

# บทที่ 5

## Geometry tolerancing

ในการผลิตชิ้นงานจำนวนมากที่ต้องประกอบกัน ค่าความเผื่อของขนาดเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถพอเพียