسة بمقارنتها بشكل مباشر بوحدة القياس أو بتدريجات جهاز القياس بحيث يتم قراءة النتيجة مباشرة على جهاز القياس.

من أهم طرائق القياسات المباشرة طريقة التحديد المباشر، والطريقة التفاضلية، وطريقة الانحراف الصفري. ففي طريقة التحديد المباشـــر تحول قيمة الكمية المقيســـة مباشـــرة إلى متغير خرج الجهاز، أي إن الجهاز يسجل قيمة الكمية المقيسة مباشرةً. وتستخدم هذه الطريقة في أجهزة المراقبة الصناعية مثل أجهزة قياس الضغط، وفي هذه الطريقة تكون القيمة المجهولة للكمية X مساوية القيمة الناتجة من التجربة مباشرة.

وفي الطريقة التفاضـلية يحدد الجهاز مباشـرة فرق القياس بين الكمية المقيسـة وكمية نموذجية محددة مســـبقاً، وبعد ذلك يتم جمع الكمية المقيســـة مع الكمية النموذجية جمعاً جبرياً. وتُســـتخدم الطريقة التفاضلية في أجهزة التحليل لخصائص المواد وتركيبها.

أما طريقة الانحراف الصفري فهي موازنة الكمية المقيسة بكمية معلومة، وتحدد قيمة الكمية المقيسة بعد تحقيق التعادل بقيمة الكمية المعادلة لها والمعلومة مســـبقاً، وتُعين لحظة التعادل هذه بوســـاطة جهاز خاص يســـمى المبيَّن الصـــفري، ومن الأمثلة التي تســـتخدم طريقة الانحراف الصـــفري مقاييس الضـــغوط التفاضلية.

2-1-2- طريقة القياس غير المباشرة:

يستعمل هذا النوع من القياس عندما يستحيل إجراء القياس المباشر، حيث يتم قياس مقدار (أو مقادير أخرى) له علاقة بالمقدار المراد قياسه. إن أي متغير في أعمال القياس يتم الحصول على قيمته من خلال

إجراء الحسابات باستخدام علاقات رياضية تربط هذا المتغير بمتغيرات أخرى يسمى بالقياس غير المباشر. في طريقة القياس غير المباشرة يتم تحديد الكمية المقيسة على أساس نتائج القياس المباشر لكمية أخرى ترتبط بالكمية المقيسة بوساطة تابع محدد. أمثلة: قياس كثافة جسم ما على أساس قياسات كتل الجسم وأبعاده الهندسية، قياس معدل تدفق سائل عن طريق قياس فرق الضغط وقياس مقاومة ناقل أومي عن طريق قياس فرق الكمون بين طرفيه وشدة التيار التي تجتازه. ويُلجأ إلى القياسات غير المباشرة حين يستحيل أو يصعب قياس المقدار المدروس قياساً مباشراً، أو حين يعطي القياس المباشر نتيجةً أقل دقة.

2-1-3- طريقة القياس الموحدة:

تُستخدم طريقة القياس الموحدة من أجل تحديد قيمة الكميات التي لا يمكن قياسها بشكل مباشر أو غير مباشر، وإنما عن طريق حلّ مجموعة من المعادلات الناتجة عن مجموعة من القياسات المباشرة لكمية متغيرة، أو الناتجة عن مجموعة من القياسات المباشرة لعدة كميات من النوع نفسه، بحيث تتشكل لدينا المعادلة التالية التي تعطي الكمية المقيسة كتابع لكميات أو متغيرات عددها n وفق المعادلة (1-2):

$$X = f(x_1, x_2, x_3 \ldots X_n) \ldots\ldots\ldots (1\text{-}2)$$

حيث: $x_1, x_2, x_3 \ldots X_n$ قيم الكميات المقيسة بشكل مباشر.

وكمثال على هذه الطريقة تحديد المعامل الحراري للتمدد الطولي.

2-2- أجهزة القياس:

هي تلك المعدّات التي تستخدم للمقارنة المباشرة أو غير المباشرة بين الكمية المقيسة ووحدة القياس. وقد يكون جهاز القياس مكوناً من وحدة بسيطة مثل المسطرة، أو وحدة مركبة مثل مقاييس الضغط...الخ.

أقسام جهاز القياس: يمكن تجزئة جهاز القياس المستخدم في أنظمة المراقبة المركزية إلى ثلاث مجموعات:

المجموعة الأولى: هي عدة القياس الأولية التي تركب في المصنع الذي تجري فيه عمليات القياس، حيث تتحسس هذه العدة للتغيرات الحاصلة في الكمية المراد قياسها. والذي يميز المجموعة الأولى في جهاز القياس شكل التابع الذي يربط بين تغير الكمية المقيسة وتغير إشارة الخرج على مخرج جهاز القياس.

المجموعة الثانية: هي المجموعة الوسطية التي تربط المجموعة الأولى بالمجموعة الثالثة، وهي قنوات اتصال، يمكن أن تكون هذه القنوات أسلاكاً كهربائية للقيام بنقل الإشارات الكهربائية عبرها إلى مخرج جهاز القياس، كما يمكن أن تكون هذه القنوات أنابيب معدنية أو بلاستيكية لنقل القيم الهيدروليكية مثل الهواء المضغوط أو الزيت أو أي سائل آخر.

المجموعة الثالثة: هي الجزء الأخير من أجزاء القياس وتتمثل في مخرج جهاز القياس حيث تقوم باستقبال الإشارات من مدخل الجهاز عبر قنوات الاتصال ثم تعطي النتيجة بشكل رقمي أو بياني.

2-2-1- حساسية أجهزة القياس:

حساسية جهاز القياس: هي نسبة إزاحة مؤشر القياس، إلى تغير الكمية المقيسة المطبقة عند مدخل جهاز القياس. وبالتالي تعرف الحساسية الخطية لجهاز القياس (S_N) وفق المعادلة (2-2) بأنها نسبة تغير الإزاحة الخطية للمؤشر (ΔN) إلى تغير الدخل (ΔX):

$$S_N = \frac{\Delta N}{\Delta X} \Longrightarrow S_N = \frac{dN}{dx} \qquad (2-2)$$

والإزاحة الزاوية $(\Delta\varphi)$ مقسومة على تغير الدخل (ΔX) تسمى الحساسية الزاوية للجهاز (S_φ) وفق المعادلة (2-3):

$$S_\varphi = \frac{\Delta\varphi}{\Delta X} \Longrightarrow S_\varphi = \frac{d\varphi}{dx} \dots\dots\dots (3-2)$$

$$S_N = r.S\varphi$$

وبأخذ العلاقة $N = r.\varphi$ في الحسبان نستنتج أن الحساسية هي مشتق متغير الخرج بالنسبة لمتغير الدخل:

$$S = \frac{dy_o}{dx_o} \dots\dots\dots (4-2)$$

وتعبر S عن ميل مماس المنحني المميز للتوازن وتسمى أيضاً معامل تضخيم العنصر وفق المعادلة (2-4). فإذا كان المنحني المميز للتوازن غير خطي فتكون حساسية جهاز القياس S عبارة عن مقدار متغير، لذلك نستخدم في هذه الحالة مفهوم الحساسية المتوسطة التي تساوي ظل زاوية ميل المستقيم θ المماس للمنحني المميز في النقطة المتغيرة.

$$Tan\theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} \dots\dots\dots (5-2)$$

ونلاحظ من هذه المعادلة أن حساسية الجهاز S (المعبر عنها بـــ$tan\theta$) تزداد مع انخفاض Δx متغير الدخل، أي إنّ الجهاز الذي يتمتع بحساسية مرتفعة يستطع قياس كميات أصغر وفق المعادلة (2-5). إذاً الحساسية S هي المعيار الذي تتم بوساطته عملية المقارنة بين أجهزة القياس ذات النوع الواحد.

أما بالنسبة لتدريجات القياس فتعرف على أنها مقلوب حساسية جهاز القياس.

تقسيمة تدريج القياس الخطية $C_N = \frac{dx}{dN}$

تقسيمة تدريج القياس الزاوية $C_\varphi = \frac{dx}{d\varphi}$

ويمكن من المعادلتين السابقتين التعبير عن حساسية جهاز القياس بقيمة التدريجة الواحدة على سلم تدريجات الجهاز

$$C_N = \frac{N_{gr}}{C_N}$$

$$S_\varphi = \frac{\varphi_{gr}}{C_\varphi}$$

N_{gr} قيمة التدريجة أي المسافة الفاصلة بين تدريجتين متتاليتين بالنسبة للإزاحة الخطية.

φ_{gr} قيمة زاوية القوس المتناظر لتقسيمة واحدة من التدريجات.

ويعبر عن حساسية جهاز القياس الزاوية بجداء حساسيات العناصر المكونة لهذا الجهاز، لأن نظام الدائرة المفتوحة هو الذي يميز هذا الجهاز:

$$S_\varphi = S_1\ S_2\ S_3 \dots S_{n-1}$$

ونلاحظ أن أجهزة القياس ذات التدريجات المنتظمة (C_N, C_φ= const)، (أي قيمة كل تدريجة تساوي التي تليها) تكون جميع عناصرها خطية وتكون الحساسية الكلية لجهاز القياس ثابتة، أما لو كان في الجهاز عنصر واحد غير خطي فإن المسافة بين التدريجات ستكون غير متساوية (تدريجات غير منتظمة).

2-2-2- تصنيف أجهزة القياس الميكانيكية:

تصنف أجهزة القياس الميكانيكية حسب طريقة القياس إلى:

1- أجهزة المقارنة: هي الأجهزة التي يشترك العامل الإنساني فيها مباشرةً في تنفيذ عمليات القياس، وذلك بإجراء مقارنة للكمية المقيسة بمعيار أو مقياس أو نموذج. ومن الأمثلة الشائعة لأجهزة المقارنة الميزان ذو السنجاب، حيث لا يمكن استخدام هذا الميزان دون وجود معايير أو مقاييس موضوعة ومحددة.

2- أجهزة البيان: تظهر في أجهزة البيان قيمة الكمية المقيسة على مبين القياس مباشرة في لحظة القياس. وتكون تدريجات أداة القراءة في هذه الأجهزة ثابتة أو متحركة، أي إما أن يتحرك المؤشر على لوحة مدرجة ثابتة، أو تتحرك اللوحة المدرجة بالنسبة لمؤشر ثابت. وتكون بداية التدريج هي العلامة المناظرة لأصغر قيمة للكمية التي تحدد على هذا التدريج وتمثل الحد الأدنى لقراءات الجهاز. أما نهاية التدريج فتمثل أكبر قيمة للكمية التي يجري قياسها، أو الحد الأقصى لقراءات الجهاز، وصفر التدريج هو العلامة المناظرة للقيمة الصفرية للكمية المقيسة، وصفر التدريج هذا يمكن أن يطابق بداية التدريج وبذلك تكون التدريجات أحادية الاتجاه، وإذا كان صفر التدريج لا يطابق بداية التدريج فتكون التدريجات ثنائية الاتجاه. يتحدد وضع مؤشر القياس من خلال الإزاحة الخطية أو الإزاحة الزاوية وذلك عن صفر التدريج أو عن بداية التدريج (ليس بالضرورة أن يتطابق صفر التدريج مع بداية التدريج).

3- أجهزة القياس ذاتية التسجيل: هي نوع من أنواع أجهزة القياس المزودة بمعدات خاصة بالتسجيل الآلي للقيمة الفعلية للكمية المقيسة ورصد تغير هذه القيمة مع مرور الزمن، ويمكن أن يكون التسجيل على شكل خط بياني يُرسم بوساطة قلم متحرك على شريط ورقي يتحرك بسرعة منتظمة.

4- أجهزة القياس الموحدة: هي الأجهزة التي يتم فيها بيان قيمة الكمية المقيسة وتسجيلها في الوقت نفسه. كما يمكن أن تزود هذه الأجهزة بمعدات إضافية للتحذير أو التنبيه إذا تجاوزت القيمة حداً ما، ويمكن أن تزود بمعدات لضبط الكمية المقاسة.

5- أجهزة الجمع: هي أجهزة تبين القيمة الكلية المقيسة خلال فترة زمنية معينة. وتزود هذه الأجهزة بعدادات تقوم بهذه المهمة.

تصنف أجهزة القياس حسب طريقة الاستخدام إلى:

1- أجهزة التشغيل: تخصص هذه الأجهزة للقياسات العادية وتقسم إلى أجهزة تكنيكية وأجهزة مخبرية.

2- أجهزة المراقبة: تستخدم من أجل القياسات الدقيقة ولمراجعة الأجهزة التقنية.

3- أجهزة نموذجية: تستخدم لنقل وحدات القياس من الأجهزة الإمامية (المستخدمة في حفظ وحدات القياس) إلى باقي الأجهزة. وتتم عملية النقل بوساطة عمليتين:

- المراجعة: وهي مقارنة قراءات أجهزة القياس بالأجهزة النموذجية لإجراء التصميمات اللازمة للقراءة.
- التدريج: وهي إعطاء تقسيمات التدريج المناسبة قيماً يعبر عنها بوحدات قياس محددة.

4- أجهزة إمامية: وتنقسم إلى ثلاث مجموعات:

- أجهزة إمامية أولية: تستخدم كمعايير حكومية وتتميز بالدقة الفائقة.
- أجهزة إمامية ثانوية: تُراجع بوساطة الأجهزة الإمامية الأولية وتحل محلها أثناء التشغيل.
- أجهزة إمامية ثالثة: تستخدم لمراجعة الأجهزة النموذجية وتُراجع بالأجهزة الإمامية الأولية والثانوية.

2-3- المصادر الأساسيّة لخطأ القياس:

إن أي عملية قياس مهما بلغت من الدقة لا يمكن أن تكون خالية تماماً من الخطأ، والأخطاء على اختلاف أنواعها لها مصادر متعددة منها:

1- حالة القائس: حيث يمكن للقائس نفسه أن يحصل على قراءات مختلفة لأسباب ليس من السهل تحديدها في كثير من الأحيان. وهنا يؤدي العامل النفسي للإنسان دوراً مهماً في تحديد دقة القياسات.

2- اختلاف القائسين: إذا استخدم أكثر من قائس جهاز القياس نفسه من أجل قياس كمية ما، فهناك احتمال كبير أن تختلف نتائج قياسات بعضهم عن بعض.

3- نوع المادة المراد اختبارها: تؤثر نوعية المادة المقيسة في نتائج القياس، فمثلاً إذا كانت هذه المادة غير متجانسة، فإن قياس قساوتها يمكن أن يعطي نتائج تختلف بعضها عن بعض.

4- أجهزة القياس: مصادر أخطاء أجهزة القياس كثيرة مثل تأثير تغير درجة الحرارة في نتائج القياس، وتأثير حساسية جهاز القياس.

5– المختبرات وطرائق الاختبار: إن اختلاف الشروط البيئية للمخبر عن الشروط القياسية يشكل مصدراً مهماً للأخطاء،كما أن طريقة إجراء اختبار القياس على المادة والمتبعة في عملية القياس يمكن أن تعطي نتائج قياس تختلف عن طريقة أخرى.

2-3-1- أنواع أخطاء القياس:

تنقسم أخطاء القياس إلى نوعين أساسيين هما الأخطاء النظامية والأخطاء العشوائية (الطارئة)، والمقصود بالأخطاء النظامية هي تلك الأخطاء التي تكون قيمتها ثابتة ومصدرها معلوماً. وعندما نعيد التجربة عدداً من المرات، فإنه يمكن إدخال هذه الأخطاء في الحساب والتخلص منها بعد ذلك. ومن الأمثلة على ذلك: مسطرة قياس مدرجة بشكل غير منتظم، أو إبرة مقياس الأمبير التي لا تقف على الصفر عند قطع التيار. على عكس الأخطاء العشوائية التي لا تكون معلومة المصدر وذات قيمة متغيرة. إن حدوث الأخطاء النظامية يكون أكثر من وقوع الأخطاء العشوائية، لذا يجب إجراء عملية المعايرة لأجهزة القياس بصورة دورية للتعرف على الأخطاء النظامية التي تحدث نتيجةً لتكرار استخدام هذه الأجهزة.

2-3-1-1- الأخطاء النظامية:

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

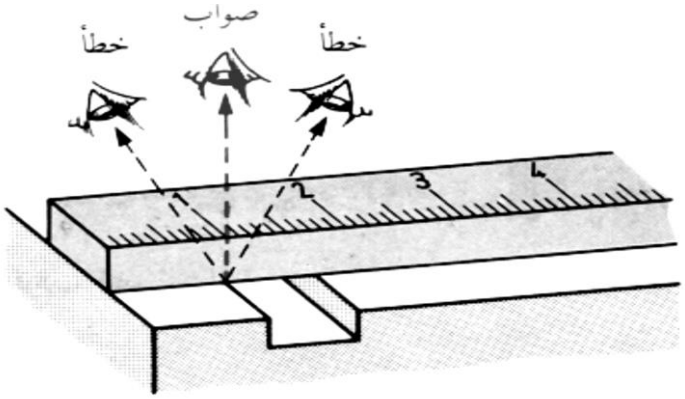
1– أخطاء أدوات القياس:تحدث هذه الأخطاء بسبب عطل في الجهاز أو عيب فيه، أو في بعض أجزائه، أو تغير بعض خواص مكوناته مع تقدم عمر الجهاز أو الاستعمال الكثير. كوجود خلوص زائد بين الفك المتحرك في القدمة وقضيب القياس، أو عدم الحصول على قراءة صفرية عند انطباق فكي الميكرومتر، ويسمى هذا النوع بالخطأ الصفري وهذه النوعية من الأخطاء يمكن تصحيحها بمعايرة أداة القياس ومقارنتها بأجهزة قياسية.

2– الأخطاء الطفيلية (الأخطاء البشرية): هذه الأخطاء تكون في أغلب الأحيان جسيمة وتنجم عن تنفيذ القياس بصورة غير نظامية، والسبب الرئيس في حدوث هذه الأخطاء هو القائس نفسه.

أهم هذه الأخطاء:

- **خطأ تطبيق الطريقة**: هو الخطأ الناتج عن استعمال طريقة قياس غير صحيحة مع الأخذ في الحسبان طبيعة أدوات القياس وتركيبها. أو 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 من دون مسمار جاس يضمن ضغطاً ثابتاً للقياس.

- **أخطاء المشـــاهدة (خطأ القراءة)**: تنتج هذه الأخطاء بســـبب عدم كفاءة القارىء أو التقدير غير الصحيح أو عدم وضوح القراءة أثناء أخذ القراءات. كما تنتج بسبب القراءة المائلة لقيمة الكمية المقيسة على بيان جهاز القياس كما في الشـــكل(2-2). أو ينتج هذا الخطأ عندما يتم تقدير القيمة التي يعطيها مؤشـــر القياس في حال وقوعه بين علامتين متتاليتين على مدرج القياس. ويزداد هذا الخطأ وضـــوحاً إذا كانت التدريجات غير منتظمة (يدعى خطأ الاســـتكمال الداخلي). أو يحدث هذا الخطأ عندما توضـــع أداة القياس في وضع خاطئ بالنسبة للمشغولة وهذا الانحراف في الوضع النسبي يسبب انحرافاً في عملية القياس من حيث نتيجة القياس (خطأ الاستقامة).



الشكل (2-2) خطأ النظر بزاوية مائلة على موضع القياس

3- الأخطاء البيئية: هي الأخطاء التي تحدث نتيجة لإجراء القياس في ظروف مغايرة للظروف القياســية كتغير درجة الحرارة ونســبة الرطوبة في الوســط المحيط بجهاز القياس والضــغط الجوي، ولكن درجة الحرارة هي من أهم المؤثرات البيئية حيث إن كلاً من المشـــغولة وأداة القياس تتأثر بأي تغير في درجة الحرارة. ولذلك يجب الانتباه إلى إجراء التصــحيحات المناســبة. كما يمكن أن تحدث هذه الأخطاء بســبب تأثير المجالات الكهرومغناطيسية.

من المعروف أن أبعاد الأجســـام المعدنية تتأثر بتغير درجة الحرارة، وتصـــنع في الوقت الراهن أغلب أجهزة القياس من مواد معدنية تتم معايرتها عند $20C°$ وبالتالي ســـوف تتأثر نتيجة القياس بالشـــروط الحرارية التي تتم عندها عملية القياس.

يعطى التمدد الخطي وفق المعادلة (2-6):

$$\Delta \ell = \ell . \alpha . \Delta t \dots \dots \dots . (6-2)$$

$\Delta \iota$: التغير الحاصل في طول المشغولة نتيجة تغير درجة الحرارة.

ι: طول المشغولة الأصلي في الدرجة $20C°$. (mm)

α: معامل التمدد الحراري لمعدن المشغولة. $(1/ C°)$

Δt: مقدار تغير درجة الحرارة (الفرق بين درجة الحرارة النهائية ودرجة الحرارة الابتدائية).

مثـال:

تم قياس طول مشغولة باستخدام مسطرة فولاذية وفق الشروط التالية: درجة حرارة المشغولة تختلف عن درجة حرارة أداة القياس وكلتا درجتي الحرارة تختلف عن درجة الحرارة القياسية 20C°، المطلوب حساب طول المشغولة.

الحـل:

يعطى الانحراف عن درجة الحرارة القياسية بالنسبة للمشغولة بالعلاقة:

$$\Delta t_1 = t_1 - 20$$

حيث:

t_1: درجة حرارة المشغولة في لحظة إجراء عملية القياس.

أما الانحراف الناتج عن درجة الحرارة القياسية بالنسبة لأداة القياس فهو:

$$\Delta t_2 = t_2 - 20$$

t_2: درجة أداة القياس لحظة إجراء عملية القياس.

وبالتالي يكون الخطأ الناتج عن الاختلاف في درجة الحرارة مساوياً:

$$E = \ell(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2)$$

مع افتراض أن مقدار التمدد الخطي للمشغولة هو:

$$\Delta l_1 = \ell \alpha_1 \Delta t_1$$

ومقدار التمدد الخطي لأداة القياس هو:

$$\Delta \ell_2 = \ell \alpha_2 \Delta t_2$$

E: الخطأ الناتج عن عملية القياس (mm).

$\boldsymbol{l}$: الطول الأصلي للمشغولة عند درجة الحرارة القياسية.

α_1: معامل التمدد الخطي لمعدن المشغولة.

α_2: معامل التمدد الخطي لمعدن جهاز (أداة) القياس.

ويمكن الاعتماد على العلاقة التالية لمعرفة وتحديد الطول الأصـــلي $\boldsymbol{l}$ بدءاً من الطول الظاهري $\boldsymbol{\ell'}$ وذلك عند تغير درجة الحرارة:

$$\ell = \ell' \frac{1 + \alpha_2 \Delta t}{1 + \alpha_1 \Delta t}$$

مع العلم أن هذه العلاقة تستخدم من أجل درجة حرارة واحدة (t) لأداة القياس وللمشغولة بانحراف مقداره Δt عن الدرجة القياسية.

$$\Delta t = t - 20$$

t : درجة حرارة المشغولة = درجة حرارة أداة القياس لحظة القياس.

مثال: يعبر عن معامل التمدد الحراري الخطي بنسبة التمدد الحاصلة لكل وحدة طول أثناء تغير درجة الحرارة بمقدار درجة سيلسيوس واحدة.

معامل التمدد الحراري للحديد الصلب هو $11.5.10^{-6}[1/C°]$

أي إن معدن الحديد الصلب يتمدد بمقدار $11.5.10^{-6}m$ من أجل تغير في درجة الحرارة مقداره درجة سيلسيوس واحدة ولكل 1mm.

فمن أجل مسطرة قياس من الحديد الصلب بطول مقداره 200mm يكون مقدار التمدد الطولي ومن أجل تغير في درجة الحرارة مقداره 20C°:

$$\Delta \ell = \ell \alpha \Delta t$$

$$\Delta \ell = 200 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 20$$

$$= 46 \cdot 10^{-3} mm = 46\ \mu m$$

وهكذا نلاحظ أن بُعد أداة القياس قد ازداد بمقدار $46\mu m$ من أجل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 20C°، وهذا الازدياد في البعد ربما يستهلك كامل مجال التفاوت المسموح به. وبالتالي يجب إجراء التصحيح المناسب بعد عملية القياس.

معامل التمدد الحراري للنحاس هو $17.10^{-6}[1/C°]$

وبالتالي فإن مشغولة نحاسية طولها الأصلي 200mm سوف تتمدد عندما ترتفع درجة حرارتها أيضاً 20C° بمقدار:

$$\Delta \iota = 200 \times 17 \times 10^{-6} \times 20$$

$$= 68 \times 10^{-6} mm = 68 \mu m$$

4– الأخطاء الناتجة عن التشوهات المرنة: عند القيام بعملية قياس ما، يجب الإنتباه إلى أكبر عدد من المتغيرات التي تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر في نتيجة القياس. وتعد التشوهات المرنة (التشوهات التي تزول بزوال السبب الذي أدى إلى حدوثها) أحد أهم المتغيرات التي تؤدي إلى تغيير في أبعاد وشكل المشغولة التي يجري قياسها أي انحراف نتائج القياس عن الحدود المسموحة لدقة القياس.

يمكن تلخيص أهم أسباب التشوهات المرنة كما يلي:

1– قوى الضغط أو الشد التي يجري تطبيقها على عناصر القياس بشكل زائد على الحد اللازم لإنجاز عملية القياس، أي إن أبعاد المشغولة سوف تنقص إذا تعرضت لقوى ضغط، وسوف تزداد فيما لو تعرضت لقوى شدّ، وبالنتيجة فإن قوى الشد أو الضغط سوف تؤدي إلى نشوء إجهادات مرنة غير ثابتة القيمة أو الاتجاه (أي إن نتيجة القياس سوف تنحرف بشكل يمكن أن يطيح بقيم التفاوتات المحددة للمشغولة، وبالتالي فشل عملية القياس).

2- الإجهادات الحرارية الناتجة عن التغيرات الموضعية في درجات الحرارة: لا توجد مشغولة متجانسة 100% لذلك فإن أي تغيرات طفيفة في درجة الحرارة سوف يؤدي لتغيير الأبعاد. وفي أنظمة القياس الحديثة يتم التقيد بحدود مسموحة للأخطاء المرتكبة، وما دامت نتيجة القياس تتميز بخطأ يقع ضمن هذه الحدود فإن عملية القياس ستكون بالتأكيد ناجحة.

3– عدم توضع المشغولة (أثناء عملية القياس) بشكل صحيح على نقاط الاستناد يؤدي إلى حدوث تشوهات مرنة على طول المشغولة خاصة إذا لم تكن المشغولة تتمتع بالصلابة الكافية. وعلى سبيل المثال عند إجراء القياسات النهائية للمنتجات اللدنة (ذات المرونة العالية مثل البلاستيك) يجب التأكد من صحة وضعية المشغولة بالنسبة لنقاط الاستناد، لأن وضع هذه المشغولة على نقاط استناد غير ملائمة يؤدي إلى انحراف في شكل المشغولة وعدم توازي طرفيها، مما يعني انحرافاً في الأبعاد أي الحصول على نتيجة قياس خاطئة. كما يمكن أن تحدث التشوهات المرنة عند الاختبار غير الدقيق لنقاط الاستناد، لذلك يجب تحقيق الاختبار المناسب لنقاط الاستناد بالنسبة للمشغولة ولأداة القياس أيضاً، فكلتاهما تتمتع بوزن ذاتي وبمرونة محددة.

4- أخطاء إضافية: من المستحيل الحصول على نتيجة قياس صحيحة 100% وإنما يمكن الاقتراب من هذه النتيجة بعد تحديد أكبر عدد ممكن من أنواع الأخطاء المرتكبة وقياسها، وإجراء التصحيح المناسب. ويمكن القول: "إن أي عملية قياس سوف تعطي نتيجة مترافقة دوماً بخطأ معين".

حساب بعض الأخطاء النظامية كخطأ درجة الحرارة:

يُعتبر خطأ درجة الحرارة من الأخطاء النظامية. يؤدي تغير درجة الحرارة إلى تمدد أو انكماش قطع الشغل المقاسة. لذلك تم تحديد درجة الحرارة القياسية (20C°)، ويُعدّ الطول المقاس عند هذه الدرجة هو الطول الحقيقي (N)، فإذا تم القياس عند درجة حرارة أخرى (t) فإن الطول المقاس في هذه الحالة (L) سيختلف عن (N)، ويكون الخطأ (E) في هذه الحالة:

$$E = L - N$$

يُعد خطأ درجة الحرارة من الأخطاء التي يمكن تصحيحها في عمليات القياس، وعلى ذلك فبتحديد قيمة هذا الخطأ يمكن تحديد القيمة الحقيقية للبعد وفق المعادلة (2-7).

$$N = L - E \dots\dots\dots (7-2)$$

يمكن تحديد الخطأ الناتج من اختلاف درجة الحرارة كما يلي وفق المعادلة (8-2):

$$E = L - N$$

$$= L \cdot \alpha(t - 20)$$

$$L = N[1 + \alpha(t - 20)] \dots\dots\dots (8 - 2)$$

حيث:

α: معامل التمدد الحراري الطولي لمعدن قطعة الشغل.

N: الطول الحقيقي للقطعة عند درجة الحرارة $20°$.

L: الطول الحقيقي للقطعة عند درجة حرارة معينة (t).

تطبيقات:

مثـــــــال 1: مشغولة مصنوعة من النحاس الأحمر درجة حرارتها تساوي 30C°، تم قياسها في مختبر القياسات ولم تترك الوقت الكافي لتتساوى درجة حرارتها مع درجة حرارة المختبر20C°. فإذا كان الطول الحقيقي للقطعة يساوي 400mm، احسب طول القطعة المقاس عند 30C°، وخطأ القياس الناتج في هذه الحالة، علماً بأن معامل التمدد الحراري الطولي للنحاس يساوي $16.5 \cdot 10^{-6}[1/\text{C}°]$.

الحـل:

$$L = N[1 + \alpha(t - 20)]$$

$$L = 400[1 + 16.5 \cdot 10^{-6}(30 - 20)] = 400.066mm$$

$$E = L - N$$

$$E = 400.066 - 400 = 0.066mm$$

مثـــــال 2: مشغولة مصنوعة من الفولاذ تم قياسها في مختبر القياس ولم تكن درجة حرارة الشغلة مساوية لدرجة حرارة جهاز القياس، فإذا كان الطول المقاس للمشغولة في الدرجة 25° يساوي 500.0288mm، ومعامل التمدد الطولي للفولاذ $11.5 \cdot 10^{-6}[1/\text{C}°]$.

احسب مايلي:

1- طول المشغولة الحقيقي إذا كانت درجة حرارة المختبر 20°.

2- الخطأ الناتج من عملية القياس.

الحل:

1) طول المشغولة الحقيقي عند درجة حرارة 20° يحسب من العلاقة التالية:

$$L = N[1 + \alpha(t - 20)]$$

$$N = \frac{L}{[1 + \alpha(t - 20)]}$$

$$N = \frac{500.0288}{[1 + 11.5\,.\,10^{-6}(25 - 20)]} = 500.00mm$$

2) الخطأ الناتج من عملية القياس:

$$E = L - N = 500.0288 - 500.00 = 0.0288mm$$

2-3-1- 2 الأخطاء العشوائية (الأخطاء العرضية أو أخطاء الصدفة):

هي أخطاء صغيرة القيمة عادة. وتبين التجربة أنّها تحدث دائماً عند إجراء القياسات الدقيقة. فإذا كُرِّر قياسٌ دقيقٌ ما عدة مرات، فإن النتائج تختلف دائماً بعضها عن بعض ضمن حدود دقة القياسات. وهذا هو السبب في أنه مهما عظُمتْ الدّقة والعناية المبذولة لتنفيذ القياس فإنّه لا يمكن الحصول على القيمة المضبوطة للمقدار المقيس. وهذه الأخطاء من الممكن تقليلها إلى أدنى الحدود ولكن يستحيل التخلص منها كلياً. إذاً لا يمكن سلفاً معرفة سبب الخطأ أو قيمته أو إشارته، فهو يحدث عشوائياً، ويخضع لقوانين الاحتمال عند تكرار القياس عدداً من المرات.

تُعرّف الأخطاء العشوائية على أنها الأخطاء التي لا تخضع لأية علاقات قانونية معروفة، وتظهر نتيجة تأثير عوامل عفوية في عملية القياس مثل إهتزاز الجهاز أو تأثير المجالات المغناطيسية الخارجية أو التغيرات الفيزيولوجية في حواس القائس.

إن الأسباب الرئيسة لحدوث الأخطاء العشوائية تنتج عن متغيرات لا يمكن حصرها، وكلما تطورت تقنيات القياس برزت أسباب ومصادر جديدة لمثل هذه المتغيرات، ولكن الخطوط العريضة لها تتمثل بالنقاط التالية:

1– التغيرات الناتجة عن مصادر الاهتزازات المختلفة.

2– التغيرات أو الإزاحات الصغيرة في وضعية جهاز القياس.

3– التغيرات في الشروط البيئية مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية والضغط.

4– تغيرات ناتجة عن مكان وجود جهاز القياس والمشغولة.

5– تغيرات إضافية ذات مصادر مختلفة مثل الاحتكاك بين أجزاء جهاز القياس والجهاز والمشغولة، وتغيرات تنتج عن القائس نفسه إلى ما هناك من متغيرات.

2-3-2- تأثير درجات الحرارة على القياس:

درجة الحرارة القياسية هي°20C (68 فهرنهايت) ومن المستحسن أن تجرى جميع القياسات عند هذه الدرجة. غير أنه ليس من الملزم أن يتم ذلك ما دام سيؤخذ في الحسبان الفروق الناتجة عن التغير في درجات الحرارة.

وحيث أن أغلب أجهزة القياس مصنوعة من مادة الحديد فإنه إذا كان الجزء المراد قياسه مصنوعاً من المعدن نفسه، وسمح له بأن يكتسب درجة حرارة الجهاز نفسها، وذلك بتركه في مكان الجهاز نفسه

نصف ساعة على الأقل، فعندئذ تكون القراءة المبينة على الجهاز صحيحه وهذا هو البعد الحقيقي للجزء عند 20C°.

أما إذا كان هناك فرق بين درجتي حرارة الجهاز والجزء المراد قياســـه أو كان هناك اختلاف في معدنيهما فإنه يمكن حسـاب قيمة التصـحيح. بفرض أن معامل التمدد الطولي للجزء المراد قياسـه هو $(\boldsymbol{\alpha_1})$، وأن معـامل التمـدد الطولى للجهـاز هو $(\boldsymbol{\alpha_2})$، وأن درجـة الحرارة هي (t)، وأن القراءة المبينـة على الجهـاز هي(A) مم فيصبح مقدار التصحيح (B) هو وفق المعادلة (9-2):

$$B = A(\alpha_1 - \alpha_2)(t_o - t) \dots \dots \dots . (9 - 2)$$

حيث:

α_1- معامل التمدد الطولي للجزء المراد قياسه.

α_2- معامل التمدد الطولي للمادة المصنوع منها جهاز القياس.

t_o- درجة الحرارة القياسية.

t- درجة الحرارة الجديدة التي أجري عندها القياس.

يحسب البعد الحقيقي للجزء المقاس L عند t_o من العلاقة:

$$L = A + B$$

مثـــال 3: جرى قياس قضيب من النحاس الأحمر بوساطة جهاز قياس مصنوع من سبيكة حديدية في درجة حرارة مقدارها 30C° أي بفارق 10C° عن درجة الحرارة المعيارية 20C°. إذا علمت أن معاملي التمـدد الطولي للنحـاس الأحمر والحـديـد همـا على الترتيـب: α_1 =16.5X10^{-6} $(C°)^{-1}$، α_2 =11.5X10^{-6} $(C°)^{-1}$

المطلوب: حساب البعد الحقيقي للقضيب (طول القضيب) عند t_o.

الحـل:

$$B = A(\alpha_1 - \alpha_2)(t_o - t)$$

$$B = 150(16.5 \times 10^{-6} - 11.5 \times 10^{-6})(20 - 30)$$

$$B = -0.0075mm$$

طول القضيب:

$$L = A + B = 150 + (-0.0075) = 149.9925mm$$

2-3-3- العلاقة بين الوحدات المختلفة لقياس درجة الحرارة:

توجد أكثر من وحدة متعارف عليها لقياس درجة الحرارة، ومن أشهرها درجة الحرارة المئوية (Celsuis, C°). وقد تم تعريف درجة الصفر فيها (0C°) على أنها نقطة تجمد الماء النقي عند الضغط الجوي المعتاد.

أما درجة المائة (100Cº) فهي عند نقطة غليان الماء. وتستخدم الدرجة المئوية في تطبيقات كثيرة في المجال الصناعي نظراً لبساطتها. وهناك وحدة أخرى هامة هي الكلفن (Kelvin, K) وهي الوحدة المعتمدة في النظام الدولي للوحدات ويتم استخدامها في الحسابات العلمية. بالإضافة إلى هاتين الوحدتين، توجد وحدتان أخريان مناظرتان لهما تستخدمان في النظام الإنكليزي للوحدات وهما الفهرنهيت (Fahrenheit, Fº) والرانكين (Rankine, Rº). ويبين الشكل (3-2)العلاقة بين الوحدات المختلفة لقياس درجة الحرارة. توجد علاقات تحويل رياضية بين الوحدات المختلفة لقياس درجة الحرارة، وهي:

- العلاقة بين التدريج المئوي (السيليزي) والتدريج الفهرنهيتي وفق المعادلة (10-2) أو وفق المعادلة (2-11):

$$C° = \frac{5}{9}(F° - 32) \dots \dots \dots (10-2)$$

أو $$F° = \frac{9}{5}(C°) + 32 \dots \dots \dots . (11-2)$$

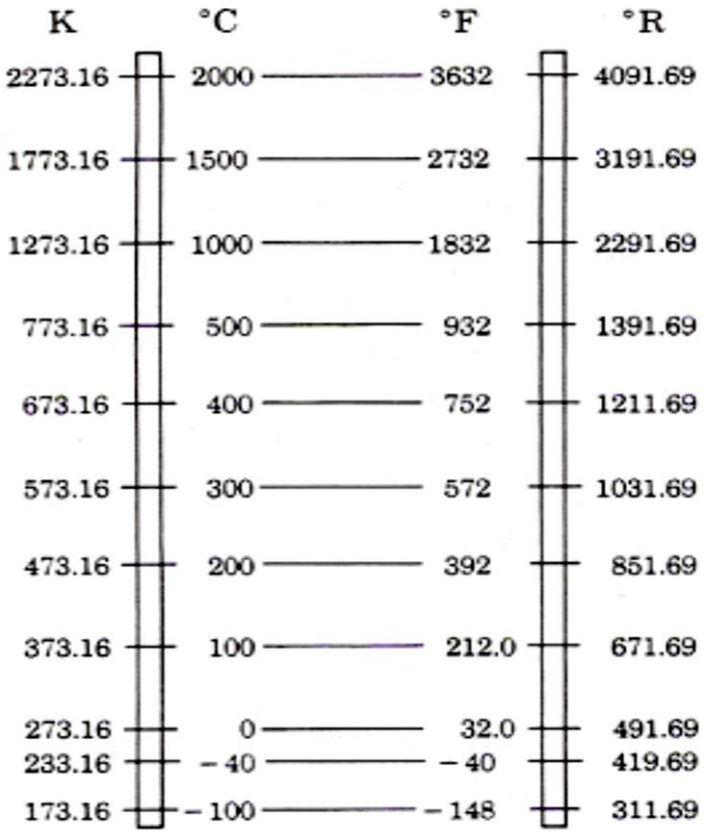
- العلاقة بين درجة الحرارة السيلزية ودرجة الحرارة المطلقة (كلفن).

$$K = C° + 273.15$$

- العلاقة بين درجة الحرارة الفهرنهيتية ودرجة الحرارة رانكين.

$$R = F° + 460$$

ولتحويل درجة الحرارة المطلقة (كلفن) إلى درجة فهرنهيتية، يتم ذلك بتحويل الدرجة المطلقةكلفن (K) إلى درجة سيلزية ($C°$) ثم تحويل الدرجة ($C°$) إلى فهرنهيتية ($F°$).



الشكل (2-3) العلاقة بين الوحدات المختلفة لقياس درجة الحرارة.

2-5- الارتياب المطلق والارتياب النسبي:

2-5-1- أخطاء أجهزة القياس:

العوامل التي تؤخذ في الحسبان أثناء تصميم جهاز القياس والتي قد تحد من ضبطه:

الأخطاء التصميمية:

تعد الأخطاء التالية من أهم الأخطاء التصميمية:

1– مقروئية جهاز القياس: تعتمد المقدرة على قراءة جهاز القياس على المؤشر والمدرج، وتتناسب القدرة على قراءة المدرج تناسباً طردياً مع طول هذا المدرج، وتتأثر عملية قراءة التدريجات بالمسافة بين كل تدريجة والتي تليها، وبسماكة كل من التدريجة والمؤشر. كلما قلت المسافة الفاصلة بين التدريجات زادت القدرة على قراءة المدرج وزادت الدقة إلى الحد الذي تسمح به عين القارئ. لكن توجد حدود معينة للمسافة الفاصلة فمثلاً يصبح استخدام مسطرة القياس ذات المسافة الفاصلة 0.2mm غير مفيد إلا باستخدام عدسة مكبرة.

2– حساسية جهاز القياس: يعبر عن حساسية جهاز القياس S لقيمة محددة للكمية المقيسة بنسبة الزيادة في القيمة المشاهدة المتغيرة dN أو $d\varphi$ والمبينة على المدرج إلى الزيادة في قيمة الكمية المقيسة dx التي تسبب في تحريك المؤشر.

$$S = \frac{dN}{dx}$$

3– خلو جهاز القياس من الخطأ التخلفي: يعرّف الخطأ التخلفي على أنه الفرق بين قراءتين لجهاز القياس للكمية المقيسة نفسها بحيث نصل إلى القراءة الأولى عن طريق التزايد وإلى القراءة الثانية عن طريق التناقص. في الحالة الأدنى نبدأ بقيم أصغر من قيمة الكمية المقيسة أما في الحالة الثانية فنبدأ بقيم أعلى من الكمية المقيسة، وذلك حتى نصل إلى قيمة الكمية المقيسة نفسها. التخلفية خاصية غير مرغوب بها، وقد تنشأ عن تأثيرات المغناطيسية أو المرونة أو الحرارة أو ميكانيكية. يجب معايرة الجهاز كل فترة لتخفيض قيمة الخطأ التخلفي.

4– استقرار جهاز القياس: هي الصفة المميزة لقدرة جهاز القياس على المحافظة على ثبات خواصه المترولوجية أثناء استخدامه، كما يحصل عند حدوث أي تغيرات طفيفة بدرجة الحرارة المحيطة. إن ميزة الاستقرار والمحافظة على خواص جهاز القياس من الميزات التي تحدد جودة جهاز القياس. فالجهاز الأفضل هو الذي يعطي نتائج دقيقة على الرغم من تغير الشروط البيئية القياسية، أو عند التعرض للإهتزازات. إن خطأ التركيب لجهاز القياس يؤدي إلى انحراف وضعية الجهاز عن وضع التشغيل القياسي،

وبالتالي إلى عدم استقرار قراءات الجهاز مما يؤدي إلى أخطاء واضحة في نتائج القياس. لذلك يجب إعادة معايرة الجهاز والتأكد من الوضع السليم لتركيبه بحيث يطابق الشروط القياسية.

5- ديناميكية جهاز القياس: الديناميكية: هي الصفة التي تميز جهاز القياس على أن يتجاوب لتغيرات صغيرة في الكمية المقيسة. وخطأ الديناميكية هو التغير في الكمية المقيسة الذي لا يسبب أي تغير ملحوظ في قيمة القراءة أو على بيان جهاز القياس.

6- انسياق جهاز القياس: هو التغير الحاصل في الخواص المترولوجية لجهاز القياس تحت شروط الاستخدام الطبيعية خلال فترة طويلة من الزمن كما يحدث عادة بسبب التآكل والاحتكاك والخلوصات الحاصلة بين الأجزاء المتزاوجة في جهاز القياس.

يمكن تعريف التغاير بأنه أكبر فرق ينتج عملياً بين قراءات جهاز القياس المناظرة لقيمة فعلية واحدة للكمية المقيسة عند ظروف القياس نفسها. ويحدد تغاير أجهزة القياس كأكبر فرق للقراءات ينتج عند مراجعة جهاز القياس.

يعطى التغاير وفق المعادلة (2-20):

$$\varepsilon = \frac{\Delta N}{N_{max} - N_{min}} \times 100\% \dots\dots\dots (20-2)$$

ε- التغاير.

ΔN- أكبر فرق لقراءات الجهاز.

N_{max}- الحد الأقصى لتدريج الجهاز.

N_{min}- الحد الأدنى لتدريج الجهاز.

تحدد أخطاء أجهزة القياس عادة بشكل منتظم خلال فترات زمنية، حيث تجري مراجعة جهاز القياس أولاً مع زيادة الكمية المقيسة، ثم مع خفض الكمية المقيسة أو نقصانها.

2-5-2-الخطأ المطلق والخطأ النسبي:

تتصف المقادير التقريبية دائماً، بشيءٍ من عدم التعيين (الارتياب). والاسم التقني لهذا الارتياب هو الخطأ. ولا تحمل كلمة خطأ هنا معنى«إساءة تَصرُّفٍ» أو غلطٍ يمكن الرجوع عنه، لأنَّ هذا الخطأ شيءٌ ملازم دائماً للقيم التقريبية. ويجب فهمه على أنّه انحراف عن القيمة الحقيقية.

الخطأ المطلق: هو الفرق بين القيمة الفعلية للكمية المقيسة وقراءة جهاز القياس. وتتحدد القيمة الفعلية لكمية ما بوساطة جهاز قياس نموذجي، وتكون علاقة الخطأ المطلق:

$$\alpha = x - \mu$$

x - القيمة التي يعطيها جهاز القياس.

μ- القيمة الفعلية للكمية المقيسة(القيمة الحقيقية وتكون مجهولة)، ويمكن افتراض

$$\mu = \bar{x}$$

والخطأ النسبي: هو نسبة الخطأ المطلق إلى القيمة الفعلية للكمية المقيسة.

$$b = \frac{a}{\mu}.100\%$$
$$= \frac{a}{\mathrm{x} - \mathrm{a}}$$

نقسم على x

$$b = \frac{\frac{a}{x}}{1 - \frac{a}{x}} = \frac{a}{(1 - \frac{a}{x})}$$

وبما أن x >> a فيمكن إهمال الحد a ≈ o كونه صغيراً جداً ويصبح الخطأ النسبي مساوياً القيمة:

$$b = \frac{a}{x}.100\%$$

عند حساب الخطأ النسبي يمكن تقسيم الخطأ المطلق على قراءة الجهاز. ويجب إجراء تصحيح لقراءة الجهاز لتحديد القيمة الفعلية للكمية وهو إضافة كمية تساوي الخطأ ولكن بإشارة معاكسة $a-$.

2-5-3- مرتبة الدقة لجهاز القياس:

لا يمكن إجراء القياسات الميكانيكية إلا بحدود قيمة مسموح بها تسمى الخطأ الأساسي المسموح به، وتحدد المواصفات القياسية قيم الأخطاء الأساسية المسموح بها لأجهزة القياس وذلك تحت الشروط القياسية من درجة حرارة 20C° وضغط جوي نظامي 760mmHg ورطوبة نسبية 50%~. تعرف مرتبة الدقة لجهاز قياس ما بأكبر خطأ أساسي مطلق مسموح به a منسوباً إلى مدى تدريج جهاز القياس N. ويعبر عن مرتبة الدقة بنسبة مئوية حسب العلاقة:

$$A = \frac{a}{N}.100\%$$

وترتب مرتبات الدقة على شكل سلسلة على الشكل التالي:

$$0.25 \quad , \quad 0.5 \quad , \quad 1 \quad , \quad 1.25 \quad , \quad 1.5$$

فمثلاً إذا كان أقصى خطأ أساسي يسمح به في جهاز قياس ذي مرتبة دقة A = 0.5 أثناء عملية القياس يساوي $0.5\% \pm$ من مدى تدريج الجهاز، فإذا كان مدى تدريج هذا الجهاز 100 تدريجة فهذا يعني أن المؤشر يمكن أن ينحرف أثناء عملية القياس بمقدار نصف تدريجة عن القيمة الحقيقية للكمية المقيسة.

ولا بد من الأخذ في الحسبان ظروف تشغيل جهاز القياس ومدى اختلاف هذه الظروف عن الشروط القياسية التي تمت معايرة جهازة القياس على أساسها، بحيث يتم إجراء التصحيح المناسب بعد

كل عملية قياس. ولكن إذا كان خطأ القياس الناتج أكبر من قيمة الخطأ الأساسي المسموح به (في الظروف القياسية) فإن الجهاز يعد غير صالح للاستخدام وبالتالي يجب إعادة صيانته ومعايرته بحيث تكون الأخطاء الناتجة فعلياً ضمن القيم القياسية المحددة مسبقاً لهذا الجهاز.

2-5-4- الخطأ النسبي لآلية جهاز القياس:

إن الزاوية التي ينحرف بها مؤشر جهاز القياس φ تابعة لقيمة الكمية المقيسة X فيكون بذلك مميز تدريج جهاز القياس وفق المعادلة (2-21):

$$\varphi = f(x) \dots\dots\dots (21-2)$$

ولدينا الحساسية الزاوية لجهاز القياس S_φ تساوي وفق المعادلة (2-22) :

$$S_\varphi = \frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{dx}} = \mathrm{f}'(x) \dots\dots\dots (22-2)$$

بدمج المعادلتين السابقتين (2-21) و(2-22) نجد:

$$\mathrm{d}\varphi = S_\varphi \, \mathrm{dx}$$

نقسم على φ:

$$\frac{\mathrm{d}\varphi}{\varphi} = S_\varphi \frac{dx}{\mathrm{x}} \cdot \frac{\mathrm{x}}{\varphi} \dots\dots\dots (23-2)$$

$\frac{\mathrm{d}\varphi}{\varphi}$: الخطأ النسبي لآلية جهاز القياس، ويرمز له بـ ξ_φ

$\frac{\mathrm{dx}}{\mathrm{x}}$: الخطأ النسبي لكامل جهاز القياس، ويرمز له بـ ξ_x

في الحالة العامة يدخل في معادلة مميز التدريج للجهاز كثير من المتغيرات حسب العلاقة التابعية العامة التي تعبر عن مميز التدريج وفق المعادلة (2-24):

$$\varphi = f\,(x\,, t\,, p\,, U\,, f\,\dots) \dots\dots\dots (24-2)$$

X- قيم الكميات المقيسة.

t- قيم مختلف أجزاء جهاز القياس والتي تؤثر في قراءة جهاز القياس وتختلف من جهاز قياس لآخر حسب عدد مكوناته $t_1, t_2 \dots$.

p- تعبر عن مختلف المميزات الفيزيائية لأجزاء الجهاز... , p_1, p_2. والتي تؤثر في نتائج القياس. مثل المرونة والنفاذية المغنطيسية.

U- قيمة التوتر الكهربائي الذي يعمل عنده الجهاز.

f- تردد التيار الكهربائي الذي يغذي جهاز القياس.

لابد من حساب أخطاء جهاز القياس الناتجة عن مختلف العوامل التكنولوجية والعوامل البيئية المحيطة، والمعادلة السابقة تساعد على حساب أخطاء الجهاز الناتجة عن المتغيرات x, t, p, u, f.

2-5-5-الخطأ الكلي لجهاز القياس:

من أجل تغير بارامتر واحد من البارامترات:

$$X , i_1 , i_2 \ldots, p_1, p_2 \ldots, U, f$$

نوجد مقدار انحراف المؤشـــر $\Delta\mu_{t1}$ من أجل متغير هو i_1 مع عد بقية المتغيرات ثابتة، ويســـمى $\Delta\mu_{i1}$ الخطأ الجزئي وفق المعادلة (2-25):

$$\Delta\mu_{i1} = \frac{\partial\mu}{\partial i_1}\Delta i_1 \ldots\ldots\ldots (25-2)$$

Δi_1: مقدار الانحراف الأولي للمتغير i_1.

وبإيجاد الأخطاء الجزئية لمختلف المتغيرات ينتج الخطأ الكلي لجهاز القياس وفق المعادلة (2-26):

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_I + \Delta\varphi_p + \Delta\varphi_U + \Delta\varphi_f \ldots\ldots\ldots (26-2)$$

$\Delta\varphi$: الخطأ الكلي لجهاز القياس.

$\Delta\varphi_i$: يعبر عن الأخطاء الجزئية للمتغيرات $i_2 i_1$, .

$$\Delta\varphi_i = \Delta\varphi_{i1} + \Delta\varphi_{i2} + \cdots$$

$\Delta\varphi_p$: يعبر عن الأخطاء الجزئية للمتغيرات p_1 , p_2

$$\Delta\varphi_p = \Delta\varphi_{p1} + \Delta\varphi_{p2} + \cdots$$

إذا كان جهاز القياس يحتوي على عدة عناصر في داخله، فمن المفضل حساب أخطاء مميزات العناصر المنفردة للجهاز أولاً ثم حساب الخطأ الكلي للجهاز عن طريقها.

يُعبر عن خطأ مميز أي عنصر بالعلاقة:

$$y_o = f(x_o, I, p, U, f)$$

y_o: متغير الخرج.

x_o: متغير الدخل.

I, p: المتغيرات الفيزيائية للعنصر المعتبر.

U, f: تردد منبع التغذية بالتيار الكهربائي وتوتره.

إن الخطأ المتعلق بالعنصـــر المفروض Δy_o يؤدي إلى ظهور خطأ جزئي ناتج عن هذا العنصـــر هو وفق المعادلة (2-27):

$$\Delta\mu_{yo} = \frac{\partial\mu}{\partial y_o}\Delta y_o \ldots\ldots\ldots (27-2)$$

ومن أجل تحديد قيمة المشتق الجزئي $\frac{\partial\mu}{\partial y_o}$ نكتب معادلة دائرة القياس الخاصة بالعنصر:

$$\varphi = f(yo)$$

ومن العلاقة السابقة نحدد قيمة المشتق الجزئي $\frac{\partial\mu}{\partial y_o}$.

إن توظيف المعادلات السابقة في خدمة الحسابات الدقيقة لنتائج القياس، وأخذ المتغيرات كافة التي تؤثر في نتيجة القياس في الحسبان يؤدي إلى تحسين دقة النتائج والحصول على قياسات ميكانيكية دقيقة بالدرجة المطلوبة.

لتحقيق عملية قياس ناجحة، ينبغي أن تكون أجهزة القياس بعيدة عن الاهتزازات ويجب عزلها عن مصادر التشويش الميكانيكي والكهربائي، مع مراعاة الحالة النفسية للقائس حيث يجب أن يختار الظروف النفسية الهادئة والملائمة لضبط عمليات القياس، والتحكم السليم بجهاز القياس. كما يجب على القائس أن يتلقى الخبرة والممارسة الكافية في مجال أجهزة القياس وتركيبها والعوامل المؤثرة فيها من جهة، ومن جهة أخرى الإطلاع الكافي على أخطاء القياس ومصادرها والتقليل من احتمالات حدوثها.

2-5-6- أخطاء القياس:

نظراً لعدم وجود أية عملية قياس خالية من الأخطاء التي تكون دائماً مترافقة معها، أصبح من الضروري أن يكون القائسون على علم ودراية بمصادر وأنواع أخطاء أجهزة القياس وبأخطاء عمليات القياس وكذلك بطرائق حسابها وتمثيلها في نتائج القياس.

وقبل الشروع في أي عملية للقياس يجب التذكير بالقواعد التالية:

- إن أجهزة القياس هي أجهزة دقيقة وحساسة لا يمكن الاعتماد على نتائجها إلا إذا تم استعمالها بحرص وبعناية.
- يجب أن يكون جهاز القياس مضبوطاً ومعايراً حسب الشروط القياسية.
- يجب قراءة كتيب الإرشادات الخاص بجهاز القياس.

– عدم البدء في عملية القياس قبل التأكد من أن دقة الجهاز تفي بدقة القياس المطلوبة (مثلاً إذا كانت دقة القياس 0.01mm تفي بالغرض، عندئذ لا داعي للقياس بدقة 0.001mm).

- يجب أخذ عدة قياسات ثم إيجاد المتوسط الحسابي لها، لأن ذلك يقرب نتائج القياس من الدقة المطلوبة.

- اعتماد الشروط القياسية البيئية لمختبر القياسات وهي: درجة الحرارة 20^{o}، الضغط الجوي 760 $mmHg$، الرطوبة النسبية $\%(5 \pm 50)$.

2-5-7- تعاريف أساسية:

– القيمة الحقيقية N: هي القيمة الاسمية أو النظرية للكمية المطلوب قياسها.

– القيمة الفعلية L: هي القيمة المقاسة فعلاً بوساطة أداة أو جهاز القياس.

– الخطأ E: هو الفرق بين القيمة الفعلية (المقاسة) والقيمة الحقيقية (الاسمية) وفق المعادلة (2-28).

الخطأ = القيمة الفعلية – القيمة الحقيقية

$$E = L - N \dots \dots \dots . (28 - 2)$$

وقد يكون الخطأ موجباً أو سالباً تبعاً لطبيعة ظروف القياس.

– الخطأ النسبي E_R: هو النسبة بين الخطأ والقيمة الحقيقية وفق المعادلة (2-29).

$$E_R = \frac{E}{N} \dots \dots \dots . (29 - 2)$$

وأحيانا يحسب الخطأ كنسبة مئوية وذلك بالضرب في 100%.

– الظنية أو الشك: هي القيمة المحتملة لنطاق ما نظن أنه الخطأ، وهي مرتبطة بخطأ غير معلوم المصدر، وسيتم مناقشته عندما نتعرف على الأنواع المختلفة لأخطاء القياس.

– مدى القياس: هو أقصى قيمة مقاسة يمكن الحصول عليها بوساطة أداة القياس.

– دقة القياس: هي أقصى قيمة فرق بين القيمة المقاسة والقيمة الفعلية، أي أقصى قيمة للخطأ. وبالتالي فإن دقة القياس تُعدّ وصفاً لدرجة صحة القياس وخلوه من الخطأ. أحياناً تُعطى الدقة كنسبة مئوية من مدى القياس.

– حساسية القياس: هي أقل تغير في الكمية المقاسة يمكن لأداة القياس إدراكه والإحساس به. ففي القدمة ذات الورنية مثلاً تكون الحساسية أقل رقم عشري تستطيع القدمة تحديده.

– الضباطة أو الانضباط: درجة تقارب القيم المقاسة لنفس الكمية المقاسة (بعد مثلاً) من بعضها إذا تكررت عملية القياس تحت نفس الظروف المحيطة.

– الخطأ الرتيبي: هو خطأ ينتج نتيجة طريقة القياس المستخدمة كخطأ في معايرة الجهاز المستخدم مثلاً، أو وجود عيب بمجسات القياس وغيرها. يجب ملاحظة أن هذا النوع من الأخطاء ليس من العادة اكتشافه عند تكرار القياس.

الفصـــل الثالث

الإزواجات Fits

مقدمـــة:

من أهم الصعوبات التي تواجه القائمين على عمليات التشغيل مطابقة أبعاد المشغولة بعد تصنيعها مع أبعادها المحددة على الرسومات التصميمية. والواقع العملي يؤكد أن هناك استحالة في تصنيع المنتج بنفس أبعاده التصـــميمية (الأبعاد الاسمية) تماماً من دون وجود بعض التفاوتات (الانحرافات) في هذه الأبعاد. وهناك أســـباب عديدة تؤدي إلى حدوث تلك الانحرافات منها على ســـبيل المثال عدم الدقة المطلقة لآلات التشـــغيل، واحتمال حدوث بعض الأخطاء التي يصـــعب تفاديها أثناء عملية قياس المشغولة، بالإضافة إلى أن المعدات المستخدمة لإجراء القياس أثناء مراحل التشغيل المختلفة فيها مقدار من الخطأ، وذلك لاستحالة تصنيعها هي الأخرى خالية من بعض التجاوزات الضئيلة التي يتم إعطاءها كأحد أهم مواصـــفات تلك المعدات. وقد تم اعتماد مجموعة من المواصـــفات الدولية لتحديد قيم التجاوزات المســـموحة طبقاً لمجالات الاســـتخدام. ويهدف هذا التوحيد في المواصـــفات إلى تأكيد مبدأ التصنيع التبادلي الذي يتيح استخدام المنتجات في أي مكان بصرف النظر عن مكان التصنيع طالما أن هذه المنتجات مطابقة للمواصفات الدولية المتفق عليها.

من البديهي أن تكون قيم التجاوزات ضـئيلة جداً لأن ذلك يؤدي إلى حدوث اختلاف ملموس في أبعاد المنتج وبالتالي يتسبب في عدم إمكانية استخدامه للغرض المصـنّع من أجله. فمعظم القطع المنتجة تكون عبارة عن أجزاء يتم تجميعها معاً لتكوين المنتج النهائي، لذلك يجب أن يكون هناك توافق (إزواج) بين أبعاد القطع المنتجة حتى تتراكب مع بعضـها البعض بطريقة سليمة لتؤدي وظيفتها أثناء العمل بدون خلل.

3-1- التفاوتات (Tolerances):

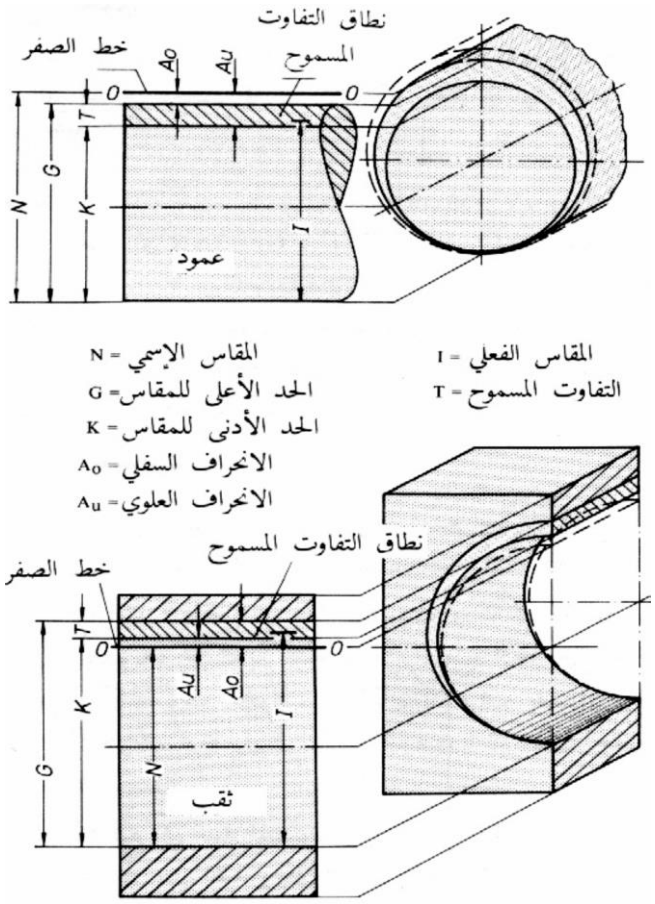
تبرز أهمية التفاوتات (التســـامحات) في الأجزاء التي يتطلب إنتاجها دقة عالية، حيث إن وجود التفاوتات يصـبح مطلباً ضـرورياً كما في الأجزاء التي تتداخل مع بعضـها البعض، مثل أعمدة الدوران والمحامل، وفي مثل هذا الوضـع تصـبح الدقة غاية في الأهمية لضـمان توافق الأجزاء مع بعضـها البعض. وعموماً، نحدد مقدار التفاوت المسـموح به بالرجوع إلى طبيعة الجزء وعمره الافتراضـي وعلاقته بالعناصـر المجاورة له، وظروف التشغيل التي سيتعرض لها وغيرها من الاعتبارات التي يجب الأخذ بها.

إنّ الهدف الأساسي من وضع التفاوتات على الرسوم الهندسية، والتقيد بحدود هذه التفاوتات في أثناء التصنيع، هو ضمان تبادلية مختلف الأجزاء المتزاوجة مع بعضها بحيث تضمن هذه التبادلية الكفاءة

العالية للجزء أثناء عمله. وتعتمد قابلية التبادل على المواصفات الكاملة لأبعاد مجموعة الأجزاء وأشكالها، وذلك في أثناء تجمعها. وبفعل متطلبات الصناعة الحديثة والإنتاج الكمي (بالجملة) يستحيل غالباً القيام بصناعة جهاز معقد من قبل صانع واحد، وإنّما يشترك عدد كبير من المصانع في إنتاج مختلف أجزاء هذا الجهاز، ثم يتم تجميعها في مصنع آخر، وبالتالي يجب أن تكون جميع هذه الأجزاء مهما اختلف صانعوها متناسبة مع التصاميم الموضوعة لها بحيث تضمن التبادلية البعدية والوظيفية. ويأتي هنا دور التفاوت ليحدد الانحرافات المسموح بها عندما يتم تصنيع جزء ما، وهذا يسهل عملية الإنتاج ويوفر كثيراً في تكاليف المنتجات. فغالباً ما يراعي المصمّم وظيفة الجزء الذي يضع له التصميم بحيث يحدد مسبقاً التفاوت المناسب الذي يتلاءم مع وظيفة ذلك الجزء، حيث إنّ الدقة الكبيرة في الأبعاد والتفاوتات تزيد بشدة من تكلفة المنتجات، لذلك فإن كل تفاوت يجب أن يكون له ما يبرره. والسبب الذي أدى إلى ضرورة وجود تفاوت بجانب كل بعد على الرسم الهندسي هو أنّ القطع المنتجة لا يمكن أن تنطبق تماماً على البعد الاسمي، بسبب عدة عوامل أهمها: تآكل عدة التشغيل في أثناء سير الإنتاج، وارتفاع درجة حرارة أجزاء آلة التشغيل، والخطأ المرتكب في عملية قياس القطعة. وبالتالي وضع التفاوت بجانب كل بعد يسهّل عملية قبول القطعة المنتجة أو رفضها، فإذا وقعت هذه القطعة ضمن الحدود المسموح فيها؛ أي ضمن حدّي التفاوت الأعلى والأدنى كانت القطعة مقبولة، أما إذا وقعت خارج هذين الحدين فسوف تكون مرفوضة.

3-1-1- تعاريف أساسية:

تستخدم التعاريف التالية كأساس لإجراء الحسابات اللازمة لتحديد التفاوتات للمشغولات في أثناء تصميمها، ويبين الشكل (1-3) المصطلحات الأساسية للتفاوتات.



الشكل (1-3) المصطلحات الأساسية للتفاوتات

1- التفاوت الأعلى للمقاس A_0(الانحراف العلوي): هو الفرق بين المقاس الاسمي والحد الأعلى للمقاس.

2- التفاوت الأدنى للمقاس Au(الانحراف السفلي): هو الفرق بين المقاس الاسمي والحد الأدنى للمقاس.

3- العمود: كل جزء مستدير مطلوب تركيبه داخل أحد الثقوب، بصرف النظر عما إذا كان يسمى غير ذلك مثل: عمود أو محور أو مسمار ربط أو مرتكز أو تيلة إلى غير ذلك من المسميات المشابهة.

4- البعد الاسمي N: هو البعد الموضوع من قبل المصمم على الرسومات الهندسية والذي تميز به المشغولة.

في الصناعة لا يمكن الحصول على القطع بالأبعاد الاسمية لأن ذلك غير ممكن عملياً، حيث لابد من وجود أخطاء في عمليات الإنتاج والقياس لذا غالباً ما تكون الأبعاد الحقيقية للقطع المنتجة هي أكبر أو أصغر من الأبعاد الاسمية.

5- خط الصفر: هو خط تخيلي يكون عليه مقدار الانحراف عن المقاس الاسمي صفراً.

الحد الأعلى (الأعظمي) للمقاس (G): هو أكبر مقاس مسموح به، ولا يجوز أن يتعداه المقاس(البعد) الاسمي للمشغولة.

$$G = N + A_O$$

6- الحد الأدنى (الأصغري) للبعد (K): هو أصغر بعد مسموح به، ولا يجوز أن يقل عنه البعد الاسمي للمشغولة.

$$K = N + A_U$$

7- البعد الفعلي L: هو البعد الذي يجري تعيينه بقياس المشغولة أو القطعة بعد الإنتهاء من عملية التصنيع. ويجب أن يقع بين البعدين الحديين، أي أن:

$$K \leq L \leq G$$

8- الأبعاد الخارجية: كقياس الطول والعرض والإرتفاع للقطع الصناعية، أو الأقطار والسماكات للمحاور والمجاري...الخ.

9- الأبعاد الداخلية: كقياس قطر الثقوب، عرض المجاري الداخلية.

10- الأبعاد المختلطة: كقياس ارتفاع المسبوكات الزائدة، عمق الحفر.

11- الأبعاد غير المباشرة: هي الأبعاد التي لا يمكن قياسها مباشرة (مثلاً بعد محور الثقب عن طرف القطعة).

12- أبعاد التزاوج: هي أبعاد السطوح المتزاوجة مع بعضها، حيث تتلامس هذه السطوح، ويتم تحديدها من قبل المصمم مع تحديد الانحرافات المسموح بها بالشكل المناسب.

13- الأبعاد الحرة: هي أبعاد السطوح غير المتزاوجة، وتكون الانحرافات المسموح بها للأبعاد الحرة عادة أكبر منها للسطوح المتزاوجة.

14- الإزواج: هو ارتباط بين جزأين من أجزاء آلة ما بحيث يحقق هذا الإرتباط وظيفة ما، والذي يحدد نوع هذه الوظيفة هو نوعية الإزواج.

15- عملية القياس: هي العملية اللازمة للتأكد من مدى اقتراب الأبعاد الحقيقية للقطعة المنتجة من الأبعاد الاسمية.

16- التبادلية: هي صلاحية قطعة ميكانيكية للاستعمال مكان قطعة أخرى وذلك لتحقيق الأداء المناسب لهذه القطعة.

17- رتبة التفاوت: مجموعة تفاوتات لها مستوى الدقة نفسه، ولكن تختلف حسب نظام الأساس عمود/ ثقب.

18- التبادلية الوظيفية: هي قابلية جزء ما لتأدية وظيفة جزء آخر بشكل مناسب.

19- التبادلية البعدية: هي قابلية المبادلة بين جزأين من حيث صلاحية الأبعاد.

20- السـماحية أو الخلوص: هي الفرق بين أكبر مقاس (الحد الأعلى لقطر العمود) وأصـغر مقاس (الحد الأدنى لقطر الثقب) ويمكن أن يكون بالسالب أو الموجب.

21- التفاوت المسموح T: هو الفرق بين الحدين الأصغري والأعظمي للبعد (أو الفرق بين الانحرافيين الأعلى والأدنى للبعد)، ويسمى أحياناً تسامح البعد أو حقل التسامح أو نطاق التسامح للبعد.

$$T = A_0 - A_U = G - K$$

هناك علاقات ثابتة بين الأبعاد الاسمية N والانحرافات A_u و A_o والتسـامح T والأبعاد K و G معينة كالتالي:

$$K = N + A_U \qquad (\ D_{max} = D + ES\ )$$
$$G = N + A_0 \qquad (\ D_{min} = D + EI\ )$$
$$T = A_0 - A_U \qquad (\ T = ES - EI\ )$$
$$T = G - K \qquad (\ T = D_{max} - D_{min}\ )$$

ملاحظة : يتم ترميز انحرافات الثقوب بالحرف اللاتينية الكبيرة, والأعمدة بالحروف الصغيرة كما يلي:

الانحراف الأعظمي للثقب ES **والانحراف الأصغري له** EI

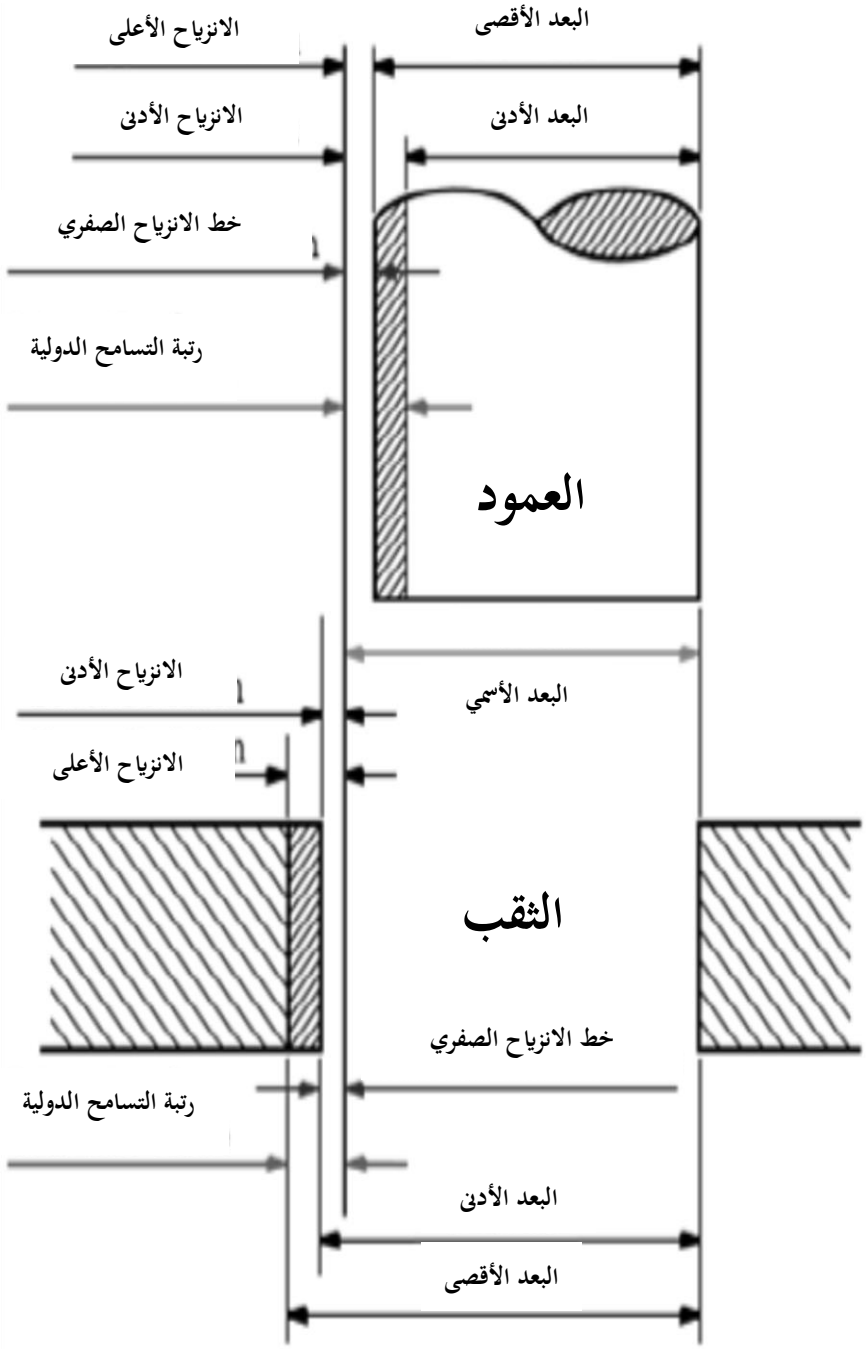
الانحراف الأعظمي للعمود es **والانحراف الأصغري له** ei

يتم ترميز البعد الاسمي بالرمز D

يتم ترميز المقاس الأعظمي بالرمز D_{max}

يتم ترميز المقاس الأصغري بالرمز D_{min}

يبين الشـكل (2-3) المقاسـات الأصـغرية والأعظمية وموقع الانحرافات بالنسـبة لخط الصـفر لكل من الثقوب والأعمدة.

