



علم القياس والقياسات الميكانيكية
لهندسة التصميم الميكانيكي، والميكانيك العام والآليات





منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

علم القياس والقياسات الميكانيكية

لطلاب السنة الثالثة

في أقسام هندسة التصميم الميكانيكي، وهندسة الميكانيك العام وهندسة
السيارات والآليات الثقيلة

الدكتور

عبد المعين أحمد الخضور

أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم الميكانيكي

الدكتور

خالد عثمان شرف

أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم الميكانيكي

1434-1435 هـ

2013-2014 م

جامعة دمشق



الفهرس

رقم الصفحة	العناوين الرئيسة والفرعية
13	مقدمة
17	الفصل الأول: المبادئ الأساسية لعلم القياس
18	1-1- نشأة علم القياس
19	1-2- لمحة تاريخية
21	1-3- مفهوم علم القياس (المتولوجيا)
22	1-4- القياسات الصناعية وأهميتها في الحياة
24	1-5- القياسات الصناعية أو علم المتولوجيا
24	1-6- فروع علم القياس (المتولوجيا)
27	1-7- أهمية علم المتولوجيا
27	1-8- أهداف المتولوجيا
28	1-9- أهمية قياس الأبعاد
29	1-10- منظومة الأوزان والمقاييس المترية
30	1-11- النظام الدولي لوحدات القياس SI
32	1-12- وحدات القياس
33	1-13- وحدات القياس الدولية SI
35	1-13-1- أجزاء ومضاعفات وحدات القياس في النظام الدولي
38	1-13-2- وحدات خارج الجملة الدولية SI
39	1-14- المفاهيم الأساسية للتقييس
42	1-15- المصطلحات الأساسية للقياس
45	1-16- الفراغ التقييسي
50	1-17- أهداف التقييس

54	18-1- فوائد التقييس
55	19-1- التقييس في المصنع
56	1-19-1- المواصفات والسلع
56	2-19-1- عناصر المواصفة الكاملة
58	3-19-1- درجات تقييس السلعة
58	4-19-1- نتائج أهداف التقييس في المصنع
59	الفصل الثاني: التسامحات والإزواج
59	مقدمة
60	2-1- التفاوتات
61	2-2- تعاريف أساسية
65	2-3- العلاقة بين تكاليف التشغيل والتفاوت المسموح به
67	2-4- العلاقة بين الانحراف والأبعاد تبعاً لعمليات التشغيل
68	2-5- العلاقة بين مقدار التفاوت وكفاءة الإنتاج
70	2-6- تمثيل المواضع الأساسية لنطاقات التفاوت بالنسبة لخط الصفر
71	2-7- أنواع التسامح
74	2-8- سلاسل التفاوتات
78	2-9- الإزواج
80	2-9-1- أنواع الإزواج
88	2-9-2- اختيار نوع الإزواج
98	2-10-1- الأنظمة الدولية للإزواج
98	2-10-2- النظام الألماني للمواصفات
98	2-10-2- النظام الروسي للإزواج
100	2-10-3- النظام الدولي للمواصفات ISA
103	2-10-4- النظام الدولي ISO للإزواج والتفاوتات

103	11-2- التفاوتات على الرسوم الهندسية
113	12-2- التفاوتات العامة
116	13-2- مجالات الأقطار
116	14-2- التفاوت المسموح به للأبعاد غير المحدد فيها التسامح على الرسومات
116	15-2- التوصيف على الرسم
117	16-2- قواعد الانحرافات الأساسية في النظام الدولي ISO
122	17-2- درجات التفاوت (السماحية) العالمية IT
124	18-2- تصنيف الإزواجيات
130	19-2- تأثير الشروط الحرارية في الإزواجيات
137	20-2- تطبيقات وتمارين
153	الفصل الثالث: قياس الأبعاد باستخدام أدوات وأجهزة القياس
153	مقدمة
154	1-3- شروط العمل في مخابر القياس
154	2-3- قواعد القياس
155	3-3- أجهزة القياس
155	1-3-3- أجهزة القياس الخطية
157	2-3-3- أجهزة القياس الضوئية والليزرية
158	4-3- أجهزة المعايرة
164	5-3- قياس الأبعاد باستخدام المساطر الحديدية
170	6-3- قياس الأبعاد باستخدام الفرجارات
174	7-3- قياس الأبعاد باستعمال القدمة ذات الورنية
190	8-3- قياس الأبعاد باستعمال الميكرومتر
209	9-3- قوالب القياس
225	10-3- محددات القياس

239	3-11- ساعات القياس
247	3-12- تسامحات وإزواجات اللوالب (القلاووظات)
266	3-13- تسامحات وإزواجات المسننات
276	3-14- قياس الزوايا
299	الفصل الرابع: بنية السطوح الهندسية
299	مقدمة
301	4-1- الأسباب المؤدية إلى خشونة الأسطح
301	4-2- تأثير بنية السطوح في مقاومة التعب والتآكل
303	4-3- تصنيف عدم استواء الأسطح
306	4-4- اتجاه الحزوز أثناء عملية التشغيل
306	4-5- طرائق تقييم درجة نعومة الأسطح
311	4-6- مقاييس الخشونة
316	4-7- علامات التشغيل في الأنظمة الدولية
320	4-8- علامات التشغيل القياسية
323	4-9- أجهزة قياس الخشونة
330	4-10- رموز تشطيب الأسطح في الرسومات الهندسية
333	4-11- العلاقة بين عمق الخشونة والتفاوت المسموح
335	الفصل الخامس: دقة التشغيل
336	مقدمة
336	5-1- تسامحات الانحراف في الشكل
336	5-2- الأخطاء الناتجة عن الانحرافات في الشكل والأوضاع
337	5-3- دقة التشغيل والتفاوتات الأساسية
338	5-4- أنواع التفاوتات الهندسية
339	5-5- تفاوتات التشغيل الأساسية في النظام الدولي ISO

349	5-6- تفاوتات التشغيل على الرسوم الهندسية
353	5-7- أجهزة قياس التفاوتات الهندسية
356	5-8- قياس تفاوت الوضع
359	الفصل السادس: أخطاء أجهزة القياس
359	مقدمة
360	6-1- طرائق القياس
360	6-1-1 طريقة القياس المباشرة
361	6-1-2 طريقة القياس غير المباشرة
362	6-1-3 طريقة القياس الموحدة
262	6-2- أجهزة القياس
363	6-3- حساسية أجهزة القياس
365	6-4- تصنيف أجهزة القياس
367	6-5- أخطاء أجهزة القياس
367	6-5-1 الأخطاء التصميمية
369	6-5-2 الخطأ المطلق والخطأ النسبي
370	6-5-3 مرتبة الدقة لجهاز القياس
371	6-5-4 الخطأ النسبي لآلية جهاز القياس
372	6-5-5 الخطأ الكلي لجهاز القياس
374	6-6- أخطاء القياس
375	6-6-1 تعاريف أساسية
376	6-6-2 مصادر أخطاء القياس
377	6-7- أنواع أخطاء القياس
377	6-7-1 الأخطاء النظامية
391	6-7-2 الأخطاء العشوائية

399	6-8- التباين والانحراف المعياري
410	6-9- تطبيقات
419	الفصل السابع: مدخل إلى ضبط الجودة
419	مقدمة
419	7-1- مفهوم الجودة
421	7-2- المفاهيم الأساسية للجودة
423	7-3- أسباب اهتمام المؤسسات بمفاهيم الجودة وعوائق تطبيقها
423	7-3-1- أسباب اهتمام المؤسسات بمفاهيم الجودة.
423	7-3-2- عوائق تطبيق مفاهيم الجودة
424	7-4- مراحل تطور أساليب الرقابة على الجودة
428	7-5- مفهوم إدارة الجودة الشاملة
430	7-5-1- رواد إدارة الجودة الشاملة
438	7-5-2- أهمية إدارة الجودة الشاملة
440	7-5-3- مبادئ إدارة الجودة الشاملة
441	7-5-4- عيوب إدارة الجودة الشاملة
441	7-5-5- أهداف إدارة الجودة الشاملة وفوائدها
441	7-6- تطبيق إدارة الجودة الشاملة
444	7-7- الفرق بين الجودة وإدارة الجودة الشاملة
444	7-8- الفرق بين إدارة الجودة الشاملة والإدارة التقليدية
445	7-9- الجودة والمواصفات القياسية
448	7-10- فوائد نظام علامة الجودة
449	7-11- المواصفات القياسية الدولية إيزو 9001
455	7-12- مفهوم المواصفات
459	7-13- علاقة نظام الآيزو 9000 بإدارة الجودة الشاملة

461	7-14 - الآيزو 14000
462	7-15 - بعض هيئات المواصفات والمقاييس العربية والإقليمية
467	مسرد المصطلحات العلمية
479	المصادر العلمية
481	ملحق(1): جداول تحويل الوحدات غير المترية إلى الوحدات المترية (الدولية)
497	ملحق(2): جداول الإزواج والتفاوتات الدولية



مقدمة

يتميز العصر الحديث بقفزات مذهلة في مختلف حقول التكنولوجيا، ويشهد العالم اليوم ثورة علمية شاملة، وتطوراً متسارعاً في جميع المجالات الصناعية والتكنولوجية فاقت حدود الخيال، فلو دققنا النظر في هذه الحقول بدءاً من الصناعات الدقيقة، وحتى هندسة الفضاء وتكنولوجيا النانو وتكنولوجيا المعلومات، فإننا نلاحظ أن هناك علماً يربط بين الحقول، وهو الذي ساعد على تطورها ووصولها إلى ما هي عليه اليوم، ألا وهو علم القياس.

إن الحاجة إلى إجراء قياسات دقيقة في المجال الهندسي والصناعي، مسندة إلى المعايير الدولية، من المتطلبات الأساسية لنظم إدارة الجودة الآيزو 9000، ومن مقومات نجاح المنظمات وتميزها في الأداء في الجو التنافسي الحاد الذي أفرزته العولمة وشمولية الاقتصاد والاستثمار. إن جودة المنتجات وتحقيقها لمتطلبات ورغبات العملاء التي من خلالها تحقق المنظمات الإنتاجية الربحية، وتضمن حصصها السوقية تبقى مرتبطة بدقة عمليات القياس والفحص والاختبار ضمن نظام موحد للقياس والمعايرة.

يهدف الكتاب إلى عرض المفاهيم الأساسية لعلم قياس الأبعاد على ضوء المواصفات القياسية الدولية الآيزو 9000، كما يعرض تقنيات قياس الأبعاد بشكل فني وهندسي يتمكن من خلاله كل من المهندس والفني ومتخذ القرار في المنظمات الإنتاجية من اختيار الجهاز المناسب لإجراء عملية القياس لأبعاد القطع والمنتجات بالدقة اللازمة الكفيلة بضمان جودة هذه المنتجات.

وضع هذا الكتاب بأسلوب علمي يتماشى مع التقنيات الحديثة في علوم القياس والقياسات الميكانيكية، وقد بُذل جهد كبير في إعداده ورسم أشكاله لإعطائه جمالية عالية تجذب قارئه. يحتوي الكتاب على سبعة فصول أساسية إضافة إلى ملحقين.

تُخصّص الفصل الأول لعرض المبادئ الأساسية لعلم القياس - ونشأة هذا العلم ومفهومه وفروعه، وتطرق هذا الفصل إلى أهمية علم القياس وأهدافه، والمنظومة العالمية للأوزان والمقاييس المترية، ووحدات القياس الدولية SI، وأجزاء ومضاعفات وحدات القياس في النظام الدولي، والفوائد الاقتصادية للتقييس.

في حين يعرض الفصل الثاني التسامحات والإزواجيات - فقد تم من خلاله دراسة التفاوتات وأنواعها، وتمثيل المواضيع الأساسية لنطاقات التفاوت بالنسبة لخط الصفر، والعلاقة بين الانحراف والأبعاد تبعاً لعمليات التشغيل، والتفاوتات على الرسوم الهندسية، وسلاسل التفاوتات، وأنواع الإزواجيات وتصنيفها، وكيفية اختيار نوع الإزواج وفق نظامي أساس العمود وأساس الثقب، وقواعد الانحرافات الأساسية في النظام الدولي ISO، وتأثير الشروط الحرارية في الإزواجيات.

وفي الفصل الثالث: قياس الأبعاد باستخدام أدوات وأجهزة القياس - تم دراسة قواعد القياس وأساليبه وأجهزته، وقياس الأبعاد باستخدام المساطر الحديدية، والفرجار، والقدمة ذات الورنية، والميكرومتر، وقوالب القياس ومحدداته، وساعات القياس. كما تناول الفصل دراسة تسامحات وإزواجيات اللوالب والمستنات، ومعدات ومحددات قياس الزوايا والميل.

وتناول الفصل الرابع: بنية السطوح الهندسية - دراسة الأسباب المؤدية إلى خشونة الأسطح، وتأثير بنية السطوح في مقاومة التعب والتآكل، وتصنيف عدم استواء الأسطح، وطرائق تقييم خشونة السطوح، وعلامات التشغيل في الأنظمة الدولية، وعلامات التشغيل القياسية، وأجهزة قياس الخشونة، ورموز تشطيب الأسطح في الرسومات الهندسية.

أما الفصل الخامس: دقة التشغيل - فقد تم دراسة تسامحات الانحراف في الشكل،

والأخطاء الناتجة عن الانحرافات في الشكل والأوضاع، ودقة التشغيل والتفاوتات الأساسية، وأنواع التفاوتات الهندسية. وتطرق الفصل إلى تفاوتات التشغيل الأساسية في النظام الدولي ISO، وتفاوتات التشغيل على الرسوم الهندسية، وأجهزة قياس التفاوتات الهندسية وأسلوب عملها.

وفي الفصل السادس: أخطاء أجهزة القياس - فقد تم دراسة طرائق القياس المباشرة وغير المباشرة والموحدة، وتصنيف أجهزة القياس وأخطاؤها، وأخطاء القياس وأنواعه ومصادره، وتأثير درجات الحرارة على القياس، وطرائق حساب الأخطاء والانحراف المعياري والتباين لنتائج القياس. وكيفية رسم منحنى التوزيع الطبيعي ومضلع التكرار لنتائج القياس.

أما الفصل السابع والختامي فهو عبارة عن مدخل إلى ضبط الجودة - حيث تم من خلاله تناول مفهوم الجودة وتطورها، وأسباب اهتمام المؤسسات بمفاهيم الجودة وعوائق تطبيقها، ومراحل تطور أساليب الرقابة على الجودة، ومفهوم إدارة الجودة الشاملة، ورواد إدارة الجودة الشاملة، ومبادئ إدارة الجودة الشاملة وأهدافه وفوائده وعيوبه، ومزايا ومعيقات تطبيق إدارة الجودة الشاملة، والفرق بين الجودة وإدارة الجودة الشاملة، والفرق بين إدارة الجودة الشاملة والإدارة التقليدية، والجودة والمواصفات القياسية، ومفهوم المواصفات القياسية وأنواعها، والتقييس وضمان الجودة، وأهمية المواصفات القياسية ISO، والمواصفات القياسية الدولية إيزو 9000، والهدف من الآيزو وأهمية الحصول على شهادة الآيزو، وبعض الصعوبات المرافقة لعملية تطبيق نظام الآيزو 9000، وعلاقة نظام الآيزو 9000 بإدارة الجودة الشاملة، ونظام الإدارة البيئية (الآيزو 14000)، وبعض هيئات المواصفات والمقاييس الدولية والعربية والإقليمية.

سوف تلاحظ، عزيزي القارئ، بأنه تم عرض المفاهيم الأساسية لتقنيات القياس وأخطائه معززة بالصيغ الرياضية، والرسومات البيانية مشروحة بشكل عملي مبسط،

خطوة بخطوة ومعززة بتطبيقات عملية من واقع العمليات الإنتاجية مثل الصناعات الميكانيكية.

الكتاب موجه إلى كل المهتمين بمجال القياسات بصفة عامة والممارسين لقياسات الأبعاد بصفة خاصة، فهو يجمع بين تقسيم المعلومات الأساسية عن أجهزة قياس الأبعاد بشكل مبسط وسلس يتناسب مع مستويات الطلبة في المعاهد الصناعية، والكليات التقنية والهندسية في الجامعات، كما يوفر المعلومات التقنية الخاصة بالمواصفات القياسية التي تناسب مستوى الممارسين لعملية القياس في خطوط الإنتاج وورش التشغيل ومخابر الفحص والاختبار التابعة للهيئات الوطنية للمواصفات والمقاييس. فمن دون أدنى شك سيجد فيه كل من المهندسين والفنيين وطلاب الدراسات العليا إضافة إلى طلبة كليات الهندسة ومن خلالهما المنشآت الهندسية والصناعية مصدراً مهماً للتدريب على تقنيات قياس الأبعاد واستعمال أجهزتها على ضوء متطلبات المعايير الدولية للجودة الآيزو 9000 والآيزو 17025.

ختاماً نرجو من الله تعالى أن نكون قد وفقنا في تأليف هذا الكتاب، وأن تتحقق منه الفائدة العلمية والعملية المرجوة.

المؤلفان

دمشق 2013/6/1

الفصل الأول

المبادئ الأساسية لعلم القياس

BASICS OF METROLOGY

مقدمة:

تؤدي القياسات دوراً أساسياً في نُظم التصنيع الحديثة التي طوّرها العقل البشري لإنتاج منتجات وتقديم خدمات تفي بمتطلبات حياته العصرية. حيث تسمح القياسات بتصنيع منتجات أو قطع ميكانيكية ذات جودة عالية تتوافر فيها خاصية التبادلية، أي أنه بالإمكان ومن دون جهد كبير تركيب القطع المصنعة وتجميعها في أماكن مختلفة من العالم مع بعضها البعض.

مثال: يمكن تركيب شمعات المحرك المصنعة في ألمانيا على محركات السيارات اليابانية أو أي نماذج مصنعة في أماكن أخرى من العالم.

يُعد قياس الأبعاد من بين أهم الأعمال التي نقوم بها خلال عمليات التشغيل والتصنيع إذ إن هذه العمليات تستدعي القياس الدقيق لأبعاد القطع التي يتم تشغيلها وتصنيعها. كما أن للقياسات دوراً أساسياً في فحص جودة المنتجات المصنعة وضبطها. وقد استعمل الإنسان القياسات منذ فجر التاريخ كوسيلة عملية للتعرف على الظواهر الطبيعية المحيطة به، ولتحديد أشياء يستعملها خلال حياته اليومية، فقد اخترع الإنسان أجهزة قياس الأطوال والكيل في الحضارات الإنسانية الأولى لتنظيم أسلوب حياته الاجتماعية والاقتصادية والتجارية. واستعمل الفراعنة قياسات الأبعاد بالدقة التي سمحت ببناء الأهرامات كما استعملت مكايل دقيقة في المعاملات التجارية بين مختلف الأمم في ذلك الزمان.

إن التطور الصناعي والتكنولوجي والاقتصادي الذي نعيشه في العصر الحديث هو نتاج الاستعمال الصحيح لمبادئ القياسات، وديمومته مرتبطة بدقة نتائج عملية القياس وخلوها من الأخطاء.

وقد قام الفكر الإنساني بإيجاد تنظيم وتشريع وضعي للقياسات لتنظيم مختلف مجالات الحياة المعاصرة لاسيما فيما يتعلق بالمعاملات التجارية والصناعية. ومنه جاءت المنظمات والهيئات الدولية والوطنية للمقاييس والمواصفات التي اهتمت بدقة القياس وأساليبه وضبط أجهزته وتوحيد الوحدات المستعملة فيه. وقد أدى هذا التنظيم إلى الوصول إلى نتائج مهمة جداً على مستوى الصناعة التي أصبحت قادرة على تصنيع منتجات تتوافر فيها خاصية التبادلية ولها جودة عالية حسب المواصفات المطلوبة في الأسواق الدولية والمحلية، مما أدى إلى نمو الاقتصاد العالمي وازدهاره.

1-1- نشأة علم القياس:

يمتد تاريخ التقييس بمفهومه العام امتداد التاريخ البشري، فمن المستحيل لأي مجتمع بشري العيش قديماً أو حديثاً منعزلاً عن التقييس. وقد تختلف الصورة من مجتمع إلى آخر أو من حضارة إلى أخرى ولكن يبقى الجوهر واحداً، ويتمثل في وجود مقاييس ومواصفات مرجعية يعتمد عليها المجتمع في تسيير معاملاته بسهولة ودقة مما يضمن مصالح المجتمع وأفراده. فقد عُدَّت المقاييس والمكاييل والأوزان خلال مراحل التاريخ البشري من أهم وسائل ضبط التعاملات الحياتية بين الناس بمعيار العدل وضمان الحقوق بين أفراد المجتمع الواحد والمجتمعات الأخرى.

نظراً للأهمية القصوى لهذا الجانب، فقد حظي القياس ولاسيما الكيل والميزان باهتمام المشرع الحكيم، وجاء ذكره في القرآن الكريم، وحثَّت الشريعة الإسلامية على ضبط الموازين وتحري العدل والدقة فيها. قال الله تعالى في "سورة هود" آية 84 و85: "وإلى مدين أخاهم شعيباً عليه السلام قال يا قوم اعبدوا الله ما لكم من إله غيره صلى الله عليه وسلم ولا تنقصوا المكيال والميزان صلى الله عليه وسلم إني أراكم بخير وإني أخاف عليكم عذاب يوم محيط (84) ويا قوم أوفوا المكيال والميزان بالقسط صلى الله عليه وسلم ولا تبخسوا الناس أشياءهم ولا تعثوا في الأرض مفسدين (85)". وقال الله تعالى في "سورة الاسراء" آية (35) وأوفوا الكيل إذا كلتم وزنوا بالقسطاس المستقيم ذلك خير وأحسن تأويلاً (35). وقال الله تعالى في "سورة المطففين" آية (1-3) ويل للمطففين (1) الذين إذا اكتالوا على الناس يستوفون (2) وإذا كالوهم

أو وزنهم يخسرون (3). كما حثّ معلم البشرية، المصطفى عليه أفضل الصلاة والتسليم على دقة الموازين، ونعتقد أن أول من نادى بتوحيد المقاييس منذ 14 قرناً قبل الهيئة العالمية للتوحيد القياسي ISO، حيث قال صلى الله عليه وسلم: "المكيال مكيال أهل المدينة والميزان ميزان أهل مكة"، وهذه دعوة صريحة منه (ص) لتوحيد معايير القياس المتداولة في شؤون الناس وعبادتهم. ومن هذا المنظور تطور معيار المد والصاع النبويين اللذين لا يزالان في التداول في معظم البلاد العربية والإسلامية لأداء فريضة الزكاة. إن جذور القياس راسخة منذ وجود الإنسان، فمختلف البحوث تدل على قدم القياس وارتباطه بالحياة، فيعود تاريخ أقدم ميزان معروف إلى 7000 عام، ويرجع تاريخ أول مجموعة أوزان إلى ما قبل 9000 عام، حتى إن بعض الشعوب القديمة كانت تقدر بعض أدوات القياس مثل الميزان الذي كانوا يعدونه من صنع الآلهة. والمتتبع للمكتشفات الأثرية يرى أنه في جميع الحضارات القديمة كان هناك نظام للأوزان والمقاييس، بقي هذا النظام محافظاً على نفسه حتى بعد زوال تلك الحضارات. ومن المعتقد أن أقدم أنواع القياس هو قياس الحجم، حيث كان يجري بواسطة تجويف يتم إحداثه داخل قطعة خشبية أو حجرية، ولكن هذه الطريقة لا تفي بمختلف الحاجات اليومية، فكان لابد من التفكير بوسيلة أخرى إضافية لقياس الأوزان والأطوال، وبالتالي نشأت مقاييس الوزن والطول. أما أنظمة القياس البسيطة المستخدمة قديماً فكانت متعددة جداً، فلكل دولة أو بلد مقاييسه الخاصة، وحتى وقت قريب كان في ألمانيا وحدها 3000 وحدة قياس مختلفة للأوزان من نوع الرطل. وتدل الدراسات أن العرب استخدموا مقاييس كثيرة فيما يتعلق بالأطوال والأوزان بالإضافة إلى قياس الحجم.

1-2- لمحة تاريخية:

تشير الدراسات التاريخية القديمة إلى أن أكثر الحضارات الأولى التي ظهرت في بلاد الرافدين والشام قد تبنت منظومات محددة للقياس والوزن، وأفاد بعضها من بعض. ولعل أسبقها إلى تبني مثل هذه المنظومات بابل القديمة ومصر الفرعونية التي تميزت بدقة وبراعة في القياسات، حيث كان الفراعنة يعدون صوراً مصغرة 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 لا تتجاوز 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 والمكوك والمد والصاع من المكايل، والرطل والأوقية والمنا من الأوزان، والمعروف أن ممالك الرافدين وشمالى سورية كانت تتبنى المنظومة السداسية في حساب وحدات القياس ومضاعفاتها، وقد حاول الآثاريون حساب قيمتها بوحدات 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. وكان البابليون يعتمدون على مبدأ التربيع في حساب المساحة، وأصغر وحدات المساحة عندهم هي الموسارو وأما واحدة الكيل للموائع عند البابليين فتدعى سيلاً أو (Ka). وكانت وحدات الوزن موحدة عند أكثر ممالك الشرق القديمة وتصنع صنعاً من الحجر أو المعدن، وتحفظ في كيس، لذلك تدعى في الأكادية أبان كيس Aban-Kisi أي (حجارة الكيس).

وكانت الإصبع (دكتلوس) Daktylos واحدة الطول الأساسية عند اليونان وتساوي نحو 19.3 مم. وقد اقتبس اليونان بعض مقاييسهم من المصريين والبابليين. وأكبر وحدات الحجم للجوامد عند الإغريق المديمنوس. وقد تبنى الإغريق منظومة ثنائية في قياس أجزاء المكايل مستعينين بالأواني التي كانت مألوفة لديهم. واستعملوا منظومات وزن متنوعة، وأصغر وحدات الوزن عندهم الأبولوس Obolus ويساوي 1/6 دراخمة التي هي واحدة الوزن الأساسية، وهي أصل كلمة (درهم) في العربية، ووزنها نحو 4.36g. وقد ورث الرومان أكثر نظمهم عن اليونان، واشتقوا لها أسماء لاتينية.

أما في الصين فيختلف علم القياس وواحداته اختلافاً كبيراً عن مثيله في بلاد حوض البحر المتوسط مع بعض الملامح المشتركة. إذ استعمل الصينيون أطراف الإنسان مقياساً أيضاً وإن اختلفت عن مثيلاتها هنا، فكانت واحدة قياس الطول الأساسية عندهم المسافة بين موضع النبض في رسغ اليد إلى أصل الإبهام، بيد أنه لم تكن ثمة علاقة مباشرة أو نسبة محددة بين وحدات المنظومات المختلفة كالطول والحجم مثلاً على تنوعها، وكانت الميزة التي تفوقت بها المنظومات الصينية على منظومات حوض البحر المتوسط استعمالها التقسيمات العشرية في وحدات القياس والوزن، ويبدو ذلك جلياً في المساطر التي عثر عليها وترجع إلى القرن السادس ق.م. وانفردت منظومات الكيل الصينية بعنايتها بالبعد الصوتي، فكان لمكيال الحب أو الخمر عند الصينيين مثلاً شكل محدد وحجم ثابت ونغمة معينة عند القرع عليه.

1-3- مفهوم علم القياس (المتروولوجيا):

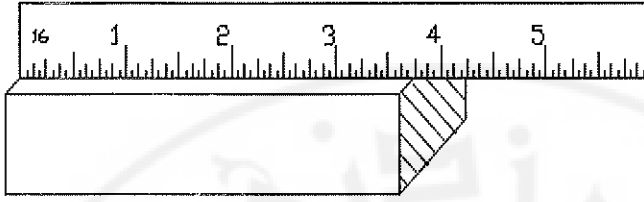
إن العلم الذي يختص بدراسة الأوزان والمقاييس وما يتصل بها من أدوات وآلات وعمليات قياس يدعى علم القياس أو التقييس. والقياس الدقيق هو الصرح القوي الذي تقوم عليه الصناعات الحديثة، وهو الدعامة الأولى بل الأساس الذي يعتمد عليه الإنتاج الصناعي في جميع مراحله، وما يترتب عليه من تبادل السلع بين دول العالم، إلى 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:

تُعرف عملية القياس بأنها: عملية مقارنة بين البعد المراد قياسه ووحدة قياس معلومة مجسدة 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 المباشر أو طريقة القياس غير المباشر. يتم القياس المباشر بمقارنة البعد المراد قياسه مباشرة مع جهاز القياس. أما القياس غير المباشر فيتم عن طريق وسائل مساعدة مثل الفرجارات لاستشعار البعد المراد قياسه ومن ثم مقارنته مع جهاز قياس مثل المسطرة أو القدم ذات الورنية.

1-4- القياسات الصناعية وأهميتها في الحياة:

تعتمد الصناعة والتجارة في أي بلد على القياسات بدرجة أكثر أهمية، وذلك لأن تصنيع جميع المنتجات الصناعية وتوزيعها يكون حسب مواصفات قياسية لإرضاء فئات معينة من المستهلكين والزبائن. وعن طريق القياسات الصناعية يمكن تحديد مدى ملائمة هذه المنتجات الصناعية ومطابقتها للمواصفات القياسية الوطنية أو الدولية وهذا ما يضمن جودة المنتجات ويعزز القدرة التنافسية للمؤسسات الصناعية.

مع مطلع الألفية الجديدة أصبح للقياسات الصناعية أهمية استراتيجية على جميع المستويات الصناعية، الاقتصادية والاجتماعية... وهذا راجع إلى ثلاثة قوى أدت 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 بمواصفات ISO/IEC17025 و ISO9000.
 - النمو السريع في التقنيات العالية المستعملة في جميع الجوانب الاقتصادية والصناعية.
- أدت هذه العوامل دوراً مهماً 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. مثال: ما حدث للمركبة الفضائية الأمريكية في تشرين الأول 1999م التي بعثت إلى كوكب المريخ لدراسة محيطه، حيث انفجرت في فضائه بسبب خطأ بسيط في استعمال وحدة قياس قوة دفع المركبة (خلط بين وحدة القياس المترية ووحدة القياس البريطانية)، لقد كان للحدث الذي مرّ على معظمنا مرور الكرام وقعٌ بليغٌ على الطبقات السياسية، الاقتصادية والأكاديمية الأمريكية مما دفعهم إلى مراجعة عدة أمور متعلقة بأمورٍ استراتيجية.

5-1- 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 ووحدة القياس والمعيار، فالوحدة هي جوهر كل منظومة معتمدة للقياس أو الكيل أو الوزن، وتفترض مفهوماً محدداً ودقيقاً للكتلة أو الطول أو الحجم، أما وحدة القياس فهي مقدار محدد متفق عليه يقاس به مقدار آخر غير معلوم، وأما المعيار فهو المرجع الذي يستند إليه لضبط مقدار وحدة القياس.

عن طريق القياسات يمكن التأكد من أن جودة المنتجات مصنّعة حسب المواصفات القياسية الوطنية أو الدولية. وهذا ما يسهم في تحقيق رغبات المستهلك ومتطلباته ورضاه، والذي يمثل الهدف الأسمى لنظم الجودة في المؤسسة أو المنظمة.

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. ولا ننسى أن 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.

6-1- فروع علم القياس (المترولوجيا):

يتضمن علم القياس الفروع التالية:

1-6-1 علم القياس العلمي (المترولوجيا العلمية): هو جميع الأنشطة المتعلقة بالبحث

في مجالات القياس التالية: وحدات القياس، ومعايير القياس، وطرائق القياس، وأدوات

القياس وأجهزته، والعمل على تطويرها. يهتم هذا الفرع بتطوير طرائق القياس وتقنياته لمختلف العوامل الفيزيائية عن طريق البحث العلمي. حيث يقوم على هذه المهمة مراكز البحث بالجامعات والكليات ومعاهد البحث المتخصصة.

1-6-2- 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 واجبات القياس وهي النتيجة النهائية لعمليات القياس، ففي البداية يتم وضع المواصفة المناسبة ثم تطبق هذه المواصفة باستخدام عمليات القياس لمعرفة مدى مطابقة المنتج للمواصفة الموضوعية، 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 والتي هي عمليات قياس.

1-6-3- علم القياس القانوني: هو مجموعة الإجراءات التشريعية والإدارية والفنية الصادرة عن السلطات العمومية أو الراجعة لها بالنظر لتحديد وضمان مستوى ملائم من الجودة والمصادقية في عمليات التقييس المتعلقة بالمراقبة الرسمية والتجارة والصحة والسلامة والبيئة. والمترولوجيا القانونية هي النشاط المتعلق بالمتطلبات القانونية الإلزامية للقياس ووحدات القياس وأدوات القياس وطرق القياس، بحيث تشرف على تنفيذها أو ممارستها جهة حكومية مختصة. ويُعدُّ 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 الوصول إلى الثقة بنتائج أدوات القياس التي تخضع لمثل هذه المتطلبات، مثال: (الأوزان والموازين المستخدمة في التعامل التجاري، ومضخات تعبئة الوقود، وأجهزة قياس ضغط الدم الطبية، وأجهزة قياس درجة الحرارة الطبية، وأجهزة القياس الكهربائية، وأجهزة قياس الأبعاد، وعدّادات استهلاك المياه والكهرباء... الخ).

وتختص المترولوجيا القانونية بالجوانب التنظيمية والتشريعية للمعاملات ولاسيما التجارية منها، والتي تركز 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. على سبيل المثال يتم سنوياً في سورية مبيعات تقدر بمليارات الليرات، فأى انحراف في عملية القياس مقداره 1% يؤدي إلى خسارة تقدر بمئات الملايين من الليرات. وبالتالي فواجب الدولة في هذه الحالة إقامة العدل وحماية الطرف الضعيف (المستهلك) من تلاعب البائع في استخدام أدوات قياس غير قانونية. أما في مجال حماية البيئة من التلوث فيقوم علم القياس القانوني بوضع القواعد والقوانين والمعايير المناسبة التي تحدّد نسباً محددة مسموحاً بها من التلوث لضمان سلامة المواطنين وحماية حياتهم التي هي أثمن شيء في الوجود. 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 وسائل الحضارة الحديثة والمنتجات الصناعية تشكل خطراً على سلامة الإنسان إذا لم تُسنّ التشريعات التي تحمي هذه السلامة وتوفر الشروط المحددة لها.

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

1- المنظمة الدولية للأوزان والمقاييس OIPM: تهتم بتعريف الوحدات وتقوم بحفظ معايير القياس الدولية.

2- المنظمة الدولية للمترولوجيا القانونية OIML: تهتم بأمور القياس المتعلقة مباشرة بأمور التجارة وبأموال المواطنين وصحتهم وسلامتهم، وتعمل باستمرار على إصدار المواصفات الدولية الخاصة بأدوات القياس المستخدمة في هذه المجالات.

3- الاتحاد الدولي للقياس IMEKO: يهتم بتطورات علم القياس وتطبيقاته في العلم والصناعة.

1-7- أهمية علم القياس (المتولوجيا):

تكمن أهمية علم المتولوجيا في الحاجة الملحة لتوحيد النظام القياسي العالمي ورفع جودة المنتجات، إضافة إلى إيجاد آلية لتسهيل حركة التجارة وإزالة العقبات التجارية، ويُعد النظام المتولوجي 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 بالأمر المتعلقة بالجودة.

بينت العديد من الدراسات الاقتصادية أنه يتم صرف % (4-6) من الدخل القومي للدول الصناعية على علم القياس؛ أي ما قيمته عدة مئات من الملايين في السوق الأوروبية فقط. إذا أخذنا ما نسبته %3 من الاقتصاد العربي فهذا يمثل عشرات الملايين؛ أي ما يزيد عن حجم الدخل القومي لبعض الدول العربية، هذه الإحصاءات تبين أهمية المتولوجيا في تقدم الدول وتطورها على كل المستويات الفيزيائية والهندسية والكيميائية والحيوية (البيئة، والطب، والزراعة، والغذاء).

ونظراً لأهمية علم القياس، فقد تم إنشاء هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية التي تسهم بشكل أساسي وفعال 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 المتولوجيا العلمية والصناعية والقانونية التي تشمل أجهزة القياس المختصة بصحة المواطن وسلامته.

1-8- أهداف المتولوجيا:

يعتمد الاقتصاد العالمي اليوم على القياسات والاختبارات الموثوقة والمقبولة على المستوى الدولي، إذ ينبغي ألا تشكل القياسات والاختبارات أية عوائق أو حواجز فنية أمام التجارة الدولية، وللوصول إلى ذلك يجب أن تتوافر البنية التحتية المناسبة في مجال المتولوجيا كشرط مسبق لتحقيق ذلك. ويكمن الهدف من توافر البنية التحتية المناسبة في

- بمجال المتولوجيا إلى ضمان صحة القياسات التي تجرى على مستوى كل دولة، وزيادة الثقة في نتائج الفحص والاختبار وتمهيد الطريق إلى الاعتراف الدولي المتبادل.
- ويسهم وجود البنية التحتية المناسبة للمتولوجيا في الدولة إلى ما يلي:
- التطور العلمي والتقني وتحسين جودة المنتجات.
 - دعم الاقتصاد الوطني.
 - تسهيل التجارة البينية بين الدول.
 - ضمان العدالة في التعامل التجاري والصناعي.
 - حماية صحة أفراد المجتمع وسلامتهم والمحافظة على البيئة.
 - رفع كفاءة العاملين وتعزيز قدراتهم وإكسابهم المهارات والخبرات التي تسهم في تطوير أنشطة المتولوجيا في الدول الأعضاء.
 - الاعتراف الدولي المتبادل بنتائج القياس والفحص والمعايرة.

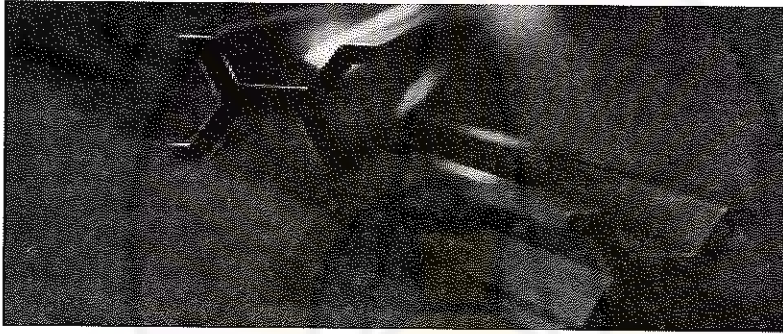
9-1- أهمية قياس الأبعاد:

منذ بدء الحضارة الإنسانية بدأ اهتمام الإنسان بقياس الأبعاد، نظراً لأن معظم احتياجات الإنسان تتطلب تحديد قيم لأبعادها. فمثلاً إذا أردنا شراء خامات يجب أن نحدد للبائع بدقة أبعاد الخامات المطلوبة. كذلك إذا ذهب أحدنا لشراء قطعة أرض فإنه يسأل عن مساحتها، والتي تحتاج ضمناً لمعرفة أبعادها. ومن الجدير بالذكر أن دقة قياس أبعاد المنتجات ترتبط ارتباطاً وثيقاً بجودتها وبالتالي إرضاء المستهلك وإقباله على شراء هذه المنتجات. فإذا ظهر في الأسواق نوعية جديدة من إطارات السيارات على سبيل المثال، وتم عمل حملات دعائية للإشادة بنوعية هذا الإطار المصنوع من خامات ذات خواص جيدة وتوفره بسعر منافس. فإن الرضا التام للمستهلك وإقباله على شراء هذا النوع من الإطارات مرهون بدقة أبعاد كل إطار. فإذا حدث اختلاف في المقاس المحدد للإطار، تسبب ذلك في حدوث مشاكل عند الاستخدام وبالتالي سينصرف المستهلك عن شراء هذه النوعية وسيتمجه إلى النوعيات الأخرى المتوفرة في الأسواق والتي توفر له الدقة المطلوبة في المقاس لتلافي مشاكل الاستخدام.

10-1- منظومة الأوزان والمقاييس المترية:

درس العلماء الأوربيون إمكانية وضع منظومة موحدة للأوزان والمقاييس تحل 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 وحدات 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 ستمتر مكعب واحد من الماء بدرجة الحرارة التي يبلغ فيها الماء أقصى كثافته. وقد أقرت الجمعية الوطنية (الجمعية التأسيسية) الفرنسية ميلاد النظام المتري سنة 1791، وأتم العالمان جان دولامير وبير ميشان القياسات الضرورية سنة 1798 بعد أن قاسا مسافة خط الطول بين برشلونة ودنكرك، وقدم المتر النموذجي إلى الجمعية الوطنية في حزيران عام 1799 وغدت المنظومة المترية حقيقة شعارها «لكل الشعوب وجميع الأزمنة»، وصنع على هذا الأساس متر معياري على شكل قضيب من البلاتين، وكيلوغرام معياري على شكل أسطوانة من البلاتين. وحُفظ المعياران في مبنى محفوظات الجمهورية الفرنسية عُرفاً باسم (متر الأرشيف وكيلو غرام الأرشيف) وأُبقى على التعريف القديم للثانية المحدد على أساس الرصد الفلكي، وكانت تساوي $1/86400$ من اليوم الشمسي المعتدل الطول. بُيِّن أنه سرعان ما تبينت ضرورة إدخال تعديلات مهمة على هذه المنظومات توجهاً للدقة وتخلصاً من أخطاء القياس، كما تبين احتمال تبدل مواصفات المعايير المحفوظة في الأرشيف بمرور الزمن، وتبنت الحكومة الفرنسية عقد عدة مؤتمرات دولية نجم عنها توقيع اتفاقية في العشرين من شهر أيار سنة 1875، عرفت باسم اتفاقية المتر أوجدت بموجبها منظمة

دائمة للأوزان والمقاييس تُعنى بتحسين منظومة المتر وتطويرها، وصنعت معايير جديدة للمتر والغرام، حُصرت مسؤولية تطويرها وحفظها والتوسع بها بالمكتب الدولي للأوزان والمقاييس، ومقره بلدة سيفر قرب باريس. وصُنِع المتر المعياري على أنه المسافة بين خطين ميكروسكوبيين متوازيين محفورين على قضيب من خليطة البلاتين 90% والإيريديوم 10% في شروط طبيعية من الضغط الجوي وبدرجة حرارة 0°C ، ويعرف هذا القضيب بأنه الإمامية الدولية التي ترد إليه جميع الإماميات الثانوية لمعايرتها. وصُنِع كذلك كيلوغرام معياري على شكل أسطوانة من الخليطة نفسها ارتفاعها 3.9cm وقطرها 3.9cm، وقد حفظ المعياران لدى المكتب الدولي، ووزعت نسخ عنهما على الدول المشاركة في المؤتمر. يبين الشكل (2-1) المتر الدولي القياسي.



الشكل (2-1) المتر القياسي

تمّ تقليد إماميات ثانوية مصنوعة من المعدن نفسه موزعة على الدول الأعضاء في المنظمة الدولية للمواصفات والمقاييس ISO، وكذلك تم صنع إماميات مرجعية ثابتة الوزن والطول من معادن أقل تكلفة لاستعمالها في مراكز المعايرة الرئيسة في كل دولة.

11-1- النظام الدولي لوحدات القياس SI:

ظلت منظومة المتر المنظومة الأساسية للأوزان والمقاييس ولاسيما في البحوث العلمية، وقد اتسع مجالها وتشعبت استعمالاتها بعد أن جمعت مع واحدة الزمن، أي الثانية. وسمح هذا الجمع باشتقاق وحدات أخرى كثيرة لتمييز الظواهر الفيزيائية، وإدخال تعديلات وإضافات كثيرة عليها. وفي عام 1874 أدخلت الجمعية البريطانية لتقدم العلوم

BAAS جملة الواحدات المسماة CGS، وهي جملة واحداث تستند إلى الواحدات الميكانيكية الأساسية الثلاث، السنتيمتر والغرام والثانية (وتدعى بالعربية الجملة السغنية)، واستخدمت البادئات من الميكرو إلى الميغا للتعبير عن الأجزاء والمضاعفات العشرية. وقد استند تطور الفيزياء التجريبية بصورة أساسية إلى هذه الجملة. لكنه تبين أن مقادير واحداث الجملة CGS غير ملائمة في مجالي الكهرباء والمغناطيسية، لذلك أدخلت الجمعية البريطانية BAAS ومؤتمر الكهرباء الدولي جملة متسقة من الواحدات العملية كان فيها الأوم واحدة المقاومة الكهربائية والفلط واحدة القوة المحركة الكهربائية والأمبير واحدة التيار الكهربائي. وفي عام 1889 أقر المؤتمر العام الأول للأوزان والمقاييس CGPM النماذج الأولية الدولية للمتر والكيلوغرام إضافة إلى الثانية الفلكية واحدة للزمن، يدعى هذا النظام MKS. وفي عام 1901 بين المهندس الإيطالي جيوفاني جيورجي أنه بالإمكان ضم الواحدات الميكانيكية لهذه الجملة إلى الواحدات العملية الكهربائية لتشكيل جملة متسقة رباعية الأبعاد وذلك بإضافة واحدة أساسية من طبيعة كهربائية مثل الأمبير أو الأوم إلى الواحدات الأساسية الثلاث، وإعادة كتابة معادلات الكهرطيسية بصورة منطقية. وقد فتح اقتراح جيورجي الطريق أمام العديد من التطورات اللاحقة.

أقرت اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس CIPM عام 1946 الجملة الرباعية الأبعاد المستندة إلى المتر والكيلوغرام والثانية والأمبير التي تدعى MKSA. كما أقر المؤتمر العام CGPM العاشر عام 1954 إدخال الأمبير والكلفن والكانديلا واحداث أساسية للتيار الكهربائي ودرجة الحرارة الترموديناميكية وشدة الإضاءة على الترتيب. وتوصل المؤتمر الدولي الحادي عشر للأوزان والمقاييس CGPM الذي عقد في باريس في شهر تشرين الأول سنة 1960 إلى وضع منظومة شملت ستة تعريفات جديدة للطول والكتلة والزمن والتيار الكهربائي والحرارة وشدة الضوء. وصار معيار واحدة الطول طول موجة الإشعاع البرتقالي الأحمر المنبعث من تحريض ذرة غاز نظير الكريبتون النقي ذي العدد الكتلي 86 في تفريغ كهربائي لدى انتقالها بين الحالتين $2P^{10}$ و $5d^5$. وحدد المتر المعياري على أنه

يساوي 1650763.73 مرة طول موجة من الإشعاع البرتقالي الأحمر المنبعث من غاز الكريبتون 86.

يعد المؤتمر العام للأوزان والمقاييس CGPM السلطة الدولية المخولة بنشر الجملة الدولية SI وتعديلها عند الضرورة لكي تلبي أحدث التطورات العلمية والتقنية. وقد أحدثت المنظمة الدولية CGPM بمعاهدة تدعى اتفاقية المتر التي وقّعها عام 1875 ممثلو 17 دولة في باريس. وأوجدت اتفاقية المتر أيضاً المكتب الدولي للأوزان والمقاييس BIPM واللجنة الدولية للأوزان والمقاييس CIPM. وفي المؤتمر العام CGPM الرابع عشر المنعقد عام 1971 استُكملت جملة الواحدات الدولية SI بإضافة المول واحدة لكمية المادة، وبذلك أصبح عدد الواحدات الأساسية سبعة.

1-12- وحدات القياس:

هناك نوعان من وحدات القياس:

1- وحدات القياس الخطية: تتكون من نظامين هما: النظام المتري والنظام الإنكليزي.

2- وحدات القياس الزاوية: تتضمن ثلاثة أنظمة وهي:

أ- النظام الستيني: في هذا النظام يقسم محيط الدائرة إلى 360° درجة. يتخذ النظام الستيني الدرجة (°) كوحدة قياس وهي تساوي جزء من 360 جزءاً من محيط الدائرة، وتنقسم الدرجة إلى 60 دقيقة (')، وتنقسم كل دقيقة إلى 60 ثانية (").

ب- النظام المئوي: يقسم محيط الدائرة إلى 400 قسم، كل قسم من هذه الأقسام يسمى grad ويرمز له بالرمز (g). وأن كل grad مقسم إلى 100 قسم، وكل قسم من هذه الأقسام يسمى centigrade ويرمز له بالرمز (cg) أي أن: $1\text{ g} = 100\text{ cg}$

وأن كل centigrade مقسم إلى 100 قسم، وكل قسم من هذه الأقسام يسمى centicentigrad ويرمز له بالرمز (ccg):

$$1\text{ ccg} = 1\text{ centicentigrad} \rightarrow 1\text{ cg} = 100\text{ ccg} \rightarrow 1\text{ g} = 10000\text{ ccg}$$

ج- النظام الدائري (القطري) Radian: تسمى وحدة القياس في هذا النظام بالراديان (rad) وهو عبارة عن الزاوية المركزية المقابلة إلى قوس دائري طوله يساوي نصف قطر الدائرة. أي أن:

$$1\text{rad} = 360^\circ/2\pi = 180^\circ/\pi$$

تدعى هذه العلاقة بعلاقة التحويل بين النظام الستيني والنظام الدائري.

مثال 1:

زاوية مقدارها 0.5rad، ماهي قيمة الزاوية في النظام الستيني.

$$\text{الحل: الزاوية في النظام الستيني} = \text{الزاوية في النظام الدائري} \times \frac{180}{\pi}$$

$$= 0.5 \times \frac{180}{\pi}$$

مثال 2:

زاوية مقدارها (12° 15' 26''), ما قيمتها في النظام الدائري.

$$\text{الحل: الزاوية بالنظام الدائري} = \text{الزاوية بالنظام الستيني} \times \frac{\pi}{180}$$

$$\text{rad} = \frac{\pi}{180} \left(12 + \frac{15}{60} + \frac{26}{3600} \right)$$

13-1- وحدات القياس الدولية SI:

كانت المعايير ووحدات القياس القديمة (الذراع والقدم لتحديد الأبعاد والأطوال ووحدة الزمن المتمثلة في الليلة واليوم لتحديد المسافات البعيدة...) كافية في العصور الأولى من التاريخ البشري رغم تنوعها واختلافها من مكان إلى آخر، لكن مع التقدم الصناعي الذي واكب الثورة الصناعية مع مطلع القرن الثامن عشر الميلادي أصبحت هذه المعايير ووحدات القياس لا تفي بالغرض. وقد دفعت ظروف الحرب العالمية الثانية إلى تطور صناعي مذهل كان أساسه تبادلية المنتجات الصناعية، وظهور الإنتاج الكمي للسلعة الواحدة وتعدد المنتجين للسلعة نفسها في البلد الواحد والبلدان المختلفة، مما أدى إلى ضرورة وضع نظام توحيد قياسي عالمي بين هذه الجهات المختلفة مبني على اتباع

أسلوب موحد وتطبيق بنود ثابتة واتخاذ مراجع واحدة لعملية القياس والمعايرة. لذلك نشأت مع نهاية القرن التاسع عشر عدة نظم للوحدات كان أهمها وأحدثها النظام المتري للوحدات الذي تم اعتماده في المؤتمر الدولي للقياس عام 1960 كنظام دولي لوحدات القياس (SI).

يستند النظام الدولي إلى سبع وحدات أساسية لسبعة مقادير أساسية مستقل أحدها عن الآخر ووحدتين مكملتين هما الراديان والستيراديان لقياس الزوايا المستوية والمجسمة كما هو مبين في الجدول (1-1).

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

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

لكل وحدة من الوحدات الأساسية معيار دولي معرّف بدقة متناهية ومحفوظ من طرف المنظمة العالمية للتوحيد القياسي (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. وبالنسبة لوحدات القياس فيرمز لها بأحرف لاتينية قائمة (رمز المتر m).

كما أقرّت اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس جملة من وحدات القياس والوزن المشتقة أو المستنبطة من الوحدات الأساسية كالنيوتن لقياس القوة، والجول لقياس العمل، والفولت لقياس الكمون الكهربائي... الخ.

يبين الجدول (2-1) بعض الوحدات المشتقة شائعة الاستخدام.

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

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

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 المقاسة. يمكن التعبير عن الكمية المقاسة بواسطة وحدة القياس والقيمة العددية:

$$\text{الكمية المقاسة} = \text{القيمة العددية} \times \text{وحدة القياس}$$

1-13-1- أجزاء ومضاعفات النظام الدولي للوحدات:

يحدد النظام الدولي للوحدات (SI) مجموعة من الوحدات تعرف باسم السوابق. وهذه السوابق عبارة عن كلمات تسبق الوحدة البسيطة للقياس لتعبر عن المضاعفات أو الكسور العشرية للوحدة. قام بوضع هذه الوحدات 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 كتابة 0.000000001 متر، نكتب (1nm)، أي تسبق كلمة متر بكلمة نانو فتصبح

نانومتر ومن المؤلف 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.

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

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

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: mmμm ميلي ميكرون خطأ ويجب كتابة nm، ولا يجوز مثلاً كتابة KM كيلو ميغا بدلاً من KG.

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.

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

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

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 لا ينبغي 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.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. يمكن 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} و 10^{-24} .
يوجد عشرون بادئة مستخدمة للأجزاء والمضاعفات العشرية للوحدات الدولية وهي
مذكورة في الجدول (3-1). ومن المهم ملاحظة أن الكيلوغرام هو الوحدة الدولية الوحيدة
التي تشكل البادئة فيها جزءاً من اسمها ورمزها، لذلك لا يمكن استخدام البادئات مع
الكيلوغرام لكنها يمكن أن تستخدم مع الوحدة 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

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

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

معامل الضرب	اسم المعامل	الرمز	الرقم العشري
10^{24}	يوتا - yotta	Y	1000000000000000000000000
10^{21}	زيتا - zetta	Z	100000000000000000000000
10^{18}	إكسا - exa	E	10000000000000000000000
10^{15}	بيتا - peta	P	1000000000000000000000
10^{12}	تيرا - tera	T	100000000000000000000
10^9	غيغا - giga	G	10000000000000000000
10^6	ميغا - mega	M	1000000000000000000
10^3	كيلو - kilo	k	1000
10^2	هكتو - hecto	h	100
10^1	ديكا - deca	da	10
10^{-1}	ديسي - deci	d	0.1
10^{-2}	سنتي - centi	c	0.01
10^{-3}	ميلي - milli	m	0.001
10^{-6}	ميكرو - micro	μ	0.000001
10^{-9}	نانو - nano	n	0.000000001
10^{-12}	بيكو - pico	p	0.000000000001
10^{-15}	فيمتو - femto	f	0.000000000000001
10^{-18}	أتو - atto	a	0.000000000000000001
10^{-21}	زيتو - zepto	z	0.000000000000000000001
10^{-24}	يوكتو - yokto	y	0.000000000000000000000001

1-13-2- وحدات 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 = 1.609km
الياردة	yard	1yd = 91.44cm
القدم	foot	1ft = 30.48cm
البوصة	inch	1in = 25.4mm

تُعدُّ البوصة من بين الوحدات المعمول بها في المجال الصناعي. لذا نجد أن معظم أجهزة قياس الأبعاد مثل المسطرة الحديدية أو القدم 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 μ inch. توصي المنظمة العالمية للتقييس (ISO) جميع دول العالم بالالتزام 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.

14-1- 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- الترميط أو التوحيد: عرفته المنظمة الدولية (ISO) بأنه توحيد مواصفتين أو أكثر لجعلها مواصفة واحدة حتى يمكن للمنتجات الناتجة أن تكون قابلة للتبادل عند الاستخدام. ولقد أدخل الترميط تطوراً هائلاً على أساليب الصناعة فإليه يرجع الفضل الأكبر في إمكان الانتاج على نطاق واسع، وهو يؤدي إلى نتائج مماثلة لما يؤدي إليه التبسيط حيث يقلل من مساحة التخزين، ويزيد من دوران الموجودات بالمخازن، فيقل بذلك حجم المخزون الراكد كما أن له تأثيراً كبيراً في تبسيط القيد في السجلات، كذلك فهو يؤدي إلى زيادة الإنتاجية وإلى تيسير أحكام ضبط الجودة، وتحقيق كل هذه المزايا خفضاً كبيراً في تكاليف الإنتاج مع الإرتفاع بمستوى جودته.

3- التوضيف: عرفته المنظمة الدولية للتقييس (ISO) بأنه البيان الموجز لمجموعة المتطلبات التي ينبغي تحقيقها في منتج أو مادة أو عملية ما مع إيضاح الطريقة التي يمكن بواسطتها التحقق من استيفاء هذه المتطلبات كلما كان ذلك ملائماً. فالتوضيف يعني تحديد خصائص المواد والمنتجات وكذلك الطرق والوسائل الكفيلة لتحقيق توافر هذه الخصائص، وقد لا يكون هذا التحديد يسيراً، فقد يستلزم مثلاً الاستعانة بكثير من الرسومات الهندسية أو المنحنيات أو الجداول، وقد يحتاج إلى إجراء الكثير من البحوث الصناعية، ولذلك فإن تحقيق مبدأ الحرية المطلقة يصبح ضرورياً لإطلاق الحرية للتطورات التقنية عن طريق عدم التدخل في طرائق التصنيع ما أمكن، ويتم بدلاً من ذلك التركيز على مستوى الأداء للسلعة.

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 لضرورة هذا المبدأ فإنه يجب الاهتمام بوضع المواصفات الوطنية في كل بلد من دون نقل للمواصفات الأجنبية مهما كانت مشهورة. وباختصار فإن تحقيق الملائمة للغرض هي قدرة المنتج أو العملية أو الخدمات على تحقيق هدف ما محدد تحت ظروف محددة.

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

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

7- **الاتفاق العام:** إن العمل التقييسي لا يمكن أن ينجح أو يحقق أهدافه إلا من خلال الاتفاق 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 ما لم تكن قابلة للتطبيق، وتأخذ حيز التنفيذ بحيث تحقق هدفها في خدمة الناس وتوفير حياة مريحة لهم.

9- **الوصول للحل الأنسب:** إن الطريق الواجب اتباعه في وضع المواصفات هو اختيار الحل الأنسب وتثبيته فترة كافية، وذلك من خلال وضع الأولويات بالشكل الذي يناسب الحالة التي تتم دراستها، ويمكن 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 المواصفة: عند وضع المواصفة يجب مراعاة كونها إلزامية أو اختيارية آخذين بعين الاعتبار جميع الظروف المحيطة، ومعتمدين على المواصفة نفسها، ومستوى التصنيع في البلد المنتج، وعلاقة المواصفة مع القوانين السارية في هذا البلد. وتطبق المواصفة بشكل إلزامي عندما تكون متعلقة ب:

1- سلامة المواطن وصحته.

2- منع الغش (المكايل والأوزان).

3- حماية البيئة.

4- الأمن القومي.

15-1- المصطلحات الأساسية للقياس:

القياس: هو تحديد كمية فيزيائية مثل: الطول أو الزمن أو الكتلة أو درجة الحرارة أو شدة التيار أو... وذلك بوساطة جهاز قياس. ويعرف القياس أيضاً بأنه ذلك المجال من المعرفة البشرية المتعلقة بالتحديد الكمي للخواص الفيزيائية بطريقة ملموسة، ويُعدّ مجال القياس ومستواه في أي مجتمع مقياساً لمستوى تقدمه وحضارته.

المعايرة: هي مجموعة من عمليات القياس التي تتم تحت ظروف محددة باستخدام أجهزة وأدوات قياس مسندة 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: اختبار الطول، والزوايا، ودرجة حرارة التشغيل.

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

أجهزة القياس: هي كلّ المعدات والأدوات والمكايل والأجهزة التي تستخدم للمعاينة المباشرة أو غير المباشرة بين الكمية المقيسة ووحدة القياس.

أجهزة المعايرة: أدوات ومعدات قياس عالية الدقة مضبوطة على أئمة القياس، تعير 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 يعبر عن تشتت 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: معيار مصنف 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.

معيار العمل: معيار يستخدم بصورة متكررة لمعايرة المقاييس المادية أو أجهزة القياس أو المواد المرجعية أو للتحقق منها.

السلسلة: سمة لنتيجة القياس أو لقيمة المعيار والتي يجري وفقاً لها ربط نتائج القياس أو قيم المعايير بمراجع محددة تكون معايير دولية أو وطنية وذلك عن طريق سلسلة غير منقطعة من المقارنات ذات ارتباطات محددة ومعلومة.

الدقة: الدقة هي مطابقة القراءة المأخوذة على الجهاز بالقيمة الحقيقية للبعد المقاس، والفرق بينهما، إن وجد، يُعرّف على أنه الخطأ في المقاس. والخطأ في 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 بالمليمتر أو بطول التدرج 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 المتروولوجية القانونية: هي الرقابة الجراة 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 بواسطتها تحديد ما إذا كانت هذه المتطلبات محققة أو لا. وبالطبع يمكن أن تكون المواصفات مواصفة قياسية أو جزءاً من مواصفة قياسية، وأحياناً تكون المواصفات مستقلة عن أية مواصفة قياسية. أما بالنسبة للمتطلبات المعطاة فيجب التعبير عنها بالأرقام وبوساطة وحدات مناسبة.

التبسيط: يعبر عن تخفيض عدد أنواع السلع إلى الحدود الدنيا مع تغطية الاحتياجات العامة كافة وفي وقت محدد. ويُعدّ التبسيط من العوامل الاقتصادية التي تخدم المستهلك والمنتج معاً.

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

1-16- الفراغ التقييسي:

لكي نفهم جيداً أبعاد ومجالات التقييس فلا بد من التعرف على الفراغ التقييسي ثلاثي الأبعاد، حيث تم تمثيل الموضوع، والمستوي والوجه على محاور الإحداثيات الثلاثة. فموضوعات التقييس متشعبة جداً بدءاً من الصناعة، والزراعة، والاقتصاد، والصحة والخدمات... وحتى التكنولوجيا المتطورة جداً، أما مستويات التقييس فتشمل سبعة مستويات هي: الدولي، والإقليمي، والوطني، والمحلي، والاتلاف أو المزاملة، والشركة والفردية، وبالنسبة لأوجه التقييس فتتضمن التبسيط والتصنيف، بالإضافة إلى المصطلحات والرموز والمواصفات... الخ.

1. **موضوعات التقييس:** إنّ جميع النشاطات الاقتصادية والاجتماعية للإنسان تغطيها موضوعات التقييس من هندسة وصناعة وبناء وتجارة ورياضة وموسيقى...، وكل مجال من هذه المجالات يتعامل مع عدد هائل من الموضوعات الفرعية أيضاً، ففي مجال الصناعة يؤدي استخدام المواصفات والمقاييس الموحدة إلى تبسيط جميع مراحل الصناعة والحصول على إنتاج متماثل ومتقن الجودة. وبالمثل يؤدي استخدام المواصفات بالشكل الأمثل في

بمجلات الزراعة والتجارة والصحة العامة والتعليم والثقافة والعلوم والإسكان والمرافق... إلى الحصول على نتائج مضمونة وإلى تطوير هذه المجالات.

2. أوجه التقييس: هي البعد الثالث على الفراغ التقييسي، الذي يمثل شكل المواصفة ونوعها، إذاً وجه التقييس هو مجموعة المتطلبات المتماثلة المرتبطة بموضوع المواصفات.

إن المصطلحات والتسميات والرموز هي أوجه مختلفة للتقييس، فمهمة حقل التقييس التعامل مع المصطلحات وتوحيدها، وتحديد ما يدل عليه كل مصطلح وبشكل دقيق وفق المجال الذي يخص هذا المصطلح، وهذا يُسهّل كثيراً عمليات التبادل التجاري والثقافي والعلمي والفني، وكذلك الأمر بالنسبة لتوحيد الرموز والتسميات والتعاريف وتبسيطها. ومن أوجه التقييس المهمة أساليب الاختبار والتفتيش ومواصفات الجودة التي تعبّر عن تحديد مختلف المستويات من الدقة وحسن الأداء والمظهر والمتانة، والخواص والصفات الجيدة التي تحقّق رغبات المستهلك، ومواصفات الأبعاد حيث تختص بتحديد الأبعاد والمقاسات والأشكال بشكل يخدم رغبة المصمم والمنتج والمستهلك، وتهدف إلى اختزال عدد أنواع المنتج الواحد، والتبسيط في التصميم والتنفيذ وخفض التكاليف وضمان التبادلية.

3. مستويات التقييس: هي البعد الثالث على الفراغ التقييسي، التي تمثل نطاق أو منطقة نفوذ المواصفة. والمستوى التقييسي هو المدى الجغرافي أو السياسي أو الاقتصادي للمشاركة في أعمال التقييس.

وفيما يأتي استعراض أهم مستويات التقييس:

1- المستوى الدولي International standards: إن التقييس السليم هو الذي يقوم على أساس اتفاق عام تشترك فيه آراء أهل الخبرة من مستعملي السلع ومنتجها بما في ذلك أصحاب العلاقة في حقل التجارة والمصالح العامة. إن جمع كل هذه الفئات للتفاوض والوصول إلى حل مشترك أمر بالغ التعقيد، وتكرار مثل هذا الاجتماع مرتين على المستوى الوطني والدولي فيه تبديد للجهد يجب تجنبه، ومن هنا تبرز الأهمية في أن

تحمل المواصفات الوطنية الطابع الدولي والحلول للمشكلات الدولية، كما أن المواصفات الدولية يمكن أن تتحول فيما بعد إلى مواصفات وطنية تكون بمثابة دعم حيوي للتعاون التقني بين الأمم، لذلك فإن التفاهم التقني الفاعل والتعاون الدولي الصحيح هما الشرطان الأساسيان من شروط صياغة هذه المواصفات نفسها، والمنظمة الدولية للتقييس ISO، والهيئة الدولية الكهروتقنية IEC، وهيئة الدستور الغذائي CAC تتيح الفرصة لإيجاد هذا التفاهم والتعاون، وتقوم بإعداد المواصفات التي تكون مصممة للاستعمال العالمي الواسع ونشرها، وتكون ناتجة عن تعاون واتفاق بين عدد كبير من الدول التي لها مصالح مشتركة.

2- المستوى الإقليمي Regional standards: إن وجود منظمات دولية للتقييس لا يغني عن إنشاء منظمات إقليمية، وذلك لأن كثيراً من المجموعات الإقليمية قد تجد نفسها في حاجة ملحة إلى ممارسة التقييس في ميادين ومجالات قد لا ترى المنظمات الدولية القائمة حاجة ماسة لدراسة توحيدها على نطاق واسع، فضلاً عن أن التنسيق والتوحيد يكون أيسر كلما قل عدد الدول، وكلما تقاربت مصالحها. إن ارتباط مجموعة من الدول التي تنتمي لمنطقة جغرافية أو سياسية أو اقتصادية واحدة في سوق مشتركة أو في مصالح مشتركة يستلزم وجود مواصفات إقليمية مشتركة، وتكون المواصفات الصادرة عن هذه البلاد مستخدمة من أجل المنافع المتبادلة بينها. يهدف هذا الارتباط إلى حصول هذه الدول على مزايا فنية واقتصادية للسوق الكبيرة والتي تتركز في:

1- فتح الطريق إلى الإنتاج الكبير.

2- اكتساب فوائد التخصص.

يحقق هذان العاملان خفضاً في تكاليف الإنتاج ودعمًا للصناعة في دول السوق وتعزيزاً لاقتصادياتها. فالمنظمات الإقليمية للتقييس تخدم الأهداف الإقليمية للدول الأعضاء متعاونة في ذلك مع الأجهزة الوطنية للتقييس والمنظمات الإقليمية والدولية المناظرة.

أمثلة على الهيئات الإقليمية: لجان المواصفات الأوروبية (CEN)، لجنة المواصفات الأمريكية، هيئة المواصفات والمقاييس لمجلس تعاون دول الخليج العربية والمنظمة العربية للتنمية الصناعية والتعدين.

ويمكن الإشارة إلى أنه لا يمكن أن تكون هناك أكثر من مواصفة دولية واحدة لموضوع واحد محدد ولوجه محدد لذلك الموضوع. يُوصى عادة عند إصدار مواصفة جديدة بفترة تجريبية لهذه المواصفة، في أثناء هذه الفترة يتم جمع نتائج تجريب المواصفة ومناقشة البيانات المتعلقة بها وفي ضوء هذه البيانات يمكن اعتماد المواصفة النهائية.

3- المستوى الوطني: إن التقييس على المستوى الوطني هو مسؤولية الجهاز الوطني للتقييس في كل بلد، ومهام هذا الجهاز المتعددة تعمق المعرفة بالمواصفات وتشجع على استعمالها ويمكن تلخيصها بما يلي:

أ. إعداد المواصفات القياسية الوطنية ونشرها.

ب. تشجيع تبني هذه المواصفات وتطبيقها.

ج. تدبير الوسائل اللازمة لنشر جميع المعلومات عن المواصفات وطنياً ودولياً.

د. تمثيل الدولة في مؤتمرات المواصفات والمقاييس الإقليمية والدولية وأعمالها ولجانها.

تكون المواصفات الصادرة والمستخدمه داخل أية دولة معتمدة من قبل هيئة وطنية مختصة مخولة رسمياً بنشر مثل هذه المواصفات، وذلك بعد الوصول إلى اتفاق عام حولها من قبل جميع الجهات ذات العلاقة.

4- المستوى المحلي: التقييس الذي يجري على مستوى جزء من الدولة الواحدة، وتستخدم المواصفات الصادرة عنه لتلبية احتياجات هذا الجزء.

5- مستوى الإئتلاف أو المزاملة Association standards: هي المواصفات التي يتم وضعها ونشرها من قبل مجموعة أو عدد من الشركات تعمل في مجال الإنتاج نفسه، بالرغم من كونها متنافسة مع بعضها البعض.

مثال على ذلك جمعية مهندسي السيارات الأمريكية (SAE) التي وضعت المئات من المواصفات التي تستخدم من قبل منتجي السيارات في العالم.

6- مستوى الشركة Company standards: هو المستوى الذي تقوم فيه المؤسسة أو الشركة باتفاق عام من قبل مختلف مديرياتها بوضع مواصفة للاسترشاد بها في عملياتها المختلفة من شراء، وإنتاج، وبيع وغيرها.

من المهم أن نعلم بأن المواصفات الوطنية الموجودة من الممكن أن تكون الحل الأمثل بالنسبة للشركة، لكننا أيضاً نعلم بأن المواصفة الوطنية تكون بالعادة مدروسة عموماً لتخدم جميع الجهات المعنية، فعندها يكون على الشركة إذا أرادت تفصيلاً أكثر وأدق لإدارة أعمالها أن تضيف على المواصفة الوطنية معلومات تؤكد من خلالها الإدارة الأمثل لها، فمثلاً ممكن أن تضع ملحقاً للمواصفة الوطنية تُحدّد به أسلوب إعطاء أرقام الدفعات الإنتاجية عندها، الخ.

إن مواصفة الشركة هي القاعدة التي يتركز عليها العاملون في الشركة عند إعداد التصميم أو شراء مدخلات الإنتاج أو وضع نظام الإدارة لها مما يوفر الجهد والمال والوقت اللازم لدراسة أي موضوع أو تصميم جديد عندها. هذه المواصفات تسمى بمواصفات المنتج، وهي المواصفة التي تحدد الخصائص الفنية لمنتج معين مثل نوع المعدن أو المادة الداخلة في التصنيع وأبعادها وشكلها الخارجي ولونها، الخ.

إن جميع مستويات المواصفات مترابطة مع بعضها البعض، فمن الممكن أن تكون مواصفة الشركة هي الأساس الذي تركز عليه المواصفة الوطنية والدولية والمستويات الأخرى (المزاملة والمحلية والإقليمية)، والعكس صحيح. ومن هذا نستنتج أن المواصفة الدولية ذات المستوى الأعلى من الممكن أن تكون قد اشتقت من مواصفة الشركة ذات المستوى الأقل.

7- المستوى الفردي: هو الذي يعبر فيه من وجهة نظر فردية غير متكررة وذلك عن طريق وضع مواصفة تتضمن رغبة شخصية مثل مبنى يزعم تشييده أو سلعة يرغب شراؤها.

وتقوم أجهزة التقييس في هذه الحالة بمدّ المستوى الفردي بالمعلومات الأساسية التي يُعتمد عليها عند وضع المتطلبات الخاصة به، كما تقوم أنشطة التقييس الجماعية بالاستعانة بما يجري على المستوى الفردي (أي أن الاستفادة متبادلة).

17-1- أهداف التقييس:

في ظل التطورات المذهلة التي يشهدها العصر الحديث يوجد إدراك واسع لقيمة المواصفات القياسية كأسلوب لتبادل المعلومات، وبالتالي تظهر أهمية تعريف مبادئ التقييس وأهدافه، مع أن هذه المهمة معقدة بسبب كثرة التعاريف المطروحة واختلافها، ولكن يمكن تبسيط هذا الأمر بالاقتران على الأهداف والمبادئ الأساسية المتفق عليها. فالتقييس ليس غاية في حد ذاته، بل إنه وسيلة فعالة لتحقيق مجموعة من الأهداف، وذلك لجعل المنتج أو عملية التصنيع أو الخدمة ملائمة للغرض الذي أُعدت من أجله. ومن أهم هذه الأهداف:

1- خفض التكاليف: من الطبيعي أن يتحقق خفضٌ في تكاليف الإنتاج نتيجة لخفض الأموال المستثمرة للأسباب التالية:

- شراء آلات ومعدات ذات كفاءة عالية.

- خفض سعر شراء الخامات والمواد نتيجة لشرائها بكميات كبيرة.

- وفر في النفقات الإدارية نتيجة لتقليل الإجراءات المكتبية وتبسيطها.

2- زيادة الكفاءة الإنتاجية: إن الاقتصاد على عدد محدد من النماذج والأنواع يؤدي إلى طول فترات تشغيل الآلات؛ أي إلى زيادة في إنتاجيتها، كذلك فإن انخفاض عدد العمليات الصناعية يؤدي إلى زيادة كفاءة العمال والآلات على حد سواء، بالإضافة إلى أن تحسين ضبط الجودة يؤدي إلى تخفيض نسبة المعيبات أي زيادة الكفاءة الإنتاجية.

3- تحسين جودة الإنتاج: إن تركيز أعمال التصميم والإنتاج على عدد أقل من المواد والأجزاء، وازدياد خبرة العمال قد هيا للإنتاج مستوى عالياً من الجودة، بالإضافة إلى أنه مكن من اقتناء أجهزة اختبار دقيقة وثمينة، كان من الصعب شراؤها في حالة صغر حجم

الإنتاج، نظراً لارتفاع ثمنها، وعدم وجود مبرر اقتصادي لذلك. وبالطبع فإن استخدام مثل هذه الأجهزة الدقيقة يعمل على إحكام ضبط الجودة ورفع مستواها.

4- الحفاظ على المواد والموارد: من الطبيعي أن يحقق التقييس وفراً كبيراً في الخامات والمواد للأسباب التالية:

- تحسين تصميم المنتجات نتيجة التركيز على إنتاج عدد أقل من الأنواع والأحجام والمقاسات.

- حسن استغلال المواد مع استخدام المواد البديلة نتيجة للأبحاث اللازمة قبل وضع المواصفات.

- اختيار التقنيات التي تتلاءم مع الجودة وعدم هدر الموارد الوطنية والترشيد بخفض التكلفة في جميع مراحل الإنتاج.

5- التبسيط وتأمين التبادلية: أدى التبسيط إلى انخفاض التنوع في المقاسات والأحجام والنماذج والأشكال. ولقد فرض هذا الانخفاض مبدأ التبادلية، أي قدرة الصانع على إنتاج عدد كبير من الأجزاء المتماثلة في الحجم والشكل والأداء إلى حد يضمن استبدال جزء منها بجزء آخر له درجة الأداء نفسها. وبما أنه لا يمكن الجزأين أن يتماثلا تماماً فمن واجب التقييس أن يحدد التفاوت المقبول مع تأمين قابلية التبديل.

6- مصلحة المستهلك والمجتمع: يجب على المواصفة القياسية أن تخدم منفعة المستهلك وترفع المستوى المعيشي له، وتؤمن التوفير الاقتصادي لصالح المجتمع ككل.

فالمواصفات تسعى لتحقيق المصلحة الوطنية العامة، وذلك بتحسين جودة الإنتاج، وتأكيد السلامة والصحة، والرفع من جودتها، وتطوير السلع والخدمات المتداولة في السوق الوطني وهذا بدوره يشجع تصدير هذه المنتجات إلى جميع دول العالم. لذلك عند وضع المواصفة القياسية يجب مراعاة هذا الأمر بحيث يحقق التوازن بين مصلحة المستهلك والمجتمع من جهة والمنتج من جهة أخرى. وهنا يجب التبصر في ضرورة مراعاة ظروف البلد والحالة الاجتماعية والعادات والتقاليد عند اقتراح مواصفة وطنية معينة، ويتم اللجوء أحياناً لسلطة القانون لتطبيق مواصفة معينة يكون فيها الهدف الأساسي مصلحة المجتمع.

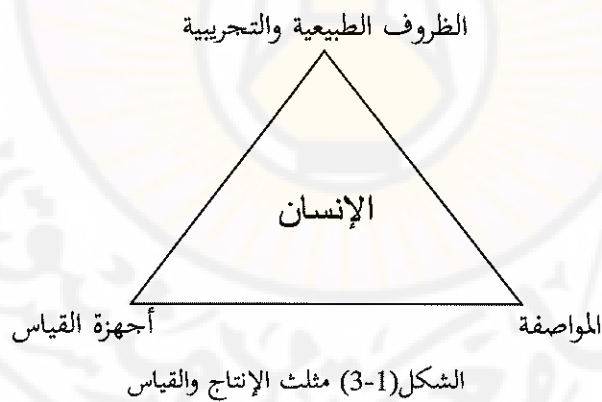
7- الحفاظ على البيئة: أعطى التقييس موضوع تلوث عناصر البيئة: (الغذاء، والماء، والتربة والهواء) أهمية كبيرة، لأن التأثير السلبي للبيئة يعمّ جميع دول العالم، لذا فإن التقييس يبحث على التقيد والالتزام بالمتطلبات البيئية التي تحددها المواصفات القياسية.

8- إيجاد لغة عالمية: إن توحيد الرموز والمعاني والمدلولات التي تُستخدم لوصف السلع والخدمات في المجالات المختلفة هي من الأهداف التي عمل التقييس على تحقيقها، فمثلاً عندما يتم التحدث عن المسافة الفاصلة بين مدينتين فإنه يتم التحدث عن وحدات ثابتة وموحدة تكون مفهومة من قبل الجميع بالرغم من اختلاف لغاتهم.

9- التوفير والأمن والسلامة: تُعد حماية المستهلك من أهم الموضوعات التي ركز عليها التقييس، فالمواصفات تكون إلزامية التطبيق، حيث تتناول اشتراطات كفيلة بحماية المستهلك وسلامة السلعة المستخدمة، وأن أي ضرر يقع على المستهلك سيؤدي إلى حدوث أضرار على المنتجين والتجار. ونتيجة لما سبق فالتقييس هو نشاط اجتماعي كما هو نشاط اقتصادي، ويتحقق بالتعاون بين جميع المعنيين بمجال التقييس، والهدف من هذا النشاط هو إيجاد شروط تحقق للناس حياة آمنة ومرجحة، وبالتالي يجب اتباع طريق محدد في أثناء وضع المواصفة بحيث يحقق الحل الأمثل من بين مجموعة الحلول المطروحة، وجعل هذا الحل ثابتاً وفي مأمن من التغيير لمدة من الزمن مع مراعاة التأكيد على مراجعة المواصفة وفحصها خلال فترات زمنية منتظمة وبشكل تقريبي من 5 إلى 10 سنوات بحيث تتم مراجعتها أساسية وشاملة.

10- تحقيق توازن عام بين الأطراف: يقوم التقييس بخلق توازن بين جميع الأطراف المهمة بالسلع، فقيام طرف واحد مثلاً بإصدار مواصفة دون مشاركة الأطراف الأخرى المهمة بالسلع يفقد الثقة فيها حتى لو كانت معتمدة على أسس علمية حيث يمكن أن يدخل فيها عامل الانحياز، لذا فوجود التقييس بمستوياته كافة يعمل على إيجاد توازن مثالي بين مختلف الأطراف المهمة بالإنتاج والاستهلاك والتوزيع والتصدير والاستيراد وتيسر التبادل التجاري والتعاون الاقتصادي بين الدول.

11- تحقيق الموازنة: أولى التقييس موضوع ملاءمة السلع والخدمات للظروف البيئية والاجتماعية والدينية أهمية كبيرة وذلك لارتباطها ببيئة المجتمع نفسه. فالمواصفات القياسية مثلاً تأخذ في الاعتبار الظروف الجوية السائدة في البلد، فأساليب النقل ودرجات حرارة التخزين تتأثر بالتغيرات المناخية، كما أن نوع المنتج الغذائي وطبيعته مثلاً والمواد الداخلة في تصنيعه يخضع لمدى تقبلها اجتماعياً وموافقته للمتطلبات الدينية والأخلاقية في البلد. لذلك عند وضع مواصفة ما يجب الأخذ بالحسبان مختلف العوامل الطبيعية والبيئية والتجريبية التي لها دور فاعل في وضع هذه المواصفة. ويمكن الاستعانة بمثلث الإنتاج والقياس لتوضيح هذا الأمر. فالإنسان يمثل في هذا المثلث دور المؤثر والمتأثر، ويمكن عد هذا المثلث حلقة الوصل بين العناصر الرئيسة وارتباطها مع بعضها وتأثرها بالإنسان والواقع التجريبي. يتم اختيار الظروف الطبيعية والتجريبية بالشكل المناسب من قبل الإنسان الذي بدوره يقوم بتصميم أجهزة القياس الملائمة للغرض المطلوب واختيارها، ويقوم أيضاً بتحديد نوعية المواصفة المرغوبة، وبالتالي هو فاعل ومنفعل بآن واحد كما في الشكل (1-3).



18-1- فوائد التقييس:

يمكن توضيح فوائد التقييس لكل من الفئات المنتفعة به، المنتج، والعامل، والتاجر، والمستهلك، والدولة والعالم. وذلك وفقاً لما يلي:

1- المنتج:

أ- تبسيط في أعمال الدراسات الفنية وتوفيرها، وتنظيم عمليات الإنتاج في جميع المراحل، وزيادة كميته وتحسين جودته.

ب- خفض رأس المال الثابت.

ت- توفير في الخامات وزيادة تشغيل الآلات والمعدات.

ث- توفير في الوقت مع ضمان السلامة والأمان للعاملين.

ج- تيسير الدعاية والإعلان وزيادة فرص التسويق.

ح- الحد من المنافسة غير الشريفة.

2- العامل:

أ- سهولة التدريب على الآلات والعمليات الصناعية المختلفة.

ب- تحسين الظروف المادية والمعنوية.

3- التاجر:

أ- الإقلال من كمية المخزون والمنتجات المعيبة.

ب- سرعة تسليم السلع والمنتجات وضماها.

ت- تيسير طرق الدعاية والإعلان.

ث- زيادة النشاط التجاري، مع زيادة فرص التصدير للخارج.

ج- إتمام المعاملات التجارية بشكل سليم وتوفير الاستقرار للعملاء.

4- المستهلك:

أ- المنافسة بين المنتجين على أسس ثابتة.

ب- الإقلال من المنتجات المعيبة.

ت- توافر السلع والمنتجات بالجودة المطلوبة.

ث- خفض الأسعار.

5- الدولة:

أ- الاستغلال الأمثل للموارد الوطنية، مع زيادة الكفاءة الإنتاجية وارتفاع معدلات التصدير.

- ب- جودة الإنتاج مع خفض التكاليف.
- ت- تنظيم الأسواق وعمل توازن بين العرض والطلب.
- ث- الإقلال من المنازعات واللجوء إلى القضاء.
- ج- إحكام الرقابة على الصادرات والواردات.
- ح- رفع مستوى المعيشة للمواطنين.
- 6- العالم:

- أ- زيادة التفاهم والتعاون بين الدول حسب المواثيق الدولية.
- ب- تنشيط التجارة الدولية من دون معوقات.

مما سبق يتضح أن التقييس يتدخل بكفاءة وقدرة في جميع مراحل الإنتاج ابتداءً من المادة الخام وانتهاءً بالمنتج النهائي، وأيضاً عند تداول السلع من المنتج إلى التاجر ثم إلى المستهلك، وذلك ترشيحاً للإنتاج، وتحقيقاً للاقتصاد الأمثل مع الأخذ بالحسبان ظروف الأداء ومتطلبات السلامة.

1-19- التقييس في المصنع:

نشأت المواصفات وتطورت في المصنع، ثم دخلت هذه المواصفات بقية المجالات، وذلك لأن التصنيع نفسه دخل بقية المجالات العلمية. فالمصنع هو مكان إنتاج السلع وهو المكان الذي تنطلق منه المشكلات المتكررة المتعلقة بعملية الإنتاج، والحل الأفضل الذي يوضع لإنتاج سلعة ما هو المواصفة المصنعية.

إن المهمات الملقة على عاتق القائمين في المصنع هي واحدة في جميع المصانع، وإنما تختلف من حيث حجم العمل وتتلخص بما يلي:

1. توفير المواصفات الوطنية والأجنبية والدولية والتعليمات التي تهم المصنع.
2. إعداد المواصفات المصنعية بالتنسيق مع الإدارات الأخرى.
3. توزيع مختلف المواصفات على جميع أصحاب العلاقة في المصنع حسب الحاجة.
4. وضع نظام خاص بالترقيم والتصنيف والإحصاء وجدولة الأجزاء المتكررة من أجل إعادة استعمالها في التصميم الجديدة.

5. اعتماد أسس جديدة لإدخال أنظمة معالجة المعلومات.

1-19-1- المواصفات والسلع:

يهتم المصنع بمواصفات المواد الأولية وطرائق التصنيع والأجزاء المركبة والسلع النهائية التي يتم إنتاجها، كما يهتم بتوصيف العمليات المتكررة التي تظهر على شكل تعليمات ونماذج مطبوعة تشمل نظام الإدارة داخل المصنع. لذا تشمل اهتمامات المصنع مايلي:

- السلع المركبة.
- السلع البسيطة.
- الأجزاء ذات الاستخدام العام وخواصها التي تدخل في تركيب سلع نهائية.
- السلع المرتبطة بالمنتج ومواصفاتها.
- المواد الأساسية اللازمة لإنتاج السلع النهائية.
- معلومات أساسية ضرورية للتصميم.

1-19-2- عناصر المواصفة الكاملة:

تعد المواصفة الكاملة للسلعة بمنزلة كائن حي يتكون من أجزاء مختلفة ولكنها مترابطة ويتفاعل بعضها مع بعض. وتتألف المواصفة الكاملة من: الأبعاد الأساسية، والثانوية، والمصطلحات، والرموز، ومن عملية الاختبار والتفتيش على جودة المنتج، بالإضافة إلى نوعية أداء المنتج وتحديد نوعيته، وأخيراً معلومات أساسية مختلفة لا بد من توافرها مثل السلامة والأمان. ويمكن أن تتألف المواصفة السلعية من جميع هذه العناصر أو من بعضها.

ويبين الجدول (5-1) أجزاء المواصفة الكاملة لسلعة ما.

الجدول (5-1) العناصر الأساسية للمواصفة الكاملة

تحديد الأنواع للمواد الأولية وطرائق تخزينها	الأبعاد وطرائق ضبطها	المصطلحات والرموز	الاختبارات والتفتيش المنتظم	المعلومات الأساسية ومعالجتها	الأداء وضمن الجودة والسلامة
---	----------------------------	----------------------	-----------------------------------	------------------------------------	--------------------------------

إن عملية إعداد أية مواصفة قياسية يتطلب تحليل الظروف والعوامل التي لها علاقة بالعمل التقييسي قبل البدء بتنفيذ هذا العمل، كما يلي:

- التأكيد على أن المواصفة يجب أن تساعد على التطور.
- تجريب بعض المواصفات بشكل مؤقت.
- مراعاة العادات والتقاليد.

يشمل إعداد المواصفة المصنعية الاستفادة من سجلات المصنع الخاصة بالأجزاء ذات الاستعمال المتكرر والمواصفات المتوافرة في المصنع، والرسوم والتصاميم المسبقة مع المعلومات الإضافية كافة، بالإضافة إلى المواصفات الوطنية والدولية للسلعة.

1-19-3- درجات تقييس السلعة:

درجة تقييس السلعة أو المدى الذي وصل إليه تقييسها أو حجم هذا التقييس مرتبط بالإجراءات الواجب اتخاذها في إدارات التصميم والإنتاج والمبيعات عند طلب هذه السلعة، ويتعلق الجهد اللازم لذلك بحجم المعطيات لدى هذه الدوائر ومدى اكتمالها. يبين الجدول (1-6) الوقت اللازم لإنتاج السلعة مع تزايد درجة التقييس، ويوضح الجدول (1-7) أنواع السلع:

1- سلعة قياسية = درجة تقييس عالية.

2- سلعة مكيفة = درجة تقييس متوسطة.

3- سلعة غير متكررة = درجة تقييس منخفضة.

إن توريد سلعة هندسية يحتاج إلى وقت وجهد، وهما يختلفان حسب نوع السلعة ودرجة تقييسها، فكلما كانت درجة التقييس أعلى كان الجهد والوقت اللازمان لتوريد هذه السلعة أقل. وبهذا الشكل تبرز أهمية توصل المصنع إلى أعلى درجة تقييس ممكنة للمنتجات سواء من ناحية التكلفة أم سرعة التسليم. وبالتالي كلما كانت المواد المطلوبة موصفة بدقة وطبقاً لمواصفات دولية أو وطنية واسعة الانتشار حصلنا على عروض من موردين كثيرين يؤدي تنافسهم إلى حصولنا على عروض جيدة وأسعار مناسبة.

الجدول (6-1) الوقت اللازم لإنتاج السلعة مع تزايد درجة التقييس

درجة تقييس السلعة	المواصفات الأولية	التخطيط	التصنيع	التخزين	الشحن
سلعة قياسية	—	—	—	—	—
سلعة مكيفة	—	—	—	—	—
سلعة غير متكررة	—	—	—	—	—

الوقت المستغرق _____

الجدول (7-1) أنواع السلع

نوع السلعة	تعريفها	ملاحظات
السلعة القياسية	هي السلعة التي لا تحتاج إلى أية تصميمات إضافية	البيانات المتعلقة بالسلعة متوفرة بشكل واضح
السلعة المكيفة	هي السلعة التي تكون بحاجة إلى بعض الإجراءات الإضافية	البيانات المتعلقة بالسلعة تحتاج لبعض التعديلات
السلعة غير المتكررة	تتطلب إعداداً خاصاً وتصميمات خاصة ومعالجة إنتاجية خاصة	تحتاج السلعة لإعداد كافة البيانات اللازمة للإنتاج

1-19-4- نتائج أهداف التقييس في المصنع:

تُلخص الأهداف الأساسية التي يحققها التقييس في المصنع بالتالي:

- 1- تخفيض تكاليف الإنتاج وضبط مخزون المواد والسلع.
- 2- الحصول على أعمال تصميمية متقنة بطريقة منهجية.
- 3- إنجاز السلع النهائية حسب متطلبات السوق.
- 4- ضمان الاختيار الأمثل للمواد.
- 5- توفير الشامل وتأمين السلامة.

الفصل الثاني

التسامحات والإزواجات

Tolerance & Fits

مقدمة:

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 التصميمية (الأبعاد الاسمية) تماماً من دون وجود بعض التفاوتات (الانحرافات) في هذه الأبعاد. وهناك أسباب عديدة تؤدي إلى حدوث تلك الانحرافات منها على سبيل المثال عدم الدقة المطلقة لآلات التشغيل، واحتمال حدوث بعض الأخطاء التي يصعب 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 إعطاؤها كأحد أهم مواصفات تلك المعدات. وقد تم اعتماد مجموعة من المواصفات الدولية لتحديد قيم التجاوزات المسموحة طبقاً لمجالات الاستخدام. ويهدف هذا التوحيد في المواصفات إلى تأكيد مبدأ التصنيع التبادلي الذي يتيح استخدام المنتجات في أي مكان بصرف النظر عن مكان التصنيع طالما أن هذه المنتجات مطابقة للمواصفات الدولية المتفق عليها.

من البديهي أن تكون قيم التجاوزات ضئيلة جداً لأن ذلك يؤدي إلى حدوث اختلاف ملموس في أبعاد المنتج وبالتالي يتسبب في عدم إمكانية استخدامه للغرض المصنّع 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 تتراكم مع بعضها البعض بطريقة سليمة لتؤدي وظيفتها أثناء العمل بدون خلل.

2-1- التفاوتات (Tolerances):

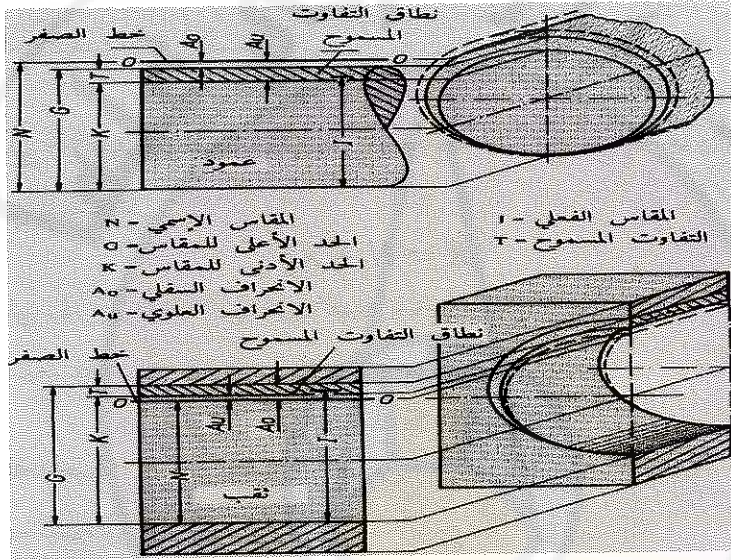
تبرز أهمية التفاوتات في الأجزاء التي يتطلب إنتاجها دقة عالية، حيث إن وجود التفاوتات يصبح مطلباً ضرورياً كما في الأجزاء التي تتداخل مع بعضها البعض، مثل أعمدة الدوران والمحامل، وفي مثل هذا الوضع تصبح الدقة غاية في الأهمية لضمان توافق الأجزاء مع بعضها البعض. وعموماً، نحدد مقدار التفاوت المسموح به بالرجوع إلى طبيعة الجزء وعمره الافتراضي وعلاقته بالعناصر المجاورة له، وظروف التشغيل التي سيتعرض لها وغيرها من الاعتبارات التي يجب الأخذ بها.

إنّ الهدف الأساسي من وضع التفاوتات على الرسوم الهندسية، والتقييد بمحدود 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 تجميعها. وبفعل متطلبات الصناعة الحديثة والإنتاج الكمي (بالجملة) يستحيل غالباً القيام بصناعة جهاز معقد من قبل صانع واحد، وإنما 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 المصمم 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 يسهل 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.

2-2- تعاريف أساسية:

تستخدم التعاريف التالية كأساس لإجراء الحسابات اللازمة لتحديد التفاوتات للمشغولات في أثناء تصميمها، ويبين الشكل (1-2) المصطلحات الأساسية للتفاوتات.



الشكل (1-2) المصطلحات الأساسية للتفاوتات

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

التفاوت الأدنى للمقاس A_u (الانحراف السفلي): هو الفرق بين المقاس الاسمي والحد الأدنى للمقاس.

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.

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.

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.

$$G = N + A_o$$

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

$$K = N + A_U$$

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:

$$K \leq L \leq G$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

السماحية أو الخلوص: هي الفرق بين أكبر مقاس (الحد الأعلى لقطر العمود) وأصغر مقاس (الحد الأدنى لقطر الثقب) ويمكن أن يكون بالسالب أو الموجب.

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

$$T = G - K$$

$$T = A_o - A_u$$

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

$$K = N + A_u$$

$$T = A_o - A_u$$

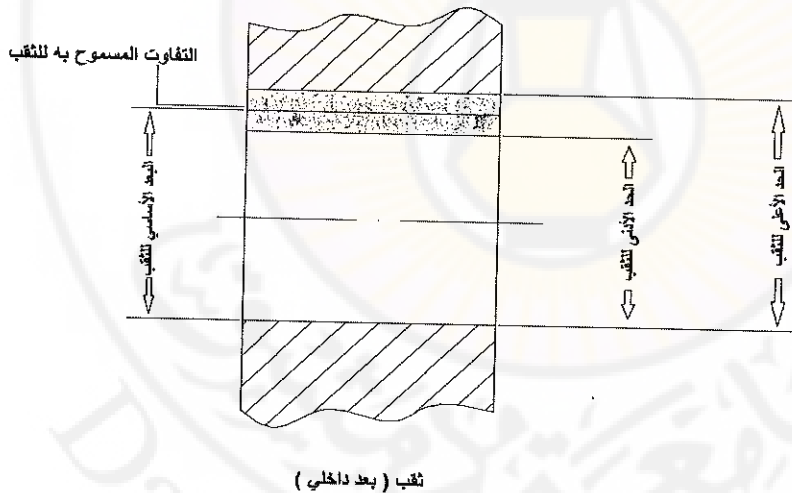
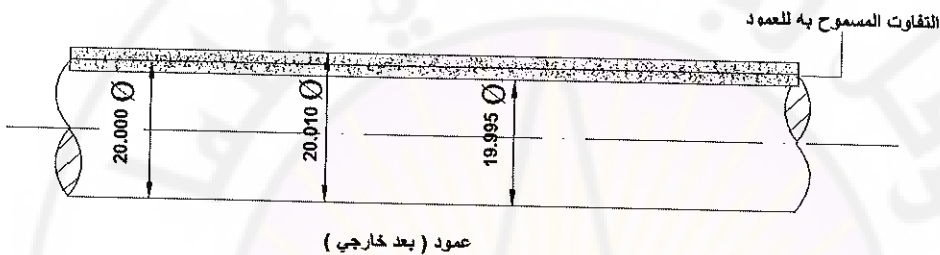
$$G = N + A_o$$

$$T = G - K$$

مثال 1: إذا كان البعد الاسمي لقطر عمود 20mm والحد الأعلى المسموح به للبعد 20.010mm والحد الأدنى للبعد هو 19.995mm، كما في الشكل (2-2) فإن مقدار التفاوت يمثل الفرق بين الحدين أي:

$$T = G - K$$

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



الشكل (2-2) حدود الأبعاد وحدود التفاوت

ولتوضيح المصطلحات السابقة سنعرض المثال العددي التالي:

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

الحل:

البعد الاسمي $N = 25\text{mm}$.

التفاوت الأعلى $A_o = +0.009\text{mm}$.

التفاوت الأدنى $A_u = -0.004\text{mm}$.

الحد الأعظمي للبعد G :

$$G = N + A_o$$

$$G = 25 + 0.009 = 25.009\text{mm}$$

الحد الأصغري للبعد K :

$$K = N + A_u$$

$$K = 25 + (-0.004) = 24.996\text{mm}$$

وبالتالي يكون البعد الفعلي (L) :

$$24.996\text{mm} \leq L \leq 25.009\text{mm}$$

أما تسامح (تفاوت) البعد (T) :

$$T = G - K$$

$$T = 25.009 - 24.996 = 0.013\text{mm}$$

$$T = A_o - A_u \quad \text{أو:}$$

$$T = 0.009 - (-0.004) = 0.013\text{mm}$$

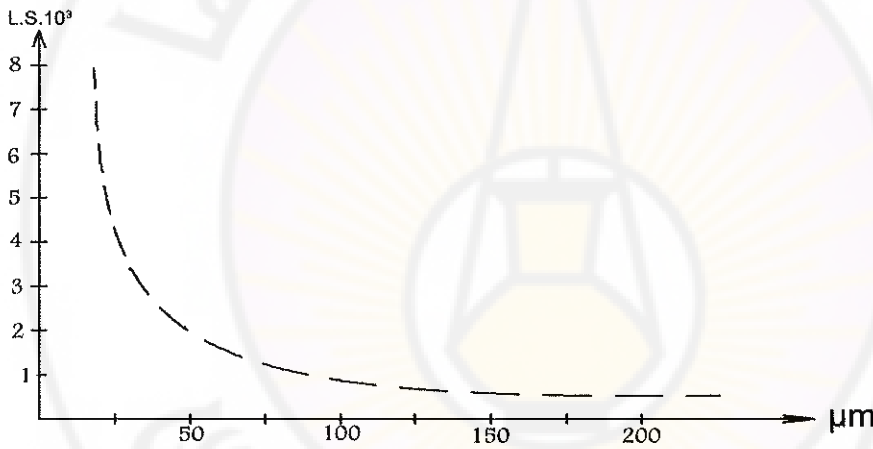
ملاحظة: إذا لم يكتب مقدار التفاوت في صيغة البعد الاسمي وتفاوتاته فمعنى ذلك أن مقداره يساوي الصفر.

2-3- 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 (3-2) العلاقة التي تربط بين التكاليف المترتبة على تشغيل الأجزاء، والتفاوت المسموح به لهذه الأجزاء.



الشكل (3-2) 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 طردياً مع الجذر

التكعيبي لأبعاد القطع المنتجة. ولذلك يتم اختيار تفاوتات كبيرة نسبياً للأجزاء ذات الأبعاد الكبيرة، وتفاوتات صغيرة للأجزاء ذات الأبعاد الصغيرة..

4-2- العلاقة بين الانحراف والأبعاد تبعاً لعمليات التشغيل:

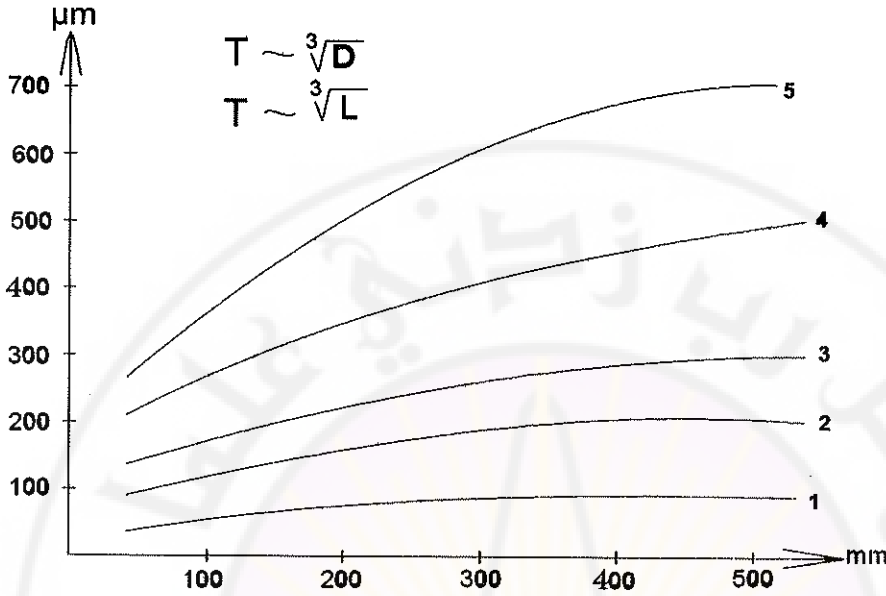
لا يمكن أبداً إنتاج قطعة وفق البعد الاسمي تماماً، ولا بد من حدوث بعض الانحرافات عن هذا البعد، وهذا الانحراف ينتج بسبب كثير من التغيرات والعوامل، وهناك أسباب رئيسة لهذه الانحرافات:

- 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 يلاحظ 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) يلاحظ زيادة الانحراف الناتج عن عمليات الخراطة بشكل ملحوظ في أثناء زيادة أبعاد القطعة المشغلة. يلاحظ على الشكل (4-2) 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 (4-2) العلاقة بين مقدار الانحراف المحتمل حدوثه وأبعاد القطعة المشغلة تبعاً لعمليات التشغيل

5-2- العلاقة بين مقدار التفاوت وكفاءة الإنتاج:

عند القيام بإنتاج عدد كبير من الأجزاء المتماثلة وتفاوت مسموح به محدد لهذه الأجزاء، يُلاحظ أنّ أبعاد الأجزاء الناتجة يختلف بعضها عن بعض (ضمن مجال التفاوت المسموح به)، فعندما نقوم بتصنيف هذه الأجزاء وفق منحنى التوزيع الطبيعي للانحرافات أو منحنى غاوس كما في الشكل (5-2) حسب أبعادها الحقيقية، نجد أنّ القسم الأكبر منها يقع في منتصف التفاوت المسموح به؛ أي على جانبي المحور X ، وقسماً أقل يقع على طرفي القيمة السابقة أي بين القيمة $+3.5$ حتى -3.5 (قيم فرضية)، وقسماً ثالثاً (نادر نسبياً) يقع خارج مجال التفاوت المسموح به، وهذا الجزء طبعاً مرفوض لأنّه لا يحقق الوظيفة المطلوبة منه.

يُلاحظ أنّ منحنى دالة الاحتمال للتوزيع الطبيعي له خاصية شكل الجرس، ويتحدد شكل الجرس تماماً لأي توزيع طبيعي خاصة إذا علمنا الوسط الحسابي μ والانحراف

المعياري σ لهذا التوزيع. تدل قيمة μ على مركز الجرس وتدل قيمة σ على كيفية الانتشار، فالقيمة الصغيرة لـ σ تعني أن الجرس قصير ومفلطح، أما القيمة الكبيرة لـ μ تعني أنه لدينا جرس طويل مدبب. إذا كان لدينا توزيع طبيعي ذو وسط حسابي μ وانحراف معياري σ فإن معادلة منحنى دالة كثافة الاحتمال تكون على الصورة التالية:

$$Y(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

أو تكتب بالشكل التالي:

$$Y = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

عندما $\mu = 0$ و $\sigma = 1$ تصبح العلاقة السابقة بالشكل التالي وتدعى علاقة دالة كثافة الاحتمال الطبيعي المعياري.

$$Y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-(x)^2/2}$$

e: الأساس الطبيعي (قيمته ثابتة تقريباً وتساوي 2.718).

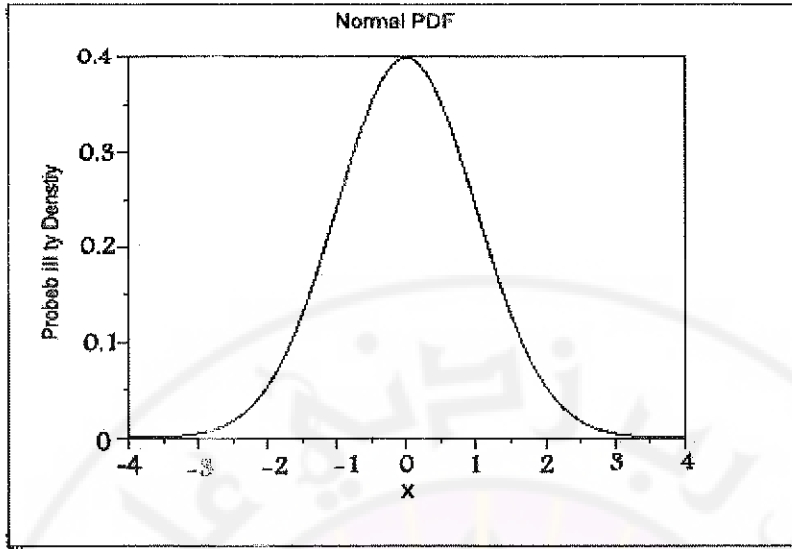
σ : الانحراف المعياري Standard-Deviation: هو جذر متوسط مربع فروق القياسات الحقيقية عن القيمة الاسمية.

X: قيمة الكمية المقاسة.

μ : القيمة الحقيقية للكمية

n: عدد مرات القياس أو عدد القطع المنتجة.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n}}$$



الشكل (5-2) العلاقة بين عدد القطع المنتجة ومقدار التفاوت (منحني غاوس)

2-6- تمثيل المواضع الأساسية لنطاقات التفاوت بالنسبة لخط الصفر:

يتم تمثيل نطاق التفاوت لبعـد معين بالنسبة لخط الصفر بمستطيل صغير مهـشـر 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 ملاصقاً لخط الصفر. يوجد خمسة مواضع أساسية لنطاقات التفاوت بالنسبة لخط الصفر كما في الشكل (6-2).

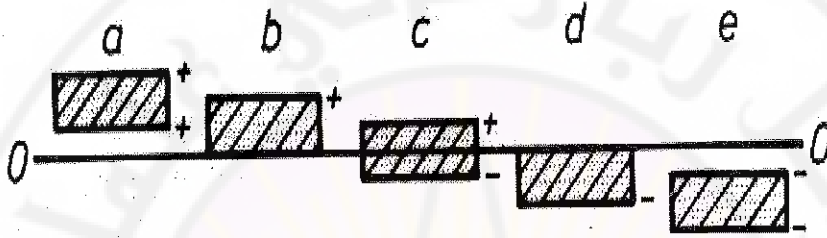
وهذه المواضع يمكن تصنيفها كالتالي:

- 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 (6-2) المواضع الأساسية لنطاق التفاوتات

7-2- أنواع التسامح (التفاوت):

يمكن تصنيف التسامح حسب مقدار تفاوتي البعد وإشارته إلى:

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

- 2- التسامح غير المتناظر: يحدث عندما أحد التفاوتان يكون مساوياً للصفر.
- 3- التسامح غير المتناظر من الطرفين: يحدث عندما مقدارا التفاوت والإشارة مختلفتين.
- 4- التسامح 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 لا يسمح بإنتاج القطع بمقداره.

- 5- التسامح 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- التسامح 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 الخلوصلات 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 لخارج 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.

مثال 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: $\Phi 80^{+0.1}_{-0.05}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

الحل: نحسب البعد الأعظمي:

$$G = N + A_o$$

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

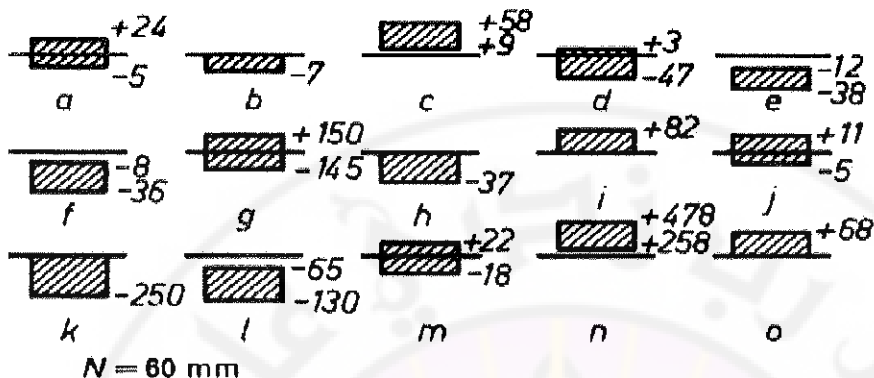
ويكون التسامح:

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

إذن البعد المعطى يصبح بالشكل التالي:

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

مثال 5: احسب القيم (K, G, T, A_u, A_o) بالمليمتر من نطاقات التفاوتات المسموحة المعطاة في الحالات من (a) إلى (o) الموضحة بالرسم، علماً بأن البعد الاسمي 60mm.



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

$$G = N + A_o$$

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

$$K = N + A_u$$

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

$$T = G - K$$

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

$$T = A_o - A_u$$

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

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

8-2- سلاسل التفاوتات:

في معظم الآلات المعقدة تكون عادة الأجزاء المشغلة ذات عدد كبير من الأبعاد المتتابعة، وكل بعد مترافق بالتفاوت المسموح به. وبالتالي تتشكل لدينا سلاسل من

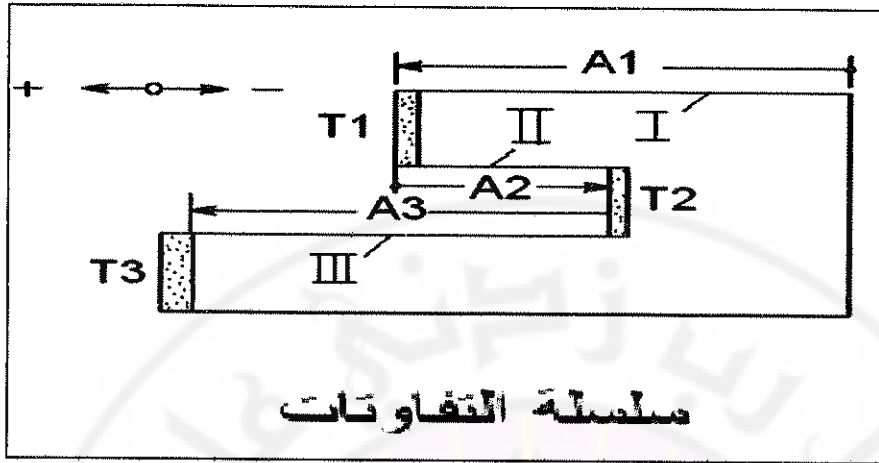
التفاوتات يمكن أن تؤدي في النتيجة لتراكم هذه التفاوتات مما يسبب الإخلال بالأداء الوظيفي للأجزاء المجهزة، وبالنتيجة انخفاض جودة الأداء.

يحدد مهندس التصميم مقدار التفاوتات المتتابة آخذاً في حسابه التفاوت الكلي للجزء، وكمثال على سلاسل التفاوت يمكن أخذ أعمدة الإدارة وعناصر الآلات. ويمكن الاسترشاد بالقاعدة العامة التي يتم بموجبها تحديد سلاسل التفاوتات على الرسوم الهندسية والتي تنص على أن: المجموع الكلي لمجال التفاوت في السلسلة يساوي مجموع القيم المطلقة للتفاوتات الفردية.

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

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

$+ A_1$	A_1 : طول القسم الأول من الجزء. وهو في الاتجاه الموجب
$- T_1$	T_1 : التفاوت المتعلق بهذا الطول. واتجاهه سالب
$- A_2$	A_2 : طول القسم الثاني. وهو في الاتجاه السالب
$- T_2$	T_2 : تفاوت هذا الطول. واتجاهه سالب أيضاً
$+ A_3$	A_3 : طول القسم الثالث. واتجاهه موجب أي
$+ T_3$	T_3 : تفاوت القسم الثالث. وهو تفاوت موجب



الشكل (7-2) أبعاد وتفاوتات الأجزاء الثلاثة المكونة للقطعة

الحد الأدنى لطول الجزء هو:

$$S_{min} = X_{max}^- + X_{min}^+$$

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:

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

أما الحد الأعلى لطول الجزء:

$$S_{max} = X_{max}^+ + X_{min}^-$$

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

وإذا علمنا أن طول سلسلة التفاوتات ما هو إلا الفرق بين الحدين الأعلى والأدنى للطول

الذي يمكن أن يأخذه الجزء المشغّل، نجد:

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

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

$$= T_1 + T_2 + T_3$$

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

مثال 6:

بفرض أن الأبعاد السابقة معطاة بالشكل التالي:

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

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

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

احسب الحدين الأعلى والأدنى لطول الجزء، ومجموع التفاوتات.

الحل:

الحد الأعلى لطول الجزء:

$$S_{max} = X_{max}^+ + X_{min}^-$$

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

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

الحد الأدنى لطول الجزء هو:

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

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

طول سلسلة التفاوتات:

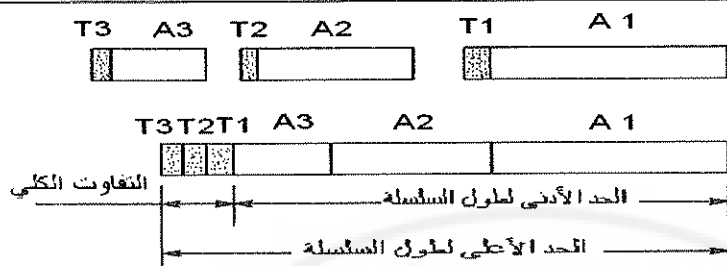
$$T = T_1 + T_2 + T_3$$

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

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

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

ملاحظة : يؤخذ التفاوت دائماً بالقيمة العددية المطلقة.



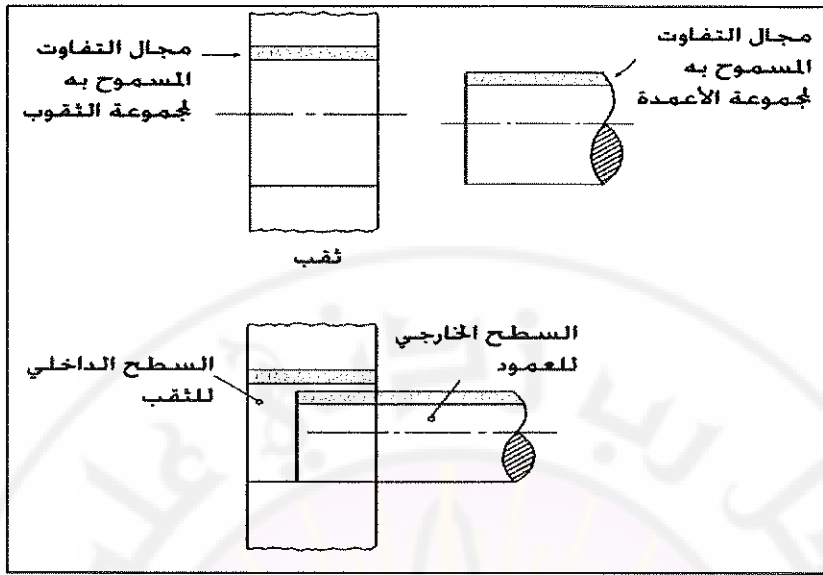
سلسلة تفاوتات ثلاثية الأبعاد

ترمز الأحرف $A1, A2, A3$ إلى الحدود الدنيا للأبعاد كما ترمز الأحرف $T1, T2, T3$ إلى النفقات المسموح بها على الترتيب ، ويلاحظ من الشكل أن الحد الأدنى للأبعاد هو $A2 + A3$ ، أما الحد الأعلى لهذه الأبعاد فقيمتها $A1 + A2 + A3 + T1 + T2 + T3$ ، وفي أي سلسلة تتحقق القاعدة التالية : النفقات الكلية يساوي مجموع النفقات بالقيمة المطلقة أي : $T = T1 + T2 + T3$.

الشكل (8-2) سلسلة تفاوتات ثلاثية الأبعاد

9-2- الإزواجيات (Fits):

في ظل التقدم التكنولوجي الكبير الذي يتطور بخطوات مذهلة، تبرز الحاجة إلى وجود نظام متكامل للإزواجيات بين مختلف أجزاء الآلات. فالآلة لا يمكن أن تنجز القدرة المثلى المرغوبة إلا إذا كانت أجزائها المختلفة تقوم بعملها كما هو مصمم لها، وبجيث يؤدي تراكب هذه الأجزاء المختلفة إلى المردود الفني والاقتصادي معاً. وهذا ما يبرر حتمية وجود نظام موحد للإزواجيات يؤدي إلى حل المشكلات 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 أيضاً التوافقات. مما سبق نستنتج أن الإزواج هو المصطلح الذي يعبر عن طبيعة التداخل أو العمل بين محور وثقب مخصص له، كما في الشكل (9-2).



الشكل (2-9) الأجزاء المتزاوجة

وتتضح أهمية الإزواج 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 الحمل المنتج في مصنع آخر بحيث يؤديان الوظيفة السابق تحديدها لهما. والإزواج إما أن تكون أسطوانية أو مسطحة وذلك تبعاً للشكل الهندسي لقطع الشغل. ففي الإزواج 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 الإزواج الأسطوانية في الكثير من التطبيقات الميكانيكية، فإنه سيتم التركيز عليها، مع ملاحظة أن ما سيذكر عن الإزواج الأسطوانية يصلح أيضاً بصورة مشابهة للإزواج 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 .

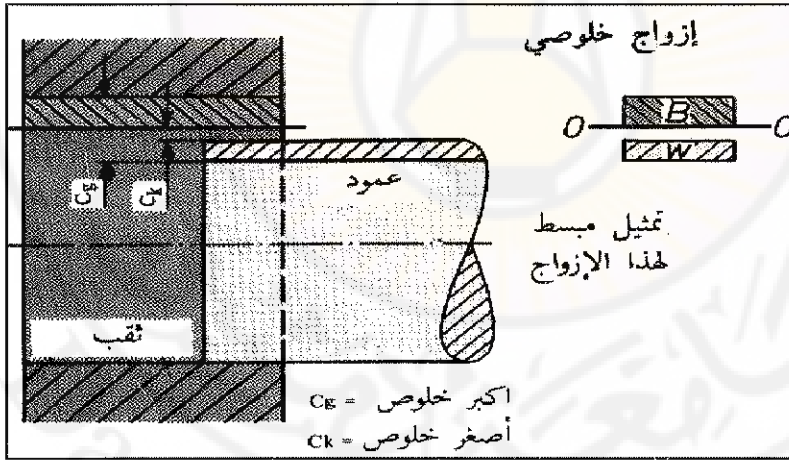
2-9-1- أنواع الإزواج:

أ. الإزواج الخلوصي: في هذا النوع يتم اختيار نطاق التفاوتات لكل 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 (2-10). 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 .

$$C_g = G_H - K_S$$

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



الشكل (2-10) الإزواج الخلوصي

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

$$C_K = K_H - G_S$$

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

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

$$T_f = C_g - C_K$$

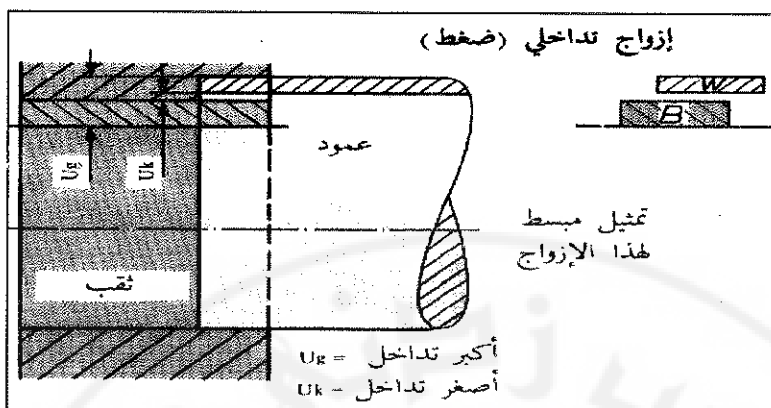
ب. الإزواج التداخلية: هو الإزواج الذي يوجد فيه دائماً تداخل، أي إن الأجزاء المتصلة لا يمكن أن تغير من توضعها مع بعضها بعد التركيب. يقع نطاقا التفاوت في هذا النوع، بحيث يوجد تداخل دائم عند أي قيم ممكنة للأبعاد (المقاسات) الفعلية التي يجب أن تقع داخل نطاق الأبعاد الحدية، وفي هذه الحالة تكون الحركة النسبية بين الجزأين المتزاوجين معدومة، بحيث يظهران كأنهما ملتصقان. وفيه يكون دائماً بعد (مقاس) العمود أكبر من بعد الثقب؛ أي أن الحد الأعلى لبعـد الثقب أقل من الحد الأدنى لبعـد العمود، كما في الشكل (2-11). 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) أو بالتمدد (بتسخين الثقب) أو بالانكماش والتمدد معاً. ويعتمد مقدار التداخل على مواضع نطاقات التفاوت المختارة للعمود والثقب، فإذا كان التفاوت (H) للثقب و (S) للعمود نتج عن ذلك تداخلاً صغيراً. أما إذا كانت هناك حاجة لتداخل كبير، فيمكن اختيار عمود ذي تفاوت (Z_a) 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 الثقب K_H .

$$U_g = G_S - K_H$$

التداخل الأصغر U_k : هو الفرق بين الحد الأدنى لمقاس العمود K_S والحد الأعلى لمقاس الثقب G_H .

$$U_k = K_S - G_H$$



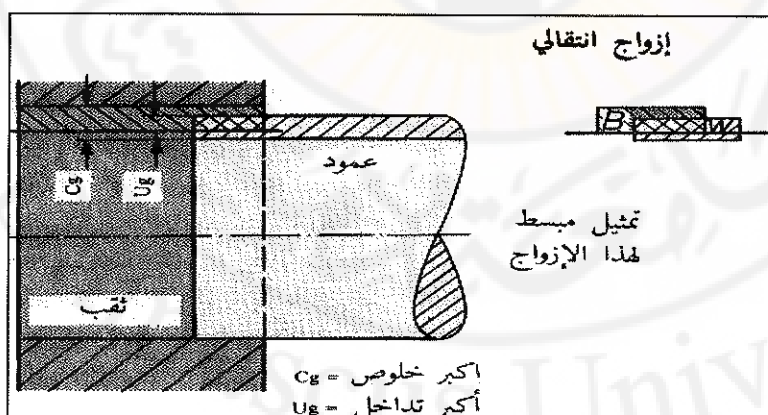
الشكل (11-2) الإزواج التداخلي

ج. الإزواج الانتقالي: يتداخل في هذا النوع نطاقا التفاوت للثقب والعمود بحيث يكون الناتج إما خلوصاً أو تداخلاً، كما في الشكل (12-2) 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 الخلوصي والتداخلي، حيث يكون بُعدا الثقب والعمود قريبين من بعضهما.

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 (12-2) الإزواج الانتقالي

تُعدّ الخلوصات الحدية الصفة الرئيسة والمميزة لكل نوع من أنواع الإزواجيات، 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 أن C_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 H_7/g_5 $\phi 30$ ، ثم احسب كلاً من C_k و C_g وكذلك التفاوت المسموح به في الإزواج.

الحل:

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

$$\text{للتقب: } A_u = 0, \quad A_0 = 24 \mu\text{m}$$

$$\text{وللعمود: } A_0 = -25 \mu\text{m}, \quad A_0 = -9 \mu\text{m}$$

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:

$$G = N + A_0$$

$$G_H = 50 + 0.025 = 50.025 \text{mm}$$

$$K = N + A_u$$

$$K_H = 50 + 0 = 50.0 \text{mm}$$

$$G_S = 50 + (-0.009) = 49.991 \text{mm}$$

$$K_S = 50 + (-0.025) = 49.975 \text{mm}$$

$$C_g = G_H - K_S$$

$$= 50.025 - 49.975 = 0.050 \text{ mm}$$

$$C_K = G_S - K_H$$

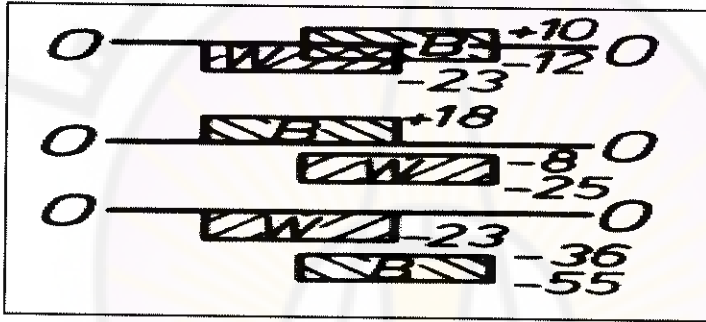
$$= 50 - 49.991 = 0.009 \text{ mm}$$

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

$$T_f = G_g - C_K$$

$$= 0.05 - 0.009 = 0.041 \text{ mm}$$

تمرين 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.

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

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

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

الشكل الثاني: نوع الإزواج فيه خلوصي.

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

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

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

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

الشكل الثالث: نوع الإزواج فيه تداخللي.

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.

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

تمرين 3: أوجد نوع الإزواج للثقب $\Phi 25_0^{+0.033}$ مع المحور $\Phi 25_{+0.008}^{+0.021}$

الحل: نوجد تفاوتات الثقب:

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

ثم نوجد تفاوتات المحور:

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

ومنه:

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

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

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

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

إذاً الإزواج انتقالي؛ لأن الخلوص الأصغري أصغر من الصفر والأعظمي أكبر من الصفر. إذا كان الحصول على مقادير الخلوصات الأصغري والأعظمي ليس مهماً، وطلب فقط معرفة نوع الإزواج فيمكننا بسرعة أن نوجد ذلك من الحدود الأعظمية للثقب والمحور كما يأتي:

$$1- \text{عندما } K_H \leq G_S \quad \text{الإزواج خلوصي (حر)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} G_H < K_S \\ G_S > K_H \end{array} \right. \quad \text{الإزواج انتقالي}$$

$$3- G_H \geq K_S \quad \text{الإزواج تداخللي (قسري)}$$

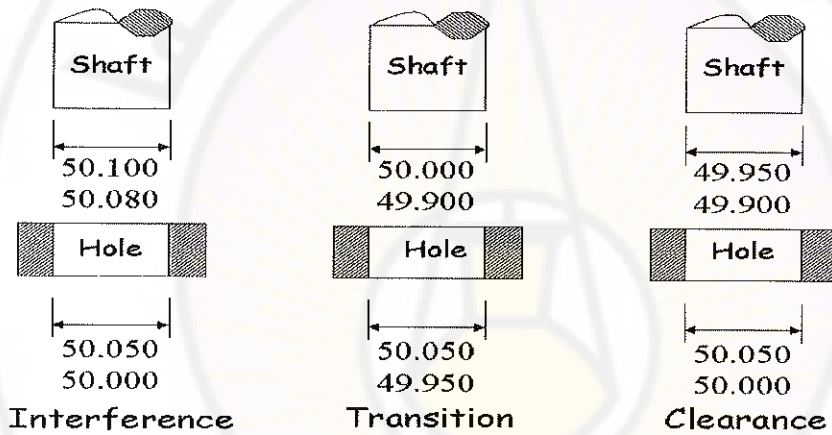
بتطبيق القاعدة السابقة على الشكل (13-2) نستطيع معرفة أنواع الإزواجيات بواسطة الحدود الأصغرية والأعظمية، ففي حالة الإزواج الخلوصي clearance يلاحظ أن الحد الأدنى للثقب K_H أكبر أو يساوي الحد الأعلى للعمود G_S :

$$50.000 \leq 49.950$$

أما في حالة الإزواج الانتقالي Transition فإن:

$$50.050 < 49.900$$

$$49.950 > 50.000$$



الشكل (13-2) الحدود الدنيا والعظمى للثقوب والأعمدة المتزاوجة

تمرين 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:

$$K_H = 80\text{mm}$$

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

تمرين 5: حدّد نوع الإزواج $\phi 50H_7/g_6$ واحسب كلا من C_g و C_k وكذلك التفاوت

المسموح به في الإزواج.

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

$$A_u = 0 \text{ و } A_0 = 25\mu\text{m} \quad \text{للتقّب:}$$

$$A_0 = -25\mu\text{m} \text{ و } A_u = -9\mu\text{m} \quad \text{وللعمود:}$$

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 :

$$G = N + A_0$$

$$G_H = 50 + 0.025 = 50.025\text{mm}$$

$$K = N + A_u$$

$$K_H = 50 + 0 = 50.0\text{mm}$$

$$G_S = 50 + (-0.009) = 49.991\text{mm}$$

$$K_S = 50 + (-0.025) = 49.975\text{mm}$$

$$C_g = G_H - K_S$$

$$C_g = 50.025 - 49.975 = 0.050\text{mm}$$

$$C_K = K_H - G_S$$

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

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

$$T_f = C_g - C_K$$

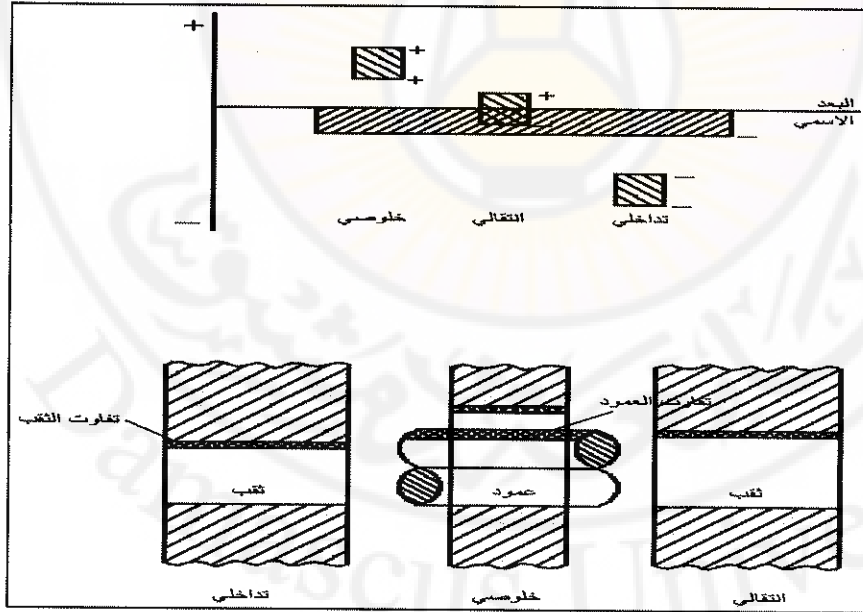
$$= 0.05 - 0.009 = 0.041\text{mm}$$

من الممكن اختيار إزواج 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 للإزواج، هما نظام أساس العمود ونظام أساس الثقب.

2-9-2- اختيار نوع الأزواج:

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

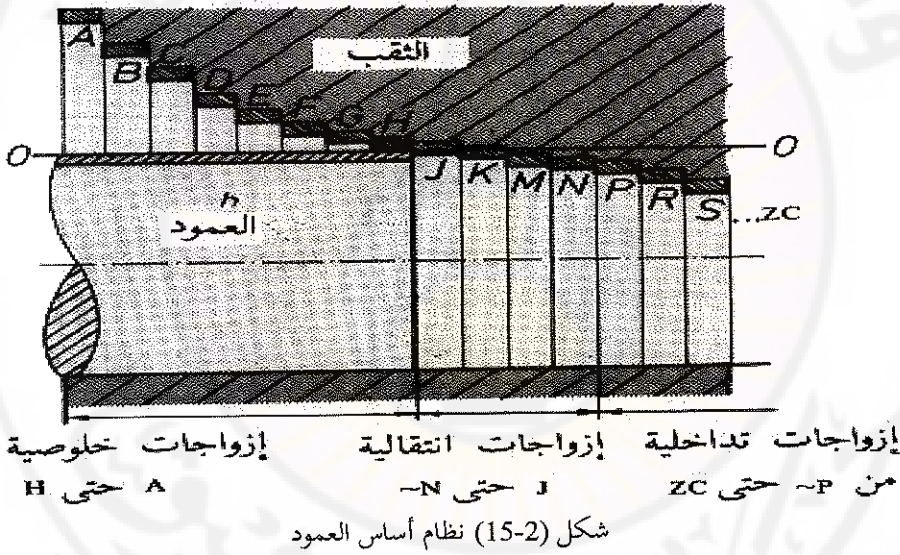
أ- نظام أساس العمود: يتم في هذا النظام تثبيت بُعد العمود من أجل تفاوت محدد، بينما يتم تغيير أبعاد الثقوب المتزاوجة مع هذا العمود. وهذا النظام هو النظام المعاكس لنظام أساس الثقب، حيث نحصل فيه على نوعية الأزواج المطلوب من خلال التحكم بأبعاد الثقوب. في نظام أساس العمود يتم تثبيت تفاوت العمود عند الوضع h ، بحيث يكون الانحراف الأعلى له مساوياً للصفر، ويختار كقاعدة يرجع إليها لخلوص الأعمدة. يُعد تفاوت العمود سالباً أحادي الاتجاه بحيث يتزاوج مع مجموعة ثقوب ذات تفاوتات مختلفة، وتختار لجميع الثقوب التي تتزاوج مع هذا العمود نطاقات تفاوت تقابل نوع الإزواج المطلوبة (خلوصي أو انتقالي أو تداخلي) لتحقيق الأداء الوظيفي المطلوب عند تركيب العمود داخل الثقب، الشكل (2-14).



الشكل (2-14) حالات الأزواج وفق نظام أساس العمود

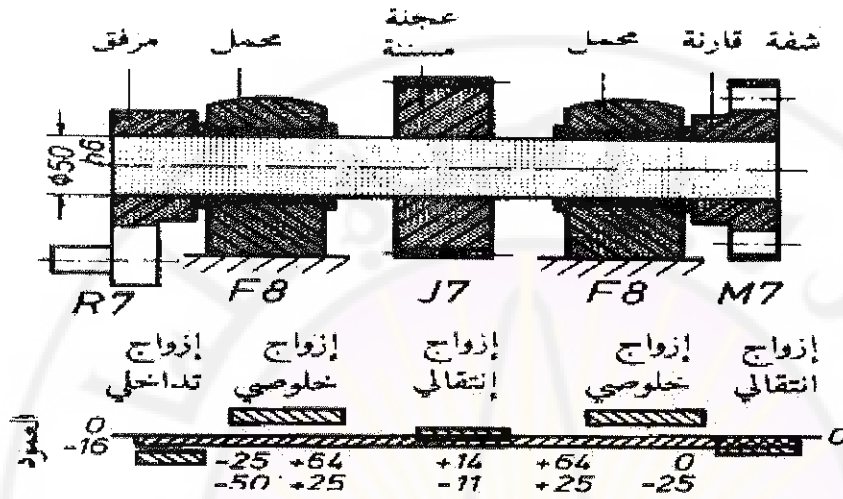
وبالنظر إلى الشكل (15-2) نجد:

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 التداخلية: يتحقق بإزواج العمود مع مجموعة ثقوب تفاوتاتها سالبة.
مثال: العمود ذي التفاوت h مع ثقوب ذي التفاوت من P تقريباً حتى ZC يعطي إزواجات تداخلية.
3. الإزواج الانتقالي: يتحقق بتزواج العمود مع مجموعة الثقوب ذات التفاوتات الشائبة الاتجاه.
مثال: العمود ذي التفاوت h مع ثقوب من J حتى N يعطي إزواجات انتقالية تقريباً.



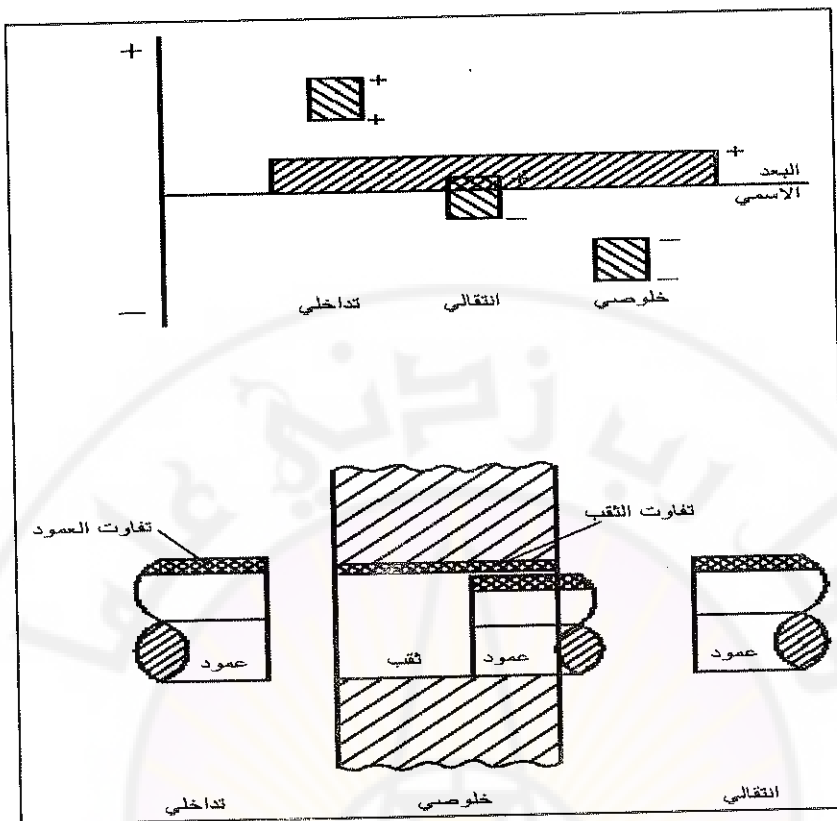
لا يُفضل استخدام هذا النظام، وذلك لأن التحكم بأبعاد العمود عملية سهلة بعكس التحكم بأبعاد الثقب حيث يحتاج هذا الأخير إلى أجهزة ووسائل دقيقة تتطلب عمليات معقدة ومجهدة فنياً ومكلفة اقتصادياً. لكن في بعض الحالات يفضل اتباع نظام أساس العمود، كما هو الحال في عملية تشغيل الأعمدة الطويلة ثابتة الأبعاد كالألات الزراعية، وماكينات النسيج، وآلات الرفع، والتي يجري تركيب عدة أجزاء عليها بإزواجات

مختلفة. ويبين الشكل (16-2) 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 (16-2) مثال تطبيقي لنظام أساس العمود

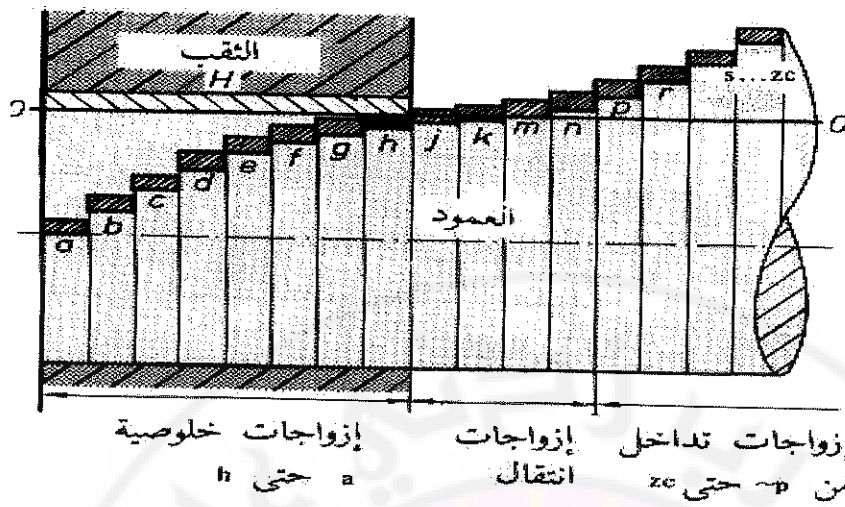
ب- نظام أساس الثقب: في هذا النظام يتم تثبيت بعد الثقب ضمن نطاق التفاوت المحدد، ويتم تغيير بُعد العمود، بحيث نحصل على النوع المطلوب من الإزواج من خلال التحكم بأبعاد العمود. يتميز نظام أساس الثقب بأنه هو المفضل والأكثر استعمالاً في أثناء العمليات التكنولوجية، وذلك لأن تغيير أبعاد الثقب عملية مكلفة مادياً وبمجهودة 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 للصفر (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 تتزاوج مع هذا الثقب نطاقات تفاوت تقابل نوع الإزواج المطلوبة (خلوصي أو انتقالي أو تداخلي) لتحقيق الأداء المطلوب عند تركيب العمود داخل الثقب، الشكل (17-2).



الشكل (2-17) حالات الإزواج وفق نظام أساس الثقب

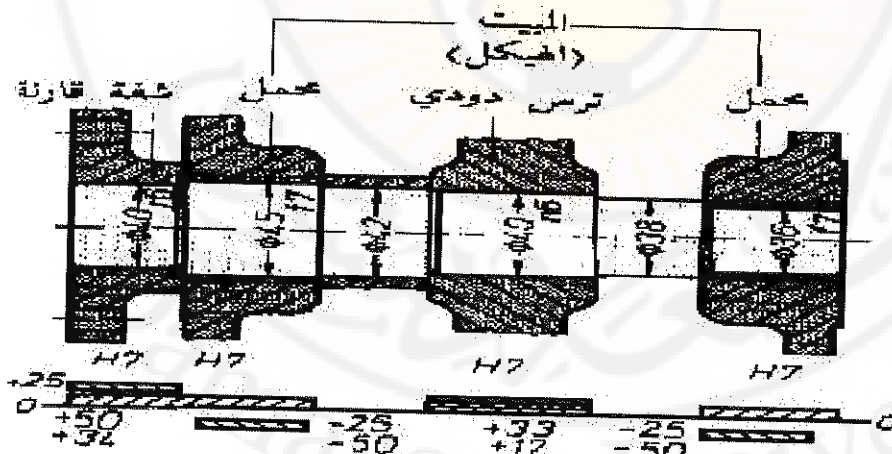
وبالنظر إلى الشكل (2-18) نجد أن:

- 1- الحالة الخلوصلية: 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 خلوصلية.
- 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 (18-2) نظام أساس الثقب

وينتشر استخدام هذا النظام في المصانع التي يغلب فيها استخدام أعمدة متدرجة الأقطار مثل صناعة السيارات. ويعطي الشكل (19-2) مثالاً عملياً لاستخدام نظام أساس الثقب الذي يُعد أسهل في التصنيع مقارنة بنظام أساس العمود، حيث إنّ تشغيل الأعمدة بالخرطة والتجليخ إلى الأبعاد المطلوبة للإزواج يكون أبسط من تشغيل الثقوب. وتتوافر جداول خاصة للإزواج الانتقالية والخلوصية والتداخلية. وتحدد في هذه الجداول قيم التفاوتات المناسبة لكل من الثقب والعمود والتي تحقق الإزواج المطلوبة.



الشكل (19-2) 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 (1-2) أمثلة عملية على بعض التطبيقات الميكانيكية وعدد من نطاقات التفاوت التي تحقق الإزواجات اللازمة لذلك.

كما يعطي الجدول (2-2) 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 عدد الأدوات والمعدات وأدوات القطع في إنتاج الثقوب.

تمرين 6:

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

الحل:

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 $(C_g > 0)$

تمرين 7:

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

الحل:

من الجدول للثقب H7:

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

ومن الجدول للعمود g6:

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

الحد الأعلى لمقاس الثقب:

$$G_H = N + A_0 = 50 + 0.025 = 50.025 \text{ mm}$$

الحد الأدنى لمقاس الثقب:

$$K_H = N + A_u = 50 + 0 = 50 \text{ mm}$$

الحد الأعلى لمقاس العمود:

$$G_S = N + A_0 = 50 + (-0.009) = 49.991 \text{ mm}$$

الحد الأدنى لمقاس العمود:

$$K_S = N + A_u = 50 + (-0.025) = 49.975 \text{ mm}$$

الحد الأعلى للخلوص:

$$C_g = G_H - K_S = 50.025 - 49.975 = 0.050 \text{ mm}$$

الحد الأدنى للخلوص:

$$C_k = K_H - G_S = 50 - 49.991 = 0.009 \text{ mm}$$

التفاوت المسموح به في الإزواج:

$$T_f = C_g - C_k = 0.050 - 0.009 = 0.041 \text{ mm}$$

الجدول (1-2) بعض التطبيقات الميكانيكية والإزواج المناظرة

نظام أساس الثقب				التمثيل والوصف	نظام أساس العمود		
H7	H8	H11		الأعمدة  الثقب 	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.			
s6				إزواج تداخلي وتداخل كاف: يمكن تركيبه بقوة كبس كبيرة أو بالانكماش أو التمدد، ويستخدم لإزواج الأطواق على العجلات الدوارة والعجلات على المحاور.			
r6				إزواج تداخلي ذو تداخل صغير: يمكن تركيبه بالكبس، ويستخدم لإزواج جلب المحامل في المبيتات، وللأطواق المسننة على أقراص التروس.			
h6				إزواج انتقالي بتداخل كبير وخلوص صغير: يمكن تركيبه بقوة كبس صغيرة، ويستخدم للفتاوات وجلب المحامل في المبيتات (الصناديق) والتروس الصغيرة على أطراف الأعمدة.			
k6				إزواج انتقالي بتداخل وخلوص متساويين تقريباً: يمكن تركيبه بالطرائق مع إحكام أجزاء المكثات ضد الدوران، ويستخدم للفتاوات والتروس وبكرات السيور والعجلات اليدوية.			
j6				إزواج انتقالي بتداخل صغير وخلوص كبير: يمكن تركيبه بالطرائق الخفيف مع إحكام أجزاء المكثات ضد الدوران، يستخدم لبكرات السيور والتروس والعجلات اليدوية.			
h6	h9	h11		إزواج خلوصي لا يزال قابلاً للانزلاق: لا يزال انزلاق الأجزاء ممكناً مع توجيه بالدقة، ويستخدم لأدوات المركزة وللأعمدة الجوفاء في المبيتات والحلقات المتباعدة (ضبط الأبعاد).	H7	H8	H11
g6				إزواج خلوصي وقابلية جيدة للانزلاق: يستعمل للمحامل الانزلاقية لأعمدة التشغيل بمكثات التشغيل، وللقوابض المنزلقة وتروس تغيير السرعة.	G7		
	f7			إزواج خلوصي ذو خلوص صغير: يستعمل للمحامل الانزلاقية عموماً ولقياسات التوجيه في الأسطوانات وتروس التغير، وللتروس المنزلقة.	F8	F8	

	e8			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	
	d9	d9		إزواج خلوصي ذو خلوص كاف: يستعمل للمحامل الخاصة بمكنات البناء والآلات الزراعية، ومحامل أليات إدارة المرافيع وعرباتها، وللبكرات السائبة (غير الناقلة للقذرة) .			D10	D10
		c11		إزواج خلوصي ذو خلوص كبير يستعمل للمحامل المعرضة لسخونة شديدة وللمكنات غير الدقيقة ولقواعد المحامل ولمسامير المفاصل .				C11
		u11		إزواج خلوصي ذو خلوص كبير جداً يستعمل للمحامل ذات التزليق غير الكافي والمعرضة لخطر التلوث، ولأجزاء الحفارات، وللوصلات المفصالية .				A11

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

مجال المقاس الاسمي (مم)		التفاوت (ميكرون)		التفاوت (ميكرون)	
من	إلى	H7	k6	H7	n6
0	3	+10 +0	+6 +0	+10 +0	+10 +4
3	6	+12 +0	+9 +1	+12 +0	+16 +8
6	10	+15 +0	+10 +1	+15 +0	+19 +10
10	18	+18 +0	+12 +1	+18 +0	+23 +12
18	30	+21 +0	+15 +2	+21 +0	+28 +15
30	40	+25 +0	+18 +2	+25 +0	+33 +17
40	50	+25 +0	+18 +2	+25 +0	+33 +17
50	65	+30 +0	+21 +2	+30 +0	+39 +20
65	80	+30 +0	+21 +2	+30 +0	+39 +20
80	100	+35 +0	+25 +3	+35 +0	+45 +23
100	120	+35 +0	+25 +3	+35 +0	+45 +23

مجال المقاس الاسمي (مم)		التفاوت (ميكرون)		التفاوت (ميكرون)	
Over	To	H7	k6	H7	n6
140	160	+40 +0	+28 +3	+40 +0	+52 +27
160	180	+40 +0	+28 +3	+40 +0	+52 +27
180	200	+46 +0	+33 +4	+46 +0	+60 +31
200	225	+46 +0	+33 +4	+46 +0	+60 +31
225	250	+46 +0	+33 +4	+46 +0	+60 +31
250	280	+52 +0	+36 +4	+52 +0	+66 +34
280	315	+52 +0	+36 +4	+52 +0	+66 +34
315	355	+57 +0	+40 +4	+57 +0	+73 +37
355	400	+57 +0	+40 +4	+57 +0	+73 +37
400	450	+63 +0	+45 +5	+63 +0	+80 +40
450	500	+63 +0	+45 +5	+63 +0	+80 +40

بالإضافة للتفاوتات الخاصة بأبعاد القطع التي تتراكب في بعضها البعض، كالأعمدة والثقوب، توجد بعض التطبيقات التي تكون فيها القطع بمفردها، وبالتالي تسمى 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.

2-10-10- الأنظمة الدولية للإزواجيات:

2-10-1- النظام الألماني للمواصفات:

في بداية ظهور الإنتاج الكمي، تشكل نظام أولي للمواصفات يعد الخطوة الأولى على طريق الوصول إلى نظام متكامل موحد، والنظام الألماني يُعد من أقدم الأنظمة للإزواجيات 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 لبعدها القطعة المشغلة. وتحدد 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 الإزواجيات، وتتألف كل درجة دقة من عدة رتب من الإزواجيات بحيث يتم الحصول على أنواع مختلفة من الإزواجيات. وتحدد الإشارة إلى أن هذا النظام قد تم العزوف عنه بسبب المجال المحدود للإزواجيات التي يمكن الحصول عليها بواسطة هذا النظام.

2-10-2- النظام الروسي للإزواجيات:

أنجز النظام الروسي للمواصفات 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, 9 وهي رتب ذات تجاوزات كبيرة لا تستعمل في الإزواجيات، 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:

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

حيث:

D - قطر المشغولة بـ mm.

i - وحدة التفاوت الأساسية الناتجة بـ μm .

يتم الحصول على مختلف التفاوتات المطلوبة كمضاعفات لوحدة التفاوت الأساسية هذه، حيث يمكننا هذه التفاوتات من الحصول على درجات دقة متوسطة وعالية، ويتم اختيار درجة الدقة المناسبة حسب التصميم المطلوب. يبين الجدول (3-2) عدد وحدات التجاوز (التفاوت) التي تتكون منها كل رتبة بالنسبة لكل من الثقب والعمود.

الجدول (3-2) رتب التفاوتات للثقب والعمود حسب النظام الروسي

رتب التجاوزات	رتب عالية الدقة			رتب متوسطة الدقة				رتب لا تصلح للإزواجيات		
	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

تمرين 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:

$$T = 25 \times 1.537 = 33,930 \mu m$$

2-10-3- النظام الدولي للمواصفات ISA:

يعد النظام الدولي للمواصفات من أدق الأنظمة المستعملة حتى الآن وأكملها، حيث يحتوي على مجال واسع للتفاوتات مما يسهل الحصول على مختلف الإزواج المطلوبة، وتعمل به أوروبا وبريطانيا والولايات المتحدة الأمريكية بشكل أساسي. يتضمن النظام الدولي للمواصفات ISA ست عشرة رتبة تفاوت (درجات السماح) بدءاً من IT1 وحتى IT16، وواحد وعشرين نوعاً من الإزواج بين الثقوب والأعمدة. تحقق هذه الإزواج 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 ب mm.

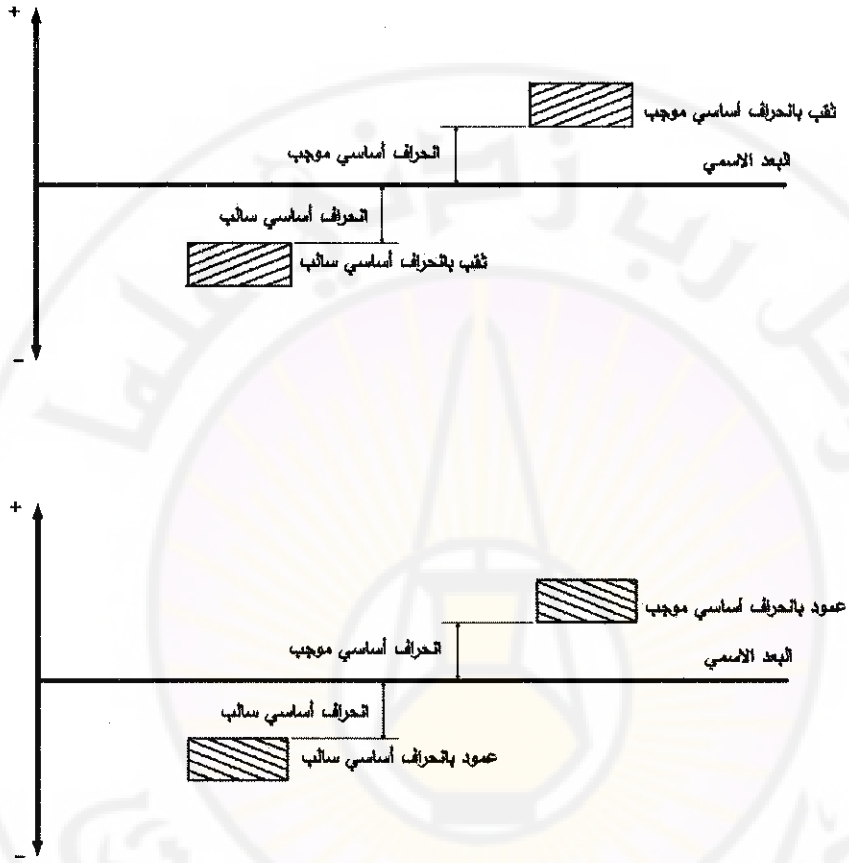
i- وحدة التفاوت الأساسية في نظام ISA ب μm .

بمقارنة هذه الوحدة بوحدة التفاوت الأساسية في النظام الألماني نجد أن النظام الألماني لم يأخذ بالحسبان ترتيب 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، وتناسب 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 (20-2).

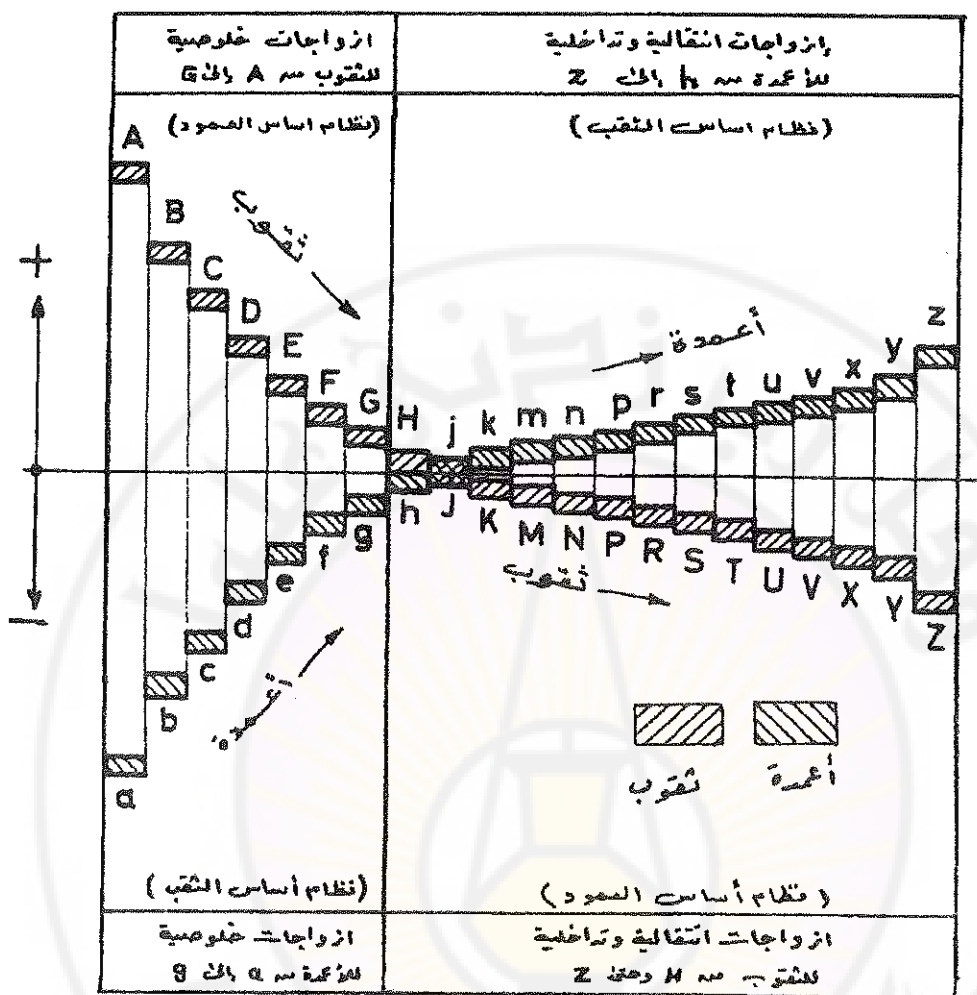
يبين الشكل (21-2) المواضع النسبية للانحرافات الأساسية للثقوب والأعمدة في نظام ISA، حيث يتضح من الشكل أن الحرف A من A حتى H بالنسبة للثقب، والحروف من k إلى z بالنسبة للعمود تدل على مناطق تجاوز تقع أعلى من خط

الأساس، كما أن الحروف من a إلى h بالنسبة للعمود، والحروف من K إلى Z بالنسبة للثقوب ترمز إلى مناطق تجاوز تقع تحت خط الأساس. بينما تفاوتت J و K فيقع على جانبي خط الصفر.



الشكل (20-2) الانحراف الأساسي للثقوب والعمود

يُلاحظ في الشكل (21-2) 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 مزاولتها مع أعمدة بدءاً من a وحتى g (انحراف أساسي a ، انحراف أساسي b ... انحراف أساسي g) بحيث تحقق الحالة الخلوصلية للإزواج.



الشكل (21-2) النظام الدولي ISA للإزواجيات 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 $J \leftarrow Z$ مع الأعمدة $J \leftarrow Z$ يعطي إزواجات تداخلية وانتقالية. يوصي نظام ISA باستخدام نظام أساس الثقب.

2-10-4- النظام الدولي ISO للإزواجات والتفاوتات:

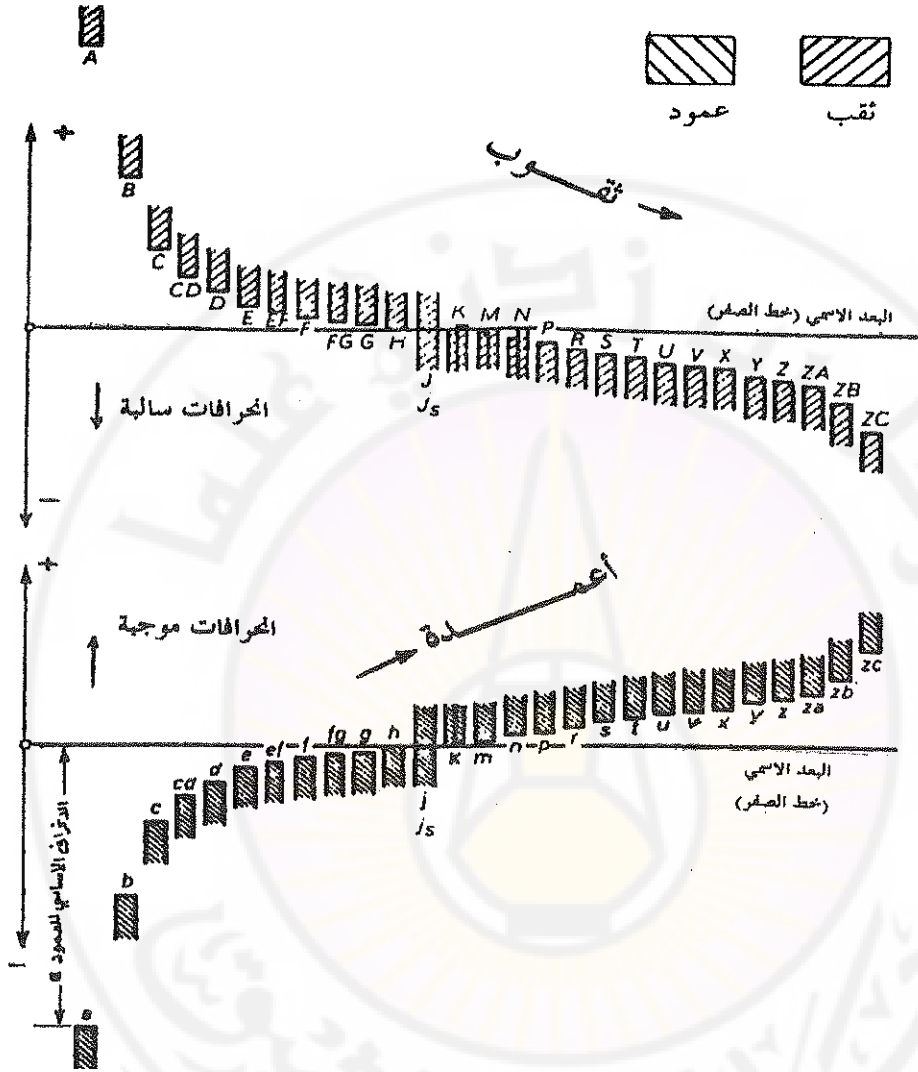
يُعد النظام الدولي ISO للإزواجات والتفاوتات من أكمل الأنظمة العالمية حتى الآن، وهو مستخدم في معظم دول العالم، ويشتمل على تشكيلات متعددة من الرتب عددها 18 رتبة دقة من IT01 حتى IT16 أي أنه يزيد عن النظام الدولي ISA برتبتين إضافيتين للتجاوز الأساسي هما IT0 و IT01. كما يحتوي على 28 نوعاً من الإزواجات تحقق مجاًلاً واسعاً من أنواع التزاوج بدءاً من الإزواجات ذات الخلوصلية الكبيرة مروراً بالإزواجات ذات الخلوصلية العادية والإزواجات الانتقالية، حتى الإزواجات التداخلية بأنواعها، الشكل (2-22). وبالطبع يوصي نظام ISO باستخدام نظام أساس الثقب. يتضمن هذا النظام، بالإضافة إلى 21 نوعاً من الانحرافات الأساسية الموجودة في نظام ISA، سبعة أنواع من الإزواجات بالنسبة لكل من الثقوب 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 مشكلاً تفاوتاً موجباً أحادي الاتجاه. أما بالنسبة لانحراف العمود الأساسي h فيقع تحت خط الصفر بدءاً من البعد الاسمي ويمتد بالاتجاه السالب مكوناً تفاوتاً سالباً أحادي الاتجاه.

وضع النظام الدولي لكل تسامح رمز يدل عليه، وهذا الرمز يتألف من حرف لاتيني كبير للثقوب وحرف لاتيني صغير للأعمدة يعين نوع التسامح (بحال التسامح بالنسبة للبعد الاسمي)، ومن عدد يحدد درجة التسامح، مثلاً H11 ، M6... الخ. وحيث أنه لا يمكن تحديد مقدار تفاوت لكل بعد اسمي على حدة (لوجود عدد لانحائي 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 كالتالي:



الشكل (22-2) النظام الدولي ISO للإزواج والتفاوتات

أكبر من 1 مم حتى 3 مم، أكبر من 3 مم حتى 6 مم، أكبر من 6 مم حتى 10 مم، أكبر من 10 مم حتى 18 مم 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- تتوضع حقول التسامح المعينة بالأحرف $m - zc$ (للأبعاد الخارجية) فوق خط الصفر، بينما الأحرف $M - ZC$ (للأبعاد الداخلية) تحت خط الصفر وأبعدها Z .
- 3- يتميز الحقل H (للأبعاد الداخلية) و h (للأبعاد الخارجية) بأنه الحد الأصغري 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 والمخاور.
انظر اللوائح القياسية الموجودة في ملحق الكتاب.
توضح الجداول (2-4) و (2-5) قيم تفاوتات الأعمدة والثقوب المناظرة لعينة من المواضع بناءً على مواصفات ISO.

جدول (4-2) تفاوتات ISO للأعمدة

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

جدول (5-2) تفاوتات ISO للثقوب

مجال المقاس الاسمي (مم)																				
من	3	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355
حتى	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
التفاوتات (ميكرون)																				
E13	+200 +20	+245 +25	+302 +32	+370 +40	+440 +50	+520 +60	+612 +72		+715 +85		+820 +100		+920 +110		+1015 +125					
F6	+18 +10	+22 +13	+27 +16	+33 +20	+41 +2	+49 +30	+58 +36		+68 +43		+79 +50		+88 +56		+98 +62					
F7	+22 +10	+28 +13	+34 +16	+41 +20	+50 +25	+60 +30	+71 +36		+83 +43		+96 +50		+108 +56		+119 +62					
F8	+28 +10	+35 +13	+43 +16	+53 +20	+64 +25	+76 +30	+90 +36		+106 +43		+122 +50		+137 +56		+151 +62					
G7	+16 +4	+20 +5	+24 +6	+28 +7	+34 +9	+40 +10	+47 +12		+54 +14		+61 +15		+69 +17		+75 +18					
G8	+22 +4	+27 +5	+33 +6	+40 +7	+48 +9	+56 +10	+66 +12		+77 +14		+87 +15		+98 +17		+107 +18					
H6	+8 0	+9 0	+11 0	+13 0	+16 0	+19 0	+22 0		+25 0		+29 0		+32 0		+36 0					
H7	+12 0	+15 0	+18 0	+21 0	+25 0	+30 0	+35 0		+40 0		+46 0		+52 0		+57 0					
H8	+18 0	+22 0	+27 0	+33 0	+39 0	+46 0	+54 0		+63 0		+72 0		+81 0		+89 0					
H9	+30 0	+36 0	+43 0	+52 0	+62 0	+74 0	+87 0		+100 0		+115 0		+130 0		+140 0					
H10	+48 0	+58 0	+70 0	+84 0	+100 0	+120 0	+140 0		+160 0		+185 0		+210 0		+230 0					
H11	+75 0	+90 0	+110 0	+130 0	+160 0	+190 0	+220 0		+250 0		+290 0		+320 0		+360 0					
J6	+5 -3	+5 -4	+6 -5	+8 -5	+10 -6	+13 -6	+16 -6		+18 -7		+22 -7		+25 -7		+29 -7					
JS7	+6 -6	+7.5 -7.5	+9 -9	+10.5 -10.5	+12.5 -12.5	+15 -15	+17.5 -17.5		+20 -20		+23 -23		+26 -26		+28.5 -28.5					
K7	+3 -9	+5 -10	+6 -12	+6 -15	+7 -18	+9 -21	+10 -25		+12 -28		+13 -33		+16 -36		+17 -40					
M6	+2 -16	+1 -21	+2 -25	+4 -23	+5 -30	+5 -33	+6 -41		+8 -48		+9 -55		+10 -63		+11 -70					
N7	+1 -16	+1 -19	+2 -23	+4 -23	+5 -33	+5 -39	+6 -45		+8 -52		+9 -59		+10 -65		+11 -73					
P8	+12 -30	+15 -37	+18 -45	+22 -55	+26 -65	+32 -78	+37 -91		+43 -108		+49 -122		+56 -137		+62 -153					
R6	+12 -20	+16 -25	+20 -31	+24 -37	+29 -45	+35 -54	+37 -56	+44 -65	+47 -69	+56 -81	+58 -83	+61 -86	+68 -97	+71 -100	+75 -104	+84 -117	+87 -121	+97 -135	+103 -138	

تمرين 9:

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

الحل: من الجداول السابقة: $A_o = +21\mu m$

$$A_u = 0\mu m$$

$$G = N + A_o = 30 + 0.021 = 30.021mm$$

$$K = N + A_u = 30 + 0 = 30mm$$

$$T = G - K = 30.021 - 30 = 0.021mm$$

تمرين 10:

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

الحل: من الجداول السابقة: $A_o = -20\mu m$

$$A_u = -41\mu m$$

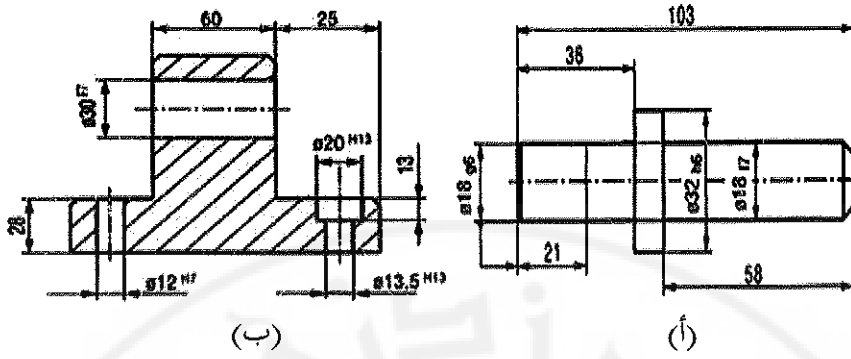
$$G = N + A_o = 30 + (-0.020) = 29.980mm$$

$$K = N + A_u = 30 + (-0.041) = 29.959mm$$

$$T = G - K = 29.980 - 29.959 = 0.021mm$$

11-2- 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 (2-23-أ)، يحتاج عمود إلى تفاوتات متعددة (g_6, h_6, f_7) تم اختيارها لتناسب طبيعة عمل هذا العمود. أما المشغولة التي تحتوي على عدد من الثقوب بأقطار مختلفة (2-23-ب)، يحتاج كل منها لتفاوت يختلف عن الآخر (F_7, H_{13}, H_7) وذلك تبعاً للوظيفة التي سيقوم بها هذا الثقب عند استخدام هذه المشغولة.



الشكل (23-2) تمثيل التفاوتات المسموحة على الرسوم الهندسية

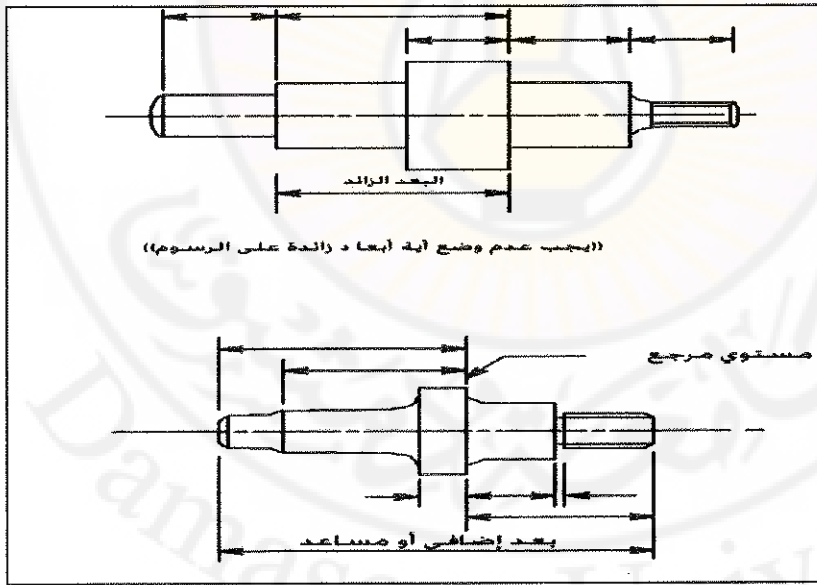
إن تضيق مجال التفاوت للبعد الاسمي يترتب عليه زيادة في التكلفة، وهذه التكلفة تزداد بشدة وبشكل متسارع أثناء الاقتراب من الأبعاد الاسمية، أي عندما يكون التفاوت صغيراً جداً تكون تكلفة إنتاج القطعة عالية جداً. كما يترتب على ذلك عدد كبير من القطع المشغلة المرفوضة، وذلك لأن آلات التشغيل وعدة القطع وظروف العمل لا تستطيع دائماً أن تعطي مشغولات تقع ضمن حدود ضيقة للتفاوتات. إذاً كلما كان مجال التفاوت أوسع كانت كمية المشغولات المقبولة (من حيث الأبعاد والوظيفة) أكبر. بالنسبة للرسومات الهندسية يمكن الاستفادة من الرسومات الوظيفية التي يعبر فيها المصمم عن وجهة نظره فيما يتعلق بالوظائف التي يجب أن يقوم بها الجزء قيد التصميم، ولكن من وجهة نظر المنتج ولتحقيق أغراض انتاجية معينة تتعلق بنوعية أجهزة التشغيل وأساليب الإنتاج يمكن الاستفادة من الرسومات التنفيذية والتي تختلف بدورها من منتج لآخر، أما الرسوم الوظيفية فتبقى نفسها 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 بأساليب كتابة التفاوتات وتحديدها على مختلف الرسوم والتي تلخص بما يلي:

- 1- كتابة الأبعاد الضرورية مرة واحدة فقط، وبشكل يسهل قراءتها بوضوح ومن دون أي التباس، ليتمكن العامل من قراءتها بشكل مريح ومن دون أخطاء.

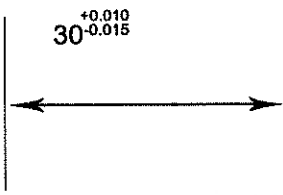
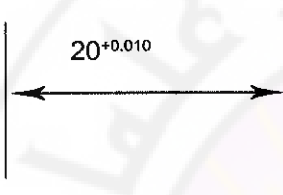
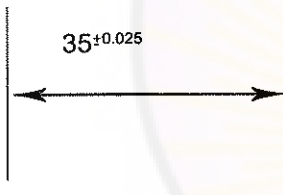
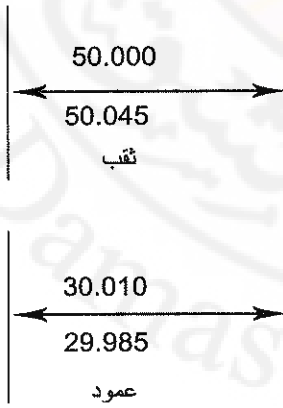
2- نسب الأبعاد الوظيفية إلى مرجع بحيث يحقق أفضل أداء للجزء المطلوب مع ضمان التبادلية وسهولة قراءة الأبعاد.

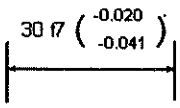
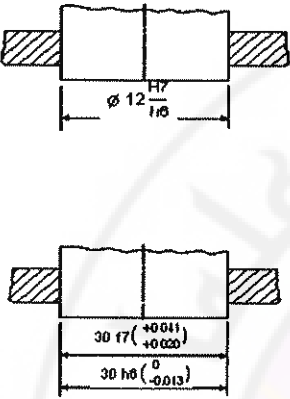
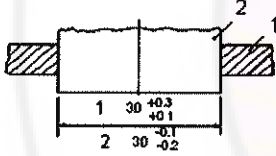
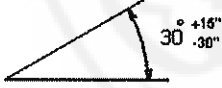
3- بالنسبة للأبعاد الوظيفية والتي تملك تأثيراً مباشراً في أداء الجزء المصمم، فيجب تحديدها كاملة وبوضوح. بالإضافة لضرورة وضع التفاوت المناسب بجانب كل بعد، لأنها هي التي تحدد مدى قبول المنتج أو رفضه.

4- يتطلب التصميم الصحيح والسهل وجود أبعاد مساعدة للاسترشاد، وهي أبعاد إضافية غير ضرورية ولكن توضع لزيادة سهولة القراءة للأبعاد، وهذه الأبعاد لا تؤثر في أداء المنتج. ولكن يجب الأخذ في الحسبان عدم وضع أبعاد زائدة لا ضرورة لها مع عدم تكرار وضع البعد أكثر من مرة إلا إذا اقتضت الضرورة هذا التكرار. وقد تم إصدار المواصفة الدولية ISO/R405-1964(E) وذلك لتنظيم عملية وضع الأبعاد والتفاوتات والانحرافات الأساسية على الرسوم الهندسية وفق قواعد موحدة وبسيطة، كما هو واضح من الأشكال (24-2) و (25-2).



الشكل (24-2) 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 الاتجاه يمكن كتابة البعد الاسمي 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 + وذلك لتسهيل عملية القراءة $35^{+0.025}_{-0.025} \longrightarrow 35^{+0.025}$
	4 - وضع حدود الأبعاد على أساس تحقيق شرط الحد الأقصى للمعدن . للتقب : يوضع الحد الأدنى للبعد فوق الحد الأعلى . للعמוד : يوضع الحد الأعلى للبعد فوق الحد الأدنى .

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

الشكل (2-25) قواعد كتابة الأبعاد والتفاوتات

2-12- التفاوتات العامة:

إن الأجزاء غير المتزاوجة مع أجزاء أخرى ليست ذات أهمية كبيرة من حيث وضع التفاوتات عليها، فإثناء تصنيع 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 لبعدها)، وبعد الجزء مقبولاً إذا وقعت أبعاده الفعلية بين هذين الحدين.

تنص المواصفة ISO 2768-1973(E) على قيم التفاوتات العامة بالنسبة للأجزاء التي يتم إنتاجها بإزالة الرايش. حيث يبين الجدول (2-6) قيم التفاوتات العامة للأبعاد الطولية، وقيم التفاوتات العامة للزوايا. وتُحذر الإشارة إلى أنه في جدول تفاوتات الأبعاد الطولية يمكن استبدال التفاوت ثنائي الاتجاه بتفاوت أحادي الاتجاه.

مثلاً $0.05 \pm$ يمكن أن يستبدل بـ $0.05 -$ للعمود و $0.05 +$ للثقب.

LINEAR DIMENSIONS

Permissible deviations in mm for ranges in nominal lengths	f (fine)	Tolerance class designation (description)		v (very coarse)
		m (medium)	c (coarse)	
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

EXTERNAL RADII AND CHAMFER HEIGHTS

Permissible deviations in mm for ranges in nominal lengths	f (fine)	Tolerance class designation (description)		v (very coarse)
		m (middle)	c (coarse)	
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

ANGULAR DIMENSIONS

Permissible deviations in degrees and minutes for ranges in nominal lengths	f (fine)	Tolerance class designation (description)		v (very coarse)
		m (middle)	c (coarse)	
up to 10	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ$	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 3^\circ$
over 10 up to 50	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 1^\circ$	$\pm 2^\circ$
over 50 up to 120	$\pm 0^\circ 20'$	$\pm 0^\circ 20'$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 1^\circ$
over 120 up to 400	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 15'$	$\pm 0^\circ 30'$
over 400	$\pm 0^\circ 5'$	$\pm 0^\circ 5'$	$\pm 0^\circ 10'$	$\pm 0^\circ 20'$

تمرين 10:

أوجد حدي التفاوت للثقب Ø16S7.

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

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

ومن جداول التسامح نرى أنه بنفس المجال من القطر الاسمي وللدرجة (7) يكون

التسامح: $T = 18\mu m$.

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:

$$\text{Ø}16S7 = 16_{-0.039}^{-0.021}$$

تمرين 11:

أوجد حدي التفاوت للمحور Ø36j7.

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:

$$\text{Ø}36j7 = 36_{-0.010}^{+0.015}$$

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 الإزواجيات مختلف الحالات المطلوبة:

خلوصية، وتداخلية، وانتقالية وبرتب مختلفة تناسب الهدف المطلوب. أما وحدة التفاوت الأساسية في النظام الدولي للمواصفات ISO فتعطى بالعلاقة نفسها الموجودة في نظام ISA:

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

2-13- خطوات (مجالات) الأقطار:

إن مجالات الأقطار المفضلة حسب المواصفة الدولية (1966- DIN7154)، هي: (1-3), (3-6), (6-10), (10-18), (18-30), (30-50), (50-80), (80-120), (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).

2-14- 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.

2-15- 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 التسامح، من جدول اللوائح القياسية لنظام الثقب الثابت يمكن أن نحدد التفاوت العلوي للثقب فنرى أنه يساوي $A_{oH} = 0.021\text{mm}$. إن هذا الرمز يختص ببعد الثقب فقط. لكن إذا وصفنا الإزواج كاملاً فيأخذ الرمز شكلاً مضاعفاً مثلاً:

$$\text{Ø}25\frac{H7}{m6} \text{ أو الشكل } (\text{Ø} 25 H7/m6)$$

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

2-16- قواعد الانحرافات الأساسية في النظام الدولي ISO:

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

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

2- تُرمز 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 هي IT7 أي الرتبة السابعة.

3- تُرمز الإزواجيات 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 إزواجيات خلوصية، وتعطي الأعمدة j حتى Z إزواجيات 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 ($N_9, N_{10}, \dots$) معدوم.
- الانحراف الأساسي للثقوب M, N, K, J حتى الرتبة IT_8 ، وللثقوب P, R, ZC حتى الرتبة IT_7 ، يساوي الانحراف الأساسي للعمود المرمز نفسه المقابل ولكن بترتبة 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 الأساسية للثقوب ZA, ZB, ZC والانحرافات الأساسية 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 (7-2) معادلات الانحراف الأساسية للأعمدة، أما معادلات الانحراف الأساسية للثقوب فهي معادلات انحراف الأعمدة نفسها ولكن بإشارة سالبة.
- يبين الجدولان (8-2) و (9-2) قيم التفاوتات الأساسية للرتب من IT_01 حتى IT_{16} .

FORMULAE FOR FUNDAMENTAL DEVIATION FOR SHAFTS SIZES UP TO 500 mm			
UPPER DEVIATION (es)		LOWER DEVIATION (ei)	
Shaft Designation	In Microns (for D in mm)	Shaft Designation	In microns (for D in mm)
a	$= -(265 + 1.32D)$ for $D \leq 120$	j5 to j8	No formula
		js	$\pm 0.5 IT_x$
	$= -3.52D$ 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	$= 0$
		m	$= + (IT7 - IT6)$
c	$= -52D^{0.2}$ for $D \leq 40$	n	$= + 5D^{0.34}$
		P	$= + (IT7 + 0 \text{ to } 5)$
cd	geometric mean of values for c and d	r	geometric mean of values for p and s
d	$= -16D^{0.44}$	s	$= +(IT8 + 1 \text{ to } 4)$ for $D \leq 50$ $= +(IT7 \text{ to } +0.4D)$ for $D > 50$
e	$= -11D^{0.41}$		
ef	geometric mean of values for e and f		
f	$= -5.5D^{0.41}$	t	$= +(IT7 + 0.63D)$
fg	geometric mean of values for f and g	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 (8-2) قيم التفاوتات الأساسية بـ μm لرتب التفاوتات من IT01 حتى IT7
ISO 286 Tolerance Band "IT01" To "IT7"

NOMINAL (BASIC) SIZES (mm)		INTERNATIONAL TOLERANCE GRADES									
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 (9-2) قيم التفاوتات الأساسية بـ μm لرتب التفاوتات من IT8 حتى IT16

ISO 286 Tolerance Band "IT8" To "IT16"

NOMINAL (BASIC) SIZES (mm)		INTERNATIONAL TOLERANCE GRADES								
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	9200
2000	2500	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
2500	3150	330	540	860	1360	2100	3300	5400	8000	13500

17-2- 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 الإزواجيات درجات التسامح من IT6 إلى IT11، كما في الجدول (2-10).

الجدول (2-10) استخدامات درجات التسامح

درجات السماحية	الملائمة	التطبيقات
IT01	محددات القياس	محددات القياس المرجعية
IT0		
IT1		
IT2		
IT3	خلوص	محددات القياس ذات جودة عالية
IT4		
IT5		
IT6		
IT7		
IT8		
IT9		
IT10		
IT11		
IT12	غير ملائم للخلوص	عمليات الكبس الخفيفة
IT13		عمليات الكبس
IT14		سباكة القوالب
IT15		عمليات التشكيل بالحقن
IT16		السباكة الرملية

يمكن حساب قيم التفاوتات المعيارية بالعلاقة:

$$IT = K \cdot i$$

حيث:

-IT درجة التسامح (Tolerance 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.

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

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:

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

يمكن أخذ قيمة k من الجدول (11-2).

مثال:

$$IT_7 = K i = 16 i$$

حيث:

$$k = 16$$

يوضح الجدول (11-2) قيم التفاوتات المعيارية الموافقة لرتب التفاوتات الأساسية ISO.

الجدول (11-2) قيم التفاوتات المعيارية الموافقة لرتب التفاوتات الأساسية ISO

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

18-2- تصنيف الإزواج:

إن تطور الإنتاج الكمي في الصناعة الحديثة يقود إلى البحث عن أساليب مبتكرة تحسّن عملية الإنتاج وتخفض التكاليف المترتبة على هذه العملية مع إعطاء المنتج أفضل جودة من حيث الأداء والاقتصادية. وبما أنه يتم في المصانع إنتاج كميات كبيرة من الأجزاء التي يجب أن تتزاوج مع أجزاء أخرى مع الأخذ في الحسبان أن الحصول على

الجودة العالية يتحقق بتخفيض حقل التفاوت المسموح به للجزء، ولكن عملية تخفيض التفاوت يترتب عليها زيادة تكاليف الإنتاج من جهة، ومن جهة أخرى زيادة عدد الأجزاء المرفوضة (بسبب الانحرافات المختلفة التي لا بد من حدوثها أثناء عملية الإنتاج). إن تضيق مجال التفاوت لا يعد الحل الأمثل في طرائق الصناعة الحديثة، لأن الحصول على أجزاء تفاوتاتها صغيرة يتطلب جهوداً فنية، وعمليات تكنولوجية معقدة وطويلة، مما يؤدي إلى زيادة الزمن المخصص لعملية الإنتاج، وبالتالي إلى تجميد عملية تطور الإنتاج، لذلك تم اتباع أسلوب الإزواجيات المصنفة التي هي عبارة عن ترتيب وتصنيف القطع المنتجة في مجموعات متسلسلة حسب تسلسل حقول التسامح، بحيث يكون الخلل الأصغري ثابتاً في جميع القطع المزاججة. هذا الحل يساعد على بقاء مجال التفاوت المسموح به كبيراً إلى حد ما، واستيعاب جميع الانحرافات المحتملة ضمن هذا المجال.

يبين الشكل (2-26) حقول التفاوت والتسامحات قبل عملية التصنيف، حيث:

T_1 : التفاوت المسموح به للثقب.

T_2 : التفاوت المسموح به للعمود.

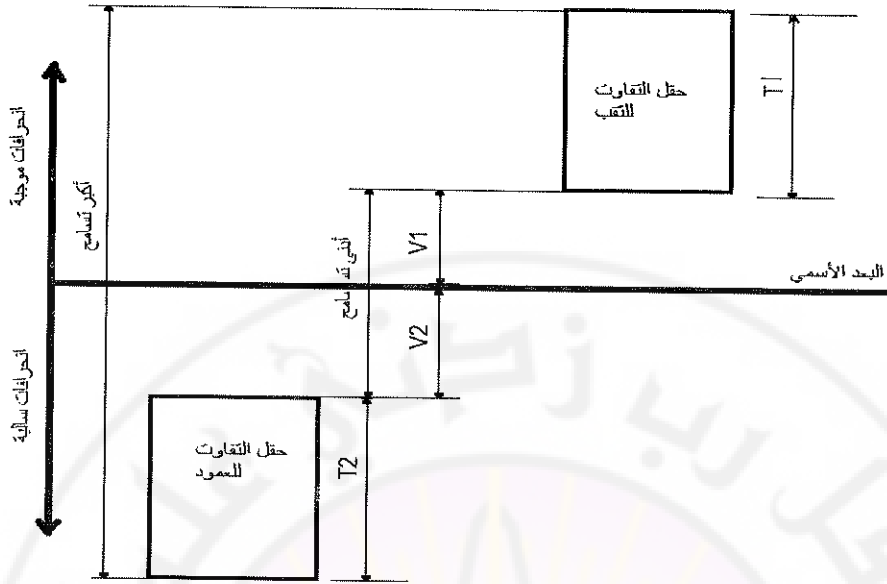
V_1 : انحراف الثقب عن البعد الاسمي.

V_2 : انحراف العمود عن البعد الاسمي.

$V_2 + V_1$: أدنى تسامح.

$V_1 + V_2 + T_1 + T_2$: أكبر (أقصى) تسامح.

عند القيام بتصنيف الإزواجيات يتم تقسيم حقل تفاوت الثقب T_1 إلى عدد من الأجزاء n بحيث يتم تصنيف الثقوب الناتجة بالترتيب، الأعلى فالأصغر فالأصغر وهكذا. ويتم تقسيم حقل تفاوت العمود T_2 بالطريقة نفسها إلى n جزءاً، ثم تجري عملية مزاججة الثقب الأعلى مع العمود الأعلى والثقب الأدنى مع العمود الأدنى وهكذا. وبهذا التقسيم يكون مجال تفاوت الثقب انخفض من T_1 إلى T_1/n ومجال تفاوت العمود من T_2 إلى T_2/n ، أي خفضنا مجال التفاوت n مرة.



الشكل (26-2) التسامحات قبل تصنيف الإزواجيات

حدود التسامح قبل التصنيف:

التسامح الأدنى: $V_2 + V_1$

التسامح الأعلى (أعظم تسامح): $V_1 + V_2 + T_1 + T_2$

تراوح التسامح في هذه الحالة هو:

$$(V_1 + V_2 + T_1 + T_2) - (V_2 + V_1) = T_1 + T_2$$

تُحسب حدود التسامح بعد التصنيف كما يلي:

الأبعاد الحدية لحقل التفاوت الأول للثقب:

$$D + V_1 \rightarrow D + V_1 + \frac{T_1}{n}$$

الأبعاد الحدية لحقل التفاوت الثاني للثقب:

$$D + V_1 + \frac{T_1}{n} \rightarrow D + V_1 + \frac{2T_1}{n}$$

الأبعاد الحدية لحقل التفاوت الثالث للثقب:

$$D + V_1 + \frac{2T_1}{n} \rightarrow D + V_1 + \frac{3T_1}{n}$$

وهكذا بالنسبة للثقب رقم n:

$$D + V_1 + \frac{(n-1)T_1}{n} \rightarrow D + V_1 + T_1$$

ملاحظة: تم تقسيم حقل تفاوت الثقب وكذلك حقل تفاوت العمود إلى n جزء، مع ملاحظة أن حقل تفاوت الثقب ليس بالضرورة أن يساوي حقل تفاوت العمود ولكن عدد أجزاء التقسيم ثابت.

من الشكل (27-2) نلاحظ أن أبعاد حقل التفاوت n للعمود هي:

أقصى بعد للعمود هو: $D - V_2$

أدنى بعد للعمود هو: $D - V_2 - \frac{T_2}{n}$

وبعد عملية الإزواج ينتج أن:

أدنى تسامح = أدنى بعد للثقب - أعلى بعد للعمود

$$\left(D + V_1 + \frac{(n-1)T_1}{n} \right) - (D - V_2) = V_1 + V_2 + \frac{(n-1)T_1}{n}$$

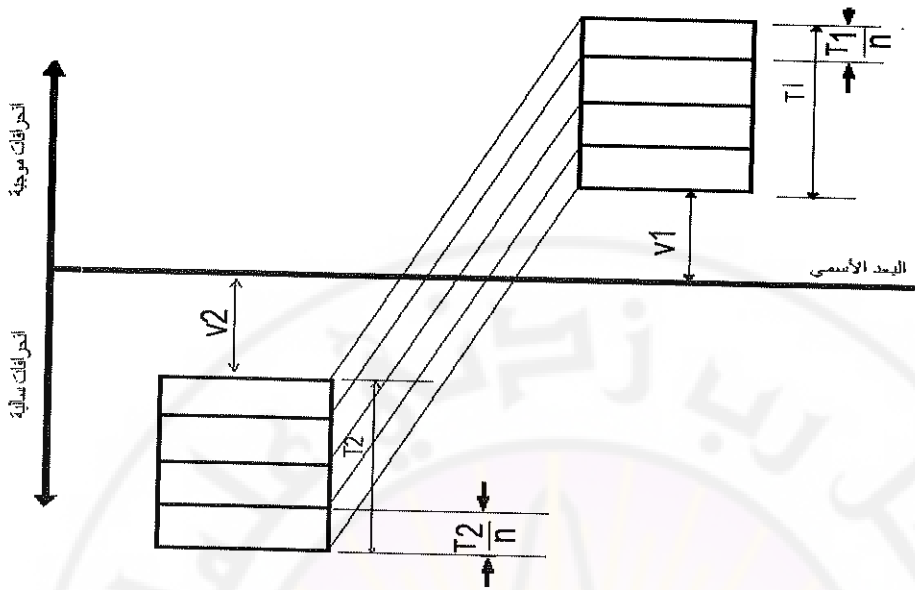
أقصى تسامح = أعلى بعد للثقب - أدنى بعد للعمود

$$(D + V_1 + T_1) - \left(D - V_2 - \frac{T_2}{n} \right) = V_1 + V_2 + T_1 + \frac{T_2}{n}$$

وبالتالي تراوح التسامح = التسامح الأعلى - التسامح الأدنى

$$\left(V_1 + V_2 + T_1 + \frac{T_2}{n} \right) - \left(V_1 + V_2 + \frac{(n-1)T_1}{n} \right) =$$

$$T_1 + \frac{T_2}{n} - \frac{(n-1)T_1}{n} = \frac{T_1}{n} + \frac{T_2}{n}$$



الشكل (27-2) تصنيف الإزواج

حيث:

n : عدد حقول التفاوتات الجزئية للثقب والعمود.

$\frac{T_1}{n}$: التفاوت الجزئي للثقب.

$\frac{T_2}{n}$: التفاوت الجزئي للعمود.

إن تراوح التسامح بالنسبة لهذا الإزواج انخفض من $(T_1 + T_2)$ قبل التصنيف إلى $\frac{T_1 + T_2}{n}$ بعد التصنيف (أي خفضنا مقدار تراوح التسامح n مرة). وهكذا فإن عملية تصنيف الإزواجات خفضت مقدار التسامح الأدنى والأعلى.

$$V = V_1 + V_2 \rightarrow V_1 + V_2 + T_1 + T_2 \quad \text{قبل التصنيف:}$$

$$V = V_1 + V_2 \rightarrow V_1 + V_2 + \frac{T_1}{n} + \frac{T_2}{n} \quad \text{بعد التصنيف:}$$

أي إننا استطعنا تصغير قيمة التسامح الأعلى من القيمة $V + T_1 + T_2$ إلى القيمة $(V + \frac{T_1 + T_2}{n})$ من دون اللجوء إلى تصغير التفاوت.

بالنظر للشكل (28-2) نجد أن مجال تفاوت الحقل n للثقب هو:

من $V_1 + \frac{(n-1)T_1}{n}$ وحتى $V_1 + T_1$ ،
وبالنسبة لمجال تفاوت الحقل n للعمود (حدود تفاوت الحقل n) هو:

من $-V_2 - \frac{T_2}{n}$ وحتى $-V_2$ ،
وبالتالي مزاجية الثقب n مع العمود n تعطي:

أدنى تسامح = أدنى ثقب - أكبر عمود

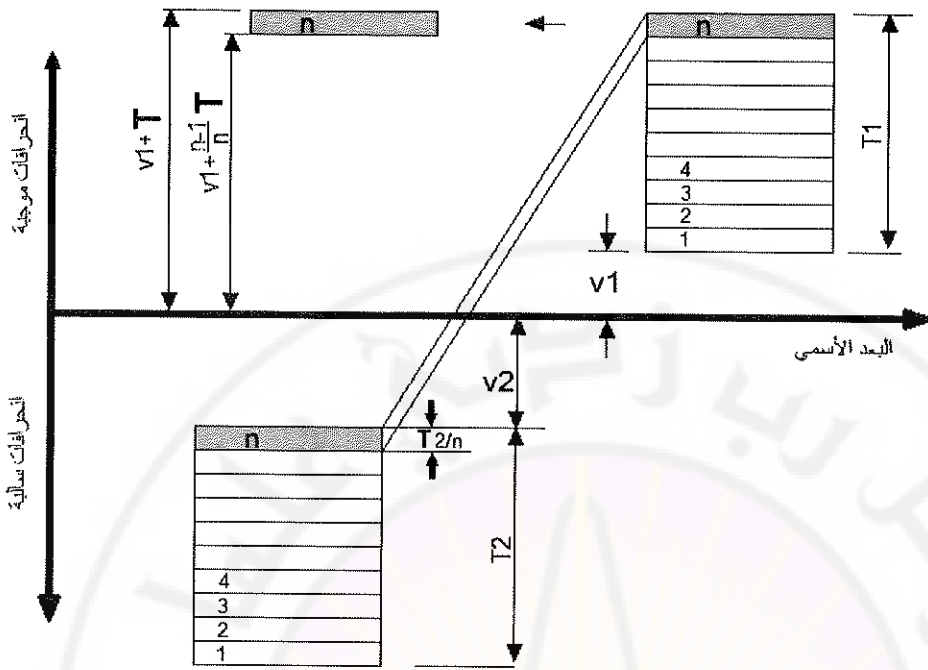
$$V_1 + \frac{(n-1)T_1}{n} - (-V_2) = V_1 + V_2 + \frac{(n-1)T_1}{n}$$

أكبر تسامح = أكبر ثقب - أصغر عمود

$$V_1 + T_1 - \left(-V_2 - \frac{T_2}{n}\right) = V_1 + V_2 + T_1 + \frac{T_2}{n}$$

وبالتالي تراوح التسامح للجزء n هو الفرق بين التسامحين الأعلى والأدنى:

$$V_1 + V_2 + T_1 + \frac{T_2}{n} - \left(V_1 + V_2 + \frac{(n-1)T_1}{n}\right) = \frac{T_1}{n} + \frac{T_2}{n}$$



الشكل (28-2) الأزواج المصنفة

19-2- تأثير الشروط الحرارية في الإزواج:

إن اختلاف الشروط الحرارية التي تعمل ضمنها مختلف الآلات عن الشروط الحرارية النظامية القياسية المتمثلة ($t_0 = 20^\circ\text{C}$) يؤدي إلى تغير طبيعة الإزواج بين الأجزاء المتزاوجة أو نوعيته. وعليه يتم تصميم جميع أجزاء الآلات على أساس ظروف العمل المتوقعة لهذه الأجزاء.

إن ارتفاع درجة حرارة بعض أجزاء الآلة أثناء العمل يُحدث تمدداً في أبعادها، قيمة هذا التمدد تتبع نوع المعدن الذي صنع منه الجزء، وتختلف هذه القيمة حسب المعامل الحراري للمعدن وفق العلاقة الأساسية التالية:

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

حيث:

ΔL : التغير في الطول.

L: الطول الأصلي أو البعد في الدرجة القياسية $t_0 = 20^\circ$

α : معامل التمدد الخطي (الطولي) للمادة.

$\Delta t = t - t_0$: التغير في درجات الحرارة

t: درجة الحرارة الجديدة.

يعطى معامل التمدد الطولي للمادة α بالمعادلة التالية:

$$\alpha = \frac{1}{L} \frac{\Delta L}{\Delta T}$$

وبناءً عليه يمكن تعريف معامل التمدد الطولي α على أنه مقدار التغير في الطول $\frac{\Delta L}{\Delta T}$ لكل تغير في درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية. وتكون وحدة α هي deg^{-1} ، فمثلاً إن عامل التمدد الخطي للفولاذ $(\alpha = 10.10^{-6} \text{ (C}^\circ)^{-1})$ أي يمكننا القول: إن قضيب من الفولاذ بطول (100mm) يتمدد بمقدار (1μm) لكل ارتفاع بدرجات الحرارة مقداره درجة مئوية واحدة.

يؤدي ارتفاع درجة الحرارة لأجزاء المحرك الداخلية إلى تغير طبيعة الإزواجيات وانحرافها عن القيم التصميمية، فإذا تجاوزت الشروط الحرارية لعمل المحرك حداً ما، مثلاً نتيجة توقف دارة التبريد في المحرك عن العمل، فإن ذلك قد يؤدي إلى انحراف الأوضاع النسبية للأجزاء المتزاوجة وتعطيلها عن العمل أو ربما يؤدي إلى كسر هذه الأجزاء. ولتفادي مثل هذا الخلل يعتمد المصممون أثناء وضعهم لقيم التفاوتات إلى اختيار القيم المناسبة وتحديد التسامحات بحيث تتكيف مع شروط العمل الجديدة. تتعين نوعية الإزواج الجديد بين الجزأين بعد حساب الخلوص الأصغري S_K أو التداخل الأصغري U_K عند نقطة العمل. سوف نطبق تأثير الحرارة على حالي الإزواج الخلوصي والتداخلي.

2-19-1- حالة الإزواج الخلوصي:

يبين الشكل (2-29) رسماً تخطيطياً لإزواج خلوصي بين قطعتين (ثقب وعمود) وفق نظام أساس الثقب. تمثل المنطقة (I) الإزواج عند الشروط الحرارية الابتدائية (أي

عند درجة الحرارة النظامية $(t_0 = 20^\circ \text{C})$ ، وبعد ارتفاع درجة حرارة القطعتين إلى درجات الحرارة الجديدة انتقلت حقول التسامح من المنطقة I إلى المنطقة II.
من المعلوم أن:

التسامح الخلوصي = الحد الأدنى للثقب - الحد الأعلى للعمود.
الحد الأدنى للثقب = الحد الأعلى للثقب - التفاوت المسموح به.
الحد الأعلى للعمود = الحد الأدنى للعمود + التفاوت المسموح به.
حسب العلاقة الأساسية فإن مقدار تغير بعد العمود والثقب هو:

$$\Delta D_1 = D_1 \cdot \alpha_1 \Delta t_1$$

$$\Delta D_2 = D_2 \cdot \alpha_2 \Delta t_2$$

حيث:

ΔD_1 : انحراف الثقب نتيجة ارتفاع درجة الحرارة.

ΔD_2 : انحراف العمود نتيجة ارتفاع درجة الحرارة.

α_1, α_2 : معامل التمدد الحراري للثقب والعمود.

$\Delta t_1, \Delta t_2$: فرق درجات الحرارة للثقب والعمود حيث:

$$\Delta t_1 = t_1 - t_0$$

$$\Delta t_2 = t_2 - t_0$$

t_1, t_2 : درجة الحرارة الجديدة للثقب والعمود.

وبالتالي فإن قيمة التسامح الجديد تحسب بالعلاقة التالية:

التسامح الجديد = التسامح في الدرجة 20 - انحراف العمود + انحراف الثقب

$$S_t = S_o - \Delta D_2 + \Delta D_1$$

وبتعويض قيم الانحرافات من المعادلة نجد:

$$S_t = S_o - D_2 \alpha_2 \Delta t_2 + D_1 \alpha_1 \Delta t_1$$


$$t_1 = t_2 = t$$

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$$

$$S_t = S_0 - D_2 \alpha_2 \Delta t + D_1 \alpha_1 \Delta t$$

$$S_t = S_0 - (D_2 \alpha_2 - D_1 \alpha_1) \Delta t$$

$$S_t = S_0 + (D_1\alpha_1 - D_2\alpha_2)\Delta t$$

حیث:

S_t : التسامح الخلوصي في الدرجة t .

S_0 : التسامح الخلوصي في الدرجة القياسية $t_0 = 20C^\circ$.

2-19-2- حالة الإزواج التداخلي:

من الشكل (2-30) نلاحظ أن تداخل الثقب والعمود يتغير من الحالة الابتدائية

(I) إلى الحالة الجديدة (II) نتيجة ارتفاع درجة الحرارة لكل من الثقب والعمود.

من المعلوم أن:

التسامح التداخلي = الحد الأدنى للعمود - الحد الأعلى للثقب.

الحد الأدنى للعمود = الحد الأعلى للعمود - التفاوت المسموح به.

الحد الأعلى للثقب = الحد الأدنى للثقب + التفاوت المسموح به.

إن الانحراف في بعد الثقب والعمود يعطى من العلاقة الأساسية وذلك نتيجة تغير درجة الحرارة:

$$\Delta D_1 = D_1 \cdot \alpha_1 \Delta t_1$$

$$\Delta D_2 = D_2 \cdot \alpha_2 \Delta t_2$$

وبالتالي فإن قيمة التداخل الجديد تحسب بالعلاقة التالية:

التداخل الجديد = التداخل في الدرجة 20 + انحراف العمود - انحراف الثقب

$$U_t = U_0 + \Delta D_2 - \Delta D_1$$

وفي الحالة الخاصة عندما تتساوى درجتا الحرارة للثقب والعمود أي:

$$t_1 = t_2 = t$$

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$$

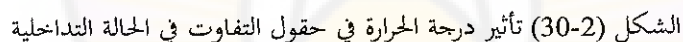
$$U_t = U_0 + (D_2 \cdot \alpha_2 - D_1 \cdot \alpha_1) \Delta t$$

$$U_t = U_0 - (D_1 \cdot \alpha_1 - D_2 \cdot \alpha_2) \Delta t$$

حيث:

U_t : التداخل في درجة الحرارة الجديدة t .

U_0 : التداخل في درجة الحرارة النظامية 20°C .


$$S_t = S_0 + (D_1\alpha_1 - D_2\alpha_2)\Delta t$$

$$U_t = U_0 - (D_1 \alpha_1 - D_2 \alpha_2) \Delta t$$

حيث تشير إشارة (+) إلى الإزواج الخلوصي وإشارة (-) إلى الإزواج التداخلي.

35

الجدول (12-2) معامل التمدد الحراري لبعض المعادن

Substance المادة	Linear معامل التمدد الطولي coefficientt α (1/°C)
Aluminum	24.10^{-6}
Brass	29.10^{-6}
Copper	17.10^{-6}
Glass(ordinary)	9.10^{-6}
Glass(pyrex)	3.10^{-6}
Gold	14.10^{-6}
Iron/steel	12.10^{-6}
Lead	29.10^{-6}
Ice	51.10^{-6}

20-2- تطبيقات:

المسألة الأولى:

يراد تصميم إزواج خلوصي، بعده الاسمي $N = D = 20mm$ وذلك لتحقيق خلوص مقداره:

$$C_g = 104 \mu m \text{ الحد الأقصى للخلوص.}$$

$$C_k = 82 \mu m \text{ الحد الأدنى للخلوص.}$$

فإذا كان متوافراً لدينا الثقوب E_8 ، D_8 ، والأعمدة e_8 ، f_8 . المطلوب اختيار الثقب والعمود اللذين يحققان جودة الأداء. علماً أن الانحرافات الأساسية لكل من الثقوب والأعمدة معطاة بالعلاقات التالية:

$$E = + 11 D^{0.41} \mu m$$

$$D = + 16 D^{0.44} \mu m$$

$$F = + 5.5 D^{0.41} \mu m$$

الحل:

يقع البعد الاسمي $20mm$ ضمن مجال الأقطار (18-30)
نحسب الوسط الهندسي لمجال الأقطار:

$$D = \sqrt{d_1 \cdot d_2} = \sqrt{18 \cdot 30} = 23.238mm$$

إن التفاوت من أجل رتبة معينة ثابت ولا علاقة له بنوع الانحراف، إنما يرتبط بالبعد الاسمي وبرتبة التفاوت.

نحسب وحدة التفاوت الأساسية i من العلاقة التالية:

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

$$i = 0.45 \sqrt[3]{23.238} + 0.001(23.238) = 1.3 \mu m$$

نحسب التفاوت من الرتبة الثامنة IT8 من العلاقة:

$$IT8 = 25i$$

$$IT8 = 25 \times 1.3 = 33\mu m$$

تتعلق وحدة التفاوت الأساسية i فقط بالبعد الاسمي, ومن أجل بعد اسمي محدد تكون i ثابتة لجميع الثقوب والأعمدة.

يعبر الثابت 25 في معادلة حساب التفاوت من الرتبة الثامنة عن عدد وحدات التفاوت الأساسية، والجدول (11-2) يوضح ذلك..
حساب الانحرافات كل من الثقوب والأعمدة:
الانحراف الأساسي للثقب E :

$$E = +11D^{0.41}\mu m$$

$$E = +11(23.238)^{0.41} = +40\mu m$$

الثقب E ينحرف عن خط البعد الاسمي في الاتجاه الموجب بمقدار $40\mu m$ ، أما تفاوت الثقب E_8 الذي هو من الرتبة الثامنة فهو كما نتج سابقاً $IT8 = 33\mu m$.
وهكذا يكون الحد الأدنى لبعد هذا الثقب عبارة عن البعد الاسمي مضافاً إليه قيمة الانحراف الأساسي:

$$K(E8) = N + A_U(E) = N + E = 20 + 0.040 \\ = 20.040mm$$

إن الانحراف الأساسي بالنسبة للثقب E_8 يمثل قيمة موجبة لأنه يقع فوق خط البعد الاسمي. ويعبر في الوقت نفسه عن انحراف سفلي أي:

$$E = A_U(E)$$

أما الانحراف العلوي A_O الخاص بهذا الثقب فتكون قيمته عبارة عن قيمة الانحراف السفلي مضافاً إليها مقدار التفاوت $IT8$ أي:

$$T = A_O - A_U$$

$$A_O(E8) = +A_U(E8) + IT8 \\ = 40 + 33 = 73\mu m$$

أما الحد الأعلى لبعـد الثقب E_8 فهو عبارة عن البعد الاسمي مضافاً إليه قيمة الانحراف العلوي A_O :

$$G(E_8) = N + A_0(E_8) \\ = 20 + 0.073 = 20.073mm$$

وبالخطوات السابقة نفسها يمكن تحديد انحراف وحدود الثقب D_8 :
انحراف الثقب D_8 :

$$AU(D) = +16D^{0.44} \\ = +16 * (23.238)^{0.44} = +64\mu m$$

الحد الأدنى لبعـد الثقب D_8 :

$$K(D_8) = N + A_U(D) \\ = 20 + 0.064 = 20.064mm$$

الحد الأعلى لبعـد الثقب D_8 :

$$G(D_8) = K(D_8) + IT_8 \\ = 20.064 + 0.033 = 20.097mm$$

علماً أن التفاوت هو الفرق بين الانحراف العلوي والانحراف السفلي:

$$IT_8 = A_O(D_8) - A_U(D_8)$$

ملاحظة : الانحراف السفلي $A_U(D_8)$ بالنسبة للثقب D_8 هو نفسه الانحراف الأساسي. أما الانحراف العلوي له فيحسب بالعلاقة:

$$A_O(D_8) = +A_U(D_8) + IT_8 \\ A_O(D_8) = 64 + 33 = 99\mu m$$

حساب انحراف وحدود العمود f_8 :

$$A_U(f) = -5.5 D^{0.41}$$

قاعدة: الثقوب من A وحتى H لها انحرافات مساوية لانحرافات الأعمدة من a وحتى العمود h على الترتيب، لكن يؤخذ انحراف الثقوب بإشارة موجبة وانحراف الأعمدة بإشارة سالبة، ويمكن كتابة:

الانحراف الأساسي (الانحراف العلوي):

$$A_0(f) = -A_U(F)$$

$$A_0(f8) = -5.5 * (23.238)^{0.41} = -20\mu m$$

$$G(f8) = N + A_0(f8) = +20 - 0.020 = 19.980mm$$

$$A_U(f8) = A_0(f8) - IT8 = -20 - 33 = -53\mu m$$

$$K(f8) = N + A_U(f8) = 20 - 0.053 = 19.947mm$$

حساب انحراف وحدود العمود e_8 :

$$A_0(e8) = -A_u(E8) = -40\mu m$$

$$A_u(e8) = A_0(e8) - IT8 = -40 - 33 = -73\mu m$$

$$G(e8) = N + A_0(e8) = 20 - 0.040 = 19.960mm$$

$$K(e8) = N + A_u(e8) = 20 - 0.073 = 19.927mm$$

نلاحظ أن حدود الثقب E8 وحدود العمود e_8 متناظرة بالنسبة لخط البعد الاسمي على الرسم (31-2).

لكي نتحقق من جودة الأداء يجب أن نختار الثقب والعمود المناسبين بحيث يحققان الإزواج الخلوصي المطلوب.

نحسب تراوح الإزواج الذي هو عبارة عن الفرق بين الحددين الأعلى والأدنى للخلوص:

$$C = C_g - C_k = 104 - 82 = 22\mu m$$

شرط التصنيف:

$$T_1 + T_2 > C$$

حيث:

T_1 : تفاوت الثقوب.

T_2 : تفاوت العمود.

C : تراوح الأزواج.

$$33 + 33 = 66 \mu m > 22 \mu m$$

من النتيجة السابقة نلاحظ أن شرط التصنيف محقق.

للحصول على عدد حقول التفاوت الجزئية، نطبق علاقة التصنيف التالية:

$$C - \frac{T_1 + T_2}{n} \geq \frac{|T_1 - T_2|}{n} (n - 1)$$

حيث:

n : عدد مجموعات التصنيف (عدد حقول التفاوت الجزئية).

إن الطرف الأيمن للعلاقة السابقة معدوم؛ لأن تفاوت الثقوب يساوي تفاوت العمود،

وبالتالي تصبح العلاقة السابقة بالشكل التالي:

$$C - \frac{T_1 + T_2}{n} \geq 0$$

$$C \geq \frac{T_1 + T_2}{n} \Rightarrow n \geq \frac{T_1 + T_2}{C}$$

عدد حقول التفاوت الجزئية n :

$$n = \frac{T_1 + T_2}{C} = 66 / 22 = 3$$

نحسب خطوة التصنيف أي قيمة حقل التفاوت الجزئي الواحد:

$$t = \frac{T}{n} = \frac{33}{3} = 11 \mu m$$

نحدد حدود حقل التفاوت الجزئي الأول t_1 باستخدام الرسم كمايلي:

$$K_1(E8) = 20.040 mm$$

$$G_1(E8) = 20.040 + 0.011 = 20.051 \text{ mm}$$

$$K_1(D8) = 20.064 \text{ mm}$$

$$G_1(D8) = 20.064 + 0.011 = 20.075 \text{ } \mu\text{m}$$

$$K_1(e8) = 19.927 \text{ mm}$$

$$G_1(e8) = 19.927 + 0.011 = 19.938 \text{ mm}$$

$$K_1(f8) = 19.947 \text{ mm}$$

$$G_1(f8) = 19.947 + 0.011 = 19.958 \text{ mm}$$

وهكذا نستمر حتى يتم التصنيف بشكل كامل.

الآن نختار الثقب D_8 ونزاوجه مع كل من e_8 و f_8 :

نزاوج D_8 مع e_8 :

$$C_g \left(\frac{D8}{e8} \right) = G_1(D8) - K_1(e8)$$

$$= 20.075 - 19.927 = 0.148 \text{ mm} = 148 \mu\text{m}$$

نلاحظ أن هذا الأزواج لا يحقق جودة الأداء لأن الناتج أكبر من الخلوص المطلوب.

نحرب الثقب D_8 مع العمود f_8 :

$$C_g \left(\frac{D8}{f8} \right) = G_1(D8) - K_1(f8)$$

$$= 20.075 - 19.947 = 0.128 \text{ mm} = 128 \mu\text{m}$$

هذا الأزواج لا يحقق جودة الأداء لأن $C_g \left(\frac{D8}{f8} \right) > C_g$ أي أن الخلوص الناتج أكبر

من المطلوب.

نختار الثقب E_8 ونزاوجه مع كل من e_8 و f_8 :

$$C_g \left(\frac{E8}{e8} \right) = G_1(E8) - K_1(e8)$$

$$= 20.051 - 19.927 = 0.124 \text{ mm} = 124 \mu\text{m}$$

وهذا الخلوص أيضاً أكبر من $104 \mu\text{m}$ فالازواج $\frac{E8}{e8}$ مرفوض.

أخيراً يبقى لدينا الازواج $\frac{E8}{f8}$ ، نختبر هذا الازواج:

$$C_g \left(\frac{E8}{f8} \right) = G_1(E8) - K_1(f8) = 20.051 - 19.947 \\ = 0.104 \text{ mm} = 104 \mu\text{m}$$

$$C_K \left(\frac{E8}{f8} \right) = K_1(E8) - G_1(f8) = 20.040 - 19.958 \\ = 0.082 \text{ mm} = 82 \mu\text{m}$$

وبالتالي فإن اختيار الازواج $\frac{E8}{f8}$ يحقق جودة الأداء وفق شروط المسألة.

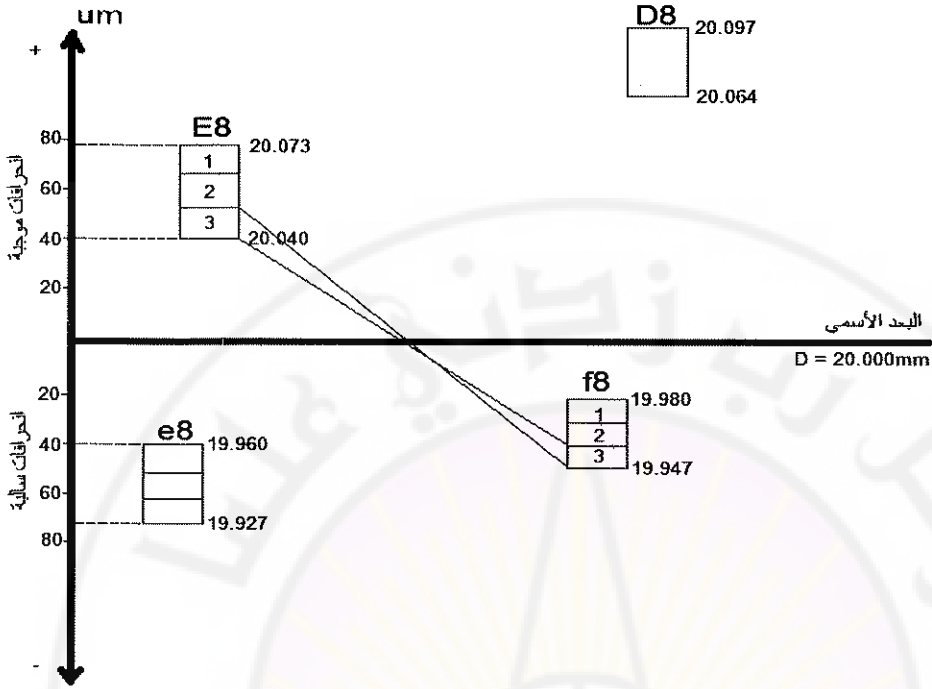
تم إجراء عملية التصنيف لحقول التفاتات العائدة لكل من الثقوب والأعمدة كما هو مبين في الرسم:

$$t_1(E8) - t_1(f8)$$

$$t_2(E8) - t_2(f8)$$

$$t_3(E8) - t_3(f8)$$

	<u>E8</u>	<u>F8</u>
t_1	20.040	19.947
	20.051	19.958
t_2	20.062	19.969
t_3	20.073	19.980



الشكل (2-31) توضع التفاوتات بالنسبة لخط الصفر وعملية تصنيف الإزواج

المسألة الثانية:

يطلب تصميم إزواج تداخلي بعده الاسمي 40mm، وذلك باستعمال مجموعة الثقوب S₉, R₈, P₇ ومجموعة الأعمدة c₇, d₆, n₈.
 علماً أن هذه الأعمدة تنتمي لمجموعتين فرعيتين متساويتي الخطوة. فإذا علمت أن تكلفة إنتاج الأعمدة الأكثر دقة تزيد على تكلفة إنتاج الأعمدة الأقل دقة بـ 10%. المطلوب:

- 1- أوجد الأبعاد الحدية لمجموعات الثقوب والأعمدة.
- 2- تحديد نوع الإزواج بين كل مجموعة ثقوب ومجموعة أعمدة.
- 3- تحديد أي من الثقوب مع أي من الأعمدة يحقق جودة أداء الإزواج التداخلي المراد تصميمه. علماً أن التداخل الأعظمي يساوي 102μm والتداخل الأصغري 76μm.

وتعطى الانحرافات للثقوب والأعمدة بالعلاقات التالية:

يعطى انحراف الثقب P بالعلاقة: $-(IT7+3)$

يعطى انحراف الثقب S بالعلاقة: $-(IT8+1)$

انحراف الثقب R هو الوسط الهندسي لانحراف S و P.

يعطى انحراف العمود n بالعلاقة: $+5D^{0.34}$

يعطى انحراف العمود d بالعلاقة: $-16D^{0.44}$

يعطى انحراف العمود c بالعلاقة: $-52D^{0.2}$

الحل:

الطلب الأول:

ينتمي البعد الاسمي للزواج 40mm إلى مجموعة الأقطار (30-50).

وبالتالي يحسب الوسط الهندسي لمجموعة الأقطار من العلاقة:

$$D = \sqrt{30 * 50} = 38.73 \text{ mm}$$

تنتمي الأعمدة إلى مجموعتين فرعيتين متساويتي الخطوة، هما:

(30-40) ، (40-50)، وبالتالي يكون الوسط الهندسي لمجموعة الأقطار الفرعية:

$$\bar{D} = \sqrt{30 * 40} = 34.64 \text{ mm}$$

حساب التفاوتات الأساسية لكل من الثقوب والأعمدة:

نحسب أولاً وحدة التفاوت الأساسية i:

$$i = (0.45 \sqrt[3]{\bar{D}} + 0.001D)$$

$$= 0.45 \sqrt[3]{38.73} + 0.001 * 38.73 = 1.6 \text{ } \mu\text{m}$$

مع ملاحظة أن القطر D مأخوذ بوحدة mm، ووحدة التفاوت الأساسية i مأخوذة بوحدة μm .

إن التفاوتات الأساسية يتم حسابها حسب الجدول (2-11) المتضمن رتبة التفاوتات وعدد وحدات التفاوت الأساسية وفق نظام ISO، حيث يتم الحصول على قيمة

التفاوت حسب رتبة التفاوت وذلك بضرب وحدة التفاوت الأساسية i بعدد وحدات التفاوت الأساسية حسب الجدول.

$$IT6 = 10 i = 10 * 1.6 = 16\mu m$$

$$IT7 = 16 i = 16 * 1.6 = 25\mu m$$

$$IT8 = 25 i = 25 * 1.6 = 39\mu m$$

$$IT9 = 40 i = 40 * 1.6 = 62\mu m$$

حساب الانحرافات الثقوب من معادلات الانحراف المعطاة في نص المسألة:

$$P = - (IT7 + 3) = - (25 + 3) = -28\mu m$$

$$S = - (IT8 + 1) = - (39 + 1) = -40\mu m$$

$$R = - \sqrt{(-28).(-40)} = -33\mu m$$

حساب الانحرافات الأعمدة:

$$c = - 52D^{0.2} = -52(34.64)^{0.2} = -106\mu m$$

$$d = -16D^{0.44} = -16(34.64)^{0.44} = -76\mu m$$

$$n = + 5D^{0.34} = +5(34.64)^{0.34} = +17\mu m$$

الأبعاد الحدية لمجموعة الثقوب:

$$P \begin{cases} N - P = 40 - 0.028 = 39.972 \text{ mm} & \text{الحد الأعلى} \\ N - P - IT7 = 40 - 0.028 - 0.025 = 39.947 \text{ mm} & \text{الحد الأدنى} \end{cases}$$

$$S \begin{cases} N - S = 40 - 0.040 = 39.960 \text{ mm} & \text{الحد الأعلى} \\ N - S - IT9 = 40 - 0.040 - 0.062 = 39.898 \text{ mm} & \text{الحد الأدنى} \end{cases}$$

$$R \begin{cases} N - R = 40 - 0.033 = 39.967 \text{ mm} & \text{الحد الأعلى} \\ N - R - IT8 = 40 - 0.033 - 0.039 = 39.928 \text{ mm} & \text{الحد الأدنى} \end{cases}$$

الأبعاد الحديدية لمجموعة الأعمدة:

$$c \begin{cases} N - c = 40 - 0.106 = 39.894 \text{ mm} & \text{الحد الأعلى} \\ N - c - IT7 = 40 - 0.106 - 0.025 = 39.869 \text{ mm} & \text{الحد الأدنى} \end{cases}$$

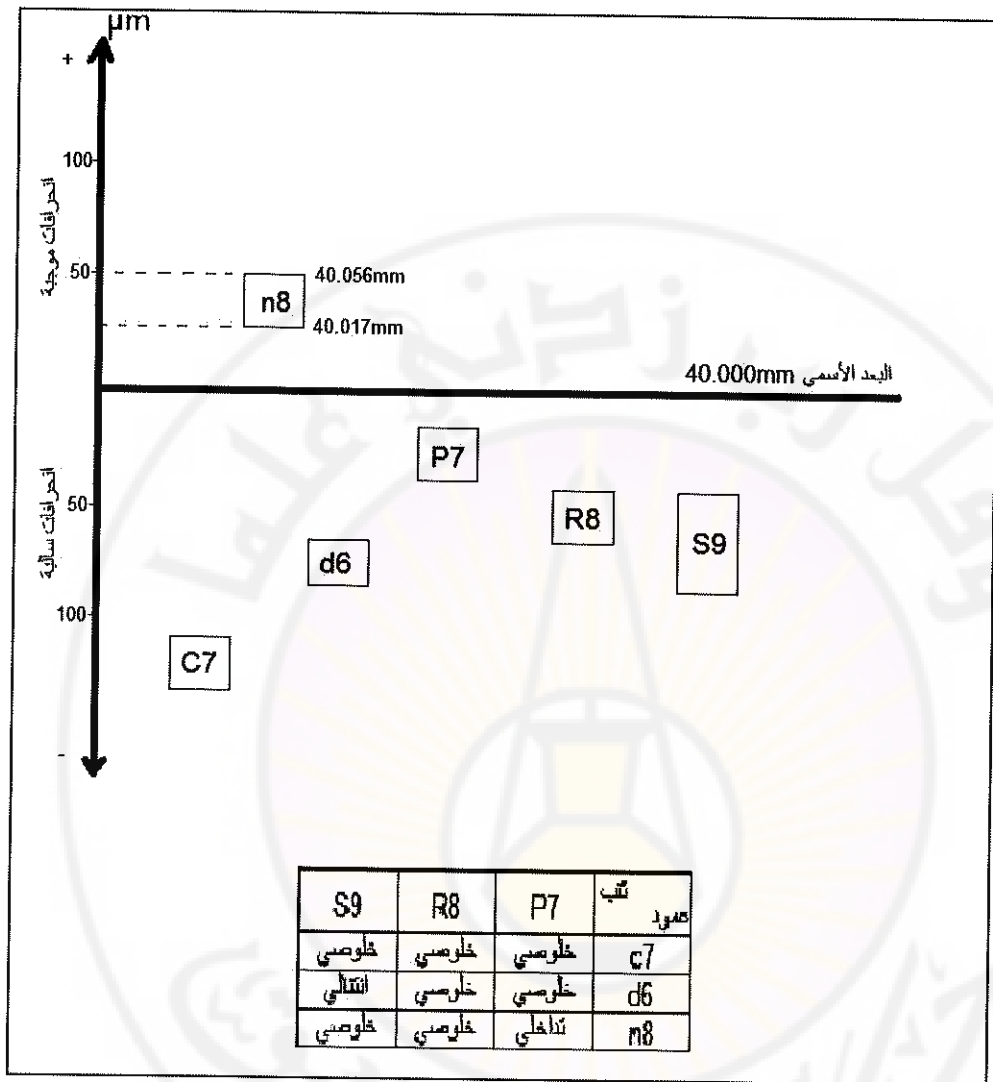
$$d \begin{cases} N - d = 40 - 0.076 = 39.924 \text{ mm} & \text{الحد الأعلى} \\ N - d - IT6 = 40 - 0.076 - 0.016 = 39.908 \text{ mm} & \text{الحد الأدنى} \end{cases}$$

$$n \begin{cases} N + n = 40 + 0.017 = 40.017 \text{ mm} & \text{الحد الأدنى للعمود} \\ N + n + IT8 = 40 + 0.017 + 0.039 = 40.056 \text{ mm} & \text{الحد الأعلى} \end{cases}$$

الطلب الثاني:

من الرسم الموضح في الشكل (2-32) يمكن تشكيل الجدول الخاص بنوع الأزواج بين مجموعة الثقوب والأعمدة، وبالتالي من خلال قيم الأبعاد الحديدية للثقوب والأعمدة نجد ما يلي:

- العمود n_8 يشكل مع جميع الثقوب إزواجاً تداخلياً.
- العمود d_6 يشكل مع الثقوب P_7 , R_8 , إزواجاً خلوصياً ومع الثقوب S_9 إزواجاً انتقالياً.
- العمود C_7 يشكل مع جميع الثقوب إزواجاً خلوصياً.



الشكل (32-2) انحرافات الثقوب والأعمدة ومواقعها بالنسبة لخط البعد الاسمي

الطلب الثالث:

لكي نتحقق من جودة الأداء يجب أن نختار الثقوب والأعمدة المناسبين بحيث يحققان الازدواج التداخلي المطلوب، حيث تقتضي جودة الأداء حسب شروط المسألة أن يكون أدنى تداخل $76\mu m$ وأعلى تداخل $102\mu m$.

إن العمود n8 هو الذي يحقق إزواجاً تداخلياً مع الثقوب P_7 , R_8 , S_9 .

نحسب تراوح الإزواج الذي هو عبارة عن الفرق بين الحدين الأعلى والأدنى للتداخل حسب شروط المسألة:
تراوح الإزواج:

$$C = 102 - 76 = 26\mu m$$

ولكي يكون التصنيف ناجحاً يجب أن يحقق الشرط التالي:

$$T_1 + T_2 > C$$

T_1 : تفاوت الثقب، T_2 : تفاوت العمود، C : تراوح الإزواج.

$$39 + 39 > 26\mu m$$

إذن شرط التصنيف محقق لأن: $78 > 26$

نطبق علاقة التصنيف التالية:

$$C - \frac{T_1 + T_2}{n} \geq \frac{|T_1 - T_2|}{n} (n - 1)$$

حيث: n : عدد مجموعات التصنيف (عدد حقول التفاوت الجزئية).

إن الطرف الأيمن للعلاقة السابقة معدوم؛ لأن تفاوت الثقب يساوي تفاوت العمود، وبالتالي تصبح العلاقة السابقة بالشكل التالي:

$$C - \frac{T_1 + T_2}{n} \geq 0 \Rightarrow C \geq \frac{T_1 + T_2}{n}$$

$$26 \geq \frac{39 + 39}{n} \Rightarrow n = \frac{78}{26} = 3$$

نحسب خطوة التصنيف أي قيمة حقل التفاوت الجزئي الواحد:

$$t = \frac{T}{n} = \frac{39}{3} = 13\mu m$$

وبالتالي نجزئ التفاوتات الخاصة بالأعمدة والثقوب إلى ثلاثة تفاوتات جزئية قيمة كل منها $t = 13\mu m$.

نحدد حدود مجموعات التصنيف (حقول التفاوت الجزئية) للثقوب R_8 :

حدود الحقل الجزئي الأول:

$$40 - 0.033 = 39.967mm \quad \text{الحد الأعلى}$$

$$39.967 - 0.013 = 39.954mm \quad \text{الحد الأدنى}$$

حدود الحقل الجزئي الثاني:

$$39.954mm \quad \text{الحد الأعلى}$$

$$39.954 - 0.013 = 39.941mm \quad \text{الحد الأدنى}$$

حدود الحقل الجزئي الثالث :

$$39.941mm \quad \text{الحد الأعلى}$$

$$39.941 - 0.013 = 39.928mm \quad \text{الحد الأدنى}$$

أما حدود حقول التفاوت الجزئية بالنسبة للأعمدة n_8 فهي:

$$\left. \begin{array}{l} 40.056mm \quad \text{الحد الأعلى} \\ 40.056 - 0.013 = 40.043mm \quad \text{الحد الأدنى} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{الحقل الجزئي} \\ \text{الأول} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} 40.043mm \quad \text{الحد الأعلى} \\ 40.04 - 0.013 = 40.030mm \quad \text{الحد الأدنى} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{الحقل الجزئي} \\ \text{الثاني} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} 40.030mm \quad \text{الحد الأعلى} \\ 40.030 - 0.013 = 40.017mm \quad \text{الحد الأدنى} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{الحقل الجزئي} \\ \text{الثالث} \end{array}$$

يتم التحقق من جودة الأداء كما يلي، انظر الى الشكل (2-33):

نأخذ المجموعة 1:

$$\begin{aligned} \text{التداخل الأعظمي} &= \text{الحد الأعلى للعمود} - \text{الحد الأدنى للثقب} \\ &= 40.056 - 39.954 = 0.102mm = 102\mu m \end{aligned}$$

$$\text{التداخل الأصغري} = \text{الحد الأدنى للعمود} - \text{الحد الأعلى للثقب}$$

$$= 40.043 - 39.967 = 0.076\text{mm} = 76\mu\text{m}$$

إذاً المجموعة الأولى تحقق جودة الأداء.

نأخذ المجموعة 2:

$$40.043 - 39.941 = 0.102\text{mm} = 102\mu\text{m} \quad \text{التداخل الأعظمي:}$$

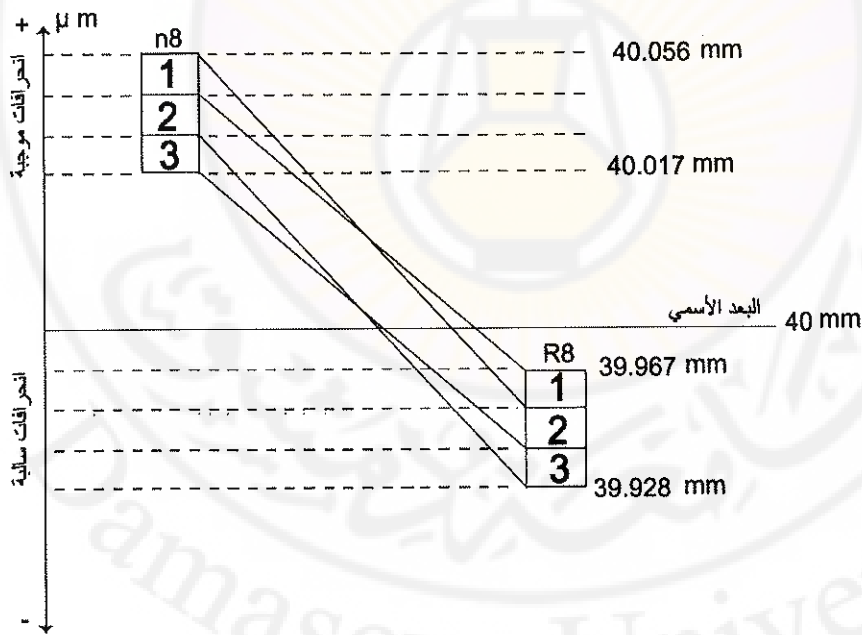
$$40.030 - 39.954 = 0.076\text{mm} = 76\mu\text{m} \quad \text{التداخل الأصغري:}$$

المجموعة الثانية تحقق جودة الأداء.

نأخذ المجموعة 3:

$$40.030 - 39.928 = 0.102\text{mm} = 102\mu\text{m} \quad \text{التداخل الأعظمي:}$$

$$40.017 - 39.941 = 0.076\text{mm} = 76\mu\text{m} \quad \text{التداخل الأصغري:}$$



الشكل (2-33) تصنيف الإزواج



الفصل الثالث

قياس الأبعاد باستخدام أدوات القياس وأجهزته

مقدمة:

تنفذ عملية القياس لإيجاد القياس الحقيقي للبعد، أما المعايرة فإنها العملية التي يتم من خلالها معرفة فيما إذا كان البعد يقع ضمن الحدود الثابتة المسموح بها. لذلك نلجأ في حالة الإنتاج الكمي إلى المعايرة في تحديد الأجزاء الجيدة والرديئة الصنع، حيث يقل الزمن اللازم للفحص، إضافة إلى ذلك فإن المعايرة لا تحتاج إلى خبرة ومهارة كبيرتين على عكس القياس الذي يكون من الدقة بحيث يستلزم الكثير من المهارة لإجرائه، ويحتاج القياس وقتاً أكثر من المعايرة. وتختلف الدقة في أجهزة القياس من جهاز إلى آخر وحسب الغرض المصنوع لأجله.

إن أي عملية قياس لا تقتزن بتطبيق القواعد الخاصة بعمليات القياس سوف تفقد قيمتها ولا تحقق الهدف المنشود منها، فالهدف الأساسي من إجراء القياس على المشغولات هو التأكد من مطابقتها للمواصفات التصميمية، وبالطبع فإن مسائل مهمة مثل ضبط الجودة لا يمكن أن تتحقق إلا بإجراء عمليات قياس نهائية على القطع المنتجة، والتأكد من أن هذه القطع ستقوم بمهمتها على الوجه الأمثل.

3-1- شروط العمل في مخابر القياس:

- 1- أن تكون درجة الحرارة داخل المعمل $(20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C})$.
- 2- أن تكون الرطوبة النسبية $50\% \pm 5\%$.
- 3- أن تكون المعامل خالية من الأتربة والغبار.
- 4- أن تكون المعامل بعيدة عن أي مصدر يسبب الاهتزازات.
- 5- أن تكون جيدة الإضاءة ومكيفة وفق تعليمات وتوصيات ISO.
- 6- أن يكون الضغط الجوي 760mm Hg.

2-3- قواعد القياس:

خلال إجراء عملية القياس في ورش التشغيل والمختبرات تكمن مهمة المهندس والفني في تحديد قيم الأبعاد بالنسبة لوحدة القياس الدولية بالدقة اللازمة، واتخاذ جميع التدابير للحيلولة دون وقوع أخطاء قياس بنسب كبيرة، لذلك يجب تطبيق قواعد القياس التالية:

1. يجب استعمال أداة القياس المناسبة وبالدقة المطلوبة، فمثلاً من غير المبرر استخدام أداة قياس ذات دقة 0.001mm من أجل قياس قطر مشغولة، حيث إن الدقة المطلوبة لها 0.01mm .
2. اتخاذ الاحتياطات اللازمة لقراءة نتيجة القياس بشكل صحيح.
3. يجب تنظيف جميع السطوح سواء بالنسبة لأداة القياس أم بالنسبة للمشغولة التي تجري عليها عملية القياس.
4. عند القياسات الدقيقة يجب مراعاة الحرارة النسبية، بحيث تكون درجة حرارة المشغولة وأداة القياس واحدة (20°C) قبل إجراء عملية القياس.
5. يجب عدم استعمال قوة الضغط على أداة القياس إلا بالحدود المعقولة، لأن ذلك يخل بنتائج القياس.
6. يجب عدم إجراء عمليات القياس على المشغولات المتحركة تفادياً لأي خطر أو تعطيل في أدوات القياس.
7. يجب إزالة مغنطة قطع العمل بوساطة الشد المغناطيسي.
8. يجب اختبار نقطة الصفر لأدوات القياس القابلة للتبديل.
9. يجب اختبار دقة أدوات القياس خلال فترات معينة (معايرة أدوات القياس).
10. يجب وضع أدوات القياس منفردة عن أدوات العمل.
11. يجب حماية أدوات القياس الدقيقة من تأثير الحرارة، والبرودة، والرطوبة، والأوساخ.
12. يجب حفظ أدوات القياس بعناية بعد استعمالها، كما يجب طلاء أدوات القياس المتعرضة للصدأ بزيت أو شحم خاص.

13. يجب حماية أدوات القياس من الصدمات والاهتزازات.
14. يجب أخذ عدة قياسات، ثم إيجاد المتوسط الحسابي لها للحصول على دقة عالية.
15. يجب قراءة كتيب الإرشادات الخاص بجهاز القياس.
16. يجب أن يكون فني ومهندس القياس على درجة عالية من الخبرة والتأهيل.
17. إن أجهزة القياس هي أجهزة دقيقة وحساسة لا يمكن الاعتماد على نتائجها إلا إذا تم استعمالها بحرص وعناية وفق شروط العمل في مخبر القياس.

3-3- أجهزة القياس:

هي كل الأدوات والمكاييل والأجهزة منفردة أو مجتمعة، والتي وقع تصميمها وإنجازها، بشكل منفصل أو ضمن جهاز مركب، قصد قياس المقادير والأحجام والأبعاد بطريقة مباشرة أو غير مباشرة.

هناك العديد من أجهزة القياس التي تستخدم اليوم في أكثر المصانع والورش لقياس الأبعاد للأجزاء المصنعة، وتختلف هذه الأجهزة فيما بينها في طريقة عملها وطريقة قياسها للأبعاد والدقة التي يتم الحصول عليها منها (الأجهزة التي تقيس أبعاد إلى 0.02mm) تُعد أجهزة دقيقة). يمكن أن تُقسم أجهزة القياس إلى نوعين رئيسيين هما: أجهزة القياس الخطية وأجهزة القياس الضوئية والليزرية.

3-3-1- أجهزة القياس الخطية:

تقسم إلى نوعين أساسيين هما:

أ- أجهزة القياس مباشرة القراءة. ب- أجهزة القياس الناقلة.

أ- أجهزة القياس مباشرة القراءة: يتم في هذا النوع من الأجهزة قراءة قياس البُعد مباشرة من تدريج الجهاز. من أهم هذه الأجهزة:

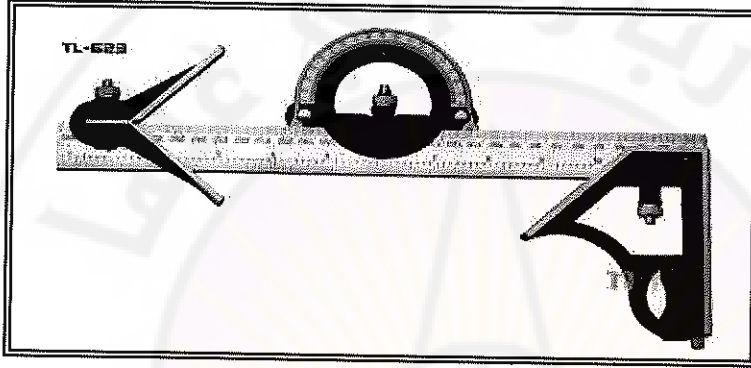
1- مسطرة الفولاذ: تستخدم لقياس الأبعاد وأعماق الشقوق والثقوب. حيث يتم أخذ القراءة بشكل مباشر من خلال تدريجاتها.

2- القَلَمَة: تستخدم لقياس الأبعاد والأعماق الداخلية والخارجية، والأقطار، والمراكز، والشقوق المستقيمة والمسطحة والمحيطية.

3- الميكرومتر: الميكرومتر هو أحد أدوات القياس الدقيقة.

4- زاوية الضبط القائمة: هي مسطرة محمولة على قاعدة تستعمل لضبط الزوايا القائمة، ويستعمل مدرج المسطرة لقياس الأبعاد.

5- المجموعة المركبة: تحتوي المجموعة المركبة على مسطرة قياس، زاوية الضبط القائمة، ميزان التسوية الكحولي، المنقلة القدمة وأداة إيجاد المركز. تستعمل المجموعة المركبة لإيجاد مراكز الأعمدة والقضبان ذات المقاطع الدائرية. كما في الشكل (1-3).



الشكل (1-3) المجموعة المركبة

6- المُبين ذو القرص المدرج: يستخدم في كثير من عمليات القياس والمعايرة، حيث يستخدم للمقارنة بين ارتفاع سطح معلوم وارتفاع سطح مجهول. كما يمكن بواسطته تحديد الاستقامة والاستواء للسطوح، وكذلك معرفة مقدار تمركز أي سطح أسطواني.

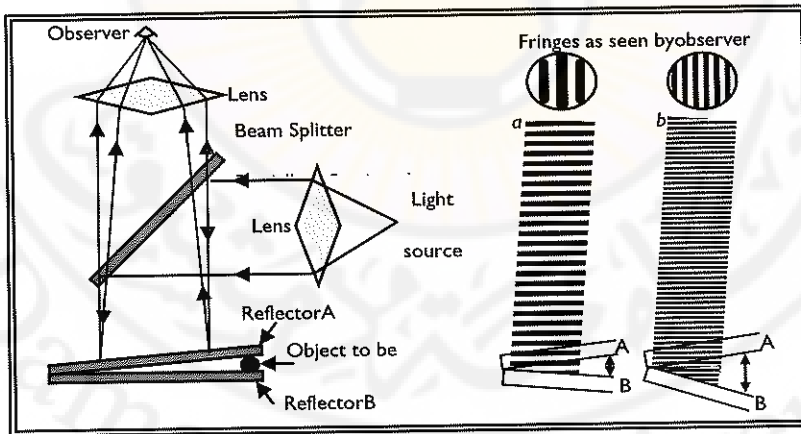
7- ميزان التسوية الكحولي: تتوفر موازين التسوية الكحولية بأحجام وأشكال ودقة مختلفة، وتستخدم هذه الموازين لمعرفة توازن السطوح عند فحص آلات الإنتاج.

يحتوي ميزان التسوية الكحولي على قارورة زجاجية مقوسة تحتوي على كحول وفقاعة هوائية. تبقى هذه الفقاعة عند فحص السطوح الأفقية في أعلى نقطة من التقوس، وفي حالة وجود أي ميل في السطح المطلوب معرفة توازنه تتحرك هذه الفقاعة عن موقعها المشار إليه، مبينة بذلك ميلان السطح. وكلما كبر قطر التقوس للقارورة كانت دقة القياس عالية.

ب- أجهزة القياس نوع النقل: لا تحتوي هذه الأجهزة على تدريجات لأخذ القراءات مباشرة لذلك يتم الاستعانة بأجهزة أخرى مساعدة مثل المسطرة والقلم لاستخراج قراءة الأبعاد التي يتم قياسها.

2-3-3- أجهزة القياس الضوئية والليزرية: تعتمد هذه الأجهزة على استخدام ظاهرة التقاطع وظاهرة التداخل واستخدام الليزر في قياس أبعاد المنتجات. أهم الأجهزة المستخدمة في الورش:

1- مقياس التداخل: يستخدم لقياس المسافة والسماكة بواسطة قياس الأطوال الموجية، كما في الشكل (2-3). في بداية القياس يقوم فائق الحزمة بتقسيم حزمة الضوء إلى الحزمة المقاسة وحزمة المرجع. تنتقل الحزمة المقاسة إلى العاكس (A) وهو صفيحة زجاجية ضوئية وهو المستند على الجزء الذي يراد قياس مسافته، بينما حزمة المرجع توجه مباشرة إلى عاكس ثابت (B)، بعد ذلك تنعكس كلا الحزمتين راجعة خلال فائق الحزمة حيث يتوحدان في حزمة واحدة قبل الانتقال إلى الراصد. هذه الحزمة الموحدة تنتج هُذب التداخل، اعتماداً فيما إذا كانت أمواج الحزمتين الراجعة متوافقة الطور (In-Phase) أو خارج الطور (Out-Phase). تنتج الأمواج متوافقة الطور سلاسل (شرائط) أو حزم لامعة، في حين تنتج الأمواج خارج الطور حزمًا داكنة.



الشكل (2-3) مبدأ عمل جهاز مقياس التداخل

2- نظام قياس المسح الليزري: يعتمد القياس بهذا الجهاز على وضع الجسم بين مصدر الحزمة ومستقبل يتضمن صمام ثنائي ضوئي، بعدها يقوم معالج مايكروبي بحساب أبعاد الجسم اعتماداً على الظل الذي يطبعه الجسم.

3- مقياس التداخل الليزري: يستخدم هذا الجهاز حزمة من الهليوم-النيون، التي تفلق إلى حزمتين، كل حزمة مختلفة في التردد والاستقطاب. عندما تجمع الحزمتان فإن أية حركة بين البصريات تخلق إزاحة دوبلر في التردد، بعدها تحول الإزاحة إلى قياس المسافة.

3-4- أجهزة المعايرة:

تُدعى أيضاً مُحددات القياس، وتستخدم في الإنتاج الكمي الكبير حيث لا يمكن أخذ كل القراءات للأجزاء المصنعة بسبب الكلفة العالية، لذلك يتم حساب فيما إذا كان الجزء المصنع يقع ضمن حدود الإنتاج المسموح بها أو لا، وذلك بواسطة أجهزة المعايرة أو مُحددات القياس. تُصنع مُحددات القياس من المواد ذات المساواة العالية مثل الفولاذ عالي الكربون والفولاذ السبائكي ويكون لها حدان رئيسان هما:

1- دخول Go أي الأبعاد المسموح بها والتي تقع ضمن حدود القياس.

2- لا دخول Not Go الأبعاد التي لا تقع ضمن حدود القياس وغير مسموح بها.

3-4-1 أنواع أجهزة المعايرة:

هناك أنواع عديدة من أجهزة المعايرة أو مُحددات القياس المستخدمة في جميع المعامل والورش الإنتاجية. تختلف مُحددات القياس عن بعضها البعض في طبيعة عملها حسب الغرض المطلوب منها.

تصنف مُحددات القياس حسب عملها كالآتي:

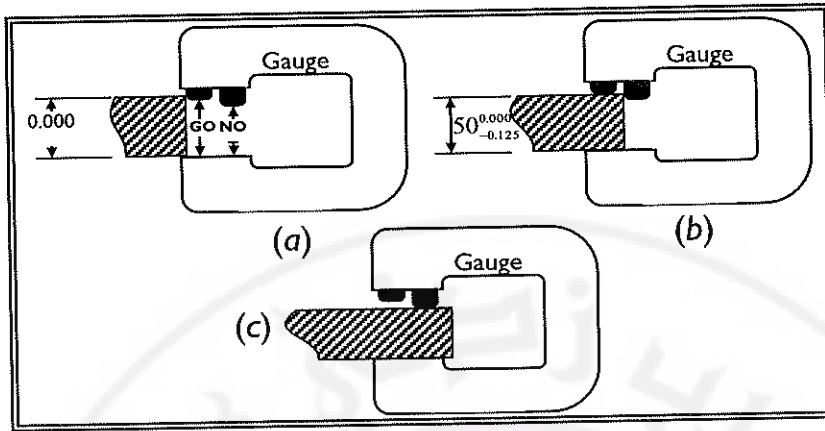
أولاً- مُحددات قياس الأبعاد الخارجية: تحتوي هذه المحددات على فكوك يثبت عليها

البعد الاسمي والسماحات المسموح بها للمنتج. من أهم أنواع هذه المحددات:

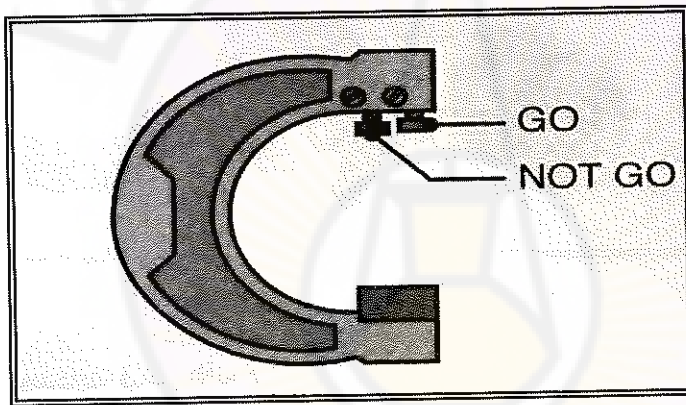
1- مُحددات القياس الإطباقية: تحتوي على فتحة ثابتة وأخرى قابلة للحركة، وتحتوي

على حد دخول وحد لا دخول. يبين الشكل (3-3) مبدأ عمل هذه المحددات. ويبين

الشكل (3-4) مُحدد قياس إطباقي.



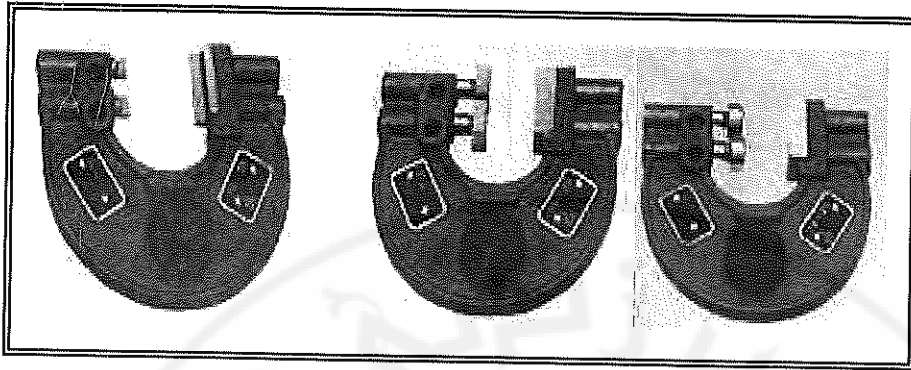
الشكل (3-3) مبدأ عمل مُحددات القياس الإطباقية



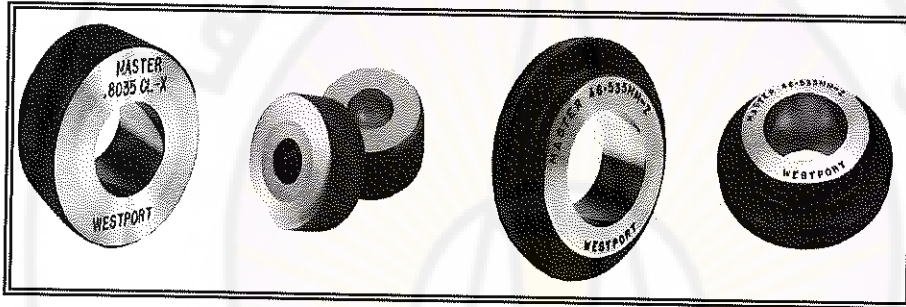
الشكل (4-3) مُحدد قياس إطباقي

2- مُحددات القياس الإطباقية القابلة للضبط: تعد من مُحددات القياس الإطباقية، التي أحد فكوكتها قابل للحركة ويمكن ضبطه على الأبعاد المطلوبة، الشكل (3-5).

3- مُحددات القياس الحلقية (Ring Gauges): تستعمل لقياس الأعمدة والمحاور أو الأجزاء الأسطوانية، حيث تستخدم فتحة مساوية لحد البعد Go وأخرى Not Go للبعد نفسه كما في الشكل (3-6).



الشكل (3-5) مُحددات قياس إطباقية قابلة للضغط



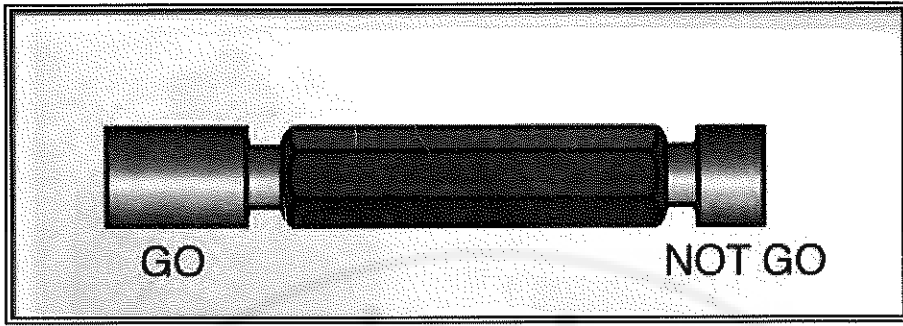
الشكل (3-6) مُحددات القياس الحلقية

ثانياً- مُحددات قياس الأبعاد الداخلية:

تستخدم لقياس الأبعاد الداخلية للأجزاء المصنعة ولها عدة أنواع:

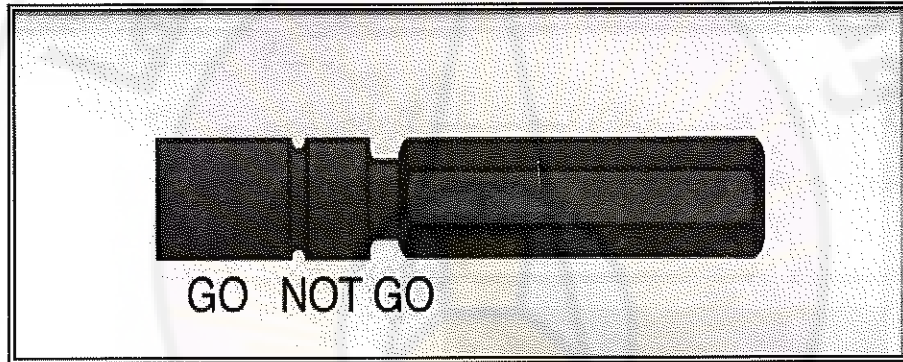
- 1- مُحددات القياس السدادية ثنائية الطرف: يمتلك هذا المحدد قطر مفرد للسيطرة على الحدود العليا والدنيا للثقب. تحتاج المعايير في هذا النوع إلى محددتين للقياس: الأصغر يسمى GO للسيطرة على الأبعاد المسموح بها (الدنيا)، والواسع يسمى NOT GO للسيطرة على الأبعاد الكبيرة. عادة يكون المرء الواسع أقصر من الجزء الأصغر.

يبين الشكل (3-7) محدداً سدائياً ثنائي الطرف.



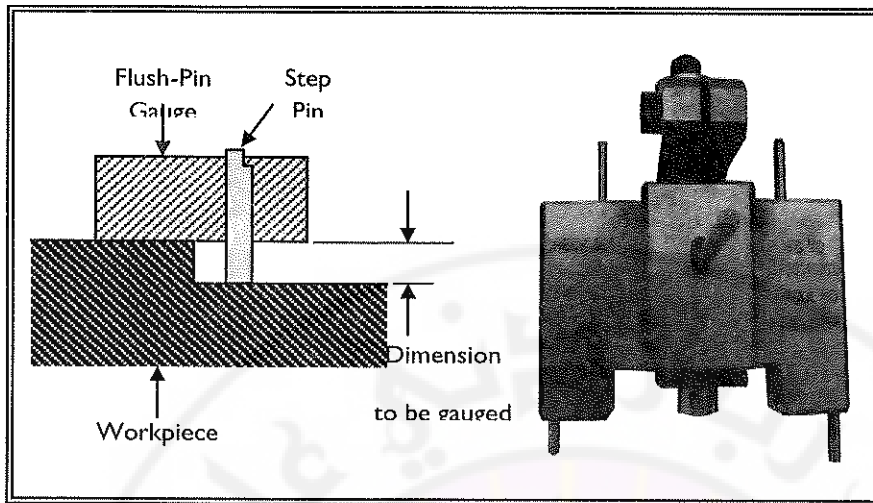
الشكل (7-3) مُحدد قياس سدادي ثنائي الطرف

2- مُحددات القياس السدادية الثنائية المتتابعة: حدا الدخول واللا دخول واقعان في الجهة نفسها، ويقع جزء الدخول على النهاية الخارجية كما في الشكل (8-3).



الشكل (8-3) مُحدد قياس سدادي ثنائي متتابع

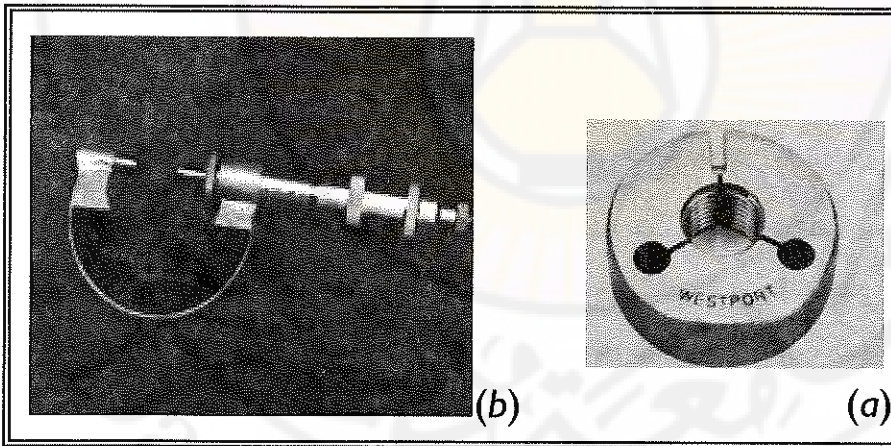
3- مُحددات القياس الثنائية مسطحة الحدين: تستخدم هذه المحددات لقياس حدود البُعد بين السطحين، وكذلك أعماق الثقوب. يتم وضع المقطع الرئيس للمحدد على أعلى السطحين مع استناد المسمار المتدرج على السطح الأدنى فإذا كان العمق بين السطحين ليس كبيراً جداً، فإن قمة المسمار ستكون فوق قمة سطح محدّد القياس بشكل طفيف. أما إذا كان العمق كبير جداً فإن المسمار سيكون أسفل السطح. وفي حالة كون العمق صغيراً ستكون الخطوة المنخفضة في أعلى سطح جسم محدّد القياس. يوضح الشكل (9-3) مُحدد قياس ثنائي مسطح الحدين.



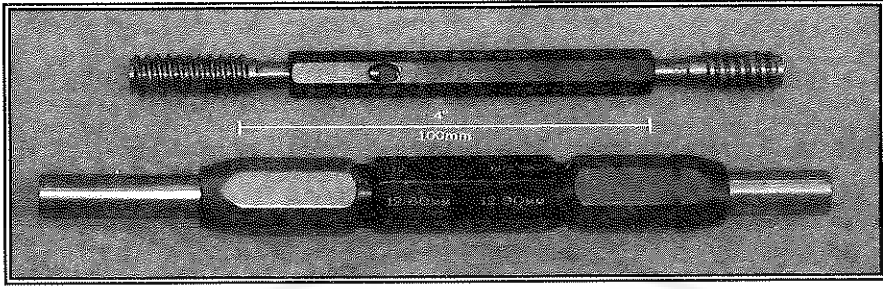
الشكل (9-3) مُحدد قياس ثنائي مسطح الحدين

ثالثاً— مُحددات قياس الأسنان:

تستخدم هذه المحددات لقياس أجزاء الأسنان الداخلية والخارجية. يبين الشكل (10-3) مُحدد قياس حلقي لقياس الأسنان الخارجية وميكرومتراً للقياس الخارجي. ويبين الشكل (11-3) مُحددات قياس الأسنان الداخلية.



الشكل (10-3) مُحددات قياس الأسنان الخارجية

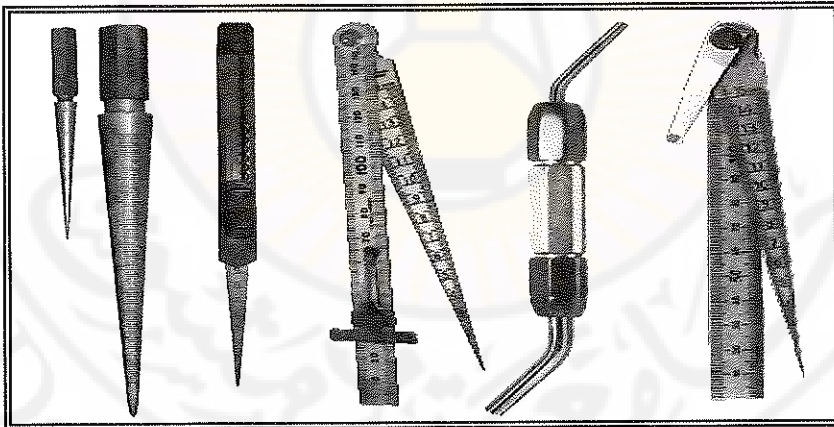


الشكل (11-3) مُحددات قياس الأسنان الداخلية

رابعاً- مُحددات قياس الأجزاء المستدقة الطرف:

تستخدم للأجزاء مستدقة الأطراف الداخلية والخارجية. تقوم هذه المحددات بمعايرة كل من زاوية الجزء المستدق وحجمه. أي انحراف عن الزاوية الصحيحة سوف يلاحظ عن طريق الاسترخاء بين المحدد السدادي والثقب المستدق. أما الحجم فيفحص بواسطة العمق الذي تتوافق إليه السدادة داخل الثقب، والعمق الصحيح يدرج بواسطة علامة على السدادة.

يوضح الشكل (12-3) عدد من مُحددات القياس للأجزاء المستدقة.



الشكل (12-3) مُحددات قياس متنوعة للأجزاء المستدقة

3-5- قياس الأبعاد باستخدام المساطر الحديدية

يُعد قياس الأبعاد من بين أهم العمليات التقنية التي نقوم بها خلال عمليات التشغيل والإنتاج الصناعي للقطع بحيث تؤدي هذه العملية دوراً مهماً في تصنيع القطع حسب المواصفات الفنية، وبالتالي ضمان جودتها، حيث تستعمل القياسات الدقيقة كأداة تقييم للعمليات الإنتاجية وضمان تصنيع منتجات تحقق مستوى الأداء المطلوب. فمع التقدم التكنولوجي الهائل في مجال القياسات الذي سمح بتوفير أجهزة إلكترونية دقيقة ومعقدة لقياس الأبعاد، إلا أن الأجهزة الميكانيكية البسيطة تبقى سيدة مجال القياسات في ورش التشغيل والمخابر.

من أهم هذه الأجهزة والمعدات التي ما زالت وستبقى إلى أجل غير مسمى في متناول الفني والمهندس لإجراء قياسات الأبعاد المختلفة:

1. المساطر الحديدية المدرجة.

2. أدوات نقل الأبعاد.

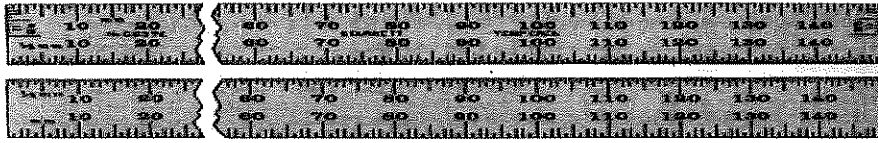
3. القدمات ذات الورنية.

4. الميكرومترات.

5. قوالب القياس والمعايرة.

3-5-1- المساطر المدرجة:

هي أدوات قياس بسيطة لقياس الأطوال، ويتم فيها قراءة القيمة المطلوب قياسها مباشرة من على التدريج الموجود عليها، وتتراوح أطوال المساطر المدرجة من 100مم وحتى 5م. وتستعمل في ورش الإنتاج مساطر فولاذية بأطوال 100مم، 300مم، 500مم وحتى 1000مم، ويتم تصنيعها من فولاذ النوابض الرقيق المصلد، ويكون محفوراً عليها تدريج مليمي أو نصف مليمي، وبالتالي يمكن استخدام المساطر المدرجة لقياس أبعاد حتى 0.5mm، وفي بعض المساطر تصل دقة القياس (حساسية المسطرة) في المساطر المليمترية إلى 0.25mm وهي القيمة التي يمكن تمييزها بالعين المجردة. حيث إن ذلك هو أقل تقسيم على المسطرة. يبين الشكل (3-13)، مسطرة مدرجة.



الشكل (3-13) المساطر المدرجة

3-5-2- أنواع المساطر الحديدية:

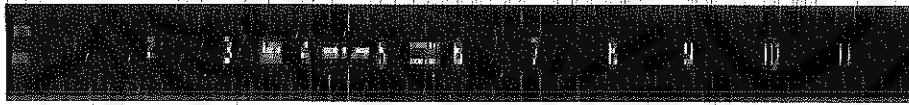
تُعدّ المسطرة الحديدية من أدوات قياس الأبعاد الأكثر شيوعاً في الورش والمصانع. تستعمل عادة في إجراء القياسات العادية للقطع والمشغولات وفي نقل الأبعاد من الرسومات والتصاميم إلى خامات التشغيل والقطع المصنعة. تصنع المساطر عادة من الفولاذ الذي لا يتأثر كثيراً بالتغيرات التي قد تحدث في محيط العمل من درجة الحرارة والرطوبة والاهتزازات.

تُعد المساطر الحديدية المدرجة أقدم أدوات القياس وأكثرها شيوعاً في عمليات القياس بالورش والمعامل، وتتعدد وتنوع تبعاً لشكل المشغولة المراد قياسها ونوعها. ويوضح شكل (3-14) مسطرة بحافة جانبية مدرجة مستخدمة في القياس، وفيما يلي أنواع أخرى هي:



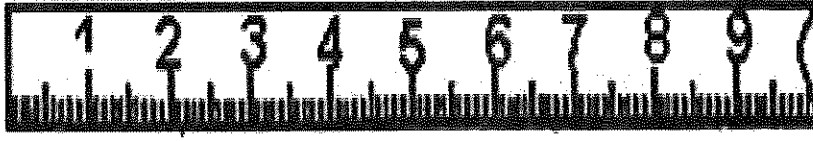
الشكل (3-14) مسطرة بحافة جانبية مدرجة

أ- مسطرة فولاذية رفيعة: تستعمل في قياس الأطوال في الأماكن الضيقة، كما تستخدم في قياس أعماق الثقوب، الشكل (3-15).



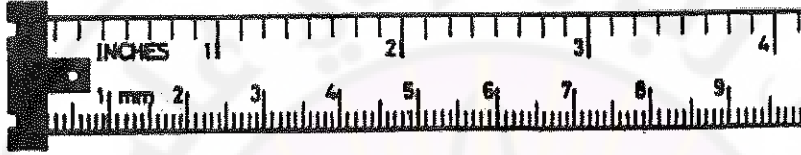
الشكل (3-15) مسطرة فولاذية رفيعة (ضيقة) لقياس أعماق الثقوب

ب- مسطرة فولاذية مرنة: تسمى قدم نظراً لأن الجزء المدرج منها طوله قدم واحد، وتصنع من فولاذ النواض، بحيث يمكن ثنيها على المشغولة، الشكل (3-16).



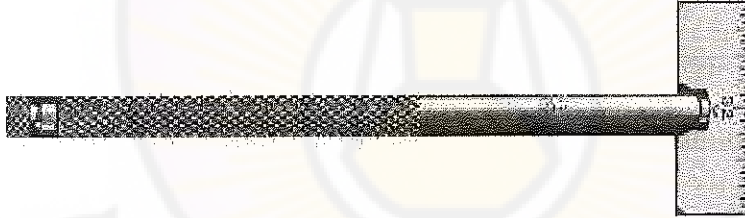
شكل (3-16) مسطرة فولاذية مرنة

ج- مسطرة فولاذية بحافة الارتكاز: تستعمل في قياس أبعاد المشغولات من حافتها، كما تستعمل حافة الارتكاز في تثبيت نقاط ارتكاز فرجار القياس على تدريج المسطرة، كما في الشكل (3-17).



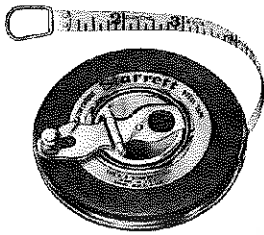
الشكل (3-17) مسطرة فولاذية بحافة الارتكاز

د- مسطرة حديدية مع ممسك: تستخدم المسطرة الحديدية ذات الممسك لقياس أبعاد المشغولات الصغيرة في المعامل وورشات الإنتاج، الشكل (3-18).

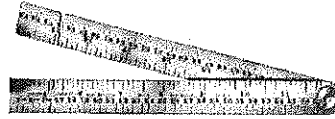


الشكل (3-18) مسطرة حديدية صغيرة مع ممسك لقياس الأبعاد الصغيرة

وهناك أيضاً المساطر المفصلية والشرائط وهي مصنعة من المعادن كالألومنيوم أو الفولاذ أو البلاستيك أو الأقمشة المغلفة بالبلاستيك أو من عقل خشبية أو معدنية (طول العقلة يساوي 100mm) متصلة ببعضها مفصلياً حتى يمكن تطبيقها وفردها عند إجراء القياس. أما الطول الكلي فيكون عادة متراً واحداً أو مترين، الشكل (3-19). يُعد شريط القياس المصنوع من الفولاذ أدق أنواع الشرائط، حيث إنّ الشرائط المعزولة تتعرض للاستطالة أو للانكماش.



(ب)



(د)

الشكل (3-19) المساطر المفصلية وشرائط القياس

3-5-3- استخدام المسطرة الحديدية:

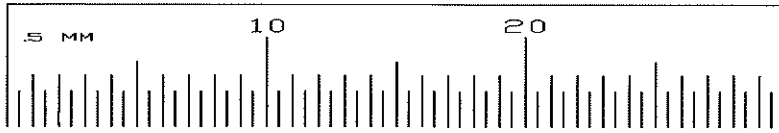
تحتوي المسطرة الحديدية على تدرج بالبوصة من ناحية وبالمليمتر من ناحية أخرى. ينصح باستعمال وحدة المليمتر في قياساتنا، وهذا تماشياً مع النظام الدولي للقياسات SI، إلا أنه في بعض الحالات يمكن إجراء القياس تبعاً للنظام الإنكليزي حيث تستعمل وحدة البوصة. لذلك على الفني والمهندس أن يتقن القياس على المسطرة الحديدية بالوحدتين، كما يمكنه استعمال بعض الجداول الصناعية الموجودة في الورش.

تسمح المسطرة الحديدية بإجراء قياس أطوال المشغولات بدقة قياس تساوي 1mm، في حين يمكن إجراء القياس بدقة 0.25mm على بعض المساطر. تجدر الإشارة إلى أنه يجب استعمال حد المسطرة في عمليات تحديد الأبعاد وقياسها، وذلك للحصول على قراءات أو علامات دقيقة ما أمكن، وهذا يساعد على وضع العلامة بحيث تكون منطبقة تماماً مع التدرج، وتستعمل الشوكة لتحديد الخطوط الدقيقة أو وضع خطوط التشغيل وحدوده بكل دقة. تدرج المسطرة المحسدة للوحدة البريطانية بأحد أجزاء البوصة وهي:

128/1, 64/1, 32/1, 16/1, 8/1, 4/1, 2/1, 8/5, 4/3, 8/7

3-5-4- قراءة قياس المسطرة الحديدية:

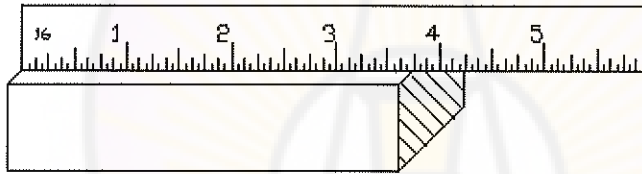
تُعد المسطرة من أول أجهزة قياس الأبعاد التي تعاملنا معها منذ السنوات الأولى للدراسة الابتدائية نظراً لسهولة استعمالها حيث إنّ قراءة القياس عليها بسيط جداً. عادة ما تكون المسطرة مدرجة بالمليمتر (1mm) أو (0.5mm)، الشكل (3-20).



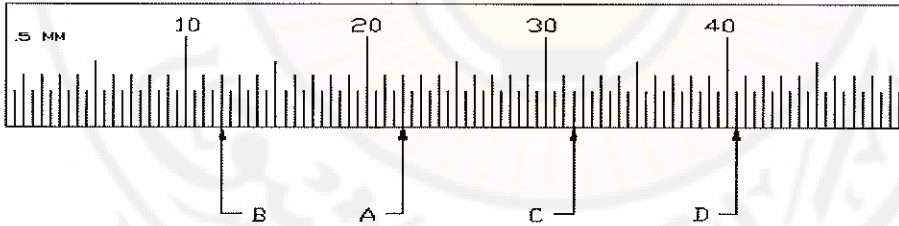
الشكل (20-3) دقة المسطرة = 0.5mm

لإجراء القياس الدقيق على المسطرة الحديدية نتبع التالي:

- 1- نحدد دقة القياس على المسطرة (إما أن تكون 1 ملم أو 0.5 ملم) في المسطرة المترية، أو أحد أجزاء البوصة في المسطرة البريطانية (1/8) أو (1/16) إلخ.
- 2- نوازي الحافة الأولى للبعد المراد قياسه مع صفر المسطرة.
- 3- نقرأ قيمة القياس على المسطرة والذي يكون موازياً للحافة الثانية للبعد. يجب أن نراعي دائماً أن يكون نظرنا عمودياً على القياس لأن القراءة من زاوية غير عمودية يسبب خطأ في القياس يسمى (خطأ الزاوية)، الشكل (21-3).



دقة المسطرة = 1/16"



الشكل (21-3) عملية القياس

أمثلة عن قراءة القياس على المسطرة

- 1- نحدد قيمة دقة القياس على المسطرة وهي واضحة على الجهاز وتساوي 0.5 مم. ثم نقوم بإجراء قراءة القياس.

2- تقع قراءة القياس A على التدرج 22 بالمليمتر الصحيح وبالتالي فنتيجة قياس A

هي: $A = 22\text{mm}$

3- بالطريقة نفسها تحدد نتيجة قياس B هي: $B = 12\text{mm}$

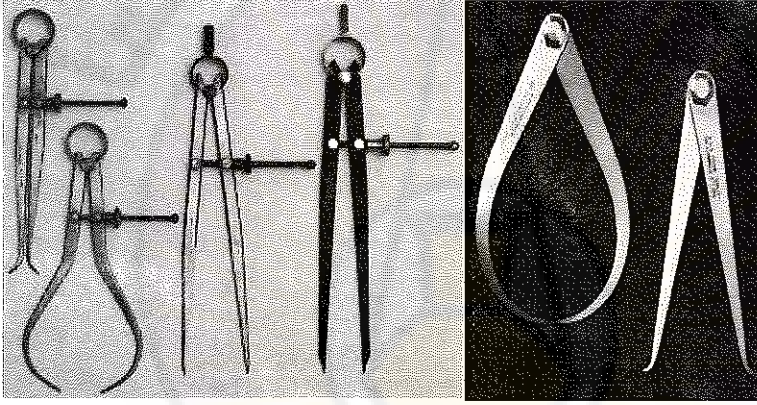
في حين تكون نتيجة قياس C هي: $C = 31 + 0.5 = 31.5\text{mm}$

4- وتكون نتيجة قياس D هي: $D = 40 + 0.5 = 40.5\text{mm}$



3-6- أدوات نقل الأبعاد (الفرجارات)

تستخدم الفرجارات كوسائل مساعدة في عملية القياس بطريقة غير مباشرة، إذ يتم بواسطتها نقل قيمة القياس من المشغولة إلى جهاز القياس أو بالعكس. تستعمل الفرجارات في قياس الدوائر ومراجعتها، كما يستعمل في قياس أقطار الأسطوانات والأبعاد الخارجية والداخلية والسماكات. وتصنع الفرجارات بأشكال مختلفة لتناسب جميع المشغولات؛ فمنها الفرجار الداخلي والخارجي، والفرجار ذو النابض، وجميعها موضح في الشكل (3-22) وتصل حساسية الفرجارات (أي أقل قيمة يمكن قياسها) إلى 0.01 مم.

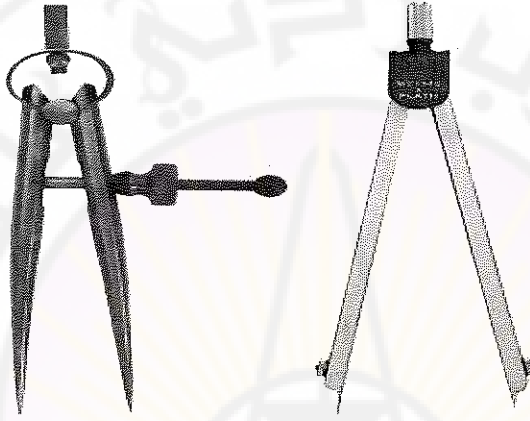


الشكل (3-22) أشكال مختلفة من الفرجارات الداخلية والخارجية

يستخدم الفرجار مع مسطرة القياس وذلك لقياس الأقطار الداخلية والخارجية، حيث يتم وضع أحد ساقي الفرجار على نهاية المسطرة ويقرأ البعد عند نهاية الساق الأخرى، وهذا البعد يمثل قيمة القطر المطلوب أو قيمة فتحة الفرجار بين نهايتي ساقي الفرجار للعمود من الخارج أو للثقب من الداخل ودون ضغط. يستعمل فرجار القياس الداخلي لقياس أقطار الثقوب والشقوق والأبعاد الداخلية، أما الخارجي فيستخدم لقياس الأعمدة والأبعاد المحيطة.

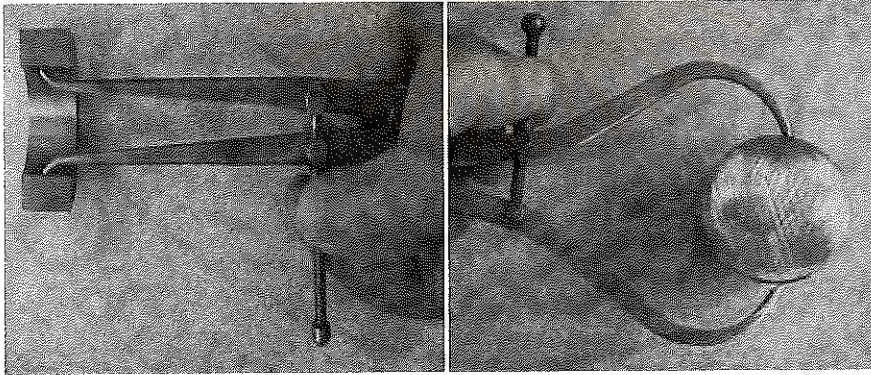
3-6-1- أنواع الفرجار:

أ- فرجار عدل: يستعمل هذا الفرجار في رسم الدوائر على المشغولات ونقل العمليات الهندسية التي وضعها المصمم على لوحة الرسم ويتكون الفرجار العدل من شوكتين مديبتين الطرف ونهايتاهما مثبتتان ببعضهما بمسمار يسمح لهما بالابتعاد والاقتراب من بعضهما كما في الشكل (23-3).



الشكل (23-3) فرجار عدل

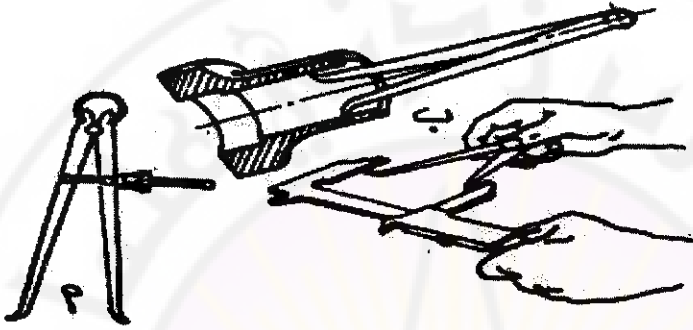
ب- فرجار القياس الخارجي (الكروي): يستعمل في قياس أقطار الأعمدة والأبعاد الخارجية كما في الشكل (24-3)، ويظهر أيضاً فرجار القياس الداخلي.



الشكل (24-3) فرجار القياس الخارجي والداخلي

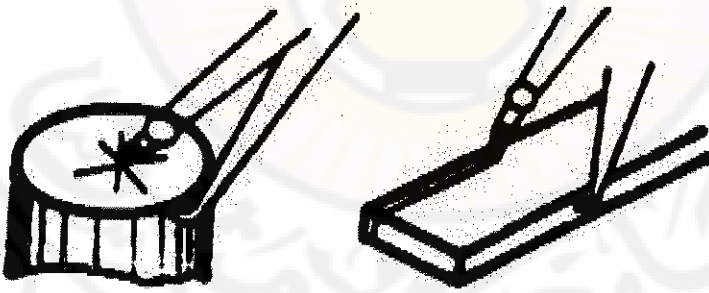
ج- فرجار القياس الداخلي المقص: يستعمل لقياس الأقطار الداخلية.

د- فرجار القياس المزدوج: يستعمل في قياس الأبعاد الخارجية أو الأبعاد الداخلية وهو مماثل لسابقه ويتكون من شوكتين منتهيتين بانحناء إلا أن الاتصال المفصلي بينهما يسمح بأن يكون انحناءها للخارج لقياس الأبعاد الداخلية، أو للداخل لقياس الأبعاد الخارجية. يوضح الشكل (25-3) طريقة استخدام الفرجار الداخلي.



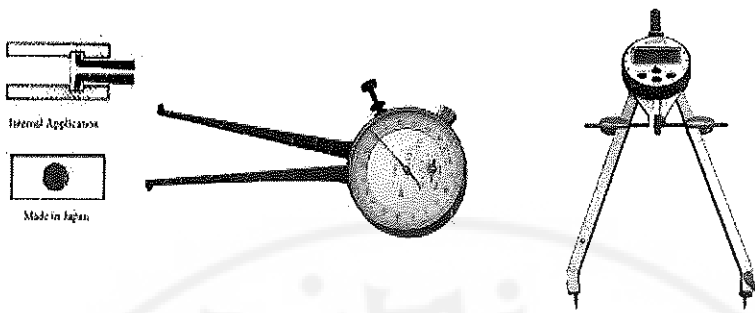
الشكل (25-3) فرجال القياس الداخلي (المقص) والفرجار المزدوج.

هـ- الفرجار ذو الجناح (شوكة): يستعمل لرسم المستقيمات المتوازية للحافات المستقيمة. يوضح الشكل (26-3) طريقة استخدامه حيث تكون الساق ذات الطرف المشني في ملازمة الجانب أو الحافة ويكون الطرف الآخر كشوكة مكان ذبذبة علام.



الشكل (26-3) الفرجار ذو الجناح (شوكة)

توجد بعض أنواع الفرجارات الحديثة التي تعطي قيمة القياس مباشرة، وتكون مزودة بساعة قياس أو تكون إلكترونية (رقمية)، كما في الشكل (27-3).



الشكل (27-3) فرجار داخلي ذو الساعة وآخر رقمي حديث

3-7- قياس الأبعاد باستعمال القدمة ذات الورنية

إن جودة المنتجات الصناعية تستدعي تصنيع قطع ميكانيكية بدقة عالية تتجاوز دقة المسطرة الحديدية، لهذا فإن القياسات الدقيقة تستلزم استعمال أجهزة أكثر دقة، مثل القدمة ذات الورنية والميكرومتر. كما تستعمل هذه الأجهزة الدقيقة أثناء تركيب الماكينات وأدوات القطع، وأثناء إجراء عمليات الصيانة عليها. تعد القدمة ذات الورنية من بين أهم أجهزة القياس المستعملة في ورش الإنتاج والتشغيل. وذلك بسبب إمكانياتها المتعددة في القياس، وبساطة التصميم، وسهولة الاستخدام، زيادة على دقتها الممتازة، بالإضافة إلى ملائمة حساسية قياسها للعديد من التطبيقات الميكانيكية في عمليات التصنيع. كما أنها ملائمة بصفة خاصة للقياسات السريعة، حيث يمكن أن تجري بها قياسات داخلية وخارجية، وكذلك قياسات الأعماق، لذلك فهي موجودة دائماً على خطوط الإنتاج، وآلات التشغيل بورش الإنتاج.

هناك نوعان رئيسان من قدمات القياس:

1- قدمة القياس ذات فك واحد.

2- قدمة قياس ذات فكين مع وسيلة لقياس الأبعاد الداخلية.

تصنع قدمات القياس من الفولاذ غير القابل للصدأ، أو من فولاذ عادي الكربون، ويتم اختيار هذا الفولاذ بحيث يكون معامل التمدد الحراري له أقل ما يمكن.

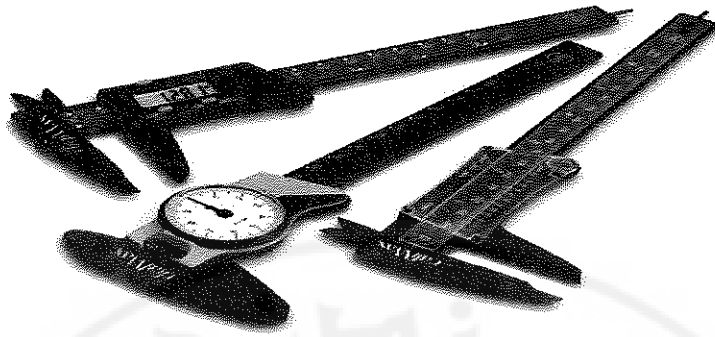
3-7-1- استعمال القدمة ذات الورنية:

تستعمل القدمة ذات الورنية في الورش والمختبرات لإجراء قياسات الأبعاد الخارجية والداخلية وأعماق الثقوب في القطع والمشغولات، الشكل (3-28).

أ - الأبعاد الخارجية External Measurements

ب - الأبعاد الداخلية Internal Measurements

ج - أعماق الثقوب Depth Measurements



الشكل (28-3) قدمات قياس بورنية وذات الساعة ورقمية

3-7-2- توصيف الأجزاء الرئيسية لقدمة القياس:

1- الفك الثابت والفك المتحرك: حسب التوصية الدولية ISO3599-1976 يجب أن يكون الطول الأقصى ثلث مدى القياس لأي مجال قياس أقل أو يساوي 200mm، أما بالنسبة للطول الأدنى لسطحي القياس الداخلي فيتراوح من 6mm حتى 20mm، كما يجب أن يكون مجموع عرض رأس الفك الثابت والمتحرك 5mm أو 10mm أو 20mm. كما أن شكل سطوح القياس الداخلية يجب أن يكون أسطوانياً بنصف قطر لا يزيد على نصف عرضها المركب. ويضع كل من الفكين بحيث يكونان مسطحين من الداخل وعمودين على محور المسطرة الثابت.

2- المسطرة الثابتة: يتم تدرج المسطرة الثابتة بوحدات mm أو inch، ويجب أن يكون طول المسطرة الثابتة كافياً حتى يتمكن من أخذ القراءة المناسبة من دون خروج المنزلة خارج المسطرة، وهذا ينطبق على جميع أنواع قدمات القياس سواءً قدمة القياس ذات الورنية أم قدمة القياس ذات الساعة أم قدمة القياس الرقمية.

3- المدرج الثابت ومدرج الورنية المنزلة: يتم تدرج المسطرة الثابتة بـ mm. ويجب ألا يقل طول المدرج عن مجال القياس لقدمة القياس بالإضافة إلى طول الورنية. يمكن أن يكون طول مدرج الورنية (9mm، 19mm، 39mm أو 49mm). كما يجب أن تكون خطوط المدرج لكل من المسطرة الثابتة والورنية حادة وواضحة على حافة المسطرة الثابتة، ويجب أن تكون سماكة الخطوط لا تزيد على 0.2mm ولا تقل عن 0.08mm.

بالإضافة إلى وجوب كون هذه التدريجات واضحة وسهلة القراءة وسماكتها لا تؤثر في جودة عملية القياس ودقتها، ويختلف التفاوت المسموح به لهذه التدريجات حسب دقة قدمة القياس.

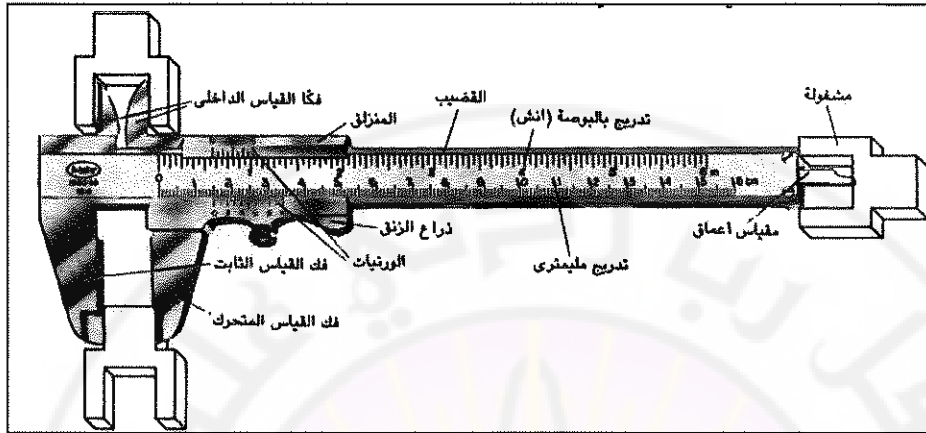
4- وسيلة قياس العمق: تزود قدمة القياس ذات الفكّين المتحركين بنصلة تكون متصلة بالورنية المنزلقة وتستخدم لقياس الأعماق.

5- ساعة قدمة القياس: هناك عدة أنواع من ساعات القياس التي تتركب على الجزء المنزلق من قدمة القياس. ويدور مؤشر قياس الساعة دورة واحدة من أجل فتح الفكّين مسافة معينة، وتدرّج هذه الساعات حسب دقة قياس القدمة، وحسب مجال القياس والاستخدام. يمكن أن تكون الساعة رقمية بحيث تعطي نتيجة القياس رقمياً، ويتراوح مجال القياس فيها من 0 حتى 1000mm، أما خطأ القياس في هذه الأنواع فيتراوح بين $\pm 0.02\text{mm}$ حتى $\pm 0.07\text{mm}$.

3-7-3- مكونات جهاز القدمة ذات الورنية:

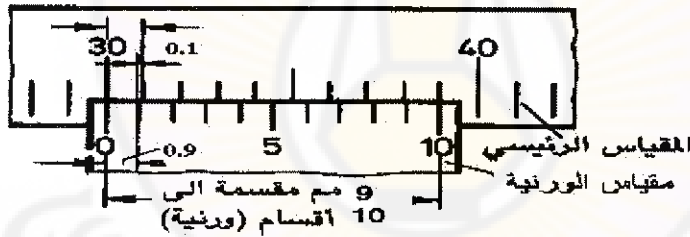
تتكون القدمة ذات الورنية شكل (3-29) من جزأين أساسيين أحدهما ثابت ومدرج عليه مقياس مثل مقياس المسطرة ويسمى بالمقياس الرئيس، وهذا الجزء متصل بأحد فكّي القياس وهو الفكّ الثابت. أما الجزء الأساسي الثاني فهو منزلق، وبه تدريج آخر يسمى بالمقياس الثانوي أو تدريج الورنية (ورنية القياس)، وهذا الجزء متصل بأحد فكّي القياس الذي يسمى بالفكّ المتحرك. كما تحتوي القدمة ذات الورنية على ساق أو عمود لقياس أعماق الثقوب. تتم عملية القياس بوضع المشغولة المراد تحديد مقاسها بين فكّي القدمة الثابت والمتحرك (دون الضغط عليهما بقوة). وبذلك يكون الفكّ المتحرك أو تدريج الورنية قد تحرك بالنسبة للتدريج الرئيس مسافة تساوي قيمة البعد المطلوب تحديده. والشكل المشار إليه يوضح أجزاء القدمة العامة ذات الورنية وكيفية استخدامها في قياس الأبعاد الخارجية والداخلية والأعماق. وتعتمد فكرة القياس بوساطة القدمة ذات الورنية على نظرية مقياس الورنية، وهي تحديد قيمة كسور أقل تدريج على المقياس الرئيس، وهذه القيمة تعتمد على أسلوب تدريج مقياس الورنية الذي تم تقسيمه إلى عدد

اختياري من الأقسام تبعاً للحساسية المطلوبة، فكلما زاد عدد أقسام التدرج الثانوي زادت حساسية الورنية، أي أمكن للقراءة قياس أبعاد أدق وأصغر.



الشكل (29-3) الأجزاء الرئيسة للقراءة ذات الورنية واستخداماتها

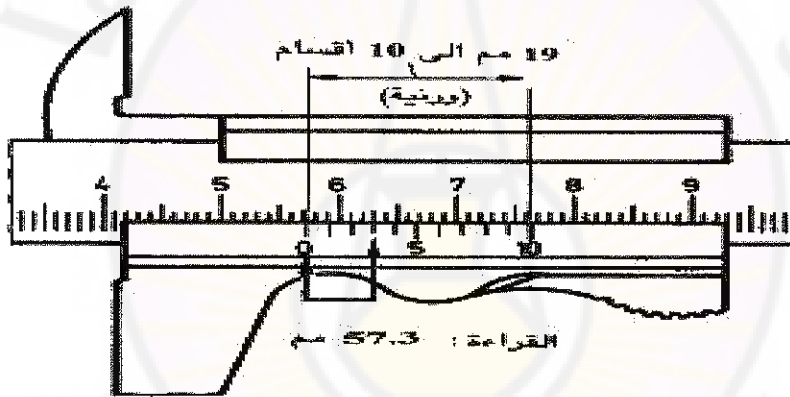
لتوضيح نظرية مقياس الورنية، سنتناول القراءة ذات التدرج المترى التي يكون طول القسم الواحد على تدرجها الرئيس يساوي 1 مم. الشكل (30-3).



الشكل (30-3) تقسيم مقياس الورنية العشرية

كما هو ظاهر على الشكل (30-3) يتم اختيار عدد من أقسام التدرج الرئيس وليكن (n) قسم، فيكون الطول الكلي لهذه الأقسام مساوياً n مم. ويتم تقسيم هذه المسافة إلى عدد من الأقسام يساوي (n + 1) على مقياس الورنية، وبالتالي يكون طول القسم الواحد على تدرج الورنية يساوي $\left(\frac{n}{n+1}\right)$ مم. وعلى ذلك يكون الفرق بين طول القسم الواحد على التدرج الرئيس والتدرج الثانوي مساوياً $\left(\frac{n}{n+1}\right)$ ، هذا الفرق هو أقل بعد يمكن تحديده باستخدام القراءة، ويسمى حساسية الورنية.

توجد ورنيات عشرية وعشرينية وخمسينية، تختلف هذه الورنيات في عدد أقسام التدرج الثانوي. ففي القدمة ذات الورنية العشرية يكون عدد الأقسام $(n + 1)$ يساوي 10 وبالتالي تكون حساسية هذه القدمة 0.1mm . وبالمثل تكون حساسية القدمة العشرينية $1/20 = 0.05\text{mm}$ ، ودقة القدمة الخمسينية $1/50 = 0.02$ كما توجد قدمات ذات تدرج موسع على الورنية يكون فيه الطول الذي يتم تقسيمه على الورنية أطول من ذلك الموجود على القدمة العادية. مثال: في الورنية العشرية الموسعة يتم تقسيم 19 مم إلى 10 أقسام على الورنية (بدلاً من 9 مم في حالة الورنية التقليدية)، كما في الشكل (31-3) ويجب التأكيد على أن هذه الزيادة في طول الأقسام على الورنية لا تؤثر في حساسية القدمة، لكنها تجعل القراءة أسهل وأوضح.



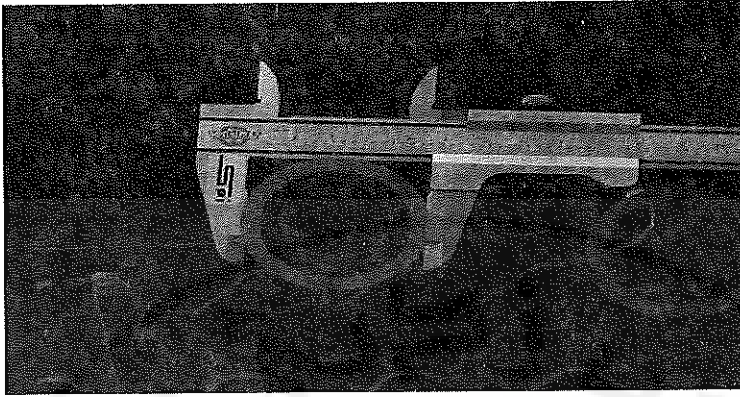
الشكل (31-3) الورنية العشرية الموسعة

3-7-4- أنواع القدمات ذات الورنية:

أهم أنواع القدمات المستعملة لقياس الأبعاد في المخابر والورش:

1- القدمة المنزقة ذات الورنية المدرجة:

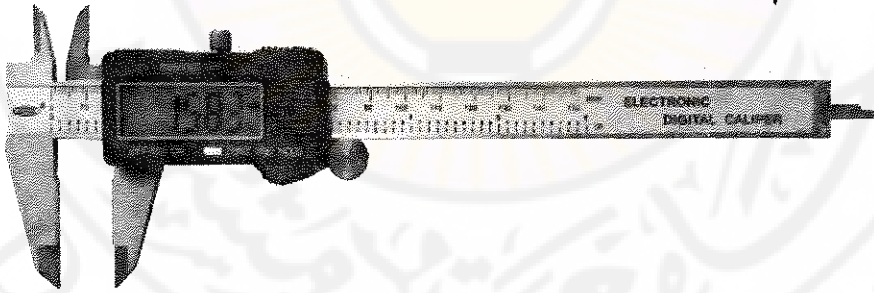
الورنية المنزقة عبارة عن تدريجات إضافية مساعدة لقراءة أجزاء المليمترات أو لقراءة أجزاء البوصة. تستعمل قدمة القياس ذات الورنية المدرجة لقياس الأبعاد الداخلية والخارجية وأعماق القطع في المعامل والورش الإنتاجية، الشكل (32-3).



الشكل (32-3) القدمة ذات الورنية المدرجة لقياس القطر الخارجي لأسطوانة

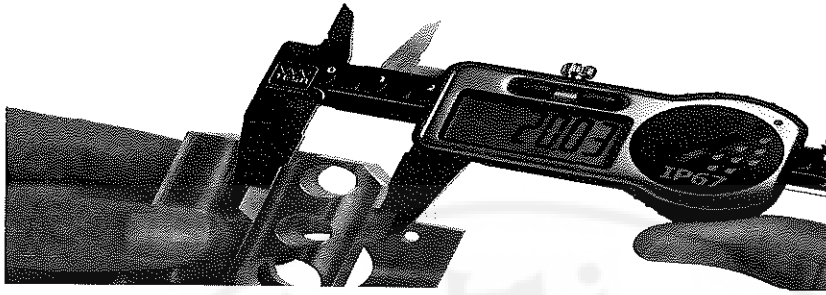
2- القدمة الإلكترونية أو الرقمية:

تكون مجهزة بشاشة صغيرة تظهر عليها القراءة مباشرة، كما في الشكل (33-3)، وتصل حساسياتها إلى 0.01 مم أو 0.0005". يتم تركيب الساعة الرقمية على مكان المنزلقة حيث توجد آلية خاصة لتحويل المسافة الخطية للمنزلة إلى رقم يظهر على الشاشة. تستعمل في قياس الأبعاد الداخلية والخارجية، وأبعاد الثقوب، والمجاري، والشقوق، والارتفاعات والأعماق. ويوجد من القدمات الرقمية أنواع يمكن وصلها بالحاسوب، وبالتالي يمكن إجراء قياسات عديدة وحفظ قيمها بسرعة عالية.



الشكل (33-3) القدمة الرقمية

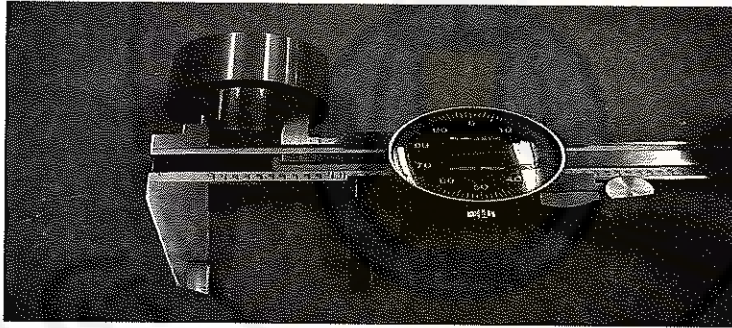
تستعمل القدمة الإلكترونية بالطريقة نفسها المذكورة للقدمة ذات الورنية. إلا أن قراءة نتيجة القياس تكون مباشرة على الشاشة الإلكترونية، الشكل (34-3). يتميز هذا النوع بسهولة استعماله ولكنه حساس وقد تتأثر دقته بالحرارة، والرطوبة والمواد الكيميائية.



الشكل (34-3) قدمة إلكترونية رقمية تستعمل لقياس قطر خارجي

3- القدمة ذات الساعة:

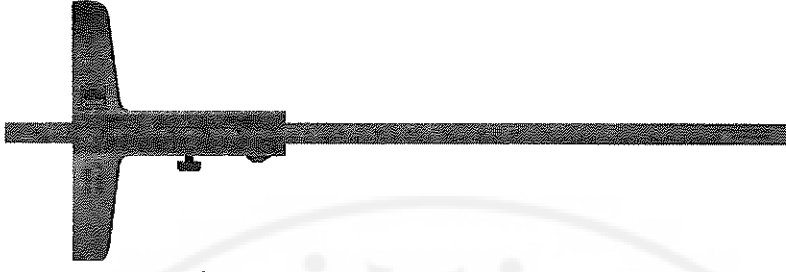
تحتوي ورنيتها على ساعة قياس كما في الشكل (35-3) ويتم بواسطة الساعة تحديد قيمة القراءة بحساسية تصل إلى 0.02 مم أو 0.001". تستعمل القدمة ذات الساعة بالطريقة نفسها المذكورة للقدمة ذات الورنية. إلا أن قراءة نتيجة القياس تؤخذ مباشرة من مؤشر الساعة، يتميز هذا النوع بسهولة استعماله.



الشكل (35-3) استخدام القدمة ذات الساعة في قياس البعد الداخلي

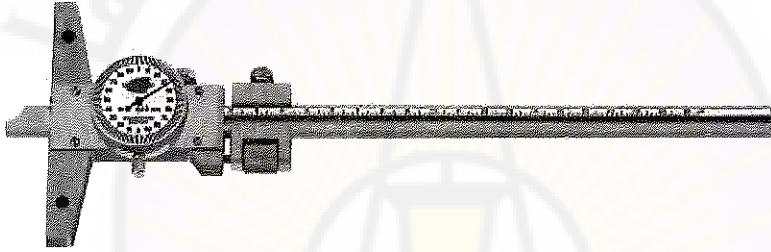
4- قدمة قياس الأعماق:

تستعمل هذه القدمة لقياس أعماق المجاري الطولية، وأطوال الثقوب، والثقوب النافذة، والتجاويف للمشغولات المختلفة. تتكون هذه القدمة من قضيب القياس الرئيس وقنطرة موجود عليها ورنية القياس، كما في الشكل (36-3). يوجد ثلاثة أنواع لقدمة قياس الأعماق: قدمة قياس الأعماق ذات الورنية، وقدمة قياس الأعماق الإلكترونية، وقدمة قياس الأعماق ذات الساعة، الشكل (37-3).



الشكل (36-3) القدمة ذات الوزنية لقياس الأعماق

ولإجراء عملية القياس تثبت القنطرة على سطح قطعة التشغيل بحيث يتركز قضيب القياس على السطح الداخلي (قاع المشغولة) ثم يربط مسمار التثبيت وتقرأ قيمة القراءة بالطريقة التي سبق ذكرها.



الشكل (37-3) قدمة قياس الأعماق ذات الساعة

يجب مراعاة القواعد التالية عند استخدام قدمة قياس الأعماق:

أ- التأكد من امتداد فك القياس المسافة الكافية لملاسة سطح الشغلة.

ت- وضع القدمة عمودياً على الشغلة دون انحراف.

ث- عدم زيادة أو نقصان ضغط الارتكاز لفك القياس على المشغولة.

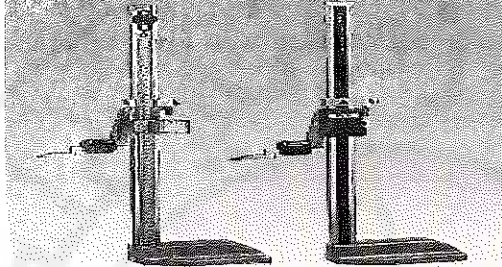
5- قدمة قياس الارتفاعات:

تستعمل لقياس ارتفاع القطع والمشغولات وفي تحديد العلامات عليها (عملية الشنكرة)، لذلك تسمى بالشنكار. تتكون هذه القدمة من مقياس رئيس يتركز على قاعدة القدمة وفك متحرك، يختلف شكله تبعاً لنوع القدمة ويحتوي على الوزنية، الشكل (38-3).

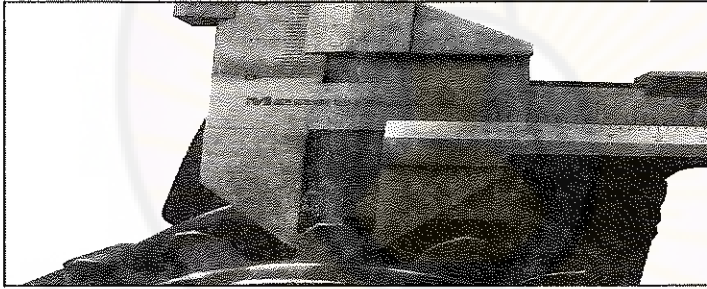
6- قدمة قياس أسنان التروس:

تستعمل في قياس عرض سن الترس عند دائرة الخطوة وتتكون من قدمة ذات ورنية مماثلة

للنوع المستخدم في قياس الأبعاد الخارجية إلا أنها مزودة بمصد متحرك يتركز على السطح العلوي لسن الترس عمودياً على القدمة الرئيسة. وهذا المصد له تدريج ينزلق من خلال تقسيم ورنية أخرى لتحديد الارتفاع الدقيق الذي نقيس عنده عرض السن عند دائرة الخطوة، كما في الشكل (39-3).



الشكل (38-3) قدمة قياس الارتفاعات



الشكل (39-3) قدمة قياس أسنان التروس

3-7-5- تدريجات قدمة القياس:

يتألف المدرج الرئيس من مسطرة ثابتة مدرجة بالمليمتر (المسافة بين كل تدريجتين متتاليتين مقدارها 1mm)، ويجري التقييم عند كل سنتيمتر. أما الورنية فتتألف من مدرج إضافي ينزلق أمام المدرج الرئيس للمسطرة الثابتة، كما أن مسطرة الورنية مدرجة بتدريجات ذات طول مختلف عن التدريجات الموجودة على المسطرة الثابتة. إن أبسط أشكال تدريج الورنية هو تقسيمها إلى 10 أجزاء متساوية المسافة بين كل تدريجتين تساوي 0.9mm ويكون بذلك طول مدرج الورنية:

$$0.9 \times 10 = 9\text{mm}$$

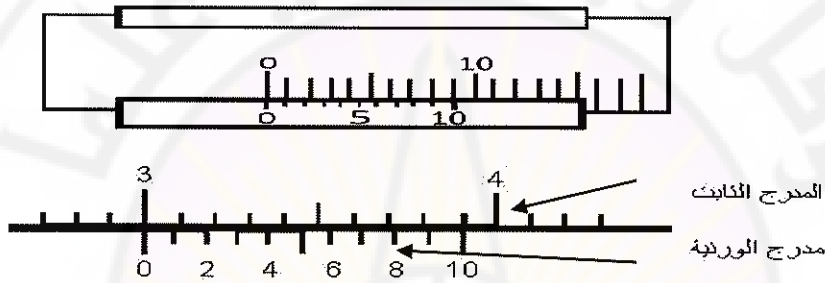
وينتج عن ذلك أنه عند انطباق صفر الورنية على صفر المسطرة الثابتة يكون خط التدرج الأول من الورنية على مسافة 0.1mm من خط التدرج الأول من المسطرة الثابتة، بينما يبعد خط التدرج الثاني من الورنية عن خط التدرج الثاني من المسطرة الثابتة مسافة مقدارها 0.2mm وبالنسبة لخط التدرج الثالث تكون هذه المسافة 0.3mm، وهكذا حتى التدرج العاشر من الورنية فإنه ينطبق على خط التدرج التاسع من المسطرة الثابتة.

إن دقة القراءة لقراءة القياس المدرجة بهذه الطريقة تكون عبارة عن الفرق بين التدرج الأول للورنية والتدرج الأول للمسطرة الثابتة؛ أي 0.1mm، وبالتالي عندما تتحرك الورنية مسافة مقدارها 0.1mm فهذا يعني أن التدرج الأول من الورنية سوف تنطبق على التدرج الأول من المسطرة الثابتة، أي إنَّ القدمة في هذه الحالة تعطي نتيجة قياس مقدارها 0.1mm، وعندما تتحرك الورنية مسافة 0.2mm سوف ينطبق الخط الثاني من تدرج الورنية على الخط الثاني من المسطرة الثابتة (أي قراءة القدمة 0.2mm). وبما أن المسافة بين التدرج التاسع على الورنية والتدرج التاسع على المسطرة الثابتة هي 0.9mm فهذا يعني أننا إذا حركنا الورنية من وضعية الصفر حتى تنطبق كلتا التدرجتين تماماً نكون قد قسمنا بعداً مقداره 0.9mm. أما بالنسبة للورنية التي طول مدرجها 19mm فهي تعطي دقة قياس 0.05mm، فكل تدرج على مدرج الورنية في هذه الحالة تبعد عن الأخرى مسافة 0.95mm وبالتالي الفرق بين التدرج الأول من الورنية والتدرج الأول من المسطرة الثانية 0.05mm، أما الفرق بين التدرج الثانية من الورنية والتدرج الثانية من المسطرة الثابتة فيساوي 0.1mm وهكذا.

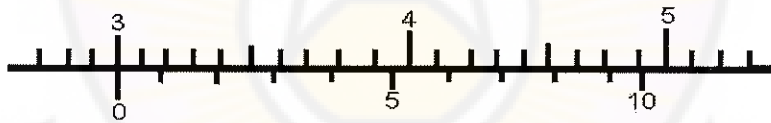
يبين الشكل (3-40) تدريجات قدمة القياس للأجزاء الثابتة والمتحركة والشكل (3-41) تدريجات قدمة القياس الأساسية والإضافية.

إذاً عند انطباق الخط الأول من تدرج الورنية مع الخط الأول من تدرج المسطرة الثابتة فهذا يعني أنه تم قياس بعد مقداره 0.05mm؛ لأن الورنية في هذه الحالة تكون قد تحركت مسافة مقدارها 0.05mm، أما عند انطباق الخط الثالث من تدرج الورنية

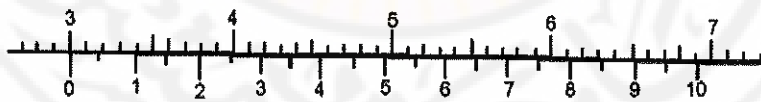
مع الخط الثالث من تدريج المسطرة الثابتة فإن قدمة القياس تكون قد قاست بعداً مقداره 0.15mm. إذاً دقة القياس في قدمة القياس هذه تساوي 0.05mm. وهذا الأمر نفسه ينطبق على قدمة القياس ذات الورنية المدرجة بطول 49mm، ويكون عدد خطوط تدريج الورنية 50 تدريجة بحيث تكون المسافة بين كل خطين عبارة عن 0.98mm وبالتالي الفرق بين خط التدريج الأول من الورنية وخط التدريج الأول من المسطرة الثابتة في هذه الحالة ($1 - 0.98 = 0.02\text{mm}$)، وهذا الفرق بالنسبة للخط الثاني 0.04 mm وهكذا.



ورنية بطول 9mm، المسافة بين كل تدريجتين تساوي 0.9mm، ودقة قياس 0.1mm

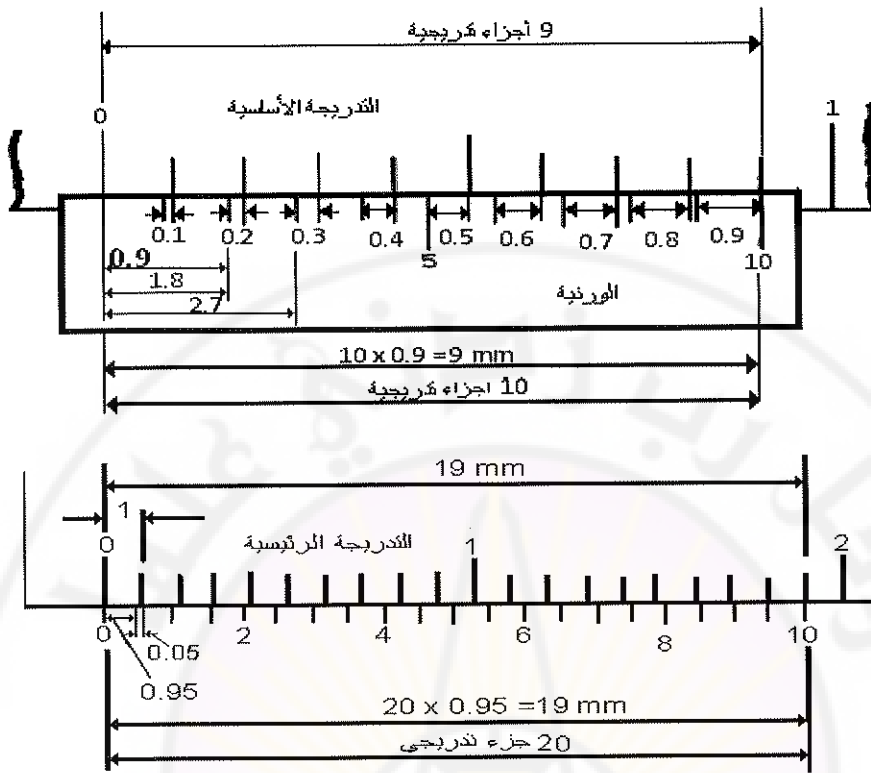


ورنية بطول 19mm، والمسافة بين كل تدريجتين 0.95mm ودقة القياس 0.05mm



ورنية بطول 39mm، المسافة بين كل تدريجتين 0.975 ودقة القياس تساوي 0.025 mm

الشكل (3-40) تدريجات قدمة القياس للأجزاء الثابتة والمتحركة



الشكل (3-41) تدريجات قدمة القياس الأساسية والإضافية

3-7-6- الشروط الواجب مراعاتها أثناء استعمال قدمة القياس:

- 1- لا يقاس أي بعد عندما تكون القطعة في حالة حركة.
- 2- يجب عدم تعرض القدمة للصدمات.
- 3- يجب، قبل بدء عملية القياس، التأكد من انطباق صفر الورنية على صفر المسطرة في حالة انطباق الفكّين.
- 4- يجرى القياس فقط عندما تتوافق درجة حرارة القدمة مع درجة حرارة المشغولة، ويجب عدم قياس المشغولات الساخنة لأنها تعطي أبعاداً أكبر من الحقيقة.
- 5- يجب وضع القدمة في جرابها بعد القياس مباشرة لحمايتها من الصّدأ.
- 6- يجب تنظيف المشغولة من الرايش وسائل التبريد قبل القياس.

- 7- يجب إزالة الزيوت والأتربة من أسطح الفكوك قبل استخدامها بقطعة من القماش.
- 8- يجب تشحيم القدمة بطبقة من الفازلين عند حفظها وعدم استعمالها مدة طويلة.
- 9- في حالة حدوث بوش الفك المتحرك وقضيب القياس، يجب إخراج النابض من مجموعة الفك المتحرك وثنيه قليلاً أو استبداله، لكي يعمل على ضغط الفك بقوة مناسبة.

3-7-7- طريقة قراءة قياس القدمة ذات الورنية:

قبل الشروع في قراءة أحد الأبعاد المقاسة، يجب مراعاة القواعد التالية:

- 1- يجب أن يكون فكاً القياس نظيفين.
 - 2- يجب إبعاد فكي القياس عن المشغولة قدر الإمكان أثناء تمريرها عليها.
 - 3- لا يجوز أن تكون القدمة مائلة ومرتكزة على حافتيها أثناء القياس، بل يجب، عند قياس قطر داخلي مثلاً، أن يكون فكاً القدمة متعامدين على محور المشغولة.
 - 4- يجب أن يكون النظر عمودياً على تدريج القدمة أثناء القراءة.
 - 5- يجب مسك القدمة بشكل صحيح وتوفير قوة الضغط المناسبة للقياس.
 - 6- بعد الانتهاء من القياس يجب حفظ القدمة معزولة عن أدوات العمل.
- تتم عملية قراءة قياس القدمة ذات الورنية وفق المراحل التالية:

أولاً- قراءة القياس الرئيس: ننظر إلى ورنية القياس، وبالتحديد إلى موقع الصفر ونقرأ العدد الذي على يساره، والمسجل على مسطرة القياس الرئيس. نسجل قيمه القراءة (A) بالمليمترات الصحيحة.

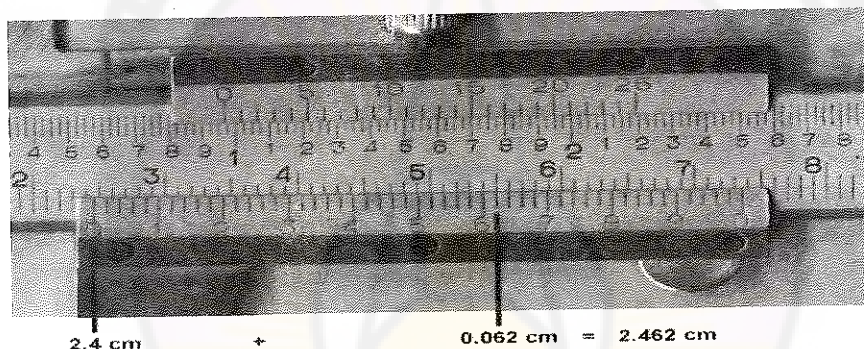
ثانياً- قراءة القياس على الورنية: ننظر بدءاً من صفر الورنية ونحدد أول تطابق تام بين تدريجي المسطرة والورنية، ثم نقرأ عدد تدرج الورنية المسجلة مع التطابق، يضرب هذا العدد في دقة الورنية، ويكون ذلك قيمة قراءة الورنية (B) بأجزاء المليمتر.

ثالثاً- نتيجة القياس: هي حاصل جمع (A+B).

يتم تحديد دقة الورنية من لوحة تفاصيل الجهاز، وعادة ما تكون مسجلة على الجهاز. إذا لم تتمكن من ذلك فيمكن حساب الدقة بطريقة بسيطة جداً، بحيث إذا

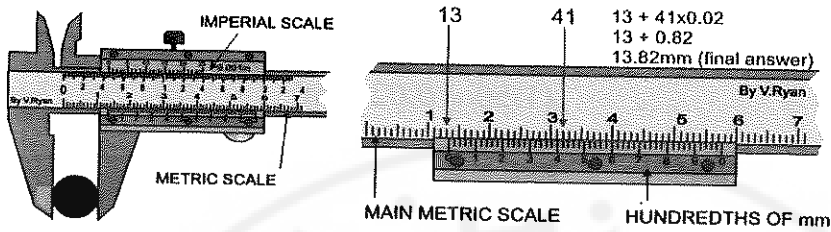
علمنا بأن مقياس الورنية الإجمالي يساوي 1 مم، وعدد التدريجات في الورنية يساوي n مثلاً. عندئذ تحسب الدقة (أصغر تدرج على الورنية) بالعلاقة: الدقة = $1/n \text{ mm}$ بصفة عامة إذا كان عدد التدريجات على الورنية $n = 50$ ، نسمي هذه الورنية بالورنية الخمسينية وتكون دقتها تساوي $(1/50 = 0.02 \text{ mm})$. إذا كان عدد التدريجات على الورنية $n = 20$ ، نسمي هذه الورنية بالعشرية وتكون دقتها تساوي $(1/20\text{mm} = 0.05\text{mm})$. إذا كان عدد التدريجات على الورنية $n=10$ ، نسمي هذه الورنية بالورنية العشرية وتكون دقتها تساوي $(1/10\text{mm} = 0.1\text{mm})$.

مثال 1:



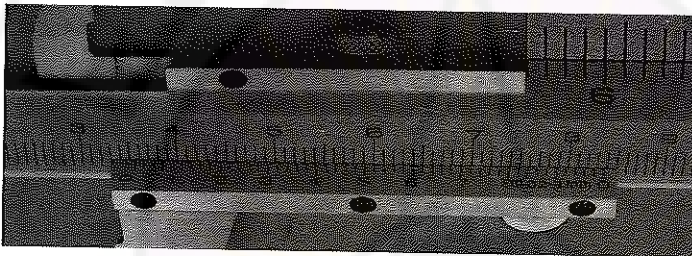
دقة الجهاز = $1/50 = 0.02$ (القدمة خمسينية)		
القياس الرئيس	A	24mm
قياس الورنيه	B	$31 \times 0.02\text{mm} = 0.62\text{mm}$
قيمة القياس على الجهاز	A+B	$24 + 0.62 = 24.62\text{mm}$

مثال 2:

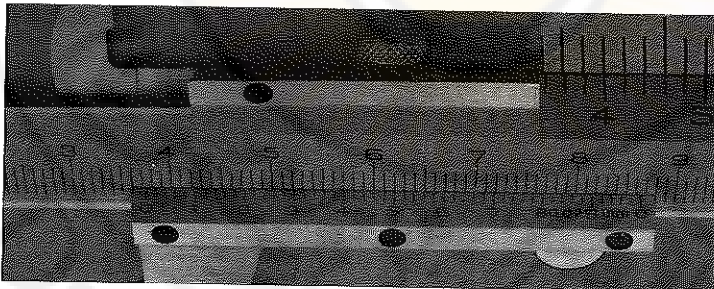


3-7-8- تمارين عملية:

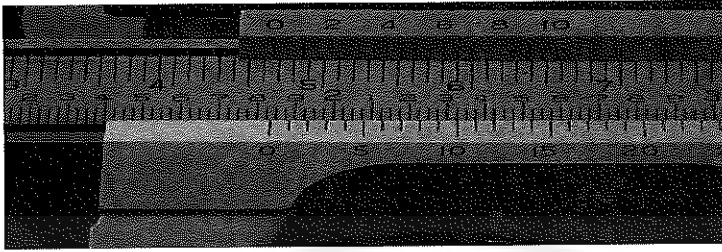
ما هي قيمة القياس على القدمة المبينة على الأشكال التالية؟



$A = \dots\dots \text{ mm}$, $B = \dots\dots \text{ mm}$
نتيجة القياس $A + B = \dots\dots \text{ mm}$



$A = \dots\dots \text{ mm}$, $B = \dots\dots \text{ mm}$
نتيجة القياس $A + B = \dots\dots \text{ mm}$



$A = \dots\dots \text{ mm} , B = \dots\dots \text{ mm}$

$A + B = \dots\dots \text{ mm}$ نتيجة القياس



3-8- قياس الأبعاد باستعمال الميكرومتر

مقدمة:

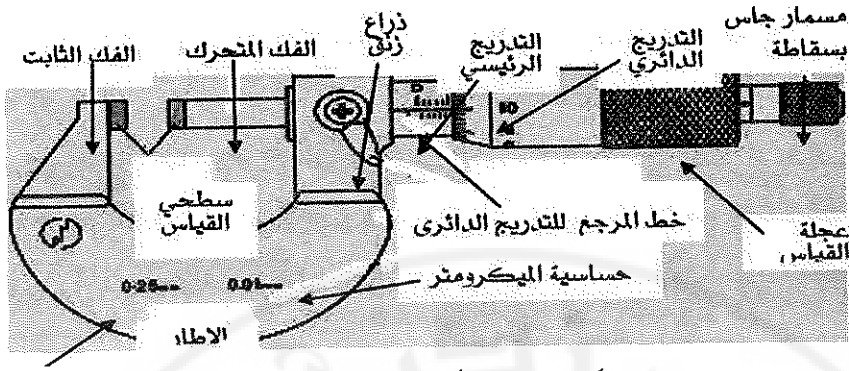
يُعدّ الميكرومتر من أجهزة قياس الأبعاد البسيطة والسهلة الاستخدام ذات الحساسية العالية، حيث تصل درجة حساسيته في الأنواع العادية إلى 0.01mm وفي بعض الأجهزة حتى 0.001mm أي حتى 1µm. لذلك يُعدّ الميكرومتر أداة قياس ذات دقة عالية أكبر من دقة قدمات القياس ذات الورنية. زيادة على دقته يتميز جهاز الميكرومتر باستعمالاته المتعددة في قياس الأبعاد الخارجية والداخلية والأعماق والارتفاعات والقلاووظات الخارجية إلى غير ذلك من التطبيقات المتعددة في ورشات التشغيل والمختبرات. تصنع مختلف أنواع الميكرومترات بحيث يكون مجال قياسها الأقصى 25mm، وتكون ذات مجالات قياس كمايلي:

0-25mm ، 25-50mm ، 50-75mm ، 75-100mm

كما توجد أنواع خاصة من الميكرومترات يكون مجال القياس لها أكبر من ذلك فيبلغ 50mm، وأحياناً يبلغ 100mm حسب مجال الإستعمال.

3-8-1- تركيب الميكرومتر وتصميمه:

يتكون الميكرومتر من الإطار وعجلة القياس والفكّين الثابت والمتحرك اللذين ينتهيان بسطحي القياس المصنوعين من الكريد لمقاومة التآكل الناتج من الاحتكاك المتكرر مع الأسطح المقاسة. كما يوجد مسمار جاس بسقاطة انزلاقية تعمل على إبقاء قوة الضغط بين الشغلة المقاسة وفكّي القياس ثابتة لضمان الحصول على دقة قياس ثابتة كما في الشكل (3-42). ويتم القياس بوضع القطعة المراد قياسها بين سطحي القياس، ويتم تحريك الفكّ المتحرك عن طريق عجلة القياس حتى يتلامس سطحها القطعة مع سطحي فكّي القياس، ثم تربط ذراع الزنق لتثبيت القطعة في وضع القياس وبالتالي يكون البعد المقاس مساوياً للمسافة التي تركها (تحركها) الفك المتحرك.



الشكل (3-42) الأجزاء الرئيسة للميكرومتر

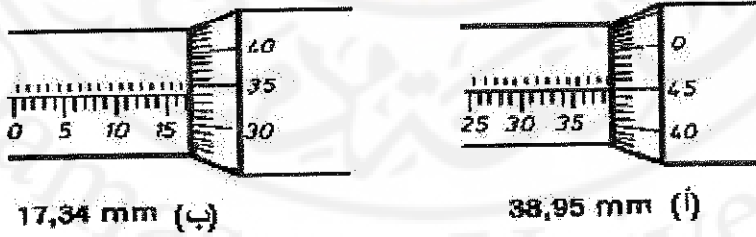
3-8-2- نظرية الميكرومتر:

النظرية الأساسية للميكرومتر هي أنه يحتوي على عامود ملولب يُدار داخل جلبة، فمثلاً إذا كانت خطوة القلاووظ 0.5mm فإن كل دورة كاملة للعامود داخل الجلبة ينتج عنها حركة في اتجاه محوره إلى الداخل أو الخارج مسافة مساوية لخطوته (0.5mm). ويتصل العامود من الخارج بجلبة أخرى يقسم محيطها إلى 50 قسماً فتكون النتيجة أن يصبح كل قسم يديره العامود يقابله حركة في اتجاه محوره مقدارها (0.01 = 0.5/50). لذلك فإن دقة قياس هذا النوع من الميكرومترات تصل إلى 0.01mm. إذا نظرنا إلى الشكل (3-43) نجد أن القراءة الصحيحة على المقياس الرئيس

تساوي 38.5mm للحالة (أ) وتساوي 17mm للحالة (ب).

وبذلك تكون القراءة (أ) مساوية: $38.5 + 0.45 = 38.95\text{mm}$

بينما تكون القراءة (ب) مساوية: $17 + 0.34 = 17.34\text{mm}$



الشكل (3-43) أمثلة على قراءة الميكرومتر

تعتمد فكرة القياس بالميكرومتر على التحكم في حركة الفك المتحرك عن طريق حركة دائرية للولب، تكون حركته المحورية المناظرة للحركة الدورانية هي الحركة الخطية للفك المتحرك. فإذا دار لولب القلاووظ دورة كاملة أدى ذلك إلى تحرك الفك المتحرك مسافة خطية تساوي خطوة القلاووظ المستخدم. والمقياس الرئيس للميكرومتر مقسّم لتدرجات تساوي كل منها قيمة خطوة لولب القلاووظ المستخدم، وتقرأ منه القراءة الصحيحة للبعد المقاس، بينما تؤخذ القراءة الكسرية من على عجلة القياس (التقسيم الدائري).

3-8-3- مكونات جهاز الميكرومتر العادي:

يتكون جهاز ميكرومتر القياس الخارجي من جزأين أساسين:

أ- الجزء الثابت: ويحتوي على إطار الجهاز أو هيكله على شكل حرف (U) لحمل بقية مكونات الجهاز الثابتة والمتحركة منها. يسند الإطار كلاً من العمود الساند وعمود القياس اللذين يُستعملان لتثبيت القطعة المراد قياس أبعادها. كذلك يحمل إطار الجهاز التدرّيج الرئيس للقياس أو أسطوانة التدرّيج الطولي، يكون التدرّيج الرئيس للقياس مدرجاً بالمليمتر (1mm) من جهة وبـ (0.5mm) من الأسفل.

يجب أن يكون الإطار مصنوعاً من مادة مناسبة، وعادة يستعمل الفولاذ أو حديد الصب القابل للطرق. ويوصى بتزويد الإطار بألواح عازلة للحرارة ولاسيما الميكرومترات الكبيرة.

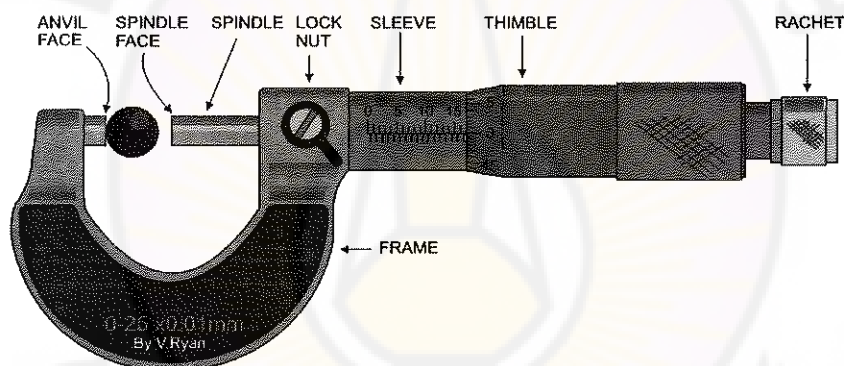
ب- الجزء المتحرك: الجزء الأساسي المتحرك هو جلبة القياس التي إذا قمنا بتحريكها حركة دورانية عن طريق المسمار الجاس، فيتحرك عمود القياس لتثبيت القطعة المراد قياسها كما في الشكل (3-44).

عادة يقسم محيط جلبة القياس إلى 50 تدرّيج ويسمح تحريكها دورة كاملة بالتقدم بمقدار $(1/2\text{mm} = 0.5\text{mm})$. من هنا يمكن استخلاص حساسية الجهاز بأنها تساوي قيمة: $(0.5/50 = 1/100 = 0.01\text{mm})$.

ملاحظات:

1- يجب أن يتم تزويد كل ميكرومتر بوسيلة لضبط وضعية الصفر.

- 2- يجب أن يتم تزويد الميكرومتر بوسيلة للتعويض عن التآكل بين اللوالب والصامولة.
- 3- يجب أن يبين بوضوح على كل ميكرومتر قيمة التقسيم وسعة القياس واسم الصانع.
- 4- لتجنب حدوث أي ضغط زائد في عملية القياس على المشغولة، يتم تدوير المشعر حتى يتقدم عمود الدوران ويضغط على المشغولة، وعندما تبلغ قيمة الضغط الحد المناسب ينزلق المشعر ويسمع له صوت منبه، وعند ذلك يجب التوقف عن دوران المشعر؛ لأن قوة الضغط أصبحت عند الحدود المناسبة لعملية القياس.
- 5- يجب أن تكون المشغولة والميكرومتر أثناء عملية القياس بدرجة حرارة واحدة، ويصبح هذا الأمر أكثر ضرورة عند عدم توافر ألواح عازلة لإطار الميكرومتر.
- 6- يجب أن تكون أسطح المشغولة وأداة القياس نظيفة، ويجب عدم أخذ القراءة عندما تكون سطوح القياس ملاصقة للمشغولة؛ لأن هذا الوضع قد يسيء إلى نتائج القياس.

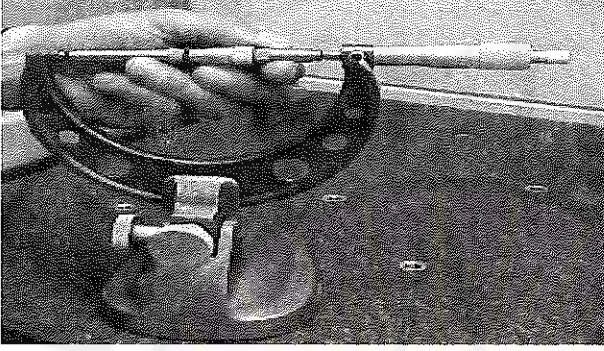


الشكل (3-44) الأجزاء المكونة لميكرومتر القياس الخارجي

هيكل الجهاز	Frame
العمود الساند	Anvil
عمود القياس	Spindle
أسطوانة التدرج الطولي	Sleeve
جلبة القياس	Thimble
المسمار الجاس	Ratchet Knob

3-8-4- القياس بالميكرومتر الخارجي:

نقوم بمسك الميكرومتر باليد اليمنى حيث يكون الإطار في راحة اليد والخنصر داخل الإطار. يستخدم الإبهام والسبابة لتدوير الجلبة قصد تحديد مقاس المشغولة التي نمسكها باليد اليسرى، كما في الشكل (3-45).



الشكل (3-45) الطريقة الصحيحة لاستعمال ميكرومتر القياس الخارجي

إن الميكرومتر جهاز حساس يستعمل في القياسات الدقيقة ولأغراض خاصة في المجال الصناعي، لذلك يجب على مستخدميه مراعاة القواعد الأساسية التي تسمح بإجراء القياس الدقيق على الجهاز. ويتم قراءة قياس الميكرومتر على النحو التالي:

أولاً- قراءة القياس الرئيس: يتم ذلك بتركيز النظر على حافة جلبة القياس، بعد ذلك نقرأ قيمة التدرج المسجل على أسطوانة التدرج الطولي بالمليمتر ثم نسجل قيمة A .

إن وجود أي تدرج $0.5mm$ أو عدم وجوده على أسطوانة التدرج الطولي بعد قيمة A يؤخذ بعين النظر (في حالة وجود هذا التدرج يجب إضافة قيمة $B = 0.5mm$ إلى القياس، وفي حالة عدم وجود التدرج نأخذ قيمة $B = 0mm$).

ثانياً- قراءة القياس على الجلبة: نقوم بتحديد التطابق بين تدرج جلبة القياس والخط الرئيس على أسطوانة التدرج الطولي. نضرب قيمة التدرج المسجل على الجلبة بدقة الجهاز وتكون النتيجة هي قيمة القراءة على جلبة القياس ونرمز لها بـ C .

ثالثاً- نتيجة القياس على الميكرومتر: هي حاصل جمع $A + B + C$.

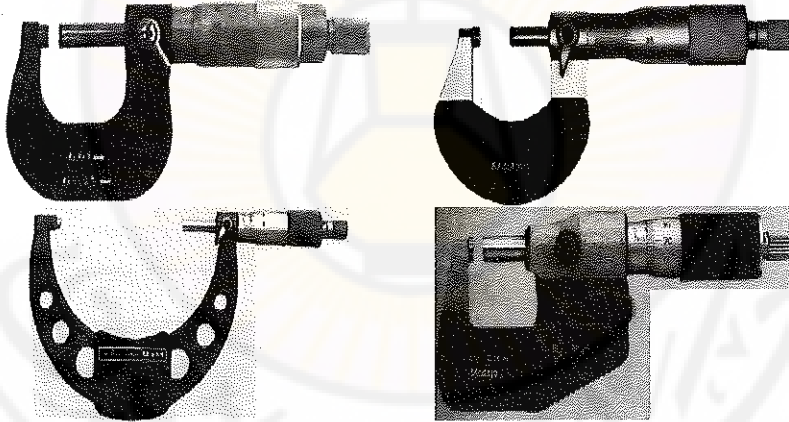
3-8-5- أنواع الميكرومترات:

تتوافر الميكرومترات بأنواع وأحجام مختلفة في الورش الإنتاجية والمخابر والمعامل، وكلها تعتمد على مبدأ القياس نفسه ولكن تختلف من حيث أسلوب التصميم، ومن حيث نوعية الاستخدام.

تصنف الميكرومترات حسب نوع الاستخدام إلى:

1- ميكرومتر القياس الخارجي:

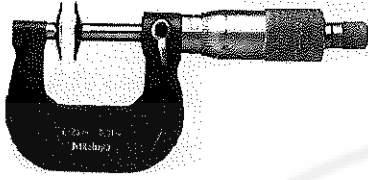
يستعمل ميكرومتر القياس الخارجي للقياس والتفتيش على الأبعاد الخارجية. مثل قياس القطر الخارجي لعمود، وقياس أطوال المشغولات. يوضح الشكل (3-46) طرازات مختلفة من ميكرومترات القياس الخارجي تم تصميمها لتلائم مجالاً معيناً من تطبيقات القياس، وتتعدد نطاقات القياس لتناسب الأبعاد المطلوب قياسها، فتبدأ من صفر إلى 25 مم، ومن 25 إلى 50 مم، ومن 50 إلى 75 مم وهكذا إلى أن يصل أقصى بعد يمكن قياسه إلى 1000 مم. أما في الميكرومتر البوصي فيمكن قياس أبعاد حتى 40 بوصة.



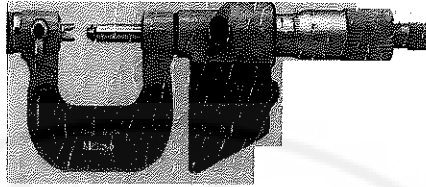
الشكل (3-46) ميكرومترات مختلفة المقاسات

هناك أشكال متعددة لسطحي القياس للفكّ الثابت والفكّ المتحرك، وهما يسميان بالساق والمصد أو اللقم، ويعرض الشكل (3-47) نماذج من هذه الأشكال التي يناسب كل منها أحد التطبيقات المختلفة مثل: قياس اللوالب (أ)، وقياس السماكة للألواح

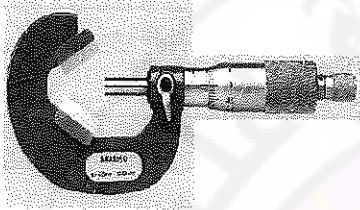
المعدنية على سبيل المثال (ب)، وقياس الفراغات الرفيعة التي تحتاج لطرفي قياس مديين (ج)، وكذلك المشغولات غير المنتظمة الشكل (د).



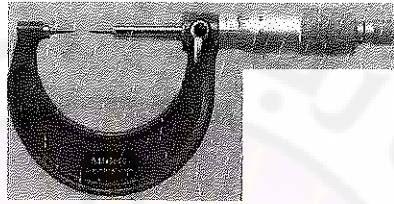
(أ)



(ب)



(ج)

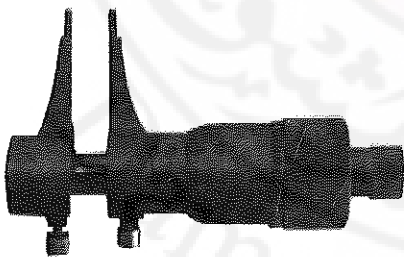


(د)

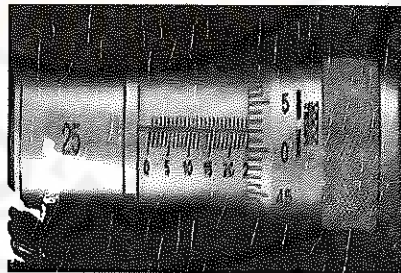
الشكل (3-47) ميكرومترات القياس الخارجي ذات أشكال الفكوك المختلفة

2- ميكرومتر القياس التداخلي:

يستعمل لقياس الأقطار الداخلية، والثقوب، والمجاري، والتجاويف على الشغلات بدقة عالية. هذا النوع مزود بأعمدة تطويل يمكن استخدامها لزيادة مجال القياس. يوضح الشكل (3-48 أ) الأجزاء الرئيسة له، ويلاحظ أن أسطح قياس هذا النوع من الميكرومترات أصبحت كروية لتناسب شكل الأسطح المقاسة كالأسطح الأسطوانية، كما في حالة قياس القطر الداخلي لثقب.



(أ) ميكرومتر قياس داخلي بفكي قياس.

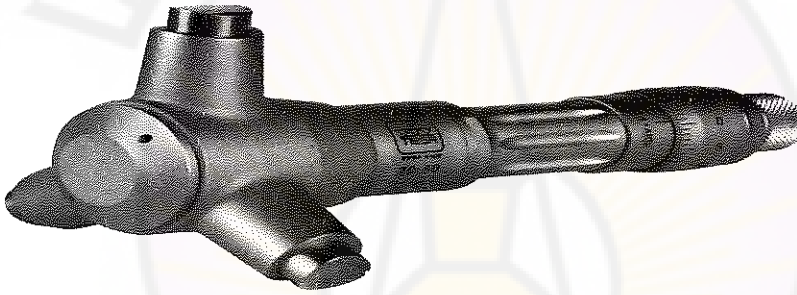


(ب) ميكرومتر قياس داخلي طوله الصفري 25 مم.

الشكل (3-48) ميكرومترات القياس الداخلي

يمكن تغيير أعمدة القلاووظ بأخرى ذات أطوال مختلفة لزيادة مجال القياس وطريقة أخذ القراءة هي نفسها كما في الميكرومتر الخارجي باستخدام المقياس الرئيس والتقسيم الدائري، ولكن يجب أن يضاف إلى هذه القراءة الطراف الصفري للميكرومتر؛ أي طول الميكرومتر عندما تكون قراءته مساوية للصفر. يتوافر أيضا ميكرومترات قياس داخلي بفكي قياس كما في الشكل (3-48-ب)، وهو يلائم قياس الأبعاد الداخلية الضيقة التي لا يستطيع الميكرومتر التقليدي الوصول إليها.

ولزيادة دقة قياس الثقوب الداخلية توجد ميكرومترات داخلية ذات ثلاث فكوك متحركة، كما هو موضح في الشكل (3-49)، وتساعد هذه الحدود الثلاثة على حسن ارتكاز الميكرومتر في الثقب المقاس، كما أنها تستخدم بدقة لقياس الثقوب العميقة وفحص شكل الثقوب.

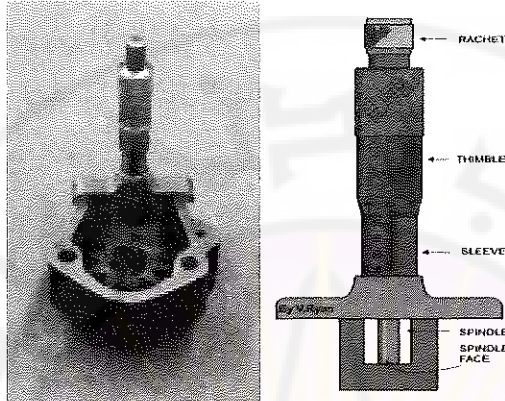


الشكل (3-49) ميكرومتر داخلي بثلاثة فكوك

3- ميكرومتر قياس الأعماق:

يستخدم لقياس أعماق الثقوب والمحاري وارتفاعات الأكتاف والخزوز. ويتكون كما في الشكل (3-50) من جزء ثابت وآخر متحرك، وعجلة القياس، وتدرج دائري لتحديد القيمة الكسرية كما في ميكرومتر القياس الخارجي، وله قاعدة تستعمل لارتكاز الجهاز على الشغلة المراد قياسها، بحيث يكون الجزء الثابت موازياً لمحور الشغلة. ويجب ملاحظة أن التدرج الموجود على المقياس الرئيس يكون وضعه معاكساً لوضعه على ميكرومتر القياس الخارجي، فالتدرج يبدأ من الصفر الموجود في أعلى المقياس الرئيس، وينتهي بالقيمة العظمى في أسفله. وهذا الانعكاس في التدرج ناتج من طبيعة قياس البعد مسافة

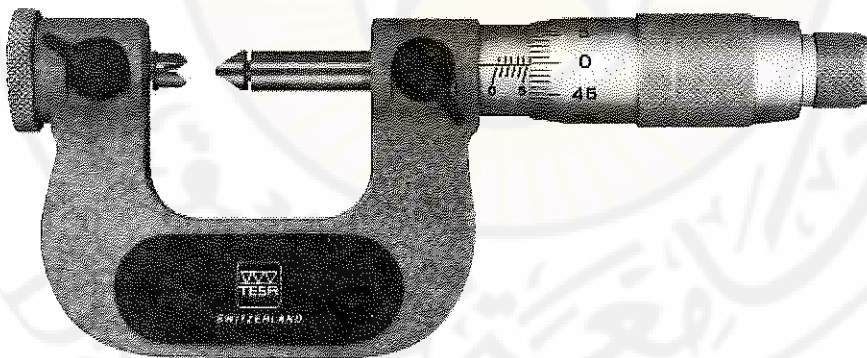
أكبر إلى أسفل ولزيادة مدى القياس. وكذلك بالنسبة لاتجاه التدريج على عجلة القياس، توجد ميكرومترات أعماق ذات أعمدة قياس إضافية يتم توصيلها بالجزء المتحرك لزيادة طوله وحتى يتم القياس بدقة يجب مراعاة ألا يرتفع الجزء الثابت عن الشغلة المقاسة بفعل قوة القياس.



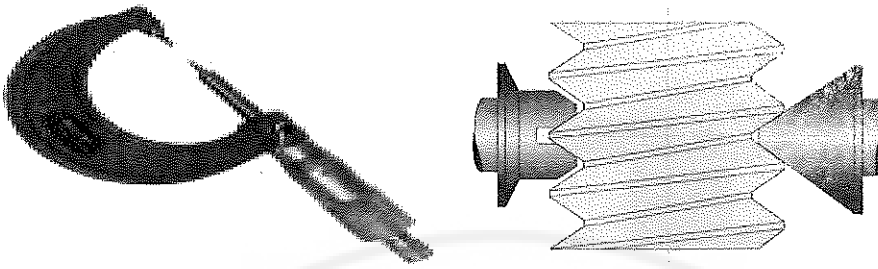
الشكل (3-50) ميكرومترات قياس الأعماق وطريقة استعمالها

4- ميكرومتر قياس اللوالب:

يستعمل لقياس الأقطار الداخلية والخارجية للوالب وكذلك للتأكد من صحة تصنيع اللوالب ولقياس المسافات بين أسنان اللوالب، كما في الشكل (3-51) و (3-52).



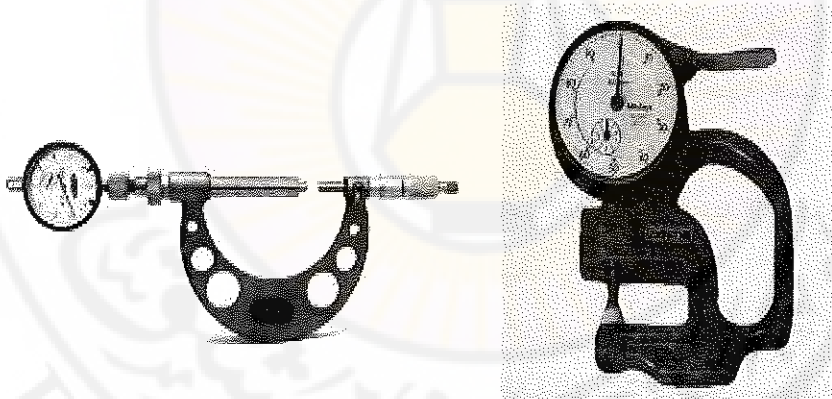
الشكل (3-51) ميكرومتر بورنية لقياس الأسنان واللوالب



الشكل (3-52) ميكرومتر بتسنيئات لقياس أقطار البراغي

تصنف الميكرومترات من حيث كيفية القراءة إلى:

- 1- الميكرومتر المدرج: هذا النوع من الميكرومترات شائع الاستخدام في المعامل والورش الإنتاجية، ويتم قراءة البعد المقيس على التدريجات الإضافية.
 - 2- الميكرومتر ذي الساعة: هو ميكرومتر مركب عليه ساعة قياس بمؤشر يشير إلى قيمة البعد المقيس، وتدرج هذه الساعة بأجزاء من المليمترات، أو أجزاء من البوصة. ويدور مؤشر القياس هذا دورة واحدة من أجل مسافة معينة.
- يبين الشكل (3-53) بعض أنواع هذه الميكرومترات الأكثر استخداماً.



الشكل (3-53) ميكرومترات القياس الساعية

- 3- الميكرومتر الرقمي: عبارة عن ميكرومتر مزود بشاشة رقمية تعطي قيمة البعد المقيس مباشرة وبشكل واضح وسهل، لذلك يتم استخدام هذا النوع على نطاق واسع في مختلف عمليات القياس، الشكل (3-54).



الشكل (3-54) ميكرومتر القياس الخارجي الرقمي وميكرومتر القياس الداخلي الرقمي

3-8-6- مبدأ عمل الميكرومتر ذي دقة القياس 0.01mm:

إن خطوة لولب عمود الدوران يساوي في هذه الحالة 0.5mm أي إن عمود الدوران يتحرك في كل دورة كاملة لأسطوانة القياس مسافة خطية مقدارها 0.5mm حيث إن أسطوانة القياس تتحرك بالمقدار نفسه والجزء المائل في أسطوانة القياس مقسم إلى 50 تدريجة، وبالتالي تكون قيمة كل تدريجة $0.01mm = 0.5/50$ وهذه القيمة تمثل دقة القراءة للميكرومتر.

توضع القطعة المراد قياس أبعادها بين المسند وعمود الدوران، ثم يجري تدوير أسطوانة القياس فيتحرك عمود الدوران مقترباً من القطعة أو مبتعداً عنها حسب اتجاه الدوران، وفي عملية القياس يجب أن تقع القطعة المراد قياس بعدها تماماً بين المسند الثابت وعمود الدوران، وبشكل يحقق التلامس الناعم للقطعة مع المسند الثابت وعمود الدوران، ثم تثبت وضعية عمود الدوران بوساطة المثبته.

إن فكرة عمل الميكرومتر مبنية على أساس أن كل دورة كاملة لأسطوانة القياس ينتج عنها تحرك عمود الدوران مسافة 0.5mm لذلك يتم تدريج ماسورة القياس بتدريجات تمثل كل تدريجة 0.5mm أما أسطوانة القياس فتدرج بتدريجات كل تدريجة تمثل 0.01mm. عند قراءة القياس ننظر أولاً إلى العدد الصحيح من المليمترات أو العدد الصحيح من المليمترات مع النصف الذي تكشف عنه أسطوانة القياس a، ثم يضاف إلى هذا العدد عدد الأجزاء المئوية من المليمتر b والتي تتم قراءتها على مدرج

أسطوانة القياس من خلال تطابق إحدى تدريجات أسطوانة القياس مع الخط المدرج على ماسورة القياس، وهذه التدريجة تمثل قيمة $0.01 \times \text{bmm}$ تضاف إلى عدد المليمترات وأنصاف المليمترات، لينتج لدينا قراءة الميكرومتر للبعد.

3-8-7- مبدأ عمل الميكرومتر 0.001mm :

وهو مدرج بتدريجات إضافية عددها 10 تدريجات يُساوي طول التدريجة الواحدة $1/9$ من طول تدريجة أسطوانة القياس. وتوضع هذه التدريجات الإضافية فوق الخط الإسنادي على ماسورة القياس. وهذا الأسلوب في التدريج يعني أن تحرك أسطوانة القياس بمقدار تدريجة واحدة سوف يؤدي إلى تطابق إحدى التدريجات الإضافية مع إحدى تدريجات الأسطوانة، أي سوف يؤدي لقياس بُعد مقداره 0.001mm .

لقراءة البعد المقيس بهذا النوع من الميكرومترات يجب ملاحظة ما يلي:

- 1- نقرأ المليمترات وأنصاف المليمتر على مدرج ماسورة القياس.
- 2- نقرأ الأجزاء المئوية من المليمترات على مدرج أسطوانة القياس، والتدريجة من أسطوانة القياس والتدريجة التي تتطابق مع الخط الإسنادي (على ماسورة القياس) هي التدريجة التي يجب قراءتها.
- 3- نبحث عن التدريجة الإضافية التي تتطابق مع إحدى تدريجات الأسطوانة، وتمثل هذه التدريجة جزءاً بالألف من المليمتر.
- 4- أخيراً نجمع القيم السابقة لنحصل على قيمة البعد المطلوبة. أي إن دقة القياس بهذا الميكرومتر تساوي 0.001mm .

3-8-8- الميكرومتر البوصي:

هو ميكرومتر مدرج بالبوصة وأجزائها، واللولب الداخلي في هذا الميكرومتر ذو خطوة مقدارها $\frac{1}{40}$ "، أي أنه يحتوي 40 سناً في البوصة. دوران أسطوانة القياس بمقدار دورة كاملة يؤدي إلى تحريك عمود الدوران مسافة مقدارها $\frac{1}{40}$ "، أما أسطوانة القياس فهي مقسمة إلى 25 قسمًا، أي دوران أسطوانة القياس

بمقدار تدريجة واحدة ($\frac{1}{25}$ من محيطها) سوف يؤدي إلى تحرك عمود الدوران مسافة خطية مقدارها $\frac{1}{25} \times \frac{1}{40} = \frac{1''}{1000}$ وهذا يمثل دقة القراءة للميكرومتر البوصي. يتم تقسيم البوصة في الميكرومتر البوصي على مدرج ماسورة القياس إلى عشرة أجزاء رئيسية متساوية، وكل قسم يجزأ بدوره إلى أربعة أجزاء، وبالتالي تكون البوصة مقسمة إلى 40 جزء أو تدريجة، كل تدريجة تساوي $\frac{1''}{40}$. إذا لقراءة قيمة البعد المقيس بميكرومتر بوصي نفرض أن قيمة التدرج الذي تؤثر عليها ماسورة القياس هي a ، أما قيمة تدريجة أسطوانة القياس فهي b ، وبالتالي نجري العمليات التالية للحصول على قيمة البعد بالبوصة:

1- بما أن ماسورة القياس مجزأة إلى بوصات، وكل بوصة مقسمة إلى 40 تدريجة إذاً كل تدريجة تمثل $\frac{1''}{40}$ ، أي يجب ضرب العدد a الذي يمثل عدد التدرجات على ماسورة القياس $\frac{25}{1000} = \frac{1}{40}$

$$a \times \frac{25''}{1000}$$

2- يجب ضرب العدد b الذي يمثل عدد التدرجات التي تعطيها أسطوانة القياس $\frac{1}{1000}$ لأن دوران هذه الأسطوانة لمسافة تدريجة واحدة يعني تحرك عمود الدوران مسافة خطية مقدارها $\frac{1''}{1000}$ أي:

$$b \times \frac{1''}{1000}$$

3- يجب جمع هذين العددين للحصول على قيمة البعد المقيس x :

$$x = a \times \frac{25''}{1000} + (b \times \frac{1''}{1000})$$

ويجب ملاحظة أن دقة القياس في هذا الميكرومتر هي $\frac{1''}{1000}$.

3-8-9- الميكرومتر البوصي ذو دقة القياس "0.0001":

يتم تجهيز ماسورة القياس بمدرج إضافي يحتوي على عشر تدرجات، طول التدريجة الإضافية مكافئ لـ $\frac{1}{9}$ من التدريجة على أسطوانة القياس، أي إن 10 تدرجات إضافية

يساوي 9 تدريجات على أسطوانة القياس، فيكون الفرق بين طول التدريجة الإضافية وطول تدريجة الأسطوانة 0.1 تدريجة، وبما أن دوران الأسطوانة بمقدار تدريجة واحدة يؤدي إلى تحريك عمود الدوران مسافة خطية مقدارها $\frac{1''}{1000}$ ، فإن دوران الأسطوانة من وضع الصفر وحتى تغطي التدريجة الأولى من التدريجات الإضافية يؤدي إلى تحريك عمود الدوران بمقدار:

$$0.1 \times \frac{1''}{1000} = \frac{1''}{10000}$$

وهذا العدد يساوي دقة القياس للميكرومتر الدقيق، أي إن هذا الميكرومتر يستطيع أن يقيس جزءاً من عشرة آلاف جزء من البوصة. وعند قراءة قيمة البعد المقيس تتبع الخطوات التالية:

- 1- نقرأ عدد التدريجات على مدرج ماسورة القياس ونرمز لها بالرمز a.
 - 2- نقرأ على أسطوانة القياس رقم التدريجة المطابق للخط الإسنادي على مدرج ماسورة القياس، ونرمز له بالرمز b.
 - 3- نسجل رقم التدريجة الإضافية التي تتطابق مع إحدى تدريجات أسطوانة القياس، ونرمز لها بالرمز c. يتم قراءة البعد المقيس x بعد جمع الأرقام الثلاثة على الشكل التالي:
- $$x = a \times \frac{250}{10000} + b \times \frac{10}{10000} + c \times \frac{1}{10000}$$

3-8-11 ضبط الميكرومتر:

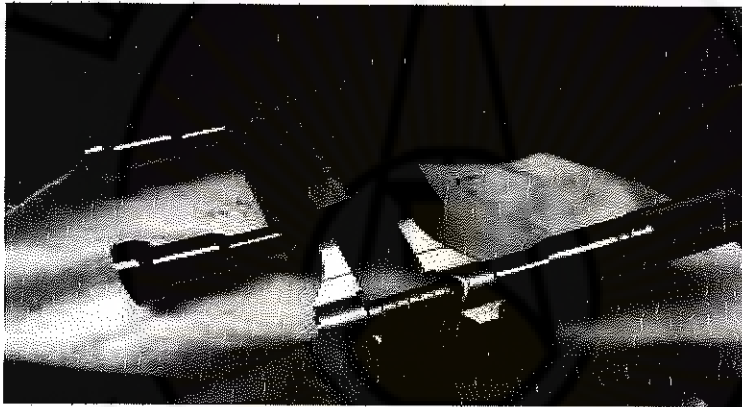
تتم معايرة الميكرومتر وضبطه خلال فترات منتظمة، لأن نتائج القياس سوف تنحرف نتيجة الاستعمال المتكرر. وتتم العملية بالشكل التالي:

- 1- يوضع قالب ذو عرض 10mm بين المسند وعمود الدوران بعد تنظيفه بشكل دقيق.
- 2- يستعمل المشعر لتفادي أي قوة ضغط زائدة على قالب القياس، ويُستحسن أن يُدار المشعر على الفارغ مرتان بعد تحقيق عملية التلامس بين قالب القياس وسطحي القياس.
- 3- تتم عملية القراءة بعد تثبيت عمود الدوران وبعد إزالة قالب القياس.

4- إذا لم ينطبق الخط الإسنادي للمدرج ماسورة القياس على الصفر الموجود على مدرج أسطوانة القياس، فلا بد من إجراء الضبط باستخدام مفتاح الضبط، وتجري عملية الضبط باستعمال هذا المفتاح حتى ينطبق صفر تدريج الأسطوانة على الخط الإسنادي تماماً.

3-8-12- طريقة استعمال ميكرومتر القياس الداخلي:

- 1- امسك الميكرومتر من نهايته السفلى، حركه جيئةً وذهاباً في أثناء لف الكشتبان المدرج حتى يلامس الجدران الداخلية.
- 2- احكم ربط مفتاح الضبط.
- 3- اخرج الميكرومتر من الثقب واقرأ النتيجة. كما في الشكل (3-55).



الشكل (3-55) طريقة استعمال ميكرومتر القياس الداخلي

3-8-13- صيانة الميكرومترات:

- الميكرومترات من الأجهزة التي لا تتحمل الصدمات العنيفة، وفيما يلي بعض النصائح العملية الواجب اتباعها لصيانتها:
- 1- عدم فك الميكرومتر إلا عند الضرورة (وجود خطأ صفري، أو عند تنظيف اللولب من الغبار).
 - 2- عدم ترك الميكرومتر على الطاولة، بل يوضع في علبة.
 - 3- عدم تخزين الميكرومتر وفكي القياس متلاصقين حتى لا يتآكل سطح القياس.

- 4- يجب المحافظة عليه من الصدمات والرطوبة حتى لا يصدأ.
- 5- عدم تنظيفه أو تلميعه بأوراق الصنفرة، بل يُنظف بقطعة من جلد الشامواه النظيف.
- 6- يستعمل بتأنٍ من دون استخدام أي عنف لكي نتجنب تلف أسطح القياس.
- 7- عدم استخدامه في قياس القطع الساخنة، بل يجب أن تكون درجة حرارة قطعة التشغيل هي نفسها درجة حرارة جهاز القياس.
- ملاحظة: للحصول على قياسات دقيقة توضع أجهزة القياس والقطع المراد قياسها في غرف مكيفة بالهواء للمحافظة على درجة الحرارة المعيارية (القياسية).

3-8-14- المحافظة على جهاز الميكرومتر والعناية به:

يُعد الميكرومتر من أدوات القياس ذات الحساسية العالية جداً حيث تصل حساسية الجهاز إلى 0.01mm ، وفي بعض الأحيان إلى 0.001mm . وحتى نحافظ على هذه الدقة الجيدة يُنصح بمراعاة ما يلي:

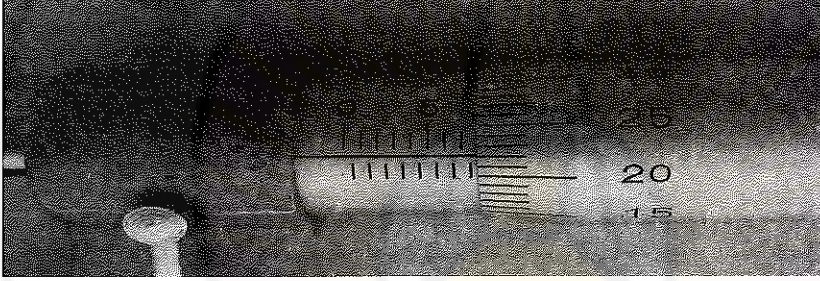
- 1- عدم تعرض الميكرومتر للسقوط أبداً.
- 2- وضعه في مكان آمن ونظيف بعد الاستعمال.
- 3- عند القياس يجب استعمال عجلة التفويت والمسمار الجاس حتى نتجنب الضغط المبالغ فيه لعمود القياس، مما قد يؤثر سلباً في القلاووظ الداخلي للجهاز، وبالتالي على دقة الجهاز.
- 4- عدم ترك الجهاز وسط عدد التشغيل أو مواد أخرى.
- 5- عدم وضع الميكرومتر على الرايش أو غبار التخليخ.
- 6- عدم تعرضه للزيوت وسوائل التبريد.

3-8-15- الخطوات الواجب اتباعها لقراءة الميكرومتر ذي الورنية 0.001mm :

- 1- يتبع ما سبق شرحه في حالة 0.001mm من دون ورييه.
- 2- يضاف إلى القراءة السابقة قراءة الورنية وذلك بمعرفة خط من خطوط الورنية منطبق مع أحد خطوط شطف الجلبة، فإذا كان الخط المنطبق السابع 0.007mm .

3-8-16- العوامل المؤثرة في دقة القياس:

- أ- درجة الحرارة: يجب وضع القطع المراد قياسها وأجهزة القياس قبل مدة كافية في المكان نفسه حتى تتساوى درجة الحرارة.
 - ب- الضغط: خاصة عند نقطة التلامس مع الجسم.
 - ت- نظافة السطح.
 - ث- العناية والتركيز.
 - ج- مراعاة تطابق مؤشري القياس.
 - ح- أخذ الاتجاه الصحيح للنظر عند القراءة.
- مثال تطبيقي(1):

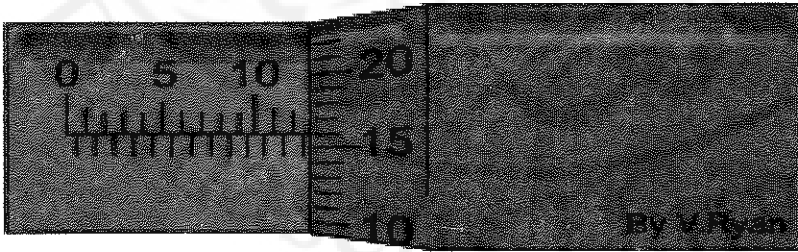


$$A = 7.00 \text{ mm} \quad B = 0.5 \text{ mm} \quad C = 22 \times 0.01 = 0.22 \text{ mm}$$

$$A + B + C = 7.00 + 0.50 + 0.22 = 7.72 \text{ mm}$$

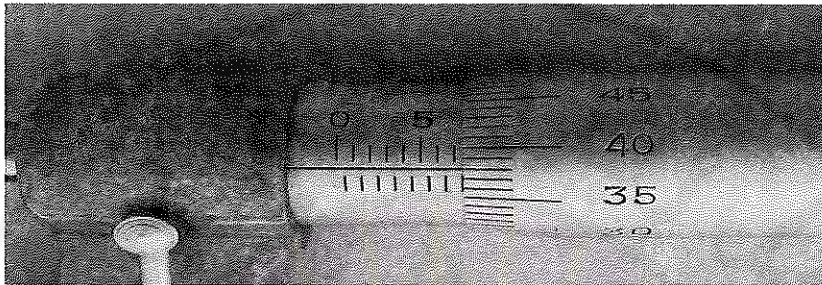
نتيجة القياس:

مثال تطبيقي(2):



SLEEVE READS FULL mm = 12.00
 SLEEVE READS $\frac{1}{2}$ mm = 0.50
 THIMBLE READS = 0.16
 TOTAL MEASUREMENT = 12.66mm

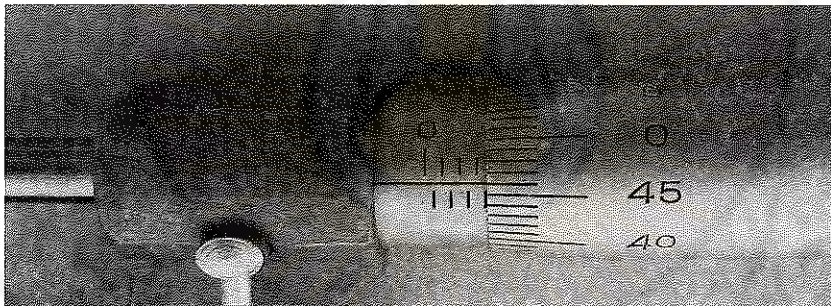
مثال تطبيقي(3):



$$A = 7.00 \text{ mm} \quad B = 0 \text{ mm} \quad C = 38 \times 0.01 = 0.38 \text{ mm}$$

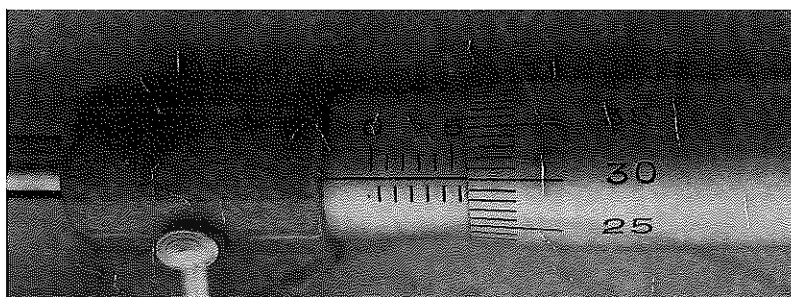
$$A + B + C = 7.0 + 0 + 0.38 = 7.38 \text{ mm} \quad \text{نتيجة القياس:}$$

3-8-17- تمارين على قراءة قياس الميكرومتر:



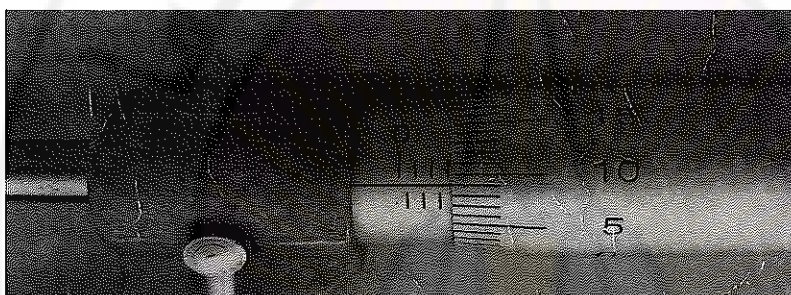
$$A = \dots\dots \text{ mm} \quad B = \dots\dots \text{ mm} \quad C = \dots\dots \text{ mm}$$

$$A + B + C = \dots\dots \text{ mm}$$



$A = \dots\dots mm \quad B = \dots\dots mm \quad C = \dots\dots mm$

$A + B + C = \dots\dots mm$



$A = \dots\dots mm \quad B = \dots\dots mm \quad C = \dots\dots mm$

$A + B + C = \dots\dots mm$

3-9- قوالب القياس

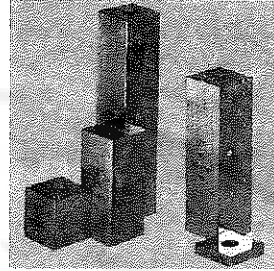
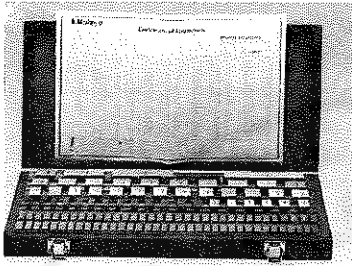
قوالب القياس هي أدوات تمثيل للأبعاد بدقه عالية جداً، وتعد من الدعامات الأساسية في عمليات التقييس الصناعي، فهي من أهم أنواع محددات القياس التي تعد مراجع (أو معايير) لمعايرة دقة أجهزة ومعدات القياس واختبارها وفحصها، مثل القدم ذات الورنية والميكرومتر. إلى جانب هذا الدور في مجال قياس الأبعاد، تستعمل قوالب القياس في المختبرات وورش التشغيل في عمليات القياس المباشر أو في فحص أو مقارنة الأبعاد الخطية للمشغولات قصد التفتيش عن جودة المنتجات.

إن قوالب القياس هي مقاييس أبعاد نهائية تكون مستطيلة أو مربعة أو أسطوانية أو غير ذلك، وتُصنع عادة بأبعاد مختلفة، وتتوافر على شكل مجموعات تحتوي كل مجموعة على عدد محدد من القوالب مرتبة حسب أبعادها. يتم إنتاج قوالب القياس حسب المواصفات الدولية، وبدرجة عالية من الدقة بحيث تكون مستوية ومتوازية الأسطح، وهي تصنع عادة من الفولاذ الكرومي المقسى والمعالج حرارياً بهدف مقاومة التآكل والصدأ. يتم إضافة قوالب القياس بعضها إلى بعض من دون استخدام أي ضغط، ولكن بوجود طبقة رقيقة جداً من الشحم تُغلف أسطح القوالب. ويجب اختيار مجموعة قوالب القياس بحيث تكون أطوالها قبل لصق بعضها ببعض مطابقة تماماً للطول المقيس أو المقارن. كما يجب اختيار أقل عدد ممكن من قوالب القياس، أثناء إضافتها لبعضها، وذلك لأن الإكثار من قوالب القياس المضافة، والتي تشكل طولاً معيناً سوف يؤدي إلى انحراف نتائج القياس.

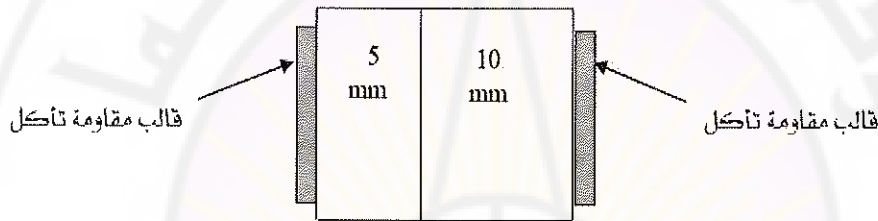
يبين الشكل (3-56) مجموعة من قوالب القياس مصنوعة من الصلب السبائكي المعالج حرارياً كي لا تتأثر بظروف محيط العمل من درجة الحرارة والرطوبة.

يتوافر مع كل مجموعة من القوالب قالبان يسميان قالب مقاومة التآكل (سماكة كل منهما 1 مم أو 2 مم)، وهما معالجان معالجة خاصة لمضاعفة مقاومتها للتآكل نتيجة الاستعمال المتكرر للقوالب والاحتكاك مع أسطح القياس. يتم وضع المجموعة المختارة من قوالب القياس بين هذين القالبين حتى يكونا متلامسين مع سطحي القياس، كما في

الشكل (57-3) ويجب أن يؤخذ في الحسبان قيمة سماكة قالب القياس عند حساب البعد المقاس.

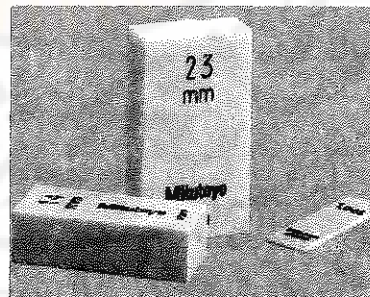
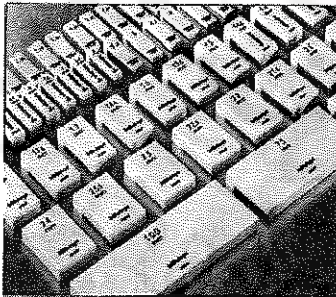


الشكل (56-3) حقيبة قوالب القياس ومجموعة من قوالب القياس الفولاذية



الشكل (57-3) طريقة لصق قوالب القياس مع قالبين مقاومين للتآكل من الجانبين

ظهرت حديثاً قوالب قياس مصنوعة من السيراميك، كما في الشكل (58-3). تمتاز هذه القوالب عن تلك المصنوعة من الفولاذ بخفة وزنها ومقاومتها العالية للتآكل والتي تفوق مقاومة الفولاذ بعدة أضعاف، كما أن معامل تمددها الحراري منخفض. لذلك فإن أسعارها مرتفعة بالمقارنة بالقوالب الفولاذية.



الشكل (58-3) قوالب القياس المصنوعة من السيراميك

3-9-1- المميزات الفنية لقوالب القياس (المواصفة 1978-ISO-3650):

1- مواد التصنيع: يجب أن تُصنع قوالب القياس من مواد صلبة مقاومة للتآكل ومنتجة وفق درجات نعومة عالية (إنهاء ناعم ودقيق لسطوح قوالب القياس).

إن معامل التمدد الحراري لقوالب القياس الفولاذية في مجال درجات الحرارة التالي (10°C – 30°C) يكون في المجال $10^{-6} (1 \pm 11.5)$ ، وهذا يعطي تغيرات خطية مقبولة في أبعاد قالب القياس ضمن المجال السابق لدرجات الحرارة بالنسبة للقياسات العادية، ولكن على أية حال يجب المحافظة أثناء عمليات القياس على الشروط القياسية ولاسيما درجة الحرارة القياسية 20°C . كما يمكن أن تصنع قوالب القياس من مواد أخرى ولكن بشكل عام يجب أن لا تقل قساوة سطوح قوالب القياس عن 800HV.

2- استقرارية الأبعاد: في عمليات القياس والمقارنة المتكررة، يجب على قوالب القياس أن تحافظ على أبعادها (ضمن مجال تفاوت مسموح به لقالب القياس) وزواياها بحيث لا تتغير المواصفات التصميمية لقالب القياس أثناء عمليات القياس. يتم تحديد استقرارية أبعاد قالب القياس عن طريق إجراء اختبارات على عينات من قوالب القياس وعلى فترات محددة من الزمن تبقى خلالها درجة الحرارة ضمن المجال (10°C – 30°C). تعطى بمجالات التفاوت المسموح به لقوالب القياس على شكل درجات تفاوت 00, 0, 1, 2 بحيث يكون التغير الأقصى المسموح به في طول قالب القياس وخلال فترة سنة كاملة على الشكل التالي:

الدرجة	التغير المسموح به في الطول في السنة (μm)
00	$\pm (0.02 + 0.0005 \ell)$
0	$\pm (0.02 + 0.0005 \ell)$
1	$\pm (0.05 + 0.001 \ell)$
2	$\pm (0.05 + 0.001 \ell)$

حيث ℓ : هو البعد الاسمي لقالب القياس (mm).

يجب الإشارة إلى أن فترة الاختبار تكون طويلة لأي تغيير قد يحدث في الطول بحيث يكون مميزاً لدقة القياس في طول قالب القياس.

3- المعطيات: يتمتع قالب القياس بشكل دائم بالمعطيات التالية:

- يجب ألا يقل الطول الاسمي لقالب القياس عن 1.5mm.
- اسم الشركة الصانعة.
- يجب أن يتوضع أي ثقب على قالب القياس على مسافة من سطح القياس لا تقل عن $(25 \pm 0.5\text{mm})$ ، وألا يزيد قطره على $10^{+0.2}$.
- يعرف طول قالب القياس بالمسافة العمودية بين نقطة معينة على سطح أحد سطحي القياس والسطح الآخر للقياس.
- الطول المركزي هو طول قالب القياس الذي يمر من مركز القالب.

4- التفاوتات: يتم حساب تفاوتات قوالب القياس من الجدول (1-3)، وفي هذا الجدول نجد أربع درجات للتفاوت المسموح به لأبعاد قالب القياس حسب درجة الدقة المطلوبة في عمليات القياس والمقارنة.

يجب أثناء تصنيع قوالب القياس مراعاة درجات التفاوت الأربع بحيث تختار الدرجة التي تحقق دقة قياس معينة لقالب القياس، كما يجب عدم المغالاة في تضيق مجال التفاوت المسموح به لقالب القياس إذا كانت القياسات المطلوبة ذات درجة دقة غير عالية، لأن اختيار درجة التفاوت الأولى مثلاً 00 يؤدي إلى ارتفاع تكاليف إنتاج القوالب بشكل كبير جداً وغير مبرر من الناحية التكنولوجية والاقتصادية.

5- الصيانة: يجب معرفة طريقة استعمال وصيانة أدوات القياس وإعادة معايرتها بشكل دوري بعد كل فترة زمنية محددة، وذلك للحصول على عمر أطول وقياسات أدق. كما يجب التأكيد على الملاحظات التالية:

1- يجب حماية قوالب القياس من عرق اليد، والغبار، والرطوبة والصدمات، ويجب طلاؤها بالشحم أو الفازلين بعد كل عملية قياس.

2- يجب وضع قوالب القياس بعد استخدامها بالحقيبة الخاصة بقوالب القياس وإغلاق هذه الحقيبة جيداً لمنع تسرب الرطوبة والغبار.

3- لا يجوز أن تبقى قوالب القياس ملتصقة ببعضها لفترة زمنية طويلة خوفاً من الالتحام البارد، لذلك يجب فصلها بالزلق ومن دون استعمال أي ضغط.

الجدول (1-3) الانحرافات المسموحة لقوالب القياس

الدرجة	التفاوت المسموح به (μm)	التغير الأقصى في الطول (μm)
00	$\pm (0.05 + 0.001 \ell)$	$\pm (0.05 + 0.0002 \ell)$
0	$\pm (0.1 + 0.002 \ell)$	$\pm (0.1 + 0.0003 \ell)$
1	$\pm (0.2 + 0.004 \ell)$	$\pm (0.16 + 0.00045 \ell)$
2	$\pm (0.4 + 0.008 \ell)$	$\pm (0.3 + 0.0007 \ell)$

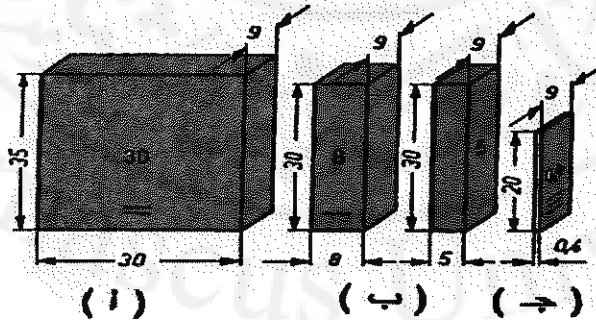
3-9-2- قوالب قياس الأطوال:

تصنع قوالب القياس على هيئة متوازي مستطيلات من الفولاذ السبائكي عالي النقاوة تسمى تلك القوالب بمحددات القياس المتوازية نسبة إلى سهولة انزلاقها كما في الشكل (3-59)، حيث تتميز بسهولة تجمعها لتكوين قياس معين، وعادة تكون أبعاد مقطعتها بالقياسات التالية:

أبعاد القوالب التي يزيد قياسها عن 10 ملم هي (35*9mm).

أبعاد القوالب التي قياسها ما بين (5 ملم و 10 ملم) هي (30*9mm).

أبعاد القوالب التي قياسها أقل من 5 ملم هي (20*9mm).

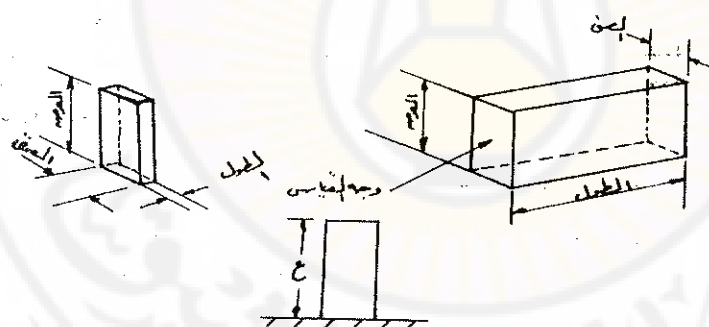


الشكل (3-59) أبعاد بعض قوالب القياس المتوازية

تشطب أسطح قوالب القياس بعمليات تشغيل خاصة حتى تكتسب درجة عالية من الدقة من حيث الاستواء والتعامد والنعومة. كذلك يُراعى في تصنيع قوالب القياس خلوها من الزوايا الحادة. وتُعامل قوالب القياس حرارياً لإزالة الإجهادات الداخلية فيها ولإكسابها درجة قساوة حوالي 65HRC. ويلاحظ أن لكل قالب قياس سطحين متميزين بدرجة صقل عالية مقارنة ببقية الأوجه، ويُطلق على هذين السطحين وجهها القياس. ويكتب على كل قالب مقاسه الذى يعبر عن البعد العمودي بين وجهي القالب.

تعرف أبعاد القالب كما يلي، الشكل (3-60):

- وجهها القياس: هما السطحان المصقولان من أسطح القالب.
- طول القالب: هو البعد العمودي (ع) المحصور بين وجهي القياس.
- عرض القالب: هو البعد الأكبر من البعدين الآخرين بعد استثناء الطول.
- عمق القالب: هو البعد الأصغر من البعدين الآخرين بعد استثناء الطول.
- جانبا القالب: هما السطحان اللذان يحصران بينهما عمق القالب.



الشكل (3-60) شكل قالب القياس الطولي

3-9-3- درجات الدقة لقوالب القياس:

تنقسم أنواع قوالب القياس من حيث دقتها إلى أربع درجات:

- أ- قوالب قياس تشغيل.
- ب- قوالب قياس تفتيش.

ج- قوالب قياس معايرة.

د- قوالب قياس مراجعة.

يستعمل النوعان (أ) و (ب) في مجال الورش وللأغراض العامة، حيث يستعمل النوع (أ) في قياس المشغولات، في حين يختبر النوع (أ) بمعايرته بالنوع (ب)، أما النوع (ج) فيستخدم في معامل القياس لمعايرة النوعين (أ) و (ب)، أما النوع (د) فهو الأكثر دقة ويستعمل في معايرة الأنواع السابقة، ويحفظ في معامل القياس المركزية، وعادة يُعاير هذا النوع بمقارنته بالإمامية الثانوية.

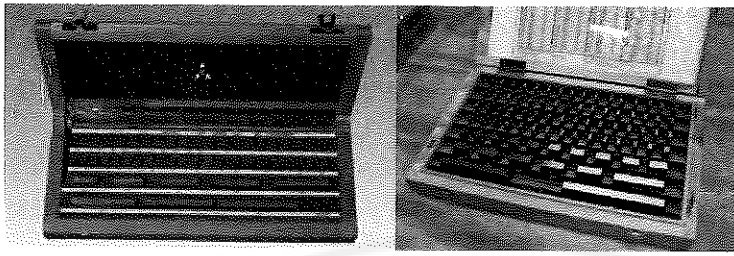
تُعد قوالب القياس الأساس الدقيق لجميع أجهزة قياس الأبعاد الموجودة بالمختبرات وورش التشغيل. فهي مصنعة بدقة عالية جداً قد تصل إلى $0.05\mu\text{m}$ ، وهي مصممة ومتوافرة بتدرجات مختلفة وفق الاستخدام المخصص لها.

وبصرف النظر عن نوع القوالب، فإن سطحي القياس في كل قالب يكونان مصقولين ومتوازيين، ويكتب على أحدهما البعد المحدد للقالب، وتكون دقة هذا البعد عالية للغاية وتتراوح ما بين $(0.06\mu\text{m} - 0.45)$. وطبقاً لآخر مواصفات ISO و DIN، توجد أربع رتب لدقة قوالب القياس:

- رتبة AA: تستخدم في المعامل وتصنيع النماذج والمعايرة. دقتها عالية $0.06\mu\text{m} \pm$.
- رتبة A: تستخدم في ضبط ومعايرة أجهزة القياس، تبلغ دقتها $0.12\mu\text{m} \pm$.
- رتبة 1: تستخدم في فحص المشغولات ذات الدقة العالية، تصل دقتها $0.2\mu\text{m} \pm$.
- رتبة 2: هي أطقم الشغل، وتكون دقتها في حدود $0.45\mu\text{m} \pm$ وتستخدم لكافة تطبيقات قياس الأبعاد في الورشة.

3-9-4- مجموعات قوالب القياس:

تتوافر قوالب القياس على شكل أطقم كما في الشكل (3-61)، يحتوي كل طقم على عدد معين من القوالب، وتكون القوالب متدرجة الأبعاد إما بالبوصة أو بالمليمتر، وتحفظ في حقائب خاصة أو في صناديق خشبية قصد المحافظة عليها وعلى دقتها، وترتب هذه القوالب في مجموعات بعدد قوالب محدد وبخطوة محددة بين القالب والذي يليه.



الشكل (3-61) نماذج من أطقم القياس

ونظراً لشيوع النظام المتري سنعرض بعض أطقم قوالب القياس مدرجة بـ mm. ففي الجدول (3-2) نجد أن الطاقم الأول يحتوي على عدد 112 قالب مقسمة كالتالي: عدد قالب واحد طوله 1.0005 مم وعدد 9 قوالب تتدرج أطوالها من 1.001 مم حتى 1.009 مم بزيادة ثابتة (تسمى الخطوة) تساوي 0.001 مم. كما يوجد عدد 49 قالب بأطوال تبدأ من 1.01 مم وبزيادة ثابتة مقدارها 0.01 مم لتصل أبعاد هذه الفئة إلى 1.49 مم وهناك عدد 49 قالب تبدأ أطوالها من 0.5 مم وحتى 24.5 مم بخطوة مقدارها 0.5 مم، وأخيراً يوجد عدد 4 قوالب بأطوال 25 مم، 50 مم، 75 مم، 100 مم أي إن خطواتها تساوي 25 مم.

ويعرض الجدول (3-3) طقم قوالب قياس مؤلف من 86 قالب، ومقدار الخطوة مختلف في القوالب الكبيرة، وهكذا توجد أطقم أخرى كثيرة بخطوات وأعداد مختلفة لتناسب تطبيقات الاستخدام المختلفة، كذلك توجد أطقم قوالب قياس مدرجة بالبوصة لفحص المشغولات المصنعة بالوحدات الإنكليزية.

الجدول (3-2) المجموعة 112 ملليمترية

عدد القوالب	طول القالب (mm)	مقدار الزيادة في كل قالب mm
1	1.0005	—
9	1.001 حتى 1.009	0.001
49	1.01, 1.02 حتى 1.49	0.01
49	0.5 حتى 24.5	0.5
4	100, 75, 50, 25	25
112	مجموع القوالب	

الجدول (3-3) المجموعة 86 ملليمترية

عدد القوالب	طول القالب (mm)	مقدار الزيادة في كل قالب mm
9	1.001 إلى 1.009	0.001
49	1.01 إلى 1.49	0.01
19	0.5 إلى 9.5	0.5
9	10 إلى 90	10
86	بمجموع القوالب	

الجدول (4-3) المجموعة 145 ملليمترية

عدد القوالب	مقدار الزيادة في كل قالب mm	طول القالب
1	1.0005	1.0005
9	0.001	من 0.991 إلى 0.999
9	0.001	من 1.001 إلى 1.009
49	0.01	من 1.01 إلى 1.49
4	0.1	من 1.6 إلى 1.9
50	0.5	من 0.5 إلى 25.0
7	10	من 30 إلى 90
6	25	من 75 إلى 200
8	100	من 300 إلى 1000
2	-	من 250 إلى 750
145		العدد الكلي

الجدول (5-3) المجموعة 46 ملليمترية

عدد القوالب	طول القالب (mm)	مقدار الزيادة في كل قالب
9	1.001 إلى 1.009 مم	0.001 مم
9	1.01 إلى 1.09 مم	0.01 مم
9	1.1 إلى 1.9 مم	0.1 مم
10	1 إلى 10 مم	1 مم
9	20 إلى 100 مم	10 مم
46	مجموع القوالب	

الجدول (6-3) المجموعة 33 ملليمترية

عدد القوالب	أطوال القوالب (mm)	مقدار التزايد (الخطوة) (mm)
2	من 1.005 إلى 1.01	0.005
9	من 1.02 إلى 1.10	0.01
9	من 1.20 إلى 1.90	0.1
10	من 1 إلى 10	1
2	من 20 إلى 30	10
1	60	30
33	مجموع القوالب	

3-9-5- تأثير درجات الحرارة في دقة قوالب القياس:

من أهم العوامل التي تؤثر في دقة القياس عند استعمال قوالب القياس هو الاختلاف في درجة الحرارة عن 20°C ، فأطوال القوالب معايرة ومصممة للاستخدام عندما تكون درجة حرارة القالب 20°C ، وهي الدرجة القياسية ويجب عمل تصحيح للبعد المقاس إذا اختلفت درجة الحرارة، علماً أن معامل التمدد الطولي لمعدن القوالب $11.5 \pm 1 \cdot 10^{-6}$ لكل درجة مئوية في درجات الحرارة بين $(10^{\circ}\text{C}-30^{\circ}\text{C})$. يبين الشكل (62-3) مقاس القالب عند درجة الحرارة القياسية 20°C وهو 40mm وهذا القالب نفسه يزداد مقاسه عند استخدامه عند درجات الحرارة الأعلى 30°C ولكن مقاسه المكتوب مازال يشير إلى المقاس 40mm.

مقاس القالب عند 20

40

مقاس القالب عند 30

40

الشكل (62-3) تأثير درجة الحرارة في قوالب القياس

3-9-6- تكوين أبعاد من قوالب القياس:

لتكوين أي بُعد بواسطة قوالب القياس نبدأ بأقصى عدد كسري من اليمين يليها الكسر التالي لها وهكذا. مثال: إذا كان المطلوب تكوين البعد 55.382 من المجموعة 145 فإننا نختار القالب 1.002 مم أولاً من الصف الأول، يليه القالب 1.08 مم من الصف الثاني، يليه القالب 1.3 مم من الصف الثالث، ثم نجمع هذه القوالب فينتج أن مجموعها 3.382 مم، بعد ذلك نختار القالبين المتبقين وهما 2 مم من الصف الرابع ثم القالب 50 مم من الصف الخامس، وبالتالي تصبح القوالب المستخدمة حسب ترتيبها هي:

$$1.002 + 1.080 + 1.300 + 2.00 + 50.00 = 55.382mm$$

ويمكن شرح هذه الخطوات بالتفصيل كما في الجدول (7-3) التالي:

الجدول (7-3) تكوين بعد من قوالب القياس

المقاس المطلوب تكوينه يساوي 55.382mm			
الخطوة	مقاس القالب	المتبقي	
نبدأ بأقصى عدد كسري من اليمين في المقاس المطلوب وهو القالب الذي يحتوي على 0.002 وهو 1.002.	1.002	55.382 -1.002	54.380
نبدأ بأقصى عدد كسري من اليمين في المقاس المتبقي وهو القالب الذي يحتوي على 0.080 وهو 1.080.	1.080	54.380 -1.080	53.300
نبدأ بأقصى عدد كسري من اليمين في المقاس المتبقي وهو القالب الذي يحتوي على 0.300 وهو 1.300.	1.300	53.000 -1.300	52.000
نبدأ بأقصى عدد صحيح من اليمين في المقاس المطلوب وهو القالب 2.000.	2.000	52.000 -2.000	50.000
ننتهي بالرقم الأخير المتبقي وهو 50.000 وهي آخر قالب مطلوب حيث أن المتبقي أصبح مساوياً للصفر.	50.000	50.000 -50.000	0.000

3-9-7- ملحقات قوالب القياس:

تساعد ملحقات قوالب القياس في توسيع مجال استخدام القوالب. كل هذه الملحقات باستثناء الماسك مصنوعة من فولاذ عالي النقاوة مُعالج حرارياً لإزالة الإجهادات الداخلية ومعالج إلى مواصفات قوالب القياس نفسها. إلا أن درجة قساوة الفكوك أعلى من قساوة قوالب القياس لأنها تكون دائماً في حالة تلامس واحتكاك مع المشغولة المقاسة مما يعرضها للتآكل.

أهم ملحقات قوالب القياس:

1- فك النهاية نصف الدائري.

2- فك عدل.

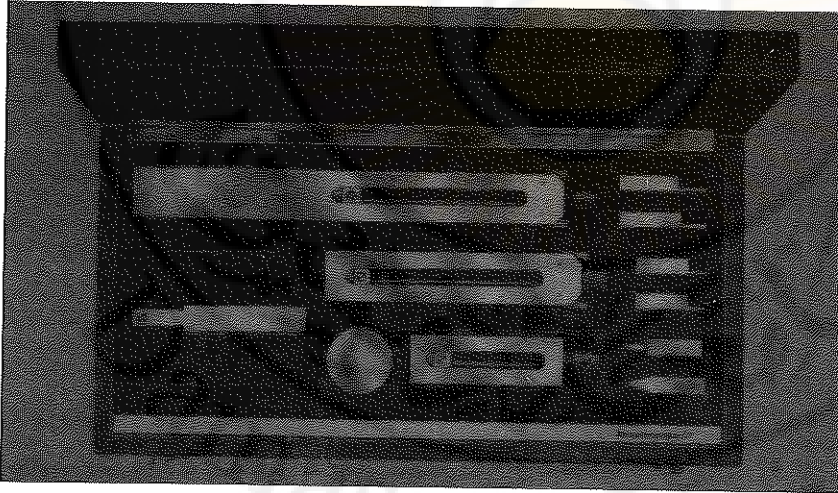
3- فك شنكار.

4- فك ذنب.

5- ماسك القوالب.

6- القاعدة.

يوضح الشكل (3-63) الماسك والقاعدة وهو متوافر بمقاسات مختلفة.



الشكل (3-63) ملحقات قوالب القياس وماسك القوالب والقاعدة

3-9-8- العناية بقوالب القياس المنزقة:

يجب مراعاة الحرص الشديد عند استخدام قوالب القياس المنزقة للمحافظة على دقتها وإطالة عمرها ويتم ذلك بمراعاة التالي:

- 1- تحفظ باستمرار في الصندوق الخاص ولا يتم إخراجها إلا عند استعمالها على أن تتم إعادتها مرة أخرى بعد الانتهاء من الاستعمال.
- 2- يجب استخدامها في وجود جو خال من الأتربة.
- 3- يجب تنظيف أسطح القطع بمسحها بخفة بقطعة نظيفة من الجلد الشامواه أو قطعة من قماش الكتان.
- 4- إذا لوحظ أي أثر للخشونة أو وجود خدش على السطح فيجب التوقف فوراً عن الاستخدام حتى يتم تنظيف السطح من الرايش أو الخدش.
- 5- عند فصل قوالب القياس عن بعضها البعض، يجب أن يتم ذلك بتحريكها بشكل انزلاقي، ولا يتم نزعها عن بعضها بقوة.
- 6- قبل إعادة القوالب إلى الصندوق بعد الاستعمال مباشرة، لابد من مسح أي أثر للأصابع من عليها.
- 7- إذا تطلب الأمر عدم استخدامها فترة طويلة من الوقت فإنه يمكن طلاؤها بطبقة رقيقة من الشحم الخفيف الخالي من الأحماض.

3-9-9- النقاط الواجب مراعاتها للعناية بقوالب القياس:

- 1- تخفيف اليدين قبل استعمال قوالب القياس.
- 2- عند استخدام القوالب الحديدية لأول مرة، يستعمل قماش خاص لإزالة الطبقة الواقية الموجودة على أسطح القوالب.
- 3- تحفظ بعيداً عن الرطوبة والحرارة والمواد الخادشة حتى لا تتلف.
- 4- لا يستعمل في تنظيف القالب البنزين أو الكحول.
- 5- يجب استعمال قوالب القياس بحذر عند قياس المشغولات الصلبة.

6- يجب أن تحفظ القوالب في العلبة المخصصة لها، مع وضع كل قالب في مكانه بالصندوق الخشبي.

7- يُراعى بعد تجميع القوالب المكونة للبعد أن تترك في درجة حرارة الغرفة وهي 20 درجة سيلسيوس.

8- لا تترك ملتصقة فترة تزيد عن 10 ساعات، وتجنب الضغط الشديد عند لصقها.

9- توضع طبقة شحمية رقيقة جداً لا تؤثر في البعد المكون من مجموعة القوالب.

10- تفحص قوالب القياس وتعاير دورياً.

11- قبل إجراء عملية القياس أو المقارنة يجب مسح قوالب القياس وتنظيف سطوحها جيداً لتلافي أي خطأ أو ارتياب في عملية القياس.

3-9-10- استعمال قوالب القياس:

تستعمل قوالب القياس في المعامل والورش لأداء المهام التالية:

1- معايرة أجهزة القياس مثل القدمة ذات الورنية والميكرومتر (تسمح هذه العملية بتحديد نسبة الخطأ المترتبة على عملية القياس بالجهاز).

2- فحص جودة المشغولات ذات الدقة العالية مثل أجزاء المحركات.

3- ضبط آلات التشغيل ذات التحكم الرقمي.

4- القياس الدقيق للزوايا باستعمال قضيب الجيب مع قوالب القياس.

3-9-11- تركيب بعد معين باستخدام قوالب القياس:

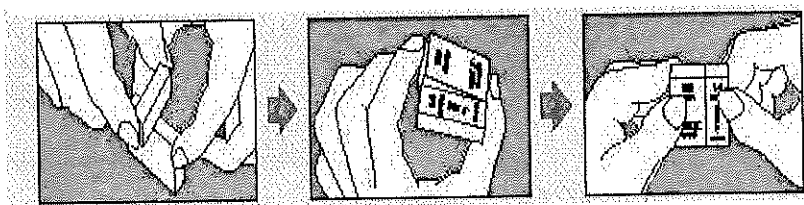
لتحديد بُعد معين باستخدام قوالب القياس يجب أن يُراعى ما يلي:

1- التأكد من النظافة التامة للقوالب ونخلوها من الأتربة والغبار...

2- يتم التجميع أو اللصق بين قالبين بإجراء عملية انزلاق سطح أحد القالبين على

سطح الآخر، وعملية اللصق تتم بمسك القالبين متعامدين كما في الشكل (3-64) ثم

يدار مع الضغط الخفيف لزاوية 90° .



الشكل (3-64) لصق قوالب القياس

3- لتحديد مقاسات القوالب التي نستعملها في تركيب المقاس المطلوب، نقوم بإجراء عملية حسابية بسيطة على النحو التالي:

- أ- نبدأ باختيار قالب القياس الذي يحقق أصغر رقم عشري في قيمة البعد المطلوب، يليه قالب يحقق الرقم العشري التالي، وهكذا حتى يكتمل البعد الكلي المراد تحديده.
- ب- يجب أن يُراعى خلال هذه العملية استعمال أقل عدد ممكن من قوالب القياس وذلك للتقليل من نسبة الخطأ في البعد المطلوب تحقيقه.
- ولتوضيح عملية تجميع القوالب لتحديد بُعد معين سنأخذ بعض الأمثلة العددية التالية والتي لم يُستخدم فيها قالباً مقاومة التآكل، وسيتم الاستعانة بطاقتي قوالب القياس الموضح بالجدول (3-8).

الجدول (3-8) طقم قوالب قياس

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

أما إذا استخدمنا قالباً مقاومة التآكل بسُمك 1 مم لكل منهما، ستصبح المجموعة اللازمة للبعد 67.984 مم، على سبيل المثال، كالآتي:

1.004، 1.48، 15.5، 50

من الاستعمالات المهمة لقوالب القياس، معايرة أجهزة القياس وضبطها، مثل ساعات القياس والميكرومترات وقدمات القياس الرقمية... الخ.

مثال: حدّد مقاسات القوالب المستعملة في تركيب البعد 5.615mm.

الحل: البعد المراد تحقيقه هو: 5.615mm

لإيجاد مقاسات القوالب تتبع الخطوات التالية:

- نختار القالب الذي يحقق أصغر رقم عشري وهو: 0.005mm، مقاس هذا القالب هو 1.005mm.

- نطرح هذه القيمة من قيمة البعد المطلوب:

$$5.615 - 1.005 = 4.61\text{mm}$$

- نختار بُعد القالب الذي يحقق الرقم العشري الأصغر أي 0.01mm وهو 1.01mm.

- نطرح هذه القيمة من القيمة المتبقية: $4.61 - 1.01 = 3.6\text{mm}$

- نختار القالب الذي يحقق أصغر رقم عشري وهو: 0.6mm، مقاس هذا القالب هو 1.6mm.

- نقوم بعملية الطرح: $3.6 - 1.6 = 2.0\text{mm}$

- آخر قالب نختاره هو 2.0mm

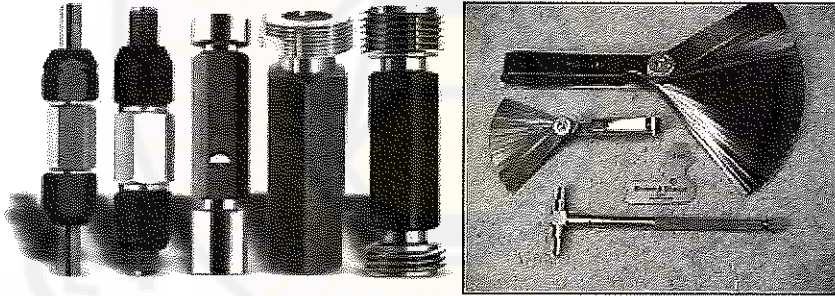
وبالتالي نحصل على القوالب المستعملة في تركيب البعد 5.615mm وهي:

$$2.0, 1.6, 1.01, 1.005$$

3-10- محددات القياس Gauges

تتسم الصناعات الميكانيكية المعاصرة بأنها صناعات ذات إنتاج كمي، حيث تنتج كميات هائلة من القطع وعناصر الآلات. وللتفتيش عمّا إذا كانت القطع مصنعة حسب المواصفات القياسية فإن عمليات القياس قد تكون غير عملية لما تتطلبه من وقت وجهد كبيرين. لذا نستعمل في هذه الحالة محددات القياس التي تُعدّ أدوات تمثيل الأبعاد أو الأشكال بقيم معينة وثابتة ودقيقة جداً. وباستعمال محددات القياس لا يمكن الحصول على قيم عددية للمقاس، وإنما يمكن التأكد مما إذا كان البعد أو الشكل مطابقاً للمواصفات. بصفة عامة، تستخدم محددات القياس في فحص المقاسات والأشكال واختبارها عن طريق المقارنة، وهذا قصد التفتيش عن جودة المنتجات. تُصنع عادة محددات القياس من الفولاذ السبائكي المقاوم للتآكل الاحتكاكي الذي يسمح بالمحافظة على دقتها العالية لمدة زمنية أطول.

يبين الشكل (3-65) بعض أنواع محددات القياس.



الشكل (3-65) أنواع من محددات القياس

3-10-1- أنواع محددات القياس:

- أ- محددات قياس الثقوب.
- ب- محددات قياس الأعمدة.
- ت- محددات قياس اللوالب الداخلية.
- ث- محددات قياس اللوالب الخارجية.

يمكن تصنيف هذه الأنواع حسب الشكل والنوع والاستخدام إلى مايلي:

تقسم محددات القياس إلى نوعين رئيسيين من حيث الشكل:

1- محددات قياس سدادية: تستعمل للتفتيش على أبعاد الثقوب والمجاري والمخاريط الداخلية والفتحات المضلعة المربعة أو المضلعة والأبعاد الداخلية...

2- محددات قياس حلقيّة: تستعمل للتفتيش على أبعاد الأعمدة والمخاريط الخارجية والخوابير والزوايا والأضلاع وجميع الأبعاد الخارجية بشكل عام.

وتصنف محددات القياس من حيث النوع إلى:

1- محددات قياس أحادية الحد: أي لها حد واحد مصمّم للتفتيش عن الحد الأدنى أو الحد الأعلى للبعد.

2- محددات قياس ثنائية الحد: تصمم بحيث يكون لها حدان، الأول مطابق للحد الأدنى للبعد، والثاني مطابق للحد الأعلى للبعد.

3- محددات قياس أحادية أو ثنائية الطرف: أي إنّ المحدد يكون مصمماً بحيث يتم استخدام طرف واحد أو كلا الطرفين في عملية التفتيش على أبعاد المنتجات.

4- محددات قياس ثابتة أو قابلة للتغيير: يمكن أن يكون محدد القياس ذا أبعاد ثابتة أو متغيرة يتم ضبطها حسب البعد المطلوب قياسه أو التفتيش عنه.

وتصنّف محددات القياس من حيث الاستخدام إلى:

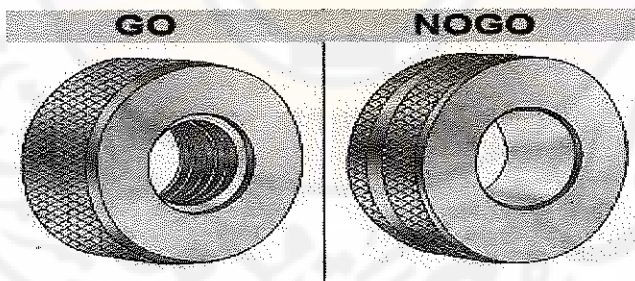
1- محددات التشغيل: وهي محددات تستعمل للتفتيش على أبعاد المنتجات أثناء عمليات التشغيل المختلفة.

2- محددات التفتيش النهائي: وهي تستعمل لتحديد مدى صلاحية المنتج بشكل نهائي بعد إتمام عملية تشغيله.

3- محددات قياسية: وهي تستعمل للتفتيش عن محددات التشغيل ومحددات التفتيش النهائي، وهذه المحددات ذات تكلفة كبيرة، ويتم التحقق من صحة أبعادها بأجهزة قياس عالية الدقة، وهي تأخذ شكل الجزء المقابل لها.

يمكن بواسطة محددات القياس الحدية التأكد بطريقة سهلة وسريعة من وقوع المقاس الفعلي للمشغولات في نطاق حدي التفاوت المسموحين، أي الحدان الأعلى والأدنى للمقاس، وبالتالي قبول المشغولة أو رفضها. وتنقسم هذه المحددات إلى محددات سدادية لفحص تفاوتات الثقوب، ومحددات القياس الفكية لفحص أقطار الأعمدة، ومحددات قياس اللوالب السدادية التي تستعمل لفحص القلاووظ الداخلي، ومحددات قياس اللوالب الحلقيّة لفحص الأعمدة.

يوضح الشكل (3-66) محددات القياس الحدية السدادية الأسطوانية وهي تتكون من طرفين كلاهما على شكل أسطوانة، يسمى الأول محدد الدخول أو الطرف السماح Go ويكون عليه المقاس الأصغر؛ أي يكون بعده مساوياً أحد حدي البعد الذي يجري التفتيش عليه (يكون بعد محدد الدخول Go في المحددات السدادية المستعملة لاختبار الثقوب مساوياً الحد الأدنى للثقب، أما في المحددات الحلقيّة المستعملة لاختبار الأعمدة فيكون بعد محدد الدخول Go مطابقاً للحد الأعلى للعمود)، والطرف الثاني يسمى محدد اللادخول أو الطرف اللاسماحي No Go ويكون عليه المقاس الأكبر، وهذا المحدد لا يمكنه الدخول، وبعده يساوي أحد حدي البعد المقيس (بعد محدد اللادخول السدادي مطابق للحد الأعلى، أما بعد محدد اللادخول الحلقي فهو مطابق للحد الأدنى للعمود).



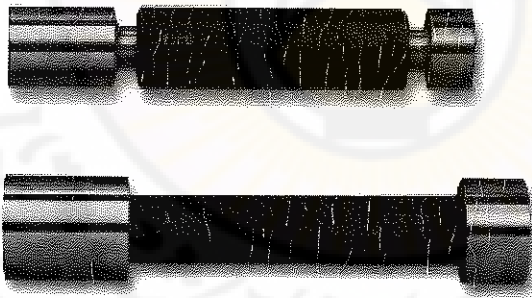
الشكل (3-66) محددات القياس الحدية السدادية الأسطوانية

إذا كان البعد المقيس للعمود أو الثقب يقع ضمن حدي البعد المنصوص عليهما في المواصفات الفنية، فإن أحد المحددين سوف يدخل والمحدد الآخر لن يدخل، وذلك لأن

الفرق بين بعدي المحددين هو التفاوت المسموح به في أبعاد الجزء المقيس، ويكون البعد الفعلي للجزء المقيس واقعاً بين حدي البعد المسموح، أي يكون مقبولاً. إذا دخل كلا المحددين في الجزء المراد مراجعته أو لم يدخل أي من المحددين في ذلك الجزء، كان معنى ذلك أن البعد المقيس لا يقع ضمن بعدي المحددين، أي لا يقع بين حدي البعد المسموح نسبياً له، ويعد في هذه الحالة مرفوضاً.

يُحذر الإشارة إلى أنه أثناء عملية التفتيش بمحددات القياس على القطع المنتجة لا يستخدم أي ضغط في إزواج محددات القياس في هذه القطع، بل يجب أن يتم الإزواج تحت تأثير الوزن الذاتي لمحدد القياس، حيث يجب أن يدخل الطرف السماحي برفق ودون استخدام العنف، أما الطرف اللاسماحي فلا يحتاج سوى أن يدخل قليلاً في الثقب المراد اختباره، وهو يميز بوجود دائرة حمراء عليه. أما الطرف السماحي فيمكن تمييزه بأنه أطول من الطرف اللاسماحي لأنه يدخل في الثقوب بمعدلات كبيرة لذلك يمكنه أن يستخدم أيضاً لاختبار الشكل الهندسي للثقب فضلاً عن استخدامه الأصلي. يحفر على كل محدد نقاس الاسمي ورمز التفاوت الخاص به.

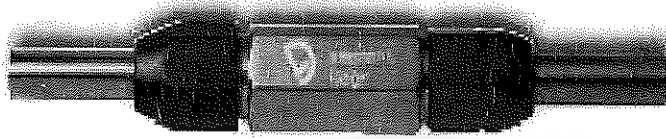
يبين الشكل (3-67) محددات القياس السدادية.



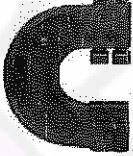
الشكل (3-67) محددات القياس السدادية

يُعد حدثاً محددات قياس سدادية يميز فيها الطرف اللاسماحي باللون الأحمر . هو موضح بالشكل (3-68) لتجنب أي التباس عند

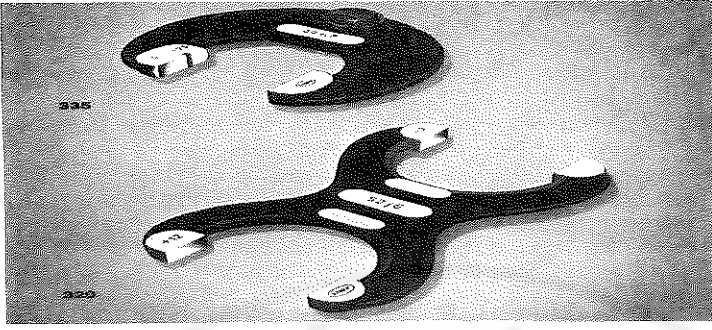
الاستعمال. ونظراً لتعرض الطرف السماحي للاحتكاك فغالباً تتم كسوته بطبقة كريبديّة لمقاومة البري.



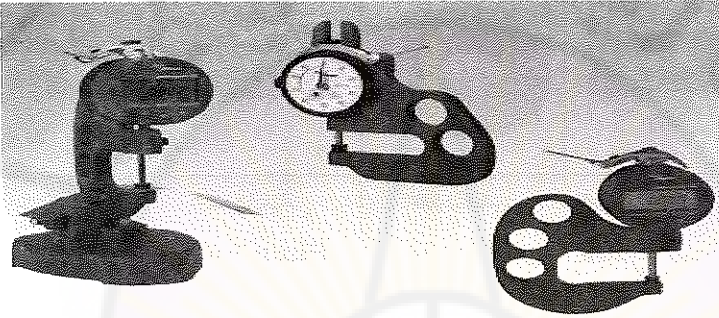
الشكل (3-68) محددات القياس السدادية الملونة

محددات القياس الحديدية			
			
محدد قياس اللولب السدادية (قياس القـلاووظ Thread الداخلي) gage	محدد قياس اللولب الحلقيّة Ring gages	محدداتالقياس السدادية Plain Cylindrical gages	محددات قياس فكية Snap gages
ملاحظة هامة: عادة يكون لهذه المحددات طرفان اثنان: الطرف السماحي (GO) والطرف اللاسماحي (NOT GO)			

تستخدم محددات القياس الفكية لاختبار تفاوتات الأعمدة، ويوجد منها عدة أنواع مثل: المحددات المزدوجة، والمحددات أحادية الطرف وأحادية الطرف القابلة للضبط كما في الشكل (3-69)، والأخيرة يمكن ضبط مدى قياسها بواسطة قوالب القياس على عدة مجالات للتفاوتات، وبالتالي تستخدم لاختبار عدد من التفاوتات، على عكس المحددات العادية التي تستخدم للتفاوتات المدون عليها فقط. ويوجد من هذا النوع تصميمات بها مبيّنات رقمية أو بمؤشر شكل (3-70) لضمان الحصول على أعلى دقة ضبط.

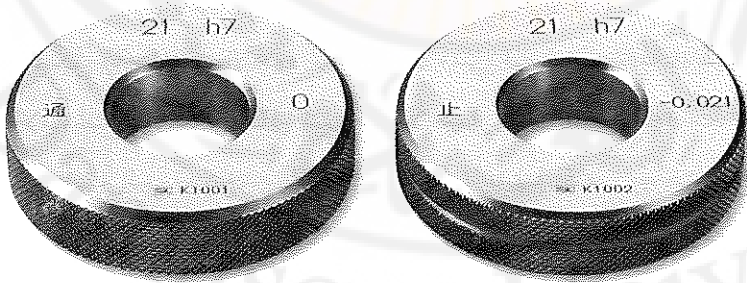


الشكل (69-3) محددات القياس الفكّية المزدوجة وأحادية الطرف



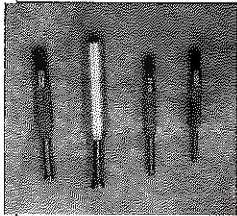
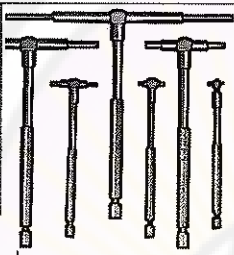
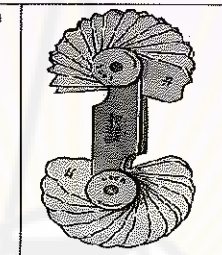
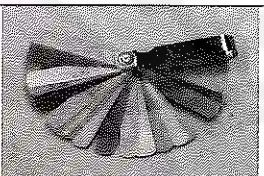
الشكل (70-3) محددات قياس فكّية قابلة للضبط ذات مبين بمؤشر أو رقمية

بالإضافة إلى المحددات الفكّية، تستخدم أيضاً محددات القياس الحلقية الموضحة في الشكل (71-3) لفحص الأعمدة، وهي عبارة عن أقراص مستديرة مثقوبة ومجملخة. ولكل مقاس تفاوت، هناك قرصان أحدهما سماحي والثاني لا سماحي، ويستخدم هذا النوع بكفاءة عالية لاختبار الأعمدة الطويلة.



الشكل (71-3) محددات القياس الحلقية

وهناك محددات القياس البسيطة التي تستعمل للفحص السريع والدقيق لأشكال القطع وأبعادها، وتعد المحددات المبينة في الشكل (3-72) من أكثر هذه المحددات استعمالاً وهي: محددات قياس خطوة القلاووظ الداخلية والخارجية، ومحددات قياس الشقوق، ومحدد قياس الأقواس، ومحدد قياس الزوايا، ومحدد ضبط أقلام قطع القلاووظ، ومحددات قياس سماكة الثقوب، ومحددات الاستدارة، ومحددات قياس الثقوب الصغيرة والمحددات التلسكوبية التي تستعمل بكثرة في نقل أبعاد الأقطار ومقارنتها مع جهاز القدمة أو الميكرومتر أو قوالب القياس.

محددات القياس البسيطة			
			
محددات قياس الثقوب Small hole gages	محددات قياس تلسكوبية Telescopic gages	محددات الاستدارة Radius Gages	محسات قياس لفحص السماكة Thickness gages

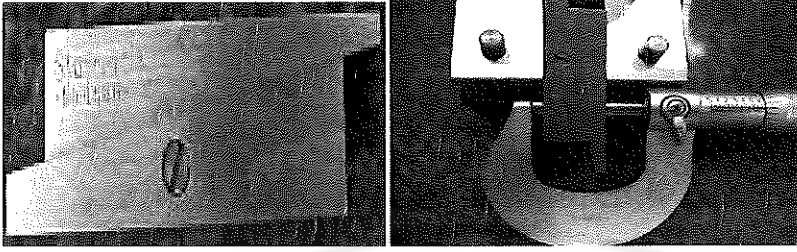
الشكل (3-72) بعض محددات القياس البسيطة

كما توجد أنواع أخرى من المحددات تستعمل لنقل الأبعاد الصعبة وغير المتاحة لأجهزة القياس العادية. أهم هذه المحددات:

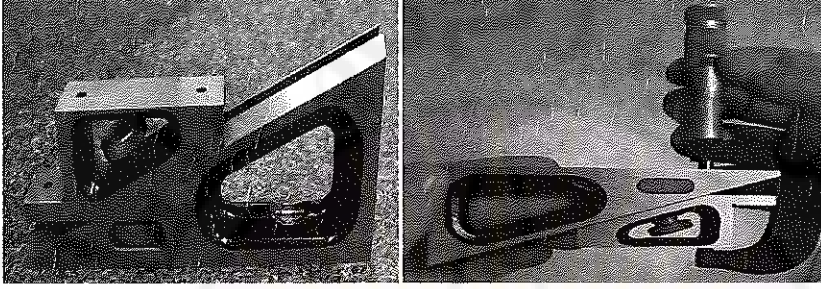
1- المتوازيات القابلة للتعديل.

2- محدد المستوي.

عن طريق هذه المحددات يمكن نقل الأبعاد بدقة عالية ومن ثم مقارنة هذه الأبعاد مع جهاز قياس دقيق مثل القدمة أو الميكرومتر كما في الشكل (3-73) و (3-74).



الشكل (73-3) المتوازيات القابلة للتعديل Adjustable parallels



الشكل (74-3) محدد المستوي Planer Gage

هناك محددات قياس ذات فكوك متحركة يمكن تغيير أبعادها لمراجعة القطع، وعادة تحتوي هذه المحددات على فكين أحدهما ثابت والآخر قابل للتغيير وله بروزان يُعَيَّر أحدهما بحيث يكون بُعده عن الفك الثابت مطابقاً للحد الأعلى لبعد القطعة المقيسة، ويُعَيَّر البروز الآخر بحيث يكون بُعده عن الفك الثابت مطابقاً للحد الأدنى لبعد القطعة المقيسة، بعد ضبط البروزين على البعدين المطلوبين، يُصب قليل من البارافين على براغي الضبط ويختتم ولا ينزع هذا الختم إلا عندما تنتهي عملية مراجعة هذا البعد أو عند تصحيح هذا البعد نتيجة للتآكل. تستخدم محددات القياس القابلة للتغيير لقياس الأبعاد حتى 105mm، مع العلم أن الإنتاج الكمي يتم التفتيش عليه بواسطة محددات قياس ثابتة.

بالنسبة لأبعاد الثقوب فيتم قياسها بواسطة محددات قياس سدادية، ويوجد على طرفي المحدد السدادي أسطوانتان، ويكون قطر الأسطوانة الأكثر طولاً مساوياً قيمة الحد الأدنى للبعد المقيس، أما قطر الأسطوانة الأقل طولاً فيكون مساوياً الحد الأعلى للبعد

المقيس وذلك حسب مرتبة الدقة المطلوبة. يمكن استعمال محدد الدخول Go من 200 حتى 10000 مرة لكل ميكرومتر μm تأكل من سطح المحدد تبعاً لعوامل التآكل، ومن أجل الحصول على معدل تأكل منخفض يجب ألا تقل درجة قساوة سطح هذا المحدد عن 63HRC.

3-10-2- الشروط التصميمية لمحددات القياس:

بما أن محدّدات القياس تستخدم للحكم على سلامة أبعاد المنتجات ومدى مطابقتها للمواصفات الموضوعة، فهي تستلزم شروطاً تصميمية تحدد صلاحية هذه المحددات للاستعمال. لذلك يجب أن تتمتع محدّدات القياس بمزايا عديدة تحددها الشروط التصميمية لمحددات القياس، وأهم هذه الشروط:

1- جودة محدد القياس: إن أبعاد محدد القياس تخضع لتفاوتات مسموح بها، وقيمة التفاوت المسموح به لمحدد القياس يساوي $5\% \div 10\%$ من قيمة التفاوت المسموح به للجزء الذي يجري التفتيش عليه بهذا المحدد. لذلك كلما قلت قيمة التفاوت المسموح به للجزء (وبالتالي للمحدد) زادت تكاليف صناعة محدد القياس بشكل ملحوظ. وهناك مواصفات قياسية تحدد قيم التفاوتات المسموح بها لمحددات القياس تبعاً لأبعاد المشغولة أو الجزء الذي يتم التأكد من صحته أبعاده. لذلك يجب عدم المغالاة في تضيق مجال التفاوت المسموح به لمحددات القياس، لأن ذلك يؤدي إلى ارتفاع تكاليف صناعة هذه المحددات بشكل غير مبرر، وبالتالي يجب اختيار مجال التفاوت لأبعاد محدد القياس وفق المنطق الهندسي والاقتصادي. وفي أحيان كثيرة يكفي استعمال محدّدات قياس من النوع متوسط الجودة لتحقيق عملية تفتيش ناجحة، بدلاً من استعمال محدّدات قياس عالية الجودة.

أ- محدّدات قياس متوسطة الجودة: التفاوت المسموح به لهذا النوع من المحددات كبير نسبياً، ولذلك تكلفتها منخفضة.

ب- محدّدات قياس جيدة: التفاوت المسموح به قليل أو متوسط، وتكلفة صناعة هذه المحددات متوسطة، وهي شائعة الاستعمال.

ج- محددات قياس عالية الجودة: تكاليف صناعتها كبيرة جداً لأن مجال التفاوت المسموح به لهذه المحددات ضيق جداً، وتستخدم محددات القياس عالية الجودة للتفتيش على مشغولات ذات أبعاد صغيرة وتفاوتات صغيرة جداً.

2- **مميزات مواد صناعة محدد القياس:** إن نوع المادة المستعملة في صناعة محددات القياس يتوقف على نوع محدد القياس وعلى مميزات هذا المحدد. ويتم صنع محددات القياس بشكل عام من أنواع خاصة من الفولاذ المعالج.

الشروط الواجب توافرها في المواد المستعملة في صناعة محددات القياس:

أ- **الاستقرار:** يجب أن تتمتع المادة المستعملة في صناعة محدد القياس باستقرارية عالية ضد تغير العوامل البيئية، حيث يجب أن تعالج حرارياً بالشكل الأنسب لتصبح مستقرة من حيث أبعادها، فلا يحدث أي تغيير في هذه الأبعاد مع الزمن، وبحيث تحافظ على شكلها أيضاً مع مختلف المتغيرات من ضغط ودرجة حرارة ورطوبة. يساعد تأمين الاستقرار العالية لمحدد القياس على استعمال هذا المحدد في عمليات التفتيش على المنتجات بدقة وسلامة.

ب- **مقاومة التآكل:** إن توافر المقاومة العالية للتآكل يزيد من عمر محدد القياس، بمعنى آخر يزيد من عدد مرات استعمال هذا المحدد بشكل كبير. فأتناء الكشف على سلامة المنتجات من حيث أبعادها يجري احتكاك مستمر لمحدد القياس بمعدن المشغولة، وهذا الاحتكاك يؤدي إلى تآكل السطح الخارجي لمحدد القياس وتشوّهه.

وضعت هيئة المواصفات والمقاييس الدولية حداً أقصى مسموح به لتآكل معدن محدد القياس بحيث يصبح هذا المحدد ملغياً بعد تجاوز هذا الحد ويفقد صلاحيته للاستعمال، لذا يجب اختيار المادة التي يصنع منها محدد القياس بحيث تتمتع بمقاومة عالية للتآكل.

ج- **سهولة التصنيع:** يجب أن تكون المواد التي يُصنع منها محددات القياس سهلة التصنيع، ويمكن تشغيل سطوحها بدقة وسهولة وعلى أكمل وجه، بحيث لا تحتاج

لعمليات تشغيل معقدة وطويلة؛ لأن هذا يزيد من تكلفة إنتاج محددات القياس بشكل غير مرغوب فيه.

3-10-3- أنواع المواد المستعملة في صناعة محددات القياس:

1- الفولاذ القابل للتغليف: يمتاز هذا النوع بصلابة عالية واستقرارية لأبأس بها وهو سهل التشغيل، ويحتوي على نسبة قليلة من الكربون. يتم تغليف هذه المحددات بالكربون بوضعها في مكان مغلق يحتوي على جو من الكربون، وذلك بتسخينها حتى الدرجة 950°C ، مع الإبقاء على هذه الدرجة فترة زمنية مناسبة حتى يجري تغليف المحدد بطبقة الكربون وبالعُمق المطلوب، ثم تترك لتبرد ببطء.

بعد ذلك يتم تقسية هذه المحددات بتسخينها حتى درجة حرارة 870°C يلي ذلك التبريد بشكل مفاجئ بالماء أو الزيت ثم تجري عليها عملية التخليخ الدقيق للحصول على الأسطح النهائية لمحدد القياس بالأبعاد التصميمية المطلوبة. يستعمل هذا النوع من المواد لصناعة محددات قياس متوسطة الحجم لا تزيد أبعادها على 30mm.

2- الفولاذ المسبوك: يتم صناعة محددات القياس من الفولاذ المسبوك من أجل أقطار أقل من 30mm، حيث يحوي هذا النوع من المعادن نسبة عالية من الكربون (تقريباً 1.1%) ويتم تسخين هذا المعدن حتى الدرجة 160°C ثم يبرد ببطء (بعد إبقائه في الدرجة 160°C لفترة مناسبة من الزمن 4-5hours) وذلك للحصول على بنية بلورية متناسقة ومستقرة، ثم تجري عملية التقسية بالتسخين ثم التبريد المفاجئ. ويتم إكساء السطوح المعرضة للتآكل باللحم الكريدينية التي تتمتع بصلابة ومقاومة تآكل عاليتين.

3- سبائك الفولاذ: هناك عدد كبير من السبائك المستعملة في صناعة محددات القياس، وتمتاز بعض أنواع هذه السبائك بالمقاومة العالية للتآكل وبمقاومة عوامل البيئة والزمن. وتختلف نسب العناصر الداخلة في تركيب السبيكة حسب المواصفات المطلوبة، حيث تحتوي معظم هذه السبائك على المنغنيز (يكسب السبيكة استقرارية عالية)، وعلى الكروم (لزيادة مقاومة التآكل)، والسيليكون (لزيادة الصلابة).

يجري تغليف محددات القياس بعد تشغيلها بمادة الكروم حيث يتم ترسيب طبقة من الكروم كهربائياً على سطح محدد القياس بعد تجليخه، ثم يتم تجليخ هذا السطح نهائياً بصقل طبقة الكروم حتى البعد النهائي المطلوب للمحدد، وعملية الطلاء (الترسيب الكهربائي) هذه تزيد من مقاومة المحدد للصدأ بالإضافة لإكسابه صلابة عالية.

4- الزجاج: في أثناء الحرب العالمية الثانية، ونظراً لنقص المعادن وعدم توافر كميات كافية لصناعة المحددات، فقد تم تصنيعها من مادة الزجاج الذي يتميز بصلابته العالية ومقاومته للتآكل والصدأ ورخص ثمنه، لكن الزجاج يعد هشاً وغير مقاوم للصدمات.

3-10-4- النظام الدولي ISO لمحددات القياس:

حددت المنظمة الدولية ISO مجال التفاوت المسموح به لمحددات القياس السدادية والحلقية، كما حددت المجال الأعظمي المسموح به لتآكل سطح محددات القياس (يعد المحدد خارج مجال الاستعمال عند تجاوز هذا الحد). وقد احتوت المواصفات الدولية على توصيات شاملة بالنسبة لقيم التفاوتات، حيث أخذت في الحسبان الأبعاد المقيسة التي تزيد على 180mm وذلك بوضع عامل أمان، أي تفاوت إضافي لكلا المحددين Go و Not Go وينتج عن إدخال منطقة الأمان هذه خفض يسير في التفاوت المسموح به للقطعة المنتجة.

إن عمليات التفتيش النهائي على المنتجات يتم بموجبها قبول المنتج أو رفضه، ولذلك تستعمل فيها محددات التفتيش، وعندما يتم استنفاد محددات التفتيش النهائي تتحول إلى محددات تشغيل لفحص القطع المنتجة أثناء عملية التشغيل واختبارها، وعند استنفاد كامل التفاوت المسموح به للتآكل ويصل إلى أقصى حد مسموح به للتآكل، عند هذا الحد يتوقف استعمال محدد القياس.

تتباين محددات التشغيل ومحددات التفتيش النهائي والمحددات القياسية من حيث التفاوت المسموح به لمحدد القياس بين جانبي Go و Not Go، فهو في محددات التشغيل أقل منه في محددات التفتيش النهائي، وفي محددات التفتيش النهائي أقل منه في المحددات القياسية.

الجدول (3-9) تفاوتات المنتجات والمحددات مقدرة برتب التفاوتات الأساسية

رتب التفاوتات IT للمنتجات						نوع محدد القياس
IT5	IT6	IT7	IT8-IT10	IT11-IT12	IT13-IT16	
	2	3	3	5	7	المحدد السدادي
	3	3	4	5	7	المحدد الحلقي
1	1	1	2	2	3	المحدد القياسي

يبين الجدول (3-9) قيم تفاوتات التشغيل لمحددات القياس السدادية والحلقة والقياسية في النظام الدولي ISO بالنسبة لرتب التفاوتات الأساسية. وتقسم هذه القيم بالتساوي لإيجاد حدود التفاوت بحيث تكون مماثلة بالنسبة للبعد الاسمي أو لخط نهاية منطقة الأمان لمحددات اللادخول Not Go، وكذلك بالنسبة لخط نهاية منطقة التفاوت المسموح به للتآكل في حالة محدّدات الدخول Go. **ملاحظة:** بالنسبة للمنتجات ذات التفاوتات الكبيرة نسبياً فإن قيمة الحد الأقصى لتآكل محدد القياس تصبح صفراً تقريباً.

3-10-5- شروط الاستعمال الصحيح لمحددات القياس:

- علينا دائماً تنظيف القطعة التي نريد فحصها بالمحدد.
 - لا يُسمح بضغط المحددات السدادية أو الفكّية وإدخالها بالقوة داخل القطعة المفحوصة. بل يجب استعمال تأثير الوزن الذاتي للمحدد حتى يدخل داخل القطر المراد فحصه.
 - عند استعمال محدّدات القياس بطرفين نبدأ دائماً بالجانب اللا سماحي ومنه تكون لدينا إحدى الاحتمالات التالية:
- 1- عند دخول محدد القياس من الجانب اللاسماحي تُعد القطعة غير مطابقة للمواصفات وتالفة ولا يمكن إعادة تشغيلها من جديد.

2- إذا لم يدخل المحدد من الطرفين اللاسماحي والسماحي تُعد القطعة مرفوضة، ولكن يمكن إعادة تشغيلها.

3- عدم دخول المحدد من الطرف اللاسماحي ودخوله من الطرف السماحي، تكون القطعة مطابقة للمواصفات وضمن نطاق التفاوت المسموح به.

- عند استعمال محددات القياس السدادية نبدأ بإدخال الطرف السماحي إلى أبعد حد ممكن داخل الثقب حتى نتأكد من أن أبعاد الثقب لا تتغير.

3-11- ساعات القياس

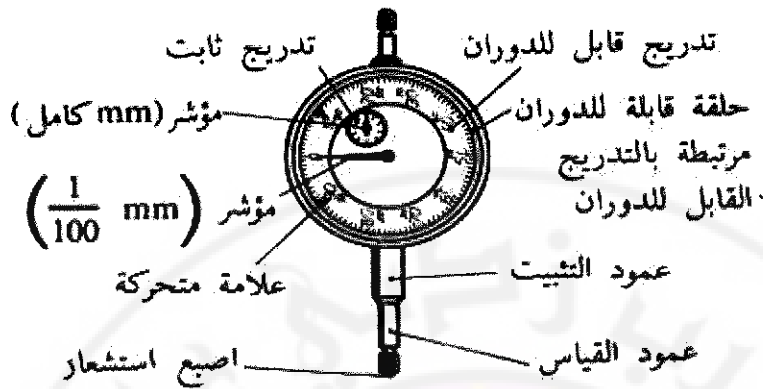
مقدمة:

تعد ساعة القياس (مبين القياس ذو القرص) من أدوات القياس بالمقارنة، حيث تنتقل بوساطتها إزاحات إبرة القياس بطرائق ميكانيكية مناسبة إلى مؤشر القياس الذي يتحرك أمام قرص مدرج دائري مقسم بتقسيمات على كامل محيطه. وساعات القياس هي عبارة عن محددات قياس ذات قرص مدرج أو مبين، تستخدم لتحديد قيمة حيود (انحراف) المقاس الفعلي عن المقاس النظري لقطع الشغل مثل قياس الحيود الناتج عن عدم استواء الأسطح وعدم انتظام دوران الأعمدة (تستعمل لتحديد قيم انحرافات مقاسات وأبعاد القطع المصنعة عن الأبعاد المنصوص عليها في المواصفات والتصاميم).

3-11-1- مكونات جهاز ساعة القياس:

تتكون ساعة القياس من إصبع استشعار وعمود تثبيت وتدرج ثابت وآخر قابل للدوران، ترتبط به حلقة قابلة للدوران كما في الشكل (3-75). عند الاستعمال يجب تثبيت الساعة على سطح مستو، ثم يتم تحريك إصبع الاستشعار على السطح المراد قياسه فتنتقل الانحرافات الأبعاد من إصبع الاستشعار (عن طريق مجموعة من التروس لتكبير الحركة) إلى المؤشر الكبير الذي يتحرك على القرص المدرج والمقسم إلى 100 قسم دائري (بتدرج مقداره $1/100\text{mm}$). وتناظر الدورة الكاملة للمؤشر 1 مم من الحركة الخطية لإصبع الاستشعار. ويوجد مؤشر صغير يعطي قيمة القراءة المناظرة للدوران الكامل للمؤشر الكبير. ومنه يمكن تحديد قيم الانحرافات على السطح المقاس. عادة ما تستعمل هذه الطريقة في ورش التشغيل لفحص استواء الأسطح واستدارة الأعمدة ومقارنة الأبعاد مع قوالب القياس.

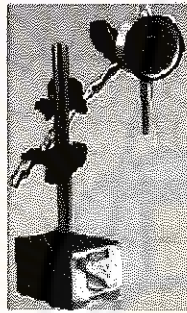
يعرض الشكل (3-76 أ) ساعة قياس ذات مؤشر، ويبين الشكل (3-76 ب) طريقة تثبيتها أثناء القياس. ويظهر الشكل (3-76 ج) ساعة قياس رقمية تعطي قيمة القراءة مباشرة على شاشة صغيرة بدلاً من أخذ قراءة المؤشر، وبالتالي تقل أخطاء القياس.



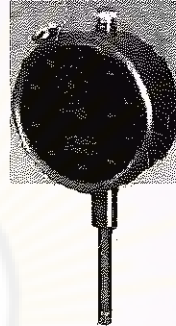
الشكل (3-75) مبین القياس ذو القرص



(ج)



(ب)



(د)

الشكل (3-76) مبینات القياس وطريقة تثبيتها بالحامل

3-11-2- أنواع مبینات القياس ذو القرص (وجه الساعة):

1- من حيث دقة القياس: تختلف مبینات القياس من حيث الدقة إلى نوعين 0.01mm و 0.001mm . في ساعات القياس ذات الدقة 0.01mm يتم تدرّيج مدرج القياس بتدرّيجات تقابل كل تدرّجة إزاحة خطية لإبرة القياس مقدارها 0.01mm ، ويكون المدرج مقسماً إلى 100 تقسيمة وبالتالي تعادل كل دورة كاملة لمؤشر القياس إزاحة خطية مقدارها 1mm لإبرة القياس.

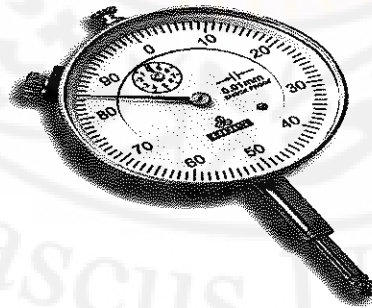
2- من حيث مدى القياس: تنقسم إلى أربعة أقسام حسب استخدامها: المجال من $(0-10\text{mm})$ أو $(0-5\text{mm})$ أو $(0-3\text{mm})$ أو $(0-2\text{mm})$.

3- من حيث الشكل: يوجد مبيّنات تعمل بدائرة إلكترونية، تتم القراءة فيها رقمياً، ومبيّنات قياس تعمل ميكانيكياً بجريدة مسننة وتروس، وتتم القراءة على قرص مدرج. أهم أنواع ساعات القياس الشائعة والأكثر استخداماً:

أ. نوع إبرة القياس: إن حركة إبرة القياس تسبب دوران مسنن صغير موجود داخل آلية نقل الحركة في ساعة القياس، يقوم هذا المسنن بتدوير مسنن أكبر منه متصل معه مباشرة، يقوم المسنن الكبير بتدوير مسنن صغير متصل مباشرة مع مؤشر ساعة القياس، بالطبع انتقال الحركة بهذا الشكل بدءاً من إبرة القياس مروراً بمجموعة المسننات حتى مؤشر القياس يؤدي إلى تكبير الحركة، وهذا التكبير الحاصل في الحركة يعطي الفرصة لجعل تقسيمات مدرج القياس ذات قيم أقل مما يزيد في دقة ساعة القياس.

يبين الشكل (3-77) ساعة طراز إبرة القياس، تستعمل هذه الأنواع من ساعات القياس في مقارنة القياس، وتوضع عادة بحيث تلامس إبرة القياس سطح القطعة المراد قياسها حيث تتحرك إبرة القياس فتتحرك مجموعة المسننات وأخيراً يتحرك مؤشر ساعة القياس على مقدار الاختلاف في الارتفاع. تتركب ساعة القياس هذه على حامل ثابت ذي قاعدة مستوية بحيث يسمح هذا الحامل بتغير الإرتفاع المقيس.

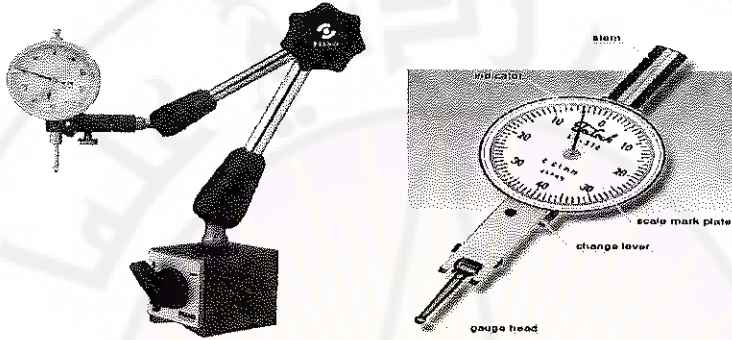
يمكن بهذه الطريقة استعمال هذه الساعة لتعيين الانحرافات الحاصلة في أبعاد شكل المشغولة عن الشكل أو البعد التصحيحي، مثل اختبار عدم تركز مشغولة مركبة على ظرف مخروطية، وعدم التركز القطري والمحوري لمقطع التفريز وبالمثل اختبار عدم توازي سطحين من سطوح المشغولة أو اختبار مخروطية السطوح للمشغولات.



الشكل (3-77) طراز إبرة القياس

ب. نوع الرافعة: يعتمد تكبير الحركة في هذا النوع من ساعات القياس على رافعة ووصلة حلزونية، ويكون مجال القياس في هذه الحالة صغيراً ولا يتجاوز الدورة الواحدة لمؤشر القياس إلا بقليل.

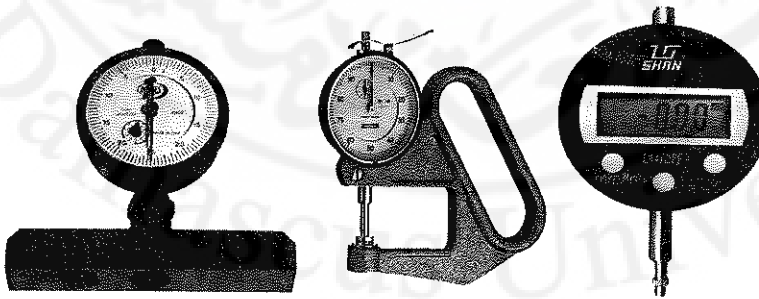
يبين الشكل (3-78) ساعة قياس طراز الرافعة، في هذا النوع تكون إبرة القياس على شكل قلم لمس حركته أفقية، بينما حركة إبرة القياس في الطراز السابق شاقولية.



الشكل (3-78) ساعات القياس طراز الرافعة Lever-type

3-11-3- الأجزاء الرئيسية لساعة القياس:

تقوم الشركات المختصة بتصنيع أجهزة القياس بإنتاج أنواع متعددة من ساعات القياس، تعتمد في غالبها على النوعين السابقين: طراز إبرة القياس وطراز الرافعة، لكنها تختلف من حيث التصميم بما يتناسب مع الغرض المطلوب ونوع عملية القياس. وتصنع هذه الأنواع بمجالات قياس مختلفة، وتبين الأشكال (3-79) بعض أنواع ساعات القياس الأكثر استخداماً.



الشكل (3-79) بعض أنواع ساعات القياس

تشارك معظم هذه الأنواع بالأجزاء الرئيسة المكونة لها وهي:

1- القرص المدرج: يجب أن يكون القرص مدرجاً بخطوط حادة بحيث تتباين مع الخلفية لتسهيل عملية القراءة (المسافة بين التدرج والأخرى لا تقل عن 1mm).

2- المؤشر: يجب أن يتحرك المؤشر في اتجاه عقارب الساعة عندما تكون إبرة القياس مضغوطة. كما يجب أن تكون ساعة القياس قابلة للضبط بحيث يتم ضبط إبرة القياس بحرية تامة، ويجب ألا تقل حركة دوران مؤشر القياس عن $1/10$ دورة عن أبعد نقطة، وبالطبع المقصود هنا نقطة الصفر على المؤشر عن نقطة تلامس إبرة القياس، وفي هذه الحالة يجب أن تشير أداة عد الدوران إلى الصفر.

3- إبرة القياس: يجب أن تكون نقطة تلامس إبرة القياس قابلة للإزالة وللتبادل بسهولة. كما أن لها طرفاً مقاوماً للتآكل وكروي الشكل بنصف قطر r يتم اختياره أكبر ما يمكن حسب التطبيق ونوع عملية القياس.

4- آلية تكبير الحركة: هي عملية تحويل الإزاحة الخطية لإبرة القياس إلى حركة دورانية مكبرة لمؤشر القياس، إذ كلما كانت نسبة التكبير عالية كانت ساعة القياس أكثر دقة وحساسية.

5- وسائل التثبيت: يجب أن يكون القطر الخارجي لعنق التثبيت إما 8mm أو 9.5mm وفي كلتا الحالتين يجب أن يكون ارتباط نقطة التلامس بإبرة القياس بوساطة سن لولبية من نوع $M 2.5 \times 0.45$.

كما يجب أن يكون التثبيت ملائماً كي يضمن تكرارية القراءة.

6- أداة عدّ الدورات: إن بعض ساعات القياس تحتوي على أداة عدّ الدورات، حيث يتحرك مؤشر القياس المساعد أمام مدرج إضافي مشيراً إلى العدد الكلي للدوران الخاص بالمؤشر الرئيس. كما يجب أن تحتوي كل ساعة قياس على أداة تسمح بضبط مؤشر القياس الرئيس ومؤشر القياس المساعد على وضعية الصفر بالنسبة للقرص المدرج ضمن المجال المفيد لحركة إبرة القياس.

3-11-4- الاستعمالات الأساسية لساعة القياس:

بما أن ساعة القياس عبارة عن أداة مقارنة (مقارنة الشكل الفعلي للمشغولة بالشكل التصميمي الذي يجب أن تكون عليه)، لذا تستخدم كثيراً في الورش ومختبرات المقارنة وذلك لتحديد مدى الانحرافات الحاصلة في أبعاد المشغولات، كما تستخدم لتحديد الأخطاء في الشكل الهندسي مثل الكشف عما إذا كان شكل الأسطوانة مخروطياً أو كروياً أو مستديراً أو منحنياً، كما أنها تستخدم لفحص ما إذا كانت سطوح المشغولة متعامدة أو متوازية.

أهم استعمالات ساعة القياس:

1- إيجاد بعد خطي لمشغولة: يمكن استخدام ساعة القياس مع قوالب القياس لتحديد الأبعاد الخطية للقطع المنتجة.

مثال: لتحديد ارتفاع مشغولة، تستخدم أولاً قدمة قياس الارتفاعات لتقدير قيمة الارتفاع، ثم يتم بناء هذا البعد أو ما يقربه من قوالب القياس وإضافة بعضها لبعض، ثم توضع قوالب القياس تحت ساعة القياس بشكل يلامس بنعومة إبرة القياس ويضبط المؤشر على وضعية الصفر. وبعد ذلك تزال هذه القوالب وتوضع المشغولة المراد قياس بعدها تحت ساعة القياس، وأي تغير في وضعية الصفر للمؤشر سوف يبين الفرق بين البعد المعلوم والارتفاع المعلوم لقوالب القياس.

2- فحص المحاور: عند استخدام المخروطة لإنتاج مشغولة بشكل أسطواني، أو عند استخدام آلة الثقب لإنتاج ثقب بقطر معين، فإنه يكون متوقعاً بالتأكيد أن يكون شكل الأسطوانة أو الثقب مستديراً تماماً. ولكن في بعض الحالات غالباً ما يكون شكل القطعة منحرفاً قليلاً عن الشكل الدائري. ولذلك يتم استعمال ساعة القياس لفحص شكل مقطع المشغولة ومدى وقوعه في مجال الانحرافات. كما يمكن تحريك الساعة على طول المشغولة الأسطوانية التي يفترض أن تكون ذات مقطع دائري ثابت فإذا تحرك مؤشر القياس عن وضعية الصفر كانت المشغولة منحرفة عن القيم التصحيحية المفروضة.

3- فحص الاستدارة: توضع المشغولة بين ذنبتين يمر رأسهما من محور المشغولة، ثم توضع ساعة القياس على حامل مناسب ويتم تثبيتها بحيث تنضغط إبرة القياس قليلاً ثم تضبط على وضعية الصفر. يجري تحريك المشغولة بإدارتها حول محورها فإذا تحرك المؤشر عن الصفر دلّ ذلك على عدم صحة انطباق محور المشغولة على محوري الذنبتين، ونلاحظ أثناء عملية الاختبار تحرك مؤشر القياس، فإذا كان تحركه ضمن المجال المسموح به كانت المشغولة مقبولة، أما إذا تجاوز مؤشر القياس القيم المسموحة كانت المشغولة مرفوضة.

4- فحص الثقوب: تستخدم لفحص صحة أبعاد الثقوب ومدى وقوع هذه الأبعاد ضمن الحدود المسموحة ساعة قياس مزودة بإبرتي قياس إحداها ثابتة والأخرى متحركة أو قابلة للضبط. وتنتقل حركة إبرة القياس على محور إلى آلية تكبير الحركة حيث يتم التعبير عن انحرافات بعد الثقب بوساطة انحرافات في مؤشر القياس. قبل فحص بعد الثقب تضبط إبرة القياس المتحركة على قيمة معينة، بوساطة استعمال الميكرومتر الخارجي. وتعد القراءة التي يشير إليها مؤشر القياس صفراً، حيث يضبط مؤشر القياس على وضعية الصفر، ثم يتم إدخال إبرة القياس المزدوجة إلى الثقب، وهذا سوف يؤدي أثناء عملية تحريك إبرة القياس على طول الثقب إلى انحراف مؤشر القياس بقيم يمكن قراءتها على مدرج الساعة، وبالطبع يتم رفض أي ثقب إذا تجاوزت انحرافات مؤشر القياس الحدود التصميمية المسموحة.

3-11-5- ضبط ساعات القياس:

تُعرف دقة ساعة القياس على أنها قابلية ساعة القياس لإعطاء قراءات (ضمن مجالات محددة) ذات خطأ نظامي يكون ضمن تفاوتات محددة. إن معايرة دقة ساعات القياس وضبطها تجري بشكل عام بوساطة أداة تثبيت خاصة، حيث يتم تثبيت ساعة القياس مقابل رأس ميكرومتر معيار، أو تثبيتها بصورة عمودية فوق سطح قياس مرجعي يمكن وضع المقاييس النهائية عليه. وفي كلتا الحالتين تؤخذ سلسلة من القراءات على مسافات موزعة بصورة مناسبة على الطول الكامل للمجال المفيد لحركة إبرة القياس. ثم

تحلل النتائج بواسطة منحني معايرة، بحيث ترسم بياناً الأخطاء الملاحظة في ساعة القياس على المحور الرأسي وأوضاع إبرة القياس على المحور الأفقي، يمكن من المنحني الناتج عن وصل النقاط المتتالية تقدير أي خطأ موضعي للدقة بحساب الفرق الأعظمي بين الإحداثيات الرأسية في مجال ذي مقادير معينة من المجال المفيد لحركة إبرة القياس، كما يمكن تقدير الخطأ الكلي للدقة بحساب الفرق الأعظمي بين القيم الرأسية لكامل المجال المفيد لحركة إبرة القياس.

3-11-6- مميزات هذا النوع هي:

- 1- بساطة التصميم .
- 2- خفة الوزن.
- 3- ارتفاع دقة حساسيته القياسية.

3-12- تسامحات وإزواجات اللوالب

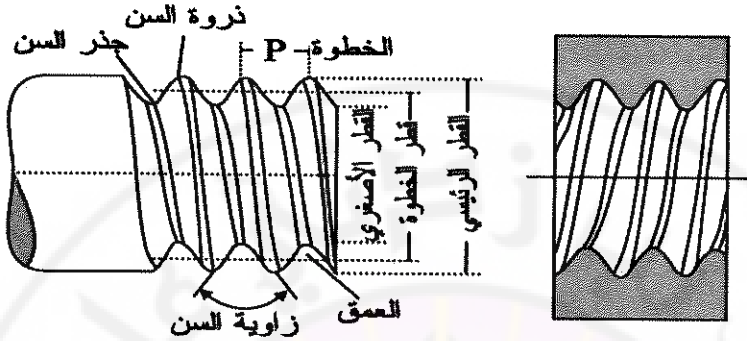
اللولب جسم أسطواني في سطحه أثلام (أحاديد) حلزونية متصلة، يمكن أن يوصف اللولب بأنه قضيب أو وتد أو إسفين يدرس حلزونياً في جسم آخر، حيث يكون الشد بحركة دورانية، ويكون الفك بحركة معاكسة. واللولة هي قطع ذلك الجسم بحيث تتشكل على سطحه أحاديد وأسنان (بروزات) حلزونية ذات مقطع ثابت. تستعمل اللوالب في التثبيت أو نقل الحركة أو وصل القطع بعضها ببعض.

يُعد تصنيع اللوالب من التطبيقات واسعة الانتشار في الورش الانتاجية والمصانع وذلك لكثرة استخداماتها في العديد من الأجزاء الميكانيكية. وينشأ الخط الحلزوني للولب عند تحرك نقطة في الاتجاه الطولي (اتجاه المحور) على سطح أسطوانة تدور بانتظام حول محورها، وتُسمى المسافة التي تحركها النقطة في الاتجاه الطولي على مدار دورة واحدة بالخطوة، وينشأ عن افراد المنحني الحلزوني مثلث قائم الزاوية تكون قاعدته في محيط الأسطوانة وارتفاعه هو طول الخطوة أما الوتر فيناظر الطول الإفرادي للخط الحلزوني، وتسمى الزاوية المحصورة ما بين محيط الأسطوانة والخط الحلزوني بزاوية الخطوة وهي تتناسب طردياً مع خطوته وعكسياً مع قطر اللولب، وتتراوح قيمتها في اللوالب العادية ما بين 2 و4 درجات.

وقبل أن نستعرض الوسائل المختلفة لفحص اللوالب سنتعرف على أنواع اللوالب المختلفة وبعض التعاريف الأساسية. ولضمان تبادلية الأنواع المختلفة من اللوالب بين الدول تم اعتماد عدة أنواع قياسية من اللوالب، فكان منها اللولب المتري للمواصفات القياسية الألمانية، والذي استبدل باللولب المتري لمواصفات ISO، كذلك هناك لولب ويتروث الذي تعطى أبعاده بالبوصة، ولولب شبه المنحرف، واللولب الكتفي واللولب المستدير، وتختلف هذه الأنواع من اللوالب في زاوية السن وفي أشكالها من حيث الاستدارات والتسطحات والخلوصات على القطر الخارجي وقطر قاع السن، ويتم حساب أبعاد كل نوع من الأنواع السابقة بوساطة معادلات خاصة بكل نوع وتعتمد تلك المعادلات التصميمية على بعدي اللولب الأساسيين، أي الخطوة والقطر الخارجي.

3-12-1- مصطلحات اللولب

نستعين بالشكل (80-3) لتعريف المصطلحات التالية:



الشكل (80-3) أقسام سن اللولب

السن: هو الخيط الحلزوني (البروز) الذي تتألف منه اللولبة، ويقابله الأحود أو المجرى (قاع اللولبة الحلزونية).

القطر الكبير (الرئيس) (D): هو قطر السن الخارجي من الذروة إلى الذروة، والسن الداخلي من الجذر إلى الجذر.

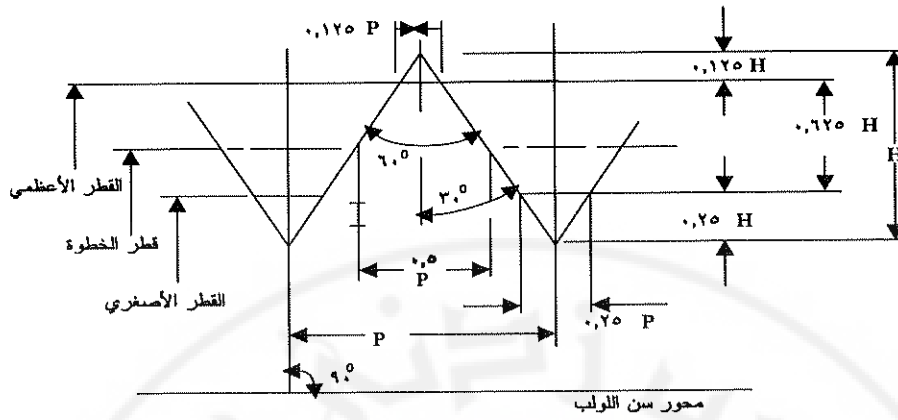
القطر الصغير (d): هو قطر جذر السن الخارجي أو ذروة السن الداخلي، وقد يسمى أحياناً قطر النواة.

قطر الخطوة (Pd): هو قطر أسطوانة محورية متخيلة تقطع أسنان اللولب في النقاط التي يتساوى عندها عرض السن وعرض الثلم.

الخطوة (p): هي المسافة المحورية بين نقطة على السن (ذروة السن عادة) والنقطة المقابلة لها على السن التالي (المجاور).

زاوية سن اللولب: هي الزاوية المحصورة بين جانبي السن في مستوى القطر، وتعاادل 60° في النظام المتري و 55° في النظام البريطاني (الإنكليزي).

الدليل lead: المسافة التي ينتقل فيها السن محورياً في دورة واحدة. وهو في السن المفرد يساوي الخطوة، أما في السن المزدوج فيساوي ضعف الخطوة، وفي السن الثلاثي يساوي ثلاثة أضعاف الخطوة، الشكل (81-3).



الشكل (3-81) الأبعاد الأساسية في تصميم سن اللولب

3-12-2- القيم المميزة للولب المتناظر:

حسب اللوائح القياسية العالمية (ISO) تحدد القيم المميزة للولب المتناظر بالقيم التالية:

القطر الكبير (D , d): هو قطر الأسطوانة الخارجي الماسة لأبعد نقطة في اللولب بالنسبة لمحوره (يدعى كذلك القطر الخارجي للولب).

القطر الصغير (D₁, d₁): هو قطر الأسطوانة المماسية لأقرب نقطة من اللولب بالنسبة لمحوره (يدعى كذلك القطر الداخلي للولب).

عمق التماس للأسنان (H₁):

ويعطى بالعلاقة: $H_1 = (d - D_1)/2$ وهو القسم المشترك بين البرغي والصامولة.

القطر الفعال (D₂ , d₂): ويحدد بالتعاريف التالية:

أ- هو قطر الأسطوانة المتمحورة مع اللولب، والتي تقسم اللولب إلى أسنان وفراغات متساوية.

ب- هو في اللولب المتناظرة الأحادية (باب واحد) مساو للبعد القائم بين طرفين متوازيين لسنين متقابلين.

ج- هو أيضا القطر الوسطي للولب الوهمي المدب.

الخطوة (P): هي المسافة في الاتجاه المحوري بين نقطتين متناظرتين على سنين متجاورين.

زاوية مقطع السن (α): هي الزاوية بين طرفي السن في المقطع الطولي للولب.
زاويتا طرفي السن (α_1, α_2): هما زاويتا طرفي السن في المقطع الطولي للولب مع المستوي القائم على المحور ويساوي في اللولب المتناظر وفق ISO.

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{\alpha}{2} = 30^\circ$$

3-12-3- تسامحات (تفاوتات) اللوالب:

تم تطوير نظام التسامح للوالب وفقاً لاستعمالاتها، لذلك ينبغي التمييز بين:

- أ- لوالب مسامير الربط.
- ب- لوالب نقل الحركة (القدرة): ومنها لوالب القياس، ولوالب القيادة، ولوالب النقل... إلخ.

ينبغي أخذ العوامل التالية في الحسبان عند تحديد التسامح المناسب للوالب الربط:

- 1- قابلية التبادل: أي إنّ اللولب الداخلي واللولب الخارجي لهما القطر الخطوي نفسه والخطوة نفسها، وينبغي أن تتداخل دائماً زوايا طرف السن للمسننين معاً في إزواج واحد.
- 2- الوظيفة: وظيفة لوالب الربط محددة بقابليتها لتلقي الأحمال، بينما تشمل وظيفة لوالب نقل الحركة بانتقال الحركة دون عوائق، وبقابليتها لنقل الأحمال.
- 3- الاقتصادية: يتبين هذا العامل باقتصادية الانتاج، وطول بقاء (عمر) أدوات التشغيل، وبساطة الاختبار للقطع المشغولة.

3-12-4- تسامحات القطر الكبير والقطر الصغير:

تبين الجداول القياسية التسامحات المختلفة لأقطار لوالب الربط. أما مقادير تلك التسامحات فقد حددت قيمها بصورة يتأمن فيها أصغر قدر من عمق التماس وذلك عند اختيار تسامحات ضيقة:

من أجل الأقطار $d < 5mm$ عمق التماس 30% على الأقل من عمق التماس الأعظمي. ومن أجل الأقطار $d = 5mm$ عمق التماس 50% على الأقل من عمق

التماس الأعظمي. من أجل الأقطار $d > 5\text{mm}$ عمق التماس 80% على الأقل من عمق التماس الأعظمي النظري.

3-12-5 - إزواجات اللوالب:

إن الإزواج في اللوالب هو إزواج خلوصي دائماً.

التفاوت السفلي لكل من اللولب والصامولة عند استخدام الإزواج H/h ، حيث:

$E1(Au)$ - التفاوت السفلي لقطر اللولب الداخلي (الصامولة)

$ei(au)$ - التفاوت السفلي لقطر اللولب الخارجي (البرغي)

$Es(Ao)$ - التفاوت العلوي لقطر اللولب الداخلي (الصامولة)

$es(au)$ - التفاوت العلوي لقطر اللولب الخارجي (البرغي)

تبين اللوائح القياسية ISO أن لولاب الربط تستخدم حقول التسامح التالية:

- من أجل حقول التسامح للوالب الداخلية تستخدم G, H .

- من أجل حقول التسامح للوالب الخارجية تستخدم d, e, g, h .

تعطي اللوائح القياسية ISO (TGL 0-13) قيم التسامح للأقطار الخطوية (D_2, d_2) ، والأقطار الخارجية d للبراغي، والأقطار D_1 للصواميل.

ينبغي التنويه أن تسامح الأقطار (D_1, d) يكون تابعاً للخطوة p . بينما تسامح الأقطار الخطوية (d_2, D_2) يكون تابعاً للخطوة P وللقطر الخارجي d .

وقد تضمنت الجداول القياسية ISO القوانين المستخدمة في حساب تسامح الأقطار الخطوية للوالب الداخلية، القطر الخطوي D_2 والقطر الداخلي D_1 حسب درجة التسامح والخطوة. وكذلك حساب تسامح الأقطار الخطوية d_2 والداخلية d_1 للوالب الخارجية حسب درجة التسامح والخطوة. وبينت الجداول حقول التسامح المستخدمة للوالب الخارجية واللوالب الداخلية ودرجات حساب التفاوتات لها كتابع للخطوة.

وهناك جدول خاص يبين الأبعاد المميزة للوالب الداخلية واللوالب الخارجية الواردة في جداول اللوائح القياسية ISO.

وثمة جدول يُبين الأبعاد الأعظمية للمقادير المميزة للوالب الدخلية واللوالب الخارجية الواردة في جداول اللوائح القياسية ISO. يجذب استخدام الإزواجيات التالية: H/g , H/h , G/h من أجل الإزواجيات الجيدة للوالب.

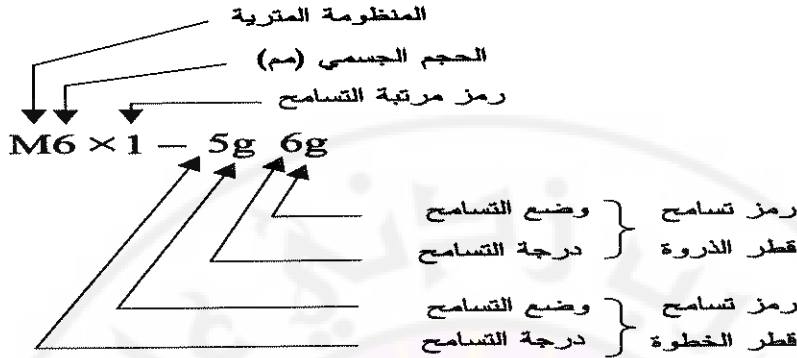
3-12-6- السن المتري القياسي الدولي (ISO):

إن للسن القياسي المعتمد من ISO شكل السن الموحد الأمريكي بنظام البوصة (الإنش) من حيث المبدأ. والفارق الرئيس بين النظام المتري ونظام البوصة الموحد هو في الحجم والأطوال وتطبيقات الخلوص والتسامح، وطريقة التوصيف والتسمية. الرمز الأساسي الذي يدل على المنظومة المترية هو وجود حرف M متبوعاً بالقطر الرئيسي mm والخطوة، وتفصل بينهما علامة الضرب $\times$ على النحو الآتي $M8 \times 1$ أو $M20 \times 1.5$ كما في الشكل (3-82). وفي سلسلة السن الخشن يحدد رقم الخطوة. أما الترميز الكامل للسن المتري فيشتمل بعد الترميز الأساسي على مواصفات الخلوص، وتتضمن رمز التسامح بقطر الخطوة متبوعاً بـ رمز التسامح في قطر ذروة السن، وكل رمز من هذه الرموز يمثل برقم، وهناك خط صغير يفصل رمز التسامح عن الرمز الأساسي. فإذا كان قطر الخطوة وقطر التسامح في ذروة السن متماثلين عندئذ يُكتفى بـ رمز واحد. يوجد للمنظومة القياسية المترية ISO درجات تسامح متفاوتة الأبعاد، منها ثلاث درجات أساسية هي 4 و 6 و 8، والدرجة 6 هي الأكثر شيوعاً للأسنان ذوات الاستخدام العام. والتسامح إذا كان أقل من الدرجة 6 دل على أنه صغير وهي المواصفات المطلوبة للسن الناعم، أما إذا كانت الدرجة أعلى من 6 فيكون التسامح أكبر وهو من ميزات السن الخشن والتماسك الطويل.

ويعدل وضع التسامح على الحدود المادية القصوى للخطوة وقطر الذروة للسن الخارجي وللسن الداخلي على حد سواء، وتمثل سلسلة رموز موضع التسامح القيم المختلفة للخلوص المسموح به على النحو الآتي:

للـسن الخارجي: خلوص كبير = e ، خلوص وسط = g ، لا يوجد خلوص = h .
للـسن الداخلي: خلوص صغير = G ، لا يوجد خلوص = H .

لتحديد التوافق المطلوب بين السنين الخارجي والداخلي يعطى رمز الخلو للسن الداخلي ثم الخارجي وبينهما خط مائل كما يلي: $M6 \times 1-6H/6g$.



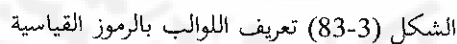
الشكل (3-82) رموز المنظومة المترية لأسنان اللوالب

7-12-3- رموز السن الموحد والأكمة والمربع:

رُمز لهذه اللوالب برمز قياسية كما في الشكل (3-83) وفق منظومة موحدة، بإعطاء القطر الاسمي وعدد الأسنان بالبوصة (الإنش)، والحروف الأولى للمنظومة التي تخصها مثل unc أو unf، ومرتبة السن (1a أو 2a أو 3a، أو 1B أو 2B أو 3B). وتعدّ هذه اللوالب يمينية ووحيدة السن ما لم يشير إلى العكس.

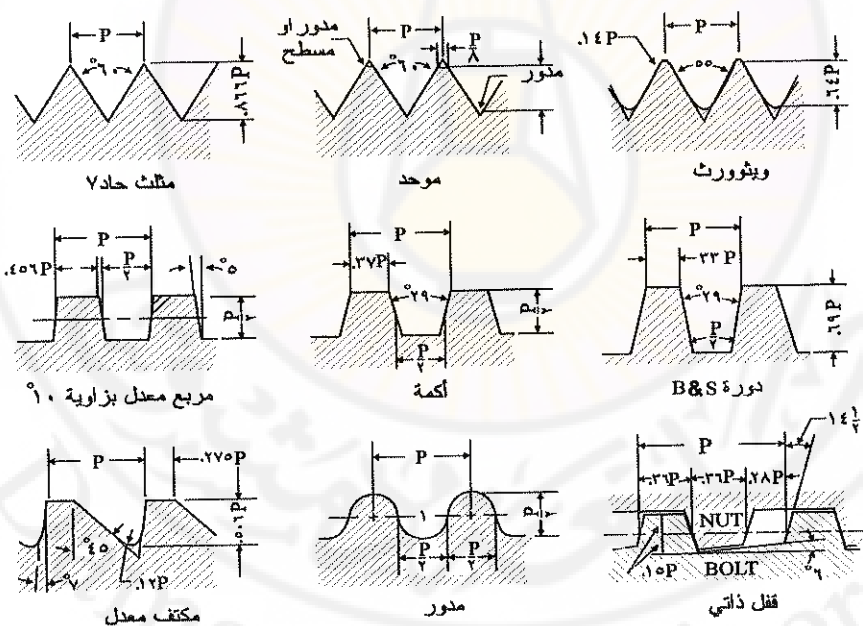
أما السن اليساري (left hand) فيرمز له بحرف LH، ويرمز للسن المتعدد البوابات بكلمة double أو triple أو غيرها باللغة الإنكليزية. وأسنان اللوالب على هذا النحو يمكن أن تكون مثلثة أو مربعة أو مدورة أو على شكل شبه منحرف أو لا نهائية، وبحسب السطح المنفذ عليه يمكن أن تكون اللولبة أسطوانية أو مخروطية (خارجية أو داخلية)، وبحسب اتجاه حركة الشد (الربط) أو اتجاه ميل الحلزنة قد تكون اللولبة يمينية؛ أي باتجاه دوران عقارب الساعة، أو يسارية عكس اتجاه دوران عقارب الساعة. وبحسب عدد البوابات (البدايات) يمكن أن يكون اللولب وحيد السن أو متعدد الأسنان (متعدد البوابات)، كأن يكون مزدوج السن أو ثلاثي السن أو رباعي أو غير ذلك. تبدأ الحلزنة في السن المزدوج بفاصل 180° وفي السن الثلاثي بفاصل 120° . وتستعمل هذه اللوالب

لقد تم تطوير أشكال الأسنان، الشكل (3-84) وفقاً لمتطلبات محددة، فاللواكب ذوات الأسنان المثلثة تنتمي إلى مجموعة مسامير وبراعي الثبيت أو الربط، لكونها توفر المثانة والالتصاق التام بين القطع ولمدى طويل، وغالباً ما تكون من النمط المعدل $V60^\circ$ (المترى والموحد). أما اللواكب ذوات الأسنان التي لها شكل شبه منحرف مع صواميلها فتدخل في مجموعة اللواكب الحركية التقدمية والتراجعية بأقل درجة احتكاك، وتستخدم في الضبط والمعايرة، ومنها لواءب المخارط وطاولات القياس وأجهزتها. في حين تستخدم اللواكب اللانهاية لتحويل الحركة الدورانية إلى حركة مستقيمة كما في المطابع والرافعات لرفع الحمولات الكبيرة.



254

والملزمة، حيث تلزم القوة لنقل القدرة باتجاه محور السن. ويمكن أن يحل محله سن الأكمة أو أشكال أخرى من لولب الحركة في المكنات، غير أن سن الأكمة بأنواعه أسهل تصنيعاً ويسمح بتصميمه باستعمال الصامولة المشقوقة للربط والفك، ولأن العمق الأساسي للسن أقل بنسبة 0.30 من الخطوة فإن مقطع السن قوي ويناسب الاستخدام حيث المجال محدود والقوة لازمة. أما اللولب الدودي فمعدل عن سن الأكمة ومعد لنقل القدرة بحركة لا نهائية. يضاف إلى ما ذكر اللولب المكتف أو لولب المغلاق المصمم لنقل القدرة الكبيرة والضغط المرتفع في اتجاه واحد فقط، وهو مستعمل في آلية المغلاق في المدافع وفي وصل الأشياء الأنبوبية وفي قلب مراوح الطائرات. أما السن البرجمي نصف المدور فنراه في زر المصباح وماخذه، والفاصمة الكهربائية المصنوعين من الصفيح، حيث يأخذ السن والأخدود شكل نصفين دائرتين متماستين وأبعادهما قياسية. ويتم تصنيع هذا السن عادة بالدلفنة، غير أنه من الممكن تصنيعه بالسكب أو القولبة.



الشكل (3-84) أنواع أسنان اللولب حسب حالات الاستخدام

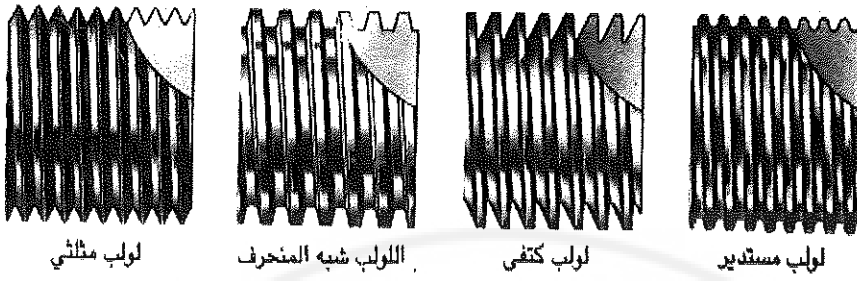
وثمة نمط آخر لسن اللولب في هذه التطبيقات، هو سن اللولب الكروي المتكرر الدوران، ويستخدم لتخفيف الاحتكاك، غير أنه معقد وكبير الكلفة فلا يستخدم إلا كتلة واحدة، أي أنه لا يمكن فصل الصامولة عنه. أما مبدأ عمله فيتلخص في حشر كريات صغيرة بين الأحاديث الحلزونية الخارجية والداخلية من طرف وحيد للصامولة لتأخذ مكانها بين الأحاديث، وعندما تخرج تلك الكريات من الطرف الآخر تعود ثانية إلى مدخل الصامولة عبر قناة خاصة بحريان مستمر منتظم فتعمل عمل المدرجة الكروية وتخفف الاحتكاك.

يمكن أن تصنع اللوالب من مختلف المواد، وتستخدم المعادن وبعض أنواع اللدائن في صنع لوالب التثبيت، وأكثرها استخداماً في المجال التجاري خلائط الألمنيوم والنحاس والفولاذ. وأما اللوالب المعدة للاستخدامات الخاصة، كتلك المقاومة للحرارة أو الصدأ أو التآكل فتصنع من أنواع كثيرة من المواد المعدنية وغير المعدنية المناسبة للمحيط كالفلوآز غير القابل للصدأ وخلائط التيتانيوم وخلائط النيكل المقاومة. تجدر الإشارة هنا إلى أن السن الخارجي للبرغي والسن الداخلي للصامولة مصممان ليتطابق كل منهما مع الآخر، ويجب ألا يكونا كلاهما من الفلواآز غير القابل للصدأ، لأن هذه المادة يتماسك بعضها مع بعض في هذا الوضع إلا إذا كان هناك خلوص كبير أو استخدم مركب مضاد للتماسك، وقد يكون من المستحيل تماماً تفكيك مثل هذا الترابط من دون ضرر.

3-12-8- تصنيف اللوالب:

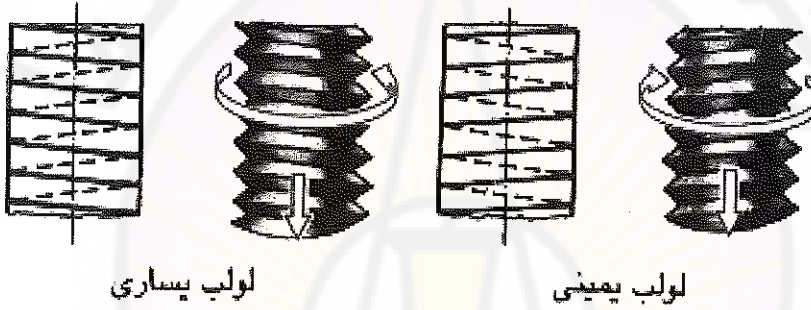
يمكن تصنيف اللوالب الشائعة الاستخدام من حيث: الجانبية، والغرض من الاستخدام، واتجاه الدوران وعدد الأبواب. فمن حيث جانبية اللولب هناك اللولب ذو السن المثلثي، واللولب شبه المنحرف، واللولب الكتفي، واللولب المستدير كما في الشكل (3-85).

وتبعاً لاتجاه الدوران يمكن التمييز بين اللولب اليميني واللولب اليساري الموضحين في الشكل (3-86) كالتالي: عند الإمساك باللولب في وضع رأسي نجد أن أبواب اللولب اليميني تصعد لأعلى والعكس في اللولب اليساري.



الشكل (3-85) الأشكال المختلفة للقلاووظات (اللولب)

ويستخدم اللولب اليساري عند الخشبة من انحلال اللولب اليميني أثناء التشغيل أو الخوف من عبث غير المتخصصين أو الأطفال (كتثبيت قرص التحليخ وبدال الدراجة ومنظم الغاز الذي يعمل على أسطوانات الغاز المنزلية).



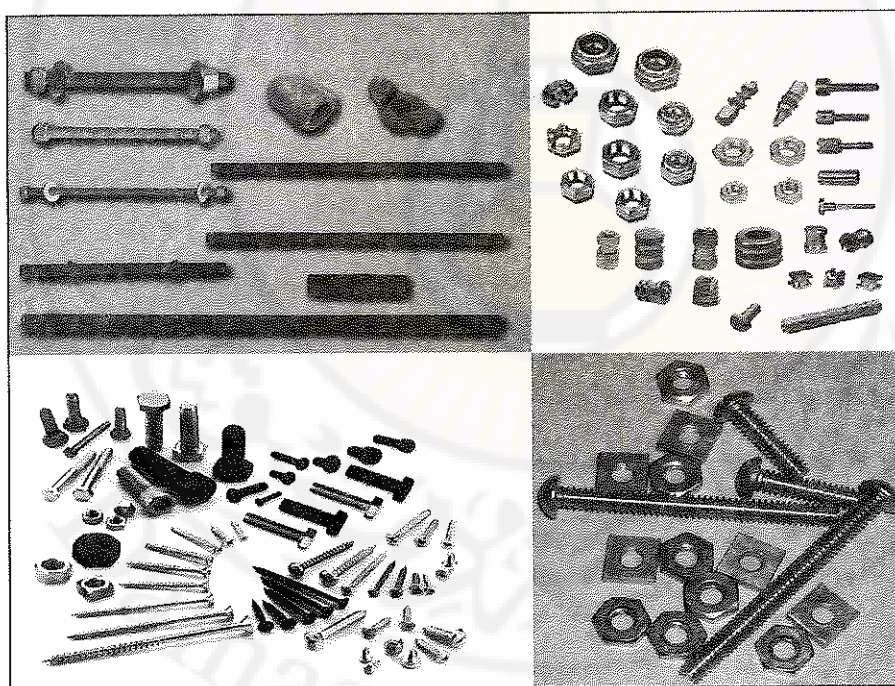
الشكل (3-86) اللولب اليمينية واليسارية

أما من حيث الغرض من الاستخدام فهناك نوعان: لولب التثبيت ولولب الحركة. تستخدم لولب التثبيت لتثبيت أو ربط الأجزاء مع بعضها البعض، وينسب إليه كل لولب تثبيت أو ربط من أي نوع كان، من البرغي والصامولة إلى المسمار الملولب المستعمل في النجارة وحتى وصلات الأنابيب. أما الصنف الثاني فيستخدم أداة للتحريك وإحكام الوضع أو تقريب الأشياء بعضها من بعض، كعمود السحب الملولب وعمود المقود في السيارة ولولب المرفاع ولولب العيار والضبط في المجاهر والأنابيب وأجهزة المساحة والرصد الفلكي ومآخذ المصابيح الكهربائية وغيرها. كما تستخدم لتحويل الحركة الدائرية إلى حركة خطية.

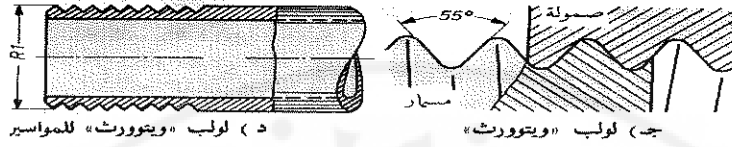
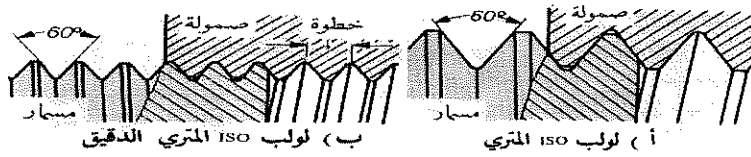
معظم لواب التثبيت عبارة عن قضيب ذي سن أسطواني وله رأس من طرفه ذو أشكال مختلفة وكلها قياسية، وبعضها له تصميم خاص. واستخدام لواب التثبيت القابلة للفك ضروري في الآلات والمكنات والمركبات لربط الأجزاء بعضها ببعض وفكها عند الضرورة. وبما أن لواب التثبيت تنتج بالجملة بتكلفة قليلة فهي موحدة المواصفات وقابلة للاستبدال فيما بينها.

تعرف لواب التثبيت بالاسم الذي يبين نوعية استخدامها مثل: برغي الضبط والبرغي المكثف، والبرغي ذاتي اللولبة، والبرغي المنح، والبرغي ذو العروة. وهناك أنماط مميزة تناسب معظم متطلبات التثبيت، وتستخدم في أكثر أعمال التركيب كالبرغي والصامولة، والإصبع الملولب من الطرفين، والبرغي المقبب الرأس، وبرغي المكنات، وبرغي الضبط.

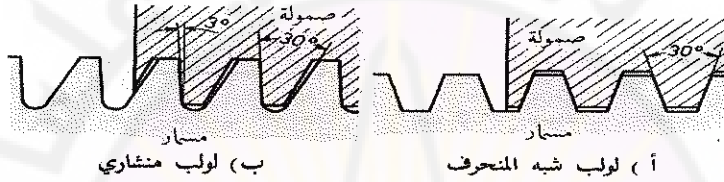
يوضح الشكل (87-3) و (88-3) الأنواع المختلفة للواب التثبيت ولواب الحركة.



الشكل (87-3) براغي تثبيت بأنماط مختلفة ولأغراض مختلفة

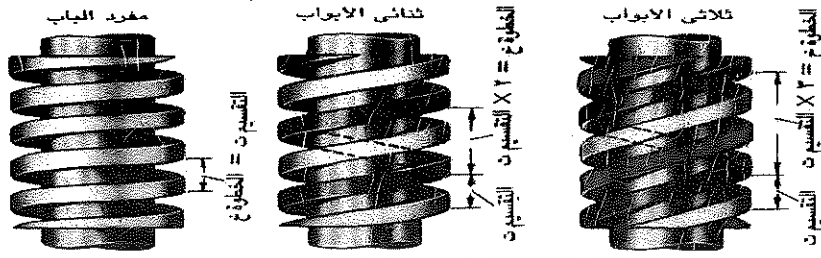


الشكل (3-89) الأنواع المختلفة لقلاووظات (لوالب) الثبيت



الشكل (3-88) الأنواع المختلفة لقلاووظات (لوالب) الحركة

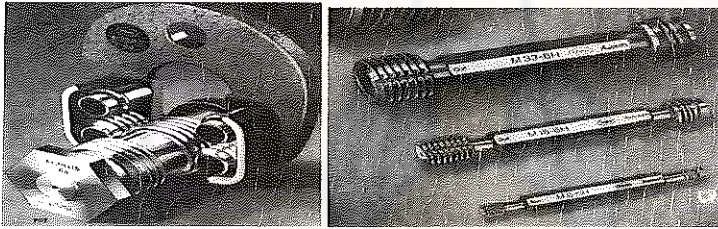
أما من حيث عدد الأبواب فهناك لوالب مفردة الأبواب وهي أكثر الأنواع شيوعاً في الاستخدام وأخرى متعددة الأبواب، وعدد الأبواب هو عدد بدايات السن على اللولب كما هو موضح بالشكل (3-89). وتستعمل اللوالب متعددة الأبواب حينما يراد الحصول على حركة كبيرة في الاتجاه المحوري من خلال عدد دورات قليل، وفي اللوالب الثنائية أو المتعددة الأبواب تكون الخطوة ضعف أو عدة أضعاف التقسيم، وتستخدم اللوالب متعددة الأبواب في المكابس ذات الأعمدة المحورية وأقلام الحبر ومسامير ضبط المسافات في آلات التصوير.



الشكل (89-3) عدد الأبواب في اللولب

3-12-9- معدات فحص اللولب:

يجري فحص اللولب عن طريق القياس والمعايرة للتأكد من مطابقة أبعادها الفعلية للأبعاد التصميمية القياسية، وهذه الأبعاد هي القطر المتوسط، والخطوة، وزاوية السن، ويمكن فحصها في عملية واحدة بواسطة محددات قياس اللولب الموضحة في الشكل (90-3). يستخدم لقياس أبعاد اللولب الخارجية محددات قياس اللولب الحلقية، أما اللولب الداخلية فيستخدم لقياس أبعادها محددات قياس اللولب السدادية.

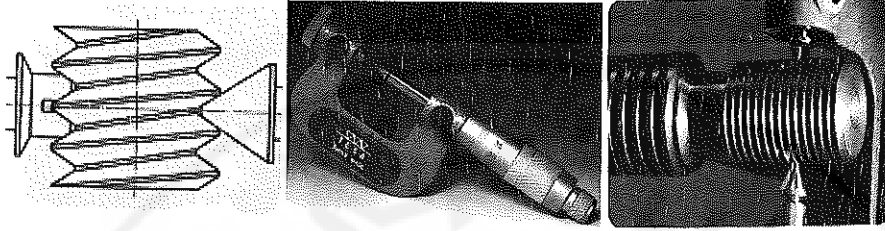


شكل (90-3) محددات قياس القلاووظ الداخلي ومحدد قياس اللولب الخارجي الفكي

هناك على طرف السماح لهذه المحددات شكل الجانبيه الكامله للولب، الذي يسمح بلولبته داخل المشغولة، أما الطرف اللاسماحي فعليه شكل اختياري للجانبيه على القطر الخارجي والداخلي للقاع، ولا يختبر به إلا القطر المتوسط، إذ ينبغي ألا يسمح بلولبته داخل المشغولة. ويميز محدد القياس الحلقى اللاسماحي والطرف اللاسماحي لمحدد قياس اللولب السدادي باللون الأحمر.

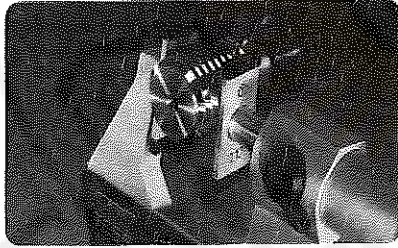
يتم استخدام ميكرومتر دقيق لإجراء قياس القطر الخارجي للولب، أما القطر المتوسط (قطر تخيلي يناظر قطر دائرة الخطوة في التروس) فيمكن قياسه في أبسط صورة

كما في الشكل (3-91) بواسطة ميكرومتر الجانبية الذي يختلف عن الميكرومتر العادي في استبدال سطحي القياس المستويين (اللقم) بأخرين توجد عليهما قطعتا قياس (مخروط وتجويف) تناسبان الخطوة وزاوية السن.

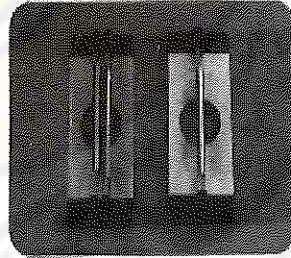


الشكل (3-91) قياس القطر المتوسط للولب بواسطة ميكرومتر الجانبية

يمكن استخدام طريقة الأسلاك للحصول على قيم أكثر دقة للقطر المتوسط، وفي هذه الطريقة يوضع بداخل فجوات اللولب على أحد جانبيه سلك قياس وعلى الجانب الآخر سلكان كما في الشكل (3-92)، ثم يتم القياس من فوق الأسلاك بواسطة ميكرومتر قياس خارجي، أو باستخدام إحدى الوسائل البصرية ذات الحساسية العالية، وترتبط أقطار الأسلاك المصنعة بدقة متناهية مع خطوة اللولب المراد فحصه، والمقاس الناتج عن هذه الطريقة ليس هو القطر المتوسط ولكنه مقاس اختباري يتم بواسطته استنباط القطر المتوسط من جداول فنية مخصصة لذلك.



(ب)

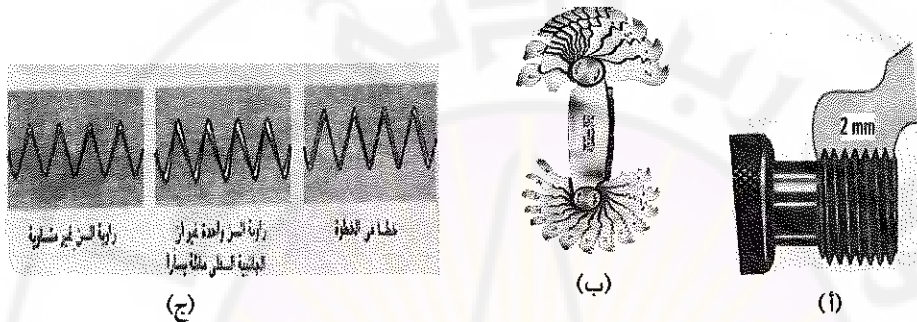


(أ)

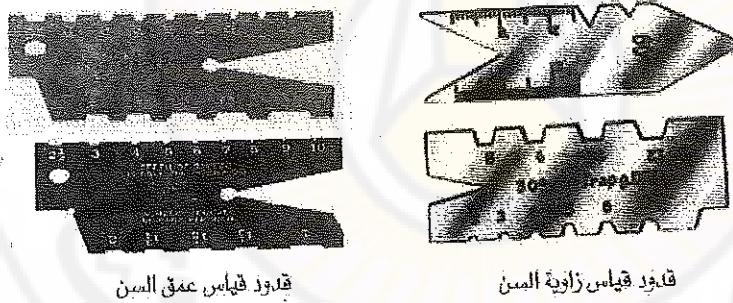
الشكل (3-92) قياس القطر المتوسط للولب بطريقة الأسلاك الثلاثة

تقاس خطوة اللولب بطريقة مبسطة إما بالفرجار والقدمة ذات الزاوية وذلك بقياس المسافة بين عدد اختياري من الأبواب، ثم نقسم على هذا العدد، أو باستخدام طبعات

اللولب الميمنة في الشكل (3-93أ)، التي تأتي على شكل أطقم كما في (3-93ب). ويتكون الطقم من عدة طبقات بزوايا سن واحدة محددة على الطاقم، إذ يوجد على كل طبعة مقياس لخطوة واحدة معينة سواء بالمليمتر أو بالبوصة ويمكن استخدام طبقات اللولب لفحص دقة اللولب وتحديد أية أخطاء سواء في الخطوة أو في زاوية السن، يتضح من الشكل (3-94) أن زاوية سن اللولب وعمقه يتم قياسهما في الورش باستخدام أدوات قياس بسيطة كقدود قياس زوايا السن والعمق.

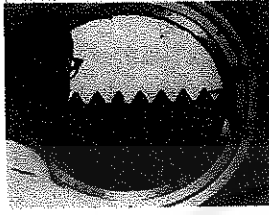


الشكل (3-93) استخدام طبعة اللولب في قياس الخطوة واختيار دقة اللولب



الشكل (3-94) قدود قياس ومراجعة الزوايا وعمق أسنان اللولب

أما القياس الدقيق فيحتاج لوسائل أخرى متطورة ذات حساسية عالية كجهاز الإسقاط الضوئي الذي يحتوي على مجهر خاص لتكبير صورة جانبية اللولب فتظهر بوضوح ودقة كما في الشكل (3-95ب) ليتم مقارنتها بجانبات لولب معيارية مرسومة على أقراص زجاجية توضع على شاشة الجهاز.



(ب)

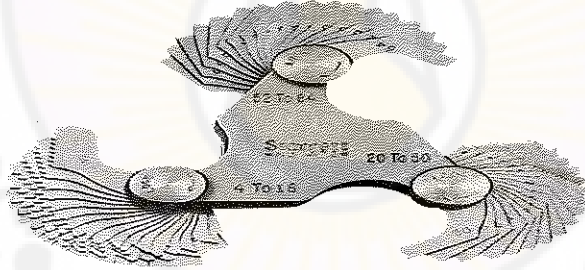


(أ)

الشكل (3-95) جهاز الإسقاط الضوئي وكيفية إظهار صورة القلاووظ

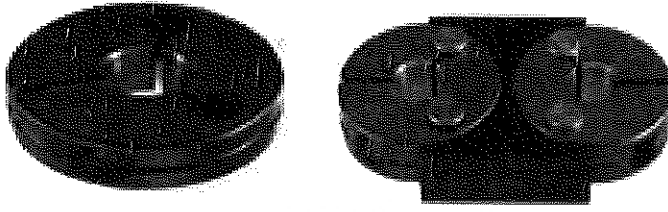
3-12-10- الأدوات والأجهزة المستخدمة في قياس اللوالب:

1- أداة مقياس الخطوة النجمي اللولبي: تتكون من عدد من القطع المعدنية المتوضعة بشكل شفرات متتالية، الشكل (3-96)، بحيث توضع هذه الشفرات على مجموعة من الأسنان المراد قياسها، ومن ثم تتم المقارنة بين الطول المقاس للسن وبين القياس النظامي المسجل على هذه الأداة. ويمكن إغلاق هذه الشفرات من أجل وقايتها وحماية المستخدم من أي ضرر وبقاها صالحة للقيام بعملية القياس.



الشكل (3-96) يبين الجهاز النجمي اللولبي

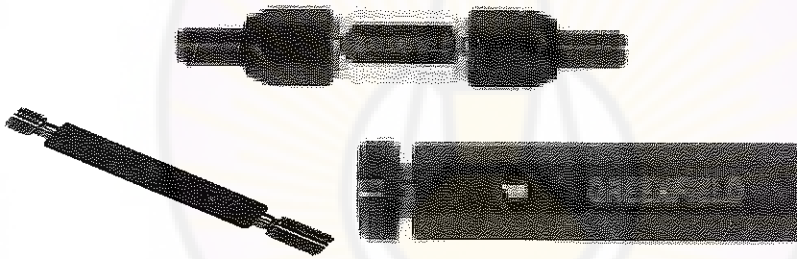
2- المقياس الحلقي للقياسات النظامية: يستخدم من أجل القياسات الدقيقة المباشرة لقياس الخطوة اللولبية وهو من الصنف 6G حسب المواصفات الأمريكية للقياسات. هناك نوع آخر لهذا المقياس وهو المقياس أحادي الحلقة من الصنف X الذي يستخدم أيضاً للقياسات السابقة. يبين الشكل (3-97) المقياس ثنائي الحلقة وأحادي الحلقة.



الشكل (3-97) المقياس ثنائي الحلقات وأحادي الحلقة

3- مقياس الفتل للأسنان المغلقة (الداخلية): يعد من الأجهزة اليدوية المستخدمة بكثرة في القياسات الداخلية لخطوة السن، حيث يصنع هيكله المعدني من الفولاذ ذي الاستقرار البارد، ولهذا الجهاز العديد من مجالات القياس والأشكال المختلفة الاستعمال في مجال القياسات. وهو مصنع وفق المنظمة الدولية للمواصفات ISO البند H-28.

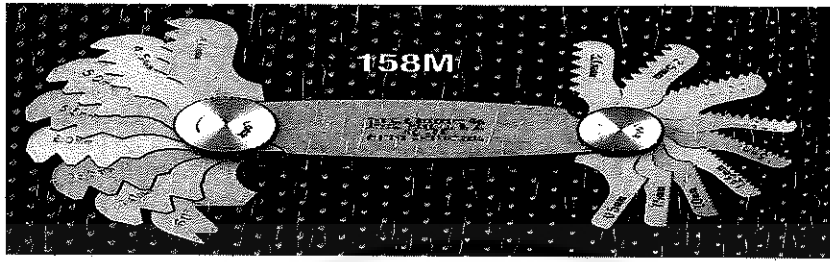
يبين الشكل (3-98) بعض الأنواع الشائعة الاستعمال.



الشكل (3-98) مقياس الفتل للأسنان الداخلية

4- مقياس الخطوة اللولبية التابع لشركة (Mitutoyo): يتكون من قطع معدنية (شفرات) ضيقة ومتقاربة للقياسات الدولية لخطوة أسنان اللولب الداخلية والخارجية، وتحدد الخطوة الصحيحة بالمقارنة بين السن والخطوة، حيث كل شفرة معلمة بمقياس الخطوة الصحيح القياسي، وتكون هذه الشفرات محمية بطبقة من الفولاذ القاسي. يبين الشكل (3-99) أحد إصدارات هذا النوع. وهناك أنواع بمقاييس مختلفة.

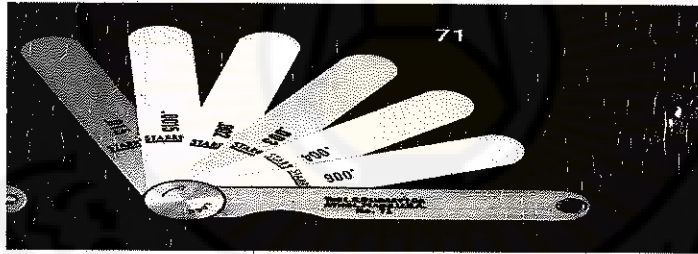
5- محدد استدارة: يستخدم في اختبار التجاويف والانحناءات البارزة، حيث يتم مقارنة قطعة العمل المختبرة بالجانبية المماثلة لمحدد القياس فيكون الانحناء صحيحاً حينما لا يظهر فاصل ضوئي بين محدد القياس وقطعة العمل.



الشكل (3-99) محدد قياس بسيط لقياس خطوة القلاووظ

6- مقياس الأطوال الأفقي (U.H.M): يُعد أحد الأجهزة المهمة لقياس الأسنان المتعلقة بكل من اللوالب الدودية أو المسننات بشكل عام، وباستخدام مقياس الأطوال الأفقي يمكننا إجراء القياسات التالية:

- قياس أبعاد أسنان اللوالب والمسننات العدلة الداخلية والخارجية.
 - قياس الأطوال الداخلية والخارجية بصورة مباشرة أو بشكل تفاضلي.
 - قياس أسنان البراغي الداخلية والخارجية.
- 7- مجسات القياس: وهي عبارة عن السنة (شرائح) فولاذية متعددة السماكات تستخدم لتحديد الخلوص في المحامل والمجاري الانزلاقية والصمامات، الشكل (3-100).



الشكل (3-100) مجسات قياس السماكة بشرائح متعددة السماكات

8- مقياس الميكروسكوب للقياس العمومي (U.M.M): يتميز ميكروسكوب القياس بإمكاناته الواسعة حيث بإمكانه إجراء معظم أنواع القياسات العملية والمخبرية، وكما يدل اسم هذا الجهاز فإنه قابل لإجراء جميع قياسات الأسنان والبراغي وحتى الزوايا، وفحص البروفيلات المختلفة للأسطح، وتتم القياسات على هذا الجهاز بالإتجاه X و Y.

3-13- تسامحات وإزواجات المسننات

Tolerance & Fits for Gears

المسننات هي الأدوات الرئيسة في نقل الطاقة في علم الميكانيك إذ من دونها لا يمكن لآلة أن تعمل، لا بل إن علم الهندسة الميكانيكية لا يعني أكثر من علم نقل الطاقة وتحويلها إلى حركة ميكانيكية دورانية أو مستقيمة أو ترددية، عن طريق استخدام علب السرعة وأذرع نقل الحركة للحصول على سرع دوران أو انتقال مختلفة.

المسنن هو مجموعة من الأسنان المتشابهة ذات الشكل المميز والموزعة بشكل منتظم على محيط دائرة المسنن. إن العنصر الرئيس المستخدم في علب السرعة هو المسنن. في هذا الفصل لن نهتم بتصميم المسننات وأسنانها من حيث القوى والإجهادات المؤثرة فيها أو من حيث المواد المصنعة منها ولكننا سنهتم بأشكال هذه المسننات وطرق قياسها وتسامحاتها وإزواجاتها مع بعضها، وكذلك بالأخطاء الموجودة فيها وأسبابها وآثارها على عمل المسنن.

عادة يمكن ارجاع أي مسنن بأي عدد من الأسنان إلى الجريدة المسننة التي هي عبارة عن مسنن فيه الأسنان متوضعة على خط مستقيم كالمشط بدلاً من توضعها على محيط دائرة. يمكن اعتبار الجريدة المسننة كأنها المقطع الاستنادي للأسنان، كما أنها المسنن الذي يحول الحركة الدائرية للمسنن المتعاشق معها إلى حركة مستقيمة.

بما أننا، عند نقل الطاقة أو تحويلها إلى حركة، نهتم بشكل رئيس بثبات هذا التحويل أو النقل مع الزمن واستمراريته، لذا كان لشكل السن في المسنن الأثر الأكبر في استمرارية التلامس بين الأسنان بين مسننين متزاوجين. علماً أن خاصية استمرارية التلامس قد درست بتوسع في علم المسننات، ولوحظ أن استخدام المنحني الإنفلوتي لشكل طرف السن في المسنن هو الأفضل بالنسبة لمسننات نقل الحركة والطاقة في الآلات. لذلك يتألف طرفاً كل سن في مسنن من منحنين إنفلوتيين، وأن المسننات المستخدمة المستقيمة السن أو المائلة الجبهية أو الحلزونية هي مسننات إنفلوتية نظامية.

والإنفلوت Involututes: هو المحل (الموضع) الهندسي لنقطة من مستقيم يتدحرج على محيط دائرة تسمى بالدائرة المولدة للإنفلوت أو بالدائرة الأساسية ويسمى هذا المحل الهندسي بالمنحني الإنفلوتي.

3-13-1- القيم المميزة في المسننات:

تحدد القيم المميزة في المسننات الجبهية في اللوائح القياسية العالمية ISO، كما تحدد هذه اللوائح الأخطاء المركبة عند تصنيع هذه المسننات ومقاديرها والتي من شأنها أن تؤثر في وظيفة المسننات.

القيم المميزة على الدائرة الخطوية:

1- القطر الخطوي d_o : هو القطر المعرف بالعلاقة:

$$d_o = m \cdot z$$

حيث:

m - المودول.

z - عدد أسنان المسنن.

$$d_o = \frac{t_o}{\pi} \cdot z \quad \text{أو بالعلاقة:}$$

حيث:

t_o - خطوة المسنن.

يُعد القطر الخطوي قيمة حسابية لا تعتمد على شكل السن، وهو قيمة خالية من الخطأ، وغير قابلة للقياس المباشر على المسنن.

2- عدد أسنان المسنن z :

$$z = \frac{\pi \cdot d_o}{t_o} \quad \text{يمكن إيجاده من العلاقة:}$$

إلا أنه عادة يحدد من نسب نقل الحركة في علب السرعة ويكون هو الأساس في حساب القطر الخطوي للمسنن وبالتالي أبعاد المسنن.

3- المودول m : هو نسبة القطر الخطوي للمسنن (d_o) على عدد الأسنان (z):

$$m = d_o / z$$

المودول له واحدة (mm) إلا أنه عبارة عن نسبة قطر إلى عدد؛ أي هو رقم اعتباري ذو أهمية خاصة، لأنه يحدد خطوة المسنن عند القطر الخطوي:

$$t_o = \pi \cdot m$$

وبالتالي حتى يتعاشق مسننان مع بعضهما يجب أن يكون لهما ذات الخطوة أي أن يكونا من مودول واحد، وهذا هو الشرط اللازم والكافي لإزواج مسننين مع بعضهما. من العلاقات السابقة يمكننا أن نعرف أبعاد المسنن (ذو الأسنان المستقيمة) الباقية كالتالي:

4- القطر الخارجي d_k :

$$d_k = d_o + 2h_k = d_o + 2m$$

$$d_k = m \cdot z + 2m = m(z + 2)$$

5- القطر الداخلي d_f :

$$d_f = d_o - 2(h_z - h_k)$$

$$= m \cdot z - 2(2.2m - m)$$

$$= m \cdot (z - 2.4)$$

6- ارتفاع السن h_z :

$$h_z = 2.2m$$

7- ارتفاع رأس السن h_k :

$$h_k = m$$

8- زاوية الضغط α : هي الزاوية الحادة الحاصلة بين المماس على طرف السن والقطر المار بنقطة التماس ويرمز لهذه الزاوية عند دائرة القطر الخطوي بـ (α_o) وهي تساوي عادة (20°) ، غير أنه في بعض المسننات يمكن أن تساوي (14°) وتدعى بزاوية الضغط على الدائرة الخطوية.

9- قطر الدائرة الأساسية d_g (أو الدائرة مولدة الإنفلوت):

يحسب هذا القطر من العلاقة:

$$d_g = d_o \cdot \cos \alpha_o = m \cdot z \cdot \cos \alpha_o$$

10- الخطوة عند الدائرة الخطوية (طول القوس على الدائرة الخطوية أو القوس الخطوي):

$$t_o = \frac{d_o \cdot \pi}{z} = m \cdot \pi$$

نرى أن طول هذا القوس هو حسابي، وأن مجموع الأخطاء على الدائرة الخطوية يجب أن يساوي الصفر، وذلك ناتج من أن الدائرة الخطوية خالية من الأخطاء.

11- الخطوة الأساسية: هي المسافة بين المستويين المتوازيين المماسين للإنفوليت على طرفي السن. إن هذه المسافة يجب أن تبقى ثابتة في المسننات الصحيحة عند تحرك المستويين على طرفي السن. وتحسب الخطوة الأساسية من العلاقة:

$$t_e = t_o \cdot \cos \alpha_o = m \cdot \pi \cdot \cos \alpha_o$$

12- طول القوس على الدائرة الأساسية t_g : هو طول القوس على الدائرة الأساسية بين نقطتي البدء لمنحني الإنفوليت الأيمن أو الأيسر لطرفي السن وهو يتطابق مع الخطوة الأساسية في منحنيات الإنفوليت الصحيحة والخالية من الخطأ.

$$t_g = t_e = t_o \cdot \cos \alpha_o = m \cdot \pi \cdot \cos \alpha_o$$

13- سماكة السن عند الدائرة الخطوية S_o :

$$S_o = \frac{t_o}{2} = \frac{m \cdot \pi}{2}$$

14- انحراف سماكة السن A_s : هو الفرق بين السماكة الفعلية والسماكة الاسمية.

$$A_s = S_o - S_{or}$$

حيث:

S_{or} - سماكة السن الفعلية المقاسة.

15- البعد بين سنين متجاورين (سماكة الفراغ) L_o :

$$L_o = t_o - S_o$$

نظرياً يجب أن يكون البعد بين سنين متجاورين مساو لسماكة السن النظرية أي:

$$L_o = S_o = (m \cdot \pi)/2$$

16- عرض السن أو طول السن (b): هو سماكة المسنن أو هو المسافة بين المستويين المحددين للمسنن في اتجاه المحور:

$$b = (8 \div 10) \cdot m$$

17- المسافة الوترية بين أكثر من سنين: هي المسافة المقاسة بين مستويين متوازيين يحصران عدد (Z') من الأسنان.

تقاس المسافة الوترية W بدلاً من قياس سماكة السن، حيث ترتبط القيمتان مع بعضهما بالعلاقة التالية (بالنسبة للأسنان النظامية غير المصححة).

$$W = (Z - 1) \cdot t_e + S_g$$

حيث: S_g - سماكة السن على الدائرة الأساسية.

3-13-2- نظام التسامح للمسننات:

إن لكل مسنن قيمته المميزة، وبما أن المسنن قطعة منتجة، إذن لها أخطاؤها في الإنتاج وبالتالي يجب أن يكون لها تسامحاتها. ونظراً لأهمية المسننات فقد حددت ISO جداول تبين حقول التسامح بالنسبة للسن الواحد من المسنن. تختلف حقول التسامح وجداول التفاوتات العلوية والسفلية للمسننات عن الجداول القياسية المستخدمة في المحاور والثقوب، حيث يوجد 12 درجة تسامح للمسننات، ويتم اختيار درجة التسامح حسب مايلي:

- 1- وظيفة المسنن.
 - 2- نسبة التحميل.
 - 3- السرعة المحيطة له.
- كما أن المودول والقطر الخطوي وعدد الأسنان ودرجة التسامح هي التي تحدد تفاوتات طرف السن ومقدار الخطأ المسموح به عند دورانه باتجاه واحد أو باتجاهين.

3-13-3- نظام إزواج المسننات:

تصميمياً، حتى يتم نقل الحركة في الآلات لا بد من إزواج بين مسننين، الأول قائد، وهو الذي يعطي الحركة، والثاني مُقاد وهو الذي يأخذ الحركة. إن الشرط اللازم

والكافي لوجود إزواج بين مسننين هو أن يكونا من مودول واحد؛ أي لهما الخطوة نفسها عند الدائرة الخطوية.

$$m = \frac{d_{o1}}{Z_1} = \frac{d_{o2}}{Z_2}$$

$$t_{o1} = t_{o2} = \pi \cdot m$$

3-13-4- القيم المميزة لزوج من المسننات:

إن الإزواج بين مسننين أو بين مجموعة من المسننات يجب أن يكون دائماً إزواجاً خلوصياً، ويتم تحقيق قابلية التداخل (التعاشق) بين المسننات عن طريق تغيير البعد المحوري a بين مراكز المسننين المتعاشقين.

البعد المحوري a : هو المسافة بين محوري المسننين الجبهيين المتداخلين، ويُعطى بالعلاقة:

$$a = \frac{d_{o1} + d_{o2}}{2} = \frac{m \cdot Z_1 + m \cdot Z_2}{2} = m \cdot \left(\frac{Z_1 + Z_2}{2} \right)$$

إن للبعد المحوري a الأهمية الأولى في تعيين إزواج المسننات، لذلك حُدِّدت اللوائح القياسية للبعد المحوري حقلين للتسامح فقط معبّر عنهما بالحرفين (K, J) . إن اتساع الحقل K هو ضعف اتساع الحقل J ، لذلك عند تصميم هذا البعد يحسب على أساس K في حين يوصف على المخططات على أنه J حتى يتسنى للمسننين العمل معاً، ولو حدث خطأ ازداد فيه البعد عن المقدار المسموح به بالحقل J .

انحراف البعد المحوري A_a : هو الانحراف المسموح بين البعد المحوري الفعلي والبعد المحوري الاسمي a_o لزوج من المسننات المتداخلة. يعين مقدار هذا الانحراف من الجداول القياسية حسب درجة التسامح والمودول (هو تسامح متناظر دوماً).

خلوص السن S_a : هو القوس على الدائرة الخطوية لكل من المسننين المتداخلين (حيث تتماس الدائرتين الخطويتين للمسننين عند التعاشق) المحدد بنقطتي التماس على الطرف الأيمن لسن المسنن الأول والطرف الأيسر لسن المسنن الثاني.

يحسب هذا الخلوص من العلاقة التالية:

$$S_d = -(A_{s1} - A_{s2}) + 2A_a \cdot \tan \alpha_o$$

حيث:

$-A_{s1}$ - تفاوت المسنن الأول.

$-A_{s2}$ - تفاوت المسنن الثاني.

$-A_a$ - انحراف البعد المحوري.

α_o - زاوية الضغط عند الدائرة الخطوية 20° .

من ذلك نستطيع أن نوجد الخلوص الأعظمي والخلوص الأصغري للإزواج بين مسننين من العلاقتين:

$$S_{dmax} = -(A_{su1} + A_{su2}) + 2A_o \cdot \tan \alpha_o$$

$$S_{dmin} = -(A_{so1} + A_{so2}) + 2A_u \cdot \tan \alpha_o$$

حيث:

A_{su1} , A_{su2} - التفاوت السفلي للمسنن الأول والثاني.

A_{so1} , A_{so2} - التفاوت العلوي للمسنن الأول والثاني.

A_o - التفاوت العلوي لانحراف البعد المحوري.

A_u - التفاوت السفلي لانحراف البعد المحوري.

من العلاقة التي تحدد خلوص السن S_d يمكننا أن نستنتج أنه في زوج المسننات ذي البعد المحوري الاسمي والسماكة الاسمية للأسنان يكون خلوص السن معدوماً (مساوياً الصفر)، ويمكن التوصل إلى قيمة ما لخلوص السن إما بإنقاص سماكة السن أو بتكبير البعد المحوري. يحدد اتساع حقل التسامح T_s (الذي بدوره يعين سماكة السن) بعدد يدل على درجة التسامح كما أن عرض حقل التسامح ضمن الدرجة الواحدة يكون متساوياً بين جميع أوضاع الحقول المعرفة بالأحرف الصغيرة $(h, g, f, \dots k)$.

3-13-5- أخطاء التسنين:

يقصد بالتسنين إزواج المسننات مع بعضها.

يمكن أن نميز نوعين من الأخطاء هما: الأخطاء المنفردة والأخطاء المركبة.

أ- الأخطاء المنفردة E_r : هي الأخطاء المرتكبة في كل مسنن على حدة (أو الأخطاء المرتكبة عند انتاج المسنن) ومن أهم هذه الأخطاء:

1- خطأ الدائرة الأساسية F_g : هو انحراف الخط الوسطي في جهاز اختبار شكل طرف السن الإنفلوتي بالنسبة للوضع الاسمي له.

العلاقة الحسابية بين الدائرة الأساسية الحسابية والدائرة الأساسية الفعلية هي:

$$F_g = d_g \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{V_b}{V_a}$$

حيث:

$a(mm)$: الانحراف المسجل على آلة الاختبار.

$b(mm)$: طول الورق المتحرك للمسجل.

$\frac{a}{b}$: ميل الخط المرسوم على المسجل.

V_a, V_b : عاملا تكبير المقاس المسجل في الاتجاهين الأفقي والعمودي.

d_g : قطر الدائرة الأساسية الحسابي.

2- خطأ مقطع طرف السن F_r : هو الانحراف الحاصل بين الشكل الفعلي لمقطع طرف

السن وبين الإنفلوت الاسمي الذي يظهر بصورة المستقيم الوسطي B-B.

3- خطأ التقسيم: (كما مر سابقاً) الدائرة الخطوية هي دائرة خالية من الأخطاء، لذلك

يجب أن تكون القيمة الوسطية لجميع أقواس الدائرة الخطوية المحصورة بين الأطراف اليمنى واليسرى للأسنان خالية أيضاً من الأخطاء. لذلك تظهر أخطاء التقسيم في الخطوات

المنفردة مزاحة بحيث يكون مجموعها مساوٍ للصفر.

3-1- خطأ الخطوة المنفردة F_p : هو الفرق بين طول القوس الخطوي الفعلي وطول

القوس الخطوي الاسمي على الدائرة الخطوية.

2-3- الخطأ المجمع لفراغات السن F_t : هو الفرق بين البعد الفعلي والبعد الاسمي لمجموعة أي عدد من الأقواس الخطوية المتتالية على الدائرة الخطوية.

3-3- الخطأ الإجمالي للتقسيم F_{tmax} : هو القيمة الأعظمية للخطأ المجمع لفراغات السن على المسنن الواحد.

4-3- خطأ عدم انتظام الفراغات F_u : هو الفرق بين تقسيمين متتاليين، أو بين خطين متتاليين من الفراغات في المسنن الواحد.

5-3- خطأ الخطوة الأساسية F_e : هو الفرق بين القيمة الاسمية والقيمة الفعلية للخطوة الأساسية.

4- خطأ زاوية الضغط عند النقطة الخطوية F_x : هو الفرق بين القيمة الفعلية والقيمة الاسمية لزاوية الضغط عند النقطة الخطوية.

5- خطأ سماكة السن F_s : هو الفرق بين القيمتين الأعظمية والأصغرية لسماكة السن.

6- خطأ الدوران الفعلي F_r : هو القيمة الأعظمية لانحراف مؤشر عنصر القياس حين إمراره على جميع فراغات الأسنان.

7- خطأ المقطع اللولبي F_B : هو الخطأ الحاصل في زاوية ميل السن وقد يقع هذا الخطأ أحياناً في الأسنان المستقيمة.

ب- الأخطاء المركبة: تنشأ الأخطاء المركبة عن أكثر من خطأ متراكم في وقت واحد، نميز منها:

1- الخطأ المركب للتسنين: عبارة عن مجموع الأخطاء الممكن وجودها على وضع طرفي السن في المسنن وشكله، يتم تعيين هذا الخطأ المركب بدرجة (مزاوجة) المسنن المفحوص مع مسنن قياسي لا يحتوي على أية أخطاء، وموصول مع جهاز ذي مؤشر يحدد مقدار كل خطأ ومن ثم تنسق جميع هذه الأخطاء الناتجة عن الدرجة للمسنن المفحوص. هناك نوعان من هذا الخطأ:

1-1- الخطأ التدحرجي على طرف واحد (f_i') : هو الناتج عن التدحرج على طرف واحد للسن، ويساوي الفرق في المسافة الزاوية الناشئة عن أخطاء التسنين بالنسبة للحركة

الدورانية للأسنان. يكون البعد المحوري بين المسنن العياري والمقاس قابلاً للعيار بحيث يحصل تماس بين طرفي المسنن العياري والمقاس.

1-2- الخطأ التدحرجي على طرفي السن (f_i): ينتج هذا الخطأ عن تأثيرات تغيرات البعد المحوري بين المسنن العياري والمسنن المقاس عندما يتدحرجان من دون خلوص بين الأسنان تحت تأثير قوى ثابتة. يتم تسجيل الأخطاء على مخطط ذي شكل دائري أو شريطي أو يؤشر على جهاز تسجيل مناسب.

2- الخطأ المركب الإجمالي F_i والخطأ المركب الجزئي (من السن إلى السن).

2-1- الخطأ المركب الإجمالي F_i : هو الفرق بين القيمتين الأعظمية والأصغرية في جهاز اختبار الأخطاء المركبة.

نميز نوعين من هذا الخطأ:

" F_i ": الخطأ المركب الإجمالي بالدحرجة على طرفي السن.

" F_i' ": الخطأ المركب الإجمالي بالدحرجة على طرف واحد للسن.

2-2- الخطأ المركب الجزئي: هو الفرق بين نقطتي القمة والحضيض المتجاورين على مخطط جهاز اختبار الأخطاء المركبة.

ونميز أيضاً نوعين:

" f_i ": الخطأ المركب الجزئي بالدحرجة على طرفي السن.

" f_i' ": الخطأ المركب الجزئي بالدحرجة على طرف واحد.

الجداول القياسية تعطي التسامحات المقبولة لهذه الأخطاء على النحو التالي (حسب اللوائح الألمانية):

3962 – 0 TGL للأخطاء المنفردة.

3963 – 0 TGL للأخطاء المركبة ، أخطاء المقطع والسماكة.

3967 – 0 TGL للأخطاء المركبة، أخطاء المقطع والأبعاد الوترية على عدد من الأسنان.

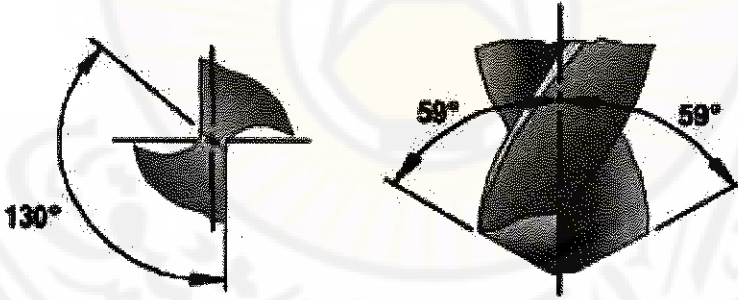
لقد درجت قيمة التسامحات بتبعية درجات التسامح من 1 إلى 12 بدلالة القطر الخطوي والمودول المليمتر.

3-14- قياس الزوايا

ANGULAR MEASUREMENTS

إن من أهم المواصفات التي تحدد نوعية المنتجات الميكانيكية وجودتها هي أبعاد القطع، التي تطرقنا إلى تقنيات قياسها وتحديدتها بالدقة اللازمة. إضافة إلى الأبعاد فإن الزوايا هي من المواصفات المهمة في القطع والمشغولات الميكانيكية. لذا يجب على الفني والمهندس الإلمام بطرائق قياساتها وفحصها.

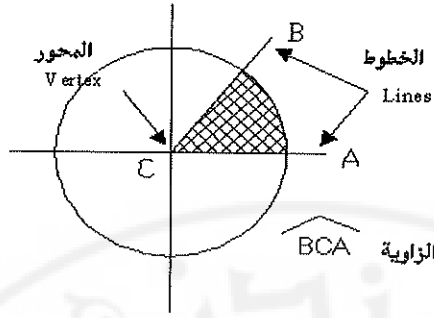
يُعدّ قياس الزوايا من القياسات الأساسية في مجال التشغيل نظراً لانتشار الأسطح المائلة والجوانب المشطوبة في المشغولات المختلفة فعلى سبيل المثال، قياس زوايا عدد القطع، كأقلام الخراطة وبنط (أداة أو ريشة) الثقب الموضحة في الشكل (3-101) والمشغولات ذات الأسطح المستدقة (المخروطية) وإلى غير ذلك من التطبيقات الميكانيكية المتعددة، وقياس الزوايا إما أن يكون بتحديد قيمتها مباشرة بوساطة المنقلة مثلاً وإمّا عن طريق معرفة قيمة إحدى النسب المثلثية لها ومن ثم يتم استنتاج مقدار الزاوية.



الشكل (3-101) زوايا القطع في بنط (أداة) الثقب

3-14-1- الوحدات المستخدمة في قياس الزوايا والميول:

تعرف الزاوية بأنها التقاطع بين خطين AC - BC عند محور معين (نقطة معينة) تسمى رأس الزاوية C كما في الشكل (3-102). ويتم قياس الزاوية باستخدام النظام الستيني أو النظام الدائري.



الشكل (3-102) تمثيل الزاوية

الدرجة (°): هي وحدة قياس الزوايا في النظام الستيني والذي يقسم الدائرة إلى 360 جزءاً متساوياً كل منها يساوي درجة واحدة، وتقسم الدرجة الواحدة إلى ستين دقيقة قوسية ($1^\circ = 60'$)، وتقسم الدقيقة إلى ستين ثانية قوسية ($1' = 60''$).

الراديان (rad): هي وحدة قياس للزوايا المستوية، وهي الوحدة الرسمية المعتمدة ضمن النظام الدولي للوحدات المستخدمة في الهندسة والرياضيات والفيزياء، وتعرف بأنها الزاوية المركزية المتوضعة على مركز الدائرة والتي تحدد قوساً طوله مساو لنصف قطر الدائرة، يعادل الراديان الواحد $\frac{180}{\pi}$ درجات، أي بالتقريب 57.29578° . حيث π هي النسبة التقريبية بين محيط الدائرة وقطرها ($\pi = \frac{22}{7} = 3.141592$).

عندما تكتب الزاوية من دون أي علامة، يقصد بشكل عام أن القيمة هي بالراديان، بينما تضاف العلامة ° للإشارة إلى الدرجة.

للتحويل من راديان إلى درجات يجب أن نضرب الراديان بالقيمة $\frac{180}{\pi}$ ، فعلى سبيل المثال:

$$1 \text{ rad} = \frac{180}{\pi} \approx 57.29578^\circ$$

$$\frac{\pi}{3} \text{ rad} = \frac{\pi}{3} \cdot \frac{180}{\pi} = 60^\circ$$

وبالمقابل، أثناء التحويل من درجات إلى راديان، يجب أن نضرب بالقيمة $\frac{\pi}{180}$.

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \approx 0.01745 \text{ rad}$$

$$90^\circ = 90 \cdot \frac{\pi}{180} = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

غراد (grad): هي وحدة قياس للزوايا المستوية، تعادل $1/400$ من قياس الدائرة الكاملة، أو 100 جزء من الزاوية القائمة.

كل واحد غراد يعادل $9/10$ من الدرجة، أو $\pi/200$ من الراديان.

$$360^\circ = 400 \text{ غراد}$$

أما وحدة قياس الميول فتعطى كنسبة تبعاً للوحدات المستخدمة، ففي النظام المتري تستخدم وحدة (m/mm) وتعني هذه الوحدة مقدار الارتفاع أو الانخفاض بين نقطتين، المسافة بينهما تساوي 1 متر على السطح المراد قياس ميله. ومنه يمكن استخلاص:

$$180^\circ = \pi \text{ rad} \quad \bullet \text{ الزاوية المستقيمة قيمتها:}$$

$$90^\circ = \frac{\pi}{2} \text{ rad} \quad \bullet \text{ الزاوية القائمة قيمتها:}$$

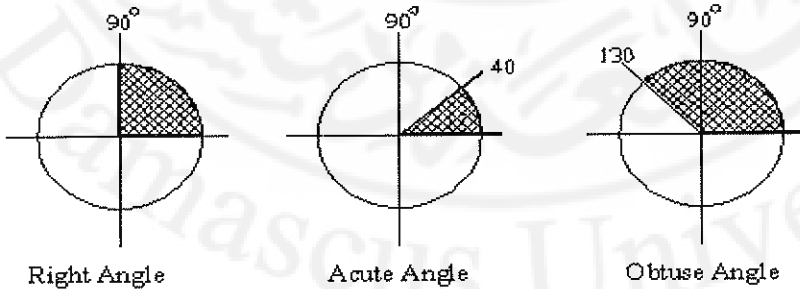
$$60^\circ = \frac{\pi}{3} \text{ rad} \quad \bullet \text{ الزاوية } 60^\circ \text{ قيمتها:}$$

$$45^\circ = \frac{\pi}{4} \text{ rad} \quad \bullet \text{ الزاوية } 45^\circ \text{ قيمتها:}$$

• تقسم الدائرة إلى 360° ، وتعرف الدائرة المغلقة بالزاوية الكاملة (360°). كما تعرف

الزاوية 180° بالزاوية المسطحة والزاوية 90° بالزاوية القائمة، والزاوية أصغر من 90°

بالزاوية الحادة. والزاوية أكبر من 90° بالزاوية المنفرجة، الشكل (3-103).



الشكل (3-103) أنواع الزوايا

3-14-2- معدات ومحددات قياس الزوايا:

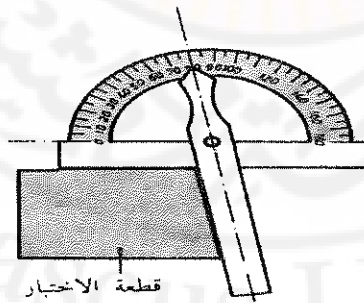
يمكن قياس الزوايا بطرائق مباشرة باستخدام محددات أو أجهزة مصنعة خصيصاً لهذا الغرض مثل: قوالب الزوايا، وقضيب الجيب، ولوحة القياس، وجيب الزوايا، ومناقل القياس، والموازين الحساسة ذات الفقاعة، وأجهزة مقارنة الزوايا كجهاز الأوتو كليمانور، وأجهزة التقسيم الزاوية. كما يمكن قراءة الزاوية بطرائق غير مباشرة وذلك باستخدام أسطوانات أو أقراص مرجعية.

ونظراً لأنه يمكن قراءة الزاوية مباشرة على جميع هذه الأجهزة فإن الجزء الأول من هذا الباب سوف يشمل شرحاً لهذه الأجهزة فقط.

أ- المناقل: هناك أنواع عديدة لمناقل قياس الزوايا أهمها الأنواع التالية:

1- المنقلة البسيطة: هي أبسط معدات القياس المباشر للزوايا، إذ تستخدم للتخطيط والاختبار ومراجعة زوايا المشغولات غير الدقيقة بحيث توضع المسطرة الثابتة على قطعة الشغل وتحرك المسطرة المتحركة لتتطابق مع المنقلة، وبذلك يتم التحديد كما في الشكل (3-104). يمكن أن نحصل على قياسات بدقة واحد درجة، أو نصف درجة، أو ربع درجة في الأنواع الجيدة منها.

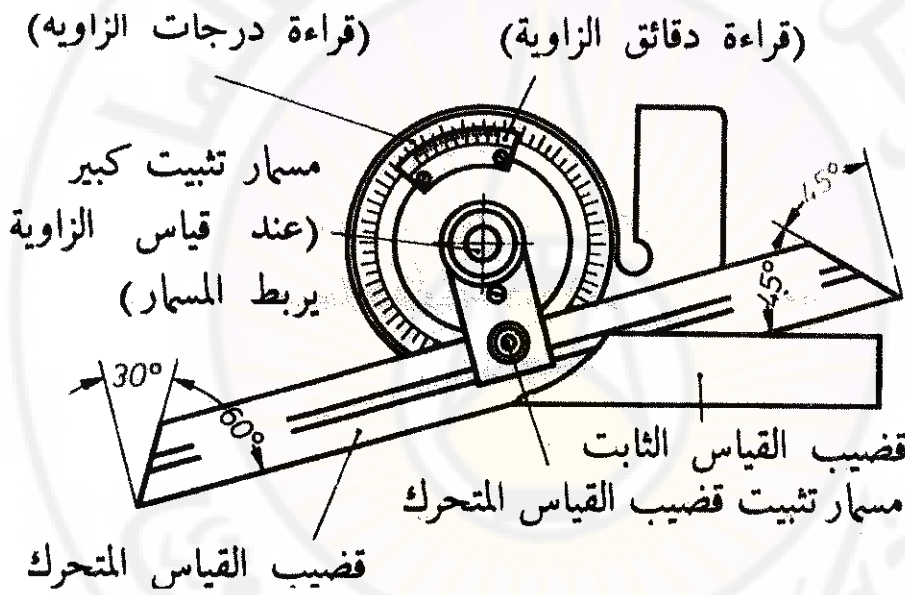
والمنقلة البسيطة هي عبارة عن منقلة عادية مدرجة من صفر إلى 180 درجة ومزودة بذراع القياس الذي يتحرك حول محور المنقلة. يوجد بنهاية الذراع مؤشر لتحديد قيمة قراءة الزاوية على المنقلة. تستعمل هذه المنقلة لقياس زوايا المشغولات، وزوايا الأسطح المائلة الخارجية، كما تستعمل في عمليات التخطيط والشكرة وقياس زاوية ريشة المثقاب.



الشكل (3-104) المنقلة البسيطة

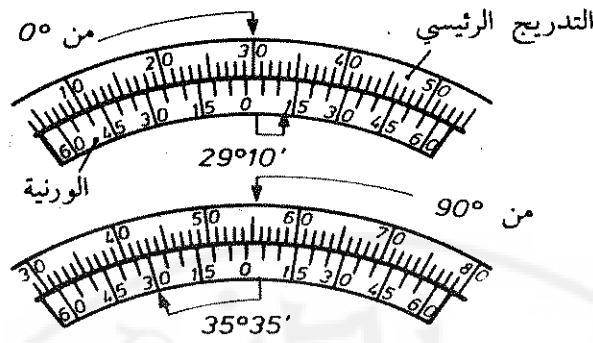
2- المنقلة الشاملة (الزاوية العامة الكاستيلا): هي إحدى الأشكال المتطورة للمنقلة البسيطة، وتتكون أجزاؤها الأساسية من الساق المتحركة، وساقين ثابتين، وتدرج دائري كامل، وورنيتين تضم كل منها 12 قسماً على جانبي خط الصفر، وصامولة تثبيت كما في الشكل (3-105).

أما حساسية الورنية فهي الفرق بين تقسيم التدرج الرئيسي وتقسيم الورنية، وهو يساوي $5' = \left(\frac{1}{12}\right)^\circ$. أما الساق المتحركة فهي قابلة للحركة في الاتجاه الطولي، وينتهي أحد طرفيها بحافة قياس بزاوية 45° ، بينما ينتهي الآخر بحافة قياس بزاوية 30° .



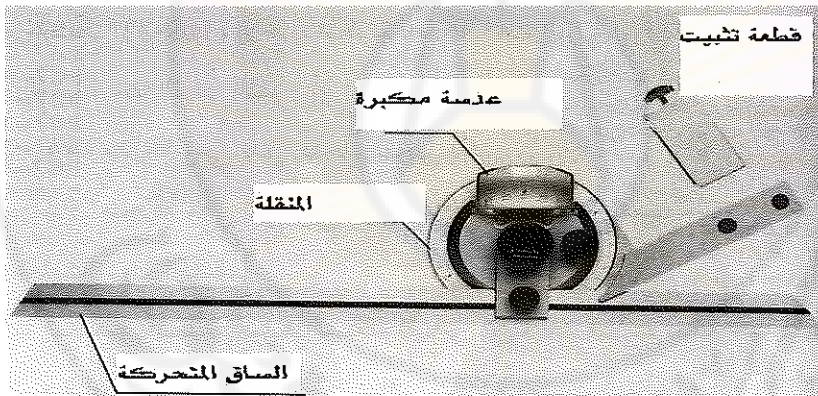
الشكل (3-105) المنقلة الشاملة أو المنقلة ذات الورنية

وتحسب الدرجات من الصفر أو من 90° حسبما يتم الضبط، وحتى خط الصفر للورنية، ثم يتجه القارئ إلى أسفل على الورنية في الاتجاه نفسه، حتى يجد خط تقسيم على التدرج الرئيس يقابل خط تقسيم على الورنية فتقرأ منه الدقائق، كما هو موضح في الشكل (3-106).



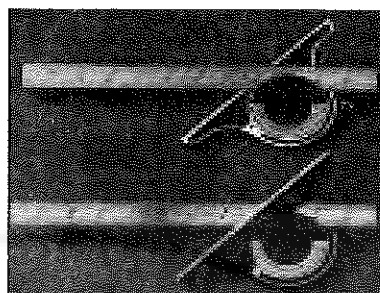
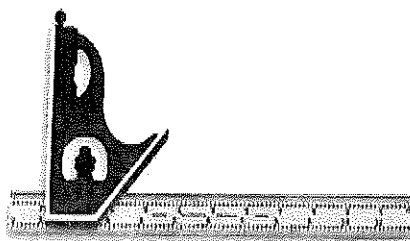
الشكل (3-106) قراءة الزوايا بواسطة المنقلة الشاملة

وتتم القراءة على المنقلة البصرية الشاملة المبينة في الشكل (3-107) بواسطة نظام عدسات عينية يمكنها إظهار قيمة الزاوية المقاسة مكبرة على شاشة معتمدة. ويجب الانتباه عند قراءة قيم القياس هنا، وتحديد أي جانب بدأ منه القياس كي يمكن الحصول على قيمة الزاوية الصحيحة. ومن خلال التكبير الذي يبلغ ثلاثين ضعفاً، يمكن قراءة قيمة زاوية حتى 5' دون اللجوء إلى الورنية.



الشكل (3-107) المنقلة ذات الورنية المزودة بعدسة تكبير

3- المنقلة المحورية العامة: هي منقلة متعددة الاستعمالات في الورش، فمن خلالها يمكن قياس الزوايا، وفحص الزوايا القائمة والمسطحة، وفحص تعامد الأسطح. تسمى بالزاوية المؤتلفة وهذا لأنها تتكون من عدة قطع للاستعمالات المذكورة، كما في الشكل (3-108).



الشكل (3-108) المنقلة المحورية العامة

تتكون المنقلة المحورية العامة من الأجزاء التالية: القاعدة وبها المنقلة المدرجة، والمسطرة المتحركة، وقاعدة قائمة، وقاعدة حرف V ومسمار زنق.

لتنفيذ عملية معينة يمكن استعمال المسطرة المتحركة مع إحدى القطع الأخرى.

4- المنقلة ذات الورنية أو المنقلة المحورية الدقيقة: هي أحد أدق أجهزة قياس الزوايا للقطع الميكانيكية والمشغولات المستعملة في ورش التشغيل والمختبرات. بحيث يمكن أن نحصل على قياسات زوايا بدقة $(1/12^\circ)$ أي ما يعادل 5 دقائق.

يبين الشكل (3-109) الأجزاء المكونة للمنقلة ذات الورنية الدقيقة وهي:

أ- القاعدة وبها القرص المدرج أو المقياس الرئيس.

ب- ورنية مدرجة وهي تدور داخل القرص المدرج.

ج- ساق متحركة وهي تثبت مع الورنية عن طريق مسمار تثبيت.

د- مثبت الزوايا الحادة.

تستعمل المنقلة المحورية الشاملة لقياس زوايا المشغولات بدقة جيدة، ويتم ذلك

بوضع الزاوية المراد قياسها بين الساق المتحركة ومثبت الزوايا الحادة (في حالة الزاوية

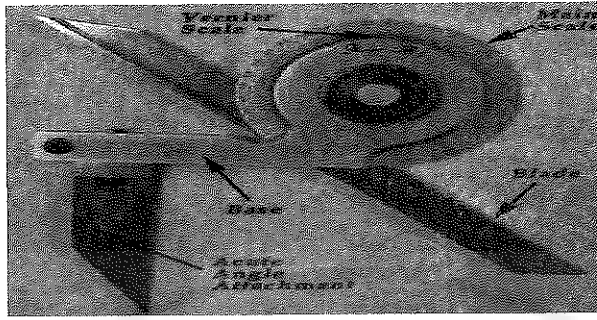
الحادة) أو سطح ثابت (في حالة الزاوية المنفرجة) كما في الشكل (3-110).

لقراءة المنقلة تقرأ الزاوية على التدريج الثابت حتى صفر الورنية ثم يضاف إليها قراءة

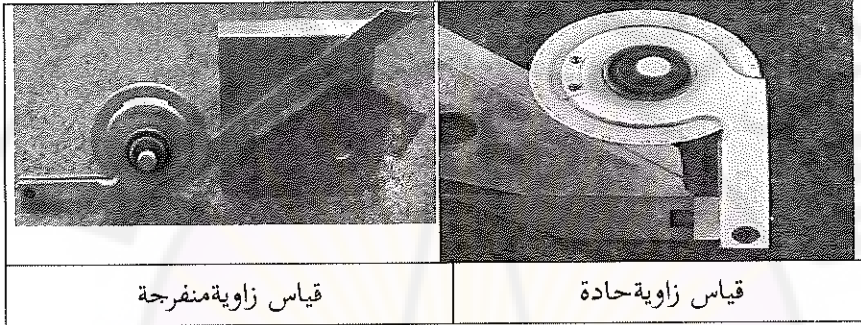
الورنية. وقراءة الورنية هي حاصل ضرب عدد الأقسام (على التدريج المنزلق) التي تسبق

خط انطباق أي من علامات تدريج الورنية المنزلة مع علامات التدريج الثابت في قيمة

تدريج الورنية.



الشكل (3-109) المنقلة ذات الورنية للقياس الدقيق للزوايا



الشكل (3-110) قياس الزاوية الحادة والمنفرجة باستخدام المنقلة المحورية الشاملة

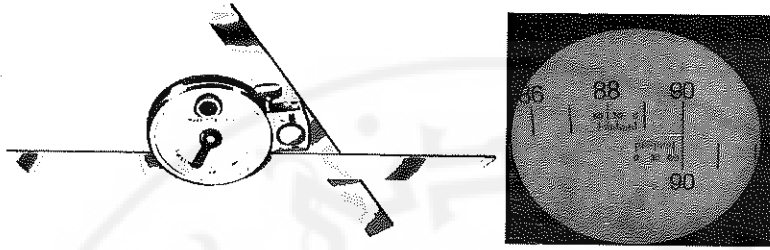
تتم عملية قراءة القياس على الجهاز بأخذ القياس الرئيس بالدرجة وهذا بداية من صفر الورنية ثم يضاف إليها قيمة القياس على الورنية التي تأتي مع تطابق التدرج الرئيس وتدرج الورنية.

مثال عن قراءة المنقلة ذات الورنية، الشكل (3-111):

	85°	A	القياس الرئيس
	30'	B	قياس الورنية
	85°30'	A+B	قيمة القياس على الجهاز

الشكل (3-111) قراءة المنقلة ذات الورنية تساوي 85°30'

5- المنقلة الضوئية: يبين الشكل (3-112) صورة لنوع من المناقل الضوئية فيها قيمة التدرج هي 5' وتصل الدقة فيها إلى ± 5 ثوان وعادة يكون طول الحد إما 150 مم أو 300 مم والطرف الأيمن من الشكل (3-112) يبين تدرج المنقلة.

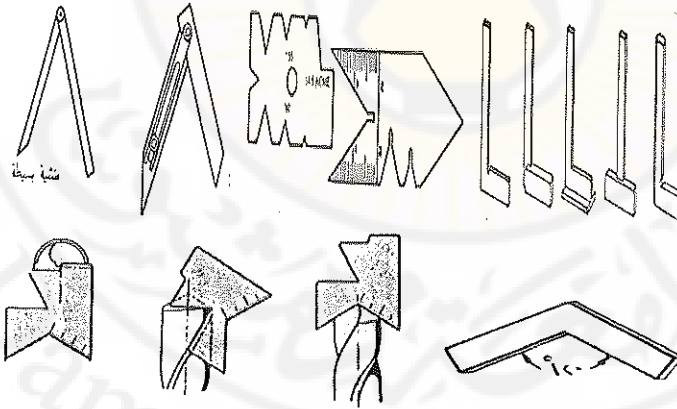


الشكل (3-112) المنقلة الضوئية وتدرجها

6- المنقلة ذات الساعة: فيها يتم قراءة الزاوية بواسطة ساعة القياس الموجودة على المنقلة. وقيمة التدرج عادة في هذا النوع يكون 5".

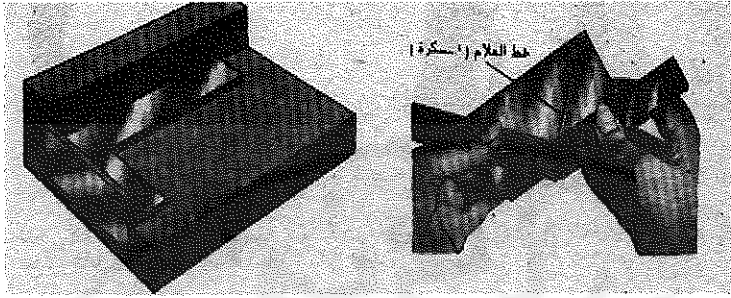
ب- محددات قياس الزوايا:

يتوافر العديد من أشكال محددات قياس الزوايا التي تستخدم لفحص زوايا الأسطح المائلة للمشغولات أو الشنكرة وأكثر هذه المحددات استعمالاً هي: محدد الزاوية القائمة، ومحدد الزاوية المسدسة (120 درجة)، ومحدد زاوية الشطب (135 درجة)، الشكل (3-113).



الشكل (3-113) بعض محددات الزوايا (محدد الزاوية القائمة، ومحدد زاوية اللولب، ومحدد الزاوية القابلة للضبط، ومحدد الزاوية المنفرجة 120° ، ومحدد زاوية رأس أداة الثقب)

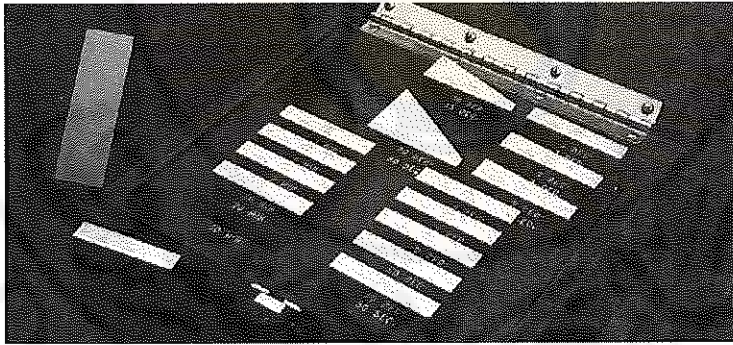
وتنتشر كذلك زاوية الضبط القائمة التي يوجد على ضلعها القصير مصد يتم الارتكاز به على حافة الإسناد وذلك لزيادة دقة فحص المشغولة، الشكل (3-114).



الشكل (3-114) زاوية الشطب وزاوية ضبط قائمة بمصد أثناء فحص بعض المشغولات.

ج- قوالب قياس الزوايا:

هي قوالب تصنع من الفولاذ تتوافر على شكل أطقم محفوظة في علب خشبية قصد حمايتها، الشكل (3-115). وهي تحسد بدقة جيدة مقاسات زوايا معينة، حيث يشكل سطحها القياس فيها زاوية معينة تكون محفورة على أحد السطحين. تستعمل قوالب قياس الزوايا في أعمال معايرة الأجهزة الأخرى (المنقلة، ومحددات الزوايا) وفي الفحص الدقيق لزوايا العدد والمشغولات وكذلك لضبط آلات التشغيل والمنثبات وأدلة القياس.



الشكل (3-115) قوالب قياس الزوايا

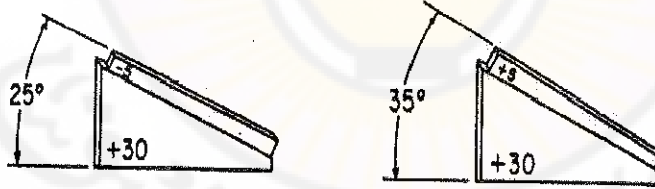
من الواضح أنه في الأغراض الهندسية العامة يصعب استعمال أطوال مرجعية كتلك المحصورة بين خطين حيث إنّ ذلك يحتاج إلى أجهزة ضوئية لتحديد مواضع الخطوط، لذا

كان من الأهمية إنتاج أطوال مرجعية تعتمد على المسافة المحصورة بين أسطح دقيقة. مثال: قوالب القياس ذات الشكل المتوازي المستطيلات وأطوال القياس المرجعية ذات الشكل الأسطواني.

3-14-3- قوالب قياس الزوايا وتكوين الزوايا:

تصنع قوالب الزوايا من فولاذ عالي النقاوة وتجري عليه عمليات تشطيب وتحضير للحصول على درجة الدقة المطلوبة. وتشبه هذه العمليات إلى حد كبير تلك التي تجري على قوالب القياس الطولية.

يوضح الشكل (3-116) كيفية تكوين الزوايا بطريقة الإضافة أو الطرح باستخدام قوالب الزوايا. ففي طريقة الإضافة يتم تجميع القوالب بحيث يكون اتجاه ميل السطح المائل لجميع القوالب واحد. وفي هذه الحالة تكون الزاوية المركبة الناتجة هي مجموع زوايا كل قالب، مثلاً بإضافة قالب الزاوية 5 إلى 30 نحصل على الميل نفسه على زاوية 35° . أما في طريقة الطرح، توضع بعض القوالب في اتجاه معاكس لبعضها البعض، وبالتالي تكون الزاوية المركبة عبارة عن الفرق بين مجموع زوايا القالب في اتجاه الميل الرئيس ومجموع الزوايا في الاتجاه الآخر. فمثلاً بوضع قالب الزاوية 5 في الاتجاه المعاكس مع قالب الزاوية 30 نحصل على زاوية $(30 - 5 = 25)$ درجة.



تركيب الزوايا بالطرح

تركيب الزوايا بالإضافة

الشكل (3-116) تكوين الزوايا باستخدام قوالب الزوايا

3-14-4- أطقم قوالب قياس الزوايا:

تتنوع أطقم قوالب قياس الزوايا عدداً ومقاساً، فعلى سبيل المثال تنتج هذه القوالب على شكل مجموعات تحتوي كل مجموعة على:

1- قوالب لقياس الدرجات.

2- قوالب لقياس الدقائق.

3- قوالب لقياس الثواني.

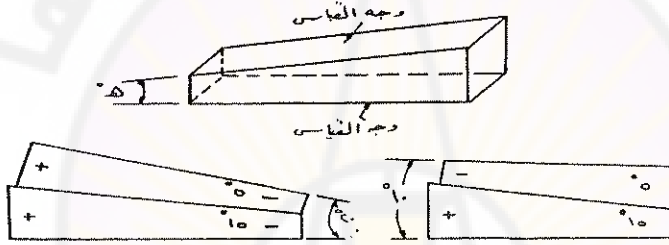
المجموعة الأولى 13 قالب:

سنة قوالب بزوايا تبلغ: $1^\circ, 3^\circ, 9^\circ, 27^\circ, 41^\circ, 90^\circ$

أربعة قوالب بزوايا تبلغ: $1', 3', 9', 27'$

ثلاثة قوالب بزوايا تبلغ: $6'', 18'', 30''$

يمكن باستعمال هذه المجموعة مع الاستعانة بقالب مربع تكوين أي زاوية بدقة $0.1'$ دقيقة، كما في الشكل (3-117).



الشكل (3-117) تكوين الزوايا باستخدام قوالب الزوايا

المجموعة الثانية 14 قالب:

بالإضافة إلى القوالب السابقة نفسها يوجد قالب بزوايا 3 دقيقة أي أنه يمكن تكوين أي زاوية بدقة تصل إلى 0.05 دقيقة.

المجموعة الثالثة 14 قالب:

سنة قوالب بزوايا تبلغ: $1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$

سنة قوالب بزوايا تبلغ: $1', 3', 5', 10', 25', 40'$

قالبين بزوايا تبلغ: $20'', 30''$

المجموعة الرابعة 16 قالب:

سنة قوالب بزوايا تبلغ: $1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$

خمسة قوالب بزوايا تبلغ: $1', 3', 5', 20', 30'$

خمسة قوالب بزوايا تبلغ: $1'', 3'', 5'', 15'', 30''$

مثال: إذا كان المطلوب تكوين زاوية قدرها $34^\circ 29' 9''$ من أي من المجموعتين الأولى أو الثانية فإنه يمكن الحصول على هذه الزاوية باستخدام القوالب التالية:

$$27^\circ + 9^\circ + 1^\circ - 3^\circ + 27' + 3' - 1' + 6'' + 3''$$

مثال: كون الزاوية $31^\circ 18' 6''$ من مجموعة قوالب الزوايا ذات 13 قالباً والموزعة كالتالي:

- مجموعة الدرجات: $1^\circ, 3^\circ, 9^\circ, 27^\circ, 41^\circ, 90^\circ$

- مجموعة الدقائق: $1', 3', 9', 27'$

- مجموعة الثواني: $6'', 18'', 30''$

الحل:

$$27^\circ + 3^\circ + 1^\circ = 31^\circ$$

$$27' - 9' = 18'$$

$$6''$$

3-14-5- الأجزاء الرئيسة لزاوية القياس:

1- شفرتا القياس: تكونان بشكل مستو تماماً، إحداها قابلة للدوران، حيث يقع سطحها المشغولة المراد معرفة الزاوية بينهما بين شفرتي القياس، وبشكل ينطبق معه كلا السطحين تماماً على حرفي الشفرتين، لأن أي فراغ سيؤدي إلى نتائج قياس خاطئة.

2- المدرج الرئيس: عبارة عن قوس من دائرة مدرج بتدرجات رئيسة قيمة كل منها 1° ، وتتم قراءة الزاوية المقاسة عليه بالدرجات.

3- المدرج الإضافي: صُمم لإعطاء قراءات بالدقائق، حيث يعتمد مبدأ القياس هنا على تقسيم هذا المدرج إلى 12 تدرجة كل تدرجة تكافئ $5'$ دقيقة، فيكون مجال هذا المدرج $60' = 12 \times 5$ ، وطول هذا المدرج يساوي 23° .

يُدرج عادة المدرج الإضافي بمجالين كما يلي: $60'-45'-30'-15'-0-15'-30'-45'$. تقوم شركات تصنيع أدوات القياس بتزويد زوايا القياس بساعة قياس، تقرأ قيمة الزاوية المقاسة عليها مباشرة، ويمكن أن تكون الساعة رقمية أو ذات مؤشر قياس، وعلى أية حال تختلف القيم التصميمية لمجالات قياس الزوايا، وطول الشفرات ودقة القياس حسب نوع عملية القياس المطلوب إنجازها ودقتها.

3-14-6- مبدأ أخذ قراءات زوايا القياس:

بعد وضع شفرتي القياس على سطحي المشغولة المراد قياس الزاوية بينهما، نتأكد من صحة توضع الشفرتين ثم ننظر إلى وضعية صفر المدرج الإضافي وإلى أية تدريجية من تدريجات المدرج الرئيس يشير، وتكون قيمة هذه التدريجية هي قيمة الزاوية المقاسة بالدرجات. ولكن عادة لا ينطبق صفر المدرج الإضافي تماماً على التدريجية الرئيسة إنما يكون قريباً منها. ولكي نعرف بالضبط أجزاء الدرجة، ننظر إلى التدريجية الإضافية التي تتطابق مع التدريجية الرئيسة، ونضيف قيمة هذه التدريجية بالدقيقة إلى القيمة السابقة بالدرجات فنحصل على نتيجة القياس. ويمكن توضيح قراءة زاوية القياس كما يلي:

- 1- رقم التدريجية الرئيسة القريبة من صفر المدرج الإضافي $\times 1^\circ$.
- 2- رقم التدريجية الإضافية المنطبقة مع التدريجات الرئيسة $\times 5'$.
- 3- جمع النتيجتين السابقتين.

3-14-7- أسس زوايا القياس:

يجب التأكيد على الملاحظات التالية أثناء استعمال زوايا القياس:

- 1- يجب أن تكون شفرات القياس عمودية تماماً على أسطح المشغولة أثناء القيام بقياس زوايا هذه الأسطح، وأن تكون منطبقة تماماً على هذه الأسطح.
- 2- عند استعمال زوايا قياس ثابتة أو قابلة للضبط عند أية زاوية مطلوبة، يجب أن تنطبق شفرتا القياس على سطحي المشغولة. وعند رؤية أي شعاع ضوئي نافذ عبر الشق الذي تصنعه شفرة القياس مع السطح المقيس فإن هذه المشغولة مرفوضة.

3- توجد زوايا قياس متعددة الاستخدامات لقياس التعامد و لقياس التوازي و لقياس الزوايا الحادة والمنفرجة والقائمة، وتستخدم الزاوية القائمة أحياناً للتأكد من صحة توضع المشغولات على طاوالت القياس.

4- يمكن استخدام زاوية القياس للمقارنة، حيث يتم تثبيت وضعية شفرتي القياس على سطحي مشغولة صحيحتي التشغيل، ومن ثم تجري مقارنة الزاوية بين الشفرتين بأسطح المشغولات الأخرى.

5- يُستفاد من الزاوية القائمة لتحديد الخطوط المتوازية والخطوط المتعامدة. وكذلك لاختبار صحة استواء الأسطح المتعامدة والمتوازية.

هناك أنواع من الزوايا القائمة مصنعة بشكل مربع وتستخدم للتفتيش على الآلات واختبار مدى محافظتها على مختلف الأوضاع النسبية لأجزائها.

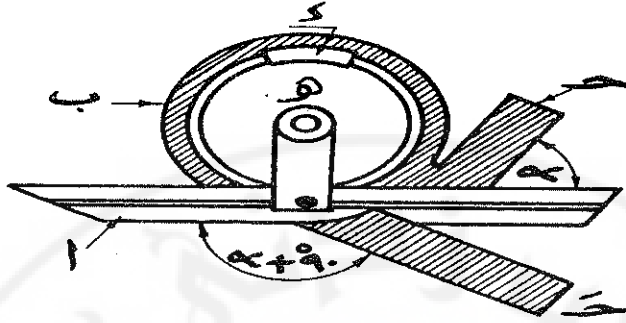
6- هناك زوايا متعددة الرؤوس تستطيع القيام بمهام كثيرة، لقياس الزوايا بمجال قياس $0-360^\circ$ و $0-180^\circ$.

كما تستخدم لتحديد مراكز الأعمدة ذات المقاطع الدائرية أو المربعة أو المثلثة أو غير ذلك. ويمكن استخدام زوايا القياس هذه كمسطرة حرف T لقياس الأعماق والارتفاعات. كل هذه الأنواع من زوايا القياس متعددة المهام ويتم وصلها حديثاً مع أجهزة قياس حديثة، وذلك للحصول على نتائج قياس دقيقة، وهذا طبعاً يؤدي لزيادة دقة القياس. وفي مراكز القياس المتطورة يجري ربط أجهزة قياس معقدة ومتعددة الأغراض مع الحاسوب بحيث تستطيع هذه الأجهزة أن تنجز العديد من عمليات القياس في وقت قصير جداً، وبالتالي الحصول على جودة فائقة في المنتجات، لأن عمليات القياس والمقارنة والتفتيش الدقيق تؤدي إلى إنتاج أفضل بجودة عالية مع تخفيض في التكاليف إلى الحدود الدنيا. وتتكون المنقلة الشاملة من الأجزاء التالية كما في الشكل (3-118):

- مسطرة منزلة (أ) مثبتة في حلقة (هـ) بوساطة مسمار تثبيت بحيث تتحرك المسطرة أو الحلقة معاً.

- قرص مقسم إلى درجات (ب).

- جناحين (ج، جـ) مثبتين بالقرص المدرج (ب).
- ورنية مستديرة (د) لقياس أجزاء الدرجة.



الشكل (3-118) الأجزاء الرئيسة في المنقلة الشاملة أو المنقلة ذات الورنية

3-14-8- كيفية اختيار منقلة القياس ذات الورنية:

تستخدم زهرة الاستواء وقد الارتفاعات ومبين القياس لاختبار درجة دقة منقلة القياس ذات الورنية، حيث تضبط قراءة المنقلة على خط الصفر، وتؤخذ قراءة المبين عند كل من طرفي الذراع.

3-14-9- خطوات استعمال المنقلة العامة:

- 1- تسند ساق القياس الثابتة على أحد أسطح الزاوية المطلوب قياسها.
- 2- إزاحة الساق المتحركة حتى تستقر على السطح الثاني للزاوية المطلوب قياسها.
- 3- تثبيت وضع الفك المتحرك بمفاتيح التثبيت، ثم القراءة.

3-14-10- كيفية المحافظة على منقلة القياس ذات الورنية:

- 1- يجب أن تكون الأجزاء المنزلقة في المنقلة نظيفة وخالية من الأتربة والرايش ويستحسن وضع طبقة من الفازلين النقي أعلى هذه الأسطح بعد الاستعمال.
- 2- يراعى ضبط وضع الورنية لتعويض قيمة أي خطأ ينتج من كثرة الاستعمال.
- 3- يجب تغيير الذراع إذا حدث به أي تآكل أو تلف موضعي.
- 4- أثناء الاستخدام توضع على قاعدة قياس لينة.
- 5- يجب حفظها نظيفة وخالية من الصدأ.

6- ينبغي التشحيم الخفيف (عند تخزينها).

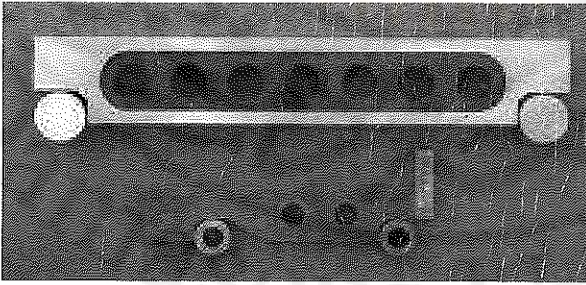
7- يجب حفظها في علبتها الخاصة.

11-14-3- معدات قياس الميل:

نظراً لأن قياس الزوايا بطريقة مباشرة ليس بسهولة قياس الأطوال، لذا يفضل في حالات كثيرة الاستعاضة عن ذلك بقياس المسافات التي تنشأ عن هذه الزوايا. ويمكن عن طريق تلك المسافات حساب النسب المثلثية للزوايا المطلوبة، وبالتالي إيجاد قيمتها. وفيما يلي عرض لبعض وسائل ومعدات قياس الميل:

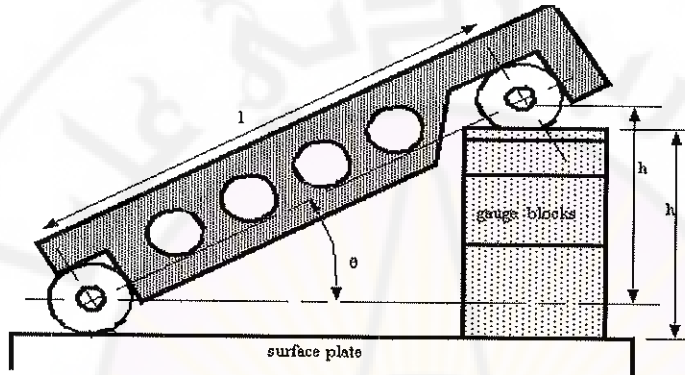
1- قضيب الجيب:

يتكون قضيب الجيب من مسطرة بطول ثابت تتركز على بكرتين أسطوانيتين متساويتي الأقطار ، الشكل (3-119). يستعمل قضيب الجيب مع قوالب القياس لإجراء عمليات القياس الدقيقة لزوايا المشغولات، وزاوية ميل الأعمدة، وزاوية استدقاق المخروط. يتوافر قضيب الجيب بأطوال 100، 160، 250، 400 مم. ويجب أن تكون دقة تشطيب سطحه لا تتجاوز في الاستواء $3\mu\text{m}$ ، وأن يكون متوازياً مع كل من محوري الضبط والارتكاز وذلك في حدود $15\mu\text{m}$ لكل 25 مم مقاسه على طول الطرف. أما فيما يتعلق بالأسطوانتين فلا يجب أن يتجاوز التفاوت في قطر أي منهما عن $3\mu\text{m}$ وهي القيمة المسموحة للخطأ نفسها في الاستقامة أو استدارة المقطع، أما أقصى خطأ مسموح به في المسافة بين محوري الأسطوانتين فهو 3، 4، 5، 6 ميكرومتر للمقاسات الأربعة السابقة الذكر على التوالي.



الشكل (3-119) قضيب الجيب

لإجراء القياس يوضع السطح المائل للمشغولة فوق قضيب الجيب، ثم يرفع أحد طرفي القضيب تدريجياً باستعمال قوالب قياس الأبعاد حتى يصبح سطح المشغولة أفقياً كما هو موضح في الشكل (3-120). ويمكن التأكد من ذلك عن طريق ساعة قياس ميول الأسطح التي يجب أن تعطي قراءة قيمتها صفراً إذا مر مجسها على سطح أفقي تماماً. عند هذا الوضع تكون زاوية ميل سطح المشغولة مساوية لزاوية ميل قضيب الجيب على الأفق (θ).



الشكل (3-120) قياس ميل سطح المشغولة بواسطة قضيب الجيب وقوالب القياس

من قانون المثلثات يمكن استنتاج العلاقة بين الزاوية θ وطول قضيب الجيب L (المسافة بين البكرتين) وارتفاع قوالب القياس h .
جيب الزاوية يساوي المقابل على الوتر:

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

وبما أن كلاً من ارتفاع قوالب القياس وطول القضيب معروفين فإنه يمكن تحديد جيب الزاوية ومن ثم الزاوية θ .

مثال 1: إذا كان طول قضيب الجيب 200mm، ووضع أسفل طرف ضبط القضيب مجموعة قوالب قياس قدرها 100mm، أوجد زاوية الميل.
الحل:

$$\sin \theta = \frac{h}{l} = \frac{100}{200} = 0.5$$

$$\theta = \sin^{-0.5} = 30^\circ$$

مثال 2: إذا كانت المسافة بين بكرتي قضيب الجيب 100mm، وارتفاع قوالب القياس 37.623mm، احسب زاوية الميل.
الحل:

$$\sin \theta = \frac{h}{l} = \frac{37.623}{100} = 0.37623$$

$$\theta = \sin^{-0.37623} = 22.1^\circ = 22^\circ 6' 1''$$

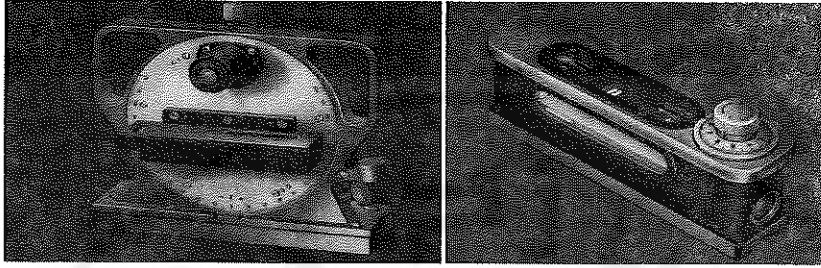
3-14-12- أخطاء قياس الزوايا باستخدام قضيب جيب الزاوية:

عند استعمال قضيب الجيب قد يتولد بعض الأخطاء أهمها الخطأ الناتج في ضبط السطح العلوي للقضيب مع زاوية ميل المشغولة، والخطأ الناتج من اختلاف المسافة بين محوري الأسطوانتين، وتحليل هذه الأخطاء ودراسة تأثيرها على قيمة الزاوية المقاسة وجد أن الخطأ في الزاوية المقاسة يتزايد بمعدل كبير كلما زادت قيمة الزاوية، ولذا فإن قضيب الجيب لا يستحب استعماله لقياس زاوية تزيد عن 30° ، ولا يصح استعماله لزوايا أكبر من 45° .

3-14-13- جهاز قياس الميل ذو الفقاعة (ميزان الاستواء):

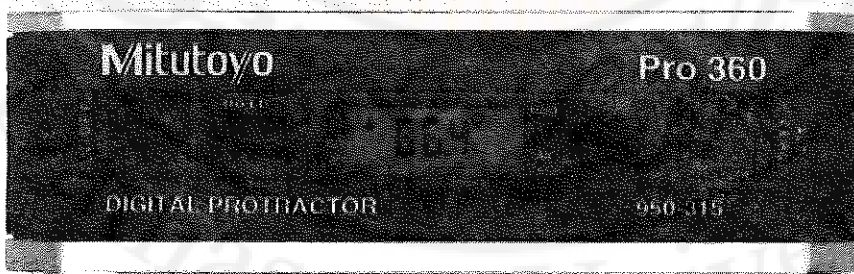
تستعمل هذه الأجهزة في مجالات متعددة أهمها اختبار استواء المشغولات واستقامتها وتعامدها، وكذلك في قياس الزوايا وبعض الميول البسيطة. وهناك ثلاثة أشكال لهذا الجهاز هي الموضحة في الشكل (3-121). يتكون ميزان الاستواء من الجسم الخارجي (الهيكال) الذي تتعامد أسطحه مع بعضها البعض ويصنع من قاعدة من الفولاذ أو حديد الزهر أو النحاس الأصفر، وأنبوبة ذات شكل برميلي أو مقوس مملوءة بالآثير أو الكحول إلى حد أن تبقى بداخلها فقاعة هوائية صغيرة تستقر دائماً في أعلى نقطة. تصنع أنبوبة القياس من زجاج شفاف نقي معالج حرارياً لإزالة الاجهادات الداخلية.

ويجب أن يكون السائل المملوء في الأنبوبة من النوع الذي لا يتفاعل مع الزجاج ويظل في حالة السيولة حتى 40- درجة مئوية، هذه الأنبوبة مشكلة ليصير سطحها كروياً.



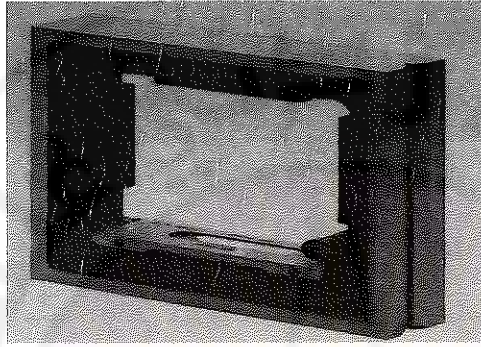
الشكل (3-121) أنواع أجهزة قياس الميل بالفقاعة

فيذا كان السطح المراد اختباره أفقياً (أو رأسياً) استقرت الفقاعة الهوائية في منتصف الأنبوبة، أما إذا كان السطح مائلاً استقرت الفقاعة في أعلى نقطة للميل وبالتالي يمكن تحديد اتجاه ميل السطح. ويوجد تدريج على السطح الخارجي للأنبوبة لتحديد قيمة الميل بحساسية تتراوح من 0.03 إلى 0.5 مم لكل متر من الطول وذلك تبعاً لنوعية الميزان المستخدم. ويتم اختبار دقة قياس ميزان الاستواء بوضعه على سطح مستو ثم يدار بمقدار 180° ، وفي كلا الوضعين يجب أن يعطي الميزان قيمة القراءة نفسها. وتوجد أيضاً المناقل الرقمية التي تشبه موازين الاستواء ولكنها تعطي قيمة الميل بالدرجة. وهذه النوعية تمتاز بدقتها العالية حيث إن قيمة زاوية الميل المقاس تؤخذ مباشرة من الشاشة الموجودة بالمنقلة كما في الشكل (3-122).



الشكل (3-122) المنقلة الرقمية.

وهناك تصاميم أخرى من ميزان الاستواء كالميزان المبين في الشكل (3-123) وهو عبارة عن إطار مربع تُثبت على ضلعين من أضلاعه المتجاورة ميزانا استواء تقليديان يمكن بواسطتهما قياس الحيود الأفقية والرأسية في وقت واحد، كما يستخدم لضبط أفقية ورأسية الماكينات الدقيقة.



الشكل (3-123) ميزان الاستواء ذو الإطار

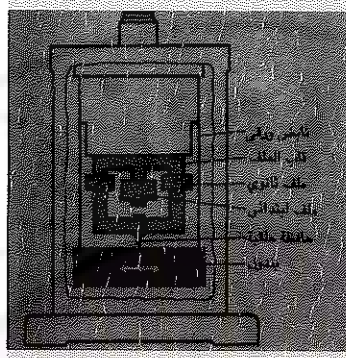
3-14-14- محددات فحص الاستدقاق:

يستخدم هذا النوع من المحددات لفحص الاستدقاقات الداخلية والخارجية للمشغولات التي تحتوي على أشكال مخروطية، وهي نوعان: خارجية وسدادية، ويتم فحص استدقاقات العدد مثل: المثاقب الحلزونية، وعدد التفريز، وأعمدة التجويف بواسطة محددات فحص الاستدقاق الخارجية، أما التجاويف المخروطية الشكل فيتم فحصها باستخدام محددات الاستدقاق السدادية، كما في الشكل (3-12).

3-14-15- مقياس الميول الالكتروني:

يستخدم هذا الجهاز عند الحاجة لحساسية قياس عالية تصل إلى 1" ويحتوي الجهاز على بندول معلق بواسطة نابضين ورقيين على حامل مثبت على غلاف رأس القياس. وعندما يميل سطح القياس، يغير البندول من وضعه فيتغير وضع الحلقة المثبتة على البندول بالنسبة للضلع الأوسط لقلب الملف، وينتج عن ذلك تغير المجال المغناطيسي مما يتسبب في إثارة تيار في الملف، ويكون مقدار هذا التيار المتولد مؤشراً لدرجة الميل، ويتم

معايرة الجهاز ليعطي قيمة الميل مباشرة بوحدات الميل المتعارف عليها وذلك على مبدن رقمي أو عن طريق مؤشر تبعاً لنوع الجهاز. يبين الشكل (3-124) رسماً تخظيطياً مبسطاً للمكونات الأساسية لمقياس الميول الالكتروني من الداخل.



الشكل (3-124) مقياس الميول الالكتروني



الفصل الرابع

بنية السطوح الهندسية

Engineering Surface Texture

مقدمة:

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

- 1- تقليل الاحتكاك بين الأسطح المتحركة (يؤدي إلى خفض درجة الحرارة، وسهولة 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.

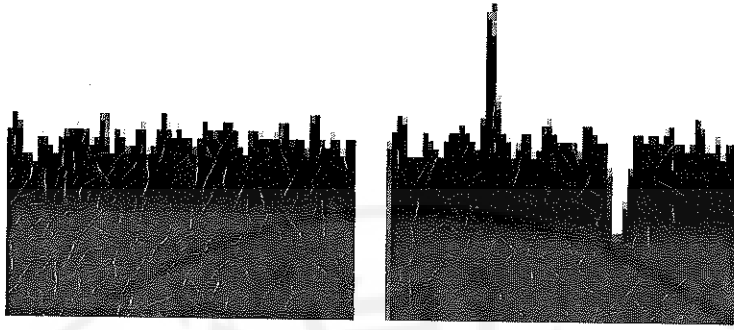
من الخصائص المهمة التي يجب أن تتوفر في المنتجات درجة نعومة أسطحها، حيث إن كثيراً من التطبيقات العملية تحتاج إلى أسطح على درجة عالية من النعومة حتى تؤدي الوظيفة المطلوبة منها بأفضل أداء ممكن. لذلك فقد اهتم المتخصصون في مجال التصنيع بالتوصيف الدقيق للأسطح عن طريق التعبير عن طبيعة هذه الأسطح بقيم عددية 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 خشونة السطوح المتزاوجة، لأن الخشونة 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 المشغل.

يتم إنتاج المشغولات الهندسية بوساطة عمليات تشغيل مختلفة، وتختلف السطوح الهندسية لهذه المشغولات الناتجة عن عمليات تشغيل حسب نوع العملية، فالسطوح التي يمكن

إنتاجها بعمليات خشنة مثل السباكة تختلف عن سطوح أخرى يتم إنتاجها بعمليات دقيقة مثل التخليخ والتلميع الدقيق.

يختار المصمم درجة النعومة المطلوبة للسطح، وهذه الدرجة لا يتم اختيارها عشوائياً، إنما تختار من جداول خاصة تناسب الهدف النهائي من التصميم، لأن تكاليف الإنتاج سوف تختلف بشكل ملحوظ من عملية لأخرى.

فعلى سبيل المثال عملية السباكة بالرمل رخيصة جداً ويكون ارتفاع النتوءات الميكروية لهذه الأسطح بحدود 1mm 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 سابقتها. 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 $(0.1\mu\text{m})$ وفي حالات خاصة أقل من $0.025\mu\text{m}$ وهي أسطح من الصعب جداً ملاحظة آثار التشغيل فيها. كما تجدر الإشارة إلى أن اختيار درجة الخشونة للسطح يدخل في تحديد التفاوت المسموح به وأبعاد الجزء المشغل، فكلما كانت أبعاد المشغولة أكبر يكون التفاوت المسموح به أكبر (حسب العلاقة $T \sim D^{1/3}$)، 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 (1-4)، 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 (1-4) تضاريس السطح تحت المجهر

1-4- 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- عدم تجانس القطعة المشغلة نفسها (عيب 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.

2-4- تأثير بنية السطوح في مقاومة التعب والتآكل:

- لا تقتصر درجة تنعيم السطح المطلوب انتاجه على جودة هذا السطح ولملمسه الناعم فحسب بل هناك ميزات لهذه النعومة تتجلى فيما يلي:
- 1- في آلات التشغيل التي تتعرض لإجهادات متكررة، من المهم جداً التأكيد على ضرورة الإهتمام بنعومة الأسطح التي تتعرض لهذه الإجهادات لأن مقاومة التعب لهذه الأسطح تزداد مع زيادة النعومة.

2- تتركز الإجهادات في التواءات الميكروية للسطوح المتلامسة مما يؤدي إلى سحق هذه التواءات على كلا السطحين، أي زيادة خشونة الأسطح المتحاكة، وبالتالي تآكل هذه السطوح باستمرار مع الاحتكاك. لذلك يؤدي تنعيم السطح إلى زيادة مقاومة الاحتكاك وزيادة عمر القطعة المستخدمة في الجهاز وبالتالي زيادة عمر الجهاز.

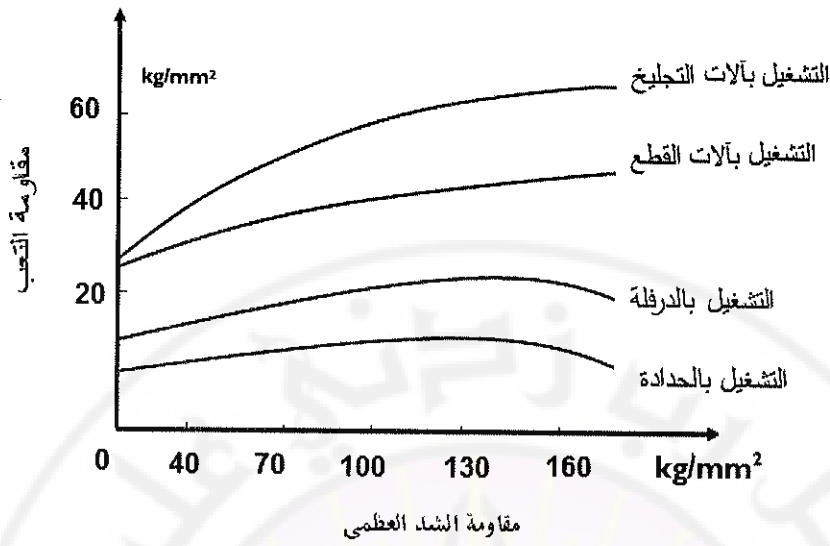
3- تؤثر درجة التنعيم تأثيراً حاسماً في مقاومة التعب للمعدن، فكلما كان سطح القطعة المشغلة أدق كانت مقاومة هذه القطعة للإجهادات المتكررة أكبر. ويلاحظ من الشكل (2-4) أن مقاومة التعب للأجزاء المشغلة على آلات قطع عادية مثلاً أقل من مقاومة التعب للأجزاء المشغلة على آلات التحليخ.

4- إن تجمع الإجهادات على قمم التواءات وفي الفراغات بين التواءات قد يؤدي لتشكيل شقوق 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 التواءات الميكروية للسطح تشكل أماكن مفضلة لتجمع عوامل الحث، الذي يحدث نتيجة تفاعلات كيميائية موضعية، والتي بدورها تولد تيارات كهربائية ضعيفة تؤدي مع مرور الزمن إلى التآكل وإضعاف بنية السطح، وبالنتيجة الإخلال بمدى صلاحية هذه الأسطح.

6- تؤدي الخشونة دوراً مهماً في الإزواج التداخلية، حيث لا تصلح السطوح الخشنة لهذه الإزواج، لأن التواءات الميكروية سوف تنكسر 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 بشكل كبير بجودة إنهاء هذه الأسطح، بحيث تزداد مقاومة التعب للآلة مع زيادة النعومة بشكل ملحوظ، الشكل (2-4).



الشكل (2-4) تأثير عمليات التشغيل في مقاومة التعب

3-4- تصنيف عدم استواء الأسطح:

تختلف أشكال انحرافات الأسطح وأبعادها، والتي تؤدي إلى عدم استوائها تبعاً لمتغيرات متعددة مثل نوع الخامات المستخدمة وطريقة التثبيت ودقة آلات التشغيل وغير ذلك من العوامل الأخرى، ويمكن تقسيم عدم استواء الأسطح تبعاً لأشكالها المختلفة الموضحة بالشكل (3-4) إلى ما يلي:

1- الحيود: يعني الانحراف أو الميل أو عدم الاستواء في الأشكال المسطحة وعدم الاستدارة في الأشكال الأسطوانية، كما يظهر ذلك في الشكل (3-4-أ). وينشأ الحيود نتيجة لوجود خلوص بين المسارات الدليلية للأدلة الانزلاقية بآلات 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 الخامات المستخدمة.

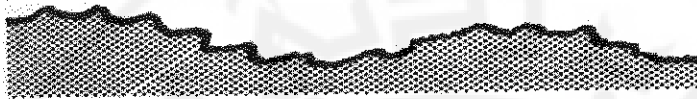
2- التعرجات: هي تذبذبات دقيقة في بنية السطح، تنتج من تأثير العمليات الإنتاجية، وهي علامات فردية لأداء القطع مثل تلك التي تنتج عن مسارات مفردة لقلم القطع في اتجاه عمودي على السطح المشغل، وهي بمنزلة بصمات يتركها قلم القطع على المشغولة.



(أ) عدم الاستواء - عدم الاستدارة (ب) تموجات



(ج) أخاديد (د) حروز



(و) سطح يحتوي على جميع الانحرافات من (أ) إلى (د)

الشكل (3-4) الأشكال المختلفة لعدم استواء الأسطح

3- التموجات: هي اضطرابات في بنية السطح، 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 1 مم و 25 مم وارتفاعها بين 0.02 و 0.05 مم.
- يوضح الشكل (3-4-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 (4-3- ج) تمثيلاً لأحاديد السطح.

5- الحزوز: عبارة عن انحراف في الشكل الدقيق للسطح وتُعد أحد مظاهر الخشونة، وتكون عادة على شكل نتوءات خشنة الملمس وتنشأ نتيجة ل:

1- التصاق الرائب بالحد القاطع للعدة.

2- أسلوب توجيه العدة على السطح المشغل.

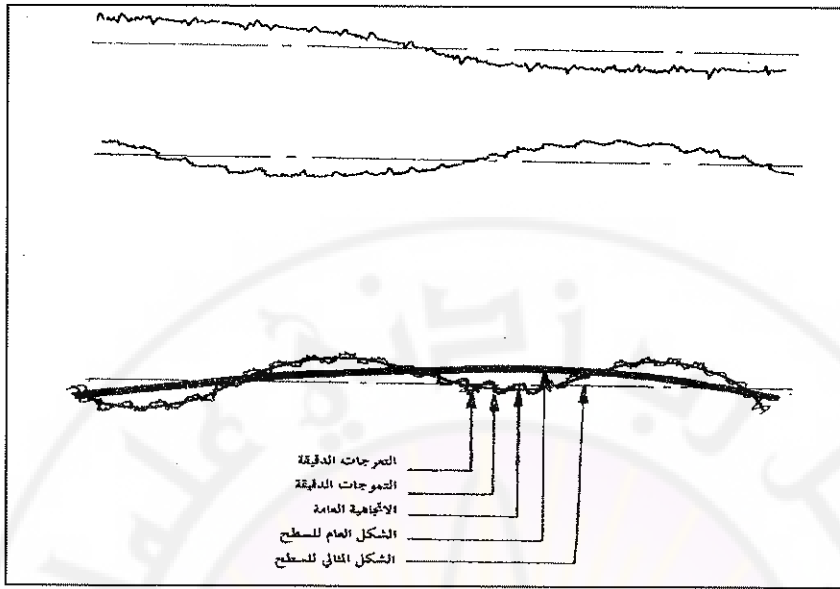
في الحياة العملية تجتمع الأسباب التي تم ذكرها معاً، وتترابط الأنواع المختلفة لانحرافات الشكل، وبالتالي يكون السطح غير مستو وتظهر فيه تموجات وأحاديد وحزوز في الوقت نفسه كما هو مبين بالشكل (4-3- و). وتشمل خشونة الأسطح وجود الأحاديد والحزوز، وتكون أبعادها في غاية الصغر، إذ يتراوح طولها بين 0.005 مم و 0.25 مم وارتفاعها بين 0.000025 مم و 0.012 مم. أما التموجات وعدم الاستواء (أو عدم الاستدارة) فيتم تصنيفها على أنها عدم انتظام في الشكل.

تعرف المكونات الأساسية التالية وفق المواصفة الأمريكية 1962 – B46ASA:

1- الاتجاهية: هي اتجاهات علامات أداء القطع عندما ينظر إليها بشكل تجميعي، أي أن الاتجاهية تميز العملية الإنتاجية المتبعة. الشكل (4-4).

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 والأحاديد وهذا بطبيعة الحال يحتاج إلى آلات تشغيل متطورة عالية الدقة.



الشكل (4-4) توصيف الشكل العام والشكل الدقيق للسطوح

4-4- اتجاه الحزوز أثناء عملية التشغيل:

يدخل اتجاه الحزوز تحت الانحراف الدقيق في شكل السطح وهناك بعض الظواهر الأخرى التي لا تنشأ عن أي من عمليات القطع منها:

1- التحرش: هو انحراف في الشكل الدقيق للسطح وينشأ عن تنظيف سطوح المصبوبات والمطروقات بالرش بالرمل.

2- التقبب: هو انحراف في الشكل الدقيق وينتج عن معاملة السطوح بالغلفنة.

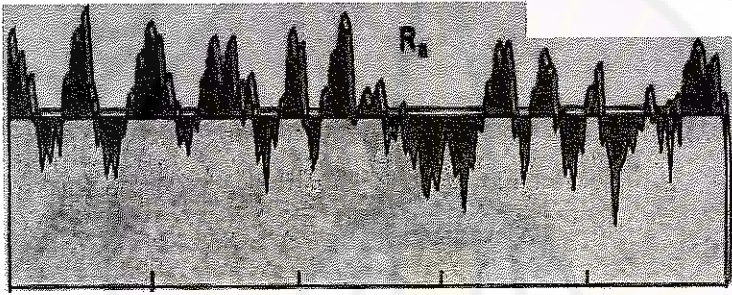
3- التليف: هو انحراف في الشكل الدقيق للسطح وينشأ عن التبلور والتأثير الكيميائي والأكسدة.

4-5- طرائق تقييم درجة نعومة الأسطح:

توصي المنظمة الدولية ISO باتباع طرائق محددة لدراسة بنية السطوح الهندسية، وقد جاءت هذه الطرائق تحت الموصفة (E) ISO/R468-1966، لتعبر عن بنية السطوح بلغة الأرقام، ومن أهم الطرائق المتبعة في الدول المتقدمة صناعياً الطرائق التالية:

4-5-1- طريقة المتوسط الحسابي للانحرافات R_a :

تعتمد هذه الطريقة على الارتفاع المتوسط R_a لتقييم درجة نعومة الأسطح كما في الشكل (4-5). حيث يؤخذ الخط المتوسط، بحيث يكون مجموع مساحات التواءات (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 التواءات الواقعة فوق الخط المتوسط والانخفاضات الواقعة تحته من دون الالتفات إلى إشارة المساحة.



الشكل (4-5) الخشونة المتوسطة R_a

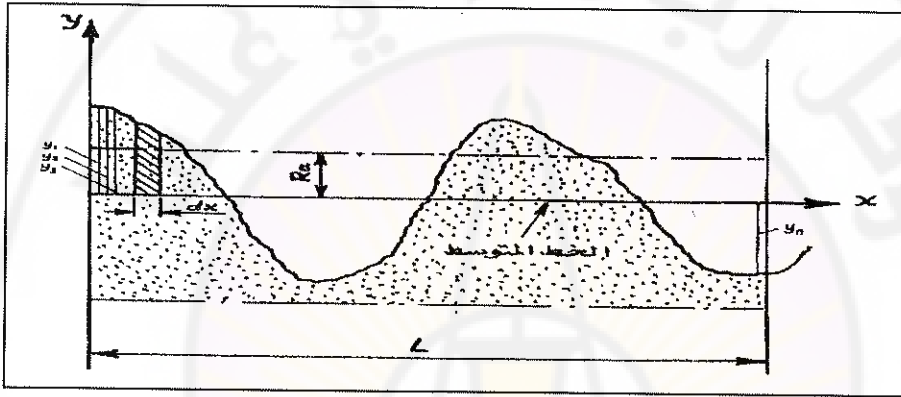
وتعرف قيمة الخشونة المتوسطة R_a بأنها المتوسط الحسابي لمدى ابتعاد الانحرافات عن البعد الفعلي المتوسط. ويتم حساب الخشونة المتوسطة بقسمة مجموع المساحات المظللة على طول العينة، الشكل (4-6).

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 التدرجات، ثم تختار خطاً عمودياً على الاتجاه العام للتدرجات يسمى (الخط المتوسط) بحيث تكون مساحة التواءات فوق هذا الخط وتحت متساوية، ثم يتم تحديد الارتفاع المتوسط R_a بالاعتماد على العلاقة:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

$|y_i|$ هي قيم الارتفاعات بدءاً من الخط المتوسط وحتى حدود التعرجات، وبالقيمة المطلقة ($i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$). كما يمكن تحديد R_a بشكل تكامل على طول L كما يلي:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx$$

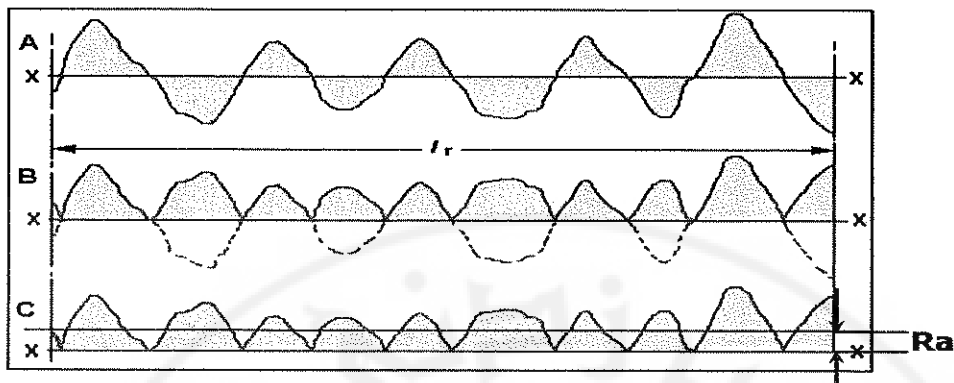


الشكل (6-4) طريقة المتوسط الحسابي للانحرافات

حساب قيمة الخشونة المتوسطة R_a :

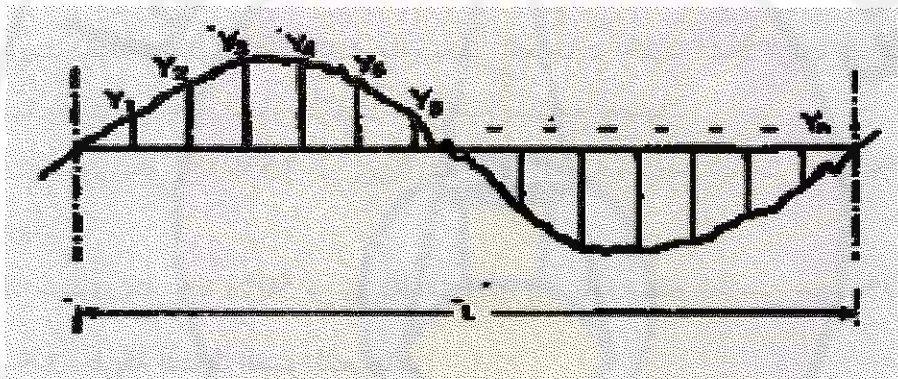
عندما يجمع المستشعر بيانات السطح المختبر، نقوم بالإجراءات التالية:

- 1- يتم أولاً تحديد خط المنتصف (X-X) بحيث تكون مجموع المساحات الواقعة فوقه مساوياً لمجموع المساحات الواقعة أسفله، الشكل (7-4).
- 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 (7-4) حساب قيمة الخشونة المتوسطة R_a

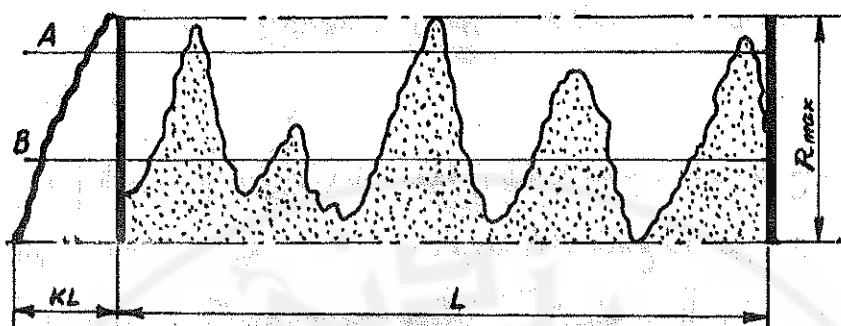
الصيغة الرياضية لحساب قيمة الخشونة المتوسطة R_a :



$$R_a = \frac{|Y_1| + |Y_2| + \dots + |Y_n|}{n}$$

2-5-4- طريقة الارتفاع الأعظمي للتعرجات R_{max} :

يعبر عن خشونة الأسطح بهذه الطريقة من خلال المسافة الفاصلة بين أعلى قمة وأخفض أخدود للتنوعات الميكروية السطحية كما في الشكل (8-4). 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 (8-4) تأثير بنية السطوح في مساحة التلامس

KL: يمثل طول المساحة النسبية لتلامس السطوح، وعنده تلامس السطوح بنسبة 100%، ولكن من مساوي النعومة الزائدة للأسطح المتلامسة عدم فسخ المجال لزيت التزيت بالتغلغل بينها، لذلك تترك عادة بعض التعرجات الخفيفة ليملاً 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%.

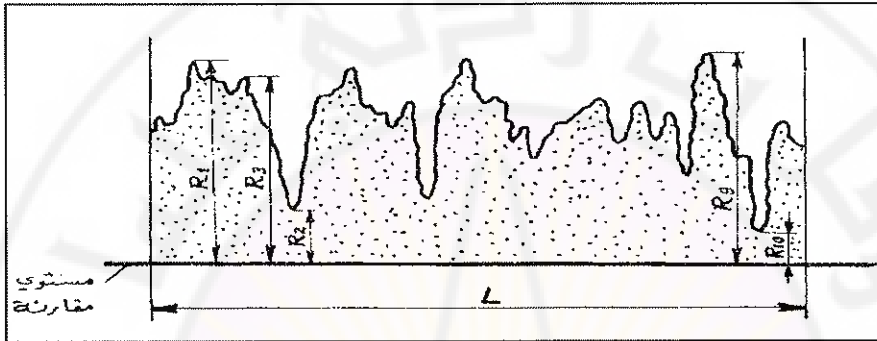
3-5-4- طريقة النقاط العشر للتعرجات:

لقد تم توضيح هذه الطريقة في الشكل المبين (9-4) حيث يعبر الارتفاع R_z عن الارتفاع الوسطي للتنوعات الميكروية، وتستخدم عشر نقاط لحساب R_z ، وبالتالي يكون الارتفاع الوسطي مساوياً لمجموع أعلى خمس قمم مع أخفض خمسة أخاديد وتقسيم المجموع على عشرة.

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) + (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{10}$$

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 لـ R_z ، القيمة الأولى تمثل الحد الأدنى والقيمة الثانية تمثل الحد الأعلى.

لتطبيق هذه الطريقة نختار الطول L بحيث يحوي عدداً من التدرجات كافياً لإجراء الدراسة المطلوبة لبنية السطح، ثم نحدد أعلى خمس قمم ونقيس ارتفاعات هذه القمم R_1, R_3, R_5, R_7, R_9 ، ونحدد أخفض خمس أبعاد ونقيس ارتفاعاتها عن مستوى المقارنة (الذي يوازي الخط المتوسط)، وهي $R_2, R_4, R_6, R_8, R_{10}$ ، ويكون الارتفاع المتوسط في هذه الحالة R_z كما في العلاقة السابقة.



الشكل (4-9) طريقة النقاط العشرة للتدرجات

يستخدم الارتفاع R_z في تقييم خشونة الأسطح، أمثلة على ذلك:
 $R_z = 0.5\mu m$ يعبر عن سطح ناعم جداً ناتج عن تجليخ عالي الدقة.
 $R_z = 10\mu m$ يعبر عن سطح أقل نعومة ناتج عن عملية تفريز ناعم.

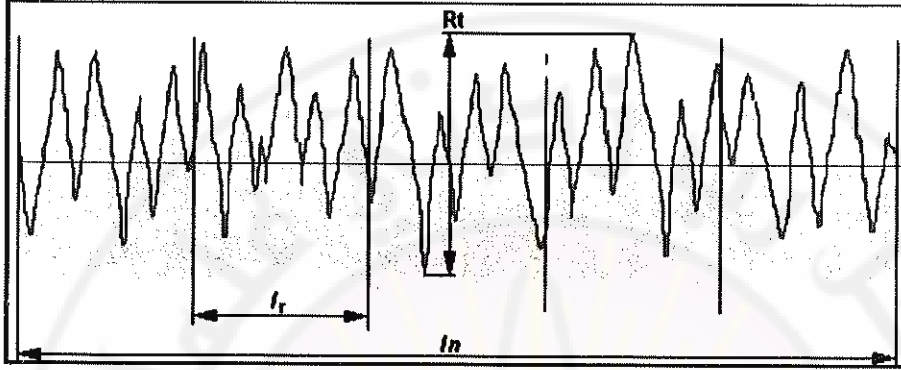
4-6-6- مقاييس الخشونة:

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:

4-6-6-1- 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 (4-10). ويُعد عمق الخشونة من أكثر

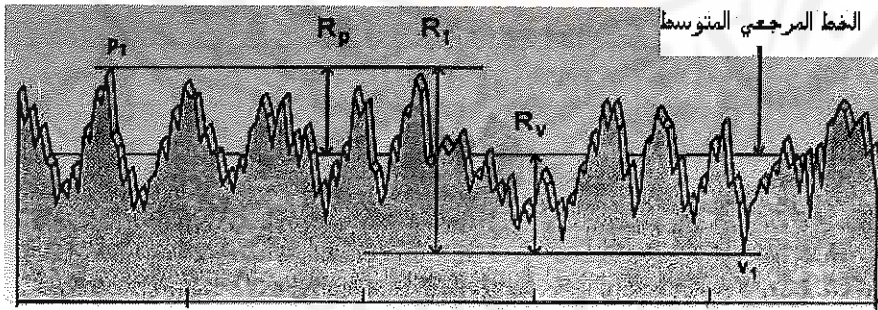
المقاييس المستخدمة لتقييم بنية الأسطح، ولكنه لا يعطي فكرة واضحة عن الخواص الانزلاقية للأسطح ومقاومتها للبري. لذلك يتم الاستعانة بمقاييس أخرى لخشونة الأسطح للوصول لأعلى دقة في تقييم الأسطح.