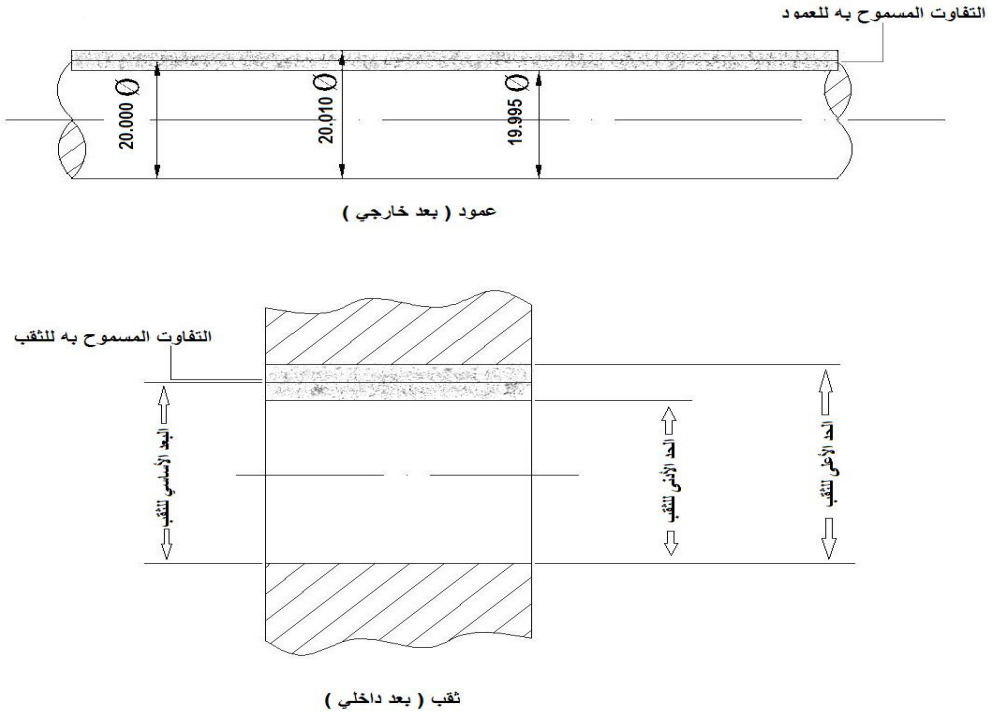


الشكل (3–2) الانحرافات عن خط الصفر (الخاصة بالثقوب والأعمدة)

مثـــال1: إذا كان البعد الاسمي لقطر عمود 20mm والحد الأعلى المسموح به للبعد 20.010mm والحد الأدنى للبعد هو 19.995mm، كما في الشـــكل (3-3) فإن مقدار التفاوت يمثل الفرق بين الحدين أي:

$$T = G - K$$

$$T = 20.010 - 19.995 = 0.015mm = 15\mu m$$



الشكل (3-3) حدود الأبعاد وحدود التفاوت

ولتوضيح المصطلحات السابقة سنعرض المثال العددي التالي:

مثال 2: احسب الأبعاد الحدية وتسامح البعد لـ $\emptyset 25^{+0.009}_{-0.004}$:

الحل:

البعد الاسمي $N = 25mm$.

التفاوت الأعلى $A_o = +0.009mm$.

التفاوت الأدنى $A_u = -0.004mm$.

الحد الأعظمي للبعد G:

$$G = N + Ao$$

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

الحد الأصغري للبعد K:

$$K = N + A_u$$

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

وبالتالي يكون البعد الفعلي (L):

$$24.996mm \leq L \leq 25.009mm$$

أما تسامح (تفاوت) البعد (T):

$$T = G - K$$

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

أو:

$$T = A_o - A_u$$

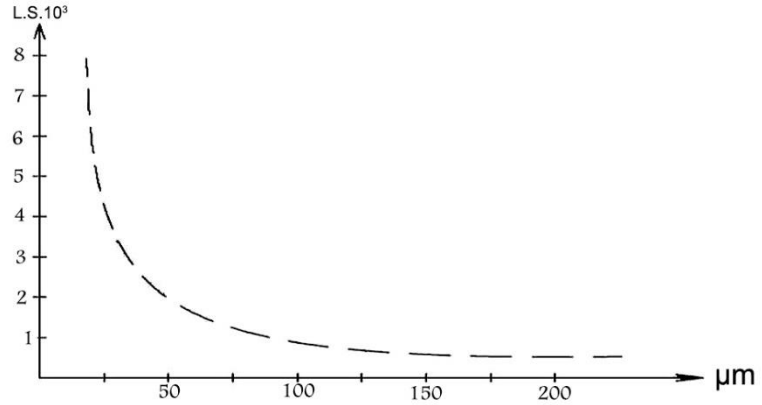
$$T = 0.009 - (-0.004) = 0.013mm$$

ملاحظة: إذا لم يكتب مقدار التفاوت في صيغة البعد الاسمي وتفاوتاته فمعنى ذلك أن مقداره يساوي الصفر.

3-1-2- العلاقة بين تكاليف التشغيل والتفاوت المسموح به:

إن عملية اختيار التفاوت الأمثل عملية صعبة ومعقدة ولاسيما بالنسبة للأجزاء الدقيقة أو الأجزاء التي يطلب أن تحقق وظيفة صعبة. ويدخل في تحديد هذا التفاوت متغيرات كثيرة من ضمنها التكاليف المترتبة على اختيار هذا التفاوت. إن التفاوتات الصغيرة تتطلب آلات تشغيل غالية الثمن بالإضافة إلى عمليات تكنولوجية معقدة ومكلفة وقياسات دقيقة، وبالتالي فإن المبالغة في اختيار تفاوتات صغيرة جداً ينعكس سلباً على التكاليف المخصصة لعملية الإنتاج. وتؤكد التجارب العملية أن التكلفة تزداد بشدة عندما يصبح التفاوت المسموح به صغيراً وبحدود ضيقة. كذلك الأمر التفاوتات الكبيرة تؤدي إلى انخفاض تكاليف الإنتاج بشكل ملحوظ. ودائماً هناك حدود مثالية لمجال التفاوت المسموح به حسب نوع الأداء المطلوب.

يبين الشكل (4-3) العلاقة التي تربط بين التكاليف المترتبة على تشغيل الأجزاء، والتفاوت المسموح به لهذه الأجزاء.



الشكل(4-3) العلاقة بين تكاليف التشغيل والتفاوت المسموح به

في أثناء قيام المصمم بوضع تفاوت مسموح به يجب أن تراعى الشروط الوظيفية الواجب توافرها لتحسين أداء المنتج، بالإضافة إلى الأخذ في الحسبان درجة الدقة التي يمكن الحصول عليها من قبل آلات التشغيل المتوافرة، بحيث يحدد التفاوت للبعد الذي يجب ألا يتعدى إمكانات التشغيل والإنتاج المتاحة مع التأكيد على تحقيق الشروط الوظيفية المطلوبة لجودة الأداء. كما يمكن الإشارة إلى أن الانحرافات الناتجة في أثناء عملية التشغيل (انحراف البعد الحقيقي للجزء عن البعد الاسمي) تتناسب طرداً مع الجذر التكعيبي لأبعاد القطع المنتجة. ولذلك يتم اختيار تفاوتات كبيرة نسبياً للأجزاء ذات الأبعاد الكبيرة، وتفاوتات صغيرة للأجزاء ذات الأبعاد الصغيرة.

3-1-3- العلاقة بين الانحراف والأبعاد تبعاً لعمليات التشغيل:

لا يمكن أبداً إنتاج قطعة وفق البعد الاسمي تماماً، ولا بد من حدوث بعض الانحرافات عن هذا البعد، وهذا الانحراف ينتج بسبب كثير من التغيرات والعوامل، وهناك أسباب رئيسة لهذه الانحرافات:

1- تغير أبعاد عدّة التشغيل بسبب الاستعمال المتكرر، مثل اهتراء عدد القطع، وتآكل بعض أجزاء العدّة (تآكل الأجزاء الثابتة والمتحركة لعدد التشغيل).

2- نوعية أساليب الإنتاج المستخدمة، فلا شك أنّ آلات التشغيل الحديثة والمتطورة تعطي منتجات أكثر دقة وجودة.

3- التغير المستمر لحالة آلات التشغيل، نتيجة ارتفاع درجة الحرارة في أجزائها.

4- الخطأ المرتكب في عمليات القياس والمعايرة والتي تؤدي فيها العوامل الطبيعية دوراً مهماً، بالإضافة إلى تعرض آلة القياس نفسها للخطأ.

يمكن توضيح الانحرافات محتملة الحدوث أثناء عمليات التشغيل بالشكل (4-2) حيث يبين (بالإضافة للعوامل السابقة) تأثير أبعاد المنتج في عمليات التشغيل الأساسية من حيث الانحرافات الناتجة، فمثلاً في عمليات التنعيم والتجليخ يُلاحظ عدم زيادة مقدار الانحراف مع ازدياد أبعاد القطعة (بشكل ملحوظ) لأنّ هذه العمليات مكلفة وتحتاج إلى جهد ووقت كبيرين. أما في عمليات الخراطة الخشنة (المنحني 5) يُلاحظ زيادة الانحراف الناتج عن عمليات الخراطة بشكل ملحوظ في أثناء زيادة أبعاد القطعة المشغلة. يلاحظ على الشكل (5-3) الانحرافات محتملة الحدوث في أثناء عمليات التشغيل التالية:

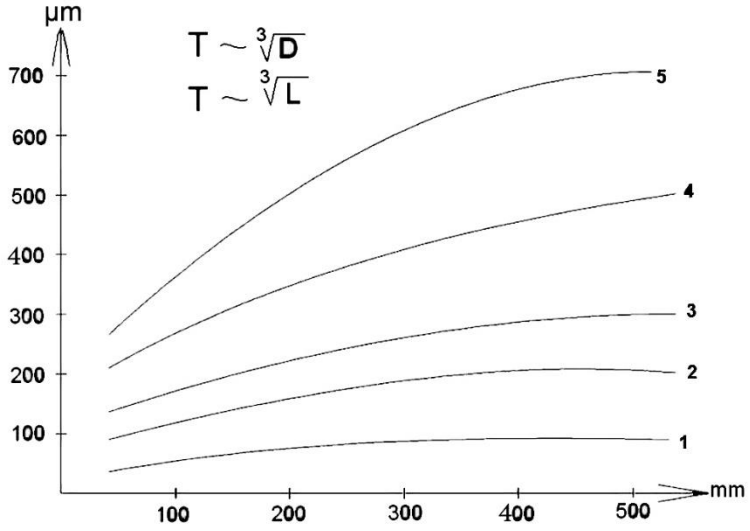
1- عمليات التنعيم والتجليخ.

2- عمليات الخراطة وفتح الثقوب الدقيقة.

3- عمليات الخراطة وقطع اللوالب.

4- عمليات الخراطة وعمليات القشط والتفريز العادية.

5- عمليات الخراطة وفتح الثقوب الخشنة.



الشكل(5-3) العلاقة بين مقدار الانحراف المحتمل حدوثه
وأبعاد القطعة المشغلة تبعاً لعمليات التشغيل

3-2- درجات الانحراف عن خط الصفر:

يتم تمثيل نطاق التفاوت لبعد معين بالنسبة لخط الصفر بمستطيل صغير مهشر يكتب على طرفه العلوي الانحراف الأعلى للمقاس وعلى طرفه السفلي الانحراف الأدنى للمقاس، وتكون قيم التفاوتات بوحدة (μm). الانحرافات الواقعة فوق خط الصفر تكون موجبة، أما الانحرافات السالبة فتوضع تحت خط الصفر، أما إذا كانت قيمة الانحراف صفراً فلا يكتب لأنه في هذه الحالة يكون أحد طرفي المستطيل ملامساً لخط الصفر. يوجد خمسة مواضع أساسية لنطاقات التفاوت بالنسبة لخط الصفر الشكل (6-3). وهذه المواضع يمكن تصنيفها كالتالي:

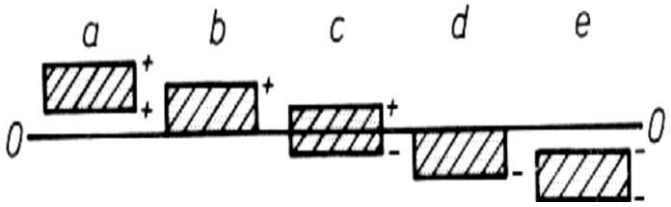
أ- عندما يقع نطاق التفاوت المسموح بأكمله فوق خط الصفر، في هذه الحالة يكون البعد الفعلي دائماً أكبر من البعد الاسمي.

ب- عندما يبدأ نطاق التفاوت المسموح من خط الصفر إلى أعلى، هنا البعد الفعلي يكون أكبر من البعد الاسمي بمقدار التفاوت المسموح فقط.

ج- عندما يقع نطاق التفاوت المسموح على جانبي خط الصفر، هنا يتقارب البعدان الاسمي والفعلي.

د- عندما يبدأ نطاق التفاوت المسموح من خط الصفر إلى أسفل، هنا يقل البعد الفعلي عن البعد الاسمي بمقدار التفاوت المسموح فقط.

هـ- عندما يقع نطاق التفاوت المسموح بأكمله تحت خط الصفر، هنا يكون البعد الفعلي دائماً أصغر من البعد الاسمي.



الشكل (6-3) المواضع الأساسية لنطاق التفاوتات

3-2-1- أنواع التفاوتات:

يمكن تصنيف التسامح حسب مقدار تفاوتات البعد وإشارته إلى:

1- التفاوت المتناظر: يحدث عندما يكون التفاوتان(العلوي والسفلي) متساويين بالقيمة ومختلفان بالإشارة.

2- التفاوت غير المتناظر: يحدث عندما أحد التفاوتان يكون مساوياً للصفر.

3- التفاوت غير المتناظر من الطرفين: يحدث عندما مقدارا التفاوت والإشارة مختلفتين.

4- التفاوت غير المتناظر بطرف واحد: يكون عندما التفاوتان من إشارة واحدة، في هذه الحالة البعد الاسمي هو فقط البعد الأساسي حيث يتم تعيين التفاوتات بالنسبة له ولكن لايسمح بإنتاج القطع بمقداره.

5- التفاوت خارج المعدن: عبارة عن تسامح غير متناظر، إنما التفاوت مأخوذ بحيث يسمح بزيادة حجم المعدن. في هذه الحالة يكون تفاوت الأبعاد الخارجية موجباً بينما يكون تفاوت الأبعاد الداخلية سالباً، والأبعاد الاسمية تعين الحجم الأصغري للقطعة.

6- التفاوت داخل المعدن: عبارة عن تسامح غير متناظر، إنما التفاوت مأخوذ بحيث يسمح بإنقاص حجم المعدن. في هذه الحالة يكون تفاوت الأبعاد الخارجية سالباً وتفاوت الأبعاد الداخلية موجباً، والأبعاد الاسمية تعين الحجم الأعظمي؛ أي أكبر حجم من المعدن.كما يوجد أنواع أخرى للتسامح؛ كالتسامح الحر أو التسامح العادي.

عند استخدام التسامح الحر للأبعاد الداخلية والخارجية يجب أن نستخدم قاعدة التسامح داخل المعدن لأنها أفضل وأسهل بكثير من قاعدة التسامح لخارج المعدن، ذلك أنها تسمح بتعيين الخلوصات بين القطع المتحركة بالنسبة لبعضها في الآلات، وبالتالي انتقاء أبعاد المادة الخام التي تدخل في صناعة هذه القطع.

يمكن تحويل أي بعد محسوب وفق قاعدة مختلفة عن قاعدة التسامح خارج المعدن إلى قاعدة التسامح داخل المعدن وفق الطريقة التالية:

أ. إذا كان البعد خارجياً، يجب حساب الحد الأعظمي له (G) ومن ثم إعطاؤه تفاوتاً سالباً مساوٍ في مقداره لمقدار التسامح (T) لذلك البعد، أي بالصيغة:

$$N_{+A_u}^{+A_o} \rightarrow G_{-T}^{0}$$

ب. إذا كان البعد داخلياً، يجب حساب الحد الأصغري له (K) ومن ثم إعطاؤه تفاوتاً موجباً مساوٍ في مقداره لمقدار التسامح (T) لذلك البعد، أي بالصيغة:

$$N_{+A_u}^{+A_o} \rightarrow K_0^{+T}$$

الأبعاد المختلفة وغير المباشرة تكون تسامحاتها بصورة متناظرة.

مثـال 3: المطلوب تحويل قطر الثقب $\Phi 80_{-0.05}^{+0.1}$ إلى بعد حسب قاعدة التسامح داخل المعدن.

الحل: نحسب البعد الأصغري:

$$K = N + A_o$$

$$K = 80 - 0.05 = 79.95mm$$

ويكون التسامح:

$$T = A_o - A_u = 0.1 - (-0.05) = 0.15mm$$

إذن البعد المعطى يصبح بالشكل:

$$K^{+T} = \Phi\ 79.95^{+0.15}$$

إن هذا البعد مطابق تماماً للبعد الأصلي: $\Phi 80_{-0.05}^{+0.1}$

إذ لو دققنا ذلك باستخدام قوانين حساب الحد الأعظمي والأصغري والتسامح لحصلنا على مايلي:

1- بالنسبة للقطر $\Phi 80_{-0.05}^{+0.1}$:

$$G = 80 + 0.1 = 80.1mm$$

$$K = 80 - 0.05 = 79.95mm$$

$$T = 0.1 - (-0.05) = 0.15\ mm$$

2- بالنسبة للقطر $\text{Ø}\ 79.95^{+0.15}$:

$$G = 79.95 + 0.15 = 80.1mm$$

$$K = 79.95 + 0 = 79.95mm$$

$$T = 0.15 - 0 = 0.15mm$$

مثـال 4: المطلوب تحويل طول القطعة $125_{+0.1}^{+0.3}$ إلى بعد حسب قاعدة التسامح داخل المعدن.

الحل: نحسب البعد الأعظمي:

$$G = N + A_o$$

$$G = 125 + 0.3 = 125.3mm$$

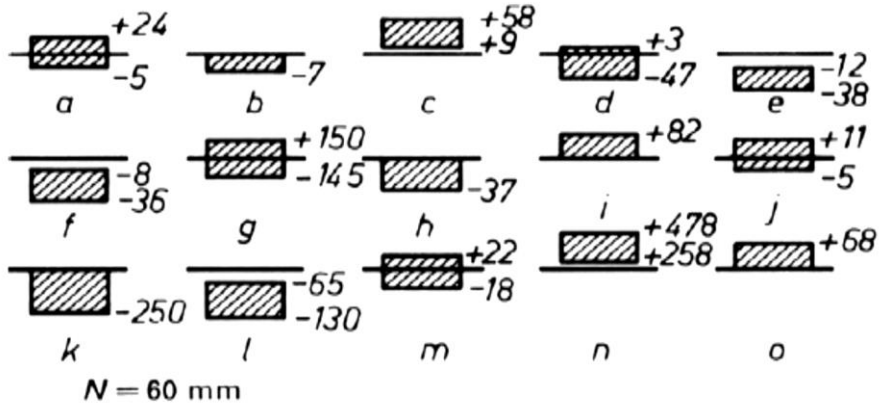
ويكون التسامح:

$$T = 0.3 - 0.1 = 0.2mm$$

إذن البعد المعطى يصبح بالشكل التالي:

$$\mathrm{G}^{0}_{-\mathrm{T}} = 125.3^{0}_{-0.2}$$

مثـــال5: احسـب القيم (K, G, T, A_u, A_0) بالمليمتر من نطاقات التفاوتات المسـموحة المعطاة في الحالات من (a) إلى (O) الموضحة بالرسم، علماً بأن البعد الاسميmm60.



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

$$G = N + A_o$$

$$\mathrm{G} = 60 + 0.024 = 60.024\mathrm{mm}$$

$$\mathrm{K} = \mathrm{N} + A_{\mathrm{u}}$$

$$K = 60 + (-0.005) = 59.995mm$$

$$T = G - K$$

$$T = 60.024 - 59.995 = 0.029mm = 29\mu m$$

$$T = A_o - A_u$$

$$T = 0.024 - (-0.005) = 0.029mm = 29\mu m$$

ويلاحظ من القيم التي تم حســـابها في هذا المثال أن البعد الفعلي يتقارب من الحدين الأعلى والأدنى للمقاس حيث أنه يقع بينهما، أي إن هذه الحالة تمثل الموضـــع رقم (c) من مواضـــع نطاقات التفاوت الأساسية بالنسبة لخط الصفر التي سبق الإشارة إليها.

3-2-2 – سلاسل التفاوتات:

في معظم الآلات المعقدة تكون عادة الأجزاء المشـغلة ذات عدد كبير من الأبعاد المتتابعة، وكل بعد مترافق بالتفاوت المسـموح به. وبالتالي تتشـكل لدينا سـلاسـل من التفاوتات يمكن أن تؤدي في النتيجة

لتراكم هذه التفاوتات مما يســـبب الإخلال بالأداء الوظيفي للأجزاء المجمعة، وبالنتيجة انخفاض جودة الأداء.

يحدد مهندس التصــميم مقدار التفاوتات المتتابعة آخذاً في حســابه التفاوت الكلي للجزء، وكمثال على سلاسل التفاوت يمكن أخذ أعمدة الإدارة وعناصر الآلات. ويمكن الاسترشاد بالقاعدة العامة التي يتم بموجبها تحديد ســلاســل التفاوتات على الرســوم الهندســية والتي تنص على أن: المجموع الكلي لمجال التفاوت في السلسلة يساوي مجموع القيم المطلقة للتفاوتات الإفرادية.

يبدأ المصمم بوضع تفاوتات تقريبية لسلسلة أبعاد، ثم يقوم بجمع هذه التفاوتات بقيمها المطلقة من دون الإلتفات لإشـارة كل تفاوت، فإذا كان المجموع الكلي، والذي يمثّل التفاوت الكلي للسـلسـلة أكبر من التفاوت المسموح به، يترتب عليه أن يقوم باختصار أو تصغير قيمة بعض التفاوتات الإفرادية وذلك حتى لا يتخطى المجموع الكلي للتفاوتات قيمة التفاوت المسموح به للجزء.

إذا كان الجزء المشغل مكوناً من ثلاثة أبعاد اسمية مع تفاوتاتها الشكلين (7-3) و(8-2)، فإنه يمكن اتباع الطريقة التالية لتحديد الحد الأعلى والحد الأدنى لطول الجزء ومجموع التفاوت الكلي، مع اعتماد اتجاه محدد موجب وآخر سالب للأبعاد وللتفاوتات:

A_1: طول القسم الأول من الجزء. وهو في الاتجاه الموجب $+A_1$

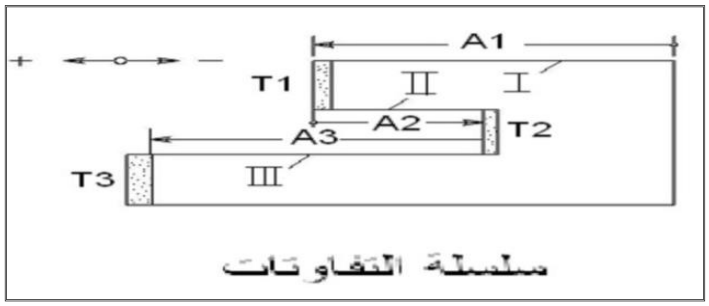
T_1 : التفاوت المتعلق بهذا الطول. واتجاهه سالب $-T_1$

A_2 : طول القسم الثاني. وهو في الاتجاه السالب $-A_2$

T_2 : تفاوت هذا الطول. واتجاهه سالب أيضاً $-T_2$

A_3 : طول القسم الثالث. واتجاهه موجب أي $+A_3$

T_3 : تفاوت القسم الثالث. وهو تفاوت موجب $+T_3$



الشكل(7-3) أبعاد وتفاوتات الأجزاء الثلاثة المكونة للقطعة

الحد الأدنى لطول الجزء هو:

$$= X^{-}_{\max} + X^{+}_{min} S_{\min}$$

$X_{\max}$: يمثل مجموع الحدود العليا لأطوال الأقسام المتعلقة بالجزء.

X_{min}: يمثل مجموع الحدود الدنيا لأطوال الأقسام.

$\pm$: تشير(+) إلى الأطوال والتفاوتات الموجبة. و (−) إلى الأطوال والتفاوتات السالبة.

ويكون الحد الأدنى لطول سلسلة الأبعاد الاسمية هو:

$$= (-A_2 - T_2) + (A_1 - T_1) + (A_3) S_{min}$$

أما الحد الأعلى لطول الجزء:

$$= X^{+}_{\max} + X^{-}_{min} S_{max}$$

$$= (A_1) + (A_3 + T_3) + (-A_2)$$

وإذا علمنا أن طول سلسلة التفاوتات ما هو إلا الفرق بين الحدين الأعلى والأدنى للطول الذي يمكن أن يأخذه الجزء المشغَّل، نجد:

$$\mathrm{T} = S_{max} - S_{min}$$

$$= A_1 + A_3 + T_3 - A_2 + A_2 + T_2 - A_1 + T_1 - A_3$$

$$= T_1 + T_2 + T_3$$

مع العلم أن T_1 و T_2 و T_3 تمثل القيم العددية المطلقة للتفاوتات الثلاثة.

مثـال 6:

بفرض أن الأبعاد السابقة معطاة بالشكل (8-3):

$$+ A_1 = 50^{-0.015} \text{ mm}$$

$$\text{mm} - A_2 = 22^{-0.010}$$

$$+ A_3 = 45^{+0.025} \text{ mm}$$

احسب الحدين الأعلى والأدنى لطول الجزء، ومجموع التفاوتات.

الحـل:

الحد الأعلى لطول الجزء:

$$= X^{+}_{\max} + X^{-}_{min} S_{max}$$

$$= (A_1) + (A_3 + T_3) + (-A_2)$$

$$= 50 + 45 + 0.025 - 22 = 73.025\text{mm}$$

الحد الأدنى لطول الجزء هو:

$$= (-A_2 - T_2) + (A_1 - T_1) + (A_3) S_{min}$$

$$= -22 - 0.010 + 50 - 0.015 + 45 = 72.975\text{mm}$$

طول سلسلة التفاوتات:

$$T = T_1 + T_2 + T_3$$

$$= 0.015 + 0.010 + 0.025mm = 0.050mm = 50\mu m$$

$$T = S_{max} - S_{min}$$

$$T = 73.025 - 72.975 = 0.050mm = 50\mu m$$

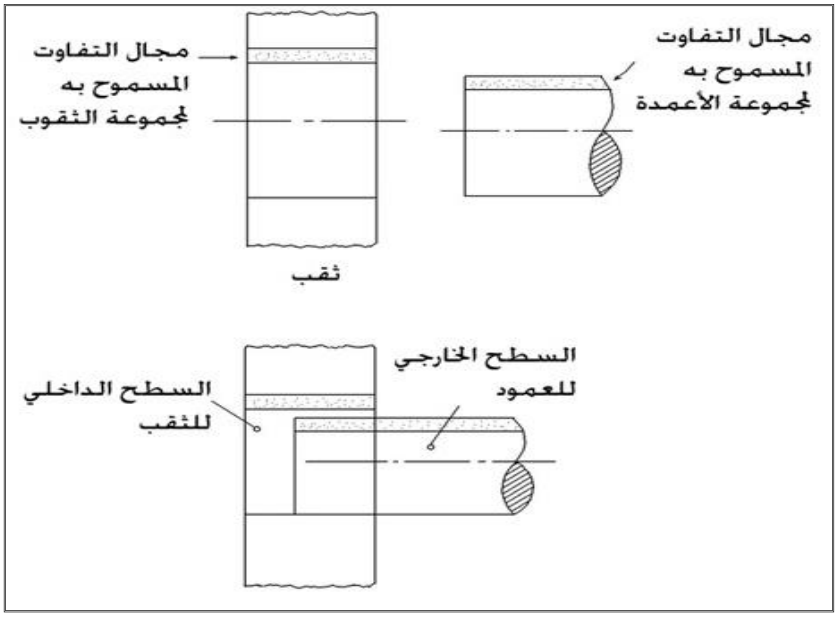
ملاحظة : يؤخذ التفاوت دائماً بالقيمة العددية المطلقة.

الشكل (3-8) سلسلة تفاوتات ثلاثية الأبعاد

3-3- الإزواجات الخلوصية والتداخلية والانتقالية:

في ظل التقدم التكنولوجي الكبير الذي يتطور بخطوات مذهلة، تبرز الحاجة إلى وجود نظام متكامل للإزواجات بين مختلف أجزاء الآلات. فالآلة لا يمكن أن تنجز القدرة المثلى المرغوبة إلا إذا كانت أجزاؤها المختلفة تقوم بعملها كما هو مصـــمم لها، وبحيث يؤدي تراكب هذه الأجزاء المختلفة إلى المردود الفني والاقتصـــادي معاً. وهذا ما يبرر حتمية وجود نظام موحد للإزواجات يؤدي إلى حل المشـــكلات التكنولوجية والفنية المتكررة التي تظهر في أثناء طور التصميم أو الإنتاج أو التشغيل. فالإزواج هو العلاقة بين مقاسات قطع الشغل قبل تركيبها مع بعضها البعض ويطلق عليها أيضا التوافقات.

مما ســـبق نســـتنتج أن الإزواج هو المصـــطلح الذي يعبّر عن طبيعة التداخل أو العمل بين محور وثقب مخصص له، كما في الشكل (3-9).



الشكل(3-9) الأجزاء المتزاوجة

وتتضح أهمية الإزواجات إذا أخذنا في الحسبان مبدأ التصنيع التبادلي الذي يكفل سهولة الحصول على قطع الغيار بصرف النظر عن مكان تصنيعها. فالعمود المنتج في مصنع ما يجب أن يزوج (يركب) مع المحمل المنتج في مصنع آخر بحيث يؤديان الوظيفة السابق تحديدها لهما. والإزواجات إما أن تكون أسطوانية أو مسطحة وذلك تبعاً للشكل الهندسي لقطع الشغل. ففي الإزواجات الأسطوانية تكون المشغولات ذات أسطح أسطوانية ويسمى الجزءان المتزاوجان بالعمود والثقب. أما إذا كانت الأسطح مستوية، فيطلق على هذا الشكل الإزواج المسطح، وتسمى قطعتا الشغل المتزاوجتان بالجزء الداخلي والخارجي. ونظراً لشيوع الإزواجات الأسطوانية في الكثير من التطبيقات الميكانيكية، فإنه سيتم التركيز عليها، مع ملاحظة أن ما سيذكر عن الإزواجات الأسطوانية يصلح أيضاً بصورة مشابهة للإزواجات المسطحة. ويُشار إلى الإزواج برمز يجمع بين القطر الاسمي للثقب (أو العمود) ونطاقي التفاوت للثقب والعمود. فالرمز $\emptyset 30H_9/f_5$ يعني أن البعد الاسمي 30 مم، ونطاق تفاوت الثقب H_9 ونطاق تفاوت العمود f_5.

أنواع الإزواج:

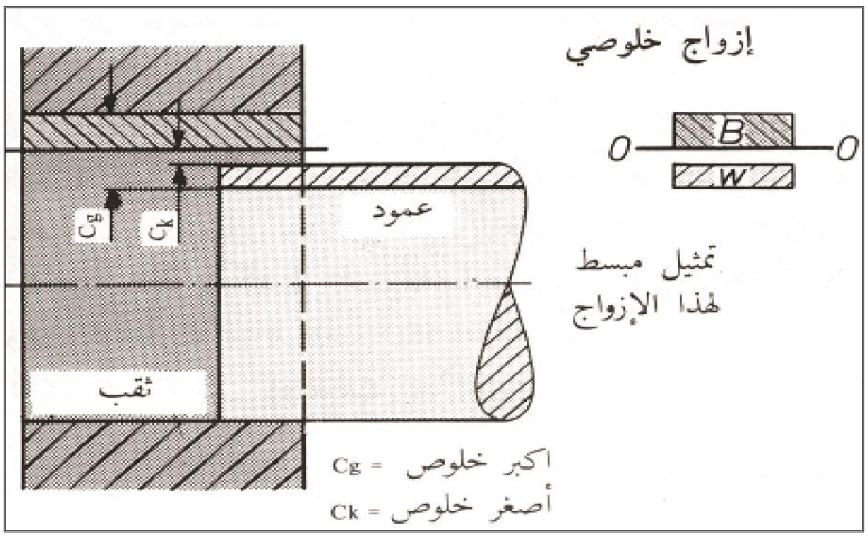
3-3-1- الإزواج الخلوصي: في هذا النوع يتم اختيار نطاق التفاوتات لكلٍّ من العمود والثقب بحيث يوجد دائماً خلوص بينهما عند أي قيم ممكنة للمقاسات الفعلية التي يجب أن تقع داخل نطاق المقاسات الحدية (البستون في محركات الاحتراق الداخلي)، أي أن الأجزاء المتزاوجة يمكنها أن تدور أو تتحرك بالنسبة لبعضها بحرية، الشكل (3-10). ويتوقف مقدار الخلوص على اختيار مواضع نطاقات التفاوت (التي تعتمد على الاستخدام المطلوب للعمود والثقب). في هذه الحالة يكون الحد الأدنى لبعد

الثقب أكبر دائماً من الحد الأعلى لبعد العمود، وبما أنه يوجد لكل من الثقب والعمود حداً أعلى وأخر أدنى لمقاسيهما، فيمكن للخلوص أن يتخذ حداً أكبر أو حداً أصغر كالتالي:

الخلوص الأكبر (الأعظمي) C_g: هو الفرق بين الحد الأعلى لبعد الثقب G_H والحد الأدنى لبعد العمود K_S.

$$C_g = G_H - K_S$$

$$A_{OH} - A_{US} C_g =$$



الشكل (3-10) الإزواج الخلوصي

الخلوص الأصغر(الأصغري)C_K: هو الفرق بين الحد الأدنى لبعد الثقب K_H والحد الأعلى لمقاس العمود G_S.

$$C_K = K_H - G_S$$

$$A_{UH} - A_{OS} C_K =$$

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

$$T_f = C_g - C_K$$

3-3-2- الإزواج التداخلي: هو الإزواج الذي يوجد فيه دائماً تداخل، أي إن الأجزاء المتصلة لا يمكن أن تغير من توضعها مع بعضها بعد التركيب. يقع نطاقا التفاوت في هذا النوع، بحيث يوجد تداخل دائم عند أي قيم ممكنة للأبعاد (المقاسات) الفعلية التي يجب أن تقع داخل نطاق الأبعاد الحدية، وفي هذه الحالة تكون الحركة النسبية بين الجزأين المتزاوجين معدومة، بحيث يظهران كأنهما ملتحمان. وفيه يكون دائماً بعد (مقاس) العمود أكبر من بعد الثقب؛ أي أن الحد الأعلى لبعد الثقب أقل من الحد الأدنى لبعد العمود، كما في الشكل (3-11). ويتم تركيب عمود ذي بعد أكبر (بمقدار التفاوت) داخل ثقب ذي بعد أصغر بعدة طرائق: إما بالكبس الطولي بوساطة مكبس أو بطريقة الإزواج بالانكماش

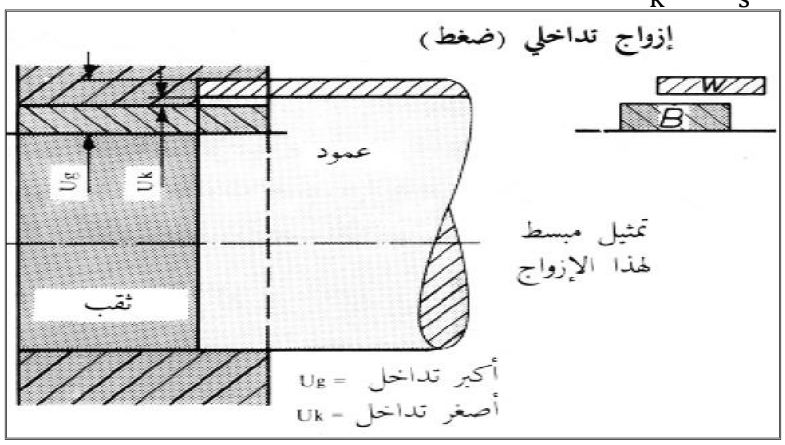
(بتبريد العمود) أوبالتمدد (بتســـخين الثقب) أو بالانكماش والتمدد معاً. ويعتمد مقدار التداخل على مواضـــع نطاقات التفاوت المختارة للعمود والثقب، فإذا كان التفاوت(H) للثقب و(s) للعمود نتج عن ذلك تداخلاً صـــغيراً. أما إذا كانت هناك حاجة لتداخل كبير، فيمكن اختيار عمود ذي تفاوت (za) مع الثقب نفسه، ويتم حساب قيم التداخلين الأكبر والأصغر كما يلي:

التداخل الأكبر U_g: هو الفرق بين الحد الأعلى لمقاس العمود G_S والحد الأدنى لمقاس الثقبK_H.

$$U_g = G_S - K_H$$

التداخل الأصـــغر U_k: هو الفرق بين الحد الأدنى لمقاس العمود K_s والحد الأعلى لمقاس الثقبG_H.

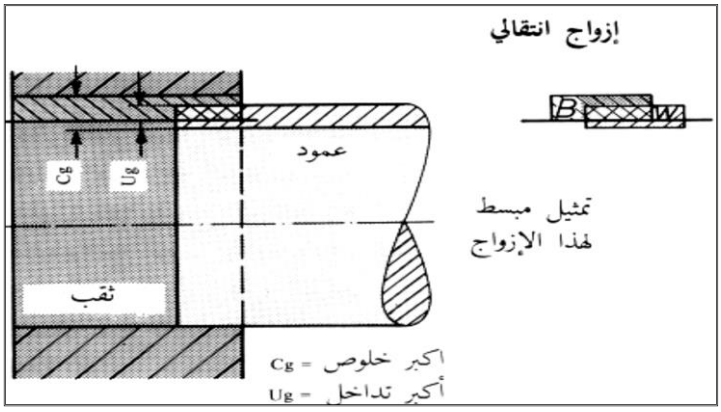
$$U_k = K_S - G_H$$



الشكل (3-11) الإزواج التداخلي

3-3-3- الإزواج الانتقالي: يتداخل في هذا النوع نطاقا التفاوت للثقب وللعمود بحيث يكون الناتج إما خلوصـــاً أو تداخلاً، كما في الشـــكل (3-12) وذلك تبعاً لقيم التفاوتات المختارة، ويحتاج عند التجميع في هذه الحالة عادة إلى ضغطٍ خفيف أو إلى دقٍّ، وفي واقع الأمر يُعد هذا الإزواج مرحلة انتقال بين الإزواجين الخلوصـي والتداخلي، حيث يكون بُعدا الثقب والعمود قريبين من بعضـهما. يتم في هذه الحالة حساب أكبر خلوص وأكبر تداخل ممكنين كما يلي:

$$C_g = G_H - K_S$$
$$U_g = G_S - K_H$$



الشكل(12-3) الإزواج الانتقالي

تُعد الخلوصات الحدية الصفة الرئيسة والمميزة لكل نوع من أنواع الإزواجات، لذا عند حساب مقدار الخلوص الأصغري والخلوص الأعظمي يمكن أن نميز الحالات الثلاث التالية:

1- إذا نتج في أثناء الحساب أن C_k سالبة عندئذ يكون الإزواج تداخلياً، أما إذا نتج أن C_g موجبة فيكون الإزواج انتقالياً.

2- إذا نتج في أثناء الحساب أنC_g سالبة فيكون الإزواج تداخلياً.

3- إذا نتج في أثناء الحساب أن كلاً من C_k و C_g موجبة فيكون الإزواج خلوصياً.

ويمكن أيضاً حساب التفاوت المسموح به في الإزواج T_f من العلاقة:

$$T_f = C_g - C_K$$

تمرين 1: حدّد نوع الإزواج $\phi 30\ H_7/g_5$، ثم احسب كلاً من C_g و C_k وكذلك التفاوت المسموح به في الإزواج.

الحل:

من الجدول (1-2) و (2-2) نأخذ قيم الانحرافات لكل من الثقب والعمود:

للثقب: $A_u = 0$ ، $A_0 = 24\mu m$

وللعمود: $A_0 = -25\ \mu m$ ، $A_0 = -9\ \mu m$

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

$$G = N + A_0$$

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

$$K = N + A_u$$

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

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

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

$$C_g = G_H - K_s$$

$$= 50.025 - 49.975 = 0.050mm$$

$$C_K = G_S - K_H$$

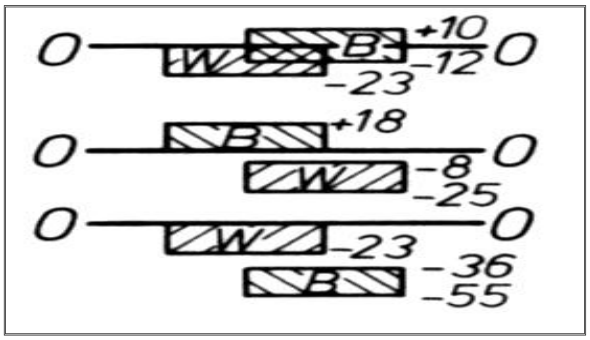
$$= 50 - 49.991 = 0.009\ mm$$

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

$$T_f = G_g - C_K$$

$$= 0.05 - 0.009 = 0.041mm$$

تمريـن 2: حدّد نوع الإزواج في الشكل، ثم احسب مقادير الخلوص والتداخل.



الشكل الأول: نوع الإزواج فيه: ازواج انتقالي.

أكبر خلوص يساوي الفرق بين أكبر مقاس للثقب وأصغر مقاس للعمود.

$$C_g = G_H - K_S = 10 - (-23) = 33\mu m$$

أكبر تداخل يساوي الفرق بين أكبر مقاس للعمود وأصغر مقاس للثقب.

$$U_g = G_S - K_H = 0 - (-12) = 12\mu m$$

الشكل الثاني: نوع الإزواج فيه خلوصي.

أكبر خلوص يساوي الفرق بين المقاس الأقصى للثقب والمقاس الأدنى للعمود.

$$C_g = G_H - K_S = 18 - (-25) = 43\mu m$$

أصغر خلوص يساوي الفرق بين أصغر مقاس للثقب وأكبر مقاس للعمود.

$$C_K = K_H - G_S = 0 - (-8) = 8\mu m$$

الشكل الثالث: نوع الإزواج فيه تداخلي.

أكبر تداخل يساوي الفرق بين أكبر مقاس للعمود وأصغر مقاس للثقب.

$$U_g = G_S - K_H = 0 - (-55) = 55\mu m$$

أصغر تداخل يساوي الفرق بين أصغر مقاس للعمود وأكبر مقاس للثقب.

$$U_k = K_s - G_H = -23 - (-36) = 13\mu m$$

تمرين3: أوجد نوع الإزواج للثقب $\Phi 25_{0}^{+0.033}$ مع المحور $\Phi 25_{+0.008}^{+0.021}$

الحل: نُوجد تفاوتات الثقب:

$A_{oH} = 0.033mm \qquad A_{uH} = 0.0mm$

ثم نُوجد تفاوتات المحور:

$A_{oS} = 0.021mm \qquad A_{uS} = 0.008mm$

ومنه:

$$A_{UH} - A_{OS}C_K =$$

$$C_K = 0 - 0.021 = -0.021mm$$

$$A_{OH} - A_{US}C_g =$$

$$C_g = 0.033 - 0.008 = 0.025mm$$

إذاً الإزواج انتقالي؛ لأن الخلوص الأصغري أصغر من الصفر والأعظمي أكبر من الصفر.

إذا كان الحصـــول على مقادير الخلوصـــات الأصـــغري والأعظمي ليس مهماً، وطُلب فقط معرفة نوع الإزواج فيمكننا بسرعة أن نوجد ذلك من الحدود الأعظمية للثقب والمحور كما يأتي:

1- عندما $K_H \leq G_S$ الإزواج خلوصي(حر)

2- $G_H < K_S$ و $G_S > K_H$ الإزواج انتقالي

3- $G_H \geq K_S$ الإزواج تداخلي(قسري)

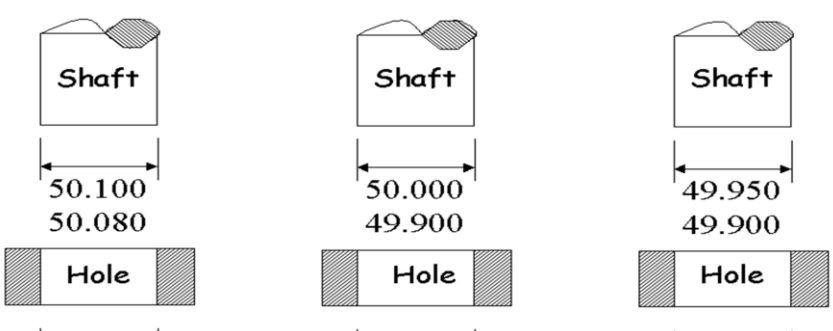
بتطبيق القاعدة السابقة على الشكل (3-13) نستطيع معرفة أنوع الإزواجات بوساطة الحدود الأصغرية والأعظمية، ففي حالة الإزواج الخلوصـــي clearance يُلاحظ أن الحد الأدنى للثقب K_H أكبر أو يساوي الحد الأعلى للعمود G_S:

$$50.000 \leq 49.950$$

أما في حالة الإزواج الانتقالي Transition فإن:

$$50.050 < 49.900$$

$$49.950 > 50.000$$



الشكل (3-13) الحدود الدنيا والعظمى للثقوب والأعمدة المتزاوجة

تمريـن 4: أوجد نوع الإزواج بين الثقب $\Phi 80_{0}^{+0.05}$ والمحور $\Phi 80_{-0.03}^{-0.01}$

الحل: قطر الثقب له تفاوت أصغري مساوٍ للصفر، إذن الحد الأصغري:

$$K_H = 80mm$$

وبما أن تفاوتي المحور سالبان، إذن $G_S < K_H$، أي إن الإزواج خلوصي.

تمريـــن5: حدّد نوع الإزواج $\phi 50H_7/g_6$ واحسب كلاً من C_g و C_k وكذلك التفاوت المسموح به في الإزواج.

الحل: بالنظر في جدول (1-2) و (2-2) نجد أن:

للثقب: $A_0 = 25\mu m$ و $A_u = 0$

وللعمود: $A_0 = -25\mu m$ و $A_u = -9\mu m$

يتضح من هذه القيم أن انحرافي الثقب أكبر من انحرافي العمود، وبالتالي يكون هذا الإزواج خلوصياً؛ لأن قطر الثقب سيكون دائماً أكبر من قطر العمود. نستخدم المعادلات الخاصة بالإزواج الخلوصي لحساب C_g و C_k:

$$G = N + A_0$$

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

$$K = N + A_u$$

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

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

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

$$C_g = G_H - K_S$$

$$C_g = 50.025 - 49.975 = 0.050mm$$

$$C_K = K_H - G_S$$

$$C_K = 50 - 49.991 = 0.009\text{mm}$$

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

$$T_f = C_g - C_K$$

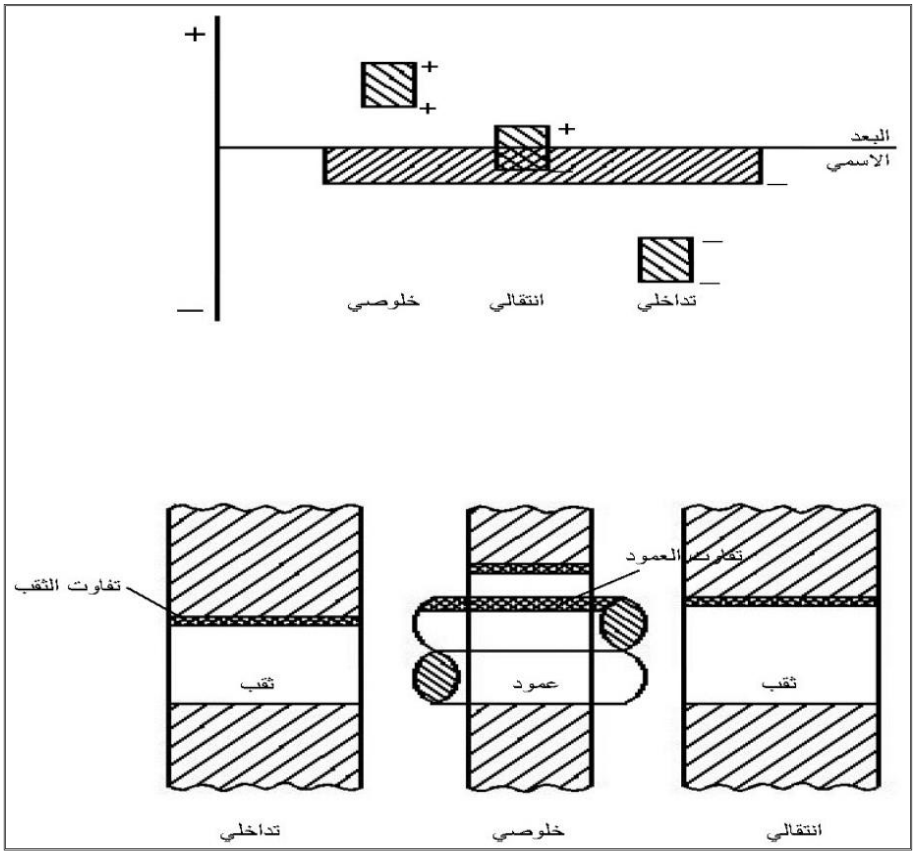
$$= 0.05 - 0.009 = 0.041mm$$

من الممكن اختيار إزواجات أخرى من التفاوتات لكل من العمود والثقب لتأدية الغرض نفسه. هذا التعدد في التفاوتات المتاحة للغرض نفسه ليس اقتصادياً من الناحية العملية، لأن ذلك سيحتاج لشراء أعداد كبيرة من أدوات الفحص للتأكد من قيم هذه التفاوتات في أثناء التصنيع، وبالتالي زيادة في تكلفة المنتج النهائي. لذا تم وضع نظامين محددين للإزواجات، هما نظام أساس العمود ونظام أساس الثقب.

3-4- نظام أساس العمود وأساس الثقب:

عند تصميم الأجهزة والآلات وجميع أنواع الميكانيزمات نستطيع الحصول على الإزواج بين المحاور والثقوب باستخدام قاعدتان، تسمى الأولى قاعدة أساس الثقب (الثقب الثابت) والثانية قاعدة أساس العمود.

3-4-1- نظام أساس العمود: يتم في هذا النظام تثبيت بُعد العمود من أجل تفاوت محدد، بينما يتم تغيير أبعاد الثقوب المتزاوجة مع هذا العمود. وهذا النظام هو النظام المعاكس لنظام أساس الثقب، حيث نحصل فيه على نوعية الإزواج المطلوب من خلال التحكم بأبعاد الثقوب. في نظام أساس العمود يتم تثبيت تفاوت العمود عند الوضع h، بحيث يكون الانحراف الأعلى له مساوياً الصفر، ويختار كقاعدة يرجع إليها لخلوص الأعمدة. يُعد تفاوت العمود سالباً أحادي الاتجاه بحيث يتزاوج مع مجموعة ثقوب ذات تفاوتات مختلفة، وتختار لجميع الثقوب التي تزاوج مع هذا العمود نطاقات تفاوت تقابل نوع الإزواجات المطلوبة (خلوصي أو انتقالي أو تداخلي) لتحقق الأداء الوظيفي المطلوب عند تركيب العمود داخل الثقب، الشكل (3-14).



الشكل (3-14) حالات الإزواج وفق نظام أساس العمود

وبالنظر إلى الشكل (3-15) نجد:

1. الإزواج الخلوصي: يتحقق بإزواج العمود مع مجموعة ثقوب تفاوتاتها موجبة.

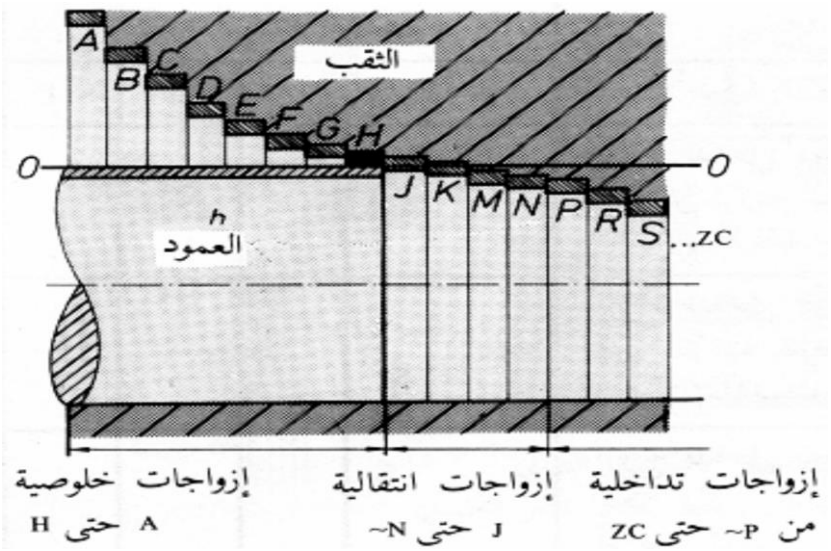
مثال: العمود ذي التفاوت h مع ثقوب من A حتى H يعطي إزواجات خلوصية.

2. الإزواج التداخلي: يتحقق بإزواج العمود مع مجموعة ثقوب تفاوتاتها سالبة.

مثال: العمود ذي التفاوت h مع ثقوب ذي التفاوت منP تقريباً حتى ZC يعطي إزواجات تداخلية.

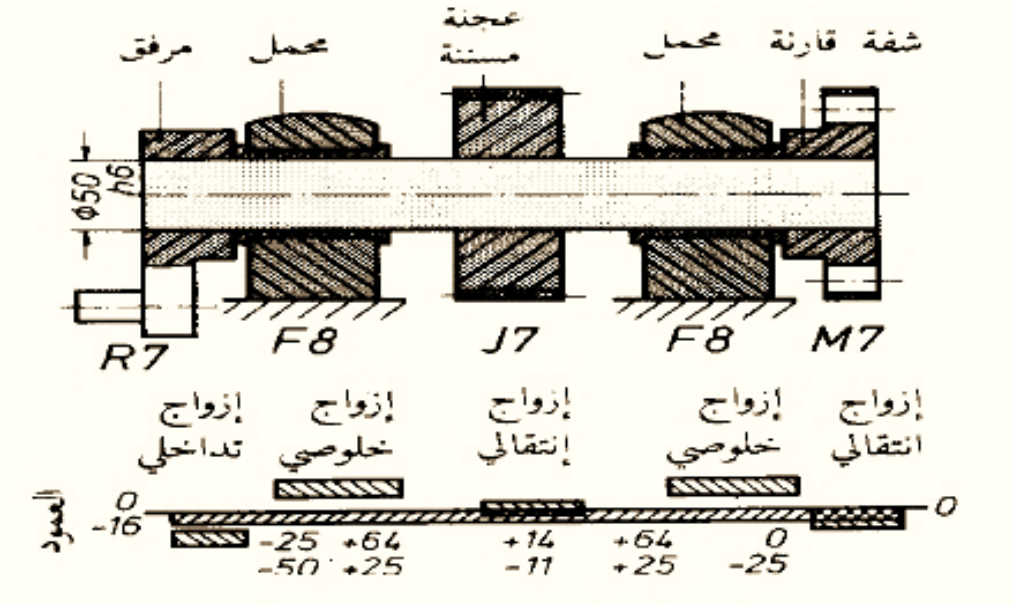
3. الإزواج الانتقالي: يتحقق بتزاوج العمود مع مجموعة الثقوب ذات التفاوتات الثنائية الاتجاه.

مثـال:العمود ذي التفاوت h مع ثقوب من J حتى N يعطي إزواجات انتقالية تقريباً.



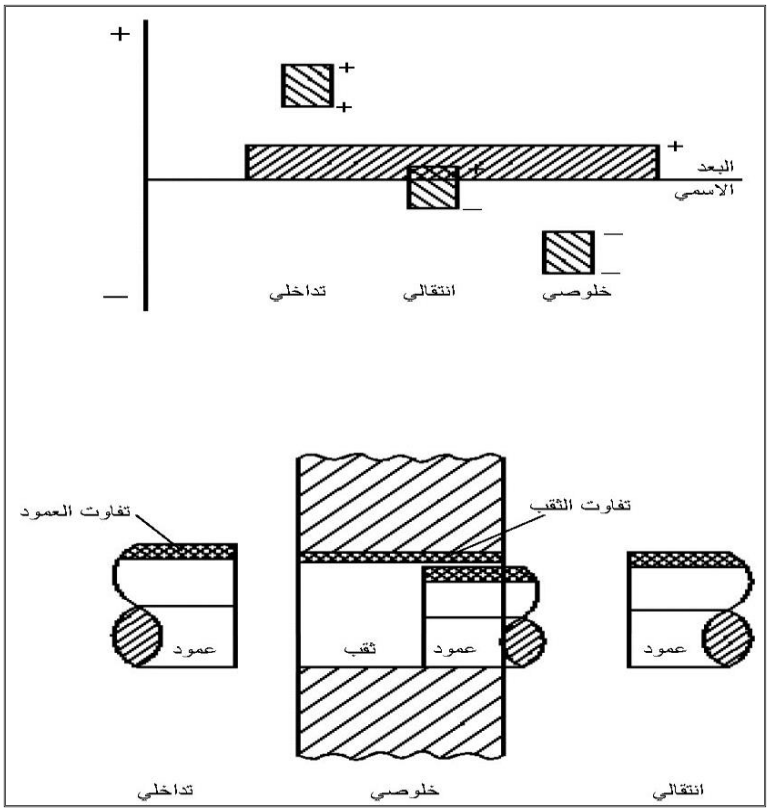
شكل (3-15) نظام أساس العمود

لا يُفضل استخدام هذا النظام، وذلك لأن التحكم بأبعاد العمود عملية سهلة بعكس التحكم بأبعاد الثقب حيث يحتاج هذا الأخير إلى أجهزة ووسائل دقيقة تتطلب عمليات معقدة مجهدة فنياً ومكلفة اقتصادياً. لكن في بعض الحالات يفضل اتباع نظام أساس العمود، كما هو الحال في عملية تشغيل الأعمدة الطويلة ثابتة الأبعاد كالآلات الزراعية، وماكينات النسيج، وآلات الرفع، والتي يجري تركيب عدة أجزاء عليها بإزواجات مختلفة. ويبين الشكل (3-16) عموداً جاهزاً ذا تفاوت مركب عليه عدة أجزاء مختلفة، يحتاج كل منها إلى نوعية إزواج تختلف عن الأخرى وذلك لاختلاف طبيعة عمل كل منهما في أثناء تشغيل العمود.



الشكل (3-16) مثال تطبيقي لنظام أساس العمود

3-4-2- نظام أساس الثقب: في هذا النظام يتم تثبيت بعد الثقب ضمن نطاق التفاوت المحدد، ويتم تغيير بُعد العمود، بحيث نحصل على النوع المطلوب من الإزواج من خلال التحكم بأبعاد العمود. يتميز نظام أساس الثقب بأنه هو المفضل والأكثر استعمالاً في أثناء العمليات التكنولوجية، وذلك لأن تغيير أبعاد الثقب عملية مكلفة مادياً ومجهدة بعكس تغيير أبعاد العمود من الخارج فهي عملية سهلة نسبياً. في نظام أساس الثقب يتم تثبيت تفاوت الثقب عند الوضع H بحيث يكون الانحراف الأدنى له مساوياً الصفر (فوق خط الصفر أو فوق البعد الاسمي)، ويختار كقاعدة يرجع إليها لخلوص الثقوب. يُعد تفاوت الثقب موجباً أحادي الاتجاه بحيث يتزاوج مع مجموعة أعمدة ذات تفاوتات مختلفة، وتختار لجميع الأعمدة التي تزاوج مع هذا الثقب نطاقات تفاوت تقابل نوع الإزواجات المطلوبة (خلوصي أو انتقالي أو تداخلي) لتحقق الأداء المطلوب عند تركيب العمود داخل الثقب، الشكل (17-3).



الشكل (17-3) حالات الإزواج وفق نظام أساس الثقب

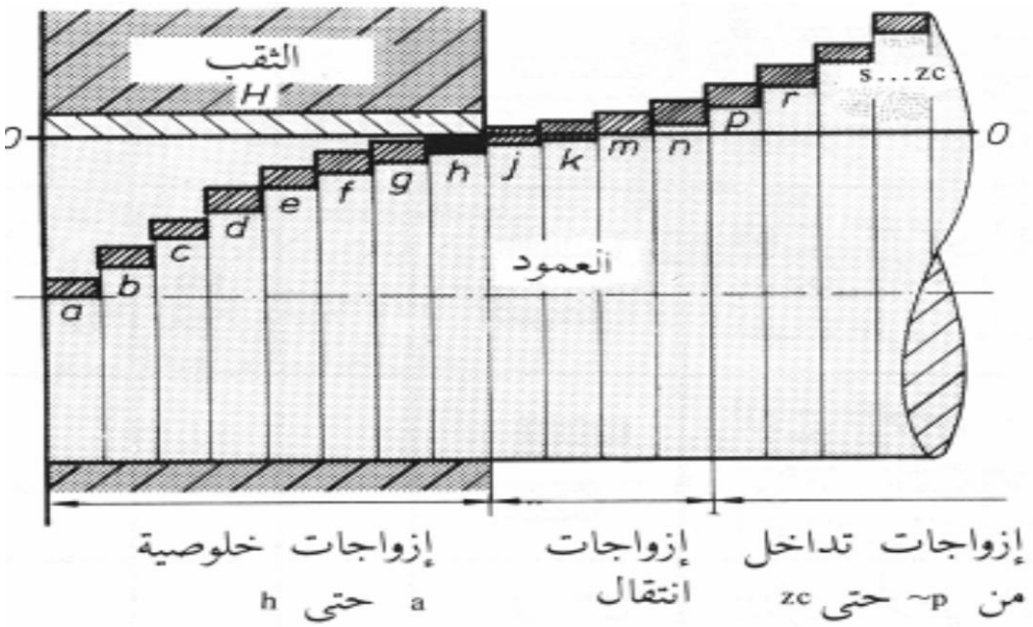
وبالنظر إلى الشكل (18-3) نجد أن:

1- الحالة الخلوصية: تتحقق بإزواج الثقب ذي التفاوت الموجب مع أعمدة تفاوتاتها سالبة أحادية الاتجاه. مثال: الثقب ذو التفاوت H مع عمود ذي تفاوت من a حتى h يعطي إزواجات خلوصية.

2- الحالة التداخلية: تتحقق بإزواج هذا الثقب مع أعمدة تفاوتاتها موجبة، وتقع هذه التفاوتات تماماً فوق تفاوت الثقب.

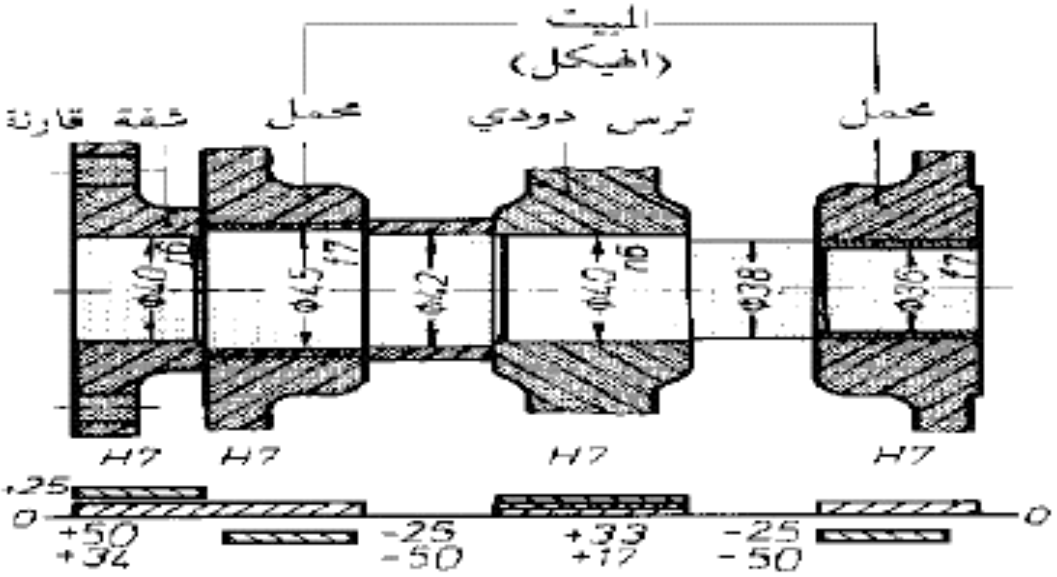
مثال: الثقب H مع عمود ذي تفاوت من P حتى ZC يعطي إزواجات تداخلية.

3- الحالة الانتقالية: تتحقق بإزواج ثقب تفاوته موجب محدد مع أعمدة تفاوتاتها من النوع ثنائي الاتجاه.
مثال: الثقب ذو التفاوت H مع عمود ذي تفاوت من j حتى n تقريباً يعطي إزواجات انتقالية.



الشكل (3-18) نظام أساس الثقب

وينتشر استخدام هذا النظام في المصانع التي يغلب فيها استخدام أعمدة متدرجة الأقطار مثل صناعة السيارات. ويعطي الشكل (3-19) مثالاً عملياً لاستخدام نظام أساس الثقب الذي يُعد أسهل في التصنيع مقارنة بنظام أساس العمود، حيث إنّ تشغيل الأعمدة بالخراطة والتجليخ إلى الأبعاد المطلوبة للإزواج يكون أبسط من تشغيل الثقوب. وتتوافر جداول خاصة للإزواجات الانتقالية والخلوصية والتداخلية. وتحدد في هذه الجداول قيم التفاوتات المناسبة لكل من الثقب والعمود والتي تحقق الإزواجات المطلوبة.



الشكل (3-19) مثال تطبيقي لنظام أساس الثقب

عند اختيار إزواج معين لأحد التطبيقات الميكانيكية، يتم تحديد مدى التداخل أو الخلوص المطلوب، ثم يُختار أحد نظامي الإزواجات ونطاقا التفاوت للثقب والعمود. ويعرض الجدول (3-1) أمثلة عملية على بعض التطبيقات الميكانيكية وعدد من نطاقات التفاوت التي تحقق الإزواجات اللازمة لذلك.

كما يعطي الجدول (3-2) إزواجات ISO التي تحقق إزواجات انتقالية وقيم التفاوتات المناظرة لكل من الثقب والعمود. وتتوافر أيضاً جداول مماثلة للإزواجات الخلوصية وأخرى للإزواجات التداخلية.

تستخدم قاعدة الثقب الثابت في تصميم الآلات وتركيبها بصورة أكبر، ذلك لأنها تسمح بانقاص عدد وأبعاد أدوات القطع ومحددات القياس للثقوب بصورة كبيرة، وكذلك بإنقاص عدد أدوات القياس والمراقبة الخاصة بذلك، بينما قاعدة العمود الثابت تستخدم فقط عند الإنتاج الغزير والمتكرر لأنها تسمح باستخدام كمية كبيرة من أدوات القطع ومحددات القياس اللازمة للثقوب، وذلك من أجل الحصول على سهولة في التشغيل أو في التركيب. كما تستخدم قاعدة العمود الثابت عند إنتاج المحاور المتدرجة عندما نركب على محور واحد عدة قطع وكل قطعة منها تعطي مع المحور نوعاً مختلفاً من الإزواج، عندها من الأفضل استخدام قاعدة العمود الثابت، وإنتاج كل القطع المراد تثبيتها عليه بتسامحات مختلفة حسب نوع الإزواج المطلوب. كما تستخدم قاعدة العمود الثابت عند إنتاج المحاور الصغيرة وذات الأقطار الصغيرة حيث لا تسمح لنا طرائق الإنتاج تغيير أبعاد المحور وتنويع طرائق إنتاجه. فيما عدا ذلك نستخدم دائماً قاعدة الثقب الثابت للأسباب التي مرّ ذكرها سابقاً لتوافر عِدد الأدوات والمعدات وأدوات القطع في إنتاج الثقوب.

تمرين 6:

ماهو نوع الإزواج بين العمود $\emptyset 32_{-0.016}$ والثقب $\emptyset 32^{+0.05}_{+0.025}$.

الحـل:

الإزواج الحاصل هو إزواج خلوصي حر لأن $(C_k > 0)$

بينما يعطي مع الثقب $\emptyset 32_{-0.025}$ إزواجاً انتقالياً لأن $(C_k < 0)$ و $(C_g > 0)$

تمريـن7:

أوجد كلاً من الحد الأعلى للخلوص C_g، والحد الأدنى للخلوص C_k، والتفاوت المسـموح به في الإزواج من خلال: $\emptyset 50\ H7/g6$.

الحـل:

من الجدول للثقب H7:

الانحراف العلوي: $A_0 = 25\mu m$ ، الانحراف السفلي: $A_u = 0\mu m$

ومن الجدول للعمود g6:

الانحراف العلوي: $A_0 = -9\mu m$ ، الانحراف السفلي: $A_u = -25\mu m$

الحد الأعلى لمقاس الثقب:

$$G_H = N + A0 = 50 + 0.025 = 50.025mm$$

الحد الأدنى لمقاس الثقب:

$$K_H = N + Au = 50 + 0 = 50mm$$

الحد الأعلى لمقاس العمود:

$$G_s = N + A0 = 50 + (-0.009) = 49.991mm$$

الحد الأدنى لمقاس العمود:

$$K_s = N + Au = 50 + (-0.025) = 49.975mm$$

الحد الأعلى للخلوص:

$$C_g = G_H - K_S = 50.025 - 49.975 = 0.050mm$$

الحد الأدنى للخلوص:

$$C_k = K_H - G_S = 50 - 49.991 = 0.009mm$$

التفاوت المسموح به في الإزواج:

$$T_f = C_g - C_k = 0.050 - 0.009 = 0.041mm$$

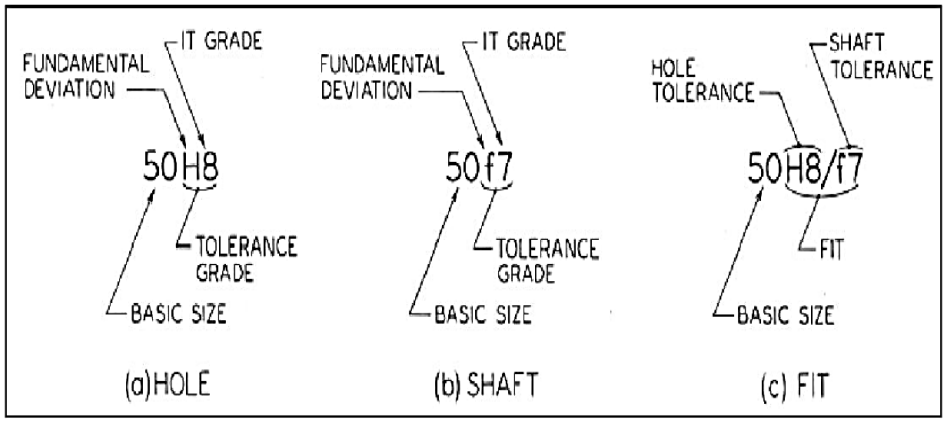
الجدول(1-3) بعض التطبيقات الميكانيكية والإزواجات المناظرة

نظام أساس الثقب				التمثيل والوصف	نظام أساس العمود			
H7	H8	H11		الأعمدة الثقوب		h6	h9	h11

						u8	
إزواج تداخلي ذو تداخل كبير: لا يمكن تركيبه سوى بالانكماش أو بالتمدد، ويستخدم لإزواج العجلات على المحاور والمسامير المرفقة في أعمدة المرفق والحلقات الانكماشية.							
إزواج تداخلي وتداخل كاف: يمكن تركيبه بقوة كبس كبيرة أو بالانكماش أو التمدد، ويستخدم لإزواج الأطواق على العجلات الدوارة والعجلات على المحاور.							s6
إزواج تداخلي ذو تداخل صغير: يمكن تركيبه بالكبس، ويستخدم لإزواج جلب المحامل في المبيتات، وللأطواق المسننة على أقراص التروس.							r6
إزواج انتقالي بتداخل كبير وخلوص صغير: يمكن تركيبه بقوة كبس صغيرة، ويستخدم للتفاوتات وجلب المحامل في المبيتات(الصناديق) والتروس الصغيرة على أطراف الأعمدة .							h6
إزواج انتقالي بتداخل وخلوص متساوين تقريباً: يمكن تركيبه بالطرائق مع إحكام أجزاء المكنات ضد الدوران، ويستخدم للتفاوتات والتروس وبكرات السيور والعجلات اليدوية .							k6
إزواج انتقالي بتداخل ضغير وخلوص كبير: يمكن تركيبه بالطرائق الخفيف مع إحكام أجزاء المكنات ضد الدوران، يستخدم لبكرات السيور والتروس والعجلات اليدوية .							j6
إزواج خلوصي لا يزال قابلاً للانزلاق:لا يزال انزلاق الأجزاء ممكناً مع توجيهٍ بالدقة، ويستخدم لأدوات المركزة وللأعمدة الجوفاء في المبيتات والحلقات المتباعدة (ضبط الأبعاد) .			H7	H8	11 H	h11	h9	h6
إزواج خلوصي و قابلية جيدة للانزلاق:يُستعمل للمحامل الانزلاقية لأعمدة التشغيل بمكنات التشغيل، وللقوابض المنزلقة ولتروس تغيير السرعة			G7				g6
إزواج خلوصي ذو خلوص صغير: يستعمل للمحامل الانزلاقية عموماً ولقياسات التوجيه في الأسطوانات ولتروس التغيير، وللتروس المنزلقة .			F8	F8		f7		
إزواج خلوصي ذو خلوص ملحوظ: يستعمل للمحامل الانزلاقية ذات الأعمدة الطويلة أو مواضع التحميل المتعددة , ومحامل أعمدة المرفق وأعمدة التروس الدودية , ومحامل أذرع الروافع				E9		e8		

10 D	10 D			**إزواج خلوصي ذو خلوص كاف:** يستعمل للمحامل الخاصة بمكنات البناء والآلات الزراعية، ولمحامل أليات إدارة المرافيع وعرباتها، وللبكرات السائبة (غير الناقلة للقدرة) .		d9	d9	
11 C			c11	**إزواج خلوصي ذو خلوص كبير** يستعمل للمحامل المعرضة لسخونة شديدة وللمكنات غير الدقيقة ولقواعد المحامل ولمسامير المفاصل .				
11 A			u11	**إزواج خلوصي ذو خلوص كبير جداً** يستعمل للمحامل ذات التزليق غير الكافي والمعرضة لخطر التلوث, ولأجزاء الحفارات, وللوصلات المفصلية .				