الشكل (10-4) مقياس عمق الخشونة

2-6-4- عمق الاستواء (R_p):

هو البعد بين الحد الأقصى والخط المرجعي المتوسط للانحرافات (البعد بين البنية المتوسطة والبنية الإسنادية)، الشكل (11-4). ويدل هذا المقياس على المقدار اللازم لضغط قمم التاموج الفعلية حتى تصبح مستوية. ويمتاز هذا المقياس عن المقاييس الأخرى للخشونة بأنه يعطي أفضل بيان عن الأداء الوظيفي للسطح مثل الأسطح الانزلاقية وأسطح الإزواجيات التداخلية التي يتم تركيبها بالكبس.



الشكل (11-4) عمق الخشونة R_t ، وعمق التسطیح R_p

3-6-4- العمق الأدنى للخشونة R_v :

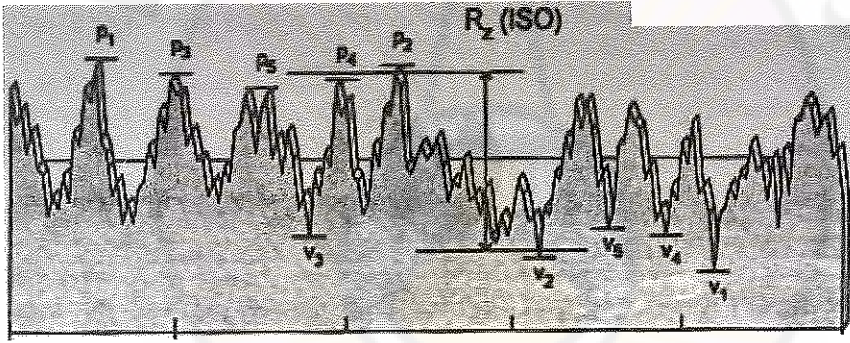
هو البعد بين الحد الأدنى والخط المرجعي المتوسط للانحرافات. والشكل (11-4) يبين كلاً من مقاييس الخشونة R_v , R_p , R_t التي ترتبط ببعضها البعض بالعلاقة الآتية:

$$R_t = R_p + R_v$$

4-6-4- 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 (12-4) نجد أن:

$$R_z = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5) - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5)}{5}$$

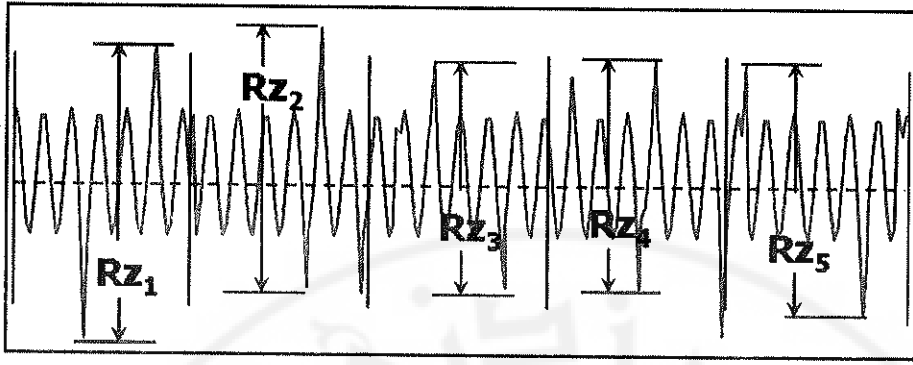


الشكل (12-4) متوسط أقصى انحرافات للسطح R_z .

4-6-5- 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 (13-4).
الصيغة الرياضية لحساب قيمة عمق الخشونة المتوسطة R_z :

$$R_z = \frac{R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4} + R_{z5}}{5}$$



الشكل (4-13) عمق الخشونة المتوسطة

4-6-6- متوسط الجذر التربيعي لانحرافات السطح R_q :

هو الجذر التربيعي لمتوسط مجموع مربعات الانحرافات. وتظهر أهمية هذا المقياس عند تقييم الخواص الضوئية للأسطح.

وتستخدم المعادلة التالية لحساب R_q :

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2}$$

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.

مثال 1:

في تجربة معملية لتقييم خشونة أحد الأسطح تم أخذ القراءات التالية عند 18 نقطة قياس على السطح:

9	8	7	6	5	4	3	2	1	نقطة القياس
13	3	9	15	17	19	27	19	7	الانحراف μm
18	17	16	15	14	13	12	11	10	نقطة القياس
11	1	3	8	13	22	11	19	15	الانحراف μm

احسب مقاييس الخشونة R_t, R_z, R_a, R_q .

الحل:

بالرجوع إلى الشكل (4-11) نجد أن عمق الخشونة R_t يمكن حسابه كالتالي:

$$R_t = P_1 - V_1 = 27 - 1 = 26 \mu m$$

وباستخدام معادلات تعريف كل من R_q, R_a, R_z نستطيع حساب القيم المطلوبة كالتالي:

$$R_z = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5) - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5)}{5}$$

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

$$R_z = 16.8 \mu m$$

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

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

$$R_a = 12.89 \mu m$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2}$$

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

7-4- علامات التشغيل في الأنظمة الدولية:

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.

7-4-1- علامات التشغيل الأساسية في النظام الألماني:

وضعت المواصفات الألمانية علامات تشغيل خاصة 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 (4-14) تعبر عن:

1- دون رمز: يعبر عن عدم وجود أي شرط لنعومة السطح، أي إن النعومة غير مطلوبة لهذا السطح.

2- رمز التقريب $\sim$: يعبر عن وجود نعومة بسيطة، يجب أن تتوافر في السطح المطلوب.

$$R_z = 100 \div 400 \mu m$$

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.

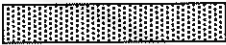
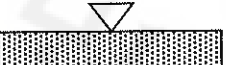
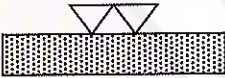
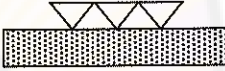
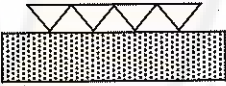
$$R_z \approx 10 \div 25 \mu m$$

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.

$$R_z \approx 0.4 \div 1 \mu m$$

وصف نوعية السطوح	علامة إنهاء السطوح
جميع السطوح الناتجة عن عمليات السباكة، والحدادة والدرفلة (لا تشترط جودة معينة للسطح).	 بدون رمز
جميع السطوح الأكثر انتظاماً من الحالة السابقة، والحدادة بالقوالب والسباكة المهذبة.	~  رمز تقريبي
جميع السطوح التي تجري عليها العمليات تشغيل، يمكن رؤية آثار التشغيل والتعرف عليها باللمس.	 مثلث واحد
جميع السطوح التي تجري عليها عمليات تنعيم، آثار عمليات التنعيم يمكن رؤيتها بالعين المجردة.	 مثلثان
جميع السطوح التي تجري عليها عمليات تنعيم دقيقة، لا يمكن رؤية آثار التنعيم بالعين المجردة.	 3 مثلثات
جميع السطوح التي تجري عليها عمليات تنعيم عالية الدقة والتجهيز.	 4 مثلثات
الشكل (14-4) علامات خشونة السطوح حسب النظام الألماني	

4-7-2- 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 $\nabla 6$ فهذا يدل على أنه يجب تشغيل هذا السطح وإنهاءه، بحيث يحقق درجة الخشونة السادسة، وتقدر هذه الدرجة بارتفاع متوسط للتوابع الميكروية بمقدار $(R_a = 1.6 \div 2.5 \mu m)$ 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 التوابع الميكروية R_z ، أو تدل على أقصى قيمة مسموح بها لارتفاع التوابع الميكروية عن المحور المتوسط R_a . وبالطبع درجات الخشونة هذه لا تأخذ في حسابها الخدوش السطحية أو الثقوب، وتدل دائماً على القيم القصوى للخشونة.

4-7-3- 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 من $N1$ 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، بوحدة قياس هي الميكرومتر. ويبين الجدول (1-4) الدرجات الإثنتا عشرة مقيسة بالميكرومتر:

الجدول (1-4) 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 المشغولات تُرفض المشغولات التي تتجاوز تعرجات سطوحها القيم المحددة على الرسم. وكمثال على ذلك، إذا كان المطلوب إنهاء سطح مشغولة بدرجة خشونة N4 فيجب ألا يزيد المتوسط الحسابي لارتفاع التعرجات فوق الخط المتوسط للسطح الناتج على القيمة $0.2\mu m$ وفي حال تجاوز هذه القيمة يعد السطح مرفوضاً.

4-8- علامات التشغيل القياسية:

إن الأبعاد التي توضع على أجزاء المشغولات تشير إلى قياس البعد بالنسبة لوحدة القياس المعروفة، ولكن هناك علامات خاصة لإظهار دقة تشغيل السطوح حسب ما تقتضيه الحاجة من نعومة أو خشونة للسطوح المشغلة. لذا توضع علامات تسمى بعلامات التشغيل لترشد الفني والمهندس أثناء عمله إلى مدى خشونة السطح المشغل، وفي الحقيقة لا يوجد سطح تام النعومة ولكن هناك سطوح خشنة و سطوح أقل خشونة، وهذه الخشونة يمكن أن ترى تحت عدسة مكبرة، ويمكن قياسها ورسمها باستخدام أدوات خاصة.

تتألف علامة التشغيل الأساسية من ضلعين غير متساويين يميل كل منهما عن السطح المرمز بزاوية 60° تقريباً. ويمثل الرقم الذي يكتب داخل هذين الضلعين إحدى القيمتين: قيمة الخشونة ب μm ، أو درجة الخشونة. مع ملاحظة الآتي:

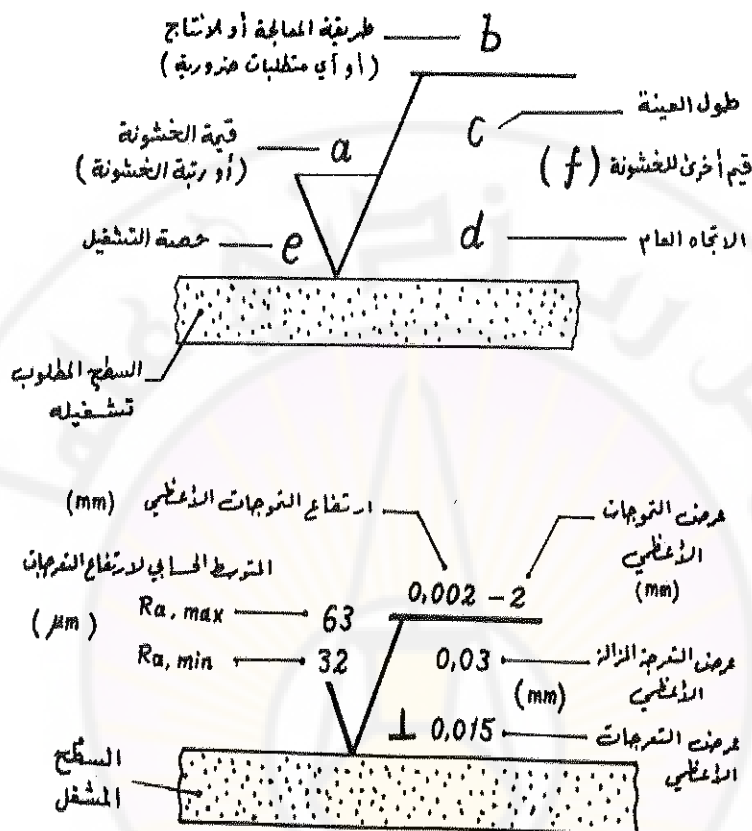
1- عند وضع علامات التشغيل على سطح ما، يعني أنه يجب تشغيل هذا السطح بحيث لا تزيد خشونته على القيمة أو الدرجة المدونة داخل هذه العلامة، ولا يشترط تشغيل هذا السطح بآلة تشغيل معينة إنما يمكن إنتاجه بأي وسيلة من وسائل التصنيع.

2- إذا أضيف للعلاقة خط عرضاني، فهذا يعني أن الحصول على هذا السطح يجب أن يتم بإزالة الرايش. ولكن إذا أضيفت دائرة صغيرة كما في الشكل (4-17)، فمعنى ذلك أن الحصول على السطح يجب أن يتم دون إزالة الرايش.

3- إذا كانت قيمة الخشونة المطلوبة غير مفيدة بقيمة محددة، فتكتب قيمة هذه الخشونة كحدين، حد أعلى يمثل المتوسط الحسابي الأعظمي للتعرجات وحد أدنى يمثل المتوسط الحسابي الأصغري للتعرجات، وبدءاً من الخط المتوسط تكتب القيمة القصوى فوق القيمة الدنيا.

4- إذا كان السطح المراد الحصول عليه يجب أن يشغل بأسلوب محدد فيتم الإشارة إلى ذلك بشكل صريح فوق خط يتصل بالضلع الطويل لعلاقة التشغيل القياسية، ويمكن

كتابة أية متطلبات أخرى فوق هذا الخط، أو أية إيضاحات متعلقة بمعالجة السطح أو تحديد صفته قبل المعالجة وبعدها، الشكل (4-15).



الشكل (4-15) 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 (4-16) 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 للإتناء.

6- أشارت المواصفة الدولية ISO/ R468-1966(E) 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:

$$L_1 = 0.08 \div 0.25mm$$

$$L_2 = 0.8 \div 2.5mm$$

$$L_3 = 8 \div 25mm$$

8- 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 المرّمز.

⊥ الاتجاه العام عمودي على مسقط السطح المرّمز.

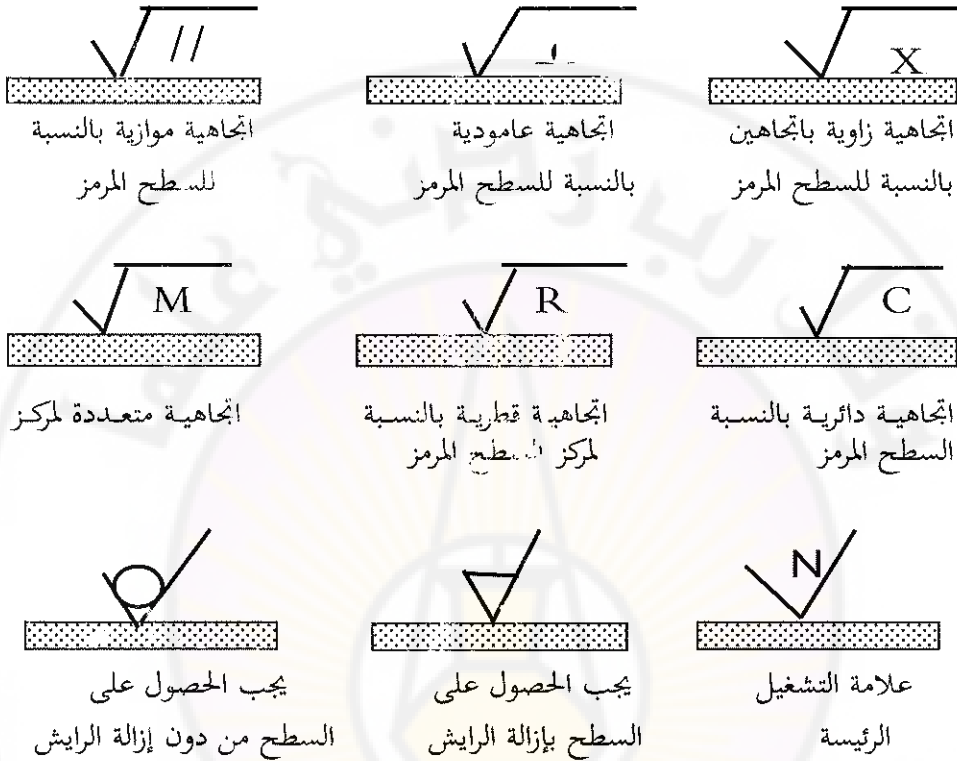
X الاتجاه العام يميل في اتجاهين على مسقط السطح.

نوعية السطح	نماذج من السطوح الملائمة وعمليات التشغيل
0.025 ✓	أطراف أجهزة القياس - المرايا - فكّ الميكرو متر...
0.1 ✓	صقل - إنهاء دقيق - الأجهزة عالية الدقة ...
0.4 ✓	صقل - إنهاء متوسط النعومة - تجاوزيف أسطوانات محركات الاحتراق الداخلي
0.8 ✓	الجلخ الأسطواني الدقيق - أسنان المسننات المصممة لظروف عمل 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 .

M الاتجاه العام متعدد الاتجاهات.

C الاتجاه العام دائري بالنسبة لمركز السطح.

R الاتجاه العام قطري بالنسبة لمركز السطح.



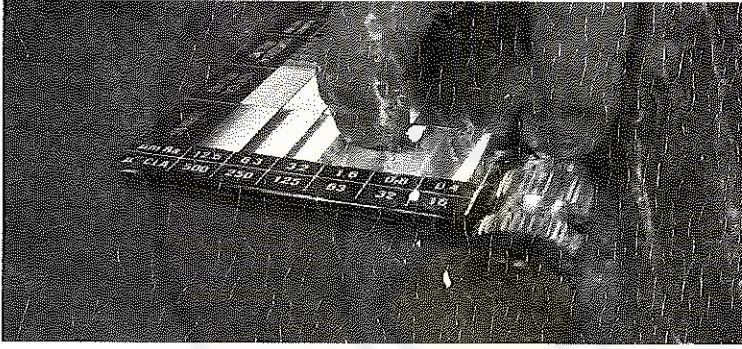
الشكل (4-17) ترميز مكونات بنية السطوح حسب ISO

4-9-أجهزة قياس الخشونة:

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:

4-9-1- 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 (4-18) والخاصة بعمليات الخراطة الطولية.



الشكل (4-18) عينات قياسية لفحص الخشونة السطحية للخراطة الطولية.

4-9-2- الأجهزة الميكانيكية:

من الأجهزة المستخدمة قديماً في هذا المجال مقاييس الخشونة الميكانيكية، ويمكن استعراض أهم أجزاء هذه الأجهزة لمعرفة بدايات نشوء أجهزة قياس الخشونة، حيث تتألف معظمها من الأجزاء الرئيسة التالية:

1- المنزلة: عبارة عن أداة تتحرك على السطح وتتبع في مسارها الشكل الأساسي للتموجات، لذلك يجب أن يكون شكل المنزلة وحجمها مناسبين لطبيعة السطح المطلوب قياس خشونته.

2- محس القياس: يتحرك بالاتجاه الرأسي فقط بالنسبة لاتجاه حركة المنزلقة. ولكن يكون في الوقت نفسه جزءاً أساسياً من المنزلقة، ويجب أن يكون حجم نهاية محس القياس وشكله منسجمين مع طبيعة التعرجات المطلوب قياسها.

3- وسيلة تكبير لحركة محس القياس: وذلك للحصول على شكل مناسب للتعرجات يمكن قياسه. ومما تجدر ملاحظته أن التكبير بالاتجاه الرأسي يكون كبيراً جداً بالمقارنة مع التكبير بالاتجاه الأفقي.

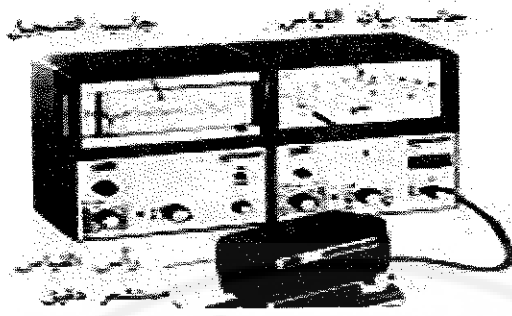
4- وسيلة تسجيل لشكل التعرجات: الغاية منها إظهار وحفظ نتائج القياس. من عيوب الأجهزة الميكانيكية:

- نسبة التكبير قليلة للغاية لاتتجاوز 100 مرة.

- تأثر الأجهزة بالاحتكاك والعطالة نظراً لوجود العديد من الأجزاء الميكانيكية المتحركة.

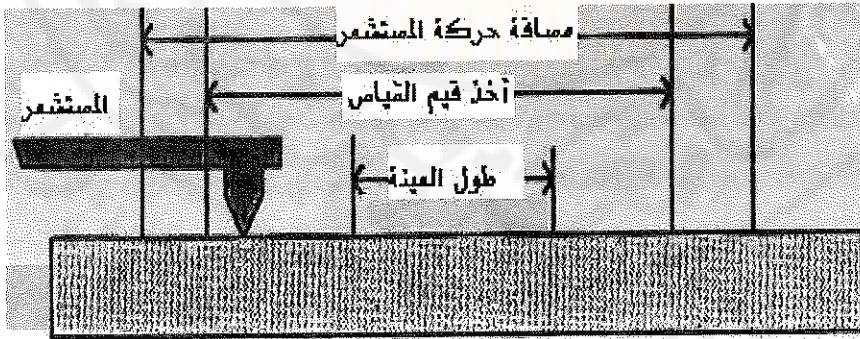
4-9-3- طريقة الاستشعار (جهاز قياس جودة الأسطح):

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 (4-19) أحد الأنواع من هذا الجهاز الذي يتكون من رأس قياس ذي مستشعر دقيق أو حاس 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 من 1 مم إلى 5 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.

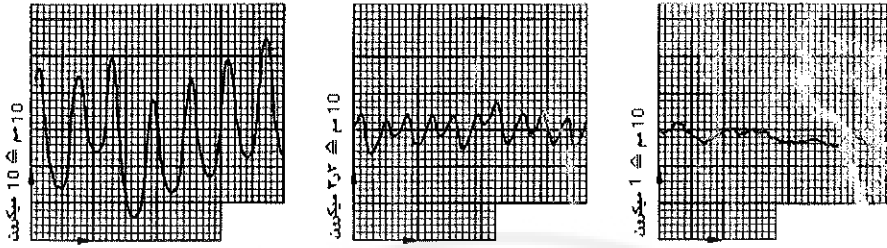


الشكل (4-19) جهاز قياس جودة الأسطح.

وعندما يقترب المستشعر من طول العينة يبدأ في التقاط تضاريس السطح من ارتفاعات وأخاديد كما في الشكل (4-20). وبما أن هذه التضاريس ضئيلة جداً، فإنه يتم تضخيمها بواسطة 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 منحنى (يمثل محوره الأفقي موضع القياس على طول العينة والمحور الرأسي يمثل قيم التضاريس المقاسة) بواسطة وحدة رسم. ويمكن أن يظهر هذا المنحنى 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 لإمكانات الجهاز ودقة تضاريس السطح المقاس. أما المحور الأفقي فتكون نسبة تكبيره في حدود 20 إلى 100 ضعف حتى يمكن طباعة المنحنى على شريط طباعة بطول مناسب لتسهيل عرض نتائج القياس وتحليلها كما هو موضح بالشكل (4-9).

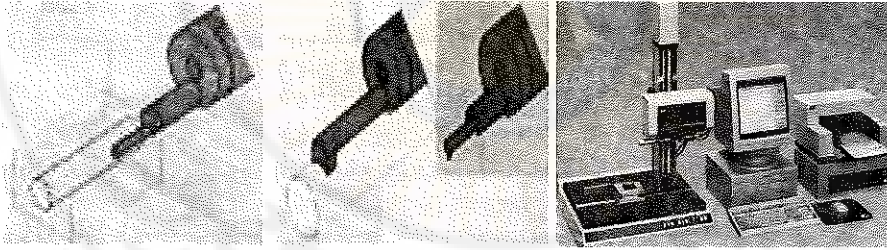


الشكل (4-20) كيفية حركة مستشعر جهاز قياس جودة الأسطح.



الشكل (4-21) 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 (4-22-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 $5\mu\text{m}$. وتوجد أشكال متعددة لطرف المستشعر يمكن تبديلها لتلائم شكل السطح المراد قياسه كما في الشكل (4-22-ب).



(ب)

(أ)

الشكل (4-22) جهاز قياس الخشونة وعدد من المستشعرات لتطبيقات مختلفة

4-9-4- الأجهزة الإلكترونية:

يُعد جهاز سرتونيك من أجهزة قياس خشونة السطوح النموذجية، حيث يعتمد مبدأ عمل الجهاز على اهتزاز إبرة قياس حساسة جداً عند إمرارها ببطء على السطح

الممراد قياس خشونته نتيجة وجود تنوعات ميكروية على السطح تنتقل هذه الاهتزازات على شكل إشارة ميكانيكية عبر وحدة اللاقط الذي يقوم بتسجيلها وتحويلها إلى إشارة كهربائية ونقلها إلى وحدة الترشيح أو التصفية حيث تتم عملية تصفية الإشارة وإعطائها الشكل المناسب لتسهيل عملية تكبيرها في وحدة التكبير، وتتم عملية التكبير إلى المدى الذي يمكن معه لوحدة التسجيل أو البيان أو الإظهار أن تتحسس للإشارة بحيث تحدث الإشارة النهائية (بعد مرورها عبر المقوم) الاهتزاز المطلوب في إبرة التسجيل، بحيث يتم تسجيل هذه الاهتزازات على شريط ورقي بياني، ويمكن أن تكون وحدة التسجيل عبارة عن شاشة إظهار، أو عبارة عن أي وسيلة أخرى مناسبة للتعبير عن خشونة السطح المختبر كما في الشكل (4-23). ويتوقف مدى صحة النتائج على درجة دقة نهاية إبرة القياس، فكلما كانت إبرة القياس أدق استطاعت أن تتحسس بدقة ارتفاع التنوعات الميكروية.

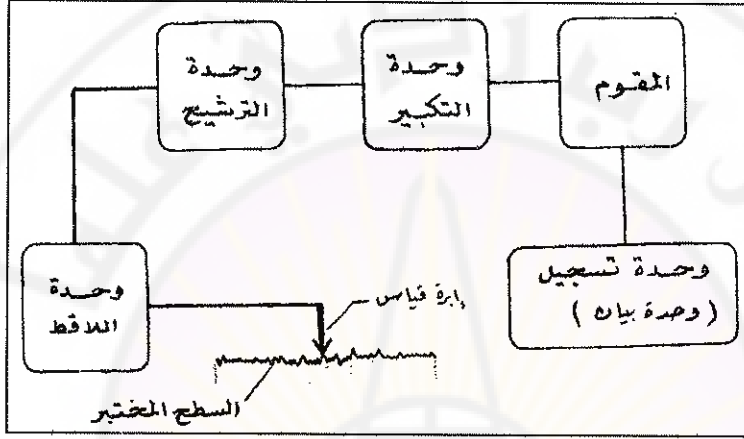
ومن خصائص هذا الجهاز أنه يحتوي على مفتاح يمكننا بواسطته تقسيم البروفيل المتكون إلى أطوال جزئية $L_1, L_2, \dots, L_n$ وحساب الارتفاع المتوسط R_a للتنوعات الميكروية (التعرجات) لكل طول جزئي على حدة $R_{a1}, R_{a2}, \dots, R_{an}$ وبهذا يمكن حساب الارتفاع الوسطي R_{av} .

$$R_{av} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{a,i}$$

تتوافر أجهزة قياس كثيرة مستخدمة في قياس خشونة السطوح وتحديد R_a أو R_z أو R_{max} ، وقد أضيفت تطويرات كثيرة على هذه الأجهزة منها مثلاً: صندوق السرعة المستخدم في جهاز Taly Surf، مهمة صندوق السرعة التحكم بالحركة الجانبية تبعاً لخشونة السطح المختبر، حيث تكون سرعة إمرار الإبرة فوق السطح أصغر كلما كان السطح المختبر أكثر نعومة.

في الأجهزة الحديثة تصل قيم التكبير إلى 500000 مرة حيث تظهر التنوعات التي ارتفاعها مثلاً $0.1 \mu m$ على وحدة التسجيل بطول 25mm.

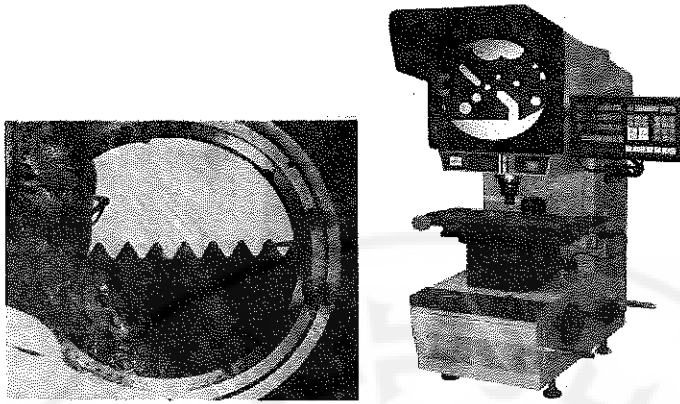
من خصائص هذا الجهاز إمكان دراسة السطوح الناعمة جداً والسطوح الخشنة، وذلك لإعطاء مجال واسع لقيم R_{av} (يعبر عن متوسط ارتفاع النتوءات). هناك أيضاً أجهزة إلكترونية متطورة، تعتمد على إبر قياس حساسة جداً تمرر فوق السطح المراد اختباره، وتتحول اهتزازات هذه الإبرة نتيجة مرورها على السطح إلى إشارات كهربائية يمكن إخراجها على شاشة الحاسوب.



الشكل (4-23) دراسة السطوح بجهاز سرتونيك surtonic

4-9-5.. الأجهزة الضوئية:

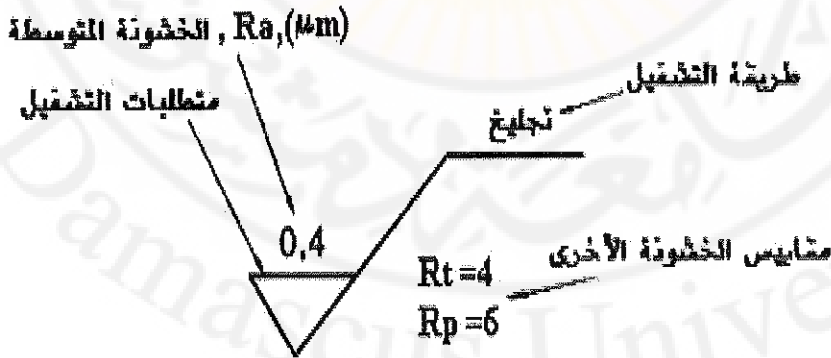
من أهمها أجهزة الإسقاط الضوئي، وأجهزة الإبصار المضاعف. يعتمد مبدأ الأخير على إسقاط شعاع ضوئي على السطح المختبر وانعكاس هذا الشعاع ليمر عبر عدسات مجهر ليكبر صورة السطح الناتجة عدداً من المرات. تعتمد الأجهزة الضوئية في عملية القياس على حركة الأشعة الضوئية أو إسقاطها كما في جهاز الإسقاط الضوئي المبين في الشكل (4-24) أو على خاصية التداخل الضوئي كالبُلُورات الضوئية.



الشكل (4-24) جهاز الإسقاط الضوئي

4-10- رموز تشطيب الأسطح في الرسومات الهندسية:

من المعروف أن الرسومات الهندسية تحتوي على رموز ومصطلحات لتمييز الأبعاد والأقطار الخارجية والداخلية وعمليات التصنيع المختلفة التي تتم على المشغولات التي تحتوي عليها هذه الرسومات، بالإضافة لذلك هناك رموز ومصطلحات تميز الدرجات المختلفة لخشونة الأسطح. وقد أصدرت منظمة ISO مواصفة رقم 1302 عام 1978 والتي تحتوي على مصطلحات وعلامات خاصة تشير إلى مقاييس الخشونة وجودة السطح وأسلوب الإنتاج. ويوضح الشكل (4-25) هذه الرموز التي تشير إلى مقاييس الخشونة (R_a, R_p, R_t) وطريقة التشغيل (تنعيم، وتجليخ، وخراطة، ..) وأي متطلبات أخرى للتشغيل (إزالة ريش، وعدم تشغيل السطح، ...).



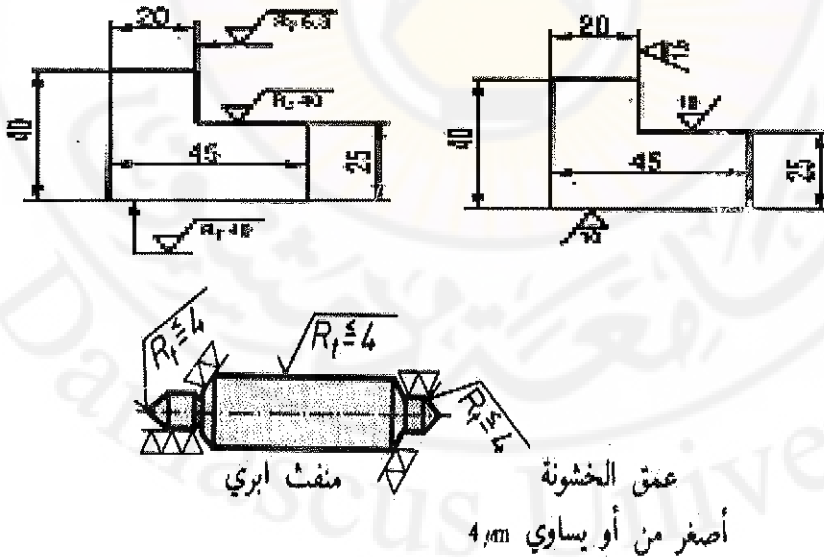
الشكل (4-25) رموز تشطيب السطح طبقاً لمواصفة ISO

رمز السطح ISO 1302

$\sqrt{12.5}$	$\sqrt{3.2}$	$\sqrt{0.8}$	$\sqrt{0.1}$	ISO 1302 R2	$\sqrt{R_z 100}$	$\sqrt{R_z 25}$	$\sqrt{R_z 6.3}$	$\sqrt{R_z 1.6}$
$\sqrt{6.3}$	$\sqrt{1.6}$	$\sqrt{0.4}$	$\sqrt{0.1}$	ISO 1302 R3	$\sqrt{R_t 63}$	$\sqrt{R_t 16}$	$\sqrt{R_t 4}$	$\sqrt{R_t 1}$
∇	$\nabla \nabla$	$\nabla \nabla \nabla$	$\nabla \nabla \nabla \nabla$	المواصفة القديمة	∇	$\nabla \nabla$	$\nabla \nabla \nabla$	$\nabla \nabla \nabla \nabla$

ومن الجدير بالذكر أنه قبل صدور مواصفة ISO كانت الرموز شائعة الاستخدام هي تلك التي تتبع مواصفة DIN140 لعام 1960، وفيها تتم الإشارة إلى درجة تشطيب (إنجاز) السطح بالعلامات الموضحة في الجدول (4-1) والذي يحتوي أيضاً على أمثلة من التطبيقات التي تستخدم درجات التشطيب المذكورة.

ويعرض الشكل (4-26) أمثلة لرسومات هندسية لبعض المشغولات وعليها الرموز المختلفة لتشطيب أسطحها طبقاً لكلتا المواصفتين ISO و DIN.



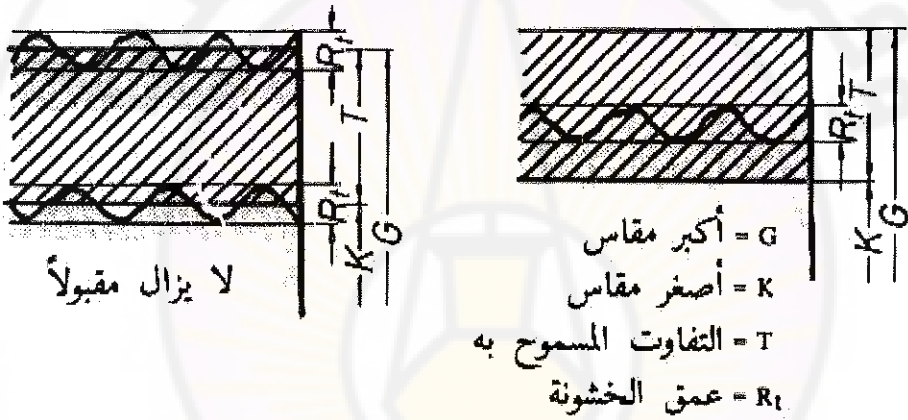
الشكل (4-26) رموز تشطيب الأسطح على الرسم الهندسي لمشغولة

الجدول (1-4) رموز تشطيب (إنجاز) الأسطح والاستخدامات المناظرة

رمز تشطيب السطح ومدلوله	تطبيقات الاستخدام
 الأسطح ذات قيم الإنجاز الفائقة	- الأسطح المانعة من دون استخدام مواد مانعة للتسرب والتي تستخدم للضغوط العالية (أوعية الضغط وأنابيب الضغط العالي). - الإزواج الخلووية المعرضة لتحميل عالي (الأسطوانات والكباسات الهيدروليكية). - الإزواج التداخلية (أعمدة التوربينات وأطواق المجلات). - أسطح القياس في أجهزة القياس (قوالب القياس المنزقة ، محددات القياس السدادية). - الأسطح الانزلاقية (أسطوانات و مكابس المحركات).
 الأسطح ذات قيم الإنجاز العالية	- الأسطح المانعة من دون استخدام مواد مانعة للتسرب والتي تستخدم للضغوط المنخفضة (أوعية الضغط). - الإزواج الخلووية المعرضة لتحميل كبير (المحمل الانزلاقية). - الأزواج الانزلاقية (الأدلة الانزلاقية). - أسطح التدرج (المحامل التدرجية و جوانب أسنان التروس). - أسطح التثبيت (الثقوب والسيقان المخروطية لتثبيت العدد).
 الأسطح ذات قيم الإنجاز المتوسطة	- الأسطح المانعة باستخدام مواد مانعة للتسرب (الشفاه). - أسطح الإزواج الخلووية المعرضة لتحميل خفيف (المحمل الانزلاقية ذات الخلووس الكبير). - الإزواج الانتقالية (الأعمدة وصرر العجلات). - أسطح الأزواج (حواف وأكتاف المركز)
 الأسطح ذات قيم الإنجاز المنخفضة	أسطح الاتصال والتقابل، وأسطح الربط بمسامير ملولبة للأجزاء الكبيرة.
	الأسطح الخام الناتجة من عمليات لا تنتج رايش (الصب النظيف ، التشكيل بالقوالب، الطرق بعناية ، التشغيل بالبرادة).
من دون علامة	الأسطح الخام الناتجة من عمليات الحداة والسحب والضغط و الدرفلة و التشكيل.

4-11- العلاقة بين عمق الخشونة والتفاوت المسموح:

نظراً لأن خشونة السطح تسبب زيادة في انحرافات أبعاد قطع الشغل أو نقصها، فيجب مراعاة ألا تتعدى هذه الانحرافات قيم التفاوتات المسموح بها وإلا أصبح المنتج غير مقبول. لذلك فإن عمق الخشونة R_T ، يجب أن يكون في حدود نسبة صغيرة (لا تزيد عن 30%) من التفاوت المسموح، وبالتالي يُراعى تقليل عمق الخشونة كلما كان التفاوت المسموح به منخفضاً. ويوضح الشكل (4-27) المقاسات المختلفة لقطعة شغل وعمق خشونة سطحها الذي يظهر كجزء صغير من التفاوت المسموح به للأبعاد، لذلك فقيمة هذا العمق لا تزال مقبولة في كلتا الحالتين الميئتين.



الشكل (4-27) تناسب عمق الخشونة مع التفاوت المسموح للمشغولات المقبولة

مثال: في تجربة معملية لتقييم خشونة أحد الأسطح تم أخذ القراءات التالية عند 13 نقطة قياس على سطح القياس، احسب مقاييس الخشونة (R_a, R_p, R_T).

رقم نقطة القياس	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
الانحراف (μm)	3	19	22	15	30	19	27	19	30	12	22	14	5

الأجوبة: (27 ميكرون، 18.2 ميكرون، 19.9 ميكرون)



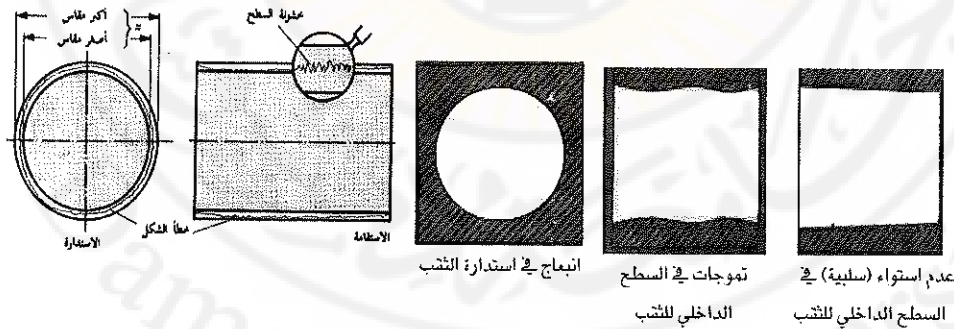
الفصل الخامس

دقة التشغيل

Machining Accuracy

مقدمة:

درسنا سابقاً التفاوتات التي تحدث في الأبعاد الاسمية للمنتجات وكيفية تحديدها بحيث تقع في نطاق مسموح به، ومن ثم يمكن التجاوز عنها ويصبح المنتج مقبولاً من ناحية الأبعاد. لكن هذه التفاوتات ليست الوحيدة التي لا يمكن التخلص منها بصورة مطلقة، بل توجد انحرافات أخرى كتلك الأخطاء التي تظهر على أسطح الأشكال الداخلية والخارجية للقطع ناتجة عن أداة القطع وحركة الآلة ودقة الصانع. يبين الشكل (1-5) أن الأبعاد الفعلية للقطع تقع ما بين الحدين الأدنى والأعلى للمقاس، ولكن هناك حيوداً آخر غير حيود الأبعاد قد يجعل هذه القطع غير مقبولة. وهذا الحيود يسمى بالتفاوت الهندسي أي الانحراف الذي يظهر على الشكل الهندسي للقطعة نتيجة عمليات التشغيل. يعرف التفاوت المسموح به للبعد بأنه عبارة عن الفرق بين أصغر مقاس وأكبر مقاس للقطعة. أما التفاوت المسموح به للشكل فهو عبارة عن الانحراف المسموح به لقطعة العمل عن شكلها المثالي، ومن الأمثلة على هذا النوع من التفاوت (تفاوت الاستدارة، الاستقامة...).



الشكل (1-5) التفاوتات الهندسية المختلفة

وكما أشرنا في الفصل الرابع، فإن الحزوز والأحاديد الموجودة على الأسطح يتم تصنيفها كخشونة لهذه الأسطح، أما التمرجات وعدم الاستواء (أو عدم الاستدارة) فهي أحد أنواع التفاوتات الهندسية التي سيتم تناولها في هذه الفصل. ويجب التأكيد على أن كلاً من الانحرافات الهندسية والخشونة تكون في الواقع مجتمعة معاً في قطعة الشغل ولا يمكن فصل بعضها عن بعض، الشكل (2-5).



الشكل (2-5) تداخل جميع أنواع الانحرافات

5-1- تسامحات الانحراف في الشكل:

إن الأخطاء الناتجة عن شكل القطع الصناعية ومجال قياس هذه الانحرافات بدأت تأخذ أهمية خاصة في علوم الإنتاج وفي الصناعات المعدنية وذلك لأهمية هذه الانحرافات في شكل القطع بالنسبة لنوعية الإنتاج خاصة، وكذلك بالنسبة لتأثيرها في الكفاءة الوظيفية للقطعة.

تقسم الأخطاء الناتجة عن الانحرافات في الشكل إلى الأقسام التالية:

- 1- انحرافات في الشكل من المرتبة الأولى: وتشمل الانحرافات في الشكل والأوضاع.
- 2- انحرافات في الشكل من المرتبة الثانية: ويقصد بها خطأ التموج.
- 3- انحرافات في الشكل من المرتبة الثالثة حتى الخامسة: ويقصد بها خشونة السطح.

5-2- الأخطاء الناتجة عن الانحرافات في الشكل والأوضاع:

إن كامل التعاريف والمفاهيم الأساسية الخاصة بانحرافات الشكل والأوضاع محددة في اللوائح القياسية الألمانية (TGL19080) وتشمل:

- 1- انحراف الشكل: هو محصلة الانحرافات في السطح الفعال عن السطح الهندسي.
- 2- انحراف الشكل لسطح: هو المسافة بين السطح الفعلي والسطح الحدي.
- 3- انحراف الوضع: هو الانحراف الأعظمي عن الأوضاع المفروضة لوضع سطح أو محور تناظر أو مستوى تناظر أو في مقطع قياسي.
- 4- السطح الفعلي: هو الحد الفاصل بين الجسم الصلب والوسط المحيط به.
- 5- السطح الهندسي: هو الحد الفاصل لجسم هندسي وهمي.
- 6- السطح الاسمي: هو السطح الموضوع والمفروض على المخططات والرسوم الهندسية.
- 7- السطح الفعال: هو السطح المقاس هندسياً، وهو تابع لأسلوب القياس وتقنيته، ويمكن أن تعطي طرائق القياس المختلفة سطوحاً فعالة مختلفة أيضاً. إن المسافة القصوى ضمن مجال القياس لا ينبغي أن تتعدى الانحراف المسموح.
- 8- السطح الحدي: هو السطح الهندسي ذو الشكل المفروض الملاصق للسطح الفعال من الجهة الخالية.

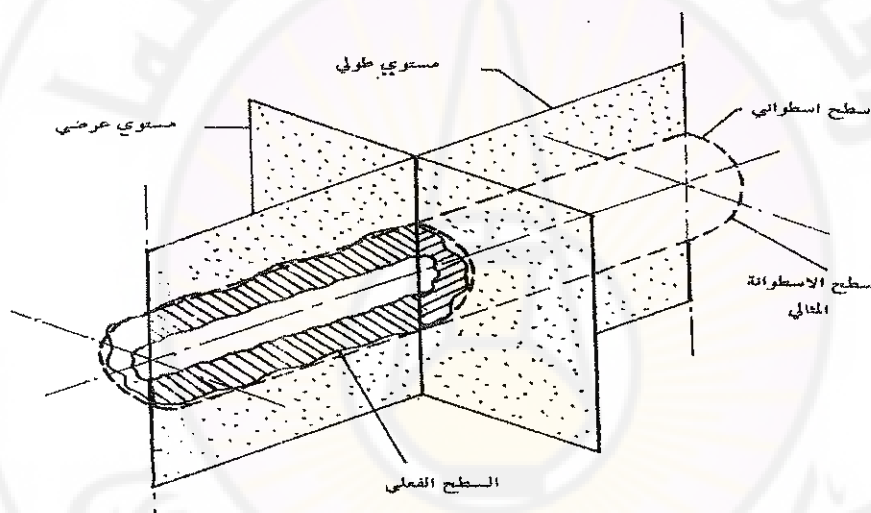
3-5- دقة التشغيل والتفاوتات الأساسية:

إن مدى انحراف الشكل الفعلي للجزء عن الشكل المثالي (النظري) يعتمد على دقة عدد التشغيل، ومدى تآكل عناصر الآلات، ومدى دقة أجهزة القياس المستخدمة. تؤدي الانحرافات دائماً إلى أخطاء في الشكل النهائي للجزء المشغل، وأخطاء في صحة توضع السطوح النسبية، بالإضافة إلى أخطاء في دقة توضع المحاور النسبية. يمكن تقسيم مختلف الانحرافات الناتجة عن عمليات التشغيل إلى:

- انحرافات في صحة الشكل الأسطواني، يمكن أن يكون مقطع الأسطوانة الناتج على شكل قطع ناقص أو على شكل تقاطعات قوسية. كما يمكن أن تكون انحرافات الشكل الأسطواني على شكل عدم استواء سطوح الأسطوانة أو عدم استقامة المحاور.
- انحرافات عن الاستواء المثالي، حيث يمكن أن يكون السطح الناتج مقعراً أو محدباً أو بشكل تموجات.

هناك دائماً انحرافات عن الشكل المثالي نتيجة عمليات التشغيل، وعند قطع أسطوانة مشغلة بدقة معينة يلاحظ وجود انحرافات في السطح الخارجي والداخلي للأسطوانة عن الشكل المثالي، ففي المقطع العرضي المبين على الشكل (3-5) نلاحظ بوضوح انحراف الاستدارة، أما في المقطع الطولي فيلاحظ انحراف الاستقامة حيث يظهر سطح الأسطوانة الخارجي والداخلي على شكل تموجات موافقة لدرجة دقة تشغيل هذه الأسطوانة.

- انحرافات في صحة التوضع النسبي للسطوح والمحاور، ويمكن أن تأخذ هذه الانحرافات عدة أشكال: عدم توازي السطوح، وعدم تمركز نصف قطري للمحاور، وعدم توازي المحاور، وعدم تعامد المحاور (أو السطوح) وعدم تمركز محوري أو جهوي.



الشكل (3-5) انحرافات الاستقامة والاستدارة

4-5- أنواع التفاوتات الهندسية:

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

تفاوت الشكل: يعبر عن مدى حيود سطح فعلي عن الشكل المرغوب والذي يتضمنه الرسم الهندسي. ويشمل: الاستواء والاستقامة والاستدارة والأسطوانية.

تفاوت الجانبية: يعبر عن مدى حيود سطح فعلي عن الشكل المرغوب والذي يتضمنه الرسم الهندسي، بالنسبة لمرجع أو مراجع إسناد. والانحرافات الجانبية إما أن تكون لخط أو لسطح .

تفاوت الاتجاه: يعبر عن مدى حيود سطح فعلي بالنسبة لمرجع أو مراجع إسناد. وتتضمن انحرافات الاتجاه كل من التعامد والزاوية والتوازي.

تفاوت الموضع: يعبر عن مدى حيود أحد سمات المقاس الفعلي عن الموقع المحدد بالرسم الهندسي والذي يرتبط بمرجع إسنادي أو بمراجع إسنادية أو بسمات أخرى. وهذه النوعية تشمل انحرافات الوضع وأحادية المركز.

تفاوت الانتحاء: يعبر عن مدى حيود سطح فعلي عن الشكل المرغوب والذي يتضمنه الرسم الهندسي، وذلك أثناء دوران السطح دورة كاملة (360°) حول محور إسنادي. والانتحاء إما أن يكون دائرياً أو أن يكون كلياً.

5-5- تفاوتات التشغيل الأساسية في النظام الدولي ISO:

قامت المنظمة الدولية ISO بوضع رموز تعبر عن مجال التفاوت المسموح به ونوعه للانحرافات المحتملة لمختلف السطوح نتيجة عمليات التشغيل، كما هو مبين في الجدول (1-5) حتى يسهل التعبير عنها في المراحل المختلفة التي يمر بها المنتج بدءاً من وضع التصميم على الرسومات الهندسية، ومروراً بمرحلة التصنيع إلى أن يصبح على صورته النهائية.

وتجدر الإشارة إلى أن قيم أي من هذه التفاوتات يجب ألا يتعدى حدود التفاوت المسموح به في المقاس ما لم ينص في الرسم على غير ذلك. كما تستخدم هذه المصطلحات للتعبير عن مدى دقة أدوات القياس التي تكون التفاوتات الهندسية عنصراً مؤثراً فيها، مثل قوالب القياس وفكوك قياس الميكرومتر والقدمة. فمن المهم جداً أن تحتوي الكتالوجات الخاصة بهذه الأدوات على قيم التفاوتات الهندسية التي لها تأثير مباشر في عملية القياس مثل التوازي والتعامد والاستواء والاستقامة. فإذا أخذنا على سبيل المثال الكتالوج الموضح في الشكل (4-5) لأحد محددات قياس الزوايا، نجد أنه

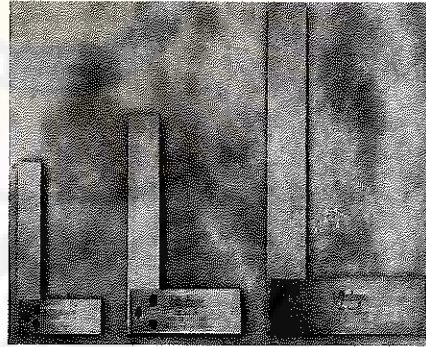
يحتوي على القيم المسموح بها لتفاوتات الاستقامة والتوازي لأحرف ساقى القياس وكذلك الاستواء والتوازي لأوجه سطحي القياس.

الجدول (1-5) رموز الانحرافات الهندسية

الرمز	المطلوب	الرمز	المطلوب
	الاستواء (Flatness)		التوازي (Parallelism)
	الاستقامة (لحور) (Straightness) (of an axis)		جانبية خط (Profile) (of a line)
	الاستقامة (لسطح) (Straightness) (surface element)		جانبية سطح (Profile) (of a surface)
	الاستدارة (Roundness)		الانتحاء الدائري (Circular Runout)
	الأسطوانية (Cylindericity)		الانتحاء الكلي (Total Runout)
	التعامد (Perpendicularity)		احادية المركز (Concentricity)
	الزاوية (Angularity)		الوضع الصحيح (True Position)

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

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



الشكل (4-5) قيم التفاوتات الهندسية المسموحة لبعض محددات قياس الزوايا.

يرمز للتفاوت على الرسوم الهندسية بمستطيل مؤلف من ثلاثة أقسام: يحوي القسم الأول رمز التفاوت، ويحوي القسم الثاني القيمة العددية المسموح بها للتفاوت (mm) لكامل

السطح أو جزء منه مثلاً 0.01/100. أما القسم الثالث فيحوي اسم سطح الإسناد، الذي ينسب له السطح المقيس.

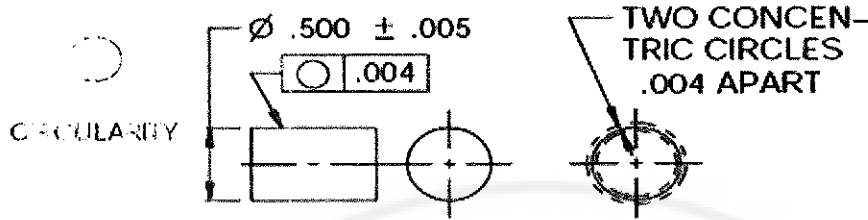
5-5-1- تفاوتات الشكل: تنشأ انحرافات الشكل نتيجة الإجهادات الداخلية لمادة التصنيع، أو قد تنجم عن عدم دقة آلات التشغيل، أو نتيجة لتأثير قوى القطع على العدة وعلى قطعة العمل. يحدد التفاوت المسموح به للشكل بالانحراف المسموح به لقطعة العمل عن شكلها الهندسي المثالي. تستخدم التفاوتات المسموح بها للشكل وتوقع على الرسم عندما يكون لا غنى عنها للأداء الوظيفي للقطعة المنتجة، وتضاف تلك التفاوتات إلى الأبعاد العادية الموقعة على الرسومات الفنية. أهم تفاوتات الشكل:

أ- **تفاوت الاستدارة:** هو المسافة الأعظمية بين المقطع الفعال والدائرة الحدية. إن عدم استدارة الأجزاء الأسطوانية من المشغولات بشكل صحيح يؤثر في صحة تجميع هذه المشغولات مع بعضها، كما يؤثر في أدائها الوظيفي، وكذلك يؤدي بشكل سريع إلى تآكل الأجزاء الأسطوانية (ثقوب وأعمدة) ويسبب نشوء ضجيج واهتزازات، وبالتالي انخفاض مردود الآلة عن المردود الاسمي.

في الرسوم التصميمية قلما نحتاج لتحديد تفاوت الاستدارة، لأن أخطاء الاستدارة في السطوح الأسطوانية تقع عادة في الحدود المسموحة.

ولكن في حالات خاصة ولضمان سلامة التجميع وحسن الأداء الوظيفي، يجب تحديد قيم التفاوتات المسموحة بها على الرسم وذلك لتحديد المجال الذي ضمنه يمكن أن يقع مقطع الأسطوانة المعتبرة. وعادة لا يُكتفى بقياس أقطار المقطع الأسطواني للتأكد من حسن الاستدارة، لأن هناك أشكالاً هندسية ذات أقطار ثابتة ولكنها تفتقد إلى الاستدارة.

التفاوت المسموح به للاستدارة يعني أن أي مقطع مستعرض للأسطوانة أو للمخروط يجب أن يقع (يسمح بانحرافه) بين دائرتين متحدتي المركز بينهما قيمة التفاوت كما في الشكل (5-5).



الشكل (5-5) تفاوت الاستدارة

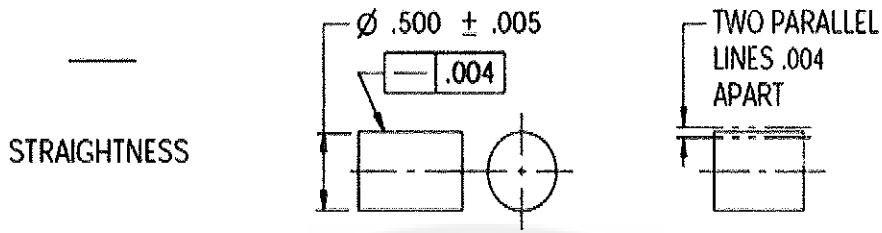
هناك نوعان رئيسان لانحرافات الاستدارة وهما:

- تسامح الإهليلجية: هو نوع خاص من تسامح الاستدارة حيث يكون القطران الأعظمي والأصغري متعامدين، ويكون عندها تسامح الاستدارة مساوياً لنصف الفرق بين القطر الأعظمي والقطر الأصغري، وأن أفضل طريقة قياس لها هي القياس على خطوتين.

- التمايل: وهو النوع الآخر لتسامح الاستدارة حيث تبقى المسافة بين أي زوج من المماسات المتوازية ثابتة. ويمكن تحديد التمايل بطريقة القياس على ثلاث خطوات.

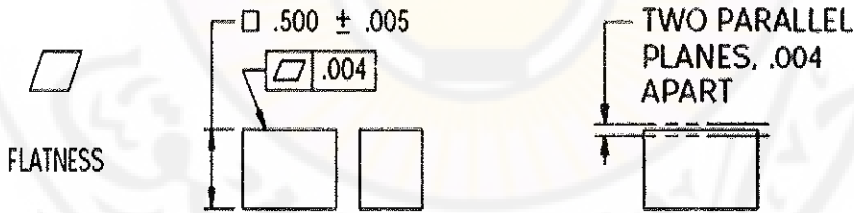
ب- **تفاوت الاستقامة:** هو المسافة الأعظمية بين السطح الفعال وبين الأسطوانة الهندسية الملاصقة داخل مجال قياس العينة. أو هو المسافة بين السطح الفعال والخط المستقيم الحدي على طول مجال القياس للقطعة المقاسة. ويعرف أيضاً بأنه المجال المسموح به لانحراف محاور المشغولة عن الشكل المثالي. ومجال التفاوت هنا هو أسطوانة تحدد على الرسم التخطيطي بشكل دائرة، ويجب أن يقع المحور الفعلي للمشغولة ضمن هذه الأسطوانة.

يحدد انحراف الاستقامة والاستواء على الرسم التصميمي بالمسافة بين خطين متوازيين في مستو عامودي على السطح المقيس بحيث يمس أحد هذين الخطين أعلى نقطة في السطح المقيس واقعة على المستوي العمودي، ويمس الخط الآخر أخفض نقطة في ذلك السطح المقيس واقعة أيضاً على المستوي العمودي. يعني أن كل نقطة من سطح الجزء المختبر يجب أن لا تخرج عن نطاق تفاوت الاستقامة المعطى والمحمول بين خطين مستقيمين، المسافة بينهما قيمة التفاوت كما في الشكل (5-6).



الشكل (5-6) تفاوت الاستقامة

ج- تفاوت الاستواء أو الانبساط: هو المسافة بين السطح الفعال والمستوي الملاصق داخل مجال قياس العينة. المقصود بتفاوت الاستواء السطحي أن السطح ذا تفاوت الاستواء المحدد يجب أن يقع بين مستويين متوازيين المسافة بينهما قيمة التفاوت. عند فحص دقة تشغيل السطوح المستوية نلاحظ عدم وجود استواء في السطح بشكل أو بآخر، ويمكن القول: إن تفاوت الاستواء هو القيمة المسموح بها لانحراف السطح الفعلي عن السطح المثالي، ويكون مجال التفاوت محصوراً بين مستويين متوازيين يحصران بينهما السطح المشغل الفعلي. إن أسباب انحراف الشكل الفعلي عن الشكل المثالي كثيرة، ومن أهمها دقة آلة التشغيل ومواصفات القطعة المشغلة، بالإضافة إلى دقة العامل الذي يقوم بتشغيل القطعة. توصي تعليمات الرسم في الشكل (5-7) أن السطح المبين تفاوته يجب أن يقع بين مستويين متوازيين المسافة بينهما 0.04mm.



الشكل (5-7) تفاوت الاستواء

د- تفاوت الأسطوانية: هو المسافة الأعظمية بين السطح الفعال وبين الأسطوانة الهندسية الملاصقة داخل مجال قياس العينة. يعتبر تسامح الأسطوانية (F) تابعاً لانحراف الشكل في المقطع الطولي أي تابعاً لتسامح الاستقامة (Fg) وكذلك لتسامح التوازي (Lp)، كما يتعلق كذلك بتسامح الاستدارة (Fn) وذلك تبعاً للعلاقة التالية:

$$F_z = f (F_k, F_g, L_p) = 1/2 (D_{\max} - D_{\min})$$

يمكن أن نميز عدة أنواع لتسامح الأسطوانية وهي كالتالي:

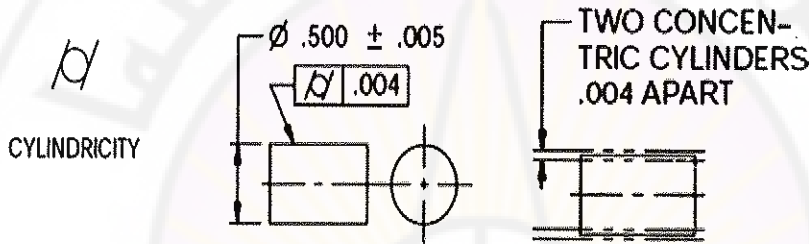
- المخروطية Conicity

- البرميلية Barral-Shaped Form

- الركابية Saddle Surface

- الانحناء Curvature

المقصود بتفاوت الأسطوانية (الشكل الأسطواني) أنه يجب أن يبقى الشكل الحقيقي للأسطوانة بين أسطوانتين متحدتي المحور، الفرق بين نصفَي قطريهما قيمة التفاوت.

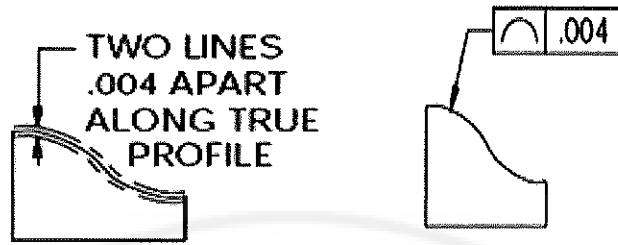


الشكل (8-5) تفاوت الأسطوانية

في الشكل (8-5) نلاحظ أن السطح الجانبي للأسطوانة يجب أن يقع بين أسطوانتين متحدتي المحور، الفرق بين نصفَي قطريهما هو قيمة التفاوت 0.004mm.

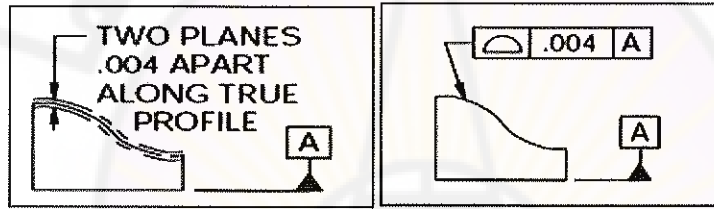
2-5-5- تفاوتات الجانبية: يعبر عن مدى حيود سطح فعلي عن الشكل المرغوب والذي يتضمنه الرسم الهندسي، بالنسبة لمرجع أو مراجع إسناد. والانحرافات الجانبية إما أن تكون لخط أو لسطح. يدعى هذا النوع من التفاوتات الهندسية بتفاوتات القطاع الجانبي أو تفاوتات المظهر الجانبي.

أ- **تفاوت جانبيه خط:** تحوي المقاطع الجانبية على خطوط ومساحات توافقية كما في الشكل (9-5).



الشكل (5-9) تفاوت جانبية خط

ب- تفاوت جانبية سطح (Profile of any surface): يطبق هذا النوع من التفاوتات على السطوح، الشكل (5-10). ويعد أكثر شيوعاً من تفاوتات جانبية الخط.



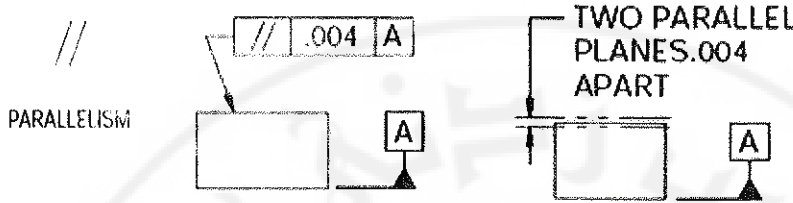
الشكل (5-10) تفاوت جانبية سطح

ملاحظة: تكتب قيم تفاوتات الشكل في الرسومات الفنية بحيث تتبع الوحدات المستخدمة في الأبعاد أي بالمليمترات، أما أجهزة قياس انحرافات الشكل فتقيس الانحرافات بوحدة الميكرومتر (μm).

3-5-5- تفاوتات الاتجاه: تعبر عن مدى انحراف سطح فعلي عن الشكل المرغوب والذي يتضمنه الرسم الهندسي. تتضمن تفاوتات الاتجاه كلاً من تفاوت التوازي، وتفاوت التعامد، وتفاوت التزاوي.

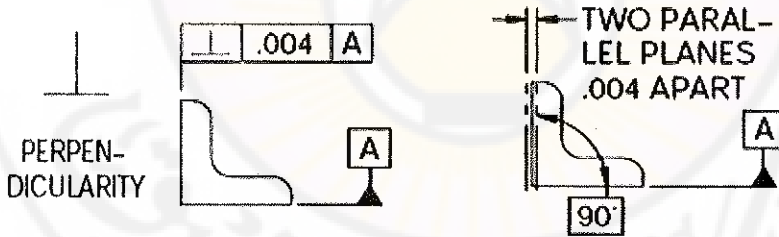
أ- تفاوت التوازي: إن انحراف التوازي هو الانحراف الذي يجعل المحاور غير متوازية، ويحدد انحراف التوازي بالمسافة بين المحورين إذا كان المحوران متوازيين، أو بمدى ابتعاد المحاور عن بعضها بالنسبة لسطح إسناد معين كما في الشكل (5-11) إن عدم توازي المحاور أو السطوح للمشغولة وانحراف التوازي الفعلي عن القيم التصميمية المسموحة يؤثر

بشكل كبير في جودة أداء الآلة، كما يؤثر في سلامة جميع أجزاء الآلة. إن مجال تفاوت التوازي يكون محصوراً عادة بين مستويين متوازيين أو داخل حدود أسطوانة. ويجب تحديد تفاوت التوازي على الرسم التصميمي عندما يكون ذلك ضرورياً.



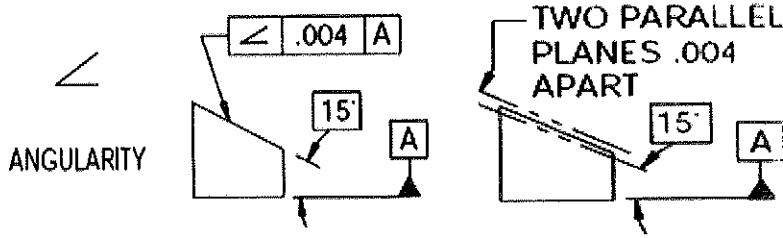
الشكل (11-5) تفاوت التوازي

ب- **تفاوت التعامد:** هو مقدار الانحراف في الزاوية الفعلية عن الزاوية القائمة. يجب على المصمم أثناء وضعه قيم التفاوتات على الرسم أن يختار سطح الإسناد الأفضل أو محوره، والذي يؤدي في النتيجة إلى أفضل أداء للمشغولة بعد إنتاجها وتجميعها. يحدد مجال تفاوت التعامد بمستويين متوازيين (أو أسطوانة) يحصران بينهما قيمة التفاوت المسموح به، وهو يعبر عن مدى انحراف السطح المشغل عن القيمة النظرية وذلك بالنسبة لسطح آخر متعامد معه كما في الشكل (12-5).



الشكل (12-5) تفاوت التعامد

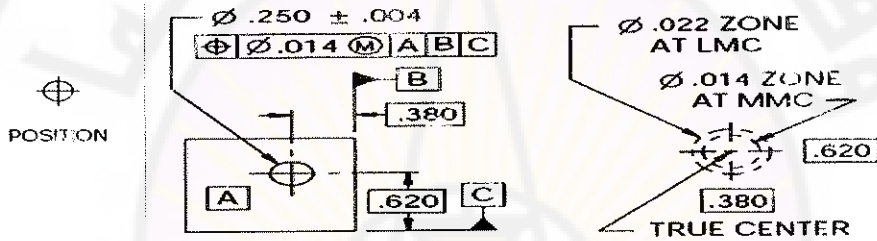
ج- **تفاوت التوازي:** يرمز لهذه التفاوت حسب المنظمة الدولية ISO بالرمز <، وهذا التفاوت يعبر عن مدى انحراف السطح الفعلي عن السطح المثالي وذلك بالنسبة لسطح إسناد معين. ونلاحظ إن مجال التفاوت محصور بين مستويين متوازيين يحصران بينهما السطح الفعلي الناتج، وانحراف التوازي يمكن التعبير عنه بالفرق بين الزاوية الفعلية والزاوية النظرية للسطحين المتوازيين للمشغولة كما في الشكل (13-5).



الشكل (5-13) تفاوت التوازي

5-4-5- تفاوتات الموقع:

أ- تفاوت الموقع: يمكن التعبير عن تفاوت الموقع بقيمة محددة على الرسم محصورة بين مستويين متوازيين أو ضمن حدود أسطوانة تحصر داخلها المحور المفروض كما في الشكل (5-14).

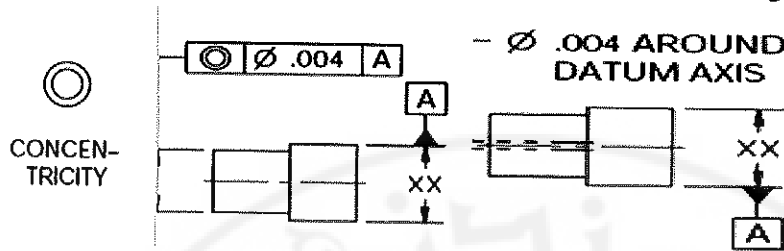


الشكل (5-14) تفاوت الموقع

ب- تفاوت التمرکز (أحادية المركز): يعرف بأنه المسافة الأعظمية بين المحورين ضمن حامل القطعة الأساسي ويشتمل تسامح التمرکز على تسامح التوازي للمستقيمين المحورين ونسامح المركز.

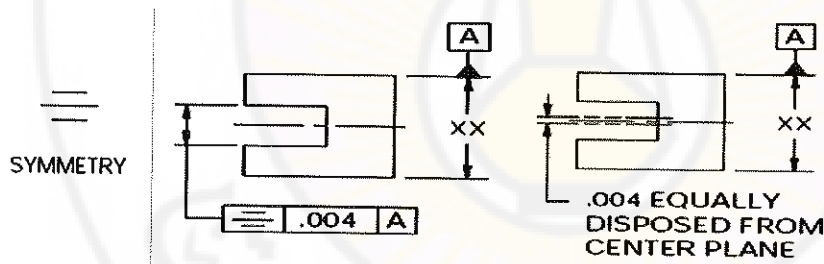
إن تفاوت التمرکز هو الانحراف المسموح به لمحاور (مراكز) الثقوب أن تبعد عن القيم الاسمية كما في الشكل (5-15). طبعاً هذا ينطبق على الثقوب وغيرها من أجزاء المشغولة التي يجب أن تكون متوضعة بشكل مركزي. يحدد مجال تفاوت التمرکز بدائرة أو أسطوانة، حيث يجب أن يقع المحور المفروض ضمن هذه الدائرة أو الأسطوانة حتى تكون المشغولة متوازنة. يُكتفى عادة على الرسوم التصميمية بتحديد بعض مجالات التفاوتات، وذلك لأن تحديد تفاوتات التوازي مثلاً سوف يحدد تفاوتات التعامد تلقائياً، ولذلك يُكتفى بتحديد تفاوتات التوازي أو تفاوتات التعامد وليس كليهما. إن تحديد تفاوتات التمرکز مهم

جداً؛ لأن عدم تركز أقسام المشغولة بشكل صحيح يؤدي إلى الإخلال بسلامة التجميع وبالتالي يخل بجودة الأداء.



الشكل (15-5) تفاوت التمرکز

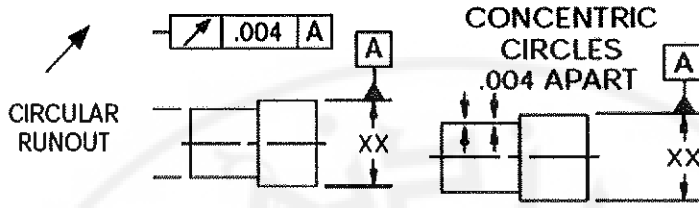
ج- تفاوت التماثل: هو المسافة الأعظمية بين مستوي التناظر أو محوري التناظر ضمن طول العينة. تحتاج بعض أنواع المشغولات لتحديد تفاوت التماثل أو التناظر، حيث يكون مجال التفاوت محصوراً بين مستويين متوازيين يمكن للمحور أو السطح أن يقع بينهما كما في الشكل (16-5)، وبالطبع يجب إسناد تفاوت التماثل إلى سطح أو محور إسناد، حيث يعبر تفاوت التماثل عن مجال التفاوت المماثل لمجال تفاوت آخر على المشغولة نفسها.



الشكل (16-5) تفاوت التماثل

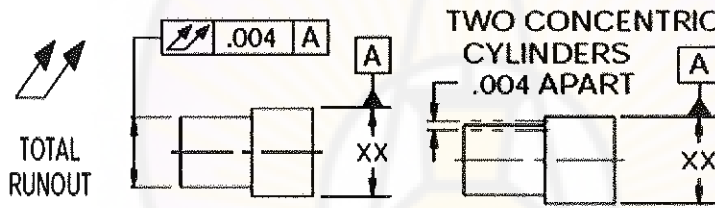
5-5-5- تفاوتات الانتحاء (الخروج): يعبر عن مدى حيود سطح فعلي عن الشكل المرغوب فيه، والذي يتضمنه الرسم الهندسي، وذلك أثناء دوران السطح دورة كاملة (360°) حول محور إسنادي. والانتحاء إما أن يكون دائرياً أو كلياً.

أ- تفاوت الانتحاء الدائري (تسامح الخروج الدوراني): يعرف تفاوت الانتحاء الدائري على أنه الفارق المقيس بين المسافة الأعظمية والمسافة الأصغرية من السطح إلى الدوران خلال دورة كاملة واحدة حول المحور المفروض كما في الشكل (5-17).



الشكل (5-17) تسامح الخروج الدوراني

ب- تفاوت الانتحاء الكلي (تسامح الخروج الجبهي): يمثل الفارق المقاس بين المسافة الأعظمية والأصغرية لسطح مستو جبهي عمودي على محور الدوران خلال دورة كاملة حول المحور المفروض كما في الشكل (5-18).



الشكل (5-18) تسامح الخروج الجبهي

5-6- تفاوتات التشغيل على الرسوم الهندسية:

تحدد توصيفات تسامحات الشكل وتسامحات الأوضاع على الرسوم برموز مشابهة لما هو وارد في الجدول (5-1).

يبين الجدول (5-2) بعض قيم تفاوتات التشغيل نتيجة عمليات التشغيل الأساسية، وبالتأكيد عملية وضع وتحديد مجالات تفاوتات التشغيل المختلفة كتفاوت الاستقامة وتفاوت الاستدارة والتمركز عملية صعبة وتدخل في تحديدها متغيرات كثيرة من أهمها: نوعية الإزواجيات المطلوبة، ودقة آلات التشغيل، ومواصفات المشغولة، وتكلفة إنتاج المشغولات، ودقة ومهارة الكادر الفني القائم على مختلف عمليات التشغيل... الخ، ومن

أهم وظائف عملية تحديد التفاوتات هذه التوفيق بين مختلف المتناقضات (مثلاً جودة عالية مع تكلفة منخفضة)، ونلاحظ في الجدول (5-2) أن القيم المعطاة لتفاوتات التشغيل تناسب مع نوع عملية التشغيل، فمثلاً لا يمكن الحصول على مشغولة ذات محاور دقيقة الاستقامة إلا بعد عمليات تشغيل وبتكلفة عالية، بينما تتطلب التفاوتات الكبيرة تكلفة قليلة نسبياً، واختيار هذه التفاوتات يجب أن يرضي جميع المعنيين بعملية التصميم والتشغيل والإنتاج والتسويق وأخيراً المستهلك.

تبين التطبيقات الواردة في الشكل (5-19) أسلوب وضع تفاوتات التشغيل الأساسية على الرسوم الهندسية مثل تفاوتات التعامد وتفاوت التمرکز وتفاوت التماثل... وقد تم ترقيم الأجزاء الخاصة بهذه التفاوتات حسب الرموز المعتمدة في النظام الدولي ISO والنظام الألماني. كما تبين هذه الأشكال علامات التشغيل الأساسية وطريقة وضعها على الرسوم الهندسية.

وبشكل عام يمكن التذكير بالنقاط المهمة التالية:

- 1- تُحدد الأبعاد مع تفاوتاتها بوحدات mm.
- 2- تُحدد درجة خشونة الأسطح بوحدات μm .
- 3- تُحدد تفاوتات التشغيل بوحدات mm.

الجدول (2-5) القيم الدنيا لتفاوتات التشغيل الأساسية

عملية التشغيل	استواء μm	استقامة μm	توازي μm	تعامد μm	تمركز μm	استدارة μm
مكشطة رأسية	100	90	50	100		
مكشطة العربة	7	10	2	50		
مخرطة ذنب		20			60	5
مخرطة برجية		20			60	10
مخرطة تسوية		60			60	30
آلة الثقب		60	100	50	25	
آلة التفريز	80	40	20	50	30	
خراط الأسطوانات	20	25	20	25	20	10
تخليخ مستو	20	50	30	5		
تخليخ وجهي	3	10	3			
تخليخ محيطي	10		10	30	25	15
تخليخ أسطواني	80	70		25	60	5
كشط يدوي	30	30	10	20		

ملاحظة: تؤخذ التفاوتات من الجدول من أجل طول مقداره 100mm.

Table (5-3) GENERAL TOLERANCES FOR FORM AND POSITION
(DIN ISO 2768 T2)

STRAIGHTNESS AND FLATNESS

Ranges in nominal lengths in mm	Tolerance class		
	H	K	L
up to 10	0.02	0.05	0.1
over 10 up to 30	0.05	0.1	0.2
over 30 up to 100	0.1	0.2	0.4
over 100 up to 300	0.2	0.4	0.8
over 300 up to 1000	0.3	0.6	1.2
over 1000 up to 3000	0.4	0.8	1.6

PERPENDICULARITY

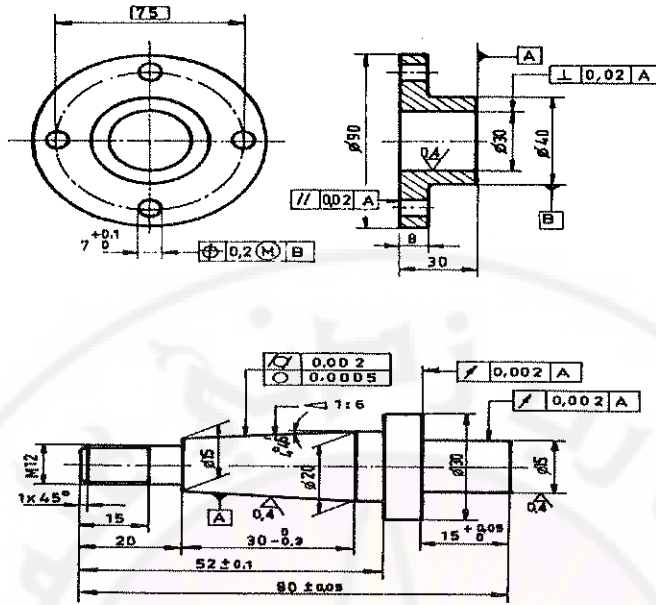
Ranges in nominal lengths in mm	Tolerance class		
	H	K	L
up to 100	0.2	0.4	0.6
over 100 up to 300	0.3	0.6	1
over 300 up to 1000	0.4	0.8	1.5
over 1000 up to 3000	0.5	0.8	2

SYMMETRY

Ranges in nominal lengths in mm	Tolerance class		
	H	K	L
up to 100	0.5	0.6	0.6
over 100 up to 300	0.5	0.6	1
over 300 up to 1000	0.5	0.8	1.5
over 1000 up to 3000	0.5	1	2

RUN-OUT

Tolerance class		
H	K	L
0.1	0.2	0.5

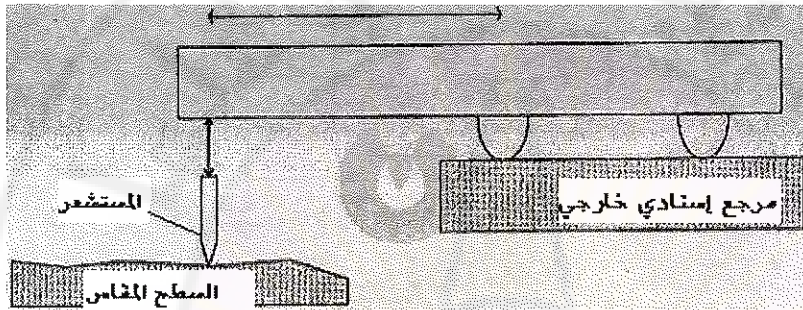


الشكل (19-5) أسلوب وضع تفاوتات التشغيل الأساسية على الرسم الهندسية

7-5- أجهزة قياس التفاوتات الهندسية:

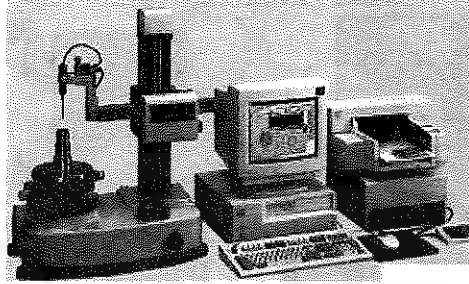
يتم قياس التفاوتات الهندسية السابق تعريفها (عدا تفاوت الوضع) بواسطة جهاز اختبار الأسطح، وهي أجهزة إلكترونية تتشابه في شكلها مع أجهزة قياس خشونة الأسطح. فهي تعتمد أساساً على وجود مستشعر دقيق يتحرك على السطح المقاس خلال طول العينة المحددة للقياس بسرعة دورانية أو خطية تختلف قيمها باختلاف طراز الجهاز والقطعة المقاسة. وهذه الأجهزة تكون مبرمجة ومتوفر في ذاكرتها مسارات هندسية مرجعية قياسية تمد بها المستشعر لتعطيه شكل الحركة المطلوبة. فحركة المستشعر لا بد أن تكون مرتبطة بسطح مرجعي معين (مرجع إسنادي)، كما موضح في الشكل (20-5) على سبيل المثال، وذلك لتتم المقارنة بينه وبين السطح المراد قياس تفاوتاته الهندسية. وبالتالي يتم تحديد مدى انحراف السطح المقاس عن السطح المرجعي، ويختلف الشكل الهندسي للسطح المرجعي تبعاً لشكل السطح المقاس، فإذا كان مستوياً ندخل ذلك في الجهاز فيقوم باستدعاء مسار هندسي لسطح مرجعي مستوي، أما إذا كان السطح المقاس

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

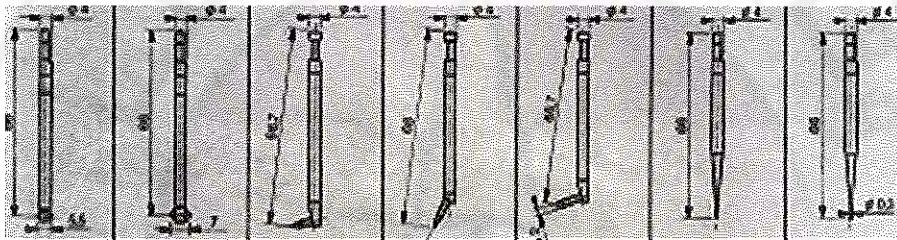


الشكل (5-20) طريقة قياس التفاوتات الهندسية

وبالإضافة للمستشعر، تحتوي أجهزة اختبار الأسطح على وحدة إلكترونية لالتقاط ومعالجة حركة المستشعر، ثم إرسالها إلى حاسب لحساب القيم المراد قياسها، ومن ثم رسمها على شاشته وطباعتها إذا لزم الأمر. وبالرغم من أن هذه الأجهزة يمكنها قياس جميع التفاوتات الهندسية عدا تفاوت الوضع، إلا أنها تسمى بأسماء ترتبط بالاستدارة مثل (teleround, Roundtest). ويعرض الشكل (5-21) أحد الطرازات من هذه الأجهزة، ويختلف شكل طرف المستشعر باختلاف طبيعة القطعة المقاسة، ويصنع من الكريد أو التنجستن أو الياقوت الأزرق، ويتراوح قطره من 0.25mm إلى 1.6mm. ويبين الشكل (5-22) عينة من المستشعرات بأشكال مختلفة لتغطي العديد من التطبيقات العملية.



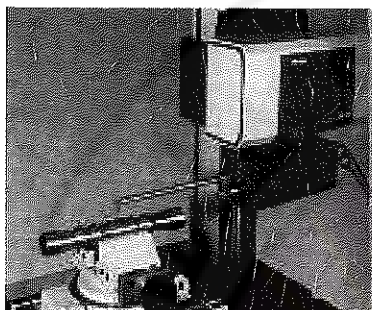
الشكل (5-21) جهاز اختبار الأسطح



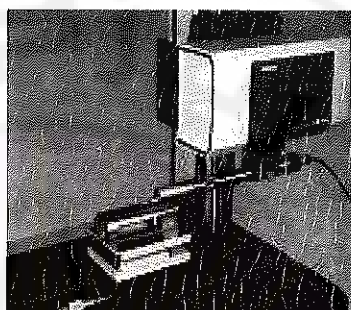
(أ) - للثقوب الدقيقة. ب- للثقوب الصغيرة. ج- للمجاري المحددة. د- للأركان. خ- للحزوز. ح- للأسطح غير المنتظمة. ف- للاستخدامات العامة.
الشكل (5-22) عينة من المستشعرات بأشكال مختلفة

وهناك أيضاً أجهزة ضوئية حديثة لقياس التفاوتات الهندسية، وتعتمد نظرية عمل هذه الأجهزة على إسقاط شعاع ليزر على السطح المقاس فينعكس جزء منه ويتشتت الباقي في جميع الاتجاهات، فتقوم وحدة استشعار ضوئي في الجهاز بتجميع بعضاً من الشعاع المشتت والمنعكس. ويمكن بعد ذلك استنباط العلاقة بين نسبة الضوء المشتت والمنعكس وبين الانحرافات الهندسية التي نتج عنها هذه النسبة من التشتت والانعكاس لشعاع الليزر. وتمتاز هذه الطريقة في القياس بعدم تلامس المستشعر مع السطح المقاس، وبالتالي لا يتعرض السطح المقاس لأي احتمال لحدوث خدوش نتيجة احتكاكه مع

المستشعر. وتبرز أهمية هذه الطريقة عند قياس الأسطح المصنوعة من المطاط وما شابه من المواد اللينة والتي ستتأثر حتماً عند ملامسة المستشعر لسطحها. ونظراً للتقارب بين قياس تفاوتات الشكل وقياس الخشونة، فقد تم تصنيع أجهزة تسمى أجهزة تتبع الشكل (Formtracer) لإجراء كلا القياسين وذلك عن طريق تركيب المستشعر الذي يناسب كل قياس على حده، كما في الشكل (5-24).



قياس الخشونة



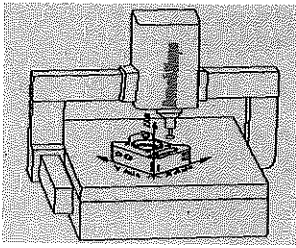
قياس تفاوتات الشكل

الشكل (5-24) جهاز تتبع الشكل

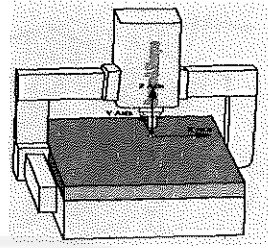
5-8- قياس تفاوت الوضع:

يمكن إجراء جميع القياسات الخاصة بالتفاوتات الهندسية كالاستواء والاستدارة وأحادية المركز بوساطة أجهزة اختبار السطح، فيما عدا تفاوت الوضع، وذلك لاختلاف طبيعته عن بقية الأنواع الأخرى من التفاوتات. فالهدف هنا هو تحديد الوضع الصحيح لسمة معينة في قطعة الشغل، كموقع أحد الثقوب الداخلية فيها. لذلك تستخدم أجهزة خاصة لهذا الغرض تسمى أجهزة قياس الإحداثيات CMM.

وتنقسم أجهزة قياس الإحداثيات إلى نظامين هما نظام إحداثيات الجهاز ونظام إحداثيات قطعة الشغل. في النظام الأول تكون مرجعية المحاور الثلاثة بالنسبة لحركة الجهاز (شكل 5-25- أ) أما في نظام إحداثيات قطعة الشغل تكون المحاور الثلاثة مرتبطة بمرجع أو سمة موجودة في قطعة الشغل (شكل 5-25- ب).



(ب)

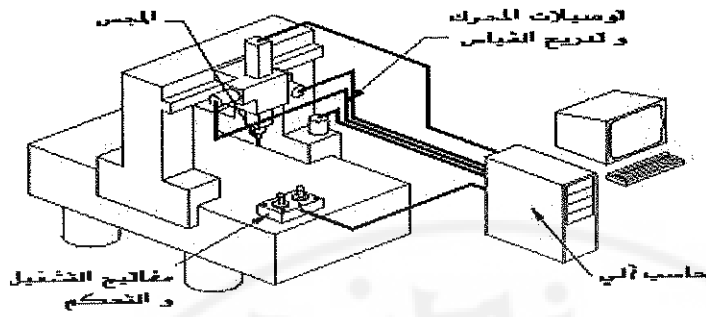


(أ)

شكل (5-25) نظام إحداثيات الجهاز ونظام إحداثيات قطعة الشغل

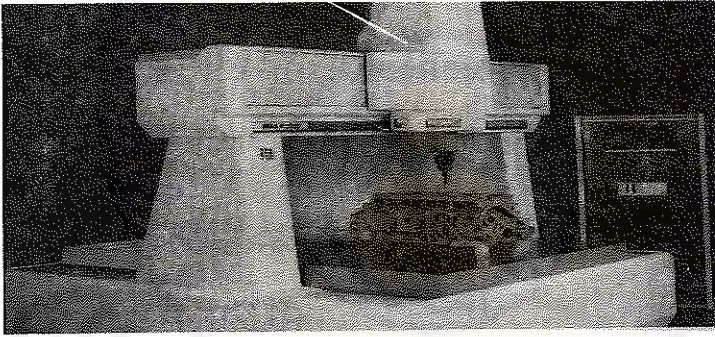
يمكن إيجاز نظرية عمل هذه الأجهزة بطريقة مبسطة في أنها تعتمد على وجود حاجز محزز بدقة عالية، وتكون المسافة بين الحزوز هي حساسية القياس للجهاز وطول الحاجز هو مدى القياس. ويوجد حاجز آخر شفاف مثبت على رأس وحدة القياس التي تتحرك تبعاً للموضع المطلوب تحديده، وبه الحزوز نفسها، ولكن يوضع بحيث تكون حزوزها مائلة بزاوية صغيرة على حزوز الحاجز الأساسي، والحاجزان بينهما مسافة صغيرة في حدود 0.001 مم. عند القياس يتحرك رأس القياس خلال القطعة المقاسة وحتى الموضع المراد تحديده، ويتم إمرار ضوء من مصدر ضوئي خلال عدسة تجعله في شكل أشعة متوازية يتم إسقاطها على الحاجزين المحززين. وعندما تمر أشعة الضوء المتوازية من خلال الحاجز الشفاف إلى الحاجز المصمت، يتكون عدد من الهالات الضوئية تعكس أشعة الضوء الساقط إلى إحدى الخلايا الضوئية الموجودة في الجهاز، فتتحول إلى إشارة كهربائية تزداد شدتها كلما تحرك الحاجزان بالنسبة لبعضهما البعض، وبالتالي يمكن تحديد الموضع بناءً على شدة الإشارة الكهربائية التي تسجل على وحدة قراءة رقمية.

وتتكون هذه الأجهزة بنظاميها كما في الشكل (5-26) من ثلاثة محاور متعامدة كل منها مزود بوحدة تدريج إلكترونية متصلة بالحاسب الآلي المرفق مع الجهاز، ورأس قياس دقيق يكتسب حركته من المحاور الثلاثة. ويوجد في بعض الأجهزة محرك كهربائي متصل بوحدة التحكم لتحريك المحاور الثلاثة، كما توجد أيضاً بعض الطرازات يتم تحريك المحاور فيها يدوياً. ويتم تصنيف آلات التحكم الرقمية في الحاسب (CNC, CMM)، عن طريق المحرك الكهربائي والحاسب الآلي.



الشكل (5-26) المكونات الأساسية لجهاز قياس الإحداثيات

وإلى جانب تحديد الوضع، تستطيع ماكينات قياس الإحداثيات أيضاً قياس الأبعاد لقطعة الشغل بدون وسائل أو محددات قياس إضافية، لذلك يتم تركيبها على خطوط الإنتاج للفحص النهائي للمنتج من حيث الأبعاد والمواضع الصحيحة لسماته المختلفة كالتفاصيل العديدة لجسم محرك الاحتراق الداخلي أثناء عملية فحصه، الشكل (5-27).



الشكل (5-27) فحص محرك احتراق داخلي بواسطة جهاز قياس الإحداثيات

الفصل السادس

أخطاء أجهزة القياس

Errors of Measuring Instruments

مقدمة:

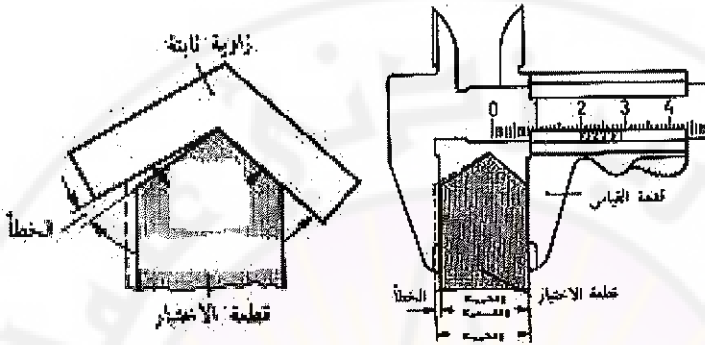
إن الواقع العملي فرض علينا حقيقة مهمة يدركها كل المهتمين بالقياسات، وهي أنه لا يوجد أبداً أي قياس صحيح بصورة مطلقة، حيث أن هناك أسباباً واقعية لا يمكن تجنبها تماماً، تجتمع معاً أثناء القياس لتؤدي في النهاية إلى عدم التطابق الكامل بين القيمة المقاسة والقيمة الحقيقية. ولكن لتحقيق عمليات قياس ذات نتائج قريبة من المثالية يمكن اعتماد أجهزة قياس دقيقة، وبوجود كادر من القائسين المتدربين جيداً بالإضافة إلى استخدام أساليب قياس حديثة. وتجدر الإشارة إلى أهمية مكان مختبر القياس ومدى صلاحيته لعمليات القياس إذ ينبغي أن تتحقق شروط معينة في مختبرات القياس من أهمها: درجة الحرارة القياسية، ونسبة الرطوبة، والضغط الجوي، ولا ننسى بُعد أجهزة القياس عن مصادر الاهتزازات، ولتحقيق هذه الشروط تستخدم 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.

الخطأ: عبارة عن تقدير لقيمة الشك في القراءة من جهاز القياس، وهو الفرق بين القيمة الحقيقية لمقدار ما وقيمتها المقاسة أو المحسوبة.

على الرغم من كون الخطأ غير معلوم إلا أنه أحياناً من خلال الخبرة والممارسة والطرائق يمكن تقدير القيم الحقيقية للكمية المقاسة بالإضافة إلى تحديد الارتياح الذي يتماشى مع نتائج القياس.

ولابد من الإشارة إلى أهم العوامل التي تؤخذ بالحسبان أثناء تصميم أجهزة القياس والتي تؤثر في دقة نتائج القياس مثل الحساسية والمقروئية والاستقرار وغيرها من العوامل التي يجب التركيز عليها ودراستها جيداً للتمكن من التعامل مع أجهزة القياس بنجاح.

ويوضح الشكل (1-6) بعض الأمثلة العلمية لأخطاء تحدث عند إجراء قياسات مختلفة للأبعاد والزوايا. ومن البديهي أن نتعرف على أسباب حدوث الأخطاء لمحاولة تفاديها قدر الإمكان، لكي يتضاءل تأثيرها وتصبح القيمة المقاسة أقرب ما تكون للقيمة الحقيقية.



الشكل (1-6) حدوث بعض الأخطاء أثناء عمليات القياس المختلفة

إن الهدف من دراسة 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.

1-6- طرائق القياس:

كما هو معلوم أن القياس هو مجموعة من العمليات التجريبية التي تهدف إلى تحديد القيمة لكمية ما، وتنفيذ هذه العمليات يتم بوساطة عمليات القياس التي تتضمن الحسابات الضرورية والإضافة اللازمة لتحديد قيمة الكمية المقاسة. تنقسم طرائق القياس إلى ثلاثة أقسام: طريقة القياس المباشرة، وطريقة القياس غير المباشرة، وطريقة القياس الموحدة.

1-1-6- طريقة القياس المباشرة:

هي مقارنة المقدار المراد قياسه مباشرة بالوحدة المعيارية ذات الطبيعة نفسها. إما مباشرة أو بوساطة الأجهزة المدرجة بالوحدات المطلوبة، وتقرأ نتائجه مباشرة كقياس الطول والكتلة والزمن والزوايا وشدة التيار الكهربائي وفرق الكمون.

إن أي متغير في أعمال القياس يتم قياسه مباشرة دون إجراء أي عملية حسابية يسمى بالقياس المباشر. ويتم بواسطة هذه الطريقة تحديد قيمة الكمية المقيسة بمقارنتها بشكل مباشر بوحدة القياس أو بتدرجات 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 المباشر تحول قيمة الكمية المقيسة مباشرة إلى متغير خرج الجهاز، أي إن الجهاز يسجل قيمة الكمية المقيسة مباشرة. 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 التفاضلية يحدد الجهاز مباشرة فرق القياس بين الكمية المقيسة وكمية نموذجية محددة مسبقاً، وبعد ذلك يتم جمع الكمية المقيسة مع الكمية النموذجية جمعاً جبرياً. وتستخدم 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 مسبقاً، وتُعين لحظة التعادل هذه بواسطة جهاز خاص يسمى المبيّن الصفري، ومن الأمثلة التي تستخدم طريقة الانحراف الصفري مقاييس الضغوط التفاضلية.

6-1-2- 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 بواسطة 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 تحتازه. ويلجأ إلى القياسات غير المباشرة حين يستحيل أو يصعب قياس المقدار المدروس قياساً مباشراً، أو حين يعطي القياس المباشر نتيجة أقل دقة.

3-1-6- طريقة القياس الموحدة:

تُستخدم طريقة القياس الموحدة من أجل تحديد قيمة الكميات التي لا يمكن قياسها بشكل مباشر أو غير مباشر، وإنما عن طريق حل 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 كنابع لكميات أو متغيرات عددها n :

$$X = f(x_1, x_2, x_3 \dots X_n)$$

حيث: $x_1, x_2, x_3 \dots X_n$ قيم الكميات المقيسة بشكل مباشر. وكمثال على هذه الطريقة تحديد المعامل الحراري للتمدد الطولي.

2-6- أجهزة القياس:

أجهزة القياس هي المعدات التي تستخدم للمقارنة المباشرة أو غير المباشرة بين الكمية المقيسة ووحدة القياس. أو هي عبارة عن أدوات قياس تستخدم لتحديد قيمة لكمية أو لمتغير ما. 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 تتركب 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.

3-6- حساسية أجهزة القياس:

حساسية جهاز القياس: هي نسبة إزاحة مؤشر القياس، إلى تغير الكمية المقاسة المطبقة عند مدخل جهاز القياس. وبالتالي تعرف الحساسية الخطية لجهاز القياس بأنها نسبة تغير الإزاحة الخطية للمؤشر إلى تغير الدخل:

$$S_N = \frac{\Delta N}{\Delta X} \Rightarrow S_N = \frac{dN}{dx}$$

والإزاحة الزاوية مقسومة على تغير الدخل تسمى الحساسية الزاوية للجهاز:

$$S_\varphi = \frac{\Delta \varphi}{\Delta X} \Rightarrow S_\varphi = \frac{d\varphi}{dx}$$

$$S_N = r \cdot S_\varphi$$

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

$$S = \frac{dy_o}{dx_o}$$

وتعبر S عن ميل مماس المنحني المميز للتوازن وتسمى أيضاً معامل تضخيم العنصر. 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.

$$\tan\theta = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

ونلاحظ من هذه المعادلة أن حساسية الجهاز S (المعبر عنها بـ $\tan\theta$) تزداد مع انخفاض Δx متغير الدخل، أي إنَّ الجهاز الذي يتمتع بحساسية مرتفعة يستطيع قياس كميات أصغر. إذاً الحساسية S هي المعيار الذي تتم بواسطته عملية المقارنة بين أجهزة القياس ذات النوع الواحد.

أما بالنسبة لتدرجات القياس فتعرف على أساس أنها تساوي مقلوب حساسية جهاز القياس.

$$C_N = \frac{dx}{dN} \quad \text{تقسمة تدرج القياس الخطية}$$

$$C_\varphi = \frac{dx}{d\varphi} \quad \text{تقسمة تدرج القياس الزاوية}$$

ويمكن من المعادلتين السابقتين التعبير عن حساسية جهاز القياس بقيمة التدرجة الواحدة على سلم تدرجات الجهاز

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

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

N_{gr} قيمة التدرجة أي المسافة الفاصلة بين تدرجتين متتاليتين بالنسبة للإزاحة الخطية.

φ_{gr} قيمة زاوية القوس المتناظر لتقسمة واحدة من التدرجات.

ويعبر عن حساسية جهاز القياس الزاوية بمجداء 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 التدرجات المنتظمة ($C_N, C_\varphi = \text{const}$)، (أي قيمة كل تدرجة 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 التدرجات ستكون غير متساوية (تدرجات غير منتظمة).

6-4- تصنيف أجهزة القياس:

6-4-1- تصنيف أجهزة القياس الميكانيكية حسب طريقة القياس إلى:

1- أجهزة المقارنة: هي الأجهزة التي يشترك العامل الإنساني فيها مباشرة في تنفيذ عمليات القياس، وذلك بإجراء مقارنة للكمية المقيسة بمقياس 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 مبدن 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 التدرج هي العلامة المناظرة لأصغر قيمة للكمية التي تحدد على هذا التدرج وتمثل الحد الأدنى لقراءات الجهاز. أما نهاية التدرج فتمثل أكبر قيمة للكمية التي يجري قياسها، أو الحد الأقصى لقراءات الجهاز، وصفر التدرج هو العلامة المناظرة للقيمة الصفرية للكمية المقيسة، وصفر التدرج هذا يمكن أن يطابق بداية التدرج وبذلك تكون التدريجات أحادية الاتجاه، وإذا كان صفر التدرج لا يطابق بداية التدرج فتكون التدريجات ثنائية الاتجاه. يتحدد وضع مؤشر القياس من خلال الإزاحة الخطية أو الإزاحة الزاوية وذلك عن صفر التدرج أو عن بداية التدرج (ليس بالضرورة أن يتطابق صفر التدرج مع بداية التدرج).

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 بواسطة قلم متحرك على شريط ورقي يتحرك بسرعة منتظمة.

بالنسبة للأقراص البيانية (كما في التدريجات) يمكن أن تكون ذات تقسيمات منتظمة أو غير منتظمة. أما الشريط الورقي البياني فيكون على نوعين، النوع الأول خاص

بأجهزة القياس ذاتية التسجيل والتي يتحرك فيها القلم حركة خطية، والنوع الثاني يخص الأجهزة التي يتحرك القلم فيها على قوس دائرة.

4- أجهزة القياس الموحدة: هي الأجهزة التي يتم فيها بيان قيمة الكمية المقاسة 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 المقاسة خلال فترة زمنية معينة. وتزود هذه الأجهزة بعدادات تقوم بهذه المهمة.

تصمم بعض أجهزة القياس الحديثة بحيث يتم إظهار نتائج القياس بشكل مباشر على شاشة الحاسب الإلكتروني، وهذه الأجهزة تتميز بأنها تجمع بين مزايا الأجهزة السابقة 2، 3، 4، 5 وتساعد على تخزين قيم مختلف الكميات المقاسة معاً ثم استرجاع هذه القيم وطبعها على الورق عند اللزوم.

6-4-2- تصنيف أجهزة القياس حسب طريقة الاستخدام إلى:

1- أجهزة التشغيل: تخصص هذه الأجهزة للقياسات العادية وتنقسم إلى أجهزة تكتيكية 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 الإمامية: وتنقسم إلى ثلاث مجموعات:

- أجهزة الإمامية 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.

5-6- أخطاء أجهزة القياس:

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

5-6-1- الأخطاء التصميمية:

تعد الأخطاء التالية من أهم الأخطاء التصميمية:

1- مقروئية جهاز القياس: تعتمد المقدرة على قراءة جهاز القياس على المؤشر والمدرج، وتناسب القدرة على قراءة المدرج تناسباً طردياً مع طول هذا المدرج، وتتأثر عملية قراءة التدرجات بالمسافة بين كل تدريجة والتي تليها، وبسماكة كل من التدريجة والمؤشر. كلما قلت المسافة الفاصلة بين التدرجات 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 المقاسة بنسبة الزيادة في القيمة المشاهدة المتغيرة dN أو $d\varphi$ والمبينة على المدرج إلى الزيادة في قيمة الكمية المقاسة dx التي تسبب في تحريك المؤشر.

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

3- خلو جهاز القياس من الخطأ التخلفي: يعرف الخطأ التخلفي على أنه الفرق بين قراءتين لجهاز القياس للكمية المقاسة نفسها بحيث نصل إلى القراءة الأولى عن طريق التزايد وإلى القراءة الثانية عن طريق التناقص. في الحالة الأدنى نبدأ بقيم أصغر من قيمة الكمية المقاسة أما في الحالة الثانية فنبدأ بقيم أعلى من الكمية المقاسة، وذلك حتى نصل

إلى قيمة الكمية المقيسة نفسها. التخلفية خاصة 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 المتولوجية 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 للاهتزازات. 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 المتولوجية 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 التغير بأنه أكبر فرق ينتج عملياً بين قراءات جهاز القياس المناظرة لقيمة فعلية واحدة للكمية المقيسة عند ظروف القياس نفسها. ويحدد تباير أجهزة القياس كأكثر فرق للقراءات ينتج عند مراجعة جهاز القياس. يعطى التباير بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = \frac{\Delta N}{N_{max} - N_{min}} \times 100\%$$

ε - التباير.

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 المقاسة، ثم مع خفض الكمية المقاسة أو نقصانها.

6-5-2- الخطأ المطلق والخطأ النسبي:

تتصف المقادير التقريبية دائماً، بشيء من عدم التعيين (الارتياب). والاسم التقني لهذا الارتياب هو الخطأ. ولا تحمل كلمة خطأ هنا معنى «إساءة تصرف» أو غلط يمكن الرجوع عنه، لأن هذا الخطأ شيء ملازم دائماً للقيم التقريبية. ويجب فهمه على أنه انحراف عن القيمة الحقيقية.

ومصادر الخطأ متعددة: فهناك خطأ جهاز القياس، وخطأ طريقة القياس، وخطأ المجرب وخطأ قراءة الجهاز... ويعيّن مقدار الخطأ بما يسمى الخطأ المطلق للمقدار التقريبي، والخطأ النسبي فيه.

الخطأ المطلق: هو الفرق بين القيمة الفعلية للكمية المقاسة وقراءة جهاز القياس. وتحدد 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 المقاسة (القيمة الحقيقية وتكون مجهولة)، ويمكن افتراض

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

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

$$b = \frac{\alpha}{\mu} \cdot 100\% \\ = \frac{\alpha}{x - \alpha}$$

نقسم على x

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

وبما أن $a \gg x$ فيمكن إهمال الحد $a \approx 0$ كونه صغيراً جداً ويصبح الخطأ النسبي مساوياً للقيمة:

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

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 $-a$.

3-5-6- 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 20°C وضغط جوي نظامي 760mmHg ورطوبة نسبية 50% . تعرف مرتبة الدقة لجهاز قياس ما بأكبر خطأ أساسي مطلق مسموح به a منسوباً إلى مدى تدرّج جهاز القياس N . ويعبر عن مرتبة الدقة بنسبة مئوية حسب العلاقة:

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

وترتب مرتبات الدقة على شكل سلسلة على الشكل التالي:

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

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

ولا بد من الأخذ في الحسبان ظروف تشغيل جهاز القياس ومدى اختلاف هذه الظروف عن الشروط القياسية التي تمت معايرة جهازه 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 صيانتة ومعايرته بحيث تكون الأخطاء الناتجة فعلياً ضمن القيم القياسية المحددة مسبقاً لهذا الجهاز.

4-5-6- الخطأ النسبي لآلية جهاز القياس:

إن الزاوية التي ينحرف بها مؤشر جهاز القياس φ تابعة لقيمة الكمية المقاسة x فيكون بذلك مميز تدرج جهاز القياس هو:

$$\varphi = f(x)$$

نفاضل العلاقة السابقة حيث أن مؤشر جهاز القياس سوف ينحرف بزاوية صغيرة جداً $d\varphi$ من أجل قياس تغير كمية مقاسة صغيرة جداً dx فينتج:

$$d\varphi = f'(x)dx$$

ولدينا الحساسية الزاوية لجهاز القياس S_φ تساوي:

$$S_\varphi = \frac{d\varphi}{dx} = f'(x)$$

بدمج المعادلتين السابقتين نجد:

$$d\varphi = S_\varphi dx$$

نقسم على φ :

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = S_\varphi \frac{dx}{x} \cdot \frac{x}{\varphi}$$

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

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

$$\xi_\varphi = S_\varphi \xi_x \frac{x}{\varphi}$$

$$\xi_x = \frac{1}{S_\varphi} \xi_\varphi \frac{\varphi}{x}$$

إذاً المعادلات السابقة تنطبق على أجهزة القياس مهما كان نوع تدريجات القياس. وفي الحالة الخاصة عندما يكون التدرج منتظماً تصبح الحساسية لجهاز القياس $S_\varphi = S$ مساوية القيمة:

$$S = \frac{d\varphi}{dx} = \frac{\varphi}{x}$$

ويكون الخطأ النسبي لآلية الجهاز مساوياً الخطأ النسبي لجهاز القياس ككل، بعد تعويض المعادلة السابقة في معادلة ξ_x .

$$\xi_\varphi = \xi_x$$

في الحالة العامة يدخل في معادلة مميز التدرج للجهاز كثير من المتغيرات حسب العلاقة التابعة العامة التي تعبر عن مميز التدرج:

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

X - قيم الكميات المقاسة.

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 $p_1, p_2, \dots$ 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.

لا بد من حساب أخطاء جهاز القياس الناتجة عن مختلف العوامل التكنولوجية والعوامل البيئية المحيطة، والمعادلة السابقة تساعد على حساب أخطاء الجهاز الناتجة عن المتغيرات

$$x, t, p, u, f$$

5-5-6- الخطأ الكلي لجهاز القياس:

من أجل تغير بارامتر واحد من البارامترات:

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

نوجد مقدار الانحراف المؤشر $\Delta\mu_{i1}$ من أجل متغير هو i_1 مع عدد بقية المتغيرات ثابتة، ويسمى الخطأ الجزئي:

$$\Delta\mu_{i1} = \frac{\partial\mu}{\partial i_1} \Delta i_1$$

Δi_1 : مقدار الانحراف الأولي للمتغير i_1 .

وبإيجاد الأخطاء الجزئية لمختلف المتغيرات ينتج الخطأ الكلي لجهاز القياس:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_I + \Delta\varphi_p + \Delta\varphi_U + \Delta\varphi_f$$

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

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

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

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

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

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 بالعنصر المفروض Δy_o يؤدي إلى ظهور خطأ جزئي ناتج عن هذا العنصر هو:

$$\Delta\mu_{y_0} = \frac{\partial\mu}{\partial y_0} \Delta y_0$$

ومن أجل تحديد قيمة المشتق الجزئي $\frac{\partial\mu}{\partial y_0}$ نكتب معادلة دائرة القياس الخاصة بالعنصر:

$$\varphi = f(y_0)$$

ومن العلاقة السابقة نحدد قيمة المشتق الجزئي $\frac{\partial\mu}{\partial y_0}$.

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.

6-6- 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 وبناية.
- 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°، الضغط الجوي 760 mmHg، الرطوبة النسبية $(50 \pm 5)\%$.

6-6-1- تعاريف أساسية:

- القيمة الحقيقية N: هي القيمة الاسمية أو النظرية للكمية المطلوب قياسها.
 - القيمة الفعلية L: هي القيمة المقاسة فعلاً بواسطة أداة أو جهاز القياس.
 - الخطأ E: هو الفرق بين القيمة الفعلية (المقاسة) والقيمة الحقيقية (الاسمية).
- الخطأ = القيمة الفعلية - القيمة الحقيقية

$$E = L - N$$

- وقد يكون الخطأ موجباً أو سالباً تبعاً لطبيعة ظروف القياس.
- الخطأ النسبي E_R : هو النسبة بين الخطأ والقيمة الحقيقية.

$$E_R = E/N$$

- وأحياناً 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 بواسطة 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 الرتبى: هو خطأ ينتج نتيجة طريقة القياس المستخدمة كخطأ في معايرة الجهاز المستخدم مثلاً، أو وجود عيب بمحسّات القياس وغيرها. يجب ملاحظة أن هذا النوع من الأخطاء ليس من العادة اكتشافه عند تكرار القياس.

6-6-2- مصادر أخطاء 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- القائن: حيث يمكن للقائن 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 القائنين: إذا استخدم أكثر من قائن 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.

6-7- أنواع أخطاء القياس:

تنقسم أخطاء القياس إلى نوعين أساسيين هما الأخطاء النظامية والأخطاء العشوائية (الطارئة)، والمقصود بالأخطاء النظامية هي تلك النوعية من 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، وبالتالي اتخاذ الإجراءات المناسبة للتخلص من تلك الأخطاء لضمان إجراء عملية القياس بدقة عالية.

6-7-1- 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، ولتصحيح الخطأ الصفري للميكرومتر مثلاً نقوم بإطباق الفكين ونحدد قيمة القراءة، التي هي في الواقع قيمة الخطأ الصفري ويتم تسجيل قيمة القراءة على الأداة، وذلك لإضافتها جبرياً (تبعاً لإشارته) إلى قيم القراءات التي ستؤخذ بعد ذلك لكي نحصل على القيم الحقيقية للأبعاد المقاسة بهذا الميكرومتر. كما يمكن أن تنتج هذه

الأخطاء عن خلل في أسلوب تركيب الجهاز، حيث يؤثر التركيب الخاطئ لجهاز القياس في وضعية مؤشر القياس أو في طبيعة الحركة النسبية بين أجزاء الجهاز الداخلية، وبالتالي يؤدي هذا إلى نتائج منحرفة عن الدقة المطلوبة.

من أمثلة أخطاء الأجهزة، أن تكون تقسيمات السلم المدرج غير موافقة للقيمة الاسمية لهذه التقسيمات (مثلاً عدّاد الثواني لا يدق الثواني بالضبط). ومهمة مهندس القياس هي تحري واستقصاء الأخطاء النظامية وهي مهمة غير يسيرة. ومتى اكتشفت هذه الأخطاء خرجت عن كونها أخطاء، إذ يمكن أخذها في الحسبان وإجراء التصحيح الضروري في نتيجة القياس.

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 القائن نفسه.

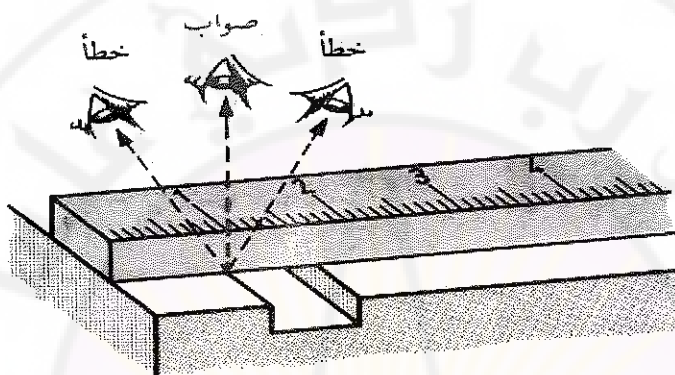
أهم هذه الأخطاء:

- **خطأ 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 المشاهدة (خطأ القراءة):** تنتج هذه الأخطاء بسبب عدم كفاءة القارئ أو التقدير غير الصحيح أو عدم وضوح القراءة أثناء أخذ القراءات. كما تنتج بسبب القراءة المائلة لقيمة الكمية المقاسة على بيان جهاز القياس كما في الشكل (6-2). أو ينتج هذا الخطأ عندما يتم تقدير القيمة التي يعطيها مؤشر القياس في حال وقوعه بين علامتين متاليتين على مدرج القياس. ويزداد هذا الخطأ وضوحاً إذا كانت التدريجات غير منتظمة (يدعى خطأ الاستكمال الداخلي). أو يحدث هذا الخطأ عندما توضع أداة القياس في

وضع خاطئ بالنسبة للمشغولة وهذا الانحراف في الوضع النسبي يسبب انحرافاً في عملية القياس من حيث نتيجة القياس (خطأ الاستقامة).

وفي عام 1893 اقترح العالم الألماني Ernst Abbe قاعدة لجعل عمليات القياس أكثر دقة: "يجب أن يتوضع البعد المراد قياسه وعنصر القياس في تركيبة القياس في محاذاة واحدة وذلك خلال عملية القياس". وتسمى هذه القاعدة حالياً باسم قاعدة آبي للقياس المقارن.



الشكل (2-6) خطأ النظر بزاوية مائلة على موضع القياس

تُخترق قاعدة آبي في عمليات قياس كثيرة لأسباب كثيرة من أهمها:

- زيادة الخلوصات بين أجزاء أداة القياس.
- زيادة قوة القياس عن الحد اللازم لإتمام عملية القياس.
- الخناء بعض أجزاء جهاز القياس.
- عدم وضع نقاط الاستناد في العناصر أو الأجزاء العائمة بشكل دقيق بحيث تمنع حدوث أي انحراف ممكن.

3- الأخطاء البيئية: هي الأخطاء التي تحدث نتيجة لإجراء القياس في ظروف مغايرة للظروف القياسية كتغير درجة الحرارة ونسبة الرطوبة في الوسط المحيط بجهاز القياس والضغط الجوي، ولكن درجة الحرارة هي من أهم المؤثرات البيئية حيث إن كلاً من المشغولة وأداة القياس تتأثر بأي تغير في درجة الحرارة. ولذلك يجب الانتباه إلى إجراء

التصحيحات المناسبة. كما يمكن أن تحدث هذه الأخطاء بسبب تأثير المجالات الكهرومغناطيسية.

من المعروف أن أبعاد الأجسام المعدنية تتأثر بتغير درجة الحرارة، وتصنع في الوقت الراهن أغلب أجهزة القياس من مواد معدنية تتم معايرتها عند 20°C وبالتالي سوف تتأثر نتيجة القياس بالشروط الحرارية التي تتم عندها عملية القياس. يعطى التمدد الخطي بالعلاقة التالية:

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

Δl : التغير الحاصل في طول المشغولة نتيجة تغير درجة الحرارة.