يبيّن الشكل (20–3) القراءة الهندسية لترميز الثقوب والأعمدة في المخططات والرسوم التصميمية.



الشكل (20–3) القراءة الهندسية لترميز الثقوب والأعمدة

جدول (1-2-3) بعض الازواجات وفق ISO (نظام أساس العمود h8)

للإزواجات الخلوصية مع الثقوب التالية: B9-C9-D9-E8-F8-F7-H9-H8

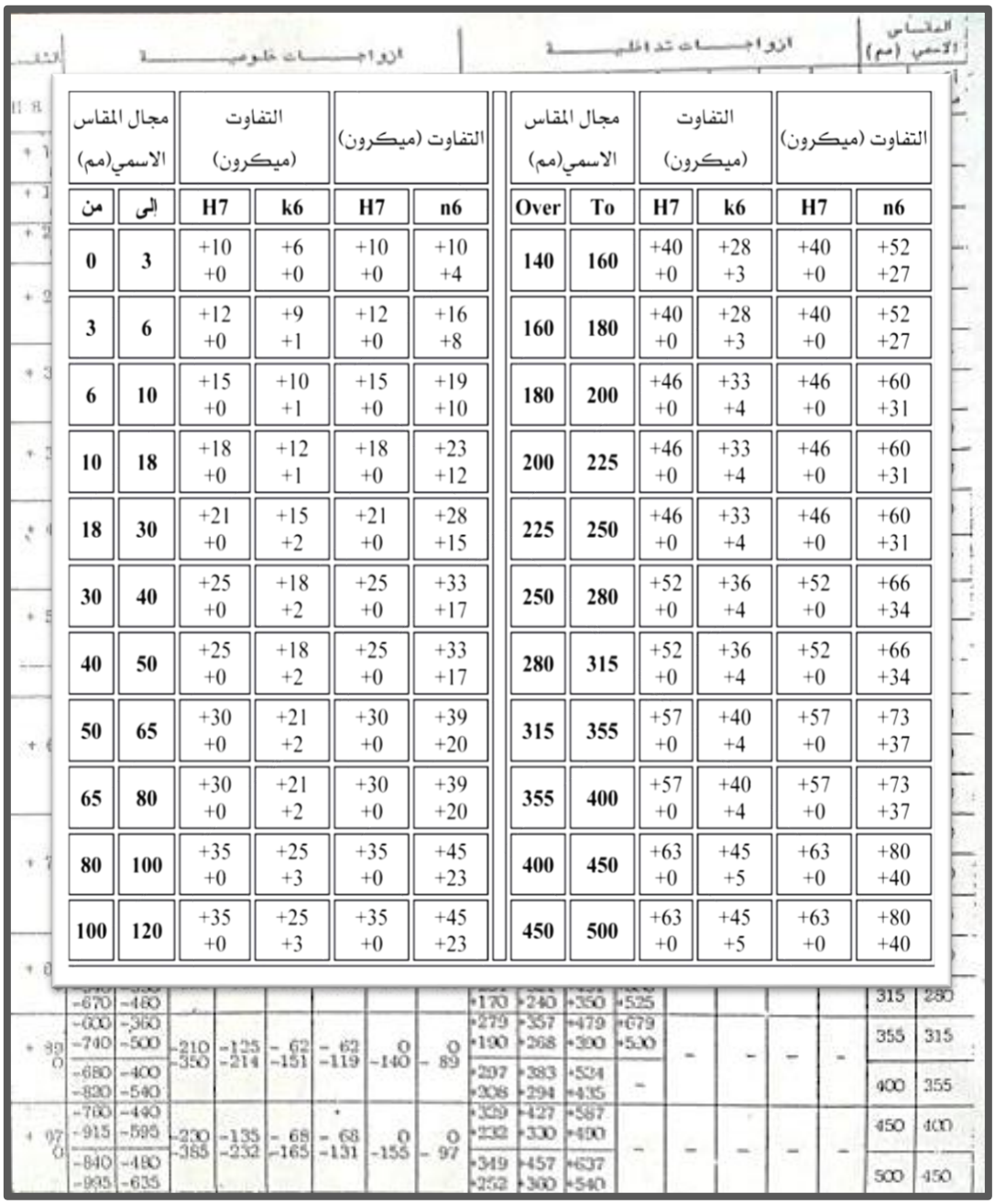
وللإزواجات التداخلية مع الثقوب التالية: S8-T8-U8-X8-Z8-ZA8-ZB8-ZC8

المقاسات الاسمية (مم)		ازواجات خلوصية								ازواجات تداخلية								
أكبر من	حتى	H8	D9	C 9	D9	E8	F8	F7	H9	H8	S8	T8	U8	X8	Z8	ZA8	ZB8	ZC8
3		0	+165	+ 85	+ 45	+ 28	+ 21	+ 16	+ 25	+ 14	- 15	-	-	- 22	- 28	-	- 40	- 50
		- 14	+140	+ 60	+ 20	+ 14	+ 7	+ 7	0	0	- 29			- 36	- 42		- 54	- 64
6	3	0	+170	+100	+ 60	+ 38	+ 28	+ 22	+ 30	+ 18	- 19	-	-	- 28	- 35	-	- 53	- 69
		- 18	+140	+ 70	+ 30	+ 20	+ 10	+ 10	0	0	- 37			- 45	- 53		- 71	- 87
10	6	0	+186	+116	+ 76	+ 47	+ 35	+ 28	+ 36	+ 22	- 23	-	-	- 34	- 42	- 52	- 70	- 97
		- 22	+150	+ 80	+ 40	+ 25	+ 13	+ 13	0	0	- 45			- 56	- 64	- 34	- 92	-119
14	10	0	+193	+138	+ 93	+ 50	+ 43	+ 34	+ 43	+ 27	- 28	-	-	- 40	- 50	- 64	- 90	-130
		- 27	+150	+ 95	+ 50	+ 32	+ 16	+ 16	0	0	- 55			- 67	- 77	- 91	-117	-157
18	14													- 45	- 60	- 77	-103	- 150
														- 72	- 87	-104	-135	-177
24	18	0	+212	+162	+117	+ 73	+ 53	+ 41	+ 52	+ 33	- 35	-	-	- 54	- 73	- 98	-136	-188
		- 33	+160	+110	+ 65	+ 40	+ 20	+ 20	0	0	- 68			- 87	-106	-131	-169	-221
30	24												- 48	- 64	- 88	-118	-160	-218
													- 81	- 97	-121	-151	-193	-251
40	30		+232	+182									- 60	- 80	-112	-148	-200	
		0	+170	+130	+142	+ 89	+ 64	+ 50	+ 62	+ 39	- 43	-	- 99	-119	-151	-187	-239	-
50	40	- 39	+242	+192	+ 80	+ 50	+ 25	+ 25	0	0	- 82		+ 70	- 97	-136	-180	-242	
			+180	+130									-109	-136	-175	-219	-281	
65	50		+264	+214							- 53	-	- 87	-122	-172	-226	-300	
		0	+190	+140	+174	+106	+ 76	+ 60	+ 74	+ 46	- 59		-133	-168	-216	-272	-316	-
80	65	- 46	+274	+224	+100	+ 60	+ 30	+ 30	0	0	- 79	-	-102	-146	-210	-274	-	
			+200	+150							-100		-148	-192	-256	-330		
100	80		+307	+257							- 71	-	-124	-178	-258	-335		
		0	+220	+170	+207	+126	+ 90	+ 71	+ 87	+ 54	-125		-178	-232	-312	-389	-	-
120	100	- 54	+327	+267	+120	+ 72	+ 36	+ 36	0	0	- 79	-101	-144	-210	-310	-		
			+240	+180							-133	-158	-191	-254	-354			
140	120		+360	+300							- 92	-122	-170	-248	-365			
			+260	+200							-155	-185	-233	-311	-428			
160	140	0	+380	+310	+245	+148	+106	+ 83	+100	+ 63	-100	-134	-190	-280	-415	-	-	-
		- 63	+280	+210	+145	+ 85	+ 43	+ 43	0	0	-163	-197	-253	-343	-478			
180	160		+410	+330							-108	-146	-210	-310	-			
			+310	+230							-171	-209	-273	-313				
200	180		+455	+355							-122	-166	-236	-350				
			+340	+240							-194	-238	-306	-422				
225	200	0	+495	+375	+285	+172	+122	+ 96	+115	+ 72	-130	-180	-258	-385	-	-	-	-
		- 72	+380	+260	+170	+100	+ 50	+ 50	0	0	-202	-252	-330	-457				
250	225		+535	+395							-140	-196	-284	-425				
			+420	+280							-212	-268	-356	-497				
280	250		+610	+430							-158	-218	-315	-475				
		0	+480	+300	+320	+191	+137	+108	+130	+ 81	-239	-299	-396	-556	-	-	-	-
315	280	- 81	+670	+460	+190	+110	+ 56	+ 56	0	0	-170	-240	-350	-525				
			+540	+330							-251	-321	-431	-606				
355	315		+740	+500							-190	-268	-390	-590				
		0	+600	+360	+350	+214	+151	+119	+140	+ 89	-279	-357	-479	-679	-	-	-	-
400	355	- 89	+820	+540	+210	+125	+ 62	+ 62	0	0	-208	-294	-435	-				
			+680	+400							-297	-383	-524					
450	400		+915	+595							-232	-330	-490					
		0	+760	+440	+385	+232	+165	+131	+155	+ 97	-329	-427	-587	-	-	-	-	-
500	450	- 97	+995	+635	+230	+135	+ 68	+ 68	0	0	-252	-360	-540					
			+840	+480							-319	-457	-637					

جدول (3-2-2) بعض الازواجات وفق ISO (نظام أساس الثقب H8)

للإزواجات الخلوصية مع الأعمدة التالية: b9-c9-d9-e8-f8-f7-h9-h8

وللإزواجات التداخلية مع الأعمدة التالية: s8-t8-u8-x8-z8-za8-zb8-zc8



مجال المقاس الاسمي(مم)		التفاوت (ميكرون)		التفاوت (ميكرون)		مجال المقاس الاسمي(مم)		التفاوت (ميكرون)		التفاوت (ميكرون)	
من	الى	H7	k6	H7	n6	Over	To	H7	k6	H7	n6
0	3	+10 +0	+6 +0	+10 +0	+10 +4	140	160	+40 +0	+28 +3	+40 +0	+52 +27
3	6	+12 +0	+9 +1	+12 +0	+16 +8	160	180	+40 +0	+28 +3	+40 +0	+52 +27
6	10	+15 +0	+10 +1	+15 +0	+19 +10	180	200	+46 +0	+33 +4	+46 +0	+60 +31
10	18	+18 +0	+12 +1	+18 +0	+23 +12	200	225	+46 +0	+33 +4	+46 +0	+60 +31
18	30	+21 +0	+15 +2	+21 +0	+28 +15	225	250	+46 +0	+33 +4	+46 +0	+60 +31
30	40	+25 +0	+18 +2	+25 +0	+33 +17	250	280	+52 +0	+36 +4	+52 +0	+66 +34
40	50	+25 +0	+18 +2	+25 +0	+33 +17	280	315	+52 +0	+36 +4	+52 +0	+66 +34
50	65	+30 +0	+21 +2	+30 +0	+39 +20	315	355	+57 +0	+40 +4	+57 +0	+73 +37
65	80	+30 +0	+21 +2	+30 +0	+39 +20	355	400	+57 +0	+40 +4	+57 +0	+73 +37
80	100	+35 +0	+25 +3	+35 +0	+45 +23	400	450	+63 +0	+45 +5	+63 +0	+80 +40
100	120	+35 +0	+25 +3	+35 +0	+45 +23	450	500	+63 +0	+45 +5	+63 +0	+80 +40

جدول (3-2-3) بعض إزواجات ISO الانتقالية (نظام أساس الثقب)

بالإضـــافة للتفاوتات الخاصـــة بأبعاد القطع التي تتراكب في بعضـــها البعض، كالأعمدة والثقوب، توجد بعض التطبيقات التي تكون فيها القطع بمفردها، وبالتالي تســـمى أبعادها بالأبعاد الحرة. وهذه الأبعاد لها

أيضاً حدود مسموحة للتفاوتات لكي يتم إنتاجها بدقة مقبولة تجعلها تؤدي وظيفتها على أفضل وجه ممكن.

وتعطي المواصفة الألمانية DIN ISO 2768 رموز تفاوتات الأبعاد الحرة وقيمها.

3-5- الأنظمة الدولية للإزواجات:

3-5-1- النظام الألماني للإزواجات:

في بداية ظهور الإنتاج الكمي، تشكل نظام أولي للإزواجات يعد الخطوة الأولى على طريق الوصول إلى نظام متكامل موحد، والنظام الألماني يُعد من أقدم الأنظمة للإزواجات التي قام على أساسها النظام الدولي ISA. ويحدد هذا النظام التفاوتات المتعلقة بالأعمدة والثقوب ومختلف السطوح على شكل وحدة تفاوت أساسية، تتناسب هذه الوحدة مع الجذر التكعيبي لبعد القطعة المشغلة. وتتحدد قيمة وحدة التفاوت الأساسية في هذا النظام بالشكل:

$$i = 0.5D^{1/3}\mu m$$

حيث:

D – مجال الأقطار الوسطي (الوسط الهندسي لمجال الأقطار بوحدة mm)،

i – وحدة التفاوت الأساسية (µm).

يتألف النظام الألماني من أربع درجات لدقة الإزواجات، وتتألف كل درجة دقة من عدة رتب من الإزواجات بحيث يتم الحصول على أنواع مختلفة من الإزواجات. وتجدر الإشارة إلى أن هذا النظام قد تم العزوف عنه بسبب المجال المحدود للإزواجات التي يمكن الحصول عليها بوساطة هذا النظام.

3-5-2- النظام الروسي للإزواجات:

أنجز النظام الروسي للإزواجات في عام 1929، ويقوم هذا النظام على نظام التجاوزات الأحادية الاتجاه، ويشتمل على نظامي أساس الثقب وأساس العمود، ويتضمن سبع رتب للتجاوزات هي: 1, 2, 2a, 3, 3a, 4, 5

حيث يزيد مقدار التجاوز مع زيادة الرقم. ويحتوي النظام الروسي أيضاً على ثلاث رتب أخرى هي: 7, 8, 9وهي رتب ذات تجاوزات كبيرة لا تستعمل في الإزواجات، ويقتصر استعمالها على المنتجات نصف المشغلة، ويتكون التجاوز لكل رتبة من عدد معين من وحدات التجاوز التي تتناسب تناسباً مباشراً مع الجذر التكعيبي للبعد وفق علاقة وحدة التفاوت الأساسية التالية:

$$i = 0.5D^{1/3}\mu m$$

D– قطر المشغولة بـ mm.

i – وحدة التفاوت الأساسية الناتجة بـ μm.

يتم الحصول على مختلف التفاوتات المطلوبة كمضاعفات لوحدة التفاوت الأساسية هذه، حيث تمكننا هذه التفاوتات من الحصول على درجات دقة متوسطة وعالية، ويتم اختيار درجة الدقة المناسبة حسب التصميم المطلوب.

يبين الجدول (3-3) عدد وحدات التجاوز (التفاوت) التي تتكون منها كل رتبة بالنسبة لكل من الثقب والعمود.

الجدول (3-3) رتب التفاوتات للثقب والعمود حسب النظام الروسي

رتب التجاوزات	رتب عالية الدقة			رتب متوسطة الدقة				رتب لا تصلح للإزواجات		
	1	2	2a	3	3a	4	5	7	8	9
ثقب	10	16	25	30	64	100	200	400	640	1000
عمود	7	10	16	30	64	100	200	400	640	1000

تمريـــــــن 8 : من أجل ثقب قطره D = 20mm، يطلب إيجاد تفاوت لهذا الثقب من الرتبة الثالثة باستخدام جدول رتب التفاوتات.

الحل: أولاً يتم حساب وحدة التفاوت الأساسية:

$$i = 0.5D^{1/3}$$

$$= 0.5 \times 20^{1/3} = 1.537\mu m$$

وباستخدام جدول رتب التفاوتات ينتج التفاوت المطلوب للثقب:

$$T = 25\ x1.537 = 33{,}930\mu m$$

3-5-3-النظام الدولي للإزواجات ISA :

يعد النظام الدولي للإزواجات من أدق الأنظمة المستعملة حتى الآن وأكملها، حيث يحتوي على مجال واسع للتفاوتات مما يسهل الحصول على مختلف الإزواجات المطلوبة، وتعمل به أوروبا وبريطانيا والولايات المتحدة الأمريكية بشكل أساسي. يتضمن النظام الدولي للمواصفات ISA ست عشرة رتبة تفاوت (درجات السماحية) بدءاً منIT1 وحتى IT16، وواحد وعشرين نوعاً من الإزواجات بين الثقوب والأعمدة. تحقق هذه الإزواجات مختلف الحالات المطلوبة: خلوصية، وتداخلية، وانتقالية وبرتب مختلفة تناسب الهدف المطلوب. أما وحدة التفاوت الأساسية في النظام ISA فتعطى بالعلاقة:

$$i = 0.45 \times \sqrt[3]{D} + 0.001D$$

D- الوسط الهندسي بين حدي مجال البعد الأساسي بـ mm.

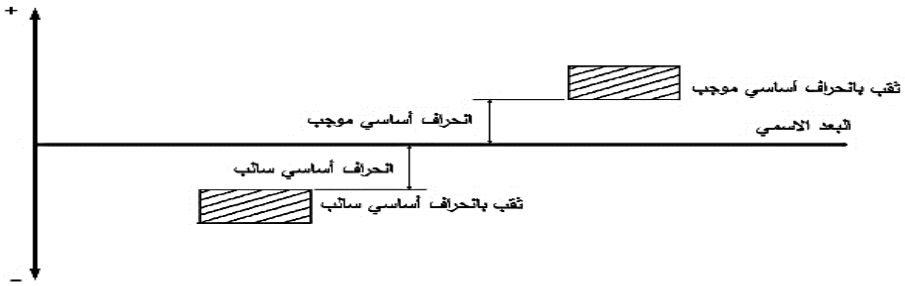
i- وحدة التفاوت الأساسية في نظام ISA بـ µm.

بمقارنة هذه الوحدة بوحدة التفاوت الأساسية في النظام الألماني نجد أن النظام الألماني لم يأخذ بالحسبان ارتياب القياس الذي يتزايد مع تزايد البعد الأساسي بسبب الانحرافات الناتجة عن المرونة والحرارة...وهو الحد الثاني (0.001D) في علاقة التفاوت الأساسية في النظام الدولي. أما الحد $\sqrt[3]{D}$ فقد اختير استناداً إلى طرائق الإنتاج، وتتناسب i مع الجذر التكعيبي لقطر الجزء $\sqrt[3]{D}$، أي إن هذه الوحدة تختلف من عمود لآخر (أو من ثقب لآخر) حسب البعد D.

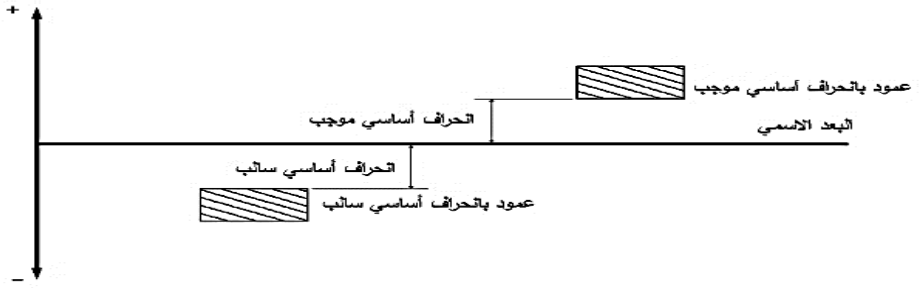
يرمز للانحرافات الأساسية للثقوب في النظام الدولي ISA بأحرف كبيرة، وللأعمدة بأحرف صغيرة. والانحراف الأساسي هو المسافة الفاصلة بين خط الصفر أو البعد الاسمي وطرف منطقة التفاوت القريبة من خط الصفر كما في الشكل (21-3).

يبين الشكل (22-2) المواضع النسبية للانحرافات الأساسية للثقوب والأعمدة في نظام ISA، حيث يتضح من الشكل أن الأحرف من A حتى H بالنسبة للثقب، والحروف من k إلى z بالنسبة للعمود تدل على مناطق تجاوز تقع أعلى من خط الأساس، كما أن الحروف من a إلى h بالنسبة للعمود، والحروف من K إلى Z بالنسبة لثقب ترمز إلى مناطق تجاوز تقع تحت خط الأساس. بينما تفاوت J و K فيقع على جانبي خط الصفر.

الشكل(3-21) الانحراف الأساسي للثقب والعمود



يُلاحظ في الشكل (3-21) أنه يوجد 21 انحرافاً

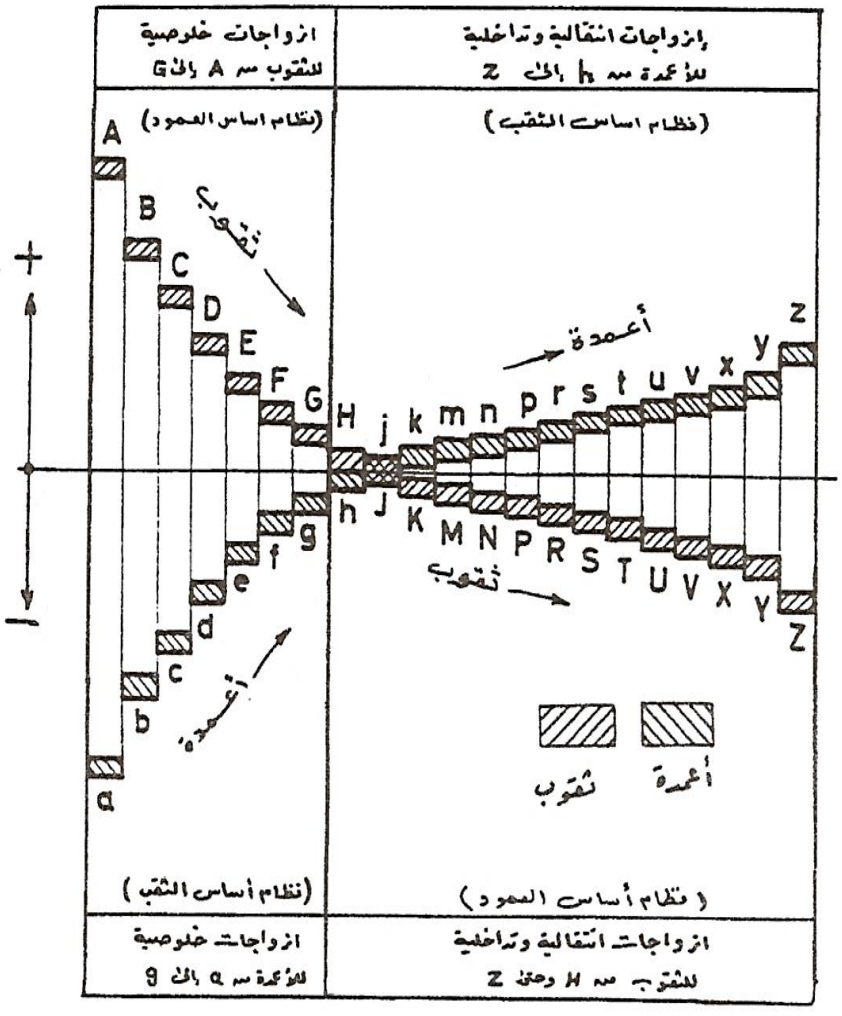


أساسياً عن البعد الاسمي للثقوب مرمزة بالأحرف الكبيرة بدءاً من A حتى Z، والأعمدة من a إلى z بأحرف صغيرة.

إن الثقوب بدءاً من A وحتى G يمكن مزاوجتها مع أعمدة بدءاً من a وحتى g (انحراف أساسي a، انحراف أساسي b...انحراف أساسي g) بحيث تحقق الحالة الخلوصية للإزواج.

الشكل (22-3) النظام الدولي ISA للإزواجات والتفاوتات

بالنسبة لانحراف الثقب الأساسي H فيبدأ من خط الصفر ويمتد بالاتجاه الموجب بحيث يشكل تفاوتاً موجباً أحادي الاتجاه. أما بالنسبة لانحراف العمود h فيقع تحت خط الصفر بدءاً من البعد الاسمي ويمتد بالاتجاه السالب مكوناً تفاوتاً سالباً أحادي الاتجاه.



تقع الثقوب بدءاً من J حتى Z في الاتجاه السالب بتفاوتات سالبة أحادية الاتجاه، والأعمدة من j وحتى z على عكس الثقوب السابقة تقع فوق البعد الاسمي بتفاوتات موجبة أحادية الاتجاه. إن تزاوج الثقوب J ← Z مع الأعمدة j ← z يعطي إزواجات تداخلية وانتقالية. يوصي نظام ISA باستخدام نظام أساس الثقب.

3-5-4- النظام الدولي ISO للإزواجات والتفاوتات:

يُعد النظام الدولي ISO للإزواجات والتفاوتات من أكمل الأنظمة العالمية حتى الآن، وهو مستخدم في معظم دول العالم، ويشتمل على تشكيلات متعددة من الرتب عددها 18 رتبة دقة من IT01 حتى IT16 أي أنه يزيد عن النظام الدولي ISA برتبتين إضافيتين للتجاوز الأساسي هما IT0 و IT01. كما

يحتوي على 28 نوعاً من الإزواجات تحقق مجالاً واســـعاً من أنواع التزاوج بدءاً من الإزواجات ذات الخلوصـــية الكبيرة مروراً بالإزواجات ذات الخلوصـــية العادية والإزواجات الانتقالية، حتى الإزواجات التداخلية بأنواعها، الشكل (23-3). وبالطبع يوصي نظامISO باستخدام نظام أساس الثقب. يتضمن هذا النظام، بالإضـافة إلى 21 نوعاً من الانحرافات الأسـاسـية الموجودة في نظام ISA، سـبعة أنواع من الإزواجات بالنسبة لكل من الثقب والعمود وهي:

- بالنسبة للثقب: CD, EF, FG, JS, ZA, ZB, ZC
- بالنسبة للعمود: cd, ef, fg, js, za, zb, zc.

كما في نظام ISA يلاحظ أن الانحراف الأساسي للثقب H يبدأ من خط الصفر ويمتد بالاتجاه الموجب مشـكلاً تفاوتاً موجباً أحادي الاتجاه. أما بالنسـبة لانحراف العمود الأسـاسـي h فيقع تحت خط الصـفر بدءاً من البعد الاسمي ويمتد بالاتجاه السالب مكوناً تفاوتاً سالباً أحادي الاتجاه.

ووضع لكل تسامح رمز يدل عليه، وهذا الرمز يتألف من حرف لاتيني كبير للثقوب وحرف لاتيني صغير للأعمدة يعين نوع التســامح (مجال التســامح بالنســبة للبعد الاسمي)، ومن عدد يحدد درجة التســامح، مثلاً H11 ، M6...الخ. وحيث أنه لا يمكن تحديد مقدار تفاوت لكل بعد اسمي على حدةٍ (لوجود عدد لانهائي من الأبعاد الاسمية) فقد تم تحديد مجالات اسمية من 1 مم إلى 500 مم لتغطية الأبعاد الاسمية الشائعة الاستخدام. فعلى سبيل المثال توجد مجالات اسمية كالآتي:

أكبر من 1مم حتى 3مم، أكبر من3مم حتى 6مم، أكبر من 6مم حتى 10مم، أكبر من 10مم حتى 18مم وهكذا.

يمكن تمييز وضعيات حقول التسامح للمحاور والثقوب كالتالي:

1- تتوضع حقول التسامح المعينة بالأحرف a – h (للأبعاد الخارجية) تحت خط الصفر، بينما الأحرف A –H (للأبعاد الداخلية) فوق خط الصفر.

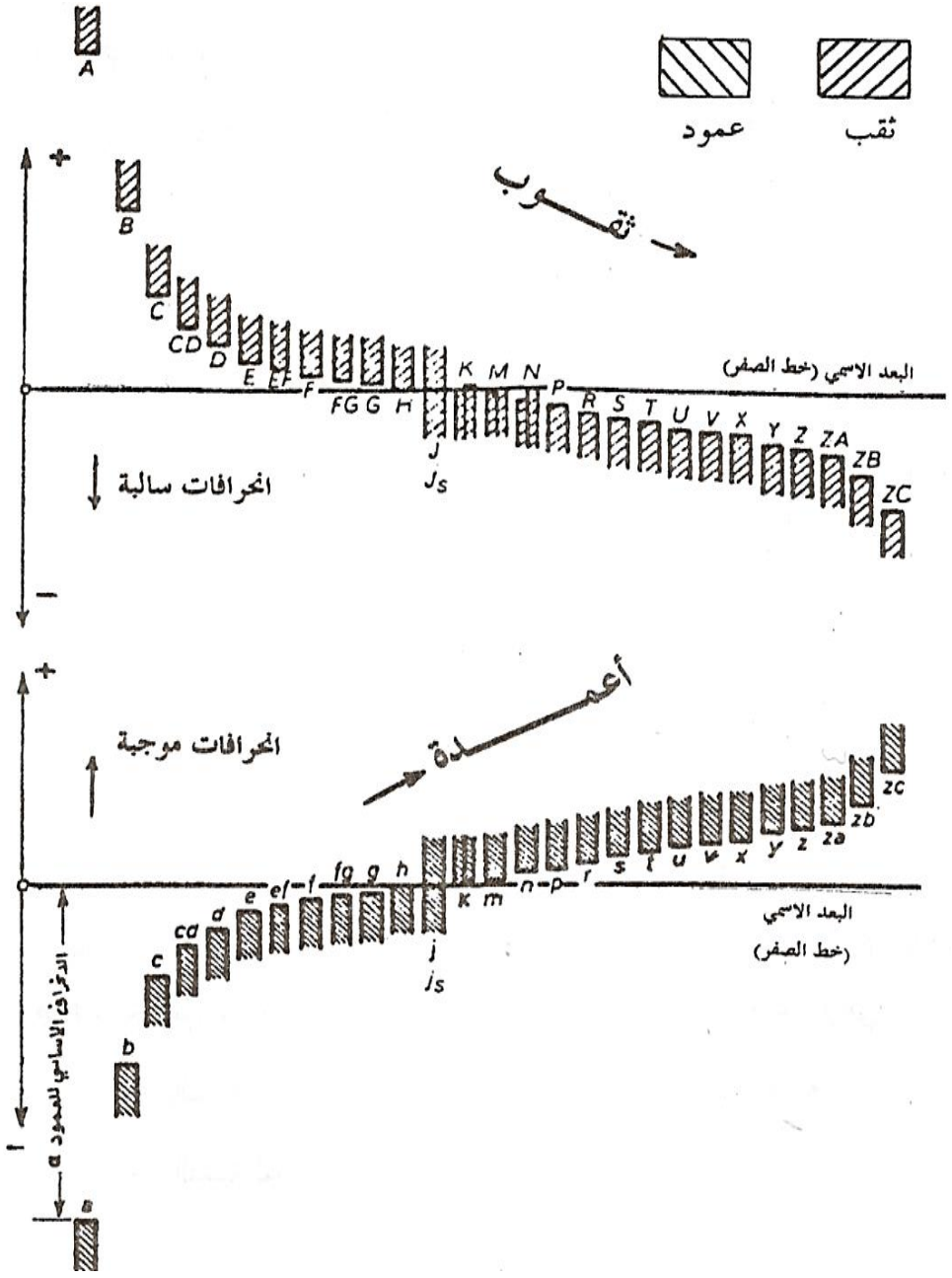
2- تتوضـــع حقول التســـامح المعينة بالأحرف m – zc (للأبعاد الخارجية) فوق خط الصـــفر، بينما الأحرف M – ZC (للأبعاد الداخلية) تحت خط الصفر وأبعدها Z.

3- يتميز الحقل H (للأبعاد الداخلية) و h (للأبعاد الخارجية) بأنه الحد الأصـغري أو الأعظمي وينطبق على خط الصفر.

4- يتميز الحقلان K و j أو(K و J) بأنهما يتوضعان على جانبي خط الصفر، أي يأخذان وضعاً ثنائي الاتجاه بالنسبة للبعد الاسمي.

تعطى قيم التفاوتات بـ (µm) في جداول اللوائح القياسية للثقوب والمحاور.

انظر اللوائح القياسية الموجودة في ملحق الكتاب.



الشكل (3-23) النظام الدولي ISO للإزواجات والتفاوتات

تمريـن9:

المعطيات: ثقب$\Phi 30$ H7. المطلوب إيجاد كل من G, K, T بوحدة mm.

الحـل: من الجداول السابقة: $A_o = +21\mu m$ $A_u = 0\mu m$

$$G = N + A_o = 30 + 0.021 = 30.021mm$$
$$\mathrm{K} = \mathrm{N} + A_{\mathrm{u}} = 30 + 0 = 30mm$$
$$T = G - K = 30.021 - 30 = 0.021mm$$

تمريـن10:

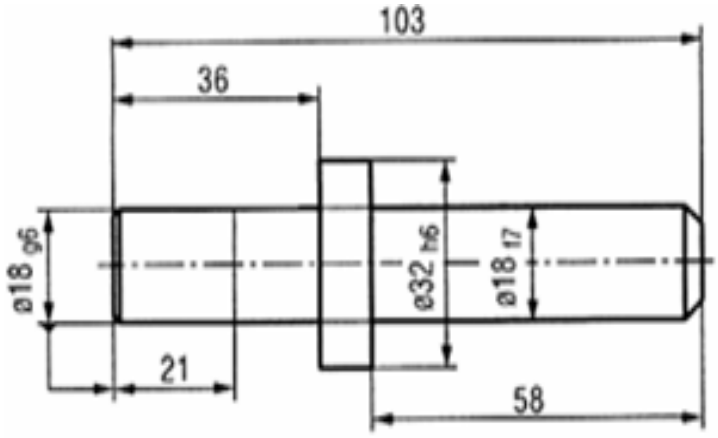
المعطيات: ثقب$\Phi 30$ f7. المطلوب إيجاد كل من G, K, T بوحدة mm.

الحـل: من الجداول السابقة: $A_o = -20\mu m$ $A_{\mathrm{u}} = -41\mu m$

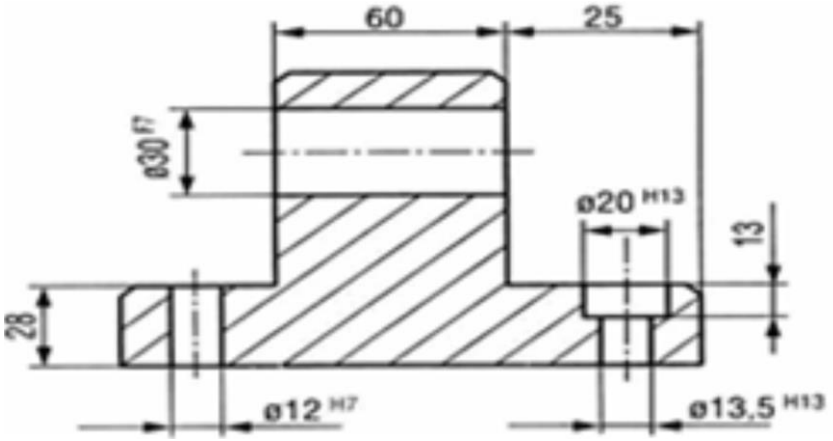
$$G = N + A_o = 30 + (-0.020) = 29.980mm$$
$$\mathrm{K} = \mathrm{N} + A_{\mathrm{u}} = 30 + (-0.041) = 29.959mm$$
$$T = G - K = 29.980 - 29.959 = 0.021mm$$

3-5-5- التفاوتات على الرسوم الهندسية:

تُعد الرموز الخاصة بتفاوتات الأعمدة والثقوب من أهم الرموز المستخدمة في الرسومات الهندسية للمشغولات، وهي ترسل إلى المصنع ليقوم الفنيون بتصنيع القطعة المطلوبة طبقاً للأبعاد والمواصفات المحددة على الرسم. في الشكل (3-24-أ)، يحتاج عمود إلى تفاوتات متعددة $(\mathrm{g}_6, \mathrm{h}_6, \mathrm{f}_7)$ تم اختيارها لتناسب طبيعة عمل هذا العمود. أما المشغولة التي تحتوي على عدد من الثقوب بأقطار مختلفة الشكل (3-24- ب)، يحتاج كل منها لتفاوت يختلف عن الآخر$(\mathrm{F}_7, \mathrm{H}_{13}, \mathrm{H}_7)$ وذلك تبعاً للوظيفة التي سيقوم بها هذا الثقب عند استخدام هذه المشغولة.



(أ)



(ب)

الشكل (3-24) تمثيل التفاوتات المسموحة على الرسوم الهندسية

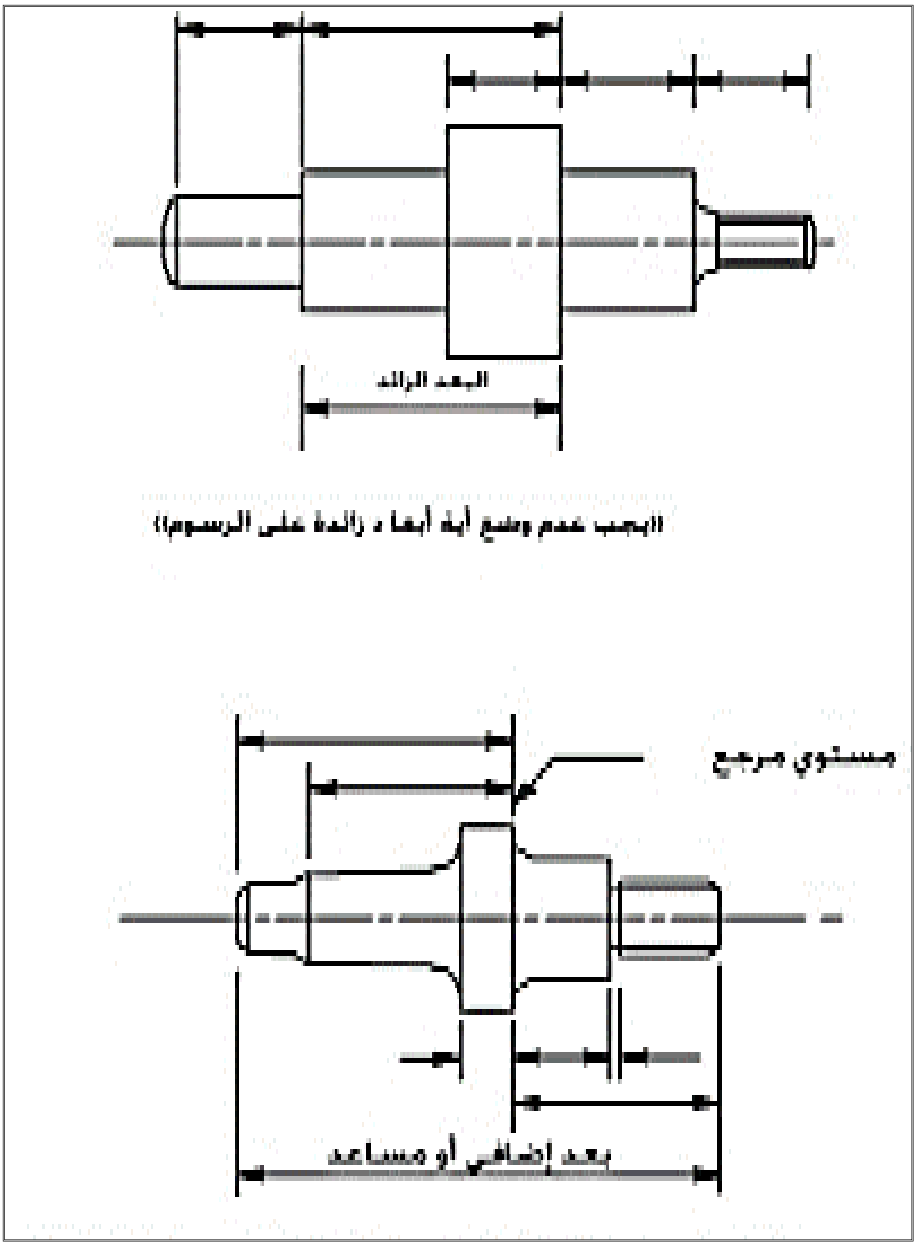
إن تضـــييق مجال التفاوت للبعد الاسمي يترتب عليه زيادة في التكلفة، وهذه التكلفة تزداد بشـــدة وبشـكل متسـارع أثناء الاقتراب من الأبعاد الاسمية، أي عندما يكون التفاوت صـغيراً جداً تكون تكلفة إنتاج القطعة عالية جداً. كما يترتب على ذلك عدد كبير من القطع المشـغلة المرفوضـة، وذلك لأن آلات التشـغيل وعِدة القطع وظروف العمل لا تسـتطيع دائماً أن تعطي مشـغولات تقع ضـمن حدود ضـيقة للتفاوتات. إذاً كلما كان مجال التفاوت أوســـع كانت كمية المشـــغولات المقبولة (من حيث الأبعاد والوظيفة) أكبر. بالنسـبة للرسـومات الهندسـية يمكن الاسـتفادة من الرسـومات الوظيفية التي يعبّر فيها المصـمم عن وجهة نظره فيما يتعلق بالوظائف التي يجب أن يقوم بها الجزء قيد التصـميم، ولكن من وجهة نظر المنتِج ولتحقيق أغراض انتاجية معينة تتعلق بنوعية أجهزة التشغيل وأساليب الإنتاج يمكن الاستفادة من الرسـومات التنفيذية والتي تختلف بدورها من منتِج لآخر، أما الرسـوم الوظيفية فتبقى نفسـها لمختلف هذه الرسوم التنفيذية. وبشكل عام، قبل أن يبدأ المصمم بوضع التفاوتات على مختلف الرسوم الهندسية، يجب أن يلمّ إلماماً جيداً بالإزواجات والتفاوتات ويمتلك خبرة لا بأس بها بأســـاليب كتابة التفاوتات وتحديدها على مختلف الرسوم والتي تتلخص بما يلي:

1- كتابة الأبعاد الضـــرورية مرة واحدة فقط، وبشـــكل يســـهل قراءتها بوضـــوح ومن دون أي التباس، ليتمكن العامل من قراءتها بشكل مريح ومن دون أخطاء.

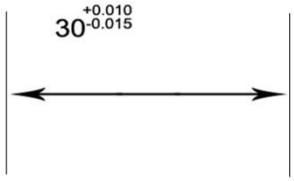
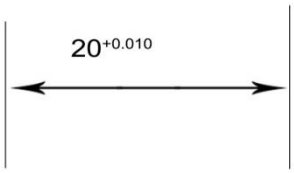
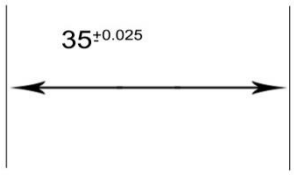
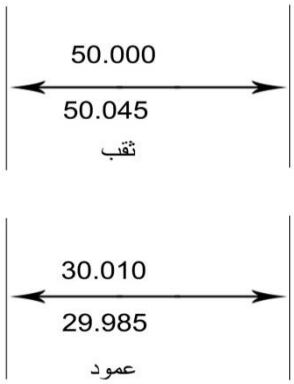
2- نسْب الأبعاد الوظيفية إلى مرجع بحيث يحقق أفضل آداء للجزء المطلوب مع ضمان التبادلية وسهولة قراءة الأبعاد.

3- بالنســـبة للأبعاد الوظيفية والتي تملك تأثيراً مباشـــراً في أداء الجزء المصـــمم، فيجب تحديدها كاملة وبوضوح. بالإضافة لضرورة وضع التفاوت المناسب بجانب كل بعد، لأنها هي التي تحدد مدى قبول المنتَج أو رفضه.

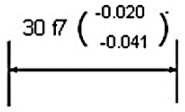
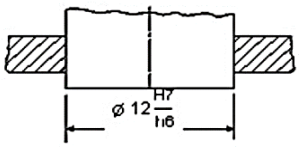
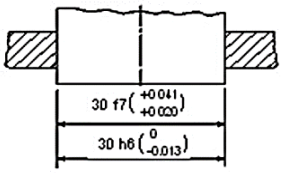
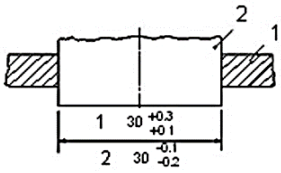
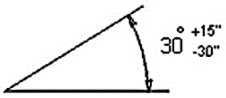
4- يتطلب التصميم الصحيح والسهل وجود أبعاد مساعدة للاسترشاد، وهي أبعاد إضافية غير ضرورية ولكن توضـــع لزيادة ســـهولة القراءة للأبعاد، وهذه الأبعاد لا تؤثر في أداء المنتج. ولكن يجب الأخذ في الحسـبان عدم وضـع أبعاد زائدة لا ضـرورة لها مع عدم تكرار وضـع البعد أكثر من مرة إلا إذا اقتضـت الضـرورة هذا التكرار. وقد تمَّ إصـدار المواصـفة الدولية ISO/R405–1964(E) وذلك لتنظيم عملية وضع الأبعاد والتفاوتات والانحرافات الأساسية على الرسوم الهندسية وفق قواعد موحدة وبسيطة، كما هو واضح من الشكلين (25-3) و (26-3-أ) و (26-3-ب).



الشكل (25-3) الأبعاد الإضافية أو المساعدة

1 - يكتب البعد الاسمي وعلى يمينه حدي التفاوت الأعلى والأدنى ، بحيث يكون الحد الأعلى فوق الحد الأدنى . ويجب ان يكون عدد الأرقام العشرية في حدي التفاوت متساويا .	
2 - عندما يكون التفاوت أحادي الأتجاه يمكن كتابة البعد الأسمي والى يمينه الحد الأعلى للتفاوت دون كتابة الحد الأدنى للتفاوت وهو الصفر $20^{+0.010}_{0.000} \longrightarrow 20^{+0.010}$	
3 - بالنسبة للتفاوتات المتناظرة يمكن كتابة حد واحد للتفاوت مع اشارة + وذللك لتسهيل عملية القراءة $35^{+0.025}_{-0.025} \longrightarrow 35^{\pm 0.025}$	
4 - وضع حدود الأبعاد على أساس تحقيق شرط الحد الأقصى للمعدن . للثقب : يوضع الحد الأدنى للبعد فوق الحد الأعلى . للعمود : يوضع الحد الأعلى للبعد فوق الحد الأدنى .	

الشكل(26-3-أ) قواعد كتابة الأبعاد والتفاوتات

	5. يمكن كتابة البعد الاسمي وإلى يمينه الانحراف الأساسي والتفاوت الأساسي لهذا البعد.
 	6. يمكن(بالنسبة للأجزاء المجمعة) كتابة البعد الاسمي وإلى يمينه الانحراف الأساسي للثقب فوق الانحراف الأساسي للعمود ويمكن إضافة حدي التفاوت إلى يمين الانحراف بين القوسين.
	7. بالنسبة للأجزاء المجمعة تكتب الأبعاد الاسمية وقبلها رقم (أو اسم) الجزء المقابل لهذا البعد.
	8. بالنسبة للتفاوتات والأبعاد الزاوية تبقى القواعد السابقة صحيحة أيضاً بالنسبة لها.

الشكل(26-3-ب) قواعد كتابة الأبعاد والتفاوتات

3-5-6- التفاوتات العامة:

إن الأجزاء غير المتزاوجة مع أجزاء أخرى ليست ذات أهمية كبيرة من حيث وضع التفاوتات عليها، فأثناء تصـنيع هذه الأجزاء لا يؤدي انحراف أبعادها كثيراً عن البعد الاسمي إلى نتيجة تعيق هذا الجزء من أداء عمله المطلوب، لذا تُترك هذه الأجزاء من دون وضع تفاوتات.

ولكن حسب النظام الدولي ISO يجب أن تخضع هذه الأجزاء لتفاوتات محددة، تدعى بالتفاوتات العامة. ويتم تطبيق التفاوتات العامة على السطوح المستوية والزوايا، ويجب التصريح عليها في الرسوم الهندسية منعاً لوقوع العاملين على تنفيذ هذه الرسوم في الخطأ، ولتسهيل مهمة القائمين على الإنتاج.

ويمكن التعرف على درجة الدقة المطلوبة أثناء إنتاج جزء ما من خلال حدود أبعاد هذا الجزء (الحد الأدنى والحد الأعلى لبعد الجزء)، ويعد الجزء مقبولاً إذا وقعت أبعاده الفعلية بين هذين الحدين.

تنصّ المواصفة ISO2768–1973(E) على قيم التفاوتات العامة بالنسبة للأجزاء التي يتم إنتاجُها بإزالة الرايش. حيث يبين الجدول (4-3) قيم التفاوتات العامة للأبعاد الطولية، وقيم التفاوتات العامة للزاويا.

وتجدر الإشارة إلى أنه في جدول تفاوتات الأبعاد الطولية يمكن استبدال التفاوت ثنائي الاتجاه بتفاوت أحادي الاتجاه.

مثلاً 0.05 ± يمكن أن يستبدل بـ0.05 – للعمود و0.05 + للثقب.

الجدول (4-3) قيم التفاوتات العامة للأبعاد الطولية والزوايا

الأبعاد الخطية

الانحرافات المسموح بها للأبعاد الأسمية (mm)		تعيين صنف التفاوت		
	ناعم	وسط	خشن	خشن جداً
0.5 up to 3	±0.05	±0.1	±0.2	-
over 3 up to 6	±0.05	±0.1	±0.3	±0.5
over 6 up to 30	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0
over 30 up to 120	±0.15	±0.3	±0.8	±1.5
over 120 up to 400	±0.2	±0.5	±1.2	±2.5
over 400 up to 1000	±0.3	±0.8	±2.0	±4.0
over 1000 up to 2000	±0.5	±1.2	±3.0	±6.0
over 2000 up to 4000	-	±2.0	±4.0	±8.0

الأقطار الخارجية والحواف المشطوفة

الانحرافات المسموح بها للأبعاد الأسمية (mm)		تعيين صنف التفاوت		
	ناعم	وسط	خشن	خشن جداً
0.5 up to 3	±0.2	±0.2	±0.4	±0.4
over 3 up to 6	±0.5	±0.5	±1.0	±1.0
over 6	±1.0	±1.0	±2.0	±2.0

الأبعاد الزاوية

الانحرافات المسموح بها للأبعاد الأسمية (mm)		تعيين صنف التفاوت		
	ناعم	وسط	خشن	خشن جداً
up to 10	±1º	±1º	±1º30'	±3º
over 10 up to 50	±0º30'	±0º30'	±1º	±2º
over 50 up to 120	±0º20'	±0º20'	±0º30'	±1º
over 120 up to 400	±0º10'	±0º10'	±0º15'	±0º30'
over 400	±0º5'	±0º5'	±0º10'	±0º20'

تمريـن 10:

أوجد حدي التفاوت للثقب Ø16S7.

الحـل: ينتمي البعد 16مم إلى المجموعة (18- 10)، من الرتبة 7.

نحدد من الجداول التفاوت الأعلى للثقب S: $Ao = -21$

ومن جداول التســـامح نرى أنه بنفس المجال من القطر الاسمي وللدرجة (7) يكون التســـامح: $T = 18\mu m$.

إذن نحسب التفاوت السفلي الذي يجب أن يكون أصغر من التفاوت العلوي(الأعلى) بمقدار التسامح كالتالي:

$$A_u = -21 - 18 = -39\mu m$$

ونكتب البعد للثقب بالشكل التالي:

$$Ø16S7 = 16^{-0.021}_{-0.039}$$

تمريـن 11:

أوجد حدي التفاوت للمحور Ø36 j7.

من الجداول نوجد للقطر 36 التفاوت السفلي: $A_U = -10\mu m$

ومن جدول التسامح نوجد $T = 25\mu m$.

إذاً التفاوت العلوي للمحور يكون:

$$A_o = -10 + 25 = 15\mu m$$

ومنه نكتب صيغة الثقب بالشكل:

$$Ø36j7 = 36^{+0.015}_{-0.010}$$

عند إنشاء إزواج ما نستخدم بصورة عامة قاعدة الثقب الثابت، حيث نختار للثقب الثابت من الدرجة (H) محوراً فيه مجال التسامح غير متناظر وحسب قاعدة التسامح داخل المعدن. أو على العكس يمكننا استخدام قاعدة المحور الثابت حيث نختار للمحور الثابت من الدرجة (h) الثقب المناسب. تحقق هذه الإزواجات مختلف الحالات المطلوبة: خلوصية، وتداخلية، وانتقالية وبرتب مختلفة تناسب الهدف المطلوب. أما وحدة التفاوت الأساسية في النظام الدولي للمواصفاتISO فتعطى بالعلاقة نفسها الموجودة في نظام ISA:

$$i = 0.45 \times \sqrt[3]{D} + 0.001D$$

3-5-7- جالات (خطوات) الأقطار:

إن مجالات الأقطار المفضلة حسب المواصفة الدولية (DIN7154– 1966)، هي:
(1-3), (3-6), (6-10), (10-18), (18-30), (30-50), (50-80), (80-20), (120-180), (180-250), (250-315), (315-400), (400-500).

يتم قراءة أية مجموعة من المجموعات السابقة كما يلي: تقرأ المجموعة (50 - 30): أكبر من 30 وحتى 50 (أصغر أو يساوي 50). انظر الملحق (2) في نهاية الكتاب.

3-5-8- التفاوت المسموح به للأبعاد غير المحدد فيها التسامح على الرسومات:

يجب عدّ الأبعاد الخطية غير المحدد فيها التسامح على الرسومات عند إنتاج القطع وكأنها متسامح بها حسب قاعدة التسامح داخل المعدن أو بتعبير آخر:

1- للبعد الخارجي: البعد الحقيقي يساوي على أكبر تحديد البعد الاسمي ويمكن أن يكون أصغر منه، حسب الصيغة G_{-T} حيث G البعد الأعظمي و T مقدار التسامح.

2- للبعد الداخلي: البعد الحقيقي يساوي على أصغر تحديد البعد الاسمي ويمكن أن يكون أكبر منه، حسب الصيغة K^{+T} حيث K البعد الأصغري و T مقدار التسامح.

3-5-9- التوصيف على الرسم:

يجب أن يتم التوصيف على الرسم باستخدام الرموز الدالة على الإزواج. يتألف كل رمز من ثلاثة أجزاء، مثلاً 25H7.

1- البعد الاسمي: 25mm.

2- الحرف الأبجدي (H): يدل على توضع حقل التسامح بالنسبة لخط الصفر (نظام الثقب الثابت فيه $A_{uH} = 0$).

3- درجة التســـامح، من جدول اللوائح القياســـية لنظام الثقب الثابت يمكن أن نحدد التفاوت العلوي للثقب فنرى أنه يساوي $A_{oH} = 0.021mm$. إن هذا الرمز يختص ببعد الثقب فقط. لكن إذا وصفنا الإزواج كاملاً فيأخذ الرمز شكلاً مضاعفاً مثلاً:

$\emptyset 25^{H7}_{m6}$ أو الشكل (Ø 25 H7/m6)

حيث m6 تعني أن المحور هو من حقل التسامح m ومن درجة التسامح السادسة.

3-5-10- قواعد الانحرافات الأساسية في النظام الدولي ISO:

ثبتت صـــلاحية هذه القواعد من خلال البحث والتجربة العملية وتم اعتمادها لتلائم احتياجات المصممين، مع العلم أن معظم هذه القواعد موجود أساساً في نظام الـ ISA، وهذه القواعد هي:

1- تُرمّز الثقوب بأحرف لاتينية كبيرة وإلى يمينها رقم يعبر عن رتبة التفاوت الأســاســية. مثلاً: H_6 تعني مجموعة الثقوب التي انحرافها الأساسي من نوع H ورتبة التفاوت لها هي IT6 أي الرتبة السادسة.

2- تُرمّز الأعمدة بأحرف لاتينية صغيرة وإلى يمينها رقم يعبر عن رتبة التفاوت الأساسية، مثلاً: h_7 هو عمود انحرافه الأساسي من نوع h ورتبة التفاوت له هيIT7 أي الرتبة السابعة.

3- تُرمّز الإزواجات بين الثقوب والأعمدة بذكر الانحراف الأساسي للثقب ورتبة التفاوت المتعلقة به، ثم الانحراف الأساسي للعمود ورتبة التفاوت المتعلقة به.

مثلاً: H8/t7.

4- توصي منظمة الأيزو باستخدام نظام أساس الثقب، لذلك ينتج عن تزاوج الثقوب من A وحتى H مع الأعمدة من a وحتى h إزواجات خلوصـــية، وتعطي الأعمدة j حتى z إزواجات انتقالية وتداخلية.

5- إن حدود أبعاد الثقب مطابقة تماماً لحدود أبعاد العمود وتؤخذ حدود الثقب بإشارة (+) أما بالنسبة لحدود العمود فتؤخذ بإشارة (—) ولكن يُستثنى من هذه القاعدة الثقوب التالية:

- الانحراف الأساسي للثقب N_8 وما فوق (N_9 , N_{10}...) معدوم.
- الانحراف الأساسي للثقوب M,N,K,J حتى الرتبة IT8، وللثقوبZC...R, P حتى الرتبة IT7 ، يساوي الانحراف الأساسي للعمود المرمز نفسه المقابل ولكن برتبة التفاوت السابقة.

6- تستعمل الانحرافات الأساسية للثقوب CD, EF, FG وللأعمدة cd , ef , fg من أجل الأبعاد الاسمية حتى 10mm كما في الأجهزة والآلات الدقيقة.

أما الانحرافات الأســاســـية للثقوب ZA, ZB, ZC والانحرافات الأســاســـية للأعمدة za, zb ,zc فتستعمل للحصول على تزاوجات عالية التداخل.

7- للحصول على انحرافات متناظرة يمكن استخدام الثقب JS والعمود js، وهذا يعني أن قيمة التفاوت فوق البعد الاسمي تساوي قيمة التفاوت تحت البعد الاسمي ولكن بإشارة مخالفة.

8- يستخدم الانحراف x_8 للأعمدة حتى البعد الاسمي 24mm، ويستخدم الانحراف u_8 للأعمدة التي بعدها الاسمي أكبر من 24mm. يبين الجدول (5-3) معادلات الانحراف الأساسية للأعمدة، أما معادلات الانحراف الأساسية للثقوب فهي معادلات انحراف الأعمدة نفسها ولكن بإشارة سالبة.

يبين الجدولان (6-3) و (7-3) قيم التفاوتات الأساسية للرتب من IT01 حتى IT16 .

الجدول (5-3) معادلات الانحرافات الأساسية للأعمدة حتى 500 ملم

معادلات الانحرافات الأساسية للأعمدة حتى 500 ملم			
الانحراف الأعلى (es)		**الانحراف الأدنى (ei)**	
العمود	In Microns (for D in mm)	العمود	In microns (for D in mm)
a	$= -(265 + 1.32D)$ for $D \leq 120$	j5 to j8	**لا علاقة**
		js	± 0.5 ITx
	$= -3.52D$ for $D > 120$	k4 to k7	$= +0.6\sqrt[3]{D}$
b	$= -(140 + 0.85D)$ for $D \leq 160$	k for Grade ≤ 3 and ≥ 8	= 0
	$= -1.82D$ for $D > 160$	m	= + (IT7–IT6)
c	$= -52D^{0.2}$ for $D \leq 40$	n	$= +5D^{0.34}$
	$= -(95 + 0.82D)$ for $D > 40$	P	= +(IT7 + 0 to 5)
cd	قيمة الوسط الهندسي c و d	r	قيمة الوسط الهندسي p و s
d	$= -16D^{0.44}$		
		s	=+(IT8 + 1 to 4) for $D \leq 50$ =+(IT7 to +0.4D) for $D > 50$
e	$= -11D^{0.41}$		
ef	قيمة الوسط الهندسي e و f		
f	$= -5.5D^{0.41}$	t	=+(IT7 + 0.63D)

fg	قيمة الوسط الهندسي g و f	u	=+(IT7 + D)
g	$= -2.5D^{0.34}$	V	=+(IT7 + 1.25D)
h	= 0	X	=+(IT7 + 1.62D)
		y	= +(IT7 + 2D)
		z	=+(IT7 + 2.52D)
		za	=+ (IT8 + 3.15D)
		zb	= +(IT9 + 4D)
		zc	= +(IT10 + 5D)

الجدول (3-6) قيم التفاوتات الأساسية بـ µm لرتب التفاوتات من IT01 حتى IT7

iSO 286 نطاق التفاوتات"IT01" To "IT7"

البعد الاسمي (mm)		قيم التفاوتات الأساسية								
OVER	UP TO INCL.	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7
0	3	0.03	0.05	0.8	1.2	2	3	4	6	10
3	6	0.04	0.06	1	1.5	2.5	4	5	8	12
6	10	0.04	0.06	1	1.5	2.5	4	6	9	15
10	18	0.05	0.08	1.2	2	3	5	8	11	18
18	30	0.06	1	1.6	2.6	4	6	9	13	21
30	50	0.08	1	1.6	2.6	4	7	11	16	25
50	80	0.08	1.2	2	3	5	8	13	19	30
80	120	1	1.5	3.6	4	6	10	16	22	35
120	180	1.2	2	3,5	5	8	12	18	25	40
180	250	2	3	4.8	7	10	14	20	29	46
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	62
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57
400	500	4	6	8	10	16	20	27	40	63
500	630	4.5	6	9	11	16	22	30	44	70
630	800	5	7	10	12	18	25	35	50	80
800	1000	5.5	8	11	15	21	29	40	56	90
1000	1250	6.5	9	13	18	24	34	46	66	105
1250	1600	8	11	16	21	29	40	54	78	126
1600	2000	9	13	18	26	35	48	65	92	160
2000	2500	11	16	22	30	41	67	77	110	175
2500	3150	13	18	26	36	60	69	93	135	210

الجدول(3-7) قيم التفاوتات الأساسية بـ µm لرتب التفاوتات من IT8 حتى IT16

iSO 286 نطاق التفاوتات"IT16" To "IT8"

البعد الاسمي (mm)		قيم التفاوتات الأساسية								
OVER	UP TO INCL	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
0	3	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3	6	18	30	48	75	120	180	300	480	760
6	10	27	36	68	90	60	220	360	580	900
10	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
18	30	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30	50	39	62	100	160	260	390	620	1000	1600
50	80	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
80	120	64	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120	180	60	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180	250	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
250	315	81	130	210	320	620	810	1300	2100	3200
315	400	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400	500	97	155	250	400	630	970	1500	2500	4000
500	630	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400
630	800	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	6000
800	1000	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5600
1000	1250	165	260	420	660	1060	1650	2600	4200	6600
1250	1600	195	310	500	780	1260	1950	3100	5000	7800
1600	2000	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	920
2000	2500	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
2500	3150	330	540	860	1360	2100	3300	5400	8000	1350

3-5-11- درجات التفاوت (السماحية) العالمية IT:

تستخدم درجات التسامح الأكثر دقة (IT01–IT4) عند إنتاج معايير القياس، أما (IT5–IT11) فتستخدم عند إنتاج أجزاء الآلات، وتستخدم (IT12–IT16) عند إنتاج أجزاء الآلات غير الدقيقة، حيث يسمح بوجود خلوصات كبيرة. وتستعمل لأغلب الإزواجات درجات التسامح من IT6 إلىIT11، كما في الجدول (3-8).

الجدول(3-8) استخدامات درجات التسامح

درجات السماحية	الملائمة	التطبيقات
IT01	محددات القياس	محددات القياس المرجعية
IT0		
IT1		
IT2		محددات القياس ذات جودة عالية
IT3		
IT4		
IT5	خلوص	كراسي المحاور
IT6		التجليخ وتوسيع الثقوب
IT7		عمليات التخليق
IT8		عمليات الخراطة العادية
IT9		المخارط الأوتوماتيكية
IT10		عمليات التفريز
IT11		عمليات التثقيب والخراطة الخشنة
IT12	غير ملائم للخلوص	عمليات الكبس الخفيفة
IT13		عمليات الكبس
IT14		سباكة القوالب
IT15		عمليات التشكيل بالختم
IT16		السباكة الرملية

يمكن حساب قيم التفاوتات المعيارية بالعلاقة:

$$IT = K \cdot i$$

حيث:

IT- درجة التسامح (Tolerrance grade)، (µm).

K- ثابت يمثل عدد وحدات التفاوت الأساسية.

i- وحدة التفاوت الأساسية (µm).

$$i = 0.45 \times \sqrt[3]{D} + 0.001D$$

D- الوسط الهندسي بين حدي مجال البعد الأساسي وواحداتها mm.

$$D = \sqrt{d_1 . d_2}$$

d_1 و d_2 بداية ونهاية مجال الأقطار بـ mm الذي ينتمي إليه البعد الاسمي.

$$k = 10(1.6)^{(IT_n - IT_6)}$$

نحسب الثابت K للرتبة السابعة وفق العلاقة السابقة كما يلي:

$$k = 10(1.6)^{(IT_7 - IT_6)} = 16$$

ممكن أخذ قيمة k من الجدول (11-2).

مثـال:

$$IT7 = K\ i = 16\ i$$

حيث:

$$k = 16$$

يوضح الجدول (9-3) قيم التفاوتات المعيارية الموافقة لرتب التفاوتات الأساسية ISO.

الجدول (9-3) قيم التفاوتات المعيارية الموافقة لرتب التفاوتات الأساسية ISO

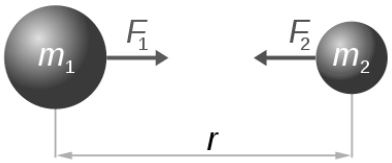
رتب التفاوت العالمية بالميكرومتر	قيم التفاوتات المعيارية
IT01	0.3+0.008D
IT0	0.5+0.012D
IT1	0.8+0.020D
IT2	عدد وحدات التفاوت الأساسية في تتبع متوالية هندسية من IT1 إلى IT5
IT3	
IT4	
IT5	7i
IT6	10i
IT7	16i
IT8	25i
IT9	40i
IT10	64i
IT11	100i
IT12	160i
IT13	250i
IT14	400i
IT15	640i
IT16	1000i

الفصـــل الرابع

قياس الكتل والموازين

7-1- الثقالة:

ينص قانون الجاذبية العام لنيوتن على أن قوتا التجاذب بين جسمين ماديين تتناسب طردياً مع حاصل جداء كتلتيهما (m,m_2) وعكساً مع مربع المسافة بين مركزيهما, الشكل (1-8).



$$F_1 = F_2 = G\frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

الشكل (1–8): قانون الجاذبية العام لنيوتن

حيث:

F_1 , F_2 : القوتين الناتجتين عن الجاذبية

G :ثابت الجذب العام بين الكتل

m_1 :كتلة الجسم الأول

m_2 :كتلة الجسم الثاني

r :المسافة بين مركزي الجسمين

هذا القانون كمعظم قوانين الميكانيكا الكلاسيكية يطبق على الأجسام النقطية (الجسيمات) أما الأجسام الكبيرة ذات الاشكال المختلفة فيُعمد إلى تطبيق التكامل من أجل الحصول على شدة قوة الجاذبية المطبقة عليها.

7–1–1– طبيعة قوى الجاذبية حسب النظريات الفيزيائية:

7–1–1–1– قانون نيوتن للثقالة:

في سنة 1687 نشر عالم الفيزياء والرياضيات الإنكليزي إسحاق نيوتن نظريته الشهيرة، وهي أن الأجسام تجذب بعضها البعض تبعاً لكتلتها ، وتعتمد قوة الجاذبية على مربع المسافة بين الجسمين المتجاذبين.

وبكلماته:

"استنتجت من هذا أن القوة التي تُبقي الكواكب في مساراتها متعلقة بتربيع البعد بين مركزيهما. من هنا قارنت القوة التي تمسك القمر في مساره بالقوى على سطح الأرض ووصلت إلى نتيجة قريبة جدا".

7–1–1–2– النظرية النسبية:

في أوائل القرن العشرين وفي بحثين نُشر أولهما في عام 1905 وثانيهما في عام 1915، قام العالم الفيزيائي الشهير ألبرت آينشتاين بتغيير مفهوم الجاذبية. فحسب نظرية نيوتن كانت الجاذبية هي قوة، بينما أثبتت النسبية أن الجاذبية هي مجال. فحسب النسبية، الجاذبية هي عبارة عن انحناءات في الفراغ تُسببها الكتلة. فكلما كانت كتلة الجسم أكبر كلما انحناء الفضاء حوله أكبر. والأجسام الأقل كتلة سوف تقع في هذا الانحناء الذي صنعه الجسم الأول وبالتالي سيأسرها بجاذبيته.

جاذبية الأرض أو الجاذبية الأرضية، يرمز لها في الفيزياء بـ g، تشير إلى التسارع الذي تمنحه الأرض للأجسام على السطح أو بالقرب منه. يقاس هذا التسارع حسب نظام الوحدات الدولي بـ $m.s^{-2}$ في بعض التراجم العربية ولها قيمة تقريبية مقدارها 9.81 $m.s^{-2}$.

معنى هذه القيمة أنه وعند إهمال تأثير الاحتكاك بالهواء فأن سرعة السقوط الحر لجسم تزداد بمعدل 9.81 متر في الثانية، في كل ثانية. ينبغي التفريق بين الرمز الصغير g وبين الكبير G والذي يرمز لثابت الجذب العام.

يمكن القول أن هناك علاقة خطية تربط بين كل من وزن الجسم وكتلته، وبين تسارع الثقالة ولذا قد يعبر عن الوزن بدلالة الكتلة تحت اسم مماثل يدعى قوة الثقالة.

تعطى القيمة الدقيقة لقيمة الجاذبية الأرضية من تعريف الجاذبية القياسية وهي 9.80665 $m.s^{-2}$ كما أنها ليست القيمة الموجودة على خط الاستواء والتي تساوي 9.78033 $m.s^{-2}$

7-2- الكتلة والوزن:

7-2-1- الكتلة Mass:

الكتلة هي مقدار فيزيائي كمّي يعبّر عن ما يحتويه الجسم من مادة واحدتها في الجملة الدولية واحدة أسياسيّة وهي الـ [kg]. والكتلة مقدار ثابت لا يتغير بتغيّر الزمان والمكان ويُرمز لها بـ m.

الكتلة كميّة فيزيائية قياسية؛ أي يمكن التعبير عنها بالمقدار فقط " عدد فقط "، وليس لها اتجاه، على عكس الكميّات الفيزيائية الأخرى كالسرعة؛ فالسرعة هي كمية فيزيائية متجهة، أي يتم التعبير عنها باستخدام المقدار " العددي" والاتجاه معاً.

الكيلو غرام تختصر (كغم) من وحدات القياس الأساسية في النظام الدولي ksm، ويستخدم لقياس الكتلة، ويرمز له بالرمز (kg)، ويقابله الباوند في النظام الإنجليزي، إذ يساوي الباوند الواحد 0.4536 من كغم. والكيلوغرام هو عبارة عن ألف غرام.

والنموذج المعياري الذي يستخدم لمعايرة (الكتلة المرجعيّة الإماميّة) الكيلوغرام عبارة عن كتلة اسطوانة مصمتة قطرها 39 مم وارتفاعها 39 مم وتتكون من 90% بلاتين و10% أريديوم يُشار إليه باختصارات

متعددة، منها كغ وكغم وكج وكجم و محفوظة عند صفر سيلزيوس مئوي في باريس وفي معهد المعايرة بمدينة بولدر – كولورادو بالولايات المتحدة الأمريكية.

7–2–2– الوزن weight:

الوزن مقدار شعاعي يُمثّل قوة الجذب التي تخضع لها الكتلة إذا وضعت في مجال تأثير الحقل. واحدته في الجملة الدولية هي النيوتن [N] (وليس الكيلوغرام). يختلف وزن الجسم من مكان لآخر (تبعاً لقرب الكتلة أو بعدها عن مركز الحقل) ويُرمز للوزن بـ [w]. تجذب الأرض الاجسام بقوة تؤثر باتجاه رأسي (إلى مركز الأرض) تسمى قوة الجاذبية الأرضية، و اتُفق على تسمية قوة جذب الأرض بوزن الجسم ويستخدم الميزان الزنبركي في قياس الأوزان. يقاس الوزن بوحدة دولية تسمى (نيوتن) نسبة إلى العالم الإنجليزي اسحق نيوتن الذي وضع القانون العام للجاذبية، والنيوتن يساوي تقريبا قوة جذب الأرض لكتلة مقدارها 100 جرام.

(يكافئ الرطل 450 جرام)

7-2-3– ميزان الكتلة وميزان الثقل:

الميزان أي آلة تستعمل لقياس الكتلة، ووزن الشيء أو ثقله، فالتوازن في الميزان من باب تساوي الثقل في كلا الكفتين للميزان، وللأوزان قياسات متنوعة حسب البلدان، وتستعمل الموازين في الأعمال التجارية والعملية لتحديد أوزان أثقال تتراوح بين المواد الخفيفة جدًا كالأدوية او الذهب، والمواد الثّقيلة جدًا كعربات السكة الحديدية التي يصل وزنها إلى عدّة أطنان. وهناك ثلاثة أنواع من الموازين. وحسب تطورها التاريخي تأتي أولاً الموازين التقليدية، ثم الموازين الميكانيكية، فالموازين الإلكترونية.

7–3– أنواع الموازين:

تختلف الموازين حسب أنواعها ومجالات الأوزان المخصصة لها، فهي تتراوح بين أجزاء من الميكروغرام وحتى مئات أو آلاف الأطنان. وحساسية الجهاز تتبع لنوع الجهاز ودقة تصنيعه ولمجال أو مدى القياس. وتُعبّر حساسية الجهاز عن أصغر قيمة وزن يمكنه تحديدها. وتتناسب حساسية الجهاز عكساً مع مجال القياس. ومن أكثر أنواع الموازين شهرة وانتشاراً:

7–3–1– الميزان ذو الكفتين:

يتكون من محور أفقي وكفّة ميزان معلقة على كل طرف. ويوجد في منتصف العصى قطعة معدنية، تُسمى المرتكز، لتثبيت المحور. ويوضع الثِّقل في إحدى الكفتين، بينما توضع أوزان معروفة في الكفَّة الأخرى حتى تتعادل الكفّتان. ويوضِّح المؤشر تعادل الكفتين كما يبيّنه الشكل (2–8). يستخدم هذا النوع من الموازين لقياس الكتلة للمواد الخفيفة. يعود السبب في كون هذا النوع من الأجهزة يقيس الكتلة (ولا يقيس الوزن

أو الثقل) إلى مبدأ القياس المعتَمد، فهذه الأجهزة تعتمد على مبدأ توازن العزوم حول مركز التوازن وفي حالة التوازن يكون:

$M_1 = M_2$
$F_1.a = F_2.b$
$m_1.g.a = m_2.g.b$
$m_1.a = m_2.b$

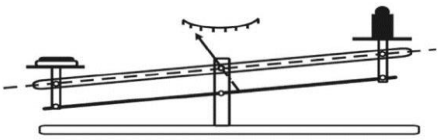
حيث:

M1 , M2 : عزم الكتلتين حول مركز التوازن.

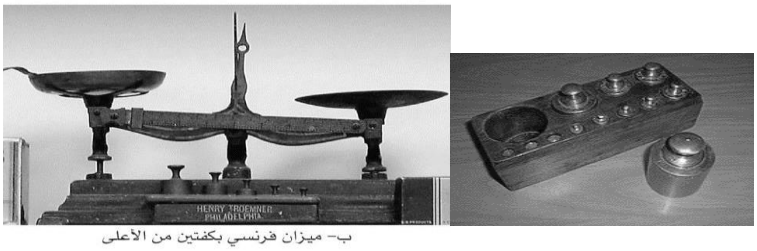
F1 , F2 : القوّة المؤثّرة على الكفتين والمعبّرة عن الوزن (أو الثقل)

a , b : ذراعا القوتين.

g : تسارع حقل الجاذبيّة (والذي يُختزل لكونه ثابت القيمة في الطرفين نتيجة تواجد القوتين في نفس المكان من حقل تأثير الجاذبية).



أ- ميزان متساوي الذراعين بكفتين من أعلى

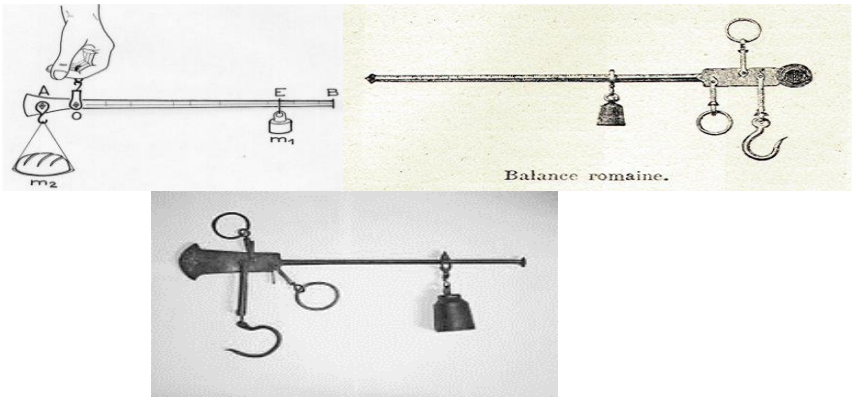


ب- ميزان فرنسي بكفتين من الأعلى

الشكل (2–8): الميزان ذو الكفتين

7–3–2– الميزان القبّاني:

طَّوره الرومان قبل حوالي ألفي عام. ويستخدم هذا النوع وزنًا صغيرًا m_1 لقياس أوزان أثقال كبيرة m_2. وهناك ذراعان للقضيب الأفقي: ذراع قصيرة، وذراع طويلة. ويوضع الثقل (الجسم المراد تحديد وزنه) في كفَّة الذِّراع القصيرة. يحدد الوزن بتحريك الثقل الموازن m_1 للميزان على الذراع الطويل المقسم، حتى يحدث التوازن (توازن العزوم) ويكون الذراع أفقيا تماماً، وتعبّر تلك التقسيمات عن كتلة الجسم, يبيّن الشكل (3–8) ميزاناً رومانيّاً.



الشكل (3–8): الميزان الروماني (القبان)

7–3–3– الميزان النابضي (الربيعة ذات النابض):

يُستعمل في هذا النوع (نابض) واحد أو أكثر لقياس وزن الثقل الذي يوضع في كفة أو منصة. ويُحرّك وزن الثقل الزنبرك (النابض) مُحدِثاً فيه استطالةً أو انضغاطاً كما هو

الشكل (4–8): الميزان النابضي (الربيعة ذات النابض)

موضح في صورة الميزان النابضي البسيط (أو ما يدعى في أسواق بلاد الشام قديماً بالربيعة)، وبالتالي يتحرك مؤشر القياس ليحدد الوزن أو الثقل, الشكل (4–8) . وتعمل بعض الموازين النابضية بدون أذرع مثل الموازين المعلقة ويمكن للميزان النابضي قياس القوى المنتقلة عبر الميزان في أي اتجاه.

7–3–4– الميزان ذو الكفّة الواحدة (ذو المؤشّر):

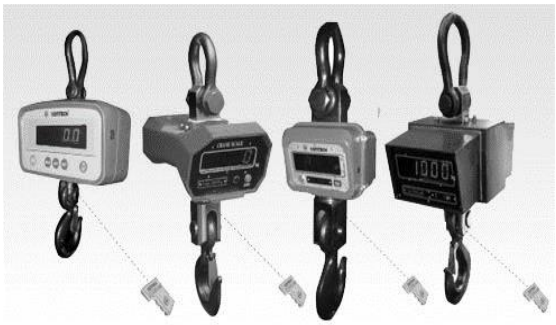
يستعمل هذا الميزان قرصاً مدرجاً ذو مؤشر لتحديد الوزن. ويميل المؤشر إلى جهة واحدة ليزن الثِّقل الموضوع على المنصة، وتدور إبرة في المؤشر على القرص المدرج لبيان الوزن, الشكل (5–8). وتستعمل هذه الطريقة في كثير من أنواع الموازين في المجال الصناعي والتجاري.

الشكل (5-8): ميزان بكفة واحدة ذو مؤشّر

7-3-5- الموازين الإلكترونية:

أُدخِلَت تِجاريّاً لأول مرة في الخمسينيات من القرن العشرين، وتستعمل طرقًا متنوعة لقياس وتحديد الوزن. ولمعظم الموازين الإلكترونية جهاز يسمى خلية قياس جهد الثقل. ويقيس هذا الجهاز القوة التي يحدثها ثقل الحمل الموضوع في الميزان. ويقوم الجهاز أيضًا بتحويل مقياس الجهد إلى إشارات إلكترونية، ثم إرسال هذه الإشارات إلى مؤشر الوزن الإلكتروني فيُحوِّل هذه الإشارات ليعطي القراءة الصحيحة للوزن, يبيّن الشكل (8-6) ميزان رقمي للكتل الصغيرة, ويبيّن الشكل (8-7) ميزان الكتروني للكتل الكبيرة. ويمكن للموازين الإلكترونية أن تزن الأثقال بصورة أسرع وبأقل تكلفة، وتعطي قراءة أكثر دقة للوزن من الموازين الأخرى. ولهذا النوع معالجات دقيقة (رقائق حاسوبية دقيقة) تُمَكِّن الميزان من أداء مهام أخرى بالإضافة إلى قياس الوزن. وتشمل هذه المهام تحديد عدد المفردات في الثقل، وحساب سعر الثقل، ونقل المعلومات إلى الطابعات والحواسيب كالميزان الرقمي.

الشكل (6-8): ميزان رقمي (الكتروني) لبضع عشرات من الكيلوغرامات



الشكل (7–8): ميزان الكتروني للأوزان الثقيلة

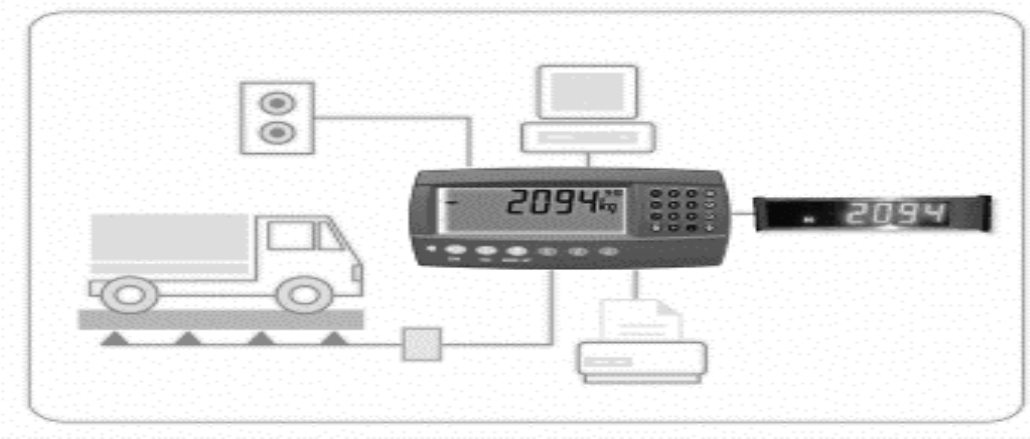
7–3–6– الميزان الرقمي الدقيق:

وهو ميزان مخصص لتحديد الكتل الصغيرة والصغيرة جداً ويتميّز بحساسية عالية وبخطأ قياس أصغري. يُستخدم في مجالات خاصة كالأدوية والأغذية والكيمياء والذهب. تتفاوت دقة (حساسيّة) القياس من جهاز لآخر وتتراوح بين بضع غرامات (مثال جهاز بدقة 1g) وأجزاء من الميكروغرام (مثال جهاز بدقة 0.0001 g). الشكل (8–8).

الشكل (8–8): ميزان الكتروني دقيق (بدقة 0.0001 g)

7–3–7– الميزان الجسري:

يُستَخدم عموماً هذا الميزان لقياس وزن وحمولة العربات كالسيارات والشاحنات. الميزان هو المساحة المحددة أمام المبنى، تقف عليها السيارة وتحدد وزنها، وتقرأ القراءة داخل المبنى. ثم تَظْهَرُ قراءة الوزن وتُسجّل. الشكل (9–8).



الشكل (9–8): الميزان الجسري

الفصل الخامس

قياس الخشونة السطحية

مقدمـة:

إن الاهتمام بجودة السـطوح وتقييسـها وتشـطيبها قد لازم التطور الهائل في الصـناعة الحديثة التي تتطلب بصفة مستمرة الاشتراطات الفنية الصعبة، فالدقة في تشغيل السطوح أصبحت ضرورية لأجزاء المحركات على سبيل المثال لا الحصر، فنعومة السطح وتشطيبه له فوائد عديدة أهمها:

1- تقليل الاحتكاك بين الأسـطح المتحركة (يؤدي إلى خفض درجة الحرارة، وسـهولة الانزلاق وزيادة العمر الافتراضي للأجزاء المحتكة).

2- تؤدي دوراً مهماً في أداء عناصر الآلات تحت تأثير إجهاد تعب المعادن.

3-لا غنى عنه عندما يراد الوصول إلى دقة عالية في الأبعاد.

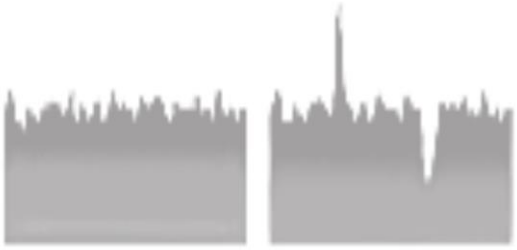
من الخصـائص المهمة التي يجب أن تتوافر في المنتجات درجة نعومة أسـطحها، حيث إن كثيراً من التطبيقات العملية تحتاج إلى أسطح على درجة عالية من النعومة حتى تؤدي الوظيفة المطلوبة منها بأفضل أداء ممكن. لذلك فقد اهتم المتخصصون في مجال التصنيع بالتوصيف الدقيق للأسطح عن طريق التعبير عن طبيعة هذه الأسطح بقيم عددية تعكس درجة نعومتها. إن عملية إزواج عمود مع ثقب تتم دائماً في مجال تفاوت مسموح به للعمود، هذا التفاوت يجب أن يغطي الانحرافات المحتملة كافة عن البعد الاسمي، كما يجب أن يغطي خشـونة السـطوح المتزاوجة، لأن الخشـونة الزائدة ربما تطيح بجودة الأداء للإزواج المطلوب، ولذلك يجب التقييد بحدود معينة لخشونة السطوح بحيث لا نبالغ في زيادة نعومة السطح من دون مبرر، لأن تكلفة تشغيل الأجزاء المنتجة تزداد بشدة مع زيادة نعومة السطح المشغّل.

يتم إنتاج المشـغولات الهندسـية بوسـاطة عمليات تشـغيل مختلفة، وتختلف السـطوح الهندسـية لهذه المشغولات الناتجة عن عمليات تشغيل حسب نوع العملية، فالسطوح التي يمكن إنتاجها بعمليات خشنة كـالسـبـاكـة تختلف عن سـطوح أخرى يتم إنتـاجهـا بعمليـات دقيقـة كـالتجليخ والتلميع الدقيق.

يختار المصمم درجة النعومة المطلوبة للسطح، وهذه الدرجة لا يتم اختيارها عشوائياً، إنما تختار من جداول خاصـة تناسـب الهدف النهائي من التصـميم، لأن تكاليف الإنتاج سـوف تختلف بشـكل ملحوظ من عملية لأخرى.

فعلى سـبيل المثال عملية السـباكة بالرمل رخيصـة جداً ويكون ارتفاع النتوءات الميكروية لهذه الأسـطح بحدود mm1~ أي إنها خشنة جداً، ولكن في عمليات التشغيل المتوسطة الدقة مثل الخراطة العادية أو البرادة أو الكشط (وفي حالات خاصة السباكة الدقيقة)، فإن ارتفاع النتوءات الميكروية للأسطح الناتجة

في هذه الحالة يكون تقريباً 50 ميكرومتراً، وهذه الأسطح تتمتع بخشونة أقل بعشرين مرة من سابقاتها. وكمثال أخير يمكن أخذ السطوح الدقيقة جداً (فائقة النعومة) التي تتطلب عمليات تشغيل مكلفة جداً، حيث تمر هذه الأسطح، حتى تعطي الدقة المطلوبة، بعمليات متعددة تنتهي بالتلميع الميتالوغرافي، ويكون ارتفاع النتوءات الميكروية لهذه الأسطح بحدود (μm0.1) وفي حالات خاصة أقل من mμ0.025 وهي أسطح من الصعب جداً ملاحظة آثار التشغيل فيها. كما تجدر الإشارة إلى أن اختيار درجة الخشونة للسطح يدخل في تحديدها التفاوت المسموح به وأبعاد الجزء المشغل، فكلما كانت أبعاد المشغولة أكبر يكون التفاوت المسموح به أكبر(حسب العلاقة $^{1}D\sim T^{/3}$)، وبالتالي تكون درجة النعومة أقل؛ أي يُسمح بسطوح أكثر خشونة بالنسبة للمشغولات ذات التفاوتات الكبيرة. وقد أثبتت الخبرة العملية عدم إمكانية تصنيع أسطح ذات نعومة مطلقة مهما كانت دقة وإمكانيات الآلات الحديثة المستخدمة في التشغيل. فإذا أخذنا أحد المشغولات وقمنا بفحص أحد أسطحه تحت مجهر ذي درجة تكبير عالية، سنرى أن لهذا السطح تضاريس، كما هو موضع بالشكل(1-8)، أي قمم ومنخفضات وأخاديد قد لا نشعر بوجودها بالعين المجردة أو بمجرد إمرار اليد على هذا السطح. وهذا يثبت أن استواء السطح ليس مطلقاً؛ بل لا بد من وجود بعض الانحرافات الطفيفة والتي تكون خشونة الأسطح أحد مظاهرها.



الشكل (1-8) تضاريس السطح تحت المجهر

1-8- الأسباب المؤدية إلى خشونة الأسطح:

هناك عوامل عديدة تسبب خشونة السطح المنتج من أهمها:

1- الاهتزازات الميكانيكية في أداة القطع أو الآلة.

2- التثبيت غير المركزي للقطعة بالنسبة لعملية القطع.

3- عيوب في المادة الخام.

4- عدم الانتظام الهندسي للزوايا الهندسية لأداة القطع أو تثلم الحد القاطع.

5- ظروف التشغيل (عمق القطع، مقدار التغذية وسرعة القطع).

6- يؤثر استعمال سائل القطع (عملية التبريد) أثناء عمليات التشغيل المختلفة بشكل ملحوظ في خشونة الأسطح المنتجة.

8-1-1- تأثير بنية السطوح في مقاومة التعب والتآكل:

لا تقتصر درجة تنعيم السطح المطلوب انتاجه على جودة هذا السطح وملمسه الناعم فحسب بل هناك ميزات لهذه النعومة تتجلى فيما يلي:

1- في آلات التشـــغيل التي تتعرض لإجهادات متكررة، من المهم جداً التأكيد على ضـــرورة الإهتمام بنعومة الأســـطح التي تتعرض لهذه الإجهادات لأن مقاومة التعب لهذه الأســـطح تزدادمع زيادة النعومة.

2- تتركز الإجهادات في النتوءات الميكروية للسطوح المتلامسة مما يؤدي إلى سحق هذه النتوءات على كلا الســـطحين، أي زيادة خشـــونة الأســـطح المتحاكة، وبالتالي تآكل هذه الســـطوح باســـتمرار مع الاحتكاك. لذلك يؤدي تنعيم الســـطح إلى زيادة مقاومة الاحتكاك وزيادة عمر القطعة المســـتخدمة في الجهاز وبالتالي زيادة عمر الجهاز.

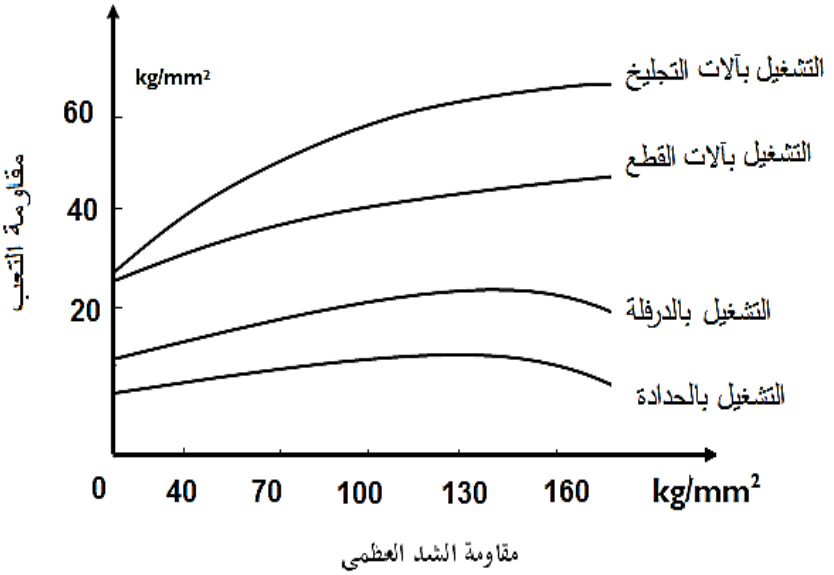
3- تؤثر درجة التنعيم تأثيراً حاسماً في مقاومة التعب للمعدن، فكلما كان ســـطح القطعة المشـــغّلة أدق كانت مقاومة هذه القطعة للإجهادات المتكررة أكبر. يبيّن الشـــكل (2-8) أن مقاومة التعب للأجزاء المشغلة على آلات قطع عادية مثلاً أقل من مقاومة التعب للأجزاء المشغلة على آلات التجليخ.

4- إن تجمع الإجهادات على قمم النتواءات وفي الفراغات بين النتوءات قد يؤدي لتشـــكيل شـــقوق موضعية على الأسطح المتحاكة بعضها مع بعض مما يخفض مقاومة السطح للتآكل.

5- مع زيادة خشونة السطح يزداد احتمال حدوث الصدأ، لأن الفراغات والحفر بين النتواءات الميكروية للسطح تشكل أماكن مفضلة لتجمع عوامل الحتّ، الذي يحدث نتيجة تفاعلات كيميائية موضعية، والتي بدورها تولّد تيارات كهربائية ضـــعيفة تؤدي مع مرور الزمن إلى التآكل وإضـــعاف بنية الســـطح، وبالنتيجة الإخلال بمدى صلاحية هذه الأسطح.

6- تؤدي الخشونة دوراً مهماً في الإزوجات التداخلية، حيث لا تصلح السطوح الخشنة لهذه الإزواجات، لأن النتواءات الميكروية سوف تتكسر نتيجة الضغط الذي يتعرض له السطح نتيجة التداخل، مما يؤدي إلى تقليل التداخل المطلوب، وتقصير عمر هذه الأجزاء وتخفيض جودة الأداء لها.

من أهم العوامل المؤثرة في تحمل المعادن للإجهادات المتكررة (مقاومة التعب) نعومة الأسطح المتلامسة، حيث تتأثر مقاومة التعب بشـــكل كبير بجودة إنهاء هذه الأســـطح، بحيث تزداد مقاومة التعب للآلة مع زيادة النعومة بشكل ملحوظ، الشكل (2-3).



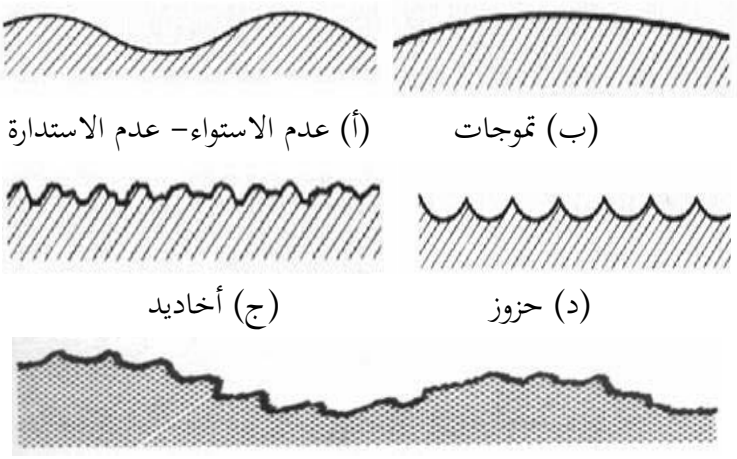
الشكل (2-8) تأثير عمليات التشغيل في مقاومة التعب

8-2- أشكال عدم استواء الأسطح:

تختلف أشكال انحرافات الأسطح وأبعادها، والتي تؤدي إلى عدم استوائها تبعاً لمتغيرات متعددة مثل نوع الخامة المستخدمة وطريقة التثبيت ودقة آلات التشغيل وغير ذلك من العوامل الأخرى، ويمكن تقسيم عدم استواء الأسطح تبعاً لأشكالها المختلفة الموضحة بالشكل (3-8) إلى ما يلي:

1- عدم الاستواء: يعني الانحراف أو الميل في الأشكال المسطحة وعدم الاستدارة في الأشكال الأسطوانية، كما يظهر ذلك في الشكل (3-8- أ). وينشأ عدم الاستواء نتيجة لوجود خلوص في أجزاء آلات التشغيل، أو بسبب انحناء الآلة أو المشغولة نتيجة عدم تثبيت المشغولة أو عدد القطع بشكل جيد، إلى جانب احتمالية وجود عيوب أو تشوه بالتصليد في الخامة المستخدمة.

2- التعرجات: هي تذبذبات دقيقة في بنية السطح، تنتج من تأثير العمليات الإنتاجية، وهي علامات فردية لأداء القطع مثل تلك التي تنتج عن مسارات مفردة لقلم القطع في اتجاه عمودي على السطح المشغل، وهي بمنزلة بصمات يتركها قلم القطع على المشغولة.



(و) التعرجات

الشكل (3-8) الأشكال المختلفة لعدم استواء الأسطح

3- التموجات: هي اضـطرابات في بنية السـطح، لها طول موجي أكبر من التعرجات وهي دائماً تحمل التعرجات. وتنتج التموجات في السطح عن الأسباب التالية:

1- انحناءات في المشغولة أو أجزاء آلات التشغيل.

2- اهتزازات في آلة التشغيل.

3- عدم تثبيت المشغولة تثبيتاً مركزياً.

4- عدم تجانس المادة المصنوع منها المشغولة.

5- التصاق الرايش بالحد القاطع للعدة.

6- أسلوب توجيه العدة على السطح.

7- وجود خلوص في محدد عمود الدوران بالفارزة.

8- وجود خلوص في كراسي محاور عمود الدوران للمخرطة.

يتراوح طول هذه التموجات بين 1مم و 25 مم وارتفاعها بين 0.02 و0.05 مم. يوضح الشكل(3-8- ب) هذه النوعية من عدم استواء الأسطح.

4- الأخاديد: تنتج هذه الانحرافات في المشغولات نتيجة:

1- وجود عيوب في التركيب البنائي لسطح المشغولات.

2- شكل الحد القاطع للعدة.

3- التغذية غير المناسبة (الخاطئة).

4- عمق القطع.

يبين الشكل (3-8- ج) تمثيلاً لأخاديد السطح.

5- الحزوز: عبارة عن انحراف في الشكل الدقيق للسطح وتُعد أحد مظاهر الخشونة، وتكون عادة على شكل نتوءات خشنة الملمس وتنشأ نتيجة لـ:

1- التصاق الرائش بالحد القاطع للعدة.

2- أسلوب توجيه العدة على السطح المشغل.

في الحياة العملية تجتمع الأسباب التي تم ذكرها معاً، وتتراكب الأنواع المختلفة لانحرافات الشكل، وبالتالي يكون السطح غير مستو وتظهر فيه تموجات وأخاديد وحزوز في الوقت نفسه كما هو مبين بالشكل (8-3- و). وتشمل خشونة الأسطح وجود الأخاديد والحزوز، وتكون أبعادها في غاية الصغر، إذ يتراوح طولها

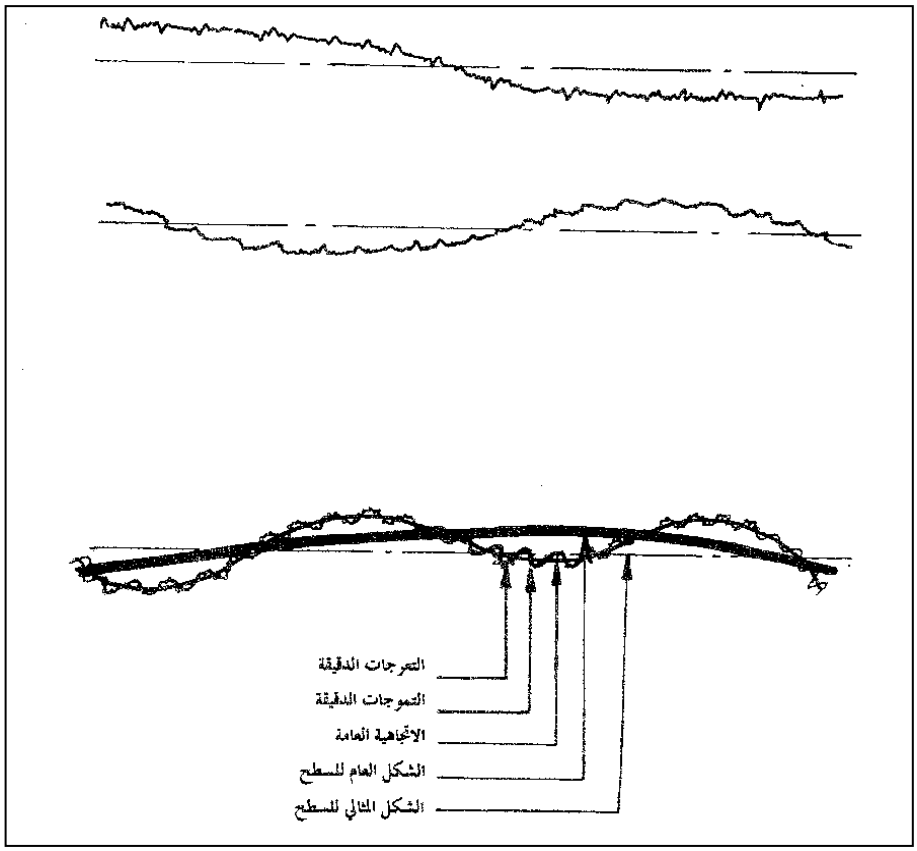
بين 0.005 مم و 0.25 مم وارتفاعها بين 0.000025 مم و0.012 مم. أما التموجات وعدم الاستواء (أو عدم الاستدارة) فيتم تصنيفها على أنها عدم انتظام في الشكل.

تعرف المكونات الأساسية التالية وفق المواصفة الأمريكية B46ASA – 1962:

1- الاتجاهية: هي اتجاهات علامات أداء القطع عندما ينظر إليها بشكل تجميعي، أي أن الاتجاهية تميز العملية الإنتاجية المتبعة. الشكل (4-8).

2- الشكل العام: هو مجموعة الإضطرابات ذات الطول الموجي الكبير جداً، والذي يمتد على سطح المشغولة، وتنتج عادة عن الأخطاء الحركية لآلة التشغيل المستخدمة.

3- الشكل المثالي للسطح: يمثل نظرياً حالة استواء السطح مع درجة النعومة المثالية، أي ينبغي أن يكون السطح خالياً من جميع التعرجات والتموجات والنتوءات والأخاديد وهذا بطبيعة الحال يحتاج إلى آلات تشغيل متطورة عالية الدقة.



الشكل(4-8) توصيف الشكل العام والشكل الدقيق للسطوح

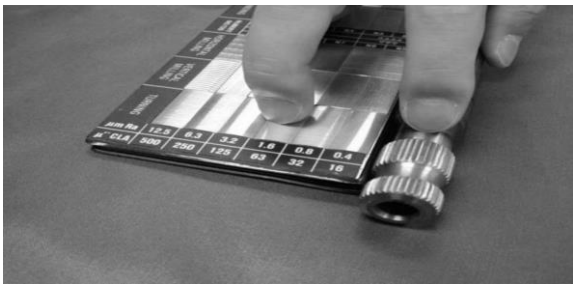
3-8- أهم طرق قياس خشونة الأسطح:

لا يمكن لأي عملية إنتاج أن تكون ناجحة إذا لم تنته بعملية قياس لجودة الأسطح الناتجة، وتحديد مدى مطابقتها للمواصفات القياسية المطلوبة. ومن هذا المنطلق تتضح أهمية وجود أجهزة متطورة

ومحوسبة لقياس خشونة السطوح وإظهار نتائج القياس بالشكل الأفضل. توجد عدة طرائق لتقدير درجة خشونة الأسطح تعتمد كل منها على درجة الدقة المطلوبة في القياس، منها:

8-3-1- فحص خشونة الأسطح بالمقارنة مع العينات القياسية:

يمكن تقييم عمق الخشونة بطريقة تقريبية بشيء من الخبرة المتوافرة لدى بعض الفنيين ذوي المهارة، وذلك بإمرار طرف الإصبع على سطح قطعة الشغل وسطح عينة مقارنة قياسية عدة مرات بالتناوب وتكون هذه الطريقة كافية في حالات كثيرة كالخراطة الطولية والوجهية والتفريز والتجليخ والقشط بنوعيه. وتتوفر العينات القياسية في شكل مجموعات، تحتوي كل مجموعة على عدد معين من العينات القياسية، مدوناً أسفل كل منها عمق الخشونة R_t وعمق الاستواء R_p والخشونة المتوسطة R_a. وحيث إن درجة الخشونة الناتجة تعتمد على طبيعة عملية التشغيل، لذلك توجد لكل عملية تشغيل مجموعة عينات قياسية تناسبها، كتلك المعروضة في الشكل (5-8) والخاصة بعمليات الخراطة الطولية.



الشكل (5–8) عينات قياسية لفحص الخشونة السطحية للخراطة الطولية.

8-3-2- الأجهزة الميكانيكية:

تعتبر مقاييس الخشونة الميكانيكية من الأجهزة المستخدمة قديماً في هذا المجال ، ويمكن استعراض أهم أجزاء هذه الأجهزة لمعرفة بدايات نشوء أجهزة قياس الخشونة، حيث تتألف معظمها من الأجزاء الرئيسة التالية: 1- المنزلقة: عبارة عن أداة تتحرك على السطح وتتبع في مسارها الشكل الأساسي للتموجات، لذلك يجب أن يكون شكل المنزلقة وحجمها مناسبين لطبيعة السطح المطلوب قياس خشونته.

2- مجس القياس: يتحرك بالاتجاه الرأسي فقط بالنسبة لاتجاه حركة المنزلقة. ولكن يكون في الوقت نفسه جزءاً أساسياً من المنزلقة، ويجب أن يكون حجم نهاية مجس القياس وشكله منسجمين مع طبيعة التعرجات المطلوب قياسها.

3- وسيلة تكبير لحركة مجس القياس: وذلك للحصول على شكل مناسب للتعرجات يمكن قياسه. ومما تجدر ملاحظته أن التكبير بالاتجاه الرأسي يكون كبيراً جداً بالمقارنة مع التكبير بالاتجاه الأفقي.

4- وسيلة تسجيل لشكل التعرجات: الغاية منها إظهار وحفظ نتائج القياس.

من عيوب الأجهزة الميكانيكية:

- نسبة التكبير قليلة للغاية لاتتجاوز 100 مرة.
- تأثر الأجهزة بالاحتكاك والعطالة نظراً لوجود العديد من الأجزاء الميكانيكية المتحركة.

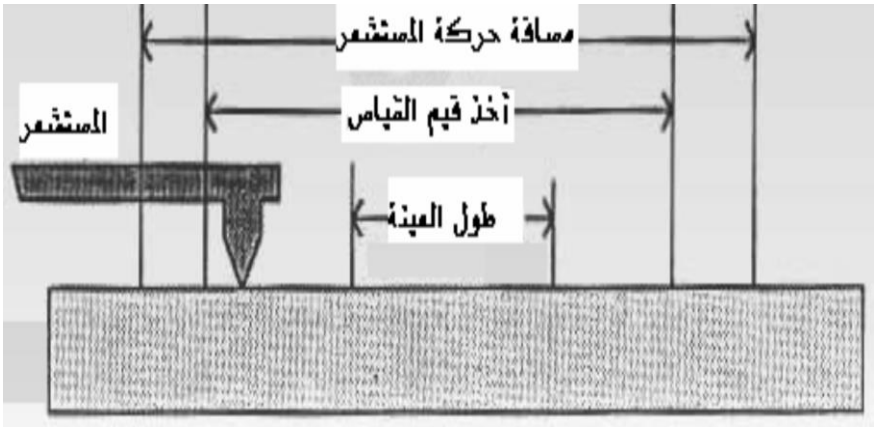
8-3-3- طريقة الاستشعار (جهاز قياس جودة الأسطح):

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. والمقصود بجودة الأسطح هنا مدى درجة نعومتها، فكلما زادت درجة النعومة ارتفعت جودة السطح. ويبين الشكل (6-8) أحد هذه الأنواع, يتكوّن الجهاز من رأس قياس ذي مستشعر دقيق أو جاس به إبرة ماسية يبلغ نصف قطرها من 1 إلى 5 ميكرومتر لتتمكن من الوصول إلى أدق تضاريس السطح المقاس. ويتصل رأس المستشعر بوحدة بيان وبوحدة تسجيل لإظهار وحفظ نتائج القياس على الترتيب. ويمكن تثبيت رأس القياس على حامل عند قياس قطع شغل صغيرة، أو يتم مسكها باليد على قطع الشغل الكبيرة. وفي كلتا الحالتين يتحرك المستشعر الدقيق لمسافة معينة تتراوح من1 مم إلى5 مم وتسمى هذه المسافة بطول العينة. ولإجراء القياس يتم تحديد طول العينة المقاسة ثم تتحرك إبرة المستشعر على السطح المراد قياس تضاريسه ببطء مع التقاط هذه الحركة وتكبيرها وتسجيلها. توجد اليوم أجهزة أكثر تطوراً وأصغر حجماً وتعطي نتائج عالية الدقة تدعى أجهزة قياس جودة السطوح فائقة الدقة.

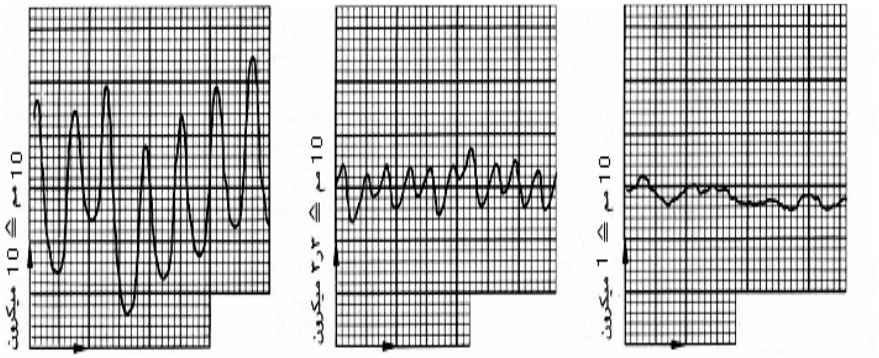
الشكل (6–8) جهاز قياس جودة الأسطح.

وعندما يقترب المستشعر من طول العينة يبدأ في التقاط تضاريس السطح من ارتفاعات وأخاديد كما في الشكل (7-8). وبما أن هذه التضاريس ضئيلة جداً، فإنه يتم تضخيمها بوساطة مضخم إلكتروني ليتم في النهاية عرضها على وحدة البيان، ثم يتم تسجيلها على وحدة التسجيل بغرض الحفظ وتحليل النتائج لاحقاً. كما يمكن رسم نتائج القياس في صورة منحني (يمثل محوره الأفقي موضع القياس على طول العينة والمحور الرأسي يمثل قيم التضاريس المقاسة) بوساطة وحدة رسم. ويمكن أن يظهر هذا المنحني على شاشة مزود بها بعض الأنواع من أجهزة قياس جودة الأسطح. ويتم تكبير القيم المقاسة (المحور الرأسي) عدة أضعاف قد تصل إلى 100,000 ضعف وذلك تبعاً لإمكانيات الجهاز ودقة تضاريس السطح المقاس.

أما المحور الأفقي فتكون نسبة تكبيره في حدود 20 إلى 100 ضعف حتى يمكن طباعة المنحني على شريط طباعة بطول مناسب لتسهيل عرض نتائج القياس وتحليلها كما هو موضح بالشكل (8-8).

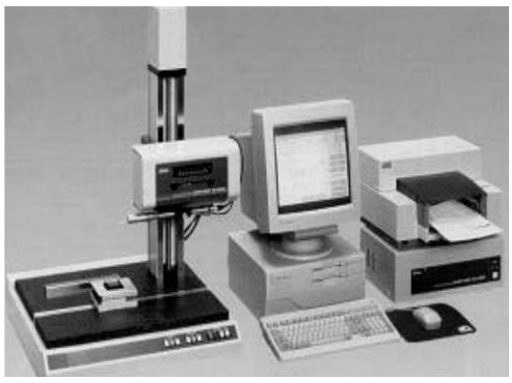


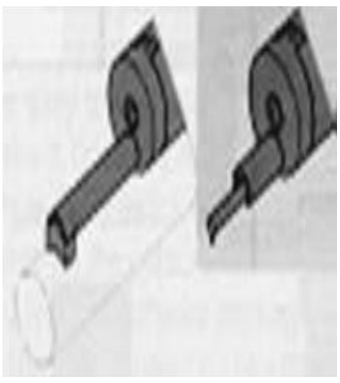
الشكل(7–8)كيفية حركة مستشعر جهاز قياس جودة الأسطح.



الشكل (8–8) عينات من نتائج قياس تضاريس سطح مكبرة بنسب تكبير مختلفة.

وقد حصل في السنوات الأخيرة تطور كبير في أجهزة قياس خشونة الأسطح لتواكب أحدث تقنيات العصر كالجهاز الموضح في الشكل (9-8- أ). وتكون هذه الأجهزة مبرمجة، فالبيانات تصل مباشرة وبمجرد التقاطها بوساطة المستشعر إلى الحاسب المتصل بالجهاز ليقوم بحساب مقاييس الخشونة المطلوبة ورسمها على شاشته بنسب تكبير تصل إلى 500,000 ضعف، ثم تتم الطباعة بوساطة الطابعة المرفقة. أما المستشعر فيأتي كوحدة متكاملة يتم تركيبها في الجهاز، وكلما زادت درجة دقة نهاية المستشعر أمكنه الغور في ثنايا تضاريس السطح، حيث يصل نصف قطر رأس المستشعر في بعض أجهزة القياس العالية الدقة إلى 5µm. وتوجد أشكال متعددة لطرف المستشعر يمكن تبديلها لتلائم شكل السطح المراد قياسه كما في الشكل (8-9- ب).





(ب) (أ)

الشكل (8–9) جهاز قياس الخشونة وعدد من المستشعرات لتطبيقات مختلفة

8-4- مقاييس خشونة الأسطح:

توصي المنظمة الدولية ISO باتباع طرائق محددة لدراسة بنية السطوح الهندسية، وقد جاءت هذه الطرائق تحت المواصفة ISO/(E)1966-468R، لتعبر عن بنية السطوح بلغة الأرقام، ومن أهم الطرائق المتبعة في الدول المتقدمة صناعياً الطرائق التالية:

8-4-1- طريقة المتوسط الحسابي للانحرافات R_a:

تعتمد هذه الطريقة على الارتفاع المتوسط R_a لتقييم درجة نعومة الأسطح كما في الشكل (8-10). حيث يؤخذ الخط المتوسط، بحيث يكون مجموع مساحات النتوءات (الارتفاعات) فوقه مساوية لمجموع مساحات الانخفاضات تحته، أو بتعبير آخر بحيث يصل مجموع مربعات الإحداثيات الشاقولية المأخوذة عبر مسافات أفقية إلى الحد الأدنى، أما الارتفاع المتوسط R_a فهو يعبر عن قيمة الخشونة المتوسطة بدءاً من الخط المتوسط، وهو عبارة عن الارتفاع الوسطي لمجموع مساحات النتوءات الواقعة فوق الخط المتوسط والانخفاضات الواقعة تحته من دون الالتفات إلى إشارة المساحة.

الشكل (8–10) الخشونة المتوسطة Ra

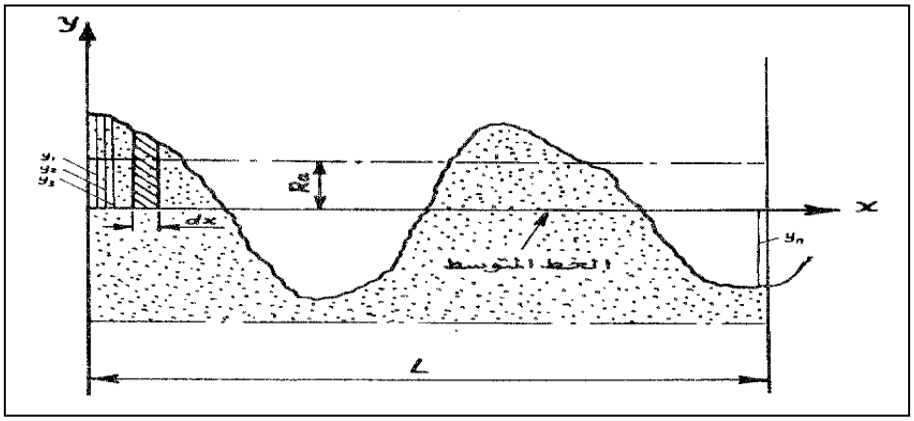
وتعرف قيمة الخشونة المتوسطة R_a: بأنها المتوسط الحسابي لمدى ابتعاد الانحرافات عن البعد الفعلي المتوسط. ويتم حساب الخشونة المتوسطة بقسمة مجموع المساحات المظللة على طول العينة، الشكل (8-11).

ويمكن تقريب هذه القيمة بأخذ مجموع الانحرافات y_i مقسوماً على عددها n. يتم في هذه الطريقة اختيار عينة من السطح المدروس بطول كاف مقداره L، يحوي كمية مناسبة من التعرجات، ثم تختار خطاً عمودياً على الاتجاه العام للتعرجات يسمى (الخط المتوسط) بحيث تكون مساحة النتوءات فوق هذا الخط وتحته متساوية، ثم يتم تحديد الإرتفاع المتوسط R_a وفق المعادلة (1-8):

$$R_a = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i| \dots\dots\dots (1-8)$$

$|y_i|$ هي قيم الارتفاعات بدءاً من الخط المتوسط وحتى حدود التعرجات، وبالقيمة المطلقة (i =1,2,3,4…n). كما يمكن تحديد R_a بشكل تكامل على طول L وفق المعادلة (2-8):

$$R_a = \frac{1}{L}\int_0^L |y|\,dx \dots\dots\dots (2-8)$$



الشكل (8-11) طريقة المتوسط الحسابي للانحرافات

حساب قيمة الخشونة المتوسطة R_a:

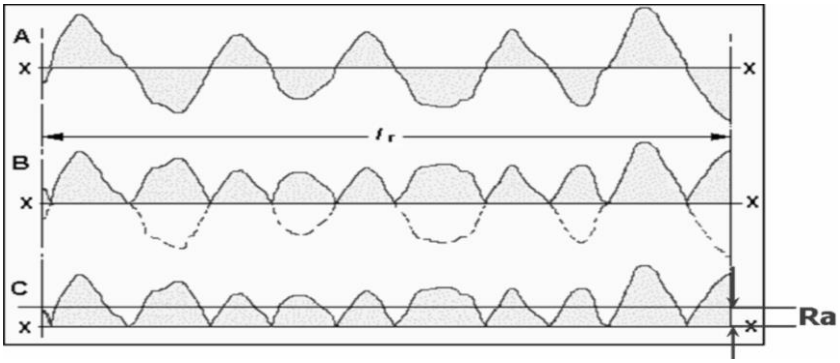
عندما يجمع المستشعر بيانات السطح المختبر، نقوم بالإجراءات التالية:

1- يتم أولاً تحديد خط المنتصف (X-X) بحيث تكون مجموع المساحات الواقعة فوقه مساوياً لمجموع المساحات الواقعة أسفله، الشكل (8-12).

2- بعد تحديد الخط المتوسط تعكس المساحات الواقعة أسفل خط المنتصف (X-X) إلى أعلى ويتم اعتبارها كقمم أخرى.

3- يُرسم خط متوسط جديد للارتفاعات (القمم).

4- وبالتالي تكون المسافة بين خط المنتصف (X-X) وخط متوسط الارتفاعات هي قيمة الخشونة المتوسطة R_a، وتقدر بوحدة الميكرومتر µm.



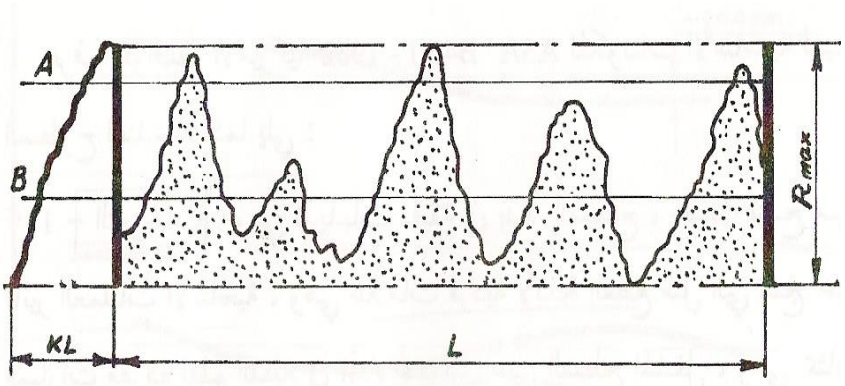
الشكل (8–12) حساب قيمة الخشونة المتوسطة Ra

الصيغة الرياضية لحساب قيمة الخشونة المتوسطة R_a وفق المعادلة (3–8):

$$R_a = \frac{|Y_1| + |Y_2| + \cdots |Y_n|}{n} \ldots\ldots\ldots (3-8)$$

8-4-2- طريقة الارتفاع الأعظمي للتعرجات R_{max}:

يعبر عن خشونة الأسطح بهذه الطريقة من خلال المسافة الفاصلة بين أعلى قمة وأخفض أخدود للنتوءات الميكروية السطحية كما في الشكل (13-8). حيث يتم أخذ عينة من السطح بطول كافٍ مقداره L يحوي عدداً متوسطاً من التعرجات ثم يرسم خط يمس أعلى قمة لهذه التعرجات وخط آخر يمس أخفض أخدود، والمسافة بينهما R_{max} تتخذ أساساً لتقييم الخشونة (درجة تنعيم السطح).



الشكل (8-13) تأثير بنية السطوح في مساحة التلامس

KL: يمثل طول المساحة النسبية لتلامس السطوح، وعنده تتلامس السطوح بنسبة 100%، ولكن من مساوئ النعومة الزائدة للأسطح المتلامسة عدم فسح المجال لزيت التزييت بالتغلغل بينها، لذلك تترك عادة بعض التعرجات الخفيفة ليملأ الزيت الفراغات بينها وذلك من أجل سهولة حركة الأسطح المتلامسة مع بعضها.

A: مستوي يمثل إزالة 15% من R_{max} مما يؤدي إلى زيادة سطح التلامس حتى 25% تقريباً.

B: مستوي يمثل إزالة 50% من R_{max} مما يؤدي إلى زيادة سطح التلامس حتى 57%.

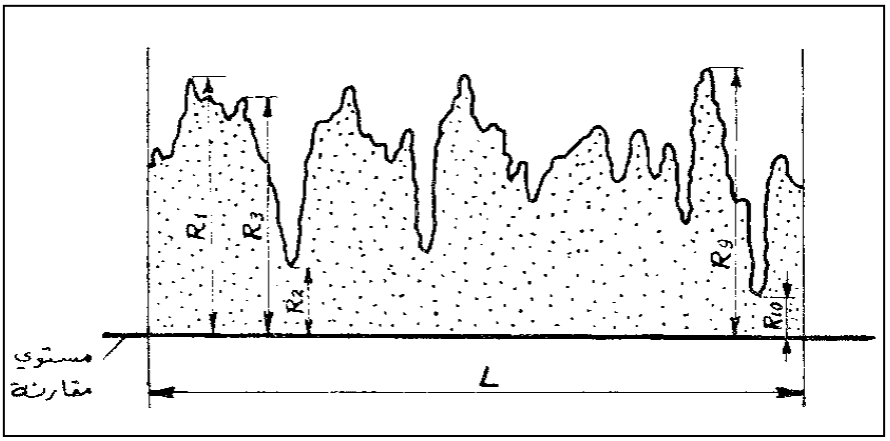
8-4-3- طريقة النقاط العشر للتعرجات:

لقد تم توضيح هذه الطريقة في الشكل (8-14) حيث يعبر الارتفاع R_z عن الارتفاع الوسطي للنتوءات الميكروية، وتستخدم عشر نقاط لحساب R_z، وبالتالي يكون الارتفاع الوسطي مساوياً لمجموع أعلى خمس قمم مع أخفض خمسة أخاديد وتقسيم المجموع على عشرة.

$$R_z = \frac{(R1 + R3 + R5 + R7 + R9) + (R2 + R4 + R6 + R8 + R10)}{10}$$

وهذه الطريقة متبعة من قبل عدد كبير من الدول الصناعية، ولذلك عند تصميم الرسوم الهندسية توضع قيم الارتفاع المتوسط R_z على السطوح بحيث يتم تثبيت قيمتين لـــ R_z، القيمة الأولى تمثل الحد الأدنى والقيمة الثانية تمثل الحد الأعلى.

لتطبيق هذه الطريقة نختار الطول L بحيث يحوي عدداً من التعرجات كافياً لإجراء الدراسة المطلوبة لبنية السطح، ثم نحدد أعلى خمس قمم ونقيس ارتفاعات هذه القممR_9, R_7, R_5, R_3, R_1، ونحدد أخفض خمس أخاديد ونقيس ارتفاعاتها عن مستوى المقارنة (الذي يوازي الخط المتوسط)، وهي R_6, R_4, R_2 R_{10} , R_8، ويكون الارتفاع المتوسط في هذه الحالة R_z كما في العلاقة السابقة.



الشكل (8–14) طريقة النقاط العشرة للتعرجات

يستخدم الإرتفاع R_Z في تقييم خشونة الأسطح، أمثلة على ذلك:

$R_Z = \mu m0.5$ يعبر عن سطح ناعم جداً ناتج عن تجليخ عالي الدقة.

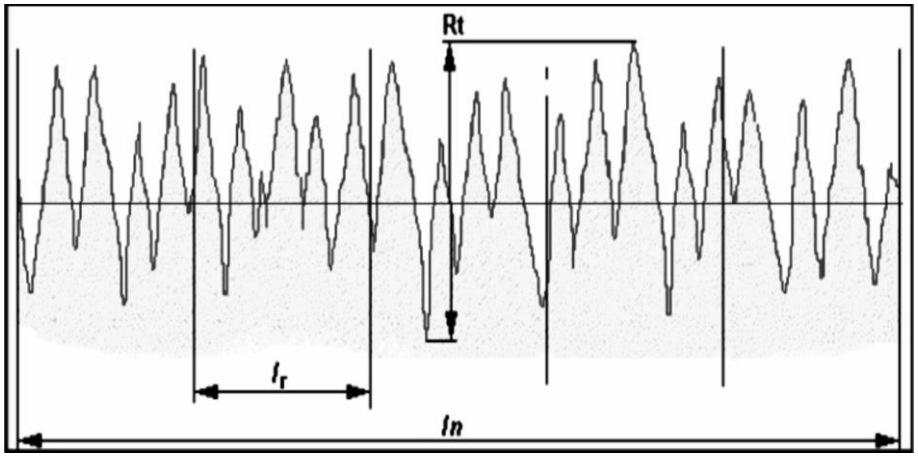
$R_Z = \mu m10$ يعبر عن سطح أقل نعومة ناتج عن عملية تفريز ناعم.

8–4–4– مقاييس الخشونة:

لكي يتم وصف خشونة الأسطح بطريقة محددة، كان لابد من الاتفاق على مقاييس عددية تعبر عن درجة خشونة السطح. وقد اتفق المختصون في هذا المجال على عدد من المقاييس العددية لتكون مقاييس موحدة تستخدم للتمييز بين الأسطح ذات درجات الخشونة المختلفة وهذه المقاييس هي:

8-4-4-1- عمق الخشونة R_t:

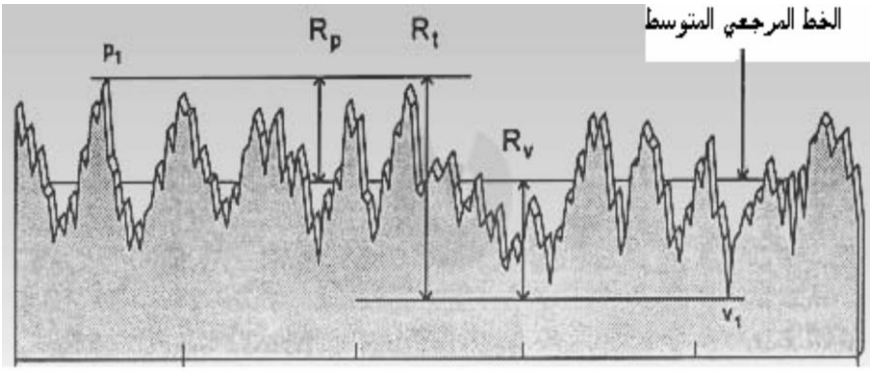
هو البعد بين الحد الأقصى والحد الأدنى للانحرافات، أو هو أقصى ارتفاع بين أعلى قمة وأدنى قاع على الطول المختبر، الشكل (8-15). ويُعد عمق الخشونة من أكثر المقاييس المستخدمة لتقييم بنية الأسطح، ولكنه لا يعطي فكرة واضحة عن الخواص الانزلاقية للأسطح ومقاومتها للبري. لذلك يتم الاستعانة بمقاييس أخرى لخشونة الأسطح للوصول لأعلى دقة في تقييم الأسطح.



الشكل (8-15) مقياس عمق الخشونة

8-4-4-2- عمق الاستواء (التسطيح) R_p:

هو البعد بين الحد الأقصى والخط المرجعي المتوسط للانحرافات (البعد بين البنية المتوسطة والبنية الإسنادية)، الشكل (8-16). ويدل هذا المقياس على المقدار اللازم لضغط قمم التموج الفعلية حتى تصبح مستوية. ويمتاز هذا المقياس عن المقاييس الأخرى للخشونة بأنه يعطي أفضل بيان عن الأداء الوظيفي للسطح مثل الأسطح الانزلاقية وأسطح الإزواجات التداخلية التي يتم تركيبها بالكبس.



الشكل (8–16) عمق الخشونة R_t، وعمق التسطيح R_p

8–4–4–3– العمق الأدنى للخشونة R_v:

هو البعد بين الحد الأدنى والخط المرجعي المتوسط للانحرافات. والشكل (8-17) يبين كلاً من مقاييس الخشونة R_t , R_p , R_v التي ترتبط ببعضها البعض وفق المعادلة (8–4):

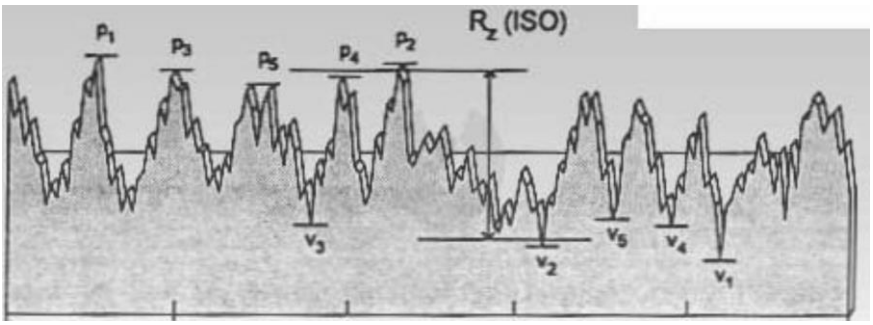
$$R_t = R_p + R_v \dots\dots\dots (4-8)$$

8–4–4–4– متوسط أقصى انحرافات للسطح R_Z:

هو متوسط الفرق بين أعلى خمسة انحرافات P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 وأدنى خمسة انحرافات V_1,V_2,V_3,V_4,V_5 في العينة المقاسة.وطبقاً لمواصفات ISO وبالنظر إلى الشكل (3-12) نجد أن:

$$\mathbf{R_Z = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5) - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5)}{5}}$$

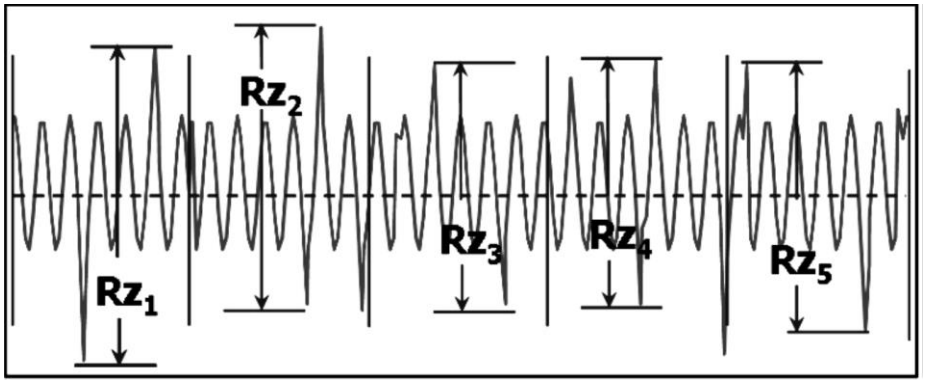
الشكل(8–17) متوسط أقصى انحرافات للسطح Rz.



8–4–4–5– عمق الخشونة المتوسطة R_z طبقاً لمواصفات DIN الألمانية:

هو متوسط أعماق الخشونة، حيث يقسم الطول المختبر إلى عدد من المناطق المتساوية (خمسة مناطق)، في كل منطقة يتم إيجاد عمق الخشونة (أقصى ارتفاع بين أعلى قمة وأدنى قاع)، ثم يتم حساب متوسط عمق الخشونة R_z، الشكل (8-18). الصيغة الرياضية لحساب قيمة عمق الخشونة المتوسطة R_z:

$$R_Z = \frac{R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4} + R_{z5}}{5}$$



الشكل (8-18) عمق الخشونة المتوسطة

متوسط الجذر التربيعي لانحرافات السطح R_q:

هو الجذر التربيعي لمتوســـط مجموع مربعات الانحرافات. وتظهر أهمية هذا المقياس عند تقييم الخواص الضوئية للأسطح.

وتستخدم المعادلة التالية لحساب R_q وفق المعادلة (5-8):

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i^2} \dots\dots\dots (5-8)$$

حيث:

n: عدد نقاط القياس.

Y_i: قيمة الانحراف عند نقاط القياس.

إن المقاييس التي تم تعريفها هي أكثر المقاييس أهمية واستخداماً في مجال الإنتاج. لكن توجد أيضاً مقاييس أخرى مشابهة، وكذلك مقاييس لحساب طول موجة الخشونة. وتستخدم هذه المقاييس بكثرة من قبل المختصين والباحثين عند إجراء دراسات بحثية في مجال خشونة الأسطح.

مثال1:

في تجربة معملية لتقييم خشونة أحد الأسطح تم أخذ القراءات التالية عند 18 نقطة قياس على السطح:

نقطة القياس	1	2	3	4	5	6	7	8	9
الانحرافµm	7	19	27	19	17	15	9	3	13
نقطة القياس	10	11	12	13	14	15	16	17	18
الانحرافµm	15	19	11	22	13	8	3	1	11

احسب مقاييس الخشونة R_t, R_z, R_a, R_q.

الحل:

بالرجوع إلى الشكل (3-11) نجد أن عمق الخشونة R_t يمكن حسابه كالتالي:

$$\mu m R_t = P_1 - V_1 = 27 - 1 = 26$$

وباستخدام معادلات تعريف كل من R_q, R_a, R_z نستطيع حساب القيم المطلوبة كالتالي:

$$R_z = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5) - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5)}{5}$$

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

$$R_z = 16.8\ \mu m$$

$$R_a = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i$$

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

$$Ra\ = 12.89\mu m$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i^2}$$

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

8-5- الترميزات الدّالة على خشونة الأسطح:

من الصعب التعبير عن خشونة الأسطح الناتجة بأرقام محددة تعبر عن ارتفاع النتوءات الميكروية، فلذلك تتبع المواصفات الدولية علامات خاصة تعبر عن نعومة السطح المطلوب وخشونته. وبحسب المواصفات الألمانية علامات التشغيل عددها 6 تعبر عن جودة السطح المنتج من حيث الخشونة والنعومة، يتم وضع العلامات على الرسوم الهندسية لكي يتقيد بها الصانع أو المنتج، ويوضع أحياناً إلى جانب هذه العلامات نوع عملية التشغيل المطلوبة، وذلك بالنسبة للسطوح التي تتطلب عمليات تشغيل خاصة. والعلامات كما يوضح الشكل (8-19) تعبر عن:

1- دون رمز: يعبر عن عدم وجود أي شرط لنعومة السطح، أي إن النعومة غير مطلوبة لهذا السطح.

2- رمز التقريب ~: يعبر عن وجود نعومة بسيطة، يجب أن تتوافر في السطح المطلوب.

$$R_Z = 100 \div 400\mathrm{m}\mu$$

3- رمز مثلث واحد: يعبر عن وجود نعومة متوسطة، حيث الارتفاع المتوسط للنتوءات الميكروية.

$$R_Z \approx 25 \div 100\mu m$$

4- رمز المثلثين: السطح المطلوب جيد النعومة.

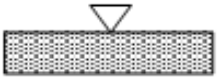
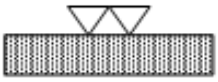
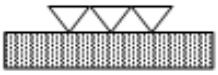
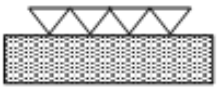
$$R_Z \approx 10 \div 25\mu m$$

5- رمز 3 مثلثات: السطح المطلوب ناعم جداً.

$$R_Z \approx 2.5 \div 10\mu m$$

6- رمز 4 مثلثات: السطح المطلوب فائق النعومة ويحتاج لعمليات تشغيل دقيقة.

$$R_Z \approx 0.4 \div 1\mu m$$

علامة إنهاء السطوح	وصف نوعية السطوح
بدون رمز	جميع السطوح الناتجة عن عمليات السباكة، والحدادة والدرفلة (لا تشترط جودة معينة للسطح).
رمز تقريبي	جميع السطوح الأكثر انتظاماً من الحالة السابقة , والحدادة بالقوالب والسباكة المهذبة .
 مثلث واحد	جميع السطوح التي تجري عليها العمليات تشغيل , يمكن رؤية آثار التشغيل والتعرف عليها باللمس .
 مثلثان	جميع السطوح التي تجري عليها عمليات تنعيم , آثار عمليات التنعيم يمكن رؤيتها بالعين المجردة .
 3 مثلثات	جميع السطوح التي تجري عليها عمليات تنعيم دقيقة , لا يمكن رؤية آثار التنعيم بالعين المجردة .
 4 مثلثات	جميع السطوح التي تجري عليها عمليات تنعيم عالية الدقة والتجهيز .

الشكل (19–8): علامات خشونة السطوح حسب النظام الألماني

8–5–1– درجات الخشونة في النظام الروسي:

تحدد المواصفات الروسية درجات للخشونة اعتماداً على الارتفاع المتوسط R_Z أو المتوسط الحسابي للانحرافات R_a وتؤخذ قيم R_Z أو R_a العظمى، ويرمز لدرجة الخشونة بمثلث ∇ يضاف إلى يمينه رقم يدل على درجة الخشونة. فعلى سبيل الإيضاح عندما نجد في أحد الرسوم الهندسية هذه العلامة ∇6 فهذا يدل على أنه يجب تشغيل هذا السطح وإنهاؤه، بحيث يحقق درجة الخشونة السادسة، وتقدر هذه الدرجة بارتفاع متوسط للنتوءات الميكروية بمقدار (R_a =1.6 ÷ 2.5µm) فوق المحور المتوسط، ويمكن الحصول على هذا السطح وفق درجة الخشونة السادسة بعمليات مختلفة مثل عملية التسوية الوجهية، والبرادة اليدوية(إنهاء فقط)، والتفريز(إنهاء دقيق). يعتمد نظام المواصفات الروسية في تقسيمه لدرجات الخشونة على 14 درجة خشونة، وكل درجة تدل على أقصى قيمة مسموح بها للارتفاع المتوسط بين قمة وقاع النتوءات الميكروية R_Z ، أو تدل على أقصى قيمة مسموح بها لارتفاع النتوءات الميكروية عن المحور

المتوسط R_a. وبالطبع درجات الخشونة هذه لا تأخذ في حسابها الخدوش السطحية أو الثقوب، وتدل دائماً على القيم القصوى للخشونة.

8-5-2- درجات الخشونة في النظام الدولي ISO:

إن أفضل طريقة لتحديد رتبة خشونة السطوح الهندسية هي طريقة المتوسط الحسابي لارتفاع التعرجات بدءاً من المحور المتوسط، وعلى هذا الأساس أصدرت المنظمة الدولية في عام 1978 المواصفة الدولية ISO 1302-1978(E)، بعد أن قامت عدة دول صناعية كبرى بتجريب طريقة المتوسط الحسابي واختبارها، وبعد أن أثبتت هذه الطريقة جدارتها في احتلال مكان الصدارة بين أساليب التعبير عن درجات الخشونة في الأنظمة الدولية المعتمدة.

يُرمز لدرجات الخشونة في هذا النظام بالرمز N وإلى يمينه عدد من 1 حتى 12 يعبر عن درجة خشونة السطح. تبدأ المنظمة الدولية للتقييس ترميزها لدرجات نعومة الأسطح بدءاً منN1 للتعبير عن الأسطح الفائقة النعومة حتى N12 للتعبير عن الأسطح المتوسطة النعومة. وتتبع درجات النعومة متوالية هندسية أساسها 2، ويعبر العدد الذي يمثل درجة النعومة عن الارتفاع الأعظمي للتعرجات وفق الخط المتوسط، بواحدة قياس هي الميكرومتر. يبين الجدول (8-1) الدرجات الإثنتا عشرة مقيسة بالميكرومتر:

الجدول (8-1) درجات الخشونة في النظام الدولي ISO

Roughness values Ra قيم الخشونة		**Roughness Grade Numbers** أرقام درجة الخشونة
µm	µin	
50	2000	**N12**
25	1000	**N11**
12.5	500	**N10**
6.3	250	**N9**
3.2	125	**N8**
1.6	63	**N7**
0.8	32	**N6**
0.4	16	**N5**
0.2	8	**N4**
0.1	4	**N3**
0.05	2	**N2**
0.025	1	**N1**

وعند التفتيش على المشـــغولات تُرفض المشـــغولات التي تتجاوز تعرجات ســـطوحها القيم المحددة على الرسـم. وكمثال على ذلك، إذا كان المطلوب إنهاء سـطح مشـغولة بدرجة خشـونة N4 فيجب ألا يزيد المتوسـط الحسـابي لارتفاع التعرجات فوق الخط المتوسـط للسـطح الناتج على القيمة 0.2µm وفي حال تجاوز هذه القيمة يعد السطح مرفوضاً.

8-5-3- علامات التشغيل القياسية:

إن الأبعاد التي توضع على أجزاء المشغولات تشير إلى قياس البعد بالنسبة لوحدات القياس المعروفة، ولكن هناك علامات خاصة لإظهار دقة تشغيل السطوح حسب ما تقتضيه الحاجة من نعومة أو خشونة للسـطوح المشـغلة. لذا توضـع علامات تسـمى بعلامات التشـغيل لترشـد الفني والمهندس أثناء عمله إلى مدى خشونة السطح المشغل، وفي الحقيقة لا يوجد سطح تام النعومة ولكن هناك سطوح خشنة وسطوح أقل خشـونة، وهذه الخشـونة يمكن أن ترى تحت عدسـة مكبرة، ويمكن قياسـها ورسمها باسـتخدام أدوات خاصة.

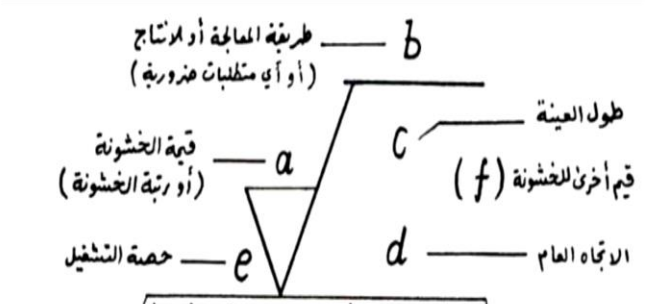
تتألف علامة التشغيل الأساسية من ضلعين غير متساويين يميل كل منهما عن السطح المرمّز بزاوية 60^{o} تقريباً. ويمثل الرقم الذي يكتب داخل هذين الضلعين إحدى القيمتين: قيمة الخشونة بـــ µm، أودرجة الخشونة. مع ملاحظة الأتي:

1- عند وضـع علامات التشـغيل على سـطح ما، يعني أنه يجب تشـغيل هذا السـطح بحيث لا تزيد خشـونته على القيمة أو الدرجة المدونة داخل هذه العلامة، ولا يشـترط تشـغيل هذا السـطح بآلة تشـغيل معينة إنما يمكن إنتاجه بأي وسيلة من وسائل التصنيع.

2- إذا أضـيف للعلاقة خط عرضـاني، فهذا يعني أن الحصـول على هذا السـطح يجب أن يتم بإزالة الرايش. ولكن إذا أضـيفت دائرة صـغيرة فمعنى ذلك أن الحصـول على السـطح يجب أن يتم دون إزالة الرايش.

3- إذا كانت قيمة الخشـونة المطلوبة غير مقيدة بقيمة محددة، فتكتب قيمة هذه الخشـونة كحدين، حد أعلى يمثل المتوسـط الحسـابي الأعظمي للتعرجات وحد أدنى يمثل المتوسـط الحسـابي الأصـغري للتعرجات، وبدءاً من الخط المتوسط تكتب القيمة القصوى فوق القيمة الدنيا.

4- إذا كان السـطح المراد الحصـول عليه يجب أن يشـغل بأسـلوب محدد فيتم الإشـارة إلى ذلك بشـكل صريح فوق خط يتصل بالضلع الطويل لعلاقة التشغيل القياسية، ويمكن كتابة أية متطلبات أخرى فوق هذا الخط، أو أية إيضـاحات متعلقة بمعالجة السـطح أو تحديد صـفته قبل المعالجة وبعدها، الشـكل (8-20).



الشكل (8–20) الرموز والأرقام التي توضع على علامات التشغيل الرئيسة وفق ISO

5- يعتمد أسلوب التعبير بالأرقام عن أية متطلبات أو إيضاحات متعلقة بالسطح كما يوضح الشكل (8-21) وهذه الأرقام ضرورية دفعاً للالتباس الذي قد يحصل من جراء الرموز فقط، وهذا يزيد في تفصيل نوعية السطح المطلوب إنتاجه. وتبرز الحاجة إلى هذه الأرقام بالنسبة للسطوح الدقيقة ذات الجودة العالية للإنهاء.

6- أشارت المواصفة الدولية ISO (E)1966-468R إلى ضرورة وضع طول العينة المختبرة من السطح داخل العلاقة القياسية وذلك لزيادة الإيضاح، وهذا الطول يعبر عن قيمة طول السطح الذي يجري عليه الاختبار لتحديد قيمة خشونته. ويجب أن يكون طول العينة المختبرة L مساوياً إحدى القيم التالية:

$$L_1 = 0.08 \div 0.25mm$$
$$L_2 = 0.8 \div 2.5mm$$
$$L_3 = 8 \div 25mm$$

7- تم اعتماد التعابير التالية من قبل ISO، وذلك للتعبير عن وضع السطح واتجاهه العام بالنسبة لمسقط السطح الذي توضع عليه علامة التشغيل في المخطط التنفيذي.

الاتجاه العام // يوازي السطح المرمّز.

⊥ الاتجاه العام عمودي على مسقط السطح المرمّز.

X الاتجاه العام يميل في اتجاهين على مسقط السطح.

M الاتجاه العام متعدد الاتجاهات.

C الاتجاه العام دائري بالنسبة لمركز السطح.

R الاتجاه العام قطري بالنسبة لمركز السطح.

نوعية السطوح	نماذج من السطوح الملائمة وعمليات التشغيل
0.025	أطراف أجهزة القياس – المرايا – فكّا الميكرو متر...
0.1	صقل – إنهاء دقيق – الأجهزة عالية الدقة ...
0.4	صقل- إنهاء متوسط النعومة – تجاويف أسطوانات محركات الاحتراق الداخلي
0.8	الجلخ الأسطواني الدقيق – أسنان المسننات المصممة لظروفعمل قاسية .
1.6	السطوح المشغلة بأداة قطع ماسية أو كربيدية -أسنان المسننات العادية
3.2	عمليات التشغيل التي تتضمن سرعات قطع عالية وتغذية صغيرة وعمق قطع خفيف – سطوح المحامل الانزلاقية .
6.3	السطوح المشغلة بالجلخ الخشن – السطوح المشغلة الخارجية .
12.5	السطوح الخشنة جداً التي تنتج عن عمق قطع كبير وتغذية سريعة .