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

α : معامل التمدد الحراري لمعدن المشغولة. ($1/^{\circ}\text{C}$)

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

مثال:

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 20°C ، المطلوب حساب طول المشغولة.

الحل:

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:

$$\Delta l_2 = \ell \alpha_2 \Delta t_2$$

E: الخطأ الناتج عن عملية القياس (mm).

ℓ: الطول الأصلي للمشغولة عند درجة الحرارة القياسية.

α₁: معامل التمدد الخطي لمعدن المشغولة.

α₂: معامل التمدد الخطي لمعدن جهاز (أداة) القياس.

ويمكن الاعتماد على العلاقة التالية لمعرفة وتحديد الطول الأصلي ℓ بدءاً من الطول

الظاهري ℓ' 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 $11.5 \cdot 10^{-6} [1/C^\circ]$

أي إن معدن الحديد الصلب يتمدد بمقدار $11.5 \cdot 10^{-6} m$ 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 20°C:

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

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

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

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

$$\text{معامل التمدد الحراري للنحاس هو } [1/C^\circ] 17 \cdot 10^{-6}$$

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

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

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

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 شد، 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- إجهادات حرارية ناتجة عن تغيرات موضعية 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 ومرونة محددة.

5- 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".

6-7-1-1 حساب بعض الأخطاء النظامية:

سنقوم بحساب خطأين نظاميين هامين يحدثان أثناء قياس الأطوال هما خطأ درجة الحرارة وخطأ عدم المحاذاة.

أولاً: حساب خطأ درجة الحرارة: يؤدي تغير درجة الحرارة إلى تمدد أو انكماش قطع

الشغل المقاسة. لذلك تم تحديد درجة الحرارة القياسية (20°C)، 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.

$$N = L - E$$

يمكن تحديد الخطأ الناتج من اختلاف درجة الحرارة كما يلي:

$$E = L - N$$

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

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

حيث:

α : معامل التمدد الحراري الطولي لمعدن قطعة الشغل.

N : طول الشغلة الحقيقي عند درجة الحرارة 20° .

L : طول الشغلة المقاس عند درجة حرارة معينة (t).

تطبيقات:

مثال 1: مشغولة مصنوعة من النحاس الأحمر درجة حرارتها تساوي 30°C ، تم قياسها في مختبر القياسات ولم تترك الوقت الكافي لتتساوى درجة حرارتها مع درجة حرارة المختبر 20°C . فإذا كان الطول الحقيقي للقطعة يساوي 400mm ، احسب طول القطعة المقاس عند 30°C ، وخطأ القياس الناتج في هذه الحالة، علماً بأن معامل التمدد الحراري الطولي للنحاس يساوي $[1/\text{C}^{\circ}] 16.5 \cdot 10^{-6}$.

الحل:

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

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

$$E = L - N$$

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

مثال 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 $[1/C^\circ] \cdot 11.5 \cdot 10^{-6}$. 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:

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

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

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

2) الخطأ الناتج من عملية القياس:

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

أ- تأثير درجات الحرارة على القياس:

درجة الحرارة القياسية هي $20^\circ C$ (68 فهرنهايت) ومن المستحسن أن تجرى جميع القياسات عند هذه الدرجة. غير أنه ليس من المألوف 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 المراد قياسه مصنوعاً من المعدن نفسه، وسمح له بأن يكتسب درجة حرارة الجهاز نفسه، وذلك بتركه

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

أما إذا كان هناك فرق بين درجتي حرارة الجهاز والجزء المراد قياسه أو كان هناك اختلاف في معدنيهما فإنه يمكن حساب قيمة التصحيح. بفرض أن معامل التمدد الطولي للجزء المراد قياسه هو (α_1) ، وأن معامل التمدد الطولي للجهاز هو (α_2) ، وأن درجة الحرارة هي (t) ، وأن القراءة المبينة على الجهاز هي (A) مم فيصبح مقدار التصحيح (B) هو:

$$B = A(\alpha_1 - \alpha_2)(t_0 - t)$$

حيث:

α_1 - معامل التمدد الطولي للجزء المراد قياسه.

α_2 - معامل التمدد الطولي للمادة المصنوع منها جهاز القياس.

t_0 - درجة الحرارة القياسية.

t - درجة الحرارة الجديدة التي أجري عندها القياس.

يحسب البعد الحقيقي للجزء المقاس L عند t_0 من العلاقة:

$$L = A + B$$

مثال 3: جرى قياس قضيب من النحاس الأحمر بواسطة جهاز قياس مصنوع من

سبيكة حديدية في درجة حرارة مقدارها 30°C أي بفارق 10°C عن درجة الحرارة

المعيارية 20°C . إذا علمت أن معاملي التمدد الطولي للنحاس الأحمر والحديد هما على

الترتيب: $\alpha_1 = 16.5 \times 10^{-6} (C^{\circ})^{-1}$ ، $\alpha_2 = 11.5 \times 10^{-6} (C^{\circ})^{-1}$

المطلوب: حساب البعد الحقيقي للقضيب (طول القضيب) عند t_0 .

الحل:

$$B = A(\alpha_1 - \alpha_2)(t_0 - t)$$

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

$$B = -0.0075\text{mm}$$

طول القضيب:

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

ب- العلاقة بين الوحدات المختلفة لقياس درجة الحرارة:

توجد أكثر من وحدة متعارف عليها لقياس درجة الحرارة، ومن أشهرها درجة الحرارة المئوية (C° , Celsius). وقد تم تعريف درجة الصفر فيها ($0C^\circ$) على أنها نقطة تجمد الماء النقي عند الضغط الجوي المعتاد. أما درجة المائة ($100C^\circ$) فهي عند نقطة غليان الماء. وتستخدم الدرجة المئوية في تطبيقات كثيرة في المجال الصناعي نظراً لبساطتها. وهناك وحدة أخرى هامة هي الكلفن (K , Kelvin) 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 الفهرنهايت (F° , Fahrenheit) والرانكين (R° , Rankine). ويبين الشكل () العلاقة بين الوحدات المختلفة لقياس درجة الحرارة.

توجد علاقات تحويل رياضية بين الوحدات المختلفة لقياس درجة الحرارة، وهي:

- العلاقة بين التدرج المئوي (السيليزي) والتدرج الفهرنهي:

$$C^\circ = \frac{5}{9}(F^\circ - 32)$$

$$F^\circ = \frac{9}{5}(C^\circ) + 32 \quad \text{أو}$$

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

$$K = C^\circ + 273.15$$

- العلاقة بين درجة الحرارة الفهرنهيته ودرجة الحرارة رانكين.

$$R = F^\circ + 460$$

ولتحويل درجة الحرارة المطلقة (كلفن) إلى درجة فهرنهايتية، يتم ذلك بتحويل الدرجة المطلقة كلفن (K) إلى درجة سيليزية (C°) ثم تحويل الدرجة (C°) إلى فهرنهايتية (F°).

K	$^{\circ}C$	$^{\circ}F$	$^{\circ}R$
2273.16	2000	3632	4091.69
1773.16	1500	2732	3191.69
1273.16	1000	1832	2291.69
773.16	500	932	1391.69
673.16	400	752	1211.69
573.16	300	572	1031.69
473.16	200	392	851.69
373.16	100	212.0	671.69
273.16	0	32.0	491.69
233.16	- 40	- 40	419.69
173.16	- 100	- 148	311.69

الشكل () العلاقة بين الوحدات المختلفة لقياس درجة الحرارة.

مثال(4): حول الدرجة السيليزية 30° إلى درجة مطلقة كلفن وإلى درجة فهرنهايتية.

مثال(5): كم درجة مطلقة (كلفن) تعادل تدرج حرارة 176° فهرنهايتية؟

مثال(6): استنتج ما تعادله $95^{\circ}F$ ، $104^{\circ}F$ من الدرجات المطلقة كلفن، وراנקين.

ثانياً: حساب خطأ عدم المحاذة:

يعتمد حساب هذا النوع من الأخطاء على شكل أداة القياس ووضعها بالنسبة للقطعة المقاسة، لذلك سنأخذ بعض الأمثلة باستخدام أدوات قياس مختلفة.

1- عدم محاذاة مسطرة القياس للاتجاه الصحيح للبعد المطلوب قياسه

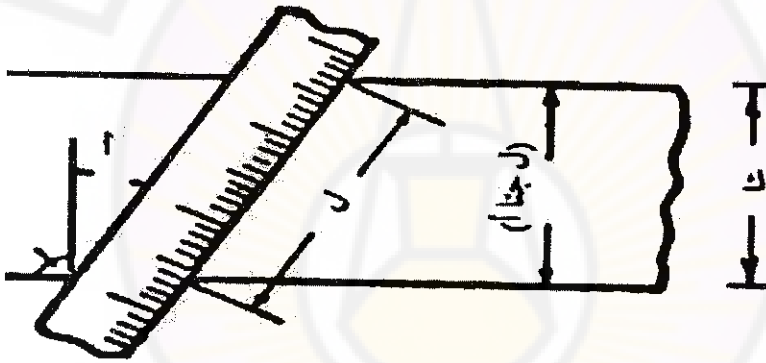
يحدث هذا الخطأ بسبب ميل مسطرة القياس على اتجاه القياس الصحيح بزاوية (أ) كما في الشكل (3-6) لذلك ينشأ خطأ (E) بين البعد الحقيقي (N) والبعد المقاس (L). وباستخدام التعاريف الأساسية للخطأ ولجيب تمام الزاوية (Φ أو أ)، يمكن استنتاج العلاقات التالية:

$$E = L - N$$

$$\cos \Phi = \frac{N}{L} \rightarrow N = L \cdot \cos \Phi$$

$$E = L - L \cdot \cos \Phi$$

$$E = L(1 - \cos \Phi)$$



الشكل (3-6) خطأ عدم المحاذاة عند استخدام المسطرة

فإذا كان الطول المقاس يساوي 150mm، وزاوية عدم المحاذاة تساوي 6° ، فإن الخطأ يكون:

$$E = L(1 - \cos \Phi) \\ = 150(1 - \cos 6^\circ) = 0.822mm$$

وبالتالي يصبح الطول الحقيقي N:

$$N = L - E$$

$$= 150 - 0.822 = 149.178mm$$

ويكون الخطأ النسبي E_R :

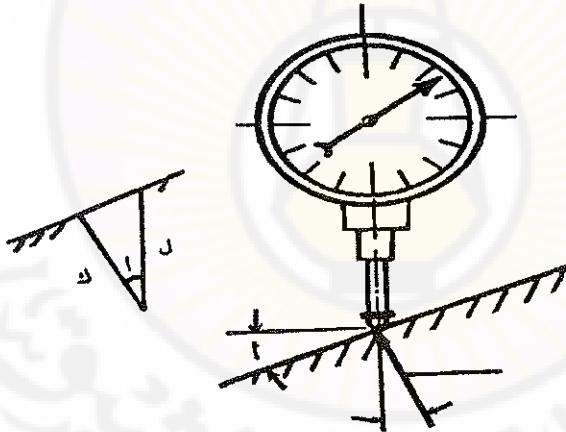
$$E_R = E/N$$

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

2- عدم المحاذة عند استخدام مبين القياس مائلاً على السطح المقاس يحدث هذا الخطأ عند استخدام مبين القياس دون مراعاة الاتجاه الصحيح للقياس كما في الشكل (4-6). ويمكن من الشكل استنتاج العلاقات السابقة نفسها بين الطول الحقيقي والطول المقاس وخطأ القياس، أي إن:

$$E = L - N$$

$$E = L(1 - \cos\phi)$$



الشكل (4-6) خطأ عدم المحاذة عند استخدام مبين القياس

3- عدم المحاذة عند استخدام ميكرومتر القياس الخارجي:

يقع هذا الخطأ إذا كان فك القياس للميكرومتر الخارجي غير متعامدين مع محور القطعة الأسطوانية المقاسة، كما في الشكل (5-6). والخطأ الناتج E في هذه الحالة يمكن تحديد قيمته من العلاقات التالية:

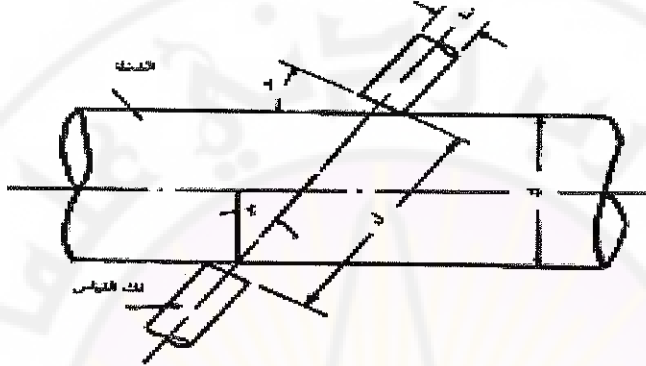
$$E = L(1 - \cos\Phi) + D \cdot \sin\Phi$$

حيث:

L : الطول المقاس.

Φ أو α : زاوية الحيود عن التعامد بين فكي القياس ومحور القطعة المقاسة.

D أو q : قطر فك القياس للميكرومتر.



الشكل (5-6) خطأ عدم المحاذة عند ميل فكي ميكرومتر القياس الخارجي على سطح القطعة المقاسة

6-7-2- الأخطاء العشوائية (الأخطاء العرضية أو أخطاء الصدفة):

هي أخطاء صغيرة القيمة عادة. وتبين التجربة أنها تحدث دائماً عند إجراء القياسات الدقيقة. فإذا كرر قياس دقيق ما عدة مرات، فإن النتائج تختلف دائماً بعضها عن بعض ضمن حدود دقة القياسات. وهذا هو السبب في أنه مهما عظمت الدقة والعناية المبذولة لتنفيذ القياس فإنه 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.

تُعرف الأخطاء العشوائية على أنها الأخطاء التي لا تخضع لأيّة علاقات قانونية معروفة، وتظهر نتيجة تأثير عوامل عفوية في عملية القياس مثل إهتزاز الجهاز أو تأثير المجالات المغناطيسية الخارجية أو التغيرات الفيزيولوجية في حواس القارئ. ويتم الكشف عنها عن طريق تكرار قياس كمية ما بجهاز القياس نفسه ومن أجل الظروف نفسها، ثم

تعيين الحدود التي يقع ضمنها الخطأ العشوائي، وتسمى هذه الحدود الحدود الحدية ويكون احتمال وقوعه ضمن هذه الحدود معروفاً.

عند استخدام القدمة مثلاً يمكن أن تتعدد القراءات للقيمة المقاسة نفسها بالرغم من إجراء القياس في الظروف نفسها. وقد نقوم بالتخمين لكي نتوقع مصادر هذه الأخطاء كاختلاف الضغط على القطعة المقاسة، أو لوجود بعض ذرات الغبار على سطحي القياس تختلف كميتها نتيجة لتكرار القياس ومن ثم تتغير القراءة، أو ربما يوجد خلل إلكتروني بسيط في شاشة القدمة الرقمية. وهكذا هناك احتمالات كثيرة ولكنها غير مؤكدة لأسباب حدوث الأخطاء العشوائية، ومن ثم فلا يمكننا حساب قيمة محددة لقيمة الخطأ العشوائي وعليه فقد أجريت العديد من الدراسات لإيجاد طرائق إحصائية التقدير، وليس لحساب قيمة الخطأ العشوائي والذي تم استبدال اسمه بالظنية أو بالشك لأن كلمة خطأ تعني قيمة محددة يمكن حسابها (كما تم حساب بعض الأخطاء النظامية)، أما الظنية فهي النطاق المحتمل لما نظن أنه الخطأ العشوائي. ولإيضاح مدلول الظنية نفرض أن القيمة التي تم تقديرها للظنية ($\pm 10\mu\text{m}$)، وحيث أن هذه القيمة تقديرية تحتمل الصواب والخطأ فهي لا تكفي وحدها لتحديد الظنية بل تصاحبها قيمة أخرى تسمى مستوى الموثوقية وتعطى في صورة نسبة مئوية، فإذا كانت هذه النسبة 99% مثلاً فهذا يعني أن احتمال صحة الحسابات التي أجريت لتقدير قيمة الظنية تساوي 99%، أي إن قيمة الخطأ العشوائي يحتمل ألا تزيد عن $+10\mu\text{m}$ ، وألا تقل عن $-10\mu\text{m}$ بنسبة 99% وبالتالي فهناك احتمال ضئيل (1%) أن تتعدى قيمة الخطأ العشوائي ($\pm 10\mu\text{m}$).

ويتم تقدير الظنية باستخدام أسلوب التحليل الإحصائي الذي يعتمد على إجراء القياس المطلوب لعدد معين من المرات في الظروف المحيطة نفسها. ويجب التأكيد على أن ضالة قيم الأخطاء النظامية أو نطاق الأخطاء العشوائية (الظنية)، لا يعني أنه يمكن إهمالها أو التجاوز عنها لأن هذا شيء نسبي يعتمد أساساً على التطبيق العملي الذي يتم القياس من أجله فإذا كان مدى التفاوت المسموح به كبيراً، فيمكن في هذه الحالة

التجاوز عن قيمة الخطأ، أما في التطبيقات التي تسمح بتفاوت محدود فيجب أن نحدد تماماً قيمة خطأ القياس، وقد يلزم أيضاً استخدام أجهزة قياس متطورة ذات دقة بالغة بدلاً من أدوات القياس التقليدية.

6-7-2-1- مصادر الأخطاء العشوائية:

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 القائص نفسه إلى ما هناك من متغيرات.

6-7-2-2- التوزيع الطبيعي للأخطاء العشوائية:

إن التوزيع الطبيعي لنتائج القياس أو لأخطاء القياس العشوائية يشبه إلى حد كبير منحنى غاوس الرياضي أو توزيع غاوس الموضح في الشكل (6-6). ومع أن لكل كمية عشوائية قانوناً خاصاً لتوزيع الاحتمالات، إلا أن غالبية الكميات العشوائية التي نصادفها في الحياة العملية ومنها الأخطاء العشوائية تتبع قانون غاوس. يمكن التعبير عن قانون غاوس بالعلاقة التالية:

$$y = \frac{1}{\sigma \cdot 2\pi} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}$$

y- تكرار القيمة المقاسة، أو تواتر ظهور الأخطاء العشوائية ذات القيمة δ .

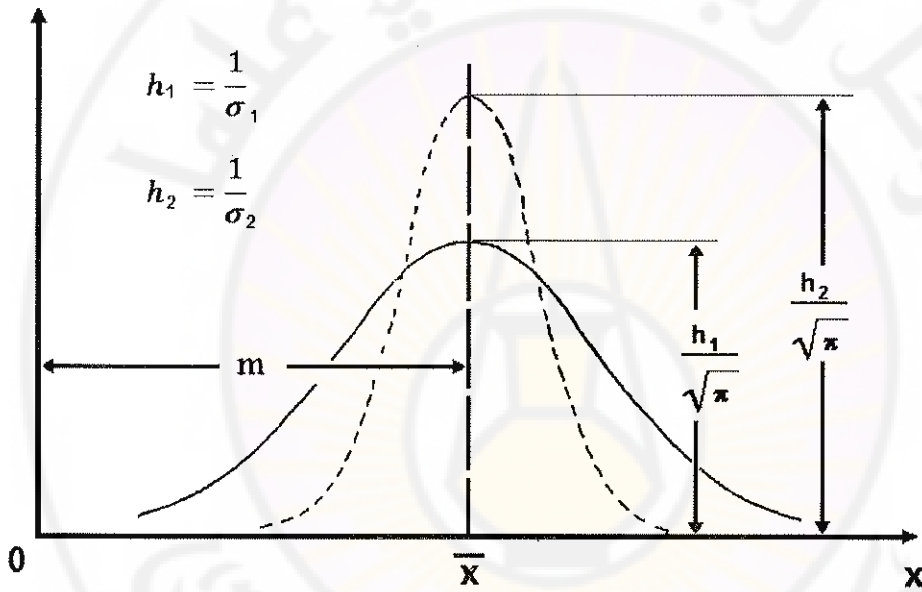
e- أساس اللوغاريتمات الطبيعية.

σ - الانحراف المعياري (جذر متوسط مربع أخطاء سلسلة من القياسات)

عندما يكون عدد القياسات (نتائج القياس، وعدد القراءات) قليلاً أي $n < 30$ فإن الانحراف المعياري يُعطى بالعلاقة:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_1^n \delta_i^2}{n-1}}$$

عندما يكون عدد القياسات (نتائج القياس) كبيراً أي $n > 120$ فإن الانحراف المعياري يُعطى بالعلاقة σ .



الشكل (6-6) منحنى التوزيع الطبيعي

يخضع منحنى التوزيع الطبيعي للقانون الأساسي التالي:

$$y = \frac{1}{\sigma \cdot 2\pi} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

حيث:

γ : التكرارية.

X : قيمة الكمية المقاسة.

σ : الانحراف المعياري.

μ : القيمة الحقيقية للكمية.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}{n}}$$

δ : يعبر عن قيمة سلسلة الأخطاء العشوائية المرتكبة في سلسلة من القياسات.

$$\delta_1 = x_1 - \bar{x}$$

$$\delta_2 = x_2 - \bar{x}$$

$$\delta_n = x_n - \bar{x}$$

مع العلم أن:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

وتقع قيمة الكمية المقاسة x في المجال: $-\infty < x < +\infty$

إن الانحراف المعياري هو المقياس الشائع الاستخدام لقياس التشتت في نتائج القياس الناتجة عن سلسلة قياسات معينة يتم إجراؤها على القيمة نفسها للكمية المقاسة. وتكون القيمة الحقيقية μ مجهولة وتوزع (تشتت) نتائج القياس حول هذه القيمة بالتساوي حسب منحنى غاوس. ويمكن تقدير قيمة الكمية الحقيقية μ من خلال إجراء عدد كبير n من القياسات للكمية نفسها:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{x}$$

x_i : القيم المقاسة فعلاً للكمية نفسها $i = 1, 2, 3 \dots n$

n: عدد مرات عمليات القياس الجارية على الكمية نفسها وفي الظروف نفسها.

6-7-2-3- أساسات الأخطاء العشوائية:

1- إن التوزيع الطبيعي للأخطاء العشوائية يمثل أحد القوانين المهمة للاحتمال، حيث تكون النتائج موزعة بالتساوي حول القيمة المتوسطة.

2- تعد المساحة تحت المنحني مساوية 1 (أي 100% من القياسات) أما المساحة المحصورة بين مستقيمين $x = a$ و $x = b$ ($a < b$)

فتمثل احتمال وقوع القيمة x بين القيمة a والقيمة b .

3- احتمال وقوع نتيجة أحد القياسات ضمن حدود انحراف معياري واحد σ أي: $\bar{x} - \sigma < x < \bar{x} + \sigma$ يساوي 68.27%.

أي أن 68.27% من القيم المقاسة تقع ضمن $\pm \sigma$

- احتمال وقوع نتيجة أحد القياسات ضمن حدود 2σ حول المتوسط الحسابي $\bar{x} \pm 2\sigma$ يساوي 95.45% من القيم المقاسة، أي إن 95.45% من النتائج تقع في المجال $\bar{x} \pm 2\sigma$.

- إن احتمال وقوع نتيجة قياس x بين الحدين $\bar{x} \pm 3\sigma$ يساوي 99.73% من القيم المقاسة. وعملياً لا يمكن أن تزيد قيمة الأخطاء العشوائية على $|3\sigma|$.

يطلق على الحدود $\pm \sigma$ ، $\pm 2\sigma$ ، $\pm 3\sigma$ أرتياب القياس المنفرد في سلسلة القياسات.

4- عندما يكون عدد نتائج القياس $n \rightarrow \infty$ فإن $x \rightarrow \mu$

وبما أن عدد مرات القياس لا يمكن أن يكون لا نهائياً، إذن توجد أخطاء متبقية يمكن أن تكون موجبة أو سالبة.

$$\Delta_1 = x_1 - \bar{x}$$

$$\Delta_2 = x_2 - \bar{x}$$

⋮

$$\Delta_n = x_n - \bar{x}$$

ويكون ناتج المجموع الجبري للأخطاء المتبقية معدوماً أي:

$$\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n = 0$$

عندما يكون عدد القياسات كبيراً بما فيه الكفاية يمكن عندها تطبيق جميع الافتراضات المتعلقة بالأخطاء العشوائية على الأخطاء المتبقية. ويكون المتوسط الحسابي لخطأ سلسلة من القياسات:

$$\theta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta_i|}{\sqrt{n(n-1)}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n-1}}$$

5- يوجد في نظرية الأخطاء العشوائية مفهومين مهمان هما:

1- الخطأ المحتمل لسلسلة من القياسات p .

2- الخطأ المحتمل الأعظمي لسلسلة من القياسات δ_{lim}

وترتبط كل من p , δ_{lim} مع σ بنسب عددية كما يلي:
مع العلم أن هذه القيم تجريبية:

$$p = \frac{2}{3} \sigma , \quad \delta_{lim} = 3\sigma , \quad \delta_{lim} = 4.5p$$

نستنتج من المعادلة أن جميع الأخطاء العشوائية المحتملة في سلسلة قياسات معينة، لا يمكن أن تزيد قيمتها المطلقة على 3σ عملياً.

6- في سلاسل القياسات الكبيرة جداً، تتوافر علاقة تجريبية تربط بين الانحراف المعياري σ والمتوسط الحسابي للخطأ θ :

$$\theta_2 = 0.7979 \cdot \sigma \approx \frac{4}{5} \sigma$$

الفرق بين θ_1 , θ_2 يمثل الأخطاء التي يمكن ضبطها ومعالجتها.

7- لتقدير دقة قياس ما، توجد في نظرية الأخطاء العشوائية صيغ يمكن تحديد الخطأ للنتيجة بوساطتها، وتكون أخطاء النتيجة عند ذلك تبعاً لهذه النظرية أقل بمقدار $\sqrt{n}$ مرة من الأخطاء المتوسطة لسلسلة القياسات المناظرة لها. ويكون الانحراف المعياري للنتائج هو:

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

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^n \Delta_i^2}{n(n-1)}}$$

أما الخطأ المحتمل للنتيجة فتكون قيمته مساوية: $R = 0.6745.S$

وهو الذي يستخدم لتقدير دقة نتائج القياس عادة.

والمتوسط الحسابي لخطأ النتيجة هو: $T = 0.7979.S$

وأكبر خطأ ممكن للنتيجة هو: $\lambda_{lim} = 3.S$

أي أن الأخطاء المتعلقة بسلسلة قياسات كمية ما تقابلها أخطاء محتملة في نتيجة القياس كما يلي:

$$\sigma = S\sqrt{n}$$

$$p = R\sqrt{n}$$

$$\theta = T\sqrt{n}$$

$$\delta_{lim} = \lambda_{lim}\sqrt{n}$$

إذاً يستخدم عادة الانحراف المعياري σ لتقدير دقة سلسلة قياسات لكمية ما، ويستخدم الخطأ المحتمل R لتحديد دقة نتيجة القياس.

8- تنطبق النتائج السابقة على القياسات المباشرة، ولكن أخطاء القياسات غير المباشرة تنشأ من أخطاء القياسات المباشرة.

لتحديد نتائج القياس غير المباشر نعوض نتائج القياسات المباشرة في العلاقة التي تربط بين نتائج القياسات المباشرة ونتائج القياسات غير المباشرة، وهذه العلاقة يمثلها التابع

$$FX = F(A, B, C \dots)$$

حيث:

X : قيمة الكمية المقاسة بطريقة غير مباشرة.
 $A, B, C \dots$: قيمة الكميات المقاسة بطريقة مباشرة.

يحسب خطأ نتيجة القياس غير المباشر بالعلاقة:

$$\xi = \left[\left(\frac{\partial X}{\partial A} \xi_A \right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial B} \xi_B \right)^2 + \dots \right]^{1/2}$$

$\frac{\partial X}{\partial A} \xi_A, \frac{\partial X}{\partial B} \xi_B \dots$: الأخطاء الجزئية للقياسات غير المباشرة للكمية $A, B, C \dots$.
 $\xi_A, \xi_B \dots$: أخطاء القياسات المباشرة.

8-6- التباين والانحراف المعياري:

التباين S^2 : هو مقياس لاختلاف البيانات وتشتتها، وهو متوسط مربعات انحرافات القيم عن وسطها الحسابي (مجموع مربعات الانحرافات للقيم عن وسطها الحسابي). ويحسب من الصيغة الرياضية الآتية:

$$s^2 = \left[\sum (X_i - \bar{X})^2 \right] / n$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

ويمكن القسمة على $(n-1)$ في حالة العينة وهو ما يعرف بالقيم الحرة أو درجات الحرية حيث القيمة المتبقية من n يمكن انحرافها عن الوسط الحسابي للصفر لأن مجموع انحرافات القيم عن وسطها يساوي الصفر.

$$s^2 = \left[\sum (X_i - \bar{X})^2 \right] / (n - 1)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

أما في حالة المجتمع فنستخدم الصيغة الرياضية الآتية:

$$\sigma^2 = \left[\sum (X_i - \mu)^2 \right] / n$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

حيث:

s^2 : تباين العينة.

σ^2 : تباين المجتمع.

يتعامل التباين مع مربع الانحراف عن الوسط وهذا يعطي قياساً مغايراً لا معنى له مثل مربع الكيلوغرام أو مربع الليرة، ولذا يفضل إرجاع ذلك بأخذ الجذر التربيعي للمعنى المقبول مثل الكيلوغرام والليرة وما إلى ذلك من وحدات، وهذا الجذر التربيعي هو الانحراف المعياري لعينة ما.

الانحراف المعياري: هو الجذر التربيعي لمجموع مربعات الانحرافات للقيم عن وسطها الحسابي، أي إن الانحراف المعياري هو الجذر التربيعي للتباين. يقاس التباين بالوحدات المربعة وليس بوحدات المتغير، أما الانحراف المعياري فيقاس بوحدات المتغير نفسها. الانحراف المعياري هو أفضل مقاييس التشتت وأشهرها استخداماً بالرغم من صعوبة حساباته في حال كبر حجم العينة ولكن الحاسب الآلي سهّل هذه الصعوبة.

تستخدم الصيغ الرياضية السابقة لحساب الانحراف المعياري سواء S للعينة أو σ للمجتمع.

معامل الاختلاف: هو النسبة المئوية بين الانحراف المعياري والوسط الحسابي وبالتالي لا يعتمد على وحدات المتغير الأصلي، إذ يمكن استخدامه لمجموعتين مختلفتين في الوحدات، ويستخدم لمقارنة التشتت بين مجموعتين (المتغيرات النفسية) وذلك للاختلاف الواضح في

الوسط الحسابي لمجموعتين من حيث القيمة (صغر الوسط الحسابي في المجموعة الأولى في مقابل كبره في المجموعة الثانية). ويحسب من الصيغة الرياضية الآتية:
معامل الاختلاف = (الانحراف المعياري ÷ الوسط الحسابي) . 100

$$m_d = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$$

حيث:

m_d : معامل الاختلاف.

6-8-1- طرائق حساب الانحراف المعياري:

أولاً: طرق حساب الانحراف المعياري من البيانات غير المبوبة

مثال: احسب التباين والانحراف المعياري للقيم 12، 15، 11، 17، 18، 20، 19.

الحل: نكون جدول المعلومات التالي:

$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})$	X_i
16	$12 - 16 = -4$	12
1	$15 - 16 = -1$	15
25	$11 - 16 = -5$	11
1	$17 - 16 = 1$	17
4	$18 - 16 = 2$	18
16	$20 - 16 = 4$	20
9	$19 - 16 = 3$	19
$\sum (X_i - \bar{X})^2 = 72$	$\bar{X} = 112/7 = 16$	$\sum X_i = 112$

نحسب التباين من القانون أعلاه:

$$S^2 = \left[\sum (X_i - \bar{X})^2 \right] / (n - 1)$$

$$= 72/6 = 12$$

الانحراف المعياري يساوي الجذر التربيعي للتباين أي:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{12} = 3.46$$

حل آخر باستخدام القيم دون الوسط الحسابي بعد وضع القانون أعلاه في صورة جديدة كما يأتي:

$$S^2 = \left[\sum (X_i - \bar{X})^2 \right] / (n - 1)$$

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 = \sum (X_i^2 - 2X_i\bar{X} + (\bar{X})^2)$$

وبما أن $2\bar{X}$ عبارة عن ثابت، إذن:

$$2X_i\bar{X} = 2\bar{X} \sum X_i$$

بالتعويض نجد:

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 = \sum (X_i^2) - 2\bar{X} \sum (X_i) + \sum (\bar{X})^2$$

وبما أن:

$$\bar{X} = \sum (X_i) / n \Rightarrow \sum (X_i) = n \bar{X}$$

$$\sum (\bar{X})^2 = n(\bar{X})^2$$

وبالتعويض نجد:

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 = \sum (X_i^2) - 2n(\bar{X})^2 + n(\bar{X})^2$$

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 = \sum (X_i^2) - n(\bar{X})^2$$

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 = \sum (X_i^2) - \left(\sum X_i \right)^2 / n$$

وبالتعويض في المعادلة التالية:

$$S^2 = \left[\sum (X_i - \bar{X})^2 \right] / (n - 1)$$

نحصل على المعادلة (1) التالية:

$$S^2 = \left[\sum (X_i^2) - \left(\sum X_i \right)^2 / n \right] / (n - 1)$$

أو نحصل على المعادلة (2) التالية:

$$S^2 = \left[\sum (X_i^2) - n\bar{X}^2 \right] / (n - 1)$$

الجدول التالي هو تعديل للجدول السابق:

X_i^2	X_i
144	12
225	15
121	11
289	17
324	18
400	20
361	19
$\sum X_i^2 = 1864$	$\sum X_i = 112$

بتطبيق المعادلة (1) نحصل على التباين:

$$S^2 = \left[\sum (X_i^2) - \left(\sum X_i \right)^2 / n \right] / (n - 1)$$

$$S^2 = [1864 - (112)^2/7]/(7 - 1)$$

$$S^2 = [1864 - 1792]/6 = 72/6 = 12$$

الانحراف المعياري هو الجذر التربيعي للتباين أي:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{12} = 3.46$$

أو بتطبيق المعادلة (2):

$$S^2 = [\sum (X_i^2) - n\bar{X}^2]/(n - 1)$$

$$S^2 = [1864 - 7(16)^2]/(7 - 1)$$

$$S^2 = [1864 - 1792]/6$$

التباين:

$$S^2 = 12$$

ومنه يحسب الانحراف المعياري:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{12} = 3.46$$

ثانياً: حساب الانحراف المعياري من البيانات المبوبة

سنبين ذلك من خلال المثال التالي وكما ورد في المثال السابق من طريقتين إحداها باستخدام الوسط الحسابي (الطريقة المطولة) والأخرى من دون الوسط الحسابي (الطريقة المختصرة)، وبالتالي سيكون لدينا الصيغ الرياضية الآتية للتباين والانحراف المعياري للبيانات المبوبة:

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$S^2 = \frac{\sum f_i X_i^2 - \frac{(\sum f_i X_i)^2}{n}}{n - 1}$$

$$S^2 = \frac{\sum f_i (X_i - \bar{X})^2}{\sum f_i}$$

$$S^2 = \frac{\sum f_i X_i^2}{\sum f_i} - \left[\frac{\sum f_i X_i}{\sum f_i} \right]^2$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i X_i^2 - \frac{(\sum f_i X_i)^2}{n}}{n - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i (X_i - \bar{X})^2}{\sum f_i}}$$

$$\text{المعادلة (3)} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i X_i^2}{\sum f_i} - \left[\frac{\sum f_i X_i}{\sum f_i} \right]^2}$$

صيغة الوسط الفرضي:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i D_i^2}{n} - \left[\frac{\sum f_i D_i}{n} \right]^2} \times I$$

حيث:

I - طول الفئة.

D - الانحراف عن الوسط الفرضي وهو القيمة التي في مركز الفئة التي تقابل أكبر تكرار.

f_i - التكرار.

وتكون نتائج الانحرافات أعداداً صحيحة.

مثال:

احسب التشتت باستخدام الانحراف من جدول التوزيع التكراري الآتي والذي يبين درجات 30 طالباً في امتحان ما.

الفئات	12 - 14	15 - 17	18 - 20	21 - 23	24 - 26	Total
التكرار	3	8	10	7	2	30

الحل:

نكون الجدول الشامل للبيانات المطلوبة للصيغ الرياضية الخاصة بالانحراف المعياري:

الفئات	f_i	X_i	$f_i X_i$	X_i^2	$f_i X_i^2$
12 - 14	3	13	39	169	507
15 - 17	8	16	128	256	2048
18 - 20	10	19	190	361	3610
21 - 23	7	22	154	484	3388
24 - 26	2	25	50	625	1250
Total	30		561	1895	10803

نحسب الانحراف المعياري باستخدام المعادلة الرياضية التالية:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i X_i^2 - \frac{(\sum f_i X_i)^2}{n}}{n - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{10803 - \frac{(561)^2}{30}}{30 - 1}}$$

$$\sigma = 3.28$$

إذاً الانحراف المعياري يساوي 3.28

لحساب الانحراف المعياري يمكن استخدام الصيغة (2) أعلاه كما يلي:
نكوّن الجدول الشامل للبيانات المطلوبة للصيغ الرياضية الخاصة بالانحراف المعياري.

$f_i(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})$	$f_i X_i$	X_i	f_i	الفئات
97.47	32.49	-5.7	39	13	3	12 - 14
58.32	7.29	-2.7	128	16	8	15 - 17
0.90	0.09	0.3	190	19	10	18 - 20
76.23	10.89	3.3	154	22	7	21 - 23
79.38	39.69	6.3	50	25	2	24 - 26
312.3	90.45		561		30	Total

وباستخدام الصيغة (2) أعلاه نجد أن:

$$\bar{X} = 561/30 = 18.7$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i(X_i - \bar{X})^2}{\sum f_i}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{312.3}{30}} = 3.23$$

أي إن الانحراف المعياري يساوي 3.23 كما هو مطابق للحلين الآخرين أدناه.

ويمكن حساب الانحراف المعياري باستخدام الصيغة (3) أعلاه، وبالاعتماد على الجدول التالي كما يلي:

$$\bar{X} = 561/30 = 18.7$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{f_i X_i^2}{f_i} - \left[\frac{\sum f_i X_i}{\sum f_i} \right]^2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{10803}{30} - \left[\frac{561}{30} \right]^2} = 3.23$$

الجدول الشامل للبيانات المطلوبة للصيغ الرياضية الخاصة بالانحراف المعياري:

$f_i X_i^2$	X_i^2	$f_i X_i$	X_i	f_i	الفئات
507	169	39	13	3	12 – 14
2048	256	128	16	8	15 – 17
3610	361	190	19	10	18 – 20
3388	484	154	22	7	21 – 23
1250	625	50	25	2	24 – 26
10803		561		30	Total

الحل باستخدام الوسط الفرضي:

من مركز الفئة، نلاحظ أن العدد 19 هو المقابل لأكبر تكرار (10).

يمكن استخدام صيغة الوسط الفرضي أعلاه لحساب الانحراف المعياري كما يلي:

تكوّن الجدول الشامل للبيانات المطلوبة للصيغ الرياضية الخاصة بالانحراف المعياري:

$f_i(D_i+1)^2$	$f_i D_i^2$	$f_i D$	$D=(19-X_i)/3$	$19 - X_i$	X_i	f_i	Interval
3	12	-6	-2	-6	13	3	12 - 14
0	8	-8	-1	-3	16	8	15 - 17
10	0	0	0	0	19	10	18 - 20
28	7	7	1	3	22	7	21 - 23
18	8	4	2	6	25	2	24 - 26
59	35	-3		0		30	Total

وباستخدام صيغة الوسط الفرضي أعلاه نجد أن:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\frac{\sum f_i D_i^2}{n} - \left(\frac{\sum f_i D_i}{n}\right)^2} \times I \\ &= \sqrt{\frac{35}{30} - \left(\frac{-3}{30}\right)^2} \times 3 \\ &= \sqrt{1.1667 - 0.01} \times 3 = 3.23\end{aligned}$$

تنويه:

- (1) يمكن الاستغناء عن العمود الرابع من اليسار لكون العمود الخامس ثابتاً للوسط الفرضي المختار من مركز الفئات.
- (2) توجد معادلة للتأكد من صحة العملية الحسابية السابقة وهي:

$$\sum f_i(D_i + 1)^2 = \sum f_i D_i^2 + 2 \sum f_i D + n$$

من العمود الأخير:

$$\sum f_i(D_i + 1)^2 = 59$$

$$\sum f_i D_i^2 + 2 \sum f_i D + n = 35 - 6 + 30 = 59$$

9-6- تطبيقات:

9-6-1- مسألة (1):

عند تكرار قياس القطر الداخلي لأسطوانة ما باستخدام ميكرومتر خارجي، فقد تم تدوين مجموعة القراءات التالية المبينة في الجدول (1-6) والمطلوب:

- 1- أوجد المتوسط الحسابي لمجموعة نتائج القياس.
- 2- أوجد الانحراف المعياري لنتائج القياس.
- 3- أوجد الخطأ المعياري لنتائج القياس.
- 4- ارسم مضلع التكرار لنتائج القياس.
- 5- ارسم منحنى التوزيع الطبيعي.
- 6- أوجد الأخطاء الحدية (حدود الثقة) لنتائج القياس.

الحل:

1- إيجاد المتوسط الحسابي:

تم تدوين كل قراءة وبجانبها عدد المرات (التكرار) التي تكررت خلالها هذه القراءة وبالتالي:

$$\text{المتوسط الحسابي للبعد المقيس} = \frac{\text{مجموع (جداء كل قراءة بعدد مرات تكرارها)}}{\text{عدد مرات التكرار}}$$

$$\bar{x} = \frac{\Sigma(Fx)}{\Sigma F}, \quad \Sigma F = 166$$

$$\Sigma(Fx) = 996.988 \text{ mm}$$

$$\bar{x} = \frac{996.988}{166} = 6.00595 \text{ mm}$$

2- إيجاد الانحراف المعياري σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum F(x - \bar{x})^2}{\sum F}}$$

$$= \sqrt{\frac{43.37 \times 10^{-5}}{166}} = 1.61 \cdot 10^{-3}$$

إن قيمة الانحراف المعياري هذه تعني أنه لو أخذنا أي نتيجة قياس فإن احتمال وقوعها بين الحدين $\bar{x} + \sigma$ و $\bar{x} - \sigma$ أي بين (6.00756mm ، 6.00434mm) يساوي 68.3%.

نستخدم معادلة التكرار y لرسم المنحني الطبيعي، ونحسب عدة قيم ل y بدلالة x :

$$y = \frac{1}{\sigma \cdot 2\pi} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

نعوض قيم x في هذه المعادلة ثم نوجد قيم y المقابلة لها ثم نرسم منحني التوزيع الطبيعي كما هو مبين في الشكل (7-6).

3- إيجاد الخطأ المعياري:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

حيث:

$\sigma_{\bar{x}}$ - الخطأ المعياري.

σ - الانحراف المعياري.

N - عدد القراءات.

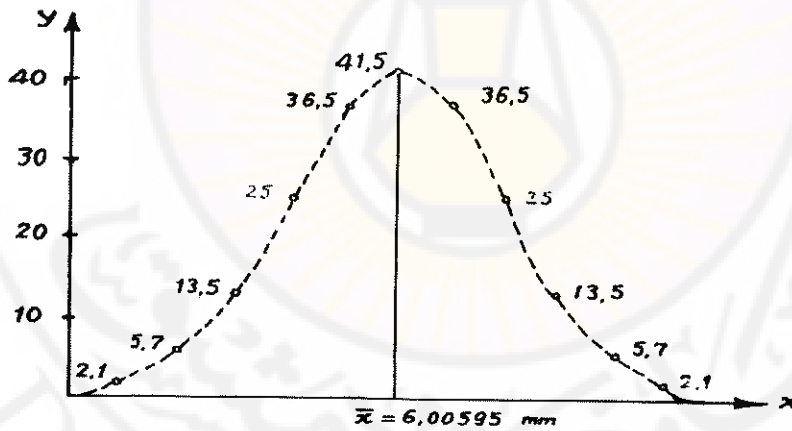
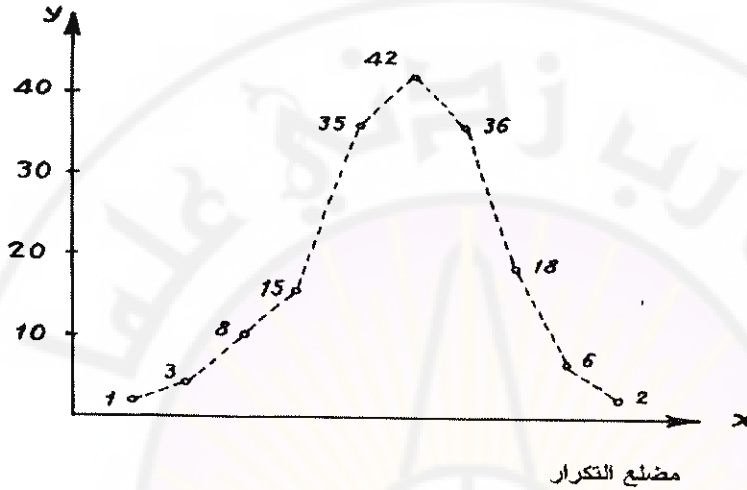
يمكن كتابة النتيجة في هذه الحالة لقطر الأسطوانة الداخلي D :

$$D = \bar{x} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$$

هذا يعني أن احتمال وقوع المتوسط الحسابي $\bar{x} = 6.00595 \text{ mm}$ بين $\bar{x} + \sigma_{\bar{x}}$ و $\bar{x} - \sigma_{\bar{x}}$ يساوي 68.3%.

4- المضلع التكراري لنتائج القياس موضح في الشكل (7-6).

5- منحنى التوزيع موضح بالشكل (7-6).



الشكل (7-6) منحنى التوزيع الطبيعي

6- إيجاد الأخطاء الحدية (حدود الثقة):

نعوض قيمة الانحراف المعياري في القيم التالية:

$$\pm \sigma = \pm 1.61 \cdot 10^{-3}$$

$$\pm 2\sigma = \pm 3.22 \cdot 10^{-3}$$

$$\pm 3\sigma = \pm 4.83 \cdot 10^{-3}$$

إن أفضل طريقة لتدوين نتائج القياس يبينها الجدول (1-6)، حيث يبين القيم التالية:

- 1- القطر x يمثل نتائج القياس الفعلية التي تم الحصول عليها.
- 2- التكرار F يمثل عدد مرات تكرار النتيجة نفسها، مثلاً تم الحصول على القيمة 6.009 بتكرار القياس 6 مرات.
- 3- القيمة $F \cdot x$ تمثل جداء القطر المقاس بعدد مرات التكرار.
- 4- الفرق بين القطر المقاس والقيمة الوسطية لهذا القطر تمثل بـ $(x - \bar{x})$.
- 5- مربع الفرق السابق (مربع خطأ القياس) تمثل بـ $(x - \bar{x})^2$.
- 6- جداء التكرار بمربع خطأ القياس يمثل بـ $F \cdot (x - \bar{x})^2$.

الجدول (1-6) نتائج القياس

القطر x mm	التكرار F	$F \cdot x$ mm	$(x - \bar{x})$ mm	$(x - \bar{x})^2$	$F \cdot (x - \bar{x})^2$
6.01	2	12.02	$4.05 \cdot 10^{-3}$	$1.64 \cdot 10^{-5}$	$3.28 \cdot 10^{-5}$
6.009	6	36.054	$3.05 \cdot 10^{-3}$	$9.30 \cdot 10^{-6}$	$5.58 \cdot 10^{-5}$
6.008	18	108.144	$2.05 \cdot 10^{-3}$	$4.20 \cdot 10^{-6}$	$7.56 \cdot 10^{-5}$
6.007	36	216.252	$1.05 \cdot 10^{-3}$	$1.10 \cdot 10^{-6}$	$3.96 \cdot 10^{-5}$
6.006	42	252.252	$0.05 \cdot 10^{-3}$	$2.00 \cdot 10^{-9}$	$0.01 \cdot 10^{-5}$
6.005	35	210.175	$-0.95 \cdot 10^{-3}$	$9.02 \cdot 10^{-7}$	$3.16 \cdot 10^{-5}$
6.004	15	90.06	$-1.95 \cdot 10^{-3}$	$3.80 \cdot 10^{-6}$	$5.7 \cdot 10^{-5}$
6.003	8	48.024	$-2.95 \cdot 10^{-3}$	$8.70 \cdot 10^{-6}$	$6.96 \cdot 10^{-5}$
6.002	3	18.006	$-3.95 \cdot 10^{-3}$	$1.56 \cdot 10^{-5}$	$4.68 \cdot 10^{-5}$
6.001	1	6.001	$-4.95 \cdot 10^{-3}$	$2.45 \cdot 10^{-5}$	$2.45 \cdot 10^{-5}$
	166	996.988			$43.34 \cdot 10^{-5}$

2-9-6- مسألة (2):

تم قياس القطر الخارجي لأسطوانة 25 مرة أي $n = 25$ باستخدام قدمة القياس ذات الورنية، وكانت نتائج القياس كما يلي:

14.6	14.9	14.6	14.9	14.6	14.8
14.9	14.7	14.8	14.9	14.8	14.8
14.9	14.8	14.7	14.6	14.6	14.7
14.9	14.8	14.7	14.9	14.7	14.8
14.7mm					

المطلوب :

- 1- إيجاد المتوسط الحسابي لنتائج القياس.
- 2- الانحراف المعياري لقياس واحد في سلسلة القياسات.
- 3- الارتياح في القياس الواحد باحتمال 99.73%.
- 4- إذا استخدم أحد العاملين هذه القدمة لقياس البعد السابق وكانت نتيجة القياس 14.7mm، أوجد النتيجة المصححة للقياس.

الحل :

1- المتوسط الحسابي لنتائج القياس:

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n} = \frac{14.6 + 14.9 + \dots + 14.7}{25} = 14.77 \text{ mm}$$

- 2- بما أن عدد مرات القياس أقل من 30 ($n < 30$)، إذاً يحسب تقدير الانحراف المعياري من المعادلة:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n-1}}$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(14.9 - 14.77)^2 + (14.6 - 14.77)^2 + \dots (14.7 - 14.77)^2}{25 - 1}}$$

$$\sigma_i = 0,102$$

3- ترتيب القياس الواحد باحتمال 99,73% يساوي:

$$\pm 3 \sigma_1 = \pm 3(0.102) = \pm 0.306$$

4- إن القيمة 14.7mm تمثل النتيجة غير المصححة للقياس، ومن الاستنتاجات التي توصلنا إليها يكون معلوماً أن الترتيب الواحد باحتمال 99.73% يساوي ± 0.306 وبذلك تكون النتيجة المصححة لهذا القياس الواحد هي:

$$D = 14.7 \pm 0.306mm$$

ملاحظة (1): إذا استخدم عامل آخر القدمة نفسها لقياس البعد نفسه وأجرى 9 قياسات كانت نتيجهتها كما يلي:

$$14.7, 14.6, 14.8, 14.6, 14.8, 14.7, 14.9, 14.6, 14.8$$

وبذلك تكون النتيجة غير المصححة للقياس:

$$\bar{x} = \frac{14.7 + 14.6 + \dots 14.8}{9} = 14.64mm$$

وتكون النتيجة المصححة للقياس:

$$D = 14.64 \pm \frac{3(0.102)}{\sqrt{9}}$$

$$= 14.64 \pm 0.102mm$$

ملاحظة (2): إذا تبين نتيجة المعايرة أن الأخطاء النظامية هي 0.02mm فيجب تصحيح النتيجة مرة أخرى كما يلي:

$$D = (14.7 - 0.02 \mp 0.306)mm$$



تمارين:

(1) قطعة مصنوعة من الفولاذ درجة حرارتها تساوي 30°C ، تم قياسها في مختبر القياسات ولم تترك الوقت الكافي لتتساوى درجة حرارتها مع درجة حرارة جهاز القياس 20°C . فإذا كان الطول المقاس للقطعة يساوي 500.0288mm ، احسب الطول الحقيقي للقطعة المقاسة، وخطأ القياس الناتج في هذه الحالة، علماً أن معامل التمدد الحراري الطولي للفولاذ يساوي $[1/^{\circ}\text{C}] \cdot 11.5 \cdot 10^{-6}$.

الجواب: (500mm , 0.0288mm)

(2) قطعة مصنوعة من الألومنيوم طولها الحقيقي يساوي 300mm ، تم قياسها في مختبر القياسات ولم تترك الوقت الكافي لتتساوى درجة حرارتها مع درجة حرارة جهاز القياس 20°C . فإذا كان خطأ القياس الناتج من اختلاف درجات الحرارة يساوي 0.0966mm ، احسب الطول الفعلي للقطعة، ودرجة حرارة القياس، علماً أن معامل التمدد الحراري الطولي للألومنيوم يساوي $[1/^{\circ}\text{C}] \cdot 23 \cdot 10^{-6}$.

الجواب: (34°C , 300.0966mm)

(3) عمود قطره الحقيقي 10cm ، تم استخدام ميكرومتر قياس خارجي للتأكد من قيمة هذا القطر. فإذا كانت هناك زاوية ميل بين محور العمود وسطحي فكي القياس 8° أثناء القياس، وقطر فك القياس يساوي 5mm ، احسب قيمة الخطأ الناتج والطول المقاس وكذلك الخطأ النسبي.



الفصل السابع

مدخل إلى ضبط الجودة

Quality Control

مقدمة:

إن تحرير التجارة العالمية وخلق مناطق للتبادل الحر، وهيمنة التكتلات الاقتصادية على الساحة الدولية كالاتحاد الأوروبي، والسوق الأمريكية المشتركة، وتكتل جنوب شرق آسيا وغيرها. جعلت من العالم قرية صغيرة تزداد فيها حدة المنافسة بين المؤسسات لتحقيق مزايا يتفوق فيها بعضها على الآخر.

ومن هذا المنطلق أصبح الاهتمام بالجودة غاية في الأهمية، إذ تعد سلاحاً استراتيجياً، وأحد الأساليب التنافسية التي تسعى المؤسسات لتحقيقها بغرض المنافسة والتميز في الأسواق العالمية، وعليه فإن مهمة أي مؤسسة هي استقطاب المستهلكين والوفاء باحتياجاتهم وتلبية رغباتهم، ومنه فإن بقاء المؤسسة واستمراريتها مرتبط بمفاهيم الجودة، ولهذا فقد اتخذت العديد من التدابير المعبرة عن ذلك من خلال منظمات دولية ولعل من أبرزها المنظمة الدولية للتقييس ISO، والتي أصدرت سلسلة من المواصفات لتوكيد الجودة، والتي تمثل قاسماً مشتركاً للجودة المقبولة عالمياً.

1-7- مفهوم الجودة:

إذا أردنا التحدث عن الجودة بصورة عامة ومحاولة إيجاد مفهوم يعبر عن هذا المصطلح سنجد أنه يحتمل العديد من الأفكار والتوضيحات، فالجودة عبارة عن مجموعة من الخصائص التي يتمتع بها المنتج أو الخدمة تؤثر في قدرته على تلبية الحاجات المعلنة والضمنية من استخدامه، وهذه الخصائص تتغير حسب الوقت وبالتالي لا بد من المراجعة المستمرة لمتطلبات الجودة وهذه المتطلبات عادة ما يتم ترجمتها إلى خصائص ومعايير فهناك من قال أن الجودة هي:

– عمل الأشياء بطريقة صحيحة من المرة الأولى، وبطريقة أفضل في المرة التالية.

- إن الجودة قد يتسع مداها لتشمل جودة العمل والخدمة والمعلومات والتشغيل والنظام وجودة عمل الموظفين وجودة الشركة وغير ذلك، مما يجعل مناظرة الجودة وأبعادها المتعددة من الأدوات الأساسية لتحقيق الأهداف المنشودة. (العالم إيشيكاوا).
- إن الجودة تعني التخلص من العيوب، بمعنى أن معدل الأخطاء يجب أن يكون قليلاً جداً سواء في تصميم المنتج أم في الخدمة، أم في تقليل إعادة العمل الخاطئ ونسبة معدلات التفتيش. (العالم جوران)
- مدى ملائمة المنتج أو الخدمة للاستخدام. (العالم جوران)
- الجودة هي عبارة عن تخفيض مستمر للخسائر وتحسين مستمر للعمل في جميع النشاطات. (العالم إدوارد ديمينغ)
- التطابق مع الاحتياجات والمواصفات. (العالم كروسي)
- الجودة وفق تعريف المنظمة الأوروبية للسيطرة النوعية (EOQC) والجمعية الأمريكية لضبط الجودة (ASQC) هي: المجموع الكلي للمزايا والخصائص التي تؤثر في قدرة المنتج أو الخدمة على تلبية حاجات معينة.
- الجودة هي مجمل الصفات والخصائص لمنتج أو خدمة، والتي تظهر مدى قدرة هذا المنتج أو هذه الخدمة على الوفاء بمتطلبات محدد أو مفترضة من هذا المنتج أو هذه الخدمة. وكما يتضح من التعريف أن الجودة لا تخص فقط المنتجات بأنواعها المتعددة، وإنما تشمل أيضاً الخدمات المختلفة كالخدمات الصحية والفندقية والتعليمية وإلى غير ذلك من الخدمات والتي أدت المنافسة بين الجهات التي تُقدمها إلى رغبة العميل المتزايدة في الحصول على تلك الخدمات بصورة جيدة.
- وعرفها أرماند فيخبوم بأنها: الرضا التام للعميل.
- وقد تضمنت المواصفة القياسية الدولية لمصطلحات الجودة إصدار عام 1994 تعريفاً للجودة باعتبارها: مجموعة الخواص والخصائص الكلية التي يحملها المنتج أو الخدمة وقابليتها لتحقيق الاحتياجات والرضا التام للزبون أو المطابقة للغرض.

- وتعرّف الجودة حسب مضمون المواصفة القياسية ISO9000 لعام 2000 بأنها: مجموعة الصفات المميزة للمنتج (أو النشاط، أو العملية، أو المؤسسة أو الشخص) التي تجعله ملبياً للحاجات المعلنة والمتوقعة أو قادراً على تلبيتها.

7-2- المفاهيم الأساسية للجودة:

نظام الجودة: يقصد به الهيكل التنظيمي والواجبات والمسؤوليات والإجراءات وأساليب العمل اللازمة لتنفيذ إدارة الجودة. ويجب أن يكون نظام إدارة الجودة شاملاً لكل العناصر التي تؤثر في الجودة.

ضبط الجودة: هو جميع الأساليب الفنية والتنفيذية والأنشطة والجهود التي يبذلها جميع العاملين بالمنشأة، والتي تتضافر لتحقيق المستويات القياسية المنشودة للجودة.

إدارة الجودة الشاملة: هو عبارة عن نظام إداري وفني متكامل يغطي جميع مراحل النشاط الصناعي بدءاً من التخطيط وانتهاءً بمتابعة أداء المنتج ورضا العميل مروراً بمراحل التصنيع والتفتيش والتركيب وخدمة ما بعد البيع. لكن أفضل تعريف لإدارة الجودة الشاملة هو تضافر كل الجهود داخل المؤسسة الإنتاجية أو الخدمية بهدف تحسين الأداء تحسناً مستمراً لإرضاء المستهلك.

مسؤولية الجودة: هي مسؤولية جميع العاملين في المنشأة في جميع الأنشطة بداية من التسويق والتصميم وشراء المواد الخام والانتاج والتفتيش والاختبار والتغليف والتخزين والبيع ومعرفة انطباع المستهلكين عن جودة المنتجات المقدمة إليهم، أي التزام كل من المنتج والبائع بتقديم أداء جيد للمنتجات بسعر مناسب لإرضاء المستهلك.

توكيد الجودة: هو جميع الأنشطة المخططة والنظامية المطبقة داخل الشركة لتوفير الثقة الكافية في تحقيق متطلبات الجودة، ويتطلب ذلك التقييم المستمر للأداء والمراجعات على عمليات الإنتاج والتركيب والفحص.

تكاليف الجودة: هي اللغة المفهومة للإدارة العليا في الشركات وتنقسم إلى: تكاليف ضبط الجودة؛ أي تكاليف الوقاية والتقييم والقياس، وتكاليف الإخفاق الداخلي والإخفاق الخارجي في ضبط الجودة. إن تكاليف الإخفاق هي الناتجة من استبعاد أجزاء

المنتج التي تحتوي عيوباً، وإعادة التصنيع من أجل تحسين الجودة، إذ إن هذه الكلفة تتمثل بالوقت والمواد الأولية واستهلاك الآلات والجهد البشري. أما تكاليف القياس فهي تتمثل بتكاليف التفتيش والفحص والاختبار والنفايات الأخرى مثل الوقت وآلات الفحص وغيرها. أما تكاليف الوقاية فهي التي تنفق في سبيل منع الأخطاء قبل وقوعها مثل نفقات أنظمة الرقابة والتدريب وتدقيق التصميم ومراجعته وغيرها.

الضبط الشامل للجودة: هو نظام فعال شامل لجميع عناصر الجودة لمختلف أقسام المصنع لكي يتمكن من إنتاج المنتجات على أقصى مستوى اقتصادي ممكن، والذي يحقق تماماً رضا المستهلك.

وثوقية المنتج: هي مقياس لمقدرة المنتج على أداء الوظيفة المطلوبة منه بنجاح في ظروف الاستعمال العادية ولمدة محدودة، ويعبر عن هذا المقياس بالاحتمال.

ثقافة الجودة: هي مجموعة من القيم ذات الصلة بالجودة التي يتم تعلمها بشكل مشترك من أجل تطوير قدرة المؤسسة على مجابهة الظروف الخارجية التي تحيط بها وعلى إدارة شؤونها الداخلية.

لقد أكد مؤسسو علم الجودة، "ديمينغ وكروسبي" في مؤلفاتهم أهمية بناء ثقافة الجودة، كشرط مسبق لا بد منه، كي تنجح المؤسسات في مساعيها لتحسين الجودة. ويُعدّ بناء ثقافة الجودة الملائمة للمؤسسة أمراً حيوياً لتطورها.

معيار الجودة: المعيار هو وثيقة تصدر نتيجة إجماع يحدد المتطلبات التي يجب أن يفي بها منتج ما أو عملية أو خدمة وتصادق عليها جهة معترف بها. فعلى مستوى الشركة يكون الهدف الأساسي من توحيد المعايير هو زيادة ربحية الشركة. أما على المستوى الدولي فيكون الهدف الأساسي هو ترويج التجارة بين البلدان وإزالة العوائق الفنية التي تقف في وجه التجارة وحماية الصحة والسلامة والبيئة في الوقت الذي يحدد فيه معيار المنتج المتطلبات التي يجب توافرها ليكون المنتج صالحاً للاستخدام.

مراقبة الجودة: تشمل مطابقة البضائع والخدمات للمقاييس المحددة للجودة. تحتاج الشركات لهذه المطابقة لتجنب تسليم بضائع دون المستوى لعملائها. وإلتزام هذا القياس

بنجاح فإن الشركات تستخدم أجهزة مختلفة للقياس والمراقبة (الفحص المرئي، وحساسات إلكترونية، والإنسان الآلي، وأشعة إكس...) في كل مرحلة من مراحل الإنتاج.

7-3- أسباب اهتمام المؤسسات بمفاهيم الجودة وعوائق تطبيقها:

7-3-1- أسباب اهتمام المؤسسات بمفاهيم الجودة.

تسعى المؤسسات إلى تطبيق مفاهيم الجودة ومحاولة تحقيقها لمجموعة من الأسباب أهمها:

- 1- التقليل من الوقت اللازم لإنجاز المهمات للعميل: إن الإجراءات التي وضعت من قبل المؤسسة لإنجاز الخدمات للعميل قد ركزت على تحقيق الأهداف ومراقبتها.
- 2- تحقيق الجودة: تعمل المؤسسات التي تطبق مفاهيم الجودة على تطوير المنتجات والخدمات حسب رغبة العملاء لأن عدم الإهتمام بالجودة يؤدي لزيادة أعمال المراقبة وزيادة زمن أداء وانجاز المهام وبالتالي زيادة شكاوي المستفيدين من هذه الخدمات.
- 3- تطبيق مفاهيم الجودة يمنح المؤسسة الاحترام والتقدير المحلي والاعتراف العالمي.
- 4- تحقيق الترابط والتكامل بين جميع الإداريين والعاملين في المؤسسة وحثهم على العمل الجماعي ضمن الفريق.
- 5- تسهم في ضبط النظام الإداري في المؤسسة وتطويره نتيجة وضوح الأدوار وتحديد المسؤوليات.
- 6- توفير جو من التفاهم والتعاون والعلاقات الإنسانية بين جميع العاملين.
- 7- تمكين إدارة المؤسسة من تحليل المشكلات بالطرق العلمية الصحيحة والتعامل معها من خلال الإجراءات التصحيحية والوقائية لمنع حدوثها مستقبلاً.
- 8- الوفاء بمتطلبات العملاء والوصول إلى رضاهم.

7-3-2- عوائق تطبيق مفاهيم الجودة:

- 1- ضعف المتابعة الإدارية على الإدارات والأقسام ونقص الخبرة الإدارية لدى المسؤولين.
- 2- عدم قدرة بعض الرؤساء والأقسام على اتخاذ القرارات.
- 3- التسرع في تحقيق نتائج سريعة بتنفيذ تجارب مؤسسات أخرى.

- 4- عدم إعطاء الأهمية اللازمة للموارد البشرية.
- 5- عدم القدرة على توفير المعلومات عن الأعمال المنجزة.
- 6- ضعف الاهتمام بالعملاء والموردين.
- 7- اتباع أنظمة وسياسات وممارسات لا تتوافق مع مدخل الجودة.

4-7- مراحل تطور أساليب الرقابة على الجودة:

شهدت أساليب الرقابة على الجودة تطورات مهمة في عملية الإنتاج، إذ مرت أساليب الجودة بمراحل متعددة منذ بداية القرن الماضي نتيجة لتطور عمليات الإنتاج وتطورها. لذلك يمكن تصنيف تطور أساليب الرقابة على الجودة إلى سبعة مراحل:

المرحلة الأولى: مرحلة ضبط العامل: كانت هذه المرحلة أول خطوة في مراحل تطور الجودة واستمرت حتى نهاية القرن التاسع عشر، حيث لم يكن مفهوم المصنع معروفاً بعد، بل كان هناك ورش يعمل فيها عدد من العمال الذين يستخدمون أدوات بسيطة لصنع السلعة المطلوبة من قبل الزبون وحسب المعايير التي يحددها للجودة. وتتم هذه العملية بإشراف صاحب الورشة، أي إن الرقابة على الجودة كانت تتم من قبل العامل وتديق من قبل صاحب الورشة. في هذه المرحلة تورد الشركة للزبون أي منتج ولو كان مخالفاً للمواصفات ولا تقوم بأي شيء لمعالجة المخالفات حتى يقوم الزبون بتقديم شكوى وإعادة المنتجات المخالفة ثانية للشركة. إن هذه الطريقة قد أصبحت مكلفة للشركة وخاصة عندما أصبح لها منافسون يستطيعون توريد المنتج دون وجود مخالفات فيه، وهذا ما اضطر الشركة إلى إجراء تغيير في إدارة عملها.

المرحلة الثانية: مرحلة ضبط مراقب العمل للجودة: بدأت هذه المرحلة مع بداية القرن العشرين نتيجة الثورة الصناعية وظهور مفهوم المصنع. حيث أصبحت الرقابة على الجودة تتم من قبل رئيس العمال المشرف الذي يتحمل مسؤولية جودة المنتجات، حيث يقوم بجمع إنتاج عدد كبير من العمال والتأكد من جودته. في هذه المرحلة بدأت الشركة بفحص المنتج في المرحلة الأخيرة للإنتاج أو قبل شحن المنتج للزبون.

على أن هذه الطريقة هي أفضل من المرحلة السابقة، كونها قد خفضت من عدد شكاوي الزبون، غير أن الشركة قد وعت مدى الخسارة التي تتكبدها جراء إنتاج منتجات سرعان ما تُرفض عند الاستعداد لشحنها. لذلك أصبح من الأفضل لها أن تكشف عن العيوب في المنتجات مبكراً أثناء عمليات إنتاجها، مما يتيح إيقاف المادة المعيبة التي يجري تصنيعها مبكراً قبل أن تتابع المراحل التالية في الإنتاج وتصبح منتجاً جاهزاً.

المرحلة الثالثة: مرحلة قسم ضبط الجودة: بدأت هذه المرحلة في بداية العشرينيات من القرن الماضي، حيث اتسعت الوحدات الإنتاجية وأصبحت أعداد العمال كبيرة، لذلك استوجب على المصانع استحداث أقسام خاصة بضبط الجودة في مصانعهم، وتعيين مفتشين مختصين بالجودة، ومن هنا ظهر مفهوم فحص الجودة، وبموجبه تم سحب مسؤولية فحص جودة المنتج من المشرف المباشر وإسنادها إلى المفتشين المختصين بالعمل الرقابي على الجودة. وعملية فحص الجودة كانت تتم بإجراء مطابقة لجودة المنتج مع معايير محددة مسبقاً، وكان واجب الرقابة هو تحديد الخطأ والمسؤول عنه لتوقيع العقوبة المناسبة عليه، وهذا ما أسماه البعض بالرقابة البوليسية.

أتاحت هذه المرحلة من تطور الجودة الكشف المبكر عن العيوب واستخدمت فيها التنازلات الإحصائية في مراقبة الإنتاج مما سمح بالكشف المبكر عن الانحرافات قبل حدوث العيوب. لكن لا تزال هناك مشكلات، فكلما ازداد عدد العينات التي يقوم باختبارها قسم الجودة، أصبحت الفترة الزمنية لحصول أقسام الإنتاج على نتائج الاختبارات أطول. وقد كان يستغرق دقائق أو ساعات أو ورديات كاملة حتى يصبح بالإمكان إعلام عامل التشغيل بإيقاف العمل. لحل هذه المشكلة كان لابد من تدريب العامل على الأساليب الإحصائية لضبط العمليات التي ينفذها وهذا ما أدى إلى المرحلة الرابعة من تطور الجودة.

المرحلة الرابعة: مرحلة الضبط الإحصائي للجودة: بدأت هذه المرحلة مع بداية الحرب العالمية الثانية 1939 بعد التوسع الكبير في الإنتاج واعتماد أسلوب الإنتاج المستمر مما أدى إلى صعوبة التفتيش الكلي للإنتاج، ونتيجة لذلك، وانطلاقاً من مفهوم تنميط

الإنتاج وتوحيده فقد ظهرت الرقابة الإحصائية كوسيلة للإقلال من أخطاء تصنيع السلعة. أتاحت هذه المرحلة قيام العامل نفسه بالضبط الإحصائي للعمليات التي ينفذها ويسمى هذا "الجودة في المنشأ". إذ مكّنت هذه المرحلة العامل أن يكتشف مدى الانحراف في القطعة التي ينتجها عن الحدود المسموح بها، مما مكنه من إيقاف الإنتاج المناسب ومنع الحصول على منتجات معيبة، وهذا ما أدى بدوره إلى منع إعادة تشغيل القطع المعيبة وتخفيف القطع التالفة. غير أنه ما زالت هناك حالات تؤدي إلى حصول مشكلات في جودة المنتجات وتقع خارج سيطرة عامل التشغيل نفسه. وهذا ما أدى إلى المرحلة التالية من تطور الجودة والتي استدعت مشاركة جميع أقسام الشركة في برنامج الجودة.

المرحلة الخامسة: مرحلة تأكيد الجودة: بدأ التفكير بهذا المفهوم عام 1956 وهو يقوم على فكرة أن تحقيق إنتاج عالي الجودة ومن دون أخطاء يقتضي وجود رقابة تامة على كل العمليات من مرحلة التصميم إلى مرحلة التسويق. أي أن الجميع يشترك في وضع الطرق الكفيلة لمنع الأخطاء في أي مرحلة.

يقوم هذا الأسلوب على ثلاثة أنواع من الرقابة:

1. الرقابة الوقائية: تعني متابعة العمل ومراقبته أولاً بأول لاكتشاف الخطأ قبل وقوعه والعمل على منع حدوثه.

2. الرقابة المرحلية: تعني فحص المنتج بعد انتهاء كل مرحلة تصنيع للتأكد من مستوى الجودة بحيث لا ينتقل المنتج تحت الصنع من مرحلة لأخرى إلا بعد فحصه والتأكد من جودته وهذا يساعد على اكتشاف الأخطاء عند وقوعها ومعالجتها فوراً.

3. الرقابة البعدية: هي الرقابة النهائية التي تتم بالتأكد من جودة المنتج بعد الانتهاء من تصنيعه لضمان خلوه من أي عيب قبل تسويقه.

يتضح مما تقدم أن هذه الأنواع الثلاثة من الرقابة تتكامل مع بعضها البعض من أجل الوصول إلى إنتاج من دون أخطاء ويمكن القول: إن تأكيد الجودة أصبح أحد الاستراتيجيات الأساسية التي تقوم عليها إدارة الجودة الشاملة.

المرحلة السادسة: مرحلة إدارة الجودة الاستراتيجية: وقد ظهرت في العقد الثامن من القرن الماضي بسبب دخول التجارة العالمية في حالة منافسة بين الشركات للسيطرة على السوق، وتستند إلى ثلاثة محاور رئيسة:

1. ارضاء الزبون وتلبية ما يريده (أي تحديد الجودة من قبل الزبون).
2. الجودة عملية متكاملة لا يمكن تجزأتها وهي مسؤولية الجميع من القمة إلى القاعدة، ومن غير المقبول أن تتحقق الجودة في مجالات دون أخرى.
3. يجب تحقيق الجودة في كل شيء مثل الثقافة التنظيمية، والأنظمة، والهيكل التنظيمي وأسلوب العمل وإجراءاته وغيرها.

كانت استراتيجية بعض الشركات تقوم على أساس إنتاج كبير بمستوى عادي للسيطرة على أسواق البلدان الفقيرة، ومع تزايد شدة المنافسة شعرت هذه الشركات أنها في خطر، فلدحات إلى تغيير استراتيجيتها وتحولت إلى استراتيجية تحسين الجودة على المدى الطويل (إدارة الجودة الاستراتيجية SQM) وذلك باستحداث مراكز بحوث من أجل تطوير المنتجات. إذ أيقنت هذه الشركات بأن المستهلك لم يعد يغريه السعر المنخفض فقط؛ بل أصبح يبحث عن الجودة لأنه أدرك أن لا فائدة من شراء سلعة رخيصة ذات أعطال كثيرة ولا تعمّر طويلاً.

المرحلة السابعة: مرحلة إدارة الجودة الشاملة: ظهر هذا المفهوم عن الجودة بعد عام 1980م ومازال مستمراً حتى الآن، وسبب ظهوره هو تزايد شدة المنافسة العالمية، واكتساح الصناعة اليابانية كل أسواق البلدان النامية، إزاء هذا الوضع قامت الشركات الأمريكية بتطوير مفهوم إدارة الجودة الاستراتيجية وتوسيعه بإضافة جوانب أكثر شمولاً وعمقاً، واستخدمت أساليب متطورة في مجال تحسين الجودة والتعامل مع الزبائن والموردين وتفضيل أساليب توكيد الجودة ليصبح أسلوباً رقابياً استراتيجياً على الجودة الاستراتيجية، ويلاحظ أن إدارة الجودة الشاملة هي امتداد لإدارة الجودة الاستراتيجية ولكنها أكثر عمقاً وشمولية منها.

في هذه المرحلة من تطور الجودة أصبح كل عامل في الشركة منذ عملية تصميم المنتج مروراً بعملية شراء المواد الأولية وحتى الإنتاج النهائي له وتسليمه للزبون يعي بأن هدف الشركة هو إنتاج منتجات بأقل الأسعار وبأفضل جودة وتسليمها للزبون بأسرع ما يمكن.

يبين الجدول (1-7) مراحل تطور إدارة الجودة الشاملة (مُجّلت خمس مراحل للتوضيح).

الجدول (1-7) مراحل تطور إدارة الجودة الشاملة

				
الإدارة الشاملة للجودة	يقوم العاملون بضبط العمليات	يقوم قسم الجودة بضبط العمليات	يفحص المصنع المنتج قبل شحنه للشاري	يفحص الشاري المنتج بعد وصوله إليه نظراً لاهتمامه بالكم والربح السريع
TQM	Operators use SPC	Quality department uses SPC	Inspect before shipping	Customer inspects at receiving
المرحلة الخامسة	المرحلة الرابعة	المرحلة الثالثة	المرحلة الثانية	المرحلة الأولى

7-5- مفهوم إدارة الجودة الشاملة:

إن التحديات العالمية المعاصرة (عولمة الاقتصاد، وانتشار ثقافة المعلومات، وشبكات المعلومات، ومنظمة المواصفات العالمية ISO، واتفاقية التجارة العالمية GATT الخ) تحتم على المنظمات الاقتصادية انتهاج الأسلوب العلمي الواعي في مواجهة هذه التحديات واستثمار الطاقات الإنسانية الفاعلة في ترصين الأداء التشغيلي والبيعي بمرونة أكثر كفاءة وفاعلية، ومن أكثر الجوانب الإدارية الهادفة إدارة الجودة الشاملة والتي أصبحت الآن، وبفضل الكم الهائل في المعلومات وتقنيات الاتصال، سمة مميزة لمعطيات الفكر الإنساني

الحديث سيما وأن الإدارة العلمية المعاصرة أسهمت بشكل حثيث في تطوير بنية المنظمات الاقتصادية بشكل كبير. لقد أصبحت الجودة إحدى أهم مبادئ الإدارة في الوقت الحاضر لأن الإدارة بالماضي كانت تعتقد بأن نجاح الشركة يعني تصنيع منتجات وتقديم خدمات بشكل أسرع وأرخص، ثم السعي لتصريفها في الأسواق وتقديم خدمات لتلك المنتجات بعد بيعها من أجل تصليح العيوب الظاهرة فيها.

تُعد إدارة الجودة الشاملة من أكثر المفاهيم الفكرية والفلسفية الرائدة التي استحوذت على الاهتمام الواسع من قبل الاختصاصيين والباحثين والإداريين والأكاديميين الذين يعنون بشكل خاص في تطوير الأداء الإنتاجي والخدمي وتحسينه في مختلف المنظمات. وتعزى النجاحات الكبيرة في الصناعات اليابانية ولاسيما في أوائل الثمانينيات وأواخر التسعينيات من القرن الماضي إلى اعتمادها على حلقات السيطرة النوعية واستخدام أسلوب إدارة الجودة الشاملة بشكل واسع في الميادين الصناعية والإنتاجية والخدمية. على الرغم من تعدد مفاهيم إدارة الجودة الشاملة إلا أن المختصين والباحثين اتفقوا على إبراز الجوانب الأساسية لإدارة الجودة الشاملة من خلال التعاريف التالية:

- قال عنها معهد الجودة الفيدرالي الأمريكي بأنها نظام إداري استراتيجي متكامل يسعى لتحقيق رضا العميل، وإن تطبيق هذه الفلسفة الإدارية يتطلب مشاركة الإدارة والموظفين، ويقوم باستخدام الطرائق الكمية لتحسين العملية الإدارية بشكل مستمر.

- تُعرف منظمة التقييس العالمية إدارة الجودة الشاملة بأنها: عقيدة أو عُرف متأصل وشامل في أسلوب القيادة والتشغيل لمنظمة ما، بهدف التحسين المستمر في الأداء على المدى الطويل من خلال التركيز على متطلبات وتوقعات الزبائن مع عدم إغفال متطلبات المساهمين وجميع أصحاب المصالح الآخرين.

- تُعرف إدارة الجودة الشاملة من منظور استراتيجي بأنها: الفلسفة التي تصنف المفاهيم، والطرائق، والأدوات والأساليب لصياغة لغة مفهومة ومطبقة بوصفها استراتيجية أعمال ضمن المستويات العليا واستراتيجية تشغيلية ضمن المستويات الدنيا، مما يساعد في تكامل الأنشطة في مجال القيادة، والأفراد، والتركيز على الزبون، والتخطيط، وضمان

جودة العملية والمعلومات والتحليل.

- يعرف (Oakland,1995) إدارة الجودة الشاملة بأنها: منهج لتحسين التنافسية والفاعلية، إذ إنها في الواقع أفضل طريق للتخطيط والتنظيم ووسيلة لاستيعاب العاملين للأنشطة كافة بغض النظر عن مستوياتهم الإدارية المختلفة في المنشأة. يتميز مفهوم إدارة الجودة الشاملة بالنظرة الشمولية، إذ إنه يركز على الزبائن والموردين والعاملين والهياكل التنظيمية والنظم والإجراءات، وكذلك فرق العمل وجهود التحسينات المستمرة.

1-5-7- رواد إدارة الجودة الشاملة:

يعود الفضل في استخدام الجودة الشاملة في إدارات المصانع، والاقتصاد، والتعليم، والتربية، والبناء، والثقافة، والزراعة، والدفاع، والصحة والخدمات... إلى مساهمات العديد من العلماء الأمريكيين والأوروبيين واليابانيين من أمثال: إدوارد ديمينغ، وجوزيف جوران، وفيليب كروسبي وكاورو إيشيكاوا.

1- إدوارد ديمينغ:

ولد ديمينغ في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1900م، ودرس فيها وهو حاصل على الدكتوراه في الرياضيات والفيزياء من جامعة ييل في أمريكا، وأثناء عمله في مصنع (هاوثون) في شركة الكهرباء الأمريكية، اكتشف مدى أهمية الرقابة الإحصائية في ضبط جودة العمل والإنتاج.

يُعد إدوارد ديمينغ رائد الجودة الأمريكية أبرز من استخدم الرقابة الإحصائية وطبقها على الجودة، حيث اعتمد على جمع معلومات عن مستوى الجودة من خلال الرقابة على عمليات الإنتاج أثناء تنفيذها، ثم قام بتحليلها باستخدام الأساليب الإحصائية من أجل الوقوف على مستوى الجودة المتحقق.

أدرك ديمينغ أن الموظفين هم الذين يتحكمون بالفعل في عملية الإنتاج وابتكر ما يسمى بدائرة ديمينغ (خطّط، ونقّذ، وافحص، وتصرف). وتحدّث عن الجودة في أمريكا في أوائل الأربعينيات، ولكن أمريكا تجاهلته، ومن ثم قام رئيس الاتحاد الياباني للمنظمات

الاقتصادية إشيكواو بدعوة ديمنغ لإلقاء سلسلة محاضرات في منتصف الخمسينيات من القرن الماضي من أجل إعادة إعمار اليابان بعد الحرب العالمية الثانية، حيث كان له الدور الكبير في تعليم اليابانيين استخدام الأساليب الإحصائية في رقابة الجودة. ويُعد ديمنغ أحد أسباب نجاح اليابان وتفوقها في مجال الجودة، إذ كان يرى أن الإدارة العليا غالباً ما تلوم العاملين على أشياء لا تقع أصلاً في حدود اختصاصهم، وهذا يحتاج إلى تحول كلي للنمط الرئيس للإدارة، لذلك كان ديمنغ يؤمن بضرورة تشجيع العاملين ومشاركتهم وجعلهم قادرين على المساهمة في إدخال تحسينات مستمرة من خلال فهمهم للعمليات وكيفية تحسينها. وركز ديمنغ على درجة مطابقة المنتج أو الخدمة للمواصفات الموضوعة عن طريق تخفيض درجة عدم التأكد والتباين في كل من التصميم والعملية الإنتاجية.

- المبادئ الأربعة عشر لنظرية ديمنغ:

قدم ديمنغ برنامجاً يتكون من أربع عشرة نقطة لإدارة الجودة وهي:

المبدأ الأول: تحديد هدف ثابت للمنشأة من أجل تحسين جودة منتجاتها وخدماتها.

المبدأ الثاني: انتهاج فلسفة التطوير والتحسين لمواجهة التحديات. لأن الجهود

غير المتحمسة لتحسين الجودة بالشركة أو المنظمة لن تحقق النتائج المرجوة والمتوقعة على المدى الطويل، فتحسين الجودة عملية كلية متكاملة.

المبدأ الثالث: التوقف عن الاعتماد على أساليب التفتيش والفحص الشامل بغرض تحسين الجودة، حيث يُفضل استخدام الوسائل الإحصائية لمراقبة العملية الإنتاجية.

وجعل الرقابة رقابةً وقائيةً هدفها منع حدوث الخطأ ودعم المخطئ لتجاوز كبوته ليعطي بشكل أفضل من السابق.

المبدأ الرابع: التوقف عن ممارسة فلسفة الشراء المعتمدة على الأسعار فقط، ويفضل أن يتمتع الممول (البائع) بخاصية الجودة.

المبدأ الخامس: استخدام الوسائل الإحصائية لمعرفة نوعية المشكلات ومصادرها وكذلك الاستمرار في تحسين النظام.

المبدأ السادس: تأصيل التدريب مع الاعتماد على الطرائق الحديثة في التدريب، والتي تشمل جميع الموظفين، فيجب أن يدرّبوا على طريقة أداء الأعمال المنوطة بهم، مع تكثيف تدريبهم على الإنتاج.

المبدأ السابع: استخدام الطرائق الحديثة في عملية الإشراف. فالقائد الفعال يكون المساعد والمساند والحريص على تحسين أداء مرؤوسيه ومهارتهم، وزرع الثقة في أوساط العاملين، والسعي للتحسين المستمر، حيث إن حسن تصرفهم وأدائهم يقود المرؤوسين نحو أهداف المنظمة، فالقيادة الفعالة والمتميزة هي النتائج الطبيعية للإبداع المتواصل والعمل الجاد والقدرة على تحفيز الآخرين.

المبدأ الثامن: البعد عن سياسة التخويف. إن الإهتمام بالجودة يستلزم أن يشعر الموظفون بالأمان داخل الشركة أو المنظمة التي ينتمون لها، وتوفير عنصر الاستقرار الوظيفي لهم، لأن ذلك يكفل للمنظمة الولاء والشعور بالانتماء لها، وإبعاد عقبة الخوف وتركهم لإبداء آرائهم، والتحدث بصراحة، وهذا ما يجعل العاملين يعملون ويؤدون أعمالهم بفاعلية أكثر من دون خوف.

المبدأ التاسع: القضاء على العوائق التنظيمية بين الأقسام المختلفة، أي إبعاد الخوف عن المرؤوسين والعاملين، وخلق المناخ الملائم والمحفز، والسعي لحل الصراعات القائمة بين العاملين والقائمة بين الإدارات وإحلال التعاون بينهم.

المبدأ العاشر: التخلي عن الشعارات والهتافات والاستعراض والنصائح والتحذيرات الموجهة إلى العاملين والتي تطالبهم بمستويات مرتفعة من دون تقديم الوسائل. إن الطريقة التحفيزية تدمر الجودة لأنها تركز الاهتمام على الرغبة في عمل الشيء أكثر من التركيز على الكيفية في عمل هذا الشيء. فالأفضل تقليل الدعايات والأهداف الكمية التي تهتم بالكم دون الكيف.

المبدأ الحادي عشر: إلغاء المعدلات الكمية للعمالة والأهداف الرقمية للإدارة (عدم وضع أرقام قياسية للأداء دون ربط ذلك بالجودة) وذلك بالحد من التوجيهات التي

تتطلب تحقيق نتائج محددة من كل عامل أو موظف على حدة، والتركيز على انتهاج مسلك الفريق الواحد داخل الشركة أو المؤسسة.

المبدأ الثاني عشر: إزالة الحواجز التي تحرم العاملين من الافتخار والزهو بالعمل والتخلص من نظام التقويم السنوي. فالتقييم السلي لأداء الذي يركز على التفاصيل السلبية يمكن أن يدمر أي رغبة لدى العاملين أو الموظفين في تحسين الأداء، فمعظم العمال يرغبون في أداء أعمالهم بالشكل الجيد، ولا يرغبون في أن تصدر ضدهم أحكام غير دقيقة، أو يتعرضوا لنقد ظالم، وأقل توقعاتهم أن يُعاملوا بطريقة عادلة.

المبدأ الثالث عشر: إعداد برامج تطويرية مستمرة للتعليم والتحسين والتنمية الذاتية لكل الأفراد، والتركيز على عملية التطوير والتحسين الذاتي، واكتساب المعارف والمهارات الجديدة؛ لأن الأدوات والتقنيات والمعلومات في تغير وتطور مستمر.

المبدأ الرابع عشر: اتخاذ الإجراءات اللازمة لتحقيق عملية التحول من خلال تطبيق محتويات المبادئ الثلاثة عشر الآتية الذكر.

- الأمراض السبعة المميتة:

من خلال المبادئ السابقة استخلص ديمغ سبعة أمراض قاتلة لها تأثير سلبي في المؤسسة وعلى برامج الجودة وهي:

- 1- الفشل في توفير موارد بشرية ومالية مناسبة لتدعيم الهدف من تحسين الجودة.
- 2- التأكيد على الأرباح قصيرة الأجل والفائدة التي يحصل عليها المساهم.
- 3- اعتماد تقييم الأداء السنوي على الملاحظات والأحكام.
- 4- عجز الإدارة نتيجة التنقل المستمر بين الوظائف.
- 5- الأعباء القانونية الزائدة.
- 6- تكاليف العناية الصحية الزائدة.
- 7- استخدام الإدارة للمعلومات المتاحة بسهولة، دون الاهتمام بتحسين الجانب العملي.

2- جوزيف جوران:

ولد سنة 1904م في رومانيا ولكنه ذهب إلى الولايات المتحدة الأمريكية عام 1912م وتخرج من كلية الهندسة بجامعة (مانيسوتا)، أسهم جوران في ثورة الجودة في اليابان، حيث تم استدعاؤه عام 1954م من قبل نقابة العلماء والمهندسين اليابانيين لإلقاء محاضرات عن الجودة ومسؤولية الإدارة في تحقيق الجودة.

ركز جوران اهتمامه على العيوب والأخطاء أثناء الأداء التشغيلي وكذلك على الوقت الضائع أكثر من الأخطاء المتعلقة بالجودة ذاتها، كما أنه ركز على الرقابة على الجودة دون التركيز على كيفية إدارة الجودة، ولذا فإنه يرى أن الجودة تعني مواصفات المنتج التي تشبع حاجات المستهلكين وتحوز رضاهم مع عدم احتوائها على العيوب. تتلخص فلسفة جوران في الجودة بالنقاط العشر التالية:

- 1- زيادة درجة الوعي لدى الموظفين بأهمية فرض عملية التحسين وتحديد احتياجاتها.
- 2- تحديد أهداف خاصة بعملية التحسين.
- 3- الاهتمام بعملية التنظيم من أجل تحقيق الأهداف المنشودة، وذلك من خلال إعداد الإجراءات، فمثلاً يمكن تكوين مجلس للجودة النوعية يقوم بتحديد المشكلات واختيار المشاريع وتعيين أعضاء فريق العمل وتعيين منسقين للجودة.
- 4- الاهتمام بعملية التدريب، لأن عملية التغيير لا يمكن أن تتم في وقت قصير.
- 5- الاهتمام بتنفيذ مشاريع تعمل على مساعدة المنشأة في حل مشكلاتها.
- 6- الاهتمام بتقديم تقارير دورية وشاملة عن الوضع الحالي للمنشأة.
- 7- تشجيع العاملين وحثهم على تحسين أدائهم وذلك من خلال دعمهم معنوياً والثناء على ما يقدمونه من خدمات مميزة.
- 8- التركيز على عملية الاتصال بين الأقسام في المنشأة والاهتمام بعملية التغذية العكسية كوسيلة لتوصيل النتائج للأقسام المعنية.
- 9- التركيز على أهمية توثيق النتائج وتسجيلها في صورة رسم بياني.
- 10- الاهتمام بعملية التوسع وذلك عن طريق الأخذ بالحسبان أن التحسين السنوي جزء مهم من نظام المنشأة.

وأخيراً يرى جوران أن حوالي 80% من عيوب الجودة يكون نتيجة عوامل عدة تكون الإدارة العليا هي المتحكمة فيها، على هذا الأساس يؤكد جوران أن الإدارة العليا في أي منشأة لابد أن تهتم بعملية التحسين المستمر للجودة وذلك من خلال تطبيق ثلاثيته المشهورة (تخطيط الجودة، وضبط الجودة، وتحسين الجودة).

3- فيليب كروسي:

أول من نادى بالعيوب الصفرية Zero Defect أي (صناعة بلا عيوب)، والذي يُخالف فيها فكرة المستويات المقبولة للجودة والنسب المسموح بها للأخطاء والعيوب، كما أنه كان يربط بين مستوى الجودة في المنظمة وبين الأرباح المتحققة، فكلما ارتفع مستوى الجودة أدى ذلك إلى تخفيض التكلفة وزيادة الأرباح.

وأكد كروسي على مدى أهمية الإدارة العليا في دعم الجودة وتحقيق مستوى عالٍ فيها، كما وضع برنامجاً متكاملًا للجودة الشاملة ركز فيه على أداء العمل بالشكل الصحيح من المرة الأولى والذي يؤدي إلى تخفيض التكلفة وزيادة الأرباح تبعاً لذلك. واعتبر معيار الأداء الأساسي هو العيوب الصفرية، أي عدم وجود أخطاء.

وقد قسّم كروسي التكاليف إلى فئتين:

- التكاليف المقبولة وهي تلك التكاليف التي أسهمت في تحسين مستوى الجودة.
 - التكاليف غير المقبولة وهي تلك التي أنفقت ولم تحقق مستوى الجودة المطلوب.
- يتكون نموذج كروسي من أربعة عشر مبدأ وهي:

- 1- التزام الإدارة العليا بالجودة.
- 2- بناء فريق لتحسين الجودة.
- 3- استخدام القياس كأداة موضوعية لتحديد مستوى الجودة الفعلي.
- 4- قياس تكلفة الجودة وتحديدّها.
- 5- زيادة الوعي بأهمية الجودة.
- 6- اتخاذ الإجراءات التصحيحية.
- 7- تكوين لجنة لبرنامج القضاء على الأخطاء والعيوب في المنتج.

- 8- تعليم الموظفين وتدريب المشرفين على القيام بدورهم في تحسين الجودة.
- 9- تحديد يوم خاص لزيادة الوعي بأهمية شعار "صناعة بلا عيوب".
- 10- تحديد الأهداف لجميع العاملين وتشجيع الابتكار الفردي داخل التنظيم.
- 11- التخلص من أسباب الأخطاء وإزالة معوقات الاتصال الفعال.
- 12- التعرف على أهمية عملية تحسين الجودة ومكافأة من يقدم جهوداً غير عادية في تطوير الجودة وتحسينها.
- 13- تكوين مجالس للجودة، من مهامها القيام بعملية التنسيق والاتصال بأعضاء فرق تطوير الجودة.
- 14- الاستمرار في عملية تحسين الجودة، وذلك عن طريق تكرار العمليات السابقة لكي تعطي الموظفين تشجيعاً مستمراً لإزالة معوقات الجودة وتحقيق أهداف المنشأة.

4- كاورو إيشيكاوا:

يُعدّ إيشيكاوا من رواد الجودة اليابانيين ففي عام 1939م، تخرج من جامعة طوكيو تخصص كيمياء تطبيقية، وفي عام 1952 م حصل على جائزة ديمغ تكريماً له لإسهامه العلمي والعملية في تطوير مفهوم الجودة والطرائق الإحصائية لتطبيقها. ويرى اليابانيون إيشيكاوا الأب الروحي لحلقات مراقبة الجودة.

كان أول من نادى بحلقات الجودة وهي عبارة عن مجموعات صغيرة من العاملين ينظمون مع بعضهم البعض بصفة تطوعية ويجمعون لمناقشة مشكلات الجودة في العمل. كما نادى بأهمية التعليم والتدريب في زيادة معارف العاملين وتحسين مهاراتهم وتغيير اتجاهاتهم. وقد أشار إيشيكاوا إلى أهمية التدريب في مجال الجودة مبرزاً أن عملية التدريب في اليابان أخذت مكانتها في الصدارة منذ الستينيات من القرن العشرين. يرى إيشيكاوا أن مفهوم الجودة له العديد من الجوانب وهي:

- 1- مفهوم التغير والتحول من برنامج مراقبة الجودة الذي يعتمد اعتماداً كلياً على التفتيش إلى برنامج شامل يعتمد على النشاطات الداخلية مع الأخذ بالحسبان أن العملاء جزء لا يتجزأ من عملية تحسين الجودة.

2- تحديد الطرائق الرئيسة والضرورية التي تساعد في التعرف على المشكلة التي تواجهها المنشأة ومحاولة التخلص منها.

3- تحديد مجالات الجودة في السلعة أو الخدمة المقدمة التي يتقبلها العميل ويكون لديه الاستعداد لشرائها.

4- مدى إمكان تطبيق برنامج مراقبة الجودة على مستوى المنشأة بحيث يشمل المراقبة الرأسية والمراقبة الأفقية للأقسام.

5- مدى إمكان استخدام الأدوات الإحصائية للجودة، على سبيل المثال: خريطة باريتو، والمدرجات التكرارية، وخرائط المراقبة، والخرائط الإنسيابية... الخ، هذه الأدوات الإحصائية تساعد الإدارة في معرفة أبعاد المشكلة ومصادر الأسباب، وبالتالي محاولة تقليل آثارها السلبية.

لخص إيشيكاوا المبادئ الأساسية لمراقبة الجودة الشاملة في التالي:

- 1- إن الجودة مبنية على وجهة نظر العميل.
- 2- تُعدّ الجودة جوهر العملية الإدارية، ولا بد أن ينظر لها على أنها هدف طويل الأجل بدلاً من التركيز على الأرباح القصيرة المدى.
- 3- تعتمد الجودة على مشاركة العاملين والموظفين وحتى يتم تطبيق أسلوب إدارة الجودة لا بد من إزالة العوائق بين الأقسام المختلفة.
- 4- استخدام البيانات والمعلومات بوساطة الوسائل الإحصائية للمساعدة في اتخاذ القرارات.

7-5-2- أهمية إدارة الجودة الشاملة:

في ظل سرعة التحولات الاقتصادية، والسياسية، والاجتماعية والتكنولوجية وما نجم عنها من تصاعد حدة المنافسة على المستويين العالمي والمحلي، أخذت منظمات الأعمال تتلمس خياراتها للبقاء في الصناعة، إذ وجدت أن أفضل البدائل التي تحقق ذلك الهدف هو تبني فلسفة إدارة الجودة الشاملة كمنهاج عمل طويل المدى.

وكانت تطبيقات الجودة قد اعتمدت في اليابان أوائل الخمسينيات على يد ديمنج،

الذي عُدَّ بطلاً قومياً في ذلك البلد، وأطلق اسمه على جائزة الجودة. ففي غضون ثلاثين سنة حول المصنّعون اليابانيون مستويات الجودة التي كانت تُعدّ مزحة بالنسبة إلى الآخرين إلى معايير عالمية للتميز. إن الاهتمام بالجودة أصبح ظاهرة عالمية، وأصبحت المنظمات والحكومات توليها اهتماماً خاصاً، إذ باتت الجودة فلسفة إدارية وأسلوب حياة لأي شركة ترغب في الحصول على مزايا تنافسية في ظل التغيرات العالمية وظهور الأسواق العالمية وتزايد حاجات الزبائن للجودة والامتياز وزيادة حدة المنافسة.

ولعل ما يدل على ذلك هو ما تعرضت له الشركات الأمريكية التي وجدت نفسها مهددة بالمنافسة الأجنبية في عقر دارها في عقديّ السبعينيات والثمانينيات من القرن الماضي، إذ ارتفع حجم استهلاك البضائع الأجنبية المستوردة في الولايات المتحدة الأمريكية من (16-22%)، وإزاء هذه الضغوط اعتمدت كبرى الشركات الأمريكية والأوربية برامج إدارة الجودة الشاملة لأهميتها في تحقيق الفوائد التالية:

- 1- توضيح سياسات الجودة وأهدافها لجميع العاملين في المنظمة وتحفيزهم للمشاركة الجماعية في تنفيذ النشاطات اللازمة لتحقيقها.
- 2- تحقيق إرضاء الزبون.
- 3- الاحتفاظ بالزبائن وجذب زبائن جدد.
- 4- التدريب والتحفيز لجميع العاملين في المنظمة.
- 5- إبراز العمل الجماعي وتحسين الاتصالات وتحقيق الولاء للشركة.
- 6- تحسين سمعة المنظمة وتحسين قدرتها على المنافسة.
- 7- تحقيق التنسيق والتكامل بين مختلف الأقسام في المنظمة أو الشركة.
- 8- تقديم الحلول الدقيقة لمشكلات الجودة.
- 9- تسهم في الحفاظ على القيم الأخلاقية.
- 10- تعظيم دور المنظمة في التنمية.
- 11- تمكّن من القيام بعملية التدقيق والتقييم المستمر للأداء.
- 12- تحقيق الأداء العالي للجودة في جميع المواقع الوظيفية.

- 13- تقليص شكاوى الزبائن من خلال الفهم الكامل لرغباتهم والعمل على تحقيقها.
- 14- رفع مستوى الرضا الوظيفي لدى العاملين وتنمية روح العمل الجماعي لديهم.
- 15- العمل على تحسين وتطوير طرائق العمل وأساليبه.
- 16- تخفيض تكاليف الخدمات والتشغيل.
- 17- زيادة كفاءة المنظمة (الشركة، المعمل...) في تحقيق رضا الزبائن من خلال تقديم منتجات ذات جودة مقبولة.
- 18- زيادة الربح والقدرة على المنافسة من خلال التحسين المستمر في الجودة.
- 19- زيادة الحصة السوقية. لقد أسهمت الأنشطة المتعلقة باستخدام إدارة الجودة الشاملة إلى زيادة الحصة السوقية للمنظمات الإنتاجية والخدمية بشكل كبير.

3-5-7- مبادئ إدارة الجودة الشاملة:

سوف نركز فقط على أهم المبادئ الأساسية لإدارة الجودة الشاملة وهي:

- 1- تحقيق رضا العميل.
- 2- التدريب والتطوير.
- 3- مشاركة العاملين في العمليات.
- 4- التحسين المستمر للعمليات والجودة.
- 5- التركيز على العمليات مثلما يتم التركيز على النتائج.
- 6- اتخاذ القرارات على أساس الحقائق.
- 7- مبدأ التخطيط الاستراتيجي.
- 8- إسناد الإدارة العليا ودعمها.
- 9- الوقاية من الأخطاء قبل وقوعها.

إن التحديات التي تشهدها منظمات الأعمال في المجتمع الإنساني المعاصر تقتن بالجوانب النوعية على الصعيدين السلعي والخدمي، وتستخدم النوعية كسلاح تنافسي رئيس في هذا الاتجاه، وقد تم الاهتمام بالإطار الفلسفي والفكري لإدارة الجودة الشاملة التي تشير إلى ثلاثة مرتكزات هادفة في هذا المجال وهي:

1. تحقيق رضا المستهلك.
2. مساهمة العاملين في الشركة.
3. استمرار التحسن والتطوير في الجودة (السلعة أو الخدمة).

7-5-4- عيوب إدارة الجودة الشاملة:

- 1- تسيطر على الكثير من وقت الإدارة والعاملين.
- 2- لن تفيد إلا إذا كانت المنشأة تسير في الاتجاه الصحيح، فهي ليست أداة لتحويل اتجاه المنشأة.
- 3- لا تثمر نتائج سريعة بل تستغرق عدة سنوات، وهي في الحقيقة عملية مستمرة.
- 4- يمكن أن تؤدي إلى اهتمام زائد عن الحد باحتياجات العميل النهائي، واهتمام غير كافٍ باحتياجات العاملين.
- 5- يمكن أن تسبب اضطراب في مختلف المراحل، فلا بد من معالجة الأمر بعناية.

7-5-5- أهداف إدارة الجودة الشاملة وفوائدها:

- يرى الباحثون أنّ لإدارة الجودة الشاملة أهدافاً عديدة تسعى لتحقيقها في أي منظمة إدارية عند تطبيقها. ومن بين أهم تلك الأهداف ما يأتي:
- 1- خلق بيئة تدعم التطوير المستمر وتحافظ عليه.
 - 2- إشراك جميع العاملين في التطوير.
 - 3- تقليل إجراءات العمل الروتينية واختصارها من حيث الوقت والتكلفة.
 - 4- تقليل المهام والنشاطات اللازمة لتحويل المدخلات (المواد الأولية) إلى منتجات أو خدمات ذات قيمة للعملاء.
 - 5- إيجاد ثقافة تركز بقوة على العملاء (رفع درجة رضا العملاء).
 - 6- تحسين جودة المنتجات المصنعة (المخرجات) أو الخدمات المقدمة.
 - 7- زيادة الكفاءة بزيادة التعاون بين الإدارات وتشجيع العمل الجماعي.
 - 8- زيادة معدلات الربح وتحسين اقتصاديات المنظمة.
 - 9- تعليم الإدارة والعاملين كيفية تحديد المشكلات وترتيبها وتحليلها وتجزئتها إلى أصغر

حتى يمكن السيطرة عليها.

- 10- اتخاذ القرارات على أساس الحقائق لا المشاعر.
- 11- تدريب الموظفين على أسلوب تطوير العمليات والقدرات.
- 12- زيادة معدل سرعة الاستجابة للمتغيرات داخل المنظمة.
- 13- زيادة القدرة على جذب العملاء والإقلال من شكوايهم.
- 14- تحسين الثقة وأداء العمل للعاملين، وحفز العامل وشعوره بتحقيق الذات من خلال مشاركته في وضع الأهداف واتخاذ القرارات.
- 15- زيادة نسبة تحقيق الأهداف الرئيسة للشركة.
- 16- زيادة القدرة التنافسية للمنظمة من خلال فتح أسواق جديدة وتعزيز الأسواق الحالية.

17- انقاص تكلفة المنتج وتقليل معدلات التالف.

يشمل الهدف الرئيس للجودة ثلاث فوائد رئيسة مهمة هي:

- 1- خفض التكاليف: إن الجودة تتطلب عمل الأشياء الصحيحة بالطريقة الصحيحة من أول مرة، وهذا يعني تقليل الأشياء التالفة أو إعادة إنجازه، وبالتالي تقليل التكاليف.
- 2- تقليل الوقت اللازم لإنجاز المهمات للزبون: فالإجراءات التي وضعت من قبل المنظمة لإنجاز الخدمات للعميل ركزت على تحقيق الأهداف ومراقبتها لذلك جاءت هذه الإجراءات طويلة وجامدة في كثير من الأحيان مما أثر تأثيراً سلبياً في العميل.
- 3- تحقيق الجودة: وذلك بتطوير المنتجات والخدمات حسب رغبة العملاء، إن عدم الاهتمام بالجودة يؤدي لزيادة الوقت لأداء المهام وإنجازها وزيادة أعمال المراقبة، وبالتالي زيادة شكوى المستفيدين من هذه الخدمات.

6-7- تطبيق إدارة الجودة الشاملة:

تشارك جميع المستويات الإدارية الثلاثة، وهي: الإدارة العليا والإدارة الوسطى وأخيراً القوى العاملة في تطبيق إدارة الجودة الشاملة. يتضمن تطبيق إدارة الجودة الشاملة المراحل الآتية:

– مرحلة الإعداد: تتمحور هذه المرحلة حول كيفية اقتناع الإدارة العليا بمدى أهمية تطبيق إدارة الجودة الشاملة، وإعدادهم للإشراف على هذا التطبيق.

– مرحلة التخطيط: تركز على كيفية التخطيط الجيد لتطبيق إدارة الجودة الشاملة.

– مرحلة التقويم: تجيب هذه المرحلة عن تساؤل مهم عن الموقف الحالي للمؤسسة والمركز التنافسي في المستقبل الذي ترنو إليه المؤسسة.

– مرحلة التنفيذ: تركز هذه المرحلة على التنفيذ الفعلي لأساليب الجودة الشاملة.

– مرحلة تبادل ونشر الخبرات: يتم فيها استثمار الخبرات واستعراض النجاح الذي تحقق، ودعوة جميع وحدات المؤسسة والمتعاملين معها من مجتمع محلي وموردين وأصحاب المصلحة لشرح الإنجازات والتركيز على المزايا التي تعود عليهم بالفائدة بالمشاركة في عملية التحسين لإقناعهم بتبني تطبيق إدارة الجودة الشاملة في وحداتهم.

7-6-1- الخطوات المطلوب اتخاذها لتطبيق أنظمة إدارة الجودة:

يُعَدّ نظام إدارة الجودة أحد أنظمة الإدارة المطبقة في المؤسسة، والتي يمكن أن تشمل أنظمة الإدارة المالية والبيئية وغيرها.

أهم الخطوات المطلوب اتخاذها لتطبيق أنظمة إدارة الجودة:

- تحديد سياسة الجودة في المنشأة وأهدافها.
- تحديد العمليات الأساسية التي تؤثر في تحقيق أهداف الجودة.
- تحديد الوسائل والمعايير اللازمة لتحسين فاعلية العمليات.
- فحص النتائج للوقوف على مدى تحسن فاعلية العمليات.
- تحديد الوسائل لمنع العيوب وتخفيض الهدر وإعادة التشغيل.
- التحسين المستمر للعمليات بهدف تحسين الفاعلية والمردود.

7-6-2- مزايا ومعوقات تطبيق إدارة الجودة الشاملة:

حققت إدارة الجودة الشاملة للشركات الإنتاجية والخدمات مزايا متعددة منها:

- 1- تحسّن جودة المنتج أو الخدمة النهائية.
- 2- تؤدي إلى خفض الموارد المهدورة، وتقليل الضياع في المخزون، وتقليل الأخطاء

بالعمليات التشغيلية وتقليص شكاوى الزبائن.

- 3- تحدث طفرة إنتاجية حيث يستخدم العاملون الوقت على نحو أكثر كفاءة.
 - 4- تقود إلى التنافس الشريف في السوق من خلال جودة المنتج وسعره.
 - 5- تحقق للقوى العاملة مزيداً من الدعم والدفع ليتعرف العاملون إلى إمكاناتهم.
 - 6- تحقيق النمو وزيادة الأرباح والاستثمار الأمثل للموارد البشرية.
 - 7- زيادة الحصة السوقية للمنظمات الإنتاجية والخدمية بشكل كبير.
- هذه الفلسفة لا تخلو من الصعوبات عند تطبيقها، ومعوقات تطبيقها تعود إلى الأتي:
- 1- جعل تطبيق الجودة الشاملة علاج شافٍ لجميع مشكلات الشركة أو المنظمة.
 - 2- عجز الإدارة العليا عن توضيح التزامها بإدارة الجودة الشاملة.
 - 3- عجز الإدارة الوسطى عن تفهم الأدوار الجديدة لنمط قيادة الجودة الشاملة وشعورهم المهدد بأن فلسفة الجودة الشاملة ستفقد العاملين قوتهم في إنجاز العمل.
 - 4- التركيز العالي على الفعاليات الداخلية للجودة والاهتمام بها لأنها مهمة في الأداء الرئيس للجودة وإعفاءها من حاجات الزبائن الخارجيين ورغباتهم.
 - 5- تشكيل فرق عمل كثيرة، وعدم توفير الموارد والإدارة المطلوبة بما يكفل نجاحها.
 - 6- تبني برامج متقدمة للجودة دون إجراء تعديلات عليها بما ينسجم مع المنظمة.
 - 7- ضعف الرابط بين أهداف الجودة والعوائد المالية.

3-6-7 متطلبات عناصر الجودة الشاملة:

- 1- وضع مواصفات للمنتج بما يلي توجهات السوق ومتطلبات المستهلك الحالية والمستقبلية.
- 2- توحيد جودة المواد والمدخلات التي تتعامل معها المنشأة، والتعامل مع موردي المدخلات من خلال مواصفات وشروط ملزمة.
- 3- توكيد الجودة أثناء التحضير والإنتاج وتلافي الأخطاء قبل الوقوع فيها.
- 4- توكيد جودة المنتج النهائي، متضمناً عمليات الفرز والتدريج والتغليف والتعبئة والبطاقة والنقل وضبط جودة الأجهزة والمعدات المستخدمة في القياس والمعايرة.

5- تحليل المعلومات التي ترد من الأسواق والمستهلكين والعملاء والاستفادة منها في تحسين الأداء وتلافي الأخطاء.

6- تدريب العاملين لرفع كفاءة الأداء والحفاظ على مستوى جودة الأداء وخلق روح الانتماء للمؤسسة من خلال السمعة الطيبة التي حازت عليها المؤسسة في توجهها لزيادة المبيعات وتقليل التكلفة وإرضاء رغبات المستهلكين.

7-7- الفرق بين الجودة وإدارة الجودة الشاملة:

الجودة الشاملة وإدارة الجودة الشاملة تعبران شائعان في اللغة الإدارية المعاصرة وهما يعبران عن توجه عالمي يسيطر على فكر أهل الإدارة وتصرفاتهم على مختلف مستوياتهم، ويحكم كثيراً من قرارات الإدارة في كل مجالات عملها. حيث أن تحقيق التحسين والتطوير المستمر يحتاج إلى منهج شامل للتغيير وإلى إدارة تعتمد على الحقائق وتوفير بيئة تُهيء للأفراد العمل بحماس وجهد وقدرة والتزام داخل المنظمة، ويُعد ذلك تغييراً جذرياً في المنهج والأسلوب والوعي، وتلك هي إدارة الجودة الشاملة.

تتم التفرقة بين التركيز على الجودة وإدارة الجودة الشاملة من خلال مدى اندماج فلسفة إدارة الجودة الشاملة مع بيئة المؤسسة، إذ إن التركيز على الجودة عملية مؤقتة في الغالب، في حين أن إدارة الجودة الشاملة هي عملية طويلة الأجل لا تأخذ الصفة المؤقتة، وإنما تأخذ البعد الاستراتيجي، بحيث توجه كل الخطط الإنتاجية والتسويقية والمالية والإدارية... إلخ، بالاتجاه الذي يخدم هذا البعد الاستراتيجي.

7-8- الفرق بين إدارة الجودة الشاملة والإدارة التقليدية:

تُعد إدارة الجودة الشاملة فلسفة إدارية لخلق إطار فكري وثقافة مشتركة تؤدي إلى إدارة أكثر تعقيداً وإلى التغيير والتحسين، ويوضح الجدول (7-2) باختصار الفروق الأساسية بين الإدارة التقليدية وإدارة الجودة الشاملة.

تؤدي إدارة الجودة الشاملة في بيئة احتكارية إلى عائدات أكبر للاقتصاد الوطني بينما يكون الزبون في البيئة التنافسية، والذي يزداد مدى اختياراته ملكاً؛ بل دكتاتوراً،

من حيث المنتجات التي يحتاجها والسعر الذي سيدفعه. وفي هذه الظروف لا تؤدي إدارة الجودة الشاملة إلى زيادة العائدات على المستوى الوطني فقط، بل تصبح عاملاً مهماً في بقاء المؤسسات واستمراريتها.

يسود اعتقاد عام بأن المؤسسات ستدوم للأبد، ولكن الحقيقة مختلفة تماماً، ففي بيئة تنافسية تكون المؤسسات مثل البشر لها دورة حياة محددة.

الجدول (2-7) الفروق الأساسية بين الإدارة التقليدية وإدارة الجودة الشاملة

الإدارة	الإدارة التقليدية	إدارة الجودة الشاملة
وجه المقارنة		
الهدف الأساسي	أرباح قصيرة الأمد	تلبية توقعات الزبائن
الموظفون	مورد باهظ الثمن	أصل استراتيجي
الجودة	تعامل الجودة على أنها تكلفة	تعامل الجودة على أنها ربح
هدف الإدارة	النتائج	العمليات (تحسينها) والنتائج
الأسلوب	تخفيض التكاليف	تحسين الجودة (المحافظة على الجودة وزيادة عدد الزبائن)
التطلعات	الفردية	العمل الجماعي

7-9- الجودة والمواصفات القياسية

7-9-1- المنظمة (الهيئة) الدولية للمواصفات والمقاييس ISO:

تأسست المنظمة في أعقاب الحرب العالمية الثانية بعد لقاء ضم وفود 25 دولة في لندن سنة 1946، وباشرت عملها في 1947/02/23، وتتخذ من جنيف بسويسرا مقراً لها. اشتقت ISO من الحروف الثلاثة الأولى لاسم المنظمة الدولية للمواصفات والمقاييس (International Standardization Organization)، وهي اتحاد عالمي أو منظمة دولية غير حكومية وليست من منظمات الأمم المتحدة مع أن أعضائها يمثلون أكثر من 130 بلداً. تضم هيئات أو منظمات المواصفات والمقاييس في الدول المختلفة، ويشارك فيها عضو من كل دولة، وتختص بإصدار المواصفات الدولية، وتسهيل

التعاون، وتوحيد المواصفات الصناعية على المستوى الدولي بهدف تسهيل عمليات التبادل التجاري للسلع والخدمات، فالمعايير الموضوعة من قبلها تعد بمنزلة نظام لتأكيد الجودة وضمانها، وهي تراعي عند إصدار هذه المقاييس مصالح جميع الأطراف من المنتجين والمستهلكين والحكومات والجهات العامة.

ملاحظات حول الآيزو:

- لا تخضع المنظمة الدولية لأنظمة أي دولة على الإطلاق، وتم اعتمادها من قبل مجموعة من الدول ويعمل بها فئة من صفوة المتعلمين ذوي الخبرات والتجارب في شتى المجالات والقطاعات، وهي منظمة متعددة الجنسيات وذلك لما جمعت من جميع أطراف الجنس البشري على اختلاف دياناتهم وأعراقهم وأصولهم.
- جميع المواصفات الصادرة عن المنظمة اختيارية مع أن الكثير من الدول تراها مواصفات وطنية لها.
- المنظمة الدولية للمواصفات ISO غير مسؤولة عن التحقق بمدى مطابقة ما ينفذه المستخدم للمواصفة مع متطلبات هذه المواصفة.
- تطبق إدارة الجودة اليوم أكثر من ثلث مليون مؤسسة صناعية وخدمية في العالم.
- من الضروري التمييز بين المواصفة القياسية للمنتج والمواصفة القياسية لنظام إدارة الجودة الذي يضمن مطابقة المنتج لمستوى الجودة الذي تم تحديده من قبل الشركة.
- مما سبق يتضح أن وظيفة منظمة الآيزو هو إنتاج المواصفات وتطويرها، وليس من صلاحياتها منح شهادات المطابقة أو إرغام المؤسسات على تطبيق هذه المواصفات.

7-9-2- التطورات التي شهدتها المنظمة الدولية للتقييس

إن تاريخ تأسيس المنظمة العالمية للمواصفات القياسية ISO، كان تاريخ الانطلاق في تأسيس مجموعة من المنظمات التي تسهم في أعمال هذه المنظمة، وتهدف إلى حماية المنتجات المحلية والإقليمية، إضافة إلى العمل على تطوير الجودة. أهم هذه المنظمات:

1- المنظمة الأمريكية للسيطرة على الجودة ASGL: تأسست عام 1946 وتضم أكثر من 54000 عضو بالإضافة إلى فريق خاص ينشط خارج الولايات المتحدة الأمريكية يضم أكثر من 15000 عضو.

2- الاتحاد الياباني للمهندسين والعلميين JUSE: تأسس سنة 1946 ويشارك فيه أكثر من 2000 شركة، يعمل على تطوير الصناعة اليابانية بتطبيق التقنيات الحديثة وتوسيع تطبيق الجودة في الشركات اليابانية.

3- المنظمة الأوربية للجودة BS: تأسست في عام 1957 في لاهاي وتضمنت آنذاك خمس جمعيات وطنية، هذه المنظمة تم تكوينها في الوقت نفسه الذي تم فيه التوقيع على مشروع روما، الخاص بالسوق الموحدة، ثم توسعت بعدها لتشمل 25 دولة حالياً.

7-3-9- التقييس وضمان الجودة:

تولي جميع هيئات التقييس في العالم أهمية خاصة لعملية منح شهادة مطابقة لسلعة ما للمواصفات القياسية التي تصدرها هذه الهيئات أو الترخيص بوضع علامة أو إشارة ترمز لمطابقة السلعة للمواصفات. إن إعداد المواصفات القياسية وإصدارها لن يكتمل إلا باتخاذ خطوات إيجابية نحو تطبيق هذه المواصفات، وتعد عملية تطبيقها من أهم مسؤوليات المصانع المنتجة التي يهملها بالدرجة الأولى أن تثبت للمستهلك أن انتاجها مطابق للمواصفات، ولكن هناك دائماً أزمة ثقة بين المنتج والمستهلك ولاسيما في البلدان النامية مما يستلزم تدخل طرف ثالث محايد موثوق فيه لاتخاذ الإجراءات المناسبة لتطبيق المواصفات، ويشهد بعد ذلك بمطابقة المنتج للمواصفات القياسية، أو بمعنى أصح بمنحه علامة معينة تدل على ذلك أو شهادة مطابقة، وهذا ما يسمى بضمان الجودة، ويعرف ضمان الجودة بأنه نظام يقوم فيه طرف ثالث لضمان مطابقة سلعة معينة لمواصفات تم الاتفاق عليها بين المنتج والمشتري، والهيئات الوطنية للتقييس هي الطرف الثالث المناسب والأقرب إلى الحياد المطلوب حيث يعبر عن ضمانه هذا بمنح المنتج حق وضع علامة مميزة على منتجاته تؤكد مطابقتها للمواصفات القياسية الوطنية، أو يقوم بإصدار شهادة

مطابقة لتأكيد ذلك، كما أنها هي الجهة التي تقوم بوضع هذه المواصفات وإصدارها، وهي الجهة القادرة على تعديلها لتناسب كل الأطراف المعنية.

لا بد من الإشارة إلى دور التقييس في موضوع ضمان الجودة المتمثل في شهادة المطابقة وعلامة الجودة وفوائدها.

• **علامة المطابقة:** علامة محددة تطبق أو تستخدم بموجب قواعد نظام شهادات المطابقة وتوضح الثقة في أن المنتج أو عملية التصنيع أو الخدمة مطابقة لمواصفة قياسية معينة أو وثيقة قياسية أخرى.

• **شهادة المطابقة:** وثيقة تصدر بموجب قواعد نظام المطابقة تعطي الثقة بأن المنتج أو عملية التصنيع أو الخدمة المحددة مطابقة لمواصفات قياسية خاصة بها أو لوثيقة مرجعية.

• **علامة الجودة:** علامة معتمدة من هيئة التقييس الوطني، يُسمح بوضعها على المنتجات التي يقوم المصنع المصريح له بحمل العلامة بإنتاجها خلال فترة معينة (سنة في العادة) وفي مقابل ذلك تقوم الهيئة بفرض نظام من التفتيش الفني والتأكد باستمرار من مطابقة الإنتاج للمواصفات القياسية الوطنية.

أهم المتطلبات الأساسية لتنفيذ نظام علامة الجودة وتشغيله:

أ- وجود مواصفات قياسية للمنتج المراد منحه علامة الجودة.

ب- استعداد هيئة التقييس الوطنية لتطبيق هذا النظام وهذا يستلزم وجود قانون لعلامة الجودة، ووجود مختبرات مؤهلة فنياً، ووجود كادر فني مدرب.

ج- التأكد من مطابقة المنتج للمواصفات القياسية ووجود نظام فعال لضبط الجودة والتقدم بطلب إلى الهيئة المسؤولة لمنحة علامة الجودة.

10-7- فوائد نظام علامة الجودة:

هناك العديد من فوائد نظام علامة الجودة للمستهلك والتاجر والموزع:

أ- بالنسبة للمستهلك:

1- تتيح له وسيلة عملية وبسيطة لإرشاده إلى السلع المأمونة التي تحقق الغرض الذي يستهدفه وتتلاءم مع متطلباته ولا تعرّض صحته أو سلامته للمخاطر.

2- تحميه من الوقوع في براثن الغش والخداع دون أن يتكبد نفقات اختبار أو يحتاج إلى الدخول في التفاصيل الفنية أو الاختبارات وغيرها والتي تتولاها الهيئة نيابة عنه.

ب- بالنسبة للمنتج والتاجر والموزع:

1- كسب ثقة المستهلك سواء من القطاع العام أم القطاع الخاص في المنتجات التي تحمل علامة الجودة.

2- زيادة قيمة هذه المنتجات وشهرتها.

3- زيادة فرص رواج المنتجات في الأسواق المحلية والخارجية.

4- الحصول على فوائد اقتصادية عديدة نتيجة تطبيق المواصفات.

5- الإلمام بالأساليب العلمية الحديثة لمراقبة الجودة وضبطها.

6- إيجاد أسس ملائمة وسهلة لعقد اتفاقيات التصدير.

7- الاقتصاد في تكاليف الاختبار والتفتيش وتقليل كمية المخزون.

7-11- مفهوم المواصفات:

للمواصفات القياسية دورٌ أساسي في حركة التجارة البينية للمنتجات والخدمات بين الدول، خاصة في ظل المتغيرات والتطورات الاقتصادية التي يشهدها العالم بعد تحرير التجارة الدولية تحت مظلة منظمة التجارة العالمية. ففي هذا الصدد ازداد اهتمام الدول بالمواصفات القياسية وتوفير متطلبات الجودة التي تحكم حركة التجارة للسلع والمنتجات، إضافة إلى اهتمامها بإنشاء الأجهزة وتطويرها للتأكيد على جودة السلع المختلفة بهدف خفض الفاقد وتعزيز القوى التنافسية للمنتجات أمام مثيلاتها المستوردة وخلق أسواق جديدة. تُعدّ المواصفة بمنزلة معيار للتفاهم ولغة مشتركة يتم الاحتكام إليها، فهي تؤدي دور المترجم أي إنها تترجم الحاجات المختلفة إلى أوصاف أو إرشادات مفادها التحسين والتطوير. ولتوضيح معنى المواصفة نستعرض التعاريف التالية:

1- المواصفة: هي وثيقة مدونة تحتوي على وصف دقيق للمادة أو السلعة سواء كانت أولية أم وسطية أم منتجاً نهائياً لتكون صالحة للاستعمال أو الاستخدام لتلبي الأغراض التي وضعت من أجلها.

2- أو هي وثيقة غير إلزامية توافق عليها هيئة تقييم معترف بها تقدم من أجل الاستخدام العام المتكرر القواعد والإشارات، أو الخصائص المتضمنة الشروط في مجال التغليف والسمات المميزة، أو اللصقات لمنتج أو طريقة إنتاج معينة.

3- عرفت المنظمة الدولية للتقييس ISO المواصفة القياسية: بأنها وثيقة يتم وضعها باتفاق عام، واعتمادها من قبل جهة معترف بها تقدم من أجل الاستخدام العام أو المتكرر القواعد أو الإرشادات العامة أو الخصائص المتعلقة بالأنشطة أو نتائجها، بهدف تحقيق الدرجة المثلى من النظام والترتيب داخل سياق معين. أو هي وثيقة معتمدة من سلطة معترف بها تم إعدادها باتباع أساليب التوحيد القياسي في مجال ما لتشمل الاشتراطات التي ينبغي توافرها في المنتج.

4- وتعرف الجمعية الفرنسية للتقييس AFNOR المواصفة بأنها وثيقة مكتوبة تكون في متناول الجمهور، تقوم بإنشاء قاعدة أعمال تطويرية تتضمن إرشادات أو محددات تقنية معدة من طرف منظمة معروفة، وهذا ضمن إطار يؤدي إلى اتفاق كل الأطراف المعنية بهدف تحقيق تطبيق دائم ومتكرر من أجل تعظيم الفائدة بالنسبة للجميع.

تُعدّ المواصفات لغة تفاهم ووسيلة اتصال مع جميع الحلقات المتعاملة مع المنتج أو مدخلاته، وتُعدّ المواصفات من أكثر الوسائل وضوحاً وقبولاً لدى جميع شرائح المجتمع لأنها تعتمد على الشفافية وتشمل المواصفات الآتية:

1. أوصاف المنتج: تعني جميع الأوصاف التي يحتاج لها أثناء عمليات الإنتاج كالأبعاد، والأوزان، والأحجام، وقوى الشد والضغط... الخ.

2. أوصاف محددة للمواد المستعملة في المنتج مثل الخواص الطبيعية، والكيميائية والهندسية.

3. طريقة الإنتاج والتي تُعدّ أحد الجزئيات للمواصفة حيث تختلف المواد عن بعضها لإحضارها لطريقة الإنتاج الملائمة.

4. تحدد المواصفات طرائق القياس والمعايرة المطلوبة لاختبار المنتج أو المواد اللازمة، كما تحدد نوعيات الأجهزة والطرائق المرجعية للاختبارات والتحليل.

5. تحدد المواصفات نوعيات التحضير والتجهيز المطلوبة وكيفية التخزين والتداول.
6. تحدد المواصفة نسب التفاوت المقبولة في المنتجات والتي يمكن أن يستفاد منها في تحديد درجة جودة المنتج.

7-11-1- إعداد المواصفة القياسية:

تحت التأثيرات المختلفة لاستعمال التقنيات الجديدة وتزايد المنافسة في الأسواق الدولية، أصبحت المواصفات القياسية مرجعاً تقنياً ضرورياً للتصنيع والتدبير لأنها تهتم بتحديد خاصيات السلع والمواد والخدمات وطرائق فحصها وتحليلها، لذلك أصبحت المنتجات الصناعية في عصرنا الحاضر من بين العناصر الضرورية لتحقيق تنمية فعالة وتحسين القدرة التنافسية للشركات.

تُعَدّ المواصفات وسيلة تساعد على نقل التكنولوجيا، وتنجم عنها منافع اقتصادية تتمثل في تخفيض كلفة الإنتاج ورفع مستوى المنتج وجودته على الصعيدين الداخلي والخارجي. وبالتالي فإن تبني مواصفات وطنية يهدف أساساً إلى وضع قواعد علمية للإنتاج المحلي تسهم في تسهيل نقل المعلومات التقنية وتعميمها وتمكين المنتجين من استغلالها.

وتعد المواصفة القياسية وثيقة ذات طبيعة اختيارية، إلا أنها تصبح إجبارية عندما يتعلق الأمر بمجالات الأمن، ومجالات تمسّ بصحة المستهلك وسلامته، ومجالات تتعلق بالتجهيزات الكهربائية، ومجالات العقود الحكومية التي تتعلق بإنجاز مشاريع لفائدة الدولة أو المجتمع المحلي أو الشركات التابعة للقطاع العام. لذلك فإن تطبيق المواصفات العالمية ليس إلزامياً، بل يخضع للمبادرة الفردية، لكنها تصبح مع الوقت شبه إلزامية حيث إن الأولوية في أي مناقصة هي للشركة أو المؤسسة الحاصلة على شهادة الآيزو.

تتضمن عملية إعداد المواصفة القياسية ثماني مراحل رئيسية:

- 1- تحديد الاحتياجات: يمكن حسب القطاع وتحليل كفاية المواصفات ودراسة جدوى إعدادها من الناحية التقنية والاقتصادية انطلافاً من سؤالين حاسمين:
أ- هل تضيف المواصفة القياسية شيئاً إلى القطاع المعني من النواحي التقنية والاقتصادية؟
ب- هل تتوافر المعرفة الكافية لصياغة المواصفة القياسية؟

2- البرمجة الجماعية: دراسة المتطلبات التي تم تحديدها والأوليات المحددة من قبل الأطراف ييسر اتخاذ القرار بإدراج الموضوع ضمن برنامج عمل الهيئة المعنية.

3- إعداد مشروع المواصفة القياسية: بوساطة الأطراف المعنية الممثلة بخبراء (بما فيهم المنتجون، المستخدمون، المختبرات، الجهات الحكومية، المستهلكون... الخ) يجتمعون في إطار لجان التقييس.

4- إتفاق الخبراء بشأن مشروع المواصفة القياسية.

5- الموافقة: مشاورات واسعة على المستوى الوطني أو الدولي حسب الحال تكون على شكل استقصاء عام يأخذ بالحسبان مجمل الأطراف الاقتصادية للتأكد من أن مشروع المواصفة القياسية يتفق مع المصلحة العامة ولا يواجه اعتراضات كبيرة.

6- فحص النتائج والملاحظات الواردة على المشروع ثم وضع الصيغة النهائية لنص مشروع المواصفة القياسية.

7- اعتماد النص لينشر كمواصفة قياسية.

8- المراجعة: يخضع تطبيق جميع المواصفات القياسية إلى عملية تقييم دورية لمدى مناسبتها وذلك بوساطة الجهة المعنية بالتقييس، مما يتيح الفرصة في الوقت المناسب لمعرفة ما إذا كانت المواصفة القياسية تتطلب مراجعة لتلائم المتطلبات الجديدة. وبعد المراجعة يمكن ابقاء المواصفة القياسية من دون تغييرات، أو تعديلها أو إلغائها.

تقوم منظمة الآيزو كل خمس سنوات تقريباً بمراجعة المواصفة وتعديلها إذا لزم الأمر، لذلك تحدد كل مواصفة مع السنة التي أجري فيها التعديل.

7-11-2- أهمية المواصفات القياسية ISO:

نظراً لتزايد أهمية الحصول على شهادة الآيزو، التي تغطي مجال الإنتاج والتصميم، واشتراطها كمطلب للإستيراد في الكثير من الدول، فالمؤسسات والشركات التي لم تحصل على هذه الشهادة تكون قد وضعت الحجة على نفسها في عدم التعامل معها، ولا سيما بعد إصدار قانون سنة 2000 الذي ينصّ على حصول المؤسسات التي ترغب في

الدخول إلى السوق العالمية على إحدى شهادات الآيزو 9000 والتي تمنح المؤسسات عدة مميزات كما في الجدول (3-7).

الجدول (3-7) أهمية الآيزو للمؤسسة والعمال والعملاء

بالنسبة للمؤسسة	بالنسبة للعميل	بالنسبة للعمال
1- جودة المنتجات والتقليل من الفضلات. 2- زيادة القدرة التنافسية للمؤسسة وتحسين صورتها لدى المستهلك وإظهارها بمظهر من يضع الجودة في قمة اهتماماتها. 3- إمكان دخول منتجات المؤسسة إلى الأسواق الأجنبية التي تشترط الحصول على شهادة ISO9000. 4- زيادة أرباح المؤسسة نتيجة تقليل نسبة التكاليف والمعيب من الإنتاج وزيادة مبيعاتها. 5- رفع مستوى الأداء وتغيير ثقافة المؤسسة إلى الأفضل والأحسن والأكفأ. 6- بناء علاقات قوية مع العملاء، وتوفير مناخ إداري متفوق يقوم على الفهم الصحيح لرغبات العملاء، وتطبيق مفاهيم الجودة في كل الأنشطة.	1- الحصول على الشهادة يعني للعميل الثقة بأن المؤسسة تقوم بتزويده بمنتجات تستجيب للخصائص المطلوبة. 2- تعطي للعميل معلومات شاملة عن المؤسسة وعن جودة المنتج والخدمة التي تقوم بتقديمها كما هي سهلة الفهم. 3- العميل دائماً يبحث عن المؤسسة الحاصلة على الشهادة لأنها تعطي المصداقية والشفافية عكس المؤسسة غير الحاصلة على هذه الشهادة.	1- إعطاء العاملين شعوراً بالثقة والفخر بالنفس، بسبب وجود شهادة تؤكد أن في المؤسسة نظاماً للجودة يرتقي إلى المستويات القياسية العالمية، وهذا يعني رفع الروح المعنوية للعاملين. 2- تقديم رؤية واضحة لأدوار العمال وأهدافهم من خلال نظام الجودة وتحفيزهم أكثر لتحقيقها تزامناً مع تلبية رغبات العميل وإرضائه.

7-11-3- أنواع المواصفات القياسية:

يوجد العديد من المواصفات نذكر أهمها:

- 1- المواصفات القياسية المرتبطة بطرائق الاختبار والتحليل وقياس الخواص.
- 2- مواصفة المنتج: تحدد المتطلبات التي يتعين على منتج ما أو مجموعة من المنتجات الوفاء بها لإثبات ملائمتها.
- 3- مواصفة الخدمة: تحدد متطلبات الخدمة لتحقيق ملائمتها للغرض.
- 4- مواصفات خاصة بعملية الإنتاج: وتحدد المواصفات الواجب توافرها في عملية الإنتاج لتحقيق ملائمتها للغرض.

5- مواصفات التنظيم المتعلقة بوصف مختلف وظائف المؤسسات والعلاقات المتبادلة بينها وكذلك أشكال النشاط (إدارة الجودة، والصيانة، وتحليل القيمة، والعمليات الحركية، وإدارة المشاريع، وإدارة الإنتاج.. الخ).

6- المواصفات القياسية الأساسية: هي المواصفات التي تشكل الأساس للعديد من الحقول التقييسية والمنتجات والنشاطات المتعلقة بالمصطلحات والقياس والاتفاقات والعلامات والرموز والوحدات.. الخ.

7- مواصفات الأبعاد والقياسات: هذه المواصفات تحدد الأبعاد والقياسات لقطع وأدوات معينة تستخدم في الصناعة لتكون بشكل موحد في جميع أنحاء العالم وكلغة مشتركة بين المصممين والمنتجين، مثل المواصفات الخاصة بأبعاد البراغي والمسامير.

7-11-4- الشروط الواجب توافرها في المواصفات:

1- وضوح الموصوفة: يجب أن تكون الموصوفة واضحة حتى يسهل فهمها بوساطة كل المعنيين بها، كما يجب أن تكون بعيدة عن أي مصطلحات أو معانٍ غير واضحة، مما يعكس سمات الشفافية.

2- التكامل: يجب أن تكون الموصوفة متكاملة في المضمون والمعنى، مما يبعد اجتهادات الأفراد لإدخال أي جزئية منها أو تبديلها، ويتطلب هذا الأمر أن تكون الموصوفة المعنية قد مرت بمراحلها المختلفة بعد أن كانت مسودة أو مقترحاً، وتم توزيعها على أكبر شريحة مستفيدة لإبداء الرأي والملاحظات والأخذ بتلك الآراء المتفق عليها.

3- الواقعية: يجب أن تكون الموصوفة واقعية وسهلة التطبيق وأن لا يقود تطبيقها إلى رفع التكاليف.

4- الربح: يجب أن تقود الموصوفة عند تطبيقها بوساطة الجهة المعنية إلى خفض تكاليف الإنتاج، ورفع كفاءة الأداء، وزيادة حجم التسويق وتحقيق ربحية مشجعة لتكون دافعاً للمؤسسة والعاملين بها.

5- الملاءمة: يجب أن تؤدي خصائص الموصوفة إلى الملاءمة في التطبيق لفترة طويلة حتى لا تكون عرضة للتبديل والتغيير والإضافات، التي إن وجدت يجب أن تكون ثانوية ويتم

إدراجها بعد فترة من الزمان وبعد تجارب ميدانية طويلة.

7-12- المواصفات القياسية الدولية إيزو 9000:

إن تحرير التجارة الدولية يتطلب من جملة المتطلبات نظاماً موحداً، أو مقبولاً من كل الأطراف لتقييم جودة المنتجات والخدمات المتبادلة. وقد وضعت هذا النظام منظمة المواصفات الدولية التي تعمل في مجال التوحيد القياسي العالمي لمختلف السلع والخدمات والمواد، وهي التي وضعت مؤخراً أساساً وضوابط ومقاييس لعلامة جودة ضمن برنامج شامل للجودة لتكون وسيلة للترويج في مجال التصنيع والتجارة الدولية.

آيزو 9000، هي سلسلة من المواصفات والمقاييس المعتمدة عالمياً وتستخدم في تأكيد جودة العمليات والنشاطات في المؤسسات، ويرمز الرقم 9000 لسلطة المواصفات التي تختص بإدارة الجودة في المؤسسات المختلفة (مصنع، بنك، مستشفى، مدرسة...).

تتضمن سلسلة الآيزو 9000 مجموعة متناغمة من مقاييس تأكيد الجودة العامة المطبقة على أي شركة سواء كانت كبيرة أم متوسطة أم صغيرة. ويمكن أن تستخدم مع أي نظام موجود، وتساعد الشركة على تخفيض الكلفة الداخلية وزيادة الجودة والفعالية والإنتاجية وتكون بمنزلة خطوة باتجاه الجودة الكلية وتحسينها المستمر. وسلسلة الآيزو 9000 ليست مجموعة من مواصفات المنتج ولا تغطي مقاييس صناعة محددة إذ تصنف كل وثيقة نموذج جودة ليستخدام في تطبيقات مختلفة.

تتكون سلسلة المواصفات القياسية الدولية آيزو 9000 من خمس مواصفات خاصة بإدارة الجودة وتأكيداتها وهي:

المواصفة الأولى - آيزو 9000: هي المرشد الذي يحدد مجالات تطبيق كل من آيزو 9001 و آيزو 9002 و آيزو 9003.

المواصفة الثانية - آيزو 9001: هي أشمل وثيقة في السلسلة تطبق على الشركات التي تعمل في التصميم والتطوير والتصنيع والترتيب والخدمات (الشركات الإنتاجية أو الخدمية التي يبدأ عملها بالتصميم وينتهي بخدمة ما بعد البيع) وهي تحدد نظام جودة للاستخدام عندما تتطلب العقود شرحاً لقدرة المورد على تصميم المنتج وتصنيعه وتركيبه وخدمته.

كما يتعامل آيزو 9001 مع نواحٍ أخرى مثل: تقصي الأخطاء وتصحيحها في أثناء الانتاج، وتدريب الموظفين، والتوثيق، وضبط البيانات. ويتطلب هذا النموذج الوفاء بعشرين شرطاً من عناصر الجودة، وتوافرها هو شرط للحصول على شهادة آيزو 9001.

المواصفة الثالثة - آيزو 9002: تتناول نظام الجودة في الشركات الإنتاجية أو الخدمية التي يقتصر عملها على الإنتاج والتركيب دون التصميم أو التطوير أو خدمة ما بعد البيع، ويتطلب هذا النموذج الوفاء بثمانية عشر شرطاً للجودة. المنتجات والخدمات في هذه المواصفة تكون قد صُممت وفحصت وسوّقت، لذلك تهتم هذه المواصفة بالمحافظة على نظام الجودة القائمة بدلاً من تطوير نظم جودة لمنتجات جديدة.

المواصفة الرابعة - آيزو 9003: تخص الشركات التي لا تحتاج لنظم جودة شاملة لأنها لا تعمل بالإنتاج أو تقديم الخدمة، وإنما يقتصر عملها على الفحص والتفتيش النهائي والاختبار.

مثال ذلك: مؤردو البضائع الذين يقتصر عملهم على فحص واختبار منتجات جاهزة وردت إليهم من مصانع تطبق نظم الجودة الشاملة. ويتطلب هذا النموذج الوفاء بـ(12) عنصراً من عناصر الجودة.

المواصفة الخامسة - آيزو 9004: تتضمن التعليمات الإرشادية التي يجب اتباعها من قبل الشركات للحصول على إحدى شهادات الآيزو سابقة الذكر. وهي بذلك تختلف جذرياً عن المواصفات 9001، 9002، 9003 في أن الأخيرة تعاقدية أو تتضمن صيغة التزام الشركات المنتجة تجاه المستهلك في أن توفر في منتجاتها المواصفات المحددة في شهادة الآيزو، أما الآيزو 9004 فهي مرشد الشركات لتطبيق نظام إدارة الجودة (QMS).

1-12-7- الهدف من الآيزو:

وضع نظام إداري وقائي محدد لمنع حالات عدم المطابقة يشتمل على جميع الشروط والضوابط التي يجب توافرها في المنشآت لضمان كفاءة الأداء وجودته للأنشطة والعمليات المؤثرة في جودة المنتج أو الخدمة.

7-12-2- الأسباب التي أدت إلى شيوع نظام الآيزو 9000:

الأسباب التي أدت إلى شيوع نظام الآيزو 9000 على المستوى العالمي:

- 1- المنافسة الشديدة في الأسواق العالمية.
- 2- الاهتمام العالمي الكبير بالجودة الشاملة.
- 3- سهولة تبني مواصفات الآيزو وتطبيقها وشتوعها على المستوى العالمي.
- 4- انعكاسات تطبيق الآيزو على فعالية الأداء والإنتاجية وثقافة الشركة.
- 5- ظهور تكتلات اقتصادية إقليمية مثل: السوق الأوروبية المشتركة، ونمور آسيا... الخ.
- 6- انهيار الاتحاد السوفيتي ونظم الاقتصاد الموجه.

7-12-3- أهمية الحصول على شهادة الآيزو:

تكمن أهمية الحصول على شهادة الآيزو 9000 في النقاط التالية:

- 1- زيادة القدرة التنافسية للشركة عن طريق تحسين سمعتها لدى المستهلك ومساعدتها على طرح منتجاتها في الأسواق العالمية ومواءمتها لمتطلبات منظمة التجارة العالمية.
- 2- توفير مجموعة متكاملة من الوثائق وتطويرها، والتي تمثل الدليل الإرشادي للإجراءات والمعطيات الإدارية والفنية والإسهام في تحقيق أداء جميع العمليات بصورة أفضل.
- 3- المساعدة في رفع مستوى أداء الشركة وتحقيق الكفاءة والكفاية المطلوبة وتقليل الفائدة من العمليات الإنتاجية من خلال تقليل العيوب أو المسترجعات، الأمر الذي يسهم في خفض أسعار السلع والخدمات المعروضة من قبل الشركات.
- 4- تحسين مستوى العلاقة مع العملاء.
- 5- تمكين الشركة من القيام ذاتياً بعمل المراجعة والتقييم الذاتي.
- 6- تحفيز موظفي الشركة على العمل ورفع الروح المعنوية لديهم وتشجيعهم على المساهمة في عمليات المراجعة الدورية الداخلية للنظام المطبق، وبالتالي الوصول إلى أفضل مستوى يحافظ على الشهادة الممنوحة لهم، فضلاً عن اطمئنانهم بأنهم يعملون من خلال نظام موثق بعيداً عن العمل التقليدي الإجتماعي.
- 7- ثبات الجودة وتطويرها بسبب اهتمام نظام الجودة بالمراجعة والتقييم المستمر.

8- مساعدة الشركة على تحقيق أهدافها الربحية بسبب الحد من تكلفة الإنتاج وتقليل نسبة التالف والمعيب وزيادة المبيعات.

7-12-4- بعض الصعوبات المرافقة لعملية تطبيق نظام الآيزو 9000:

هناك العديد من الصعوبات التي قد تنتج عن عملية تطبيق نظام الآيزو 9000 وهو ما يفرض على المؤسسات الانتباه إليها ومحاولة تجنبها. يمكن تلخيص هذه الصعوبات في:

1- التكاليف العالية نسبياً والتي يتوجب على المؤسسة دفعها لقاء تدريب العاملين والخدمات التي تقدمها لها الجهات الاستشارية وبقاء عملية تقييم نظام الجودة والحصول على الشهادة والحفاظ عليها.

2- الحاجة إلى تسمية ممثل الإدارة الذي يكون له، إضافة إلى المسؤوليات الأخرى، مهام جديدة تتعلق بتأسيس نظام الجودة وتدريب العاملين عليه.

3- الحاجة إلى تغيير بعض الممارسات الحالية في المؤسسة من أجل تلبية متطلبات المواصفة الأمر الذي يلاقي في بعض الأحيان مقاومة من قبل العاملين.

4- احتمال فشل المؤسسة في الحصول على أي فائدة ملموسة نتيجة تطبيق نظام الجودة لاسيما إذا كانت أرباحها محدودة أو كانت منتجاتها غير مرغوب فيها أو غير منافسة.

7-12-5- أسباب فشل المؤسسات في عملية تطبيق نظام الآيزو 9000:

إن فشل العديد من المؤسسات في تطبيق نظام الآيزو 9000 راجع للأسباب التالية:

1- الإفتقار إلى الفهم الصحيح لمتطلبات الآيزو وعدم التزام الإدارة العليا بالتطبيق.

2- نقص الموارد وعدم شمولية التقسيم للعمليات الحالية.

3- التدريب غير المناسب، وعدم ضبط الوثائق.

4- التغيير الثقافي أو التغيير في الأنظمة الحالية.

5- مقاومة التغيير والخلافات بين أعضاء لجنة التوجيه وبين أعضاء كل فريق من فرق العمل الفرعية.

6- طول الإطار الزمني المطلوب للتطبيق، وعدم تخصيص الوقت والجهد الكافيين من المؤسسة للتطبيق.

7- تعدد المهام الوظيفية لممثل الإدارة، إضافة إلى مهمته المتمثلة في تنسيق جعل نظام الجودة في المنظمة متوافقاً مع المواصفة وتسهيله.

7-13- علاقة نظام الآيزو 9000 بإدارة الجودة الشاملة:

لقد حدث خلط كبير لدى بعضهم بين مفهوم إدارة الجودة الشاملة ومعايير نظام الآيزو 9000، فقد اعتقدوا أنهما يعنيان الشيء نفسه، بل نسمع في بعض الأحيان من يتحدث عن الآيزو، كأنه يقصد به إدارة الجودة الشاملة على الرغم من تباعد المسافة بينهما، لكن في الواقع أن الربط بين المفهومين مخالف للحقيقة في العديد من جوانبه، فإدارة الجودة الشاملة أكثر شمولاً من معايير الآيزو 9000 وهي توجّه فكري وثقافة تنظيمية جديدة تسعى إلى التحسين المستمر، بينما تركز شهادة المطابقة للآيزو 9000 على عناصر المواصفة المختلفة وعلى مدى الالتزام بتطبيقها وتطبيق إجراءات تحقيقها. لكن ليس هناك نقاط تعارض كبيرة بين المفهومين، بل العكس من ذلك هناك نقاط التقاء كثيرة أهمها:

- النظر إلى أن الحصول على شهادة المطابقة آيزو 9000 كخطوة مبدئية في سبيل السير نحو تطبيق إدارة الجودة الشاملة.

- التطبيق الناجح لإدارة الجودة الشاملة يتطلب وجود نظام جودة مشابه لنظام الجودة القائم على مواصفات آيزو 9000.

- تعمل مواصفات آيزو على توثيق عمليات التحسين وتمنع التراجع، كما لا يشترط حالياً التوسع في استخدام الطرائق الإحصائية، بينما تشرط إدارة الجودة الشاملة ضرورة معرفة العمال والمراقبين والإدارة بالطرائق والأدوات الإحصائية كأساس لرصد المشكلات وتحديد نقاط الخلل ومعالجتها.

- تشمل متطلبات الآيزو جزءاً من متطلبات الجودة الشاملة وأهدافها، مثل: التجاوب مع الشكاوى والمعايرة والتجهيز بالوثائق، وتؤكد فعاليات الجودة الشاملة على التحسين المستمر وفعاليات العمل الجماعي والإدارة المتقاطعة وحلقات الجودة وإدارة التكاليف والاستخدام المكثف للطرائق الإحصائية.

تُعَدّ إدارة الجودة الشاملة مدخلاً للتطوير الشامل والمستمر للأداء، حيث تعد مسؤولية جميع أفراد المنظمة، وتهدف إلى تحقيق رضا العملاء، تخفيض التكاليف ورفع الحصة السوقية من خلال تعميم الجودة على جميع مراحل التشغيل بدءاً من التعامل مع المورد ووصولاً إلى التعامل مع العميل، وتُعَدّ المواصفات القياسية المحدد الأساسي للجودة والتي تشكل أعمدة أساسية تقوم عليها جودة الإنتاج وجودة الخدمات، ومن خلال هذه الأعمدة الأساسية يمكن إحداث عمليات التطوير المطلوبة لتلبي رغبات المستهلكين. أما الآيزو 9000 فهي مواصفة محددة متفق عليها عالمياً، مما يسهل تقييم مدى توافق أداء المنظمة معها، في حين يصعب ذلك مع إدارة الجودة الشاملة، حيث تركز على العلاقة بين المورد والزبون والتي تعد مكملة لتوجه الإدارة والعمال بإدارة الجودة الشاملة. وترتبط معايير الآيزو بإدارة الجودة الشاملة من خلال النقاط التالية:

- إن المواصفات القياسية للآيزو تعبر عن إدارة الجودة من وجهة نظر العميل، في حين تنبع إدارة الجودة الشاملة من وجهة نظر المورد، فإدارة الجودة الشاملة خلافاً للآيزو تذهب لأبعد من توقعات العملاء.
- إن تركيز إدارة الجودة الشاملة على رفع فاعلية عمليات المنظمة وكفاءتها بشكل شامل ومستمر بغية إرضاء العملاء يشكل نقطة توافق مع مواصفات الآيزو.
- إن تركيز مواصفات الآيزو على التوثيق والمراجعة المستمرة يُسهم في تحسين إدارة الجودة ونظم تأكيدها، مما يزيد من الاهتمام بالتطوير المستمر والتشغيل الكامل للنظام.
- إذن العلاقة بين مواصفات الآيزو 9000 والجودة تتمثل في أن الآيزو 9000 يُعَدّ محطة مميزة من محطات تطور حركة الجودة، أما عن علاقته بإدارة الجودة الشاملة، فإن الآيزو يُعَدّ نظاماً يقوم على مواصفات موثقة، ويركز على أساس مطابقة هذه المواصفات، في حين إدارة الجودة الشاملة تقوم على إدارة الجودة من منظور شامل وتهتم بتحقيق الجودة في جميع مجالات المؤسسة غير أنهما يشتركان في كونهما أسلوبين إداريين لتحسين الجودة.
- إن تطبيق الجودة الشاملة أصبحت من متطلبات البقاء في الأسواق العالمية التي تتصف بحدة المنافسة فيها، وببقاء الأفضل الذي يقدم أفضل المنتجات والخدمات

وأجودهما، ولا تكفي الجودة الشاملة لتحقيق هذا الهدف، بل يجب على المؤسسة أو الشركة أن تتفوق وتتميز على منافسيها، وهذا لا يتحقق إلا من خلال امتلاكها لميزة تنافسية قوية. وبالنتيجة نقول: إن إدارة الجودة الشاملة والآيزو نظامان متكاملان وليسا بديلين أو متعارضين، إذ يمكن الحصول على الآيزو من دون إدارة الجودة الشاملة والعكس صحيح، كما يمكن تبني إدارة الجودة الشاملة كمدخل للحصول على الآيزو. يبين الجدول (4-7) أهم الاختلافات بين نظام الآيزو وإدارة الجودة الشاملة.

الجدول (4-7) الاختلافات بين نظام الآيزو وإدارة الجودة الشاملة

إدارة الجودة الشاملة TQM	مواصفات الآيزو 9000
التركيز المطلق على العميل	ليس ضرورياً أن تكون موجهة للعملاء
ترتبط باستراتيجية المؤسسة	لا ترتبط باستراتيجية موحدة
موجهة بفلسفة ومفاهيم وأدوات وأساليب شاملة	موجهة بالإجراءات التشغيلية للنظام الفني
التحسين والتطوير المستمر أحد المحاور الأساسية في فلسفة المؤسسة	التحسين والتطوير المستمر غير وارد، فالمعايير محددة بإجراءات وطرائق العمل
التأكيد على مشاركة العاملين وحماهم	مشاركة العاملين ليست ضرورية
تشمل جميع الإدارات والأقسام والوحدات والمستويات التنظيمية	يمكن تطبيقها على أقسام أو إدارات محددة، وليس بالضرورة على مستوى المنشأة ككل.
يتولى مسؤوليتها كل أفراد المؤسسة	يتولى مسؤوليتها قسم أو إدارة مراقبة الجودة
تحتاج إلى إحداث تغيير شامل في المفاهيم والنظم ومراحل التشغيل	قد لا تتطلب إجراء تعديلات جوهرية في الأوضاع الحالية
تبنى التغيير المستمر لا سيما في الثقافة التنظيمية والعمليات	تبدو كأنها في حالة إستاتيكية وضمن بيئة ثابتة لا تتغير

7-14- الآيزو 14000:

الهدف الأساسي من سلسلة آيزو 14000 هو تشجيع تبني إدارة بيئية أكثر فعالية وكفاءة ومرونة وجدوى في المؤسسات، بحيث تصبح جزءاً من نظامها. وتمثل سلسلة الآيزو 14000 للشركات في الدول النامية فرصة لنقل التكنولوجيا ومصدراً لتقديم الإرشاد لإدخال نظام إدارة بيئية، وتبنيه يعتمد على أفضل الممارسات العالمية. تصدر حالياً أول

سلسلة من المقاييس الدولية لأنظمة الإدارة البيئية من قبل المنظمة الدولية للمقاييس، تقدم آيزو 14001 عناصر نظام إدارة بيئية فعال يمكن أن يتكامل مع متطلبات الإدارة الأخرى، مما يساعد الشركات على تحقيق الأهداف الاقتصادية والبيئية. يتيح نظام آيزو 14001 تحديد الإجراءات وتقييم فعاليتها لوضع السياسة والأهداف البيئية وتحقيق التوافق وإظهاره مع هذه الأهداف وتحسين نظام الإدارة البيئية، ويحدد الآيزو 14001 متطلبات إصدار الشهادة وإعلان نظام الإدارة البيئية في الشركة، ويعطي التوافق مع المقاييس وضعا تنافسياً للشركات المصدرة.

7-15- بعض هيئات المواصفات والمقاييس العربية والإقليمية:

7-15-1- هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية:

تُعَدُّ هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية المرجع الوطني المعتمد لجميع شؤون التوحيد القياسي والمعايرة في الجمهورية العربية السورية والمنوط بها وضع المواصفات القياسية للخامات والمنتجات الصناعية وأجهزة القياس وإصدارها، ووضع قواعد منح شهادات المطابقة وعلامة الجودة للمنتجات الصناعية في جميع المجالات، وتنظيم كيفية إصدارها وحقوق استعمالها. فضلاً عن إصدار شهادات المعايرة والتحقق من دقة أجهزة القياس والاختبار المستخدمة في الوحدات الصناعية في جميع القطاعات وأدواتها، وذلك طبقاً لأحكام قرار رئيس الجمهورية بالقانون رقم 2 لسنة 1957 والقرار الجمهوري رقم 1979/392 والقانون 37 للعام 2005 والقرارات الجمهورية والوزارية المكملة.

تتولى الهيئة في سبيل تحقيق أهدافها المهام والصلاحيات التالية:

1- فحص أجهزة وأدوات القياس الواردة إليها من المؤسسات الصناعية المختلفة ومعاينتها ومعايرتها، وإصدار شهادات المعايرة الخاصة بها، أو تقرير الفحص الفني في حال عدم صلاحية استخدامها.

2- منح حق استعمال إشارة المطابقة وعلامة الجودة للمنتجات والخدمات.

3- وضع المواصفات والمقاييس الوطنية للمنتجات والمواد والخدمات ونشرها وتعديلها.

4- إيجاد مراجع معتمدة لمقاييس موحدة.

- 5- إصدار التصنيفات والمصطلحات الفنية والتعاريف والرموز الموحدة الخاصة بالمنتجات والمواد والخدمات.
- 6- تهيئة الوسائل الكفيلة بتحقيق جودة الإنتاج ومطابقة السلع والمواد الأولية للمواصفات المعتمدة، وإصدار الشهادات الخاصة بذلك.
- 7- معايرة أجهزة القياس ومعداتها وضبطها وغير ذلك من القياسات القانونية والبت بالخلافات الناجمة عن تطبيق الجهات المعنية لهذه القياسات.
- 8- مراقبة جودة المصنوعات والمعادن الثمينة والأحجار الكريمة والمجوهرات ومعايرتها ودمغها.
- 9- الإشراف على وضع النظام الوطني للقياس وتطبيقه.
- 10- يحق للهيئة مراقبة المواصفات القياسية بهدف التأكد من سلامتها وإمكانية تطبيقها وتطويرها وتعديلها عند الضرورة.
- 11- إجراء الاختبارات للمواد الأولية والمنتجات المراد وضع مواصفات قياسية لها أو التأكد من سلامة الموصوف منها أو مطابقته للمواصفات القياسية المعتمدة.
- 12- تدريب الأطر الفنية وتأهيلها على نشاطات الهيئة المختلفة داخلياً وخارجياً.
- 13- تقديم خدمات مكتبية توثيقية وإعلامية وعلمية وصناعية.
- 14- يحق للهيئة تنظيم المؤتمرات وعقد الندوات في مجال اختصاصها عن طريق عقد الندوات والدورات التدريبية العملية والنظرية في مجال القياس والمعايرة.
- 15- الاتفاق مع الهيئات والمنظمات العربية والأجنبية فيما يخص توحيد المواصفات القياسية والاعتراف المتبادل بشهادات المطابقة وعلامات الجودة وشهادات اعتماد المختبرات وأسس تقييم الهيئات المانحة لها.
- 16- نشر المطبوعات المتعلقة بالمواصفات القياسية المعتمدة الصادرة عن الهيئة أو عن المنظمات العربية والإقليمية والدولية وتوزيعها وبيعها.
- 17- القيام بالأبحاث العلمية التي يحتاجها وضع المواصفات القياسية والتأكد من سلامة تطبيقها.

18- تمثيل الجمهورية العربية السورية على المستويين الإقليمي والدولي في مجال المواصفات والمقاييس والجودة.

19- تنسيق أعمال الهيئة مع نظائرها العربية والدولية.

20- دراسة احتياجات الإدارة من أجهزة وأدوات القياس وإنشاء معامل جديدة لتفي باحتياجات المؤسسات الصناعية المختلفة وجميع العملاء، وكذلك المواصفات القياسية الخاصة بطرائق القياس والمعايرة لتوفيرها وتحديثها حتى يتسنى استخدامها في معايرة الأنماط الجديدة من أجهزة القياس وأدواته.

7-15-2- المنظمة الدولية للقياس القانوني:

تأسست هذه المنظمة في 12 تشرين الأول 1955 ومقرها باريس، وتهدف هذه المنظمة إلى توحيد المواصفات الوطنية في مجال أجهزة ومعدات الوزن والقياس وطرائق القياس والمعايرة طبقاً للمواصفات الدولية التي تصدرها، لإزالة العوائق الفنية أمام تجارة أجهزة القياس القانوني وصناعتها، مثل الموازين، وعدّادات الكهرباء والمياه، وأدوات قياس الطول والكتلة والحجم وكذلك أجهزة القياس المستخدمة في المجال القانوني الصناعي.

7-15-3- لجنة دستور الأغذية:

تأسست هذه اللجنة في عام 1963 وهي لجنة منبثقة من منظمة الأغذية والزراعة الدولية ومنظمة الصحة العالمية، وتتولى هذه اللجنة تنضيد البرنامج المشترك بين المنطمتين وتختص بشؤون المواصفات الدولية والشروط الصحية والتقنية الخاصة بالغذاء ومقرها هو المقر الرئيسي نفسه في روما-إيطاليا، ويهدف هذا البرنامج إلى:

1. حماية صحة المستهلكين وتأكيد الممارسات العادلة في تجارة الأغذية.
2. تعزيز التنسيق في جميع أعمال المواصفات الغذائية التي تقوم به المنظمات الدولية الحكومية وغير الحكومية.
3. إصدار مواصفات الغذاء الدولية وتوصيات بالاشتراطات الصحية والتقنية الخاصة بالغذاء وتحديد طرائق فحص المواد الغذائية واختبارها وتحليلها.
4. تحديد طرائق عرض المعلومات والبيانات الخاصة بالسلع الغذائية.

5. إصدار التشريعات الدولية الخاصة بالغذاء لتسهيل التبادل التجاري الدولي دون أي عوائق فنية.

7-15-4- المنظمة العربية للتنمية الصناعية والتعدين:

تأسست المنظمة العربية للمواصفات والمقاييس في كانون الأول 1965، وفي عام 1988 تم دمج المنظمة العربية للمواصفات والمقاييس والمنظمة العربية للتعدين مع المنظمة العربية للتنمية الصناعية باسم المنظمة الجديد (المنظمة العربية للتنمية الصناعية والتعدين) ومقرها في الرباط بالمملكة المغربية. وقد أنشأ مركز للمواصفات والمقاييس ضمن هذه المنظمة ليهتم بشؤون التقييس والذي شكّل بدوره اللجنة الاستشارية العليا للتقييس المكونة من مسؤولي أجهزة التقييس في الدول العربية. وتهدف هذه المنظمة إلى:

1. رفع مستوى الإنتاج العربي وتيسير التبادل التجاري والتعاون في الميادين الاقتصادية والصناعية والزراعية والتكنولوجية والعلمية...
2. توحيد المواصفات على مستوى الدول العربية، وكل ما يتعلق بالمجالات الأخرى للتقييس.
3. ضبط جودة الإنتاج العربي ورفع مستواه.

7-15-5- هيئة المواصفات والمقاييس لدول مجلس التعاون الخليج العربي:

تأسست الهيئة في تشرين الثاني 1982، وبدأت نشاطها الفعلي في 17 تموز 1984، ومقرها هو مقر الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس نفسه في الرياض بالمملكة العربية السعودية. والهيئة الخليجية للمواصفات والمقاييس ذات شخصية اعتبارية وميزانية مستقلة معنية بشؤون التقييس على مستوى دول مجلس التعاون الخليجي. وتهدف الهيئة إلى توحيد المواصفات الخليجية والتنسيق والتعاون بين الدول الأعضاء في جميع المجالات المتعلقة بالتقييس، ومجلس إدارة الهيئة هو السلطة العليا ويتمثل من وزراء التجارة والصناعة في دول المجلس، وهو الذي يدير شؤونها ويرسم سياستها.



مسرد المصطلحات:

1- المصطلحات الخاصة بالكميات ووحدات القياس

انكليزي	عربي	انكليزي	عربي
multiple of a units	مضاعف الوحدات	quantity	كمية
value of a quantity	قيمة كمية	kind of quantity	نوعية الكمية
numerical quantity value	قيمة عددية للكمية	system of quantities	نظام الكميات
quantity calculus	حبر الكميات	base quantity	كمية أساسية
quantity equation	معادلات الكميات	derived quantity	كمية مشتقة
unit equation	معادلات الوحدات	derived unit	وحدة مشتقة
conversion factor between units	معامل التحويل بين الوحدات	quantity dimension	وحدة الكمية
numerical value equation	معادلات بالقيم العددية	dimensionless quantity	كمية من دون وحدة
ordinal quantity	الكمية الترتيبية	measurement unit	وحدة قياس
quantity-value scale	مقياس القيم	base unit	وحدة أساسية
ordinal quantity-value scale	مقياس الكمية الترتيبية	Coherent system of units	نظام الوحدات المترابط
Conventional reference scale	مقياس معياري متفق عليه	coherent derived unit	وحدة مشتقة مترابطة
nominal property	خاصية اسمية	system of units	نظام الوحدات
off-system measurement unit	وحدة قياس خارج النظام	International System of Quantities ISQ	النظام الدولي للكميات
International Standardization Organization	هيئة المواصفات والمقاييس الدولية	International System of Units SI	النظام الدولي للوحدات

2- المصطلحات الخاصة بالقياس

انكليزي	عربي	انكليزي	عربي
deviation	انحراف	Simplification	التبسيط
Deviation of Form	انحراف الشكل	Accuracy Grade	مرتبة الدقة
Measured Value	القيمة الفعلية (المقاسة)	True Value	القيمة الحقيقية
Accuracy of Measurement	دقة القياس	Range of Measurement	مدى القياس
Sensitivity or Resolution of Measurement	حساسية القياس	Uncertainty	الظنية أو الشك
Types of measurement errors	أنواع أخطاء القياس	Resolution	الحساسية
Method of measurement error	أخطاء أسلوب القياس	Instrument errors	أخطاء أدوات القياس
Human errors	الأخطاء البشرية	Ambient conditions errors	أخطاء في الظروف المحيطة بالقياس
Temperature error	خطأ درجة الحرارة	Estimation of some systematic errors	حساب بعض الأخطاء النظامية
Random errors	الأخطاء العشوائية	Mis-alignment error	حساب خطأ عدم المحاذاة
Specifications	مواصفات	Precision	الضبط أو الانضباط
Confidence Level	مستوى الوثوقية		
degree	درجة	Absolute Error	الخطأ المطلق
Standards	معايير	Systematic Errors	الأخطاء النظامية
Dial	القرص المدرج	Adjusting Spanner	مفتاح الضبط
Direct-Reading Instruments	أجهزة القياس مباشرة القراءة	Allowance	السماحية
Discrimination of Measuring Instrument	ديناميكية جهاز القياس	Angularity tolerance	تفاوت التزاوي
Double End Plug Gauges	محددات القياس السدادية ثنائية الطرف	Angle Gage Blocks	قوالب قياس الزوايا

Dividers	الفرجار	association level	مستوى الإئتلاف
Depth Caliper	قدمة قياس الأعماق	Sinebar	قضيب الجيب
Engineering surface texture	بنية السطوح الهندسية	Bearing Depth of the teeth	عمق التماس للأسنان
Errors of Measurement	أخطاء القياس	Combination Set	المجموعة المركبة
Depth Micrometer	ميكرومتر قياس الأعماق	Calibration	معايرة
Errors of teething	أخطاء التسنين	Clearance Fit	الإزواج الخلوصي
Upper Fit	التداخل الكبير	Transition Fit	الإزواج الانتقالي
Lower Fit	التداخل الأصغر	Upper Clearance	الخلوص الأكبر
Allowable tolerance	التفاوت المسموح	Lower Clearance	الخلوص الأصغر
Lower limit	الحد الأدنى للمقاس	Actual value	المقاس الفعلي
Upper limit	الحد الأعلى للمقاس	Upper and lower limit	البعدان الحديان
Base line	خط الصفر	Lower tolerance	التفاوت الأدنى للمقاس
Nominal value	المقاس الاسمي	Upper tolerance	التفاوت الأعلى للمقاس
External Limiting Gauges	محددات قياس الأبعاد الخارجية	Circular run-out tolerance	تفاوت الانتحاء الدائري
External Measurements	الأبعاد الخارجية	Concentricity tolerance	تفاوت التمرکز
Form Tolerances	تفاوتات الشكل	company level	مستوى الشركة
Flush Pin Gauges	محددات القياس الثنائية مسطحة الحدين	Deviation of Positions	انحراف الوضع
Fundamental deviation	الانحراف الأساس	Depth Measurements	أعماق الثقوب
Legal Metrology	علم القياس القانوني	Fits	الإزواج
Limit Gauges	محددات القياس الحدية	Flat	مستوي - استواء
major diameter	القطر الكبير	Fiducially line	الخط الاسنادي

CNC Machines	آلات التشغيل ذات التحكم الرقمي	Flatness Tolerance	تفاوت الاستواء
maintain Squares	المنقلة المحورية العامة	Inspection and Measurement	الفحص والقياس
Maximum Limits of Size	الحد الأعظمي للبعد	Geometrical Tolerances	التفاوتات الهندسية
Direction tolerance	تفاوت الاتجاه	Types of Geometrical tolerances	أنواع التفاوتات الهندسية
Profile tolerance	تفاوت الجانبية	Circular roundout tolerance	تفاوت الانتحاء
Maximum Clearance	الخلوص الأعظمي	Gaussian curve	منحني غاوس
Measuring with Light & Laser	أجهزة القياس الضوئية والليزرية	Gauging Instruments	أجهزة المعايرة
Measured Value	القيمة الفعلية	Indicator	مؤشر القياس
Scientific Metrology	علم القياس العلمي	International System of units	نظام وحدات القياس الدولي
true quantity value	القيمة الحقيقية للكمية	measurement	عملية قياس
conventional quantity value	قيمة متفق عليها	metrology	علم القياس
Dial Gauges	ساعات القياس	Dimensional Metrology	علم قياس الأطوال (الأبعاد)
Measurement accuracy	دقة القياس	measurand	الكمية المقاسة
Measurement trueness	صحة وصدق القياس	Measurement principle	مبدأ القياس
Measurement precision	ضباطة القياس	measurement method	طريقة القياس
measurement error	خطأ القياس	measurement procedure	أسلوب (إجراء) القياس
Systematic measurement error	خطأ القياس النظامي	reference measurement procedure	أسلوب قياس مرجعي
measurement bias	انحراف القياس	primary reference measurement procedure	أسلوب قياس أولي
random measurement	خطأ قياس	measurement result	نتيجة القياس

error	عشوائي		
repeatability condition of measurement	شرط تكرارية القياس	measured quantity value	قيمة الكمية المقاسة
expanded measurement uncertainty	ارتياح القياس الموسع	Measurement repeatability	تكرارية القياس
coverage interval	مجال التغطية	intermediate precision condition of measurement	شرط وسطي لضبط القياس
coverage probability	احتمال التغطية	intermediate measurement precision	دقة القياس الوسطية
coverage factor	معامل التغطية	reproducibility condition of measurement	شرط القابلية لإعادة القياس
calibration	معايرة	Measurement reproducibility	قابلية إعادة القياس
calibration hierarchy	هرمية المعايرة	Measurement uncertainty	ارتياح القياس
metrological traceability	إسناد قياسي	definitional uncertainty	ارتياح تعريفي
metrological traceability chain	سلسلة الإسناد القياسي	evaluation of measurement uncertainty	تقدير ارتياح القياس
metrological traceability to a measurement unit	إسناد قياسي لوحدة القياس	standard measurement uncertainty	ارتياح قياس معياري
verification	التحقق	relative standard measurement uncertainty	ارتياح قياس معياري نسبي
validation	المصادقة	Uncertainty budget	حوصلة الارتياح
metrological comparability of measurement results	المقارنة القياسية لنتائج القياس	target measurement uncertainty	الارتياح الهدف
influence quantity	كمية مؤثرة	measurement model	نموذج القياس
correction	تصحيح	measurement function	دالة القياس

output quantity in a measurement model	الكمية المخرجة لنموذج القياس	input quantity in a measurement model	الكمية المدخلة لنموذج القياس
Dial Caliper	قدمة تحتوي ورنيتها على مبدن ذو مؤشر	Adjustable Snap Gauge	محددات القياس الإطباقية القابلة للضبط
Digital Caliper	القدمة الإلكترونية أو الرقمية	Adjustable parallels	المتوازيات القابلة للتعديل
Measuring Instrument Drift	انسياق جهاز القياس	Industrial Metrology	علم القياس الصناعي
Micrometers	الميكرومترات	inside micrometer	ميكرومتر القياس الداخلي
Depth Micrometer	ميكرومتر قياس الأعماق	Vernier Caliper	القدمة المنزلقة ذات الورنية
Dividers	الفراجير	Rulers	المسطرات المدرجة
Minimum Limits of Size	الحد الأصغري للبعد	Interference Fits	الإزواج التداخلية
Minimum Clearance	الخلوص الأصغري	Interchangibility	التبادلية
minor diameter	القطر الصغير	Height Caliper	قدمة قياس الارتفاعات
Pitch gauges	محددات قياس اللوالب بالطبعات	Instruments for Dimentional Measurements	معدات قياس الأبعاد
national level	المستوى الوطني	international level	المستوى الدولي
Outside Micrometer	ميكرومتر القياس الخارجي	Interferometer	مقياس التداخل
Orientation tolerances	تفاوتات الاتجاه	Internal Limiting Gauges	محددات قياس الأبعاد الداخلية
Parallelism tolerance	تفاوت التوازي	International tolerance grade	رتبة التفاوت
Perpendicularity tolerance	تفاوت التعامد	Internal Measurements	الأبعاد الداخلية
pitch diameter	قطر الخطوة	Upper Deviation	الانحراف الأعلى للبعد
Plate protractor	المنقلة البسيطة	Location tolerances	تفاوتات الموقع
Planer Gage	محدد المستوي	Lever Type	طرارز الرافعة

plunger type	طرارز إبرة القياس	Lower Deviation	الانحراف الأدنى للبعد
Starriest screw pitch gages	مقياس الخطوة النجمي اللولبي	Pointer	مؤشر القياس
starting of metrology	نشأة علم القياس	Position tolerance	تفاوت الموضع
Steel rule	مسطرة الفولاذ	Suitability for use	تحقيق الملائمة للاستعمال
Symmetry tolerance	تفاوت التماثل	Run-out tolerances	تفاوتات الانتحاء (الخروج)
System of gearing fits	نظام ازواج المسننات	regional level	المستوى الإقليمي
System of gearing tolerance	نظام التسامح للمسننات	Relative Error	الخطأ النسبي
Stability of Measuring Instrument	استقرار جهاز القياس	Readability of Measuring Instrument	مقروئية جهاز القياس
Standard Machining Symbols	علامات التشغيل القياسية	Screw –Thread Micrometer	ميكرومتر قياس اللولب
Standardization	التنميط أو التوحيد	Scientific Metrology	المترولوجيا العلمية
Tapered Limiting Gauges	محددات قياس الأجزاء المستدقة الطرف	Spirituos Compromise Criterion	ميزان التسوية الكحولي
thread	السن	Scroll	وصلة حلزونية
Threads Limiting Gauges	محددات قياس الأسنان	slip gauge	قالب منزلق
tolerance	التفاوت	Selection of Fits	اختيار نوع الأزواج
Traceability	مرجعية عملية القياس	Simplification	التبسيط
Uncertainty	الظنية أو الشك	Single End Gauges	المحددات أحادية الطرف
Vernier Caliper	القدمة المنزلقة ذات الوردية المدرجة	Snap Gauges	محددات القياس الإطباقية
screw	اللولب	Shaft-based system	نظام أساس العمود
No Go gauge	الطرف اللاسماحي	Hole-based system	نظام أساس الثقب
Go gauge	الطرف السماحي	Grooves	الأخاديد

Waviness	التموجات	Notches	الحزوز
average roughness	الحشونة المتوسطة	Surface Roughness	نحشونة الأسطح
Roughness depth	عمق الحشونة	Roughness parameters	متغيرات الحشونة
Root mean squared roughness	متوسط الجذر التربيعي لانحرافات السطح	Maximum peak height	عمق التسطيط (الاستواء)
Types of Threads	أنواع اللوالب	Inspection of Threads	فحص اللوالب (القلووظات)
Measurement of Roughness	قياس نحشونة الأسطح	Minimum valley depth	العمق الأدنى للحشونة

2- المصطلحات الخاصة بأجهزة ومعدات القياس

انكليزي	عربي	انكليزي	عربي
measuring transducer	حساس قياس	measuring instrument	جهاز قياس
sensor	حساس	measuring system	نظام قياس
detector	مكشاف	material measure	قياس مجسد
indicating measuring instrument	جهاز قياس ذو مؤشر	displaying measuring instrumen	جهاز قياس ذو عارض
Formtracer	جهاز تتبع الشكل	Position tolerance measurement	قياس تفاوت الوضع
Celsius, C°	درجة الحرارة المئوية	Coordinate Measuring Machines, CMM	ماكينات قياس الإحداثيات
Kelvin, K	درجة كلفن	Rankine, R°	درجة الرانكين
Thermocouple	الازدواج الحراري	Fahrenheit, F°	درجة فهرنهايت
Absolute pressure	الضغط المطلق	Glass thermometer	الترمومتر الزجاجي
Gauge pressure	الضغط المقاس	Vacuum pressure	ضغط التفريغ
Bourdon tube	أنبوب بوردون	Manometers	المانومترا (وسائل قياس الضغط)
Rotameter	جهاز الروتامتر لقياس معدل التدفق الحجمي	Barometer	مقياس لقياس الضغط الجوي
adjustment of a measuring system	ضبط نظام القياس	measuring chain	سلسلة القياس
Tapering	محددات فحص	Surface quality	جهاز قياس جودة

Inspection Gauges	الاستدقاق	instrument	الأسطح
Level Gauge	ميزان الاستواء	Simple Protractor	المنقلة البسيطة
Angle Gauges	محددات قياس الزوايا	Universal Bevel Protractor	المنقلة الشاملة
SnapGauges	محددات قياس فكية	Universal Optical Protractor	المنقلة البصرية الشاملة
Ring Gauges	محددات قياس حلقيّة	Plug Gauges	محددات سدّادية
Double End Gauge	محدد مزدوج	Single End Gauge	محدد أحادي الطرف
Deviation	الحيز	Adjustable Gauge	محدد قابل للضبط
Measurement units for angles	وحدة قياس الزوايا والميول	Electronic Level Gauge	مقياس الميل الإلكتروني
Sine Bar	قضيب جيب الزاوية	Digital Protractors	المناقل الرقمية
Angle Gauge Blocks	قوالب قياس الزوايا	Insturements for slopemeasurements	معدات قياس الميل
Gauges for Thread Inspection	معدات فحص اللوالب	Thread plug gauges	محددات قياس اللوالب السدّادية
Gauge Blocks	قوالب القياس	Dial Gauges	ساعات القياس
zero adjustment of a measuring system	ضبط الصفر (تصفير) النظام القياس	scale of a displaying measuring instrument	مقياس جهاز القياس ذو العارض
standard	المواصفة القياسية	optical contour projector	جهاز الإسقاط الضوئي

3- المصطلحات الخاصة بخصائص أجهزة القياس

انكليزي	عربي	انكليزي	عربي
resolution	درجة الوضوح	indication	إشارة الجهاز
zero error	خطأ الصفر	blank indication	إشارة فارغة
discrimination threshold	حد التمييز	indication interval	مجال الإشارة
sensitivity of a measuring system	حساسية نظام القياس	nominal indication interval	المجال الاسمي لإشارات القياس
Detection limit	حد الكشف أو	range of a	المجال الاسمي للقياس

	الإدراك	nominal indication interval	
stability of a measuring instrument	استقرار جهاز القياس	nominal quantity value	القيمة الاسمية للكمية
instrumental bias	خطأ (انحراف) الجهاز	measuring interval	مدى القياس
instrumental drift	انحراف الجهاز	steady- -state operating condition	ظروف الاستعمال المستقرة
variation due to an influence quantity	تغيير راجع لكمية مؤثرة	Null measurement uncertainty	ارتياح القياس عند الصفر
step response time	زمن الاستجابة	Limiting operating condition	ظروف الاستعمال الحدية
instrumental measurement uncertainty	ارتياح جهاز القياس	reference operating condition	ظروف الاستعمال المرجعية
accuracy class	درجة الدقة	Band dead	مجال ميت
maximum permissible measurement error	الخطأ الأقصى المسموح به	selectivity of a measuring system	انتقائية نظام القياس
datum measurement error	خطأ القياس عند نقطة مرجعية	resolution of a displaying device	درجة الوضوح لجهاز القياس
calibration curve	منحني المعايرة	calibration diagram	مخطط المعايرة

4- المصطلحات الخاصة بمعايير القياس

انكليزي	عربي	انكليزي	عربي
transfer measurement device	أداة قياس تحويلي	Measurement standard	معياري قياس
intrinsic measurement standard	معياري قياس حقيقي	international measurement standard	معياري قياس دولي
conservation of a measurement standard	الحفاظة على معياري قياس	National measurement standard	معياري قياس وطني

Certified reference material CRM	مادة مرجعية معتمدة	primary measurement standard	معيار قياس أولي
Reference material RM	مادة مرجعية	secondary measurement standard	معيار قياس ثانوي
commutability of a reference material	قابلية الاستبدال للمادة المرجعية	reference measurement standard	معيار قياس مرجعي
reference quantity value	قيمة مرجعية	working measurement standard	معيار قياس عملي
standard reference data	بيانات مرجعية معيارية	travelling measurement standard	معيار قياس متنقل
reference data	بيانات مرجعية	calibrator	معيار

منظمات إقليمية		منظمات وهيئات دولية	
CEN	المنظمة الأوروبية للتقييس	ISO	المنظمة الدولية للتقييس
GSO	هيئة التقييس لدول مجلس التعاون الخليجي	OIML	المنظمة الدولية للمعايير القانونية
ETSI	معهد مواصفات الاتصالات الأوربي	CODEX	لجنة دستور الأغذية الكودكس
CENELEC	اللجنة الأوروبية الكهروتقنية	WTO	منظمة التجارة العالمية
LAQI	المعهد الأمريكي اللاتيني للجودة	ITC	مركز التجارة الدولي
ARSO	المنظمة الإقليمية الإفريقية للتقييس	IEC	اللجنة الدولية الكهروتقنية
AIDMO	المنظمة العربية للتنمية الصناعية والتعدين	ASTM	الجمعية الأمريكية للمواد والاختبار
NIST	المعهد الوطني للمواصفات والتكنولوجيا	IFAN	الاتحاد الدولي لمستخدمي المواصفات
SAE	جمعية مهندسي السيارات	IAF	منتدى الاعتماد الدولي
AISI	معهد الفولاذ والحديد الأمريكي	SI	النظام الدولي للوحدات
ASME	الجمعية الأمريكية لمهندسي الميكانيك	AWS	جمعية اللحام الأمريكية
EFTA	دول منطقة التجارة الحرة الأوروبية	ISQ	النظام الدولي للكميات

هيئات المواصفات الأجنبية		هيئات المواصفات العربية	
DIN	هيئة المواصفات الألمانية	SASMO	هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية
GOST	لجنة روسيا الاتحادية للمواصفات والمقاييس	SASO	الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس
ANSI	هيئة المواصفات الأمريكية	LNCSM	المركز الوطني الليبي للمواصفات والمعايير
BSI	هيئة المواصفات البريطانية	IANOR	المعهد الجزائري للتوحيد القياسي
AFNOR	هيئة المواصفات الفرنسية	PAI	الهيئة العامة للصناعة دولة الكويت
BIS	هيئة المواصفات الهندية	LIBNOR	مؤسسة المقاييس والمواصفات اللبنانية
JIS	هيئة المواصفات اليابانية	JISM	مؤسسة المواصفات والمقاييس الأردنية
TSE	معهد المواصفات التركي	EOS	الهيئة المصرية للمواصفات والجودة
SCC	هيئة المواصفات الكندية	PSI	مؤسسة المواصفات والمقاييس الفلسطينية
SIS	معهد المواصفات السويدي	ESMA	هيئة الإمارات للمواصفات والمقاييس
UNI	هيئة المواصفات الإيطالية	MOCIOM AN	وزارة التجارة والصناعة - سلطنة عمان
SARM	المعهد الوطني الأرميني للمواصفات والجودة	SNIMA	المملكة المغربية وزارة الصناعة والتجارة والتكنولوجيات الحديثة
SAC	هيئة المواصفات الصينية	INORPI	المعهد التونسي للمواصفات والملكية الصناعية

المصادر العلمية:

- 1-Metrology And Quality Control.Badadhe A.M. Technical Publications, 2006.
- 2- Metrology & Measurement. Anada K. Bewoor, Vinay A. Kulkarni, Tata McGraw-Hill Education, 2009.
- 3- Engineering Metrology And Measurements.G.K. Vijayaraghavan & R. Rajappan. A.R.S. Publications Chennai- Fourth Edition June 2009.
- 4- Mechanical And Industrial Measurement, R. K. Jain By Khanna Publications, New Delhi 2009.
- 5- Mechanical Measurements, Roy D. Marangoni, John H. Lienhard Thomas G. Beckwith, Pearson Prentice Hall, 2007.
- 6-Principles of Measurement Systems, John P. Bentley, University of Teesside- Fourth Edition published 2005.
- 7- د. عبد المعين حضور - القياسات وأجهزة القياس الميكانيكية - منشورات جامعة دمشق 1997.
- 8- د. أحمد زكي حلمي، تكنولوجيا القياس، الدار المصرية للعلوم، الطبعة الأولى 2008.
- 9- د. أحمد ذكي حلمي، أجهزة القياس والمعايرة، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا 2004.
- 10- د. عبد السلام الفيتوري وآخرون، القياسات وأجهزة القياس، الجزء الأول، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة، الطبعة الأولى 2008.
- 11- د. سلامة محمد جعفر وآخرون، القياسات وأجهزة القياس، الجزء الثاني، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة، الطبعة الأولى 2009.
- 12- د. محمد أحمد عيشوني، أساسيات قياس الأبعاد في ضوء معايير الجودة العالمية الآيزو 9000، دار النشر العبيكان، الإصدار الأول 2010.
- 13- د. محمد أحمد عيشوني، ضبط الجودة "التقنيات الأساسية وتطبيقاتها في المجالات الإنتاجية والخدمية"، دار الأصحاب للنشر والتوزيع، ص. ب. 69368 - الرياض، المملكة العربية السعودية 2007.
- 14- د. علي السلمي "إدارة الجودة الشاملة ومتطلبات التأهل للإيزو" دار غريب للطباعة والنشر والتوزيع - 2002.
- 15- د. كاظم خضير محمود - "إدارة الجودة الشاملة" - دار اليسرة للنشر والتوزيع والطباعة، الطبعة الأولى 2000.



ملحق(1):

عوامل التحويل

1- الطول Length				
الوحدة غير المترية ورمزها	عامل التحويل إلى الوحدة غير المترية	الوحدة المترية ورمزها	عامل التحويل إلى الوحدة المترية	الوحدة غير المترية ورمزها
بوصة (إنش) in	0.03937	مليمتر mm	25.4	بوصة (إنش) in
قدم ft	3.281	متر m	0.3048	قدم ft
ياردة yd	1.094	متر m ، م	0.9144	ياردة yd
ميل mile	0.6214	كيلومتر km	1.609344	ميل mile
ميل بحري (دولي) N mile	0.5399	كيلومتر km كم	1.852	ميل بحري (دولي)* N mile
ميل بحري (إنكليزي) Uk n mile	0.5396	كيلو متر km كم	1.853	ميل بحر (إنكليزي) Uk n mile
* أجاز المؤتمر العام للأوزان والمقاييس استخدام هذه الوحدة رغم كونها من خارج النظام الدولي للوحدات				
2- المساحة Area				
بوصة مربعة in^2	0.1550	cm^2 سم ²	6.4516	بوصة مربعة in^2
قدم مربع ft^2	10.76	متر مربع m^2 م ²	0.09290	قدم مربع ft^2
يا ردة مربعة yd^2	1.196	متر مربع m^2 م ²	0.8361	يا ردة مربعة yd^2
ميل مربع $mile^2$	.38610	km^2 كم ²	2.590	ميل مربع $mile^2$
فدان (أكر) acre	0.0002471	متر مربع m^2 م ²	4047	فدان (أكر) acre
3- الحجم Volume				
3-1 - حجم الجوامد Volume of solids				

بوصة مكعبة in^3	0.06102	cm^3 سم ³	16.39	بوصة مكعبة in^3
قدم مكعب ft^3	0.03531	dm^3 دم ³	.3228	قدم مكعب ft^3
ياردة مكعبة yd^3	1.308	متر مكعب m^3 م ³	0.7646	ياردة مكعبة yd^3
باينت (أمريكي) Dry pt (us)	1.816	ديسمتر مكعب dm^3 , دم ³	0.5506	باينت (أمريكي) Dry pt (us)
برميل (أمريكي) Bbl(us)	8.648	متر مكعب m^3 م ³	0.1156	برميل (أمريكي) Bbl(us)
بوشل (أمريكي) Bu (us)	28.38	متر مكعب m^3 م ³	0.03524	بوشل (أمريكي) Bu (us)
بوشل (إنكليزي) Bushel(uk)	27.50	متر مكعب m^3 م ³	0.03637	*بوشل (إنكليزي) Bushel(uk)

*يستخدم البوشل الإنكليزي لقياس السوائل أيضا

3-2 - حجم السوائل والغازات

Volume of liquids and gases

آونس الموائع (الإنكليزي) Fl oz(uk)	0.03520	مليلتر، ML مل	28.41	آونس الموائع (الإنكليزي) Fl oz(uk)
آونس الموائع (الأمريكي) Fl oz (us)	0.03381	مليلتر، ML مل	29.57	آونس الموائع (الأمريكي) Fl oz (us)
باينت (إنكليزي) Pt (uk)	1.760	لتر L ، ل	0.5683	باينت (إنكليزي) Pt (uk)
باينت (أمريكي) Pt (us)	2.113	لتر، ل	0.4732	باينت (أمريكي) Pt (us)
كوارت (إنكليزي) Qt (uk)	0.8799	لتر L ، ل	1.136	كوارت (إنكليزي) Qt (uk)
كوارت (أمريكي) Qt (us)	1.057	لتر L ، ل	0.9463	كوارت (أمريكي) Qt (us)

غالون (إنكليزي) gal (uk)	0.2200	لتر L ، ل	4.546	غالون (إنكليزي) gal (uk)
غالون (أمريكي) Gal (us)	0.2642	لتر L ، ل	3.785	غالون (أمريكي) Gal (us)
برميل (أمريكي للبترول) Barrel (us) (petroleum)	0.006290	لتر L ، ل	159.0	برميل (أمريكي للبترول) Barrel (us) (petroleum)
4- الكتلة (الوزن)				
4-1 أوزان أفوار دوبا* Avoirdupois Weights				
غرين (حبة) gr	0.01543	مليغرام mg ، مغ	64.80	غرين (حبة) gr
آونس (أوقية) oz	0.03527	غرام g ، غ	28.35	آونس (أوقية) oz
باوند (رطل) Lb (إنكليزي) (لبيرة)	2.205	كيلوغرام Kg كغ	0.4536	باوند (لبيرة) Lb (رطل إنكليزي)
هندريدويت (قنطار إنكليزي) Cwt (uk)	0.01968	كيلوغرام Kg ، كغ	50.80	*هندريدويت* (قنطار إنكليزي) Cwt (uk)
هندريدويت (قنطار أمريكي) Cwt (us)	0.02205	كيلو غرام Kg ، كغ	45.36	هندريدويت (قنطار أمريكي) Cwt (us)
طن إنكليزي (طن طويل) Ton(uk) أو 1 . t	0.9842	طن (طن متري) t ، طن	1.016	طن إنكليزي (طن طويل) Ton(uk) أو 1 . t
طن أمريكي (طن قصير) Ton (us) أو s.t	1.102	طن (طن متري) T ، طن	0.9072	طن أمريكي (طن قصير) Ton (us) أو s.t

*هي أوزان تستخدم لوزن جميع السلع عدا الأدوية والأحجار الكريمة والمعادن النفيسة
 **يسمى هذا الوزن أيضاً "قنطار" طويل أميركي ورمزه Long cwt(us)

4-2- أوزان تروي * Troy weights

أونس تروي أو أونس الصيدلة Troy ounce أو : oz	0.03215	غرام g ، غ	31.10	أونس تروي أو أونس الصيدلة Troy ounce أو : oz
باوند تروي Troy pound أو : lb	2.680	كيلو غرام Kg ، كغ	0.3732	باوند تروي Troy pound أو : lb

*هي أوزان تستخدم لوزن الأدوية والأحجار الكريمة والمعادن النفيسة ، وهذه الأوزان في الأصل نوعان
 - أوزان تروي لوزن المعادن الثمينة .
 - أوزان الصيدلة (Apothecaries Weight) لوزن الأدوية .

5- السرعة Speed

قدم لكل ساعة Ft/s	3.281	متر لكل ثانية m/s ، م\ث	0.3048	قدم لكل ثانية Ft/s
ميل لكل ساعة mile/h أو mph	2.237	متر لكل ثانية m/s م\ث	0.44704	ميل لكل ساعة mile/h أو mph
ميل لكل ساعة mile/h أو mph	0.6214	كيلو متر لكل ساعة Km/h كم\سا	1.609344	ميل لكل ساعة mile/h أو mph
عقدة (دولية) * kn	1	ميل بحري * لكل ساعة n mile/h	1	عقدة (دولية) * kn
عقدة (دولية) * kn	1.944	متر لكل ثانية m/s ، م\ث	0.5144	عقدة (دولية) * kn

دورة لكل ثانية c/s	1	هرتز Hz ، هز	1	دورة لكل ثانية c/s
عقدة (دولية) *	0.5400	كيلو متر لكل ساعة Km/h/كم	1.852	عقدة (دولية) *
kn				kn

* أجاز المؤتمر العام للأوزان والمقاييس استخدام هذه الوحدة رغم كونها من خارج النظام الدولي للوحدات

6- التردد

دورة لكل ثانية c/s	1	هرتز Hz ، هز	1	دورة لكل ثانية c/s
-----------------------	---	-----------------	---	-----------------------

7- الكثافة Density

باوند لكل بوصة مكعبة Lb/in ³	0.03613	غرام لكل سنتيمتر مكعب *	27.68	باوند لكل بوصة مكعبة Lb/in ³
		g/cm ³ ، غ/سم ³		
باوند لكل قدم مكعب Lb/ft ³	0.06243	كيلو غرام لكل متر مكعب	16.02	باوند لكل قدم مكعب Lb/ft ³
		Kg/m ³ كغ/م ³		
طن إنكليزي لكل ياردة مكعبة Uk ton/yd ³	0.7525	غرام لكل سنتيمتر مكعب *	1.329	طن إنكليزي لكل ياردة مكعبة Uk ton/yd ³
		g/cm ³ ، غ/سم ³		
باوند لكل غالون إنكليزي Uk gal/Lb	10.02	غرام لكل سنتيمتر مكعب *	0.09978	باوند لكل غالون إنكليزي Uk gal/Lb
		g/cm ³ ، غ/سم ³		
باوند لكل غالون امريكي Lb/US gal	8.345	غرام لكل سنتيمتر مكعب	0.1198	باوند لكل غالون امريكي Lb/US gal

* غرام لكل سنتيمتر مكعب = غرام لكل ميليلتر (1 غ/سم³ = 1 غ/مل)

8- القوة force

باوندال pdl	7.233	نيوتن N ، ن	0.1383	باوندال pdl
باوند ثقلي lbf	0.2248	نيوتن N ، ن	4.448	باوند ثقلي lbf
طن ثقلي انكليزي tonf	.10040	كيلونيوتن Kn	9.964	طن ثقلي انكليزي tonf
آونس ثقلي ozf	3.597	نيوتن N ، ن	0.2780	آونس ثقلي ozf
كيلو غرام ثقلي kgf	0.101972	نيوتن N ، ن	9.80665	كيلو غرام ثقلي* kgf

*وحدة مترية لاغية لايحوز استخدامها بعد الآن، وكانت تدعى في الماضي كيلو بوند kp

9 - الضغط أو الأجهاد Pressure or stress

باوند ثقلي لكل بوصة مربعة Psi أو lbf/in ²	0.1454	كيلو باسكال Kpa	6.895	باوند ثقلي لكل بوصة مربعة Psi أو lbf/in ²
باوند ثقلي لكل قدم مربع Lbf/ft ²	0.02088	كيلو باسكال Kpa، كبا	47.88	باوند ثقلي لكل قدم مربع Lbf/ft ²
باوندال لكل قدم مربع Lbf/ft ²	0.6720	باسكال Pa	1.488	باوندال لكل قدم مربع Lbf/ft ²
بوصة ماء (اصطلاحاً) In H ₂ O	4.015	كيلو باسكال Kpa، كبا	0.2491	بوصة ماء (اصطلاحاً) In H ₂ O
قدم ماء Ft H ₂ O	0.3346	كيلو باسكال Kpa، كبا	2.989	قدم ماء Ft H ₂ O
بوصة زئبق In Hg	0.2953	كيلو باسكال Kpa، كبا	3.386	بوصة زئبق In Hg
مليمتر زئبق	0.007501	باسكال	133.3	مليمتر زئبق*

(اصطلاحاً) mm Hg		Pa ، با		(اصطلاحاً) mm Hg
torr تور	0.007501	باسكال Pa ، با	133.3	torr تور*
مليمتر ماء mm H2O	0.101972	باسكال Pa ، با	9.80665	مليمتر ماء* mm H2O
ضغط جوي atm* قياسي	0.009869	كيلو باسكال Kpa، كبا	101.325	ضغط جوي atm* قياسي
كيلو غرام ثقلي لكل سنتيمتر مربع Kgf/cm ²	101.872	كيلو باسكال Kpa، كبا	98.0665	كيلو غرام ثقلي* لكل سنتيمتر مربع** Kgf/cm ²
بار***bar	0.01	كيلو باسكال Kpa	100	بار***bar
مليبار***mbar	0,01	باسكال Pa، با	100	مليبار***mbar

*وحدة مترية ملغية لايحوز استخدامها بعد الآن .

**كانت هذه الوحدة تدعى في الماضي أيضاً (ضغط جوي هندسي).

***أجاز المؤتمر العام للأوزان والمقاييس استخدام هذه الوحدة رغم كونها من خارج النظام الدولي للوحدات

10- اللزوجة Viscosity

باوندال ثانية لكل قدم مربع Pdl.s/ft ²	0.6720	باسكال ثانية Pa.، با.ث	1.488	باوندال ثانية لكل قدم مربع Pdl.s/ft ²
باوند ثقلي ثانية لكل قدم مربع Lbf. s/ft ²	0.02089	باسكال ثانية Pa.s، با.ث	47.88	باوند ثقلي ثانية لكل قدم مربع Lbf. s/ft ²
باوند ثقلي ساعة لكل قدم مربع Lbf. h/ft ²	5.802X10 ⁻⁶	باسكال ثانية Pa.s، با.ث	1.724X10 ⁵	باوند ثقلي ساعة لكل قدم مربع Lbf. h/ft ²

1-10 اللزوجة التحريكية Dynamic viscosity

بوصة مربعة لكل ثانية In^2/s	1550	متر مربع لكلثانية m^2/s ، م ² /ث	6.4516×10^{-4}	بوصة مربعة لكل ثانية In^2/s
قدم مربع لكل ثانية Ft^2/s	10.76	متر مربع لكل ثانية م ² /ث ²	0.09290	قدم مربع لكل ثانية Ft^2/s
قدم مربع لكل ساعة Ft^2/h	38750	متر مربع لكل ثانية م ² /ث ²	2.581×10^{-5}	قدم مربع لكل ساعة Ft^2/h

11 - الطاقة , الشغل , كمية الحرارة

Energy , work , quantity of heat

وحدة حرارية بريطانية Btu	0.9478	كيلو جول KJ كج	1.055	وحدة حرارية بريطانية Btu
قدم باوندال Ft.pdl	23.73	جول J ج	0.04214	قدم باوندال Ft.pdl
قدم باوند ثقلي Ft.lbf	0.7376	جول J ج	1.356	قدم باوند ثقلي Ft.lbf
حصان إنكليزي Hp.h ساعة	3.725×10^{-7}	جول J ج	2.685×10^6	حصان إنكليزي Hp.h ساعة
كيلو غرام ثقلي Kgf.m متر	0.101972	جول J ج	9.80665	كيلو غرام ثقلي Kgf.m متر *
سعر cal	0.238846	جول J ج	4.1868	سعر *cal

* وحدة مترية لاجية لايحوز استخدامها بعد الآن

12- القدرة Power

حصان متري (حصان بخاري) Metric hp, Cheval vapeur	1.350	كيلو واط Kw	0.7355	حصان متري * (حصان بخاري) Metric hp, Cheval vapeur
حصان انكليزي hp	1.341	كيلو واط Kw	0.7457	حصان انكليزي hp

قدم باوند ثقلي لكل ثانية Ft.lbf/s	0.7376	واط W	1.356	قدم باوند ثقلي لكل ثانية Ft.lbf/s
وحدة حرارية بريطانية لكل ساعة Btu/s	3.412	واط W	0.2931	وحدة حرارية بريطانية لكل ساعة Btu/h
كيلو غرام ثقلي * متر لكل ثانية Kgf.m/s	0.101972	واط W	9.80665	كيلو غرام ثقلي * متر لكل ثانية Kgf.m/s
سر لكل ثانية S/Cal	0.238848	واط W	4.1868	سر لكل ثانية* Cal/s
كيلو سعر لكل ساعة Kca/h	0.859845	واط W	1.163	كيلو سعر لكل ساعة* Kca/h

*وحدة متربة ملغية لا يجوز استخدامها بعد الآن

13 - درجة الحرارة Temperature

درجة فارنهایت °F ، °F	(...°س × 1.8) 32 +	درجة سلسيوس** °C ، °س	(...°ف - 32) × 0.5556	درجة فارنهایت* °F ، °ف
درجة رايومير °R	0.8	درجة سلسيوس °C ، °س	1.25	درجة رايومير** °R*

*فارنهایت (1686-1736): فيزيائي ألماني ابتكر مقياس درجة الحرارة الفارنهایت (نقطة انصهار الجليد °ف 32 ونقطة غليان الماء °ف 212).

**سلسيوس (1701-1744): فيزيائي سويدي ابتكر المقياس المتوي لدرجة الحرارة الذي صفه نقطة انصهار الجليد، ونقطة غليان الماء فيه °ف 100، وكان يطلق على درجة سلسيوس حتى عام 1948 اسم "سنتيغراد" أي "درجة مئوية".

***رايومير عالم فرنسي (1683-1757): ابتكر ميزان حرارة صفه نقطة انصهار الجليد، ودرجة غليان الماء فيه 80 درجة رايومير.

Standard Units

Unit	Symbol	Definition	Comments
Time			
second	sec	1 s	
minute	min	60 s	
hour	hr	60 min	
hour	hour	1 hr	alternate symbol
hour	h	1 hr	alternate symbol
day	day	24 hr	
shake	shake	10 ns	
Hertz	Hz	1 s^{-1}	
Length or Distance			
international foot	ft	0.3048 m	
inch	in	1.0/12.0 ft	
international mile	mile	5280.0 ft	
international mile	mi	1 mile	alternate symbol
milli-inch	mil	0.001 in	
Parsec	pc	$3.085678 \times 10^{16} \text{ m}$	
League	league	3 mile	
Astronomical Unit	ua	$1.49598 \times 10^{11} \text{ m}$	
Astronomical Unit	AU	$1.49598 \times 10^{11} \text{ m}$	alternate symbol
yard	yd	3 ft	

Angstrom	Ang	1e-10 m	
Angstrom	\\AA	1 Ang	alternate symbol
furlong	furlong	220 yd	
fathom	fathom	6 ft	
Rod	rd	16.5 ft	
U.S. survey foot	sft	(1200./3937.) m	
U.S. survey mile	smi	5280 sft	also called statue mile
point	pt	1./72. in	Typeface Point
pica	pica	1./6. in	Typeface Pica
Temperature			
Celsius	C	1 K -273.15	
Rankin	R	5.0/9.0 K	
Fahrenheit	F	1 R -459.67	
Mass			
gram	g	0.001 kg	This is case sensitive.
gram	gm	g	(alternate symbol)
pound mass	lbm	0.45359237 kg	(avoirdupois)
Troy pound	lbt	0.3732417 kg	(apothecary)
carat (metric)	carat	0.2 g	
slug	slug	1 lb sec^2/ft	
snail	snail	1 lb sec^2/in	
Short Ton	ton	2000 lbm	
Long Ton	ton_1	2240 lbm	

Ounce	oz	28.34952 g	(avoirdupois)
Grain	gr	64.79891 mg	
Pennyweight	dwt	1.55174 g	
Force or Weight			
Newton	N	1 kg m/s ²	
Dyne	dyn	1e-5 N	
pound force	lb	lbm G	
pound force	lbf	lbm G	
poundal	poundal	1 lbm ft/sec ²	
kilopound	kip	1000 lbf	
kilogram force	kgf	kg G	
Energy			
Joule	J	1 N m	
British Therm. Unit	BTU	1055.056 J	(International Table)
British Therm. Unit	Btu	1 BTU	alternate symbol
British Therm. Unit	BTU_th	1054.350 J	(Thermochemical)
calorie	cal	4.1868 J	(International Table)
calorie	cal_th	4.184 J	(Thermochemical)
Calorie	Cal	4.1868 kJ	(nutritionists)
electron volt	eV	1.602177e-19 J	
erg	erg	1e-7 J	
Ton of TNT	TNT	4.184e9 J	
Power			

Watt	W	1 J/s	
Horse Power	hp	550 ft lb/s	
Pressure			
bar	bar	1e5 N/m ²	
Pascal	Pa	1 N/m ²	
Pounds per sq. inch	psi	1 lb/in ²	
Pounds per sq. ft.	psf	1 lb/ft ²	
kilo psi	ksi	1000.0 psi	
atmospheres	atm	1.01325e5 N/m ²	
inches of Mercury	inHg	3.387 kPa	
millimeters Mercury	mmHg	0.1333 kPa	
Torr	torr	1.333224 Pa	
Volume or Area			
Liter	L	1/1000.0 m ³	
gallon	gal	3.785412 L	
Pint (U.S. liquid)	pint	1/8. gal	
Quart (U.S. liquid)	qt	2 pint	
Pint (U.S. dry)	dpint	0.5506105 L	
Quart (U.S. dry)	dqt	2 dpint	
Acre	acre	1/640.0 smi ²	
Hectare	ha	10000 m ²	
Barrel (petroleum)	barrel	158.9873 L	

Fluid Ounce	oz_fl	29.57353 mL	
Gill (U.S.)	gi	0.1182941 L	
Peck (U.S.)	pk	8.809768 L	
Tablespoon	tbl	1/32. pint	
Teaspoon	tsp	1/3. tbl	
Cup	cup	16. tbl	

Electromagnetism

Coulomb	Co	1 A s	Electric Charge
Volt	V	1 W/A	Electric Potential
Ohm	ohm	1 V/A	Electric Resistance
Ohm	\\Omega	1 V/A	alternate symbol
Faraday	faraday	96485.31 Co	Electric Charge
Farad	farad	Co/V	Capacitance
Stokes	stokes	1e-4 m^2/s	
Oersted	Oe	79.57747 A/m	
Webber	Wb	V s	Magnetic flux
Tesla	Tesla	Wb/m^2	Magnetic flux density
Henry	H	Wb/A	Inductance
Siemens	S	A/V	Electrical Conductance

Light and Radiation

Lux	lux	cd/m^2	Illuminance
Lux	lx	cd/m^2	
Lumen	lm	cd	Luminous Flux

Stilb	sb	10000 cd/m ²	
Phot	ph	10000 lx	
Becquerel	Bq	s ⁻¹	activity
Gray	Gy	J/kg	Absorbed kerma Dose,
Sievert	Sv	J/kg	Dose equivalent
Other Quantities			
pound mole	lbmole	1 mol lbm/g	quantity
poise	poise	1 g /sec cm	viscosity
Gravity's accel.	G	9.80665 m/sec ²	Gravity on Earth
Degree	deg	Pi/180	Can be used to convert from degrees to radians for trig functions.
Percent	%	0.01	
Knot	knot	1852 m/hr	velocity
Miles per Hour	mph	1 mi/hr	velocity
Gallon/minute	gpm	1. gal/min	flow rate
Revolution/minute	rpm	360 deg/min	

Some Fundamental Physical Constants

<i>Physical Quantity</i>	<i>Symbol</i>	<i>Value in SI Units</i>
speed of light in vacuum	c, c_0	$299\,792\,458\,\text{m s}^{-1}$
elementary charge	e	$1.602\,176\,53(14) \times 10^{-19}\,\text{C}$
Planck constant	h	$6.626\,0693(11) \times 10^{-34}\,\text{J s}$
Avogadro constant	L, N_A	$6.022\,1415(10) \times 10^{23}\,\text{mol}^{-1}$
electron mass	m_e	$9.109\,3826(16) \times 10^{-31}\,\text{kg}$
proton mass	m_p	$1.672\,621\,71(29) \times 10^{-27}\,\text{kg}$
electron volt	eV	$1.602\,176\,53(14) \times 10^{-19}\,\text{J}$
Faraday constant	F	$9.648\,533\,83(83) \times 10^4\,\text{C mol}^{-1}$
Hartree energy	E_h	$4.359\,744\,17(75) \times 10^{-18}\,\text{J}$
Bohr radius	a_0	$5.291\,772\,108(18) \times 10^{-11}\,\text{m}$
Bohr magneton	μ_B	$9.274\,009\,49(80) \times 10^{-24}\,\text{J T}^{-1}$
nuclear magneton	μ_N	$5.050\,783\,43(43) \times 10^{-27}\,\text{J T}^{-1}$
Rydberg constant	R_∞	$10\,973\,731.568\,525(73)\,\text{m}^{-1}$
molar gas constant	R	$8.314\,472(15)\,\text{J mol}^{-1}\,\text{K}^{-1}$
Boltzmann constant	k, k_B	$1.380\,650\,5(24) \times 10^{-23}\,\text{J K}^{-1}$
gravitational constant	G	$6.6742(10) \times 10^{-11}\,\text{m}^3\,\text{kg}^{-1}\,\text{s}^{-2}$
standard acceleration of gravity	g_n	$9.806\,65\,\text{m s}^{-2}$
triple point of water	$T_{\text{tp}}(\text{H}_2\text{O})$	$273.16\,\text{K}$
zero of Celsius scale	$T(0^\circ\text{C})$	$273.15\,\text{K}$
molar volume of ideal gas (273.15 K, 100 kPa)	V_m	$22.710\,981(40) \times 10^{-3}\,\text{m}^3\,\text{mol}^{-1}$
magnetic constant (permeability of vacuum)	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} = 12.566\,370\,614 \times 10^{-7}\,\text{N A}^{-2}$
electric constant (permittivity of vacuum)	ϵ_0	$8.854\,187\,817 \times 10^{-12}\,\text{F m}^{-1}$

Table 10. Some Fundamental Physical Constants.

ملحق (2):

الجدول (3) تفاوتات الثقوب بالميكرومتر وفق (ISO 286-2) لجمال القياس من 3mm إلى 400mm

ISO Hole Tolerances (ISO 286-2) (3mm-400mm).

Grade	NOMINAL HOLE SIZES (mm)																			
over	3	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355
Up To.	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
E6	+28 +20	+34 +25	+43 +32	+53 +40	+66 +50	+79 + 60	+94 +72		+110 +85		+129 +100		+142 +110		+161 +125					
E7	+32 +20	+40 +25	+50 +32	+61 +40	+75 +50	+90 + 60	+107 +72		+125 +85		+146 +100		+162 +110		+185 +125					
E11	+95 +20	+115 +25	+142 +32	+170 +40	+210 +50	+250 + 60	+292 +72		+335 +85		+390 +100		+430 +110		+485 +125					
E12	+140 +20	+175 +25	+212 +32	+250 +40	+300 +50	+360 + 60	+422 +72		+485 +85		+560 +100		+630 +110		+695 +125					
E13	+200 +20	+245 +25	+302 +32	+370 +40	+440 +50	+520 + 60	+612 +72		+715 +85		+820 +100		+920 +110		+1 015 +125					
F6	+18 +10	+22 +13	+27 +16	+33 +20	+41 +25	+49 + 30	+58 +36		+68 43		+79 +50		+88 +56		+98 +62					
F7	+22 +10	+28 +13	+34 +16	+41 +20	+50 +25	+60 + 30	+71 +36		+83 43		+96 +50		+108 +56		+119 +62					
F8	+28 +10	+35 +13	+43 +16	+53 +20	+64 +25	+76 + 30	+90 +36		+106 43		+122 +50		+137 +56		+151 +62					
G6	+12 +4	+14 +5	+17 +6	+20 +7	+25 +9	+29 +10	+34 + 12		+39 +14		+44 +15		+49 +17		+54 +18					
G7	+16 +4	+20 +5	+24 +6	+28 +7	+34 +9	+40 +10	+47 + 12		+54 +14		+61 +15		+69 +17		+75 +18					
G8	+22 +4	+27 +5	+33 +6	+40 +7	+48 +9	+56 +10	+66 + 12		+77 +14		+87 +15		+98 +17		+107 +18					
H6	+8 0	+9 0	+11 0	+13 0	+16 0	+19 0	+22 0		+25 0		+29 0		+32 0		+36 0					
H7	+12 0	+15 0	+18 0	+21 0	+25 0	+30 0	+35 0		+40 0		+46 0		+52 0		+57 0					
H8	+18 0	+22 0	+27 0	+33 0	+39 0	+46 0	+54 0		+63 0		+72 0		+81 0		+89 0					
H9	+30 0	+36 0	+43 0	+52 0	+62 0	+74 0	+87 0		+100 0		+115 0		+130 0		+140 0					
H10	+48 0	+58 0	+70 0	+84 0	+100 0	+120 0	+140 0		+160 0		+185 0		+210 0		+230 0					
H11	+75 0	+90 0	+110 0	+130 0	+160 0	+190 0	+220 0		+250 0		+290 0		+320 0		+360 0					
J6	+5 -3	+5 -4	+6 -5	+8 -5	+10 -6	+13 -6	+16 -6		+18 -7		+22 -7		+25 -7		+29 -7					
J7	+6 -6	+8 -7	+10 -8	+12 -9	+14 -11	+18 -12	+22 -13		+26 -14		+30 -16		+36 -16		+39 -18					
J8	+10 -8	+12 -10	+15 -12	+20 -13	+24 -15	+28 -18	+34 -20		+41 -22		+47 -25		+55 -26		+60 -29					
JS6	+4	+4.5	+5.5	+6.5	+8	+9.5	+11		+12.5		+14.5		+16		+18					

	-4	-4.5	-5.5	-6.5	-8	-9.5	-11	-12.5		-14.5		-16	-18						
JS7	+6 -6	+7.5 -7.5	+9 -9	+10.5 -10.5	+12.5 -12.5	+15 -15	+17.5 -17.5	+20 -20		+23 -23		+26 -26	+28.5 -28.5						
JS8	+9 -9	+11 -11	+13.5 -13.5	+16.5 -16.5	+19.5 -19.5	+23 -23	+27 -27	+31.5 -31.5		+36 -36		+40.5 -40.5	+44.5 -44.5						
K6	+2 -6	+2 -7	+2 -9	+2 -11	+3 -13	+4 -15	+4 -18	+4 -21		+5 -24		+5 -27	+7 -29						
K7	+3 -9	+5 -10	+6 -12	+6 -15	+7 -18	+9 -21	+10 -25	+12 -28		+13 -33		+16 -36	+17 -40						
K8	+5 -13	+6 -16	+8 -19	+10 -23	+12 -27	+14 -32	+16 -38	+20 -43		+22 -50		+25 -56	+28 -61						
M6	-1 -9	-3 -12	-4 -15	-4 -17	-4 -20	-5 -24	-6 -28	-8 -33		-8 -37		-9 -41	-10 -46						
M7	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40		0 -46		0 -52	0 -57						
M8	+2 -16	+1 -21	+2 -25	+4 -29	+5 -34	+5 -41	+6 -48	+8 -55		+9 -63		+9 -72	+11 -78						
N6	-5 -13	-7 -16	-9 -20	-11 -24	-12 -28	-14 -33	-16 -38	-20 -45		-22 -51		-25 -57	-26 -62						
N7	-4 -16	-4 -19	-5 -23	-7 -28	-8 -33	-9 -39	-10 -45	-12 -52		-14 -60		-14 -66	-16 -73						
N8	-2 -20	-3 -25	-3 -30	-3 -36	-3 -42	-4 -50	-4 -58	-4 -67		-5 -77		-5 -86	-5 -94						
P6	-9 -17	-12 -21	-15 -26	-18 -31	-21 -37	-26 -45	-30 -52	-36 -61		-41 -70		-47 -79	-51 -87						
P7	-8 -20	-9 -24	-11 -29	-14 -35	-17 -42	-21 -51	-24 -59	-28 -68		-33 -79		-36 -88	-41 -98						
P8	-12 -30	-15 -37	-18 -45	-22 -55	-26 -65	-32 -78	-37 -91	-43 -106		-50 -122		-56 -137	-62 -151						
R6	-12 -20	-16 -25	-20 -31	-24 -37	-29 -45	-35 -54	-37 -56	-44 -66	-47 -69	-56 -81	-58 -83	-61 -86	-68 -97	-71 -100	-75 -104	-85 -117	-89 -121	-97 -133	-103 -139
R7	-11 -23	-13 -28	-16 -34	-20 -41	-25 -50	-30 -60	-32 -62	-38 -73	-41 -76	-48 -88	-50 -90	-53 -93	-60 -106	-63 -109	-67 -113	-74 -126	-78 -130	-87 -144	-93 -150

ISO Hole Tolerances (ISO 286-2) (400mm to 3150mm)

Grade	NOMINAL HOLE SIZES (mm)								
Over	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Up To And Incl.	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
E6	+175 +135	+189 +145	+210 +160	+226 +170	+261 +195	+298 +220	+332 +240	+360 +260	+420 +290
E7	+198 +135	+215 +145	+240 +160	+260 +170	+300 +195	+345 +220	+390 +240	+435 +260	+500 +290
E8	+232 +135	+255 +145	+285 +160	+310 +170	+360 +195	+415 +220	+470 +240	+540 +260	+620 +290
E9	+290 +135	+320 +145	+360 +160	+400 +170	+455 +195	+530 +220	+610 +240	+700 +260	+830 +290
E10	+385 +135	+425 +145	+480 +160	+530 +170	+615 +195	+720 +220	+840 +240	+960 +260	+1150 +290
F6	+108 +68	+120 +76	+130 +80	+142 +86	+164 +98	+188 +110	+212 +120	+240 +130	+280 +145
F7	+131 +68	+146 +76	+160 +80	+176 +86	+203 +98	+235 +110	+270 +120	+305 +130	+355 +145
F8	+165 +68	+186 +76	+205 +80	+226 +86	+263 +98	+305 +110	+350 +120	+410 +130	+475 +145
G6	+60 +20	+66 +22	+74 +24	+82 +26	+94 +28	+108 +30	+124 +32	+144 +34	+173 +38
G7	+83 +20	+92 +22	+104 +24	+116 +26	+133 +28	+155 +30	+182 +32	+209 +34	+248 +38
G8	+117 +20	+132 +22	+149 +24	+166 +26	+193 +28	+225 +30	+262 +32	+314 +34	+368 +38
H6	+40 0	+44 0	+50 0	+56 0	+66 0	+78 0	+92 0	+110 0	+135 0
H7	+63 0	+70 0	+80 0	+90 0	+105 0	+125 0	+150 0	+175 0	+210 0
H8	+97 0	+110 0	+125 0	+140 0	+165 0	+195 0	+230 0	+280 0	+330 0
H9	+155 0	+175 0	+200 0	+230 0	+260 0	+310 0	+370 0	+440 0	+540 0
H10	+250 0	+280 0	+320 0	+360 0	+420 0	+500 0	+600 0	+700 0	+860 0
H11	+400 0	+440 0	+500 0	+560 0	+660 0	+780 0	+920 0	+1100 0	+1350 0
JS6	+20 -20	+22 -22	+25 -25	+28 -28	+33 -33	+39 -39	+46 -46	+55 -55	+67.5 -67.5

JS7	+31.5 -31.5	+35 -35	+40 -40	+45 -45	+52.5 -52.5	+62.5 -62.5	+75 -75	+87.5 -87.5	+105 -105
JS8	+48.5 -48.5	+55 -55	+62.5 -62.5	+70 -70	+82.5 -82.5	+97.5 -97.5	+115 -115	+140 -140	+165 -165
K6	+8 -32	+0 -44	+0 -50	+0 -56	+0 -66	+0 -78	+0 -92	+0 -110	+0 -135
K7	+18 -45	+0 -70	+0 -80	+0 -90	+0 -105	+0 -125	+0 -150	+0 -175	+0 -210
K8	+29 -68	+0 -110	+0 -125	+0 -140	+0 -165	+0 -195	+0 -230	+0 -280	+0 -330
M6	-10 -50	-26 -70	-30 -80	-34 -90	-40 -106	-48 -126	-58 -150	-68 -178	-76 -211
M7	0 -63	-26 -96	-30 -110	-34 -124	-40 -145	-48 -173	-58 -208	-68 -243	-76 -286
M8	+11 -86	-26 -136	-30 -155	-34 -174	-40 -205	-48 -243	-58 -288	-68 -348	-76 -406
N6	-27 -67	-44 -88	-50 -100	-56 -112	-66 -132	-78 -156	-92 -184	-110 -220	-135 -270
N7	-17 -80	-44 -114	-50 -130	-56 -146	-66 -171	-78 -203	-92 -242	-110 -285	-135 -345
N8	-6 -103	-44 -154	-50 -175	-56 -196	-66 -231	-78 -273	-92 -322	-110 -390	-135 -465
P6	-55 -95	-78 -122	-88 -138	-100 -156	-120 -186	-140 -218	-170 -262	-195 -305	-240 -375
P7	-45 -108	-78 -148	-88 -168	-100 -190	-120 -225	-140 -265	-170 -320	-195 -370	-240 -450
P8	-68 -165	-78 -188	-88 -213	-100 -240	-120 -285	-140 -335	-170 -400	-195 -475	-240 -57

ISO Shaft Tolerances (ISO 286-2)(3mm-400mm)
Example: Nominal Size 3mm-6mm; -270μm= -0.270mm

Grade	NOMINAL SHAFT SIZES (mm)																			
Over	3	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355
Up to and incl.	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
a12	-270 -390	-280 -430	-290 -470	-300 -510	-31 -56 0 0	-32 -57 0 0	-34 -64 0 0	-36 -66 0 0	-38 -73 0 0	-41 -76 0 0	-46 -86 0 0	-52 -92 0 0	-58 -98 0 0	-660 -1120	-740 -1200	-820 -1280	-920 -1440	-105 -157 0 0	-120 -177 0 0	-135 -192 0 0
d6	-30 -38	-40 -49	-50 -61	-65 -78	-80 -96	-100 -119	-120 -142	-145 -170	-170 -199	-190 -222	-210 -246									
e6	-20 -28	-25 -34	-32 -43	-40 -53	-50 -66	-60 -79	-72 -94	-85 -110	-100 -129	-110 -142	-125 -161									
e13	-20 -200	-25 -245	-32 -302	-40 -370	-50 -440	-60 -520	-72 -612	-85 -715	-100 -820	-110 -920	-125 -1015									
f5	-10 -15	-13 -19	-16 -24	-20 -29	-25 -36	-30 -43	-36 -51	-43 -61	-50 -70	-56 -79	-62 -87									
f6	-10 -18	-13 -22	-16 -27	-20 -33	-25 -41	-30 -49	-36 -58	-43 -68	-50 -79	-56 -88	-62 -98									
f7	-10 -22	-13 -28	-16 -34	-20 -41	-25 -50	-30 -60	-36 -71	-43 -83	-50 -96	-56 -108	-62 -119									
g5	-4 -9	-5 -11	-6 -14	-7 -16	-9 -20	-10 -23	-12 -27	-14 -32	-15 -35	-17 -40	-18 -43									
g6	-4 -12	-5 -14	-6 -17	-7 -20	-9 -25	-10 -29	-12 -34	-14 -39	-15 -44	-17 -49	-18 -54									
g7	-4 -16	-5 -20	-6 -24	-7 -28	-9 -34	-10 -40	-12 -47	-14 -54	-15 -61	-17 -69	-18 -75									
h4	0 -4	0 -4	0 -5	0 -6	0 -7	0 -8	0 -10	0 -12	0 -14	0 -16	0 -18									
h5	0 -5	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -15	0 -18	0 -20	0 -23	0 -25									
h6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -16	0 -19	0 -22	0 -25	0 -29	0 -32	0 -36									
h7	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -52	0 -57									
h8	0 -18	0 -22	0 -27	0 -33	0 -39	0 -46	0 -54	0 -63	0 -72	0 -81	0 -89									
h9	0 -30	0 -36	0 -43	0 -52	0 -62	0 -74	0 -87	0 -100	0 -115	0 -130	0 -140									

h10	0 -48	0 -58	0 -70	0 -84	0 -100	0 -120	0 -140	0 -160	0 -185	0 -210	0 -230
h11	0 -75	0 -90	0 -110	0 -130	0 -160	0 -190	0 -220	0 -250	0 -290	0 -320	0 -360
h12	0 -120	0 -150	0 -180	0 -210	0 -250	0 -300	0 -350	0 -400	0 -460	0 -520	0 -570
j5	+3 -2	+4 -2	+5 -3	+5 -4	+6 -5	+6 -7	+6 -9	+7 -11	+7 -13	+7 -16	+7 -18
j6	+6 -2	+7 -2	+8 -3	+9 -4	+11 -5	+12 -7	+13 -9	+14 -11	+16 -13	+16 -16	+18 -18
j7	+8 -4	+10 -5	+12 -6	+13 -8	+15 -10	+18 -12	+20 -15	+22 -18	+25 -21	+26 -26	+29 -28
js5	+2.5 -2.5	+3 -3	+4 -4	+4.5 -4.5	+5.5 -5.5	+6.5 -6.5	+7.5 -7.5	+9 -9	+10 -10	+11.5 -11.5	+12.5 -12.5
js6	+4 -4	+4.5 -4.5	+5.5 -5.5	+6.5 -6.5	+8 -8	+9.5 -9.5	+11 -11	+12.5 -12.5	+14.5 -14.5	+16 -16	+18 -18
js7	+6 -6	+7.5 -7.5	+9 -9	+10.5 -10.5	+12.5 -12.5	+15 -15	+17.5 -17.5	+20 -20	+23 -23	+26 -26	+28.5 -28.5
k5	+6 +1	+7 +1	+9 +1	+11 +2	+13 +2	+15 +2	+18 +3	+21 +3	+24 +4	+27 +4	+29 +4
k6	+9 +1	+10 +1	+12 +1	+15 +2	+18 +2	+21 +2	+25 +3	+28 +3	+33 +4	+36 +4	+40 +4
k7	+13 +1	+16 +1	+19 +1	+23 +2	+27 +2	+32 +2	+38 +3	+43 +3	+50 +4	+56 +4	+61 +4
m5	+9 +4	+12 +6	+15 +7	+17 +8	+20 +9	+24 +11	+28 +13	+33 +15	+37 +17	+43 +20	+46 +21
m6	+12 +4	+15 +6	+18 +7	+21 +8	+25 +9	+30 +11	+35 +13	+40 +15	+46 +17	+52 +20	+57 +21
m7	+16 +4	+21 +6	+26 +7	+29 +8	+34 +9	+41 +11	+48 +13	+55 +15	+63 +17	+72 +20	+78 +21
n5	+13 +8	+16 +10	+20 +12	+24 +15	+28 +17	+33 +20	+38 +23	+45 +27	+51 +31	+57 +34	+62 +37
n6	+16 +8	+19 +10	+23 +12	+28 +15	+33 +17	+39 +20	+45 +23	+52 +27	+60 +31	+66 +34	+73 +37
n7	+20 +8	+25 +10	+30 +12	+36 +15	+42 +17	+50 +20	+58 +23	+67 +27	+77 +31	+86 +34	+94 +37

p5	+17 +12	+21 +15	+2 6 +1 8	+31 +22	+37 +26	+45 +32	+52 +37	+61 +43				+70 +50				+79 +56	+87 +62		
p6	+20 +12	+24 +15	+2 9 +1 8	+35 +22	+42 +26	+51 +32	+59 +37	+68 +43				+79 +50				+88 +56	+98 +62		
r6	+23 +15	+28 +19	+3 4 +2 3	+41 +28	+50 +34	+6 0 +4 1	+6 2 +4 3	+7 3 +5 1	+7 6 +5 4	+8 8 +6 3	+9 0 +6 5	+9 3 +6 8	+10 6 +7 7	+10 9 +8 0	+11 3 +8 4	+12 6 +9 4	+13 0 +9 8	+14 4 +10 8	+15 0 +11 4

ISO Shaft Tolerances (ISO 286-2) (400mm-3150mm)

Grade	NOMINAL SHAFT SIZES (mm)								
Over	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Up To And Incl.	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
e6	-135 -175	-145 -189	-160 -210	-170 -226	-195 -261	-220 -298	-240 -332	-260 -360	-290 -420
e7	-135 -198	-145 -215	-160 -240	-170 -260	-195 -300	-345 -220	-240 -390	-260 -435	-290 -500
e8	-135 -232	-145 -255	-160 -285	-170 -310	-195 -360	-220 415	-240 -470	-260 -540	-290 -620
e9	-135 -290	-145 -320	-160 -360	-170 -400	-195 -455	-220 -530	-240 -610	-260 -700	-290 -830
e10	-135 -385	-145 -425	-160 -480	-170 -530	-195 -615	-220 -720	-240 -840	-260 -960	-290 -1150
f6	-68 -108	-76 -120	-80 -130	-86 -142	-98 -164	-110 -188	-120 -212	-130 -240	-145 -280
f7	-68 -131	-76 -146	-80 -160	-86 -176	-98 -203	-110 -235	-120 -270	-130 -305	-145 -355
f8	-68 -165	-76 -186	-80 -205	-86 -226	-98 -263	-110 -305	-120 -350	-130 -410	-145 -475
g6	-20 -60	-22 -66	-24 -74	-26 -82	-28 -94	-30 -108	-32 -124	-34 -144	-38 -173
g7	-20 -83	-22 -92	-24 -104	-26 -116	-28 -133	-30 -155	-32 -182	-34 -209	-38 -248
g8	-20 -117	-22 -132	-24 -149	-26 -166	-28 -193	-30 -225	-32 -262	-34 -314	-38 -368
h6	0 -40	0 -44	0 -50	0 -56	0 -66	0 -78	0 -92	0 -110	0 -135
h7	0 -63	0 -70	0 -80	0 -90	0 -105	0 -125	0 -150	0 -175	0 -210

h8	0 -97	0 -110	0 -125	0 -140	0 -165	0 -195	0 -230	0 -280	0 -330
h9	0 -155	0 -175	0 -200	0 -230	0 -260	0 -310	0 -370	0 -440	0 -540
h10	0 -250	0 -280	0 -320	0 -360	0 -420	0 -500	0 -600	0 -700	0 -860
h11	0 -400	0 -440	0 -500	0 -560	0 -660	0 -780	0 -920	0 -1100	0 -1350
j56	+20 -20	+22 -22	+25 -25	+28 -28	+33 -33	+39 -39	+46 -46	+55 -55	+67.5 -67.5
j57	+31.5 -31.5	+35 -35	+40 -40	+45 -45	+52.5 -52.5	+62.5 -62.5	+75 -75	+87.5 -87.5	+105 -105
j58	+48.5 -48.5	+55 -55	+62.5 -62.5	+70 -70	+82.5 -82.5	+97.5 -97.5	+115 -115	+140 -140	+165 -165
k6	+45 +4	+44 +0	+50 0	+56 0	+66 0	+78 0	+92 0	+110 0	+135 0
k7	+68 +5	+70 0	+80 0	+90 0	+105 0	+125 0	+150 0	+175 0	+210 0
k8	+97 0	+110 0	+125 0	+140 0	+165 0	+195 0	+230 0	+280 0	+330 0
m6	+63 +23	+70 +26	+80 +30	+90 +34	+106 +40	+126 +48	+150 +58	+178 +68	+211 +76
m7	+86 +23	+96 +26	+110 +30	+124 +34	+145 +40	+173 +48	+208 +58	+243 +68	+286 +76
n6	+80 +40	+88 +44	+100 +50	+112 +56	+132 +66	+156 +78	+184 +92	+220 +110	+270 +135
n7	+103 +40	+114 +44	+130 +50	+146 +56	+171 +66	+203 +78	+242 +92	+285 +110	+345 +135
p6	+108 +68	+122 +78	+138 +88	+156 +100	+186 +120	+218 +140	+262 +170	+305 +195	+375 +240
p7	+131 +68	+148 +78	+168 +88	+190 +100	+225 +120	+265 +140	+320 +170	+370 +195	+450 +240
p8	+165 +68	+188 +78	+213 +88	+240 +100	+285 +120	+335 +140	+400 +170	+475 +195	+570 +240

Table Below: Fundamental Upper Deviation For Shaft "a" to "js" (0 mm To 500 mm)

Over	Up to Incl.	FUNDAMENTAL UPPER DEVIATION (es) IT01 to IT16											
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js
0	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	ITn/2
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	ITn/2
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	ITn/2
10	14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	ITn/2
14	18	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	ITn/2
18	24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	ITn/2
24	30	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	ITn/2
30	40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0	ITn/2
40	50	-320	-180	-130		-80	-50		-25		-9	0	ITn/2
50	65	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0	ITn/2
65	80	-360	-200	-150		-100	-60		-30		-10	0	ITn/2
80	100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0	ITn/2
100	120	-410	-240	-180		-120	-72		-36		-12	0	ITn/2
120	140	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0	ITn/2
140	160	-520	-280	-210		-145	-85		-43		-14	0	ITn/2
160	180	-580	-310	-230		-145	-85		-43		-14	0	ITn/2
180	200	-660	-340	-240		-170	-100		-50		-15	0	ITn/2
200	225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0	ITn/2
225	250	-820	-420	-280		-170	-100		-50		-15	0	ITn/2
250	280	-920	-480	-300		-190	-110		-56		-17	0	ITn/2
280	315	-1050	-540	-330		-190	-110		-56		-17	0	ITn/2
315	355	-1200	-600	-360		-210	-125		-62		-18	0	ITn/2
355	400	-1350	-680	-400		-210	-125		-62		-18	0	ITn/2
400	450	-1500	-760	-440		-230	-135		-68		-20	0	ITn/2
450	500	-1650	-840	-480		-230	-135		-68		-20	0	ITn/2

Table Below: Fundamental Lower Deviation For Shaft j to zc (0 mm To 500 mm). Fundamental Deviation IT01 to IT16 for m to zc.

Over	Up to Incl.	FUNDAMENTAL LOWER DEVIATION (ei)																		
		j5/j6	j7	k4-k7 (incl.)	other k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc	
0	3	-2	-4	0	0	2	4	6	10	14		18		20		26	32	40	60	
3	6	-2	-4	1	0	4	8	12	15	19		23		28		35	42	50	80	
6	10	-2	-5	1	0	6	10	15	19	23		28		34		42	52	67	97	
10	14	-3	-6	1	0	7	12	18	23	28		33		40		50	64	90	130	
14	18	-3	-6	1	0	7	12	18	23	28		33	39	45		60	77	108	150	
18	24	-3	-8	2	0	8	15	22	28	35		41	47	54	63	73	98	136	188	
24	30	-3	-8	2	0	8	15	22	28	35	41	48	55	64	75	88	118	160	218	
30	40	-4	-10	2	0	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274	
40	50	-4	-10	2	0	9	17	26	34	43	54	70	81	97	114	136	180	242	325	
50	65	-5	-12	2	0	11	20	32	41	53	66	87	102	122	144	172	226	300	405	
65	80	-7	-12	2	0	11	20	32	43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480	
80	100	-9	-15	3	0	13	23	37	51	71	91	124	146	178	214	258	335	445	585	
100	120	-9	-15	3	0	13	23	37	54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690	
120	140	-11	-18	3	0	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800	
140	160	-11	-18	3	0	15	27	43	65	100	134	190	228	280	340	415	535	700	900	
160	180	-11	-18	3	0	15	27	43	68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000	
180	200	-13	-21	4	0	17	31	50	77	122	166	236	284	350	425	520	670	880	1150	
200	225	-13	-21	4	0	17	31	50	80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250	
225	250	-13	-21	4	0	17	31	50	84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350	
250	280	-16	-26	4	0	20	34	56	94	158	218	315	385	475	580	710	920	1200	1550	
280	315	-16	-26	4	0	20	34	56	98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700	
315	355	-18	-28	4	0	21	37	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900	
355	400	-18	-28	4	0	21	37	62	114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100	
400	450	-20	-32	5	0	23	40	68	126	232	330	490	595	740	920	1100	1450	1850	2400	
450	500	-20	-32	5	0	23	40	68	132	252	360	540	660	820	1000	1250	1600	2100	2600	

**Table Below: Fundamental Upper Deviation For Shaft "d" to js;
Lower Deviation For Shaft "k" to "u" (500 mm To 3150 mm)**

Over	Up to Incl.	FUNDAMENTAL UPPER DEVIATION (es)								FUNDAMENTAL LOWER DEVIATION (ei)							
		d	e	ef	f	fg	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u
500	560	-260	-145		-76		-22	0	ITn/2	0	26	44	78	150	280	400	600
560	630	-260	-145		-76		-22	0	ITn/2	0	26	44	78	155	310	450	660
630	710	-290	-160		-80		-24	0	ITn/2	0	30	50	88	175	340	500	740
710	800	-290	-160		-80		-24	0	ITn/2	0	30	50	88	185	380	560	840
800	900	-320	-170		-86		-26	0	ITn/2	0	34	56	100	210	430	620	940
900	1000	-320	-170		-86		-26	0	ITn/2	0	34	56	100	220	470	680	1050
1000	1120	-350	-195		-98		-28	0	ITn/2	0	40	66	120	250	520	780	1150
1120	1250	-350	-195		-98		-28	0	ITn/2	0	40	66	120	260	580	840	1300
1250	1400	-390	-220		-110		-30	0	ITn/2	0	48	78	140	300	640	960	1450
1400	1600	-390	-220		-110		-30	0	ITn/2	0	48	78	140	330	720	1050	1600
1600	1800	-430	-240		-120		-32	0	ITn/2	0	58	92	170	370	820	1200	1850
1800	2000	-430	-240		-120		-32	0	ITn/2	0	58	92	170	400	920	1350	2000
2000	2240	-480	-260		-130		-34	0	ITn/2	0	68	110	195	440	1000	1500	2300
2240	2500	-480	-260		-130		-34	0	ITn/2	0	68	110	195	460	1100	1650	2500
2500	2800	-520	-290		-145		-38	0	ITn/2	0	76	135	240	550	1250	1900	2900
2800	3150	-520	-290		-145		-38	0	ITn/2	0	76	135	240	580	1400	2100	3200

اللجنة العلمية:

أ. د. نزيه أبو صالح

أ. د. محمد علي سلامه

أ. د. خليل عزيمة

المدقق اللغوي:

د. منيرة فاعور

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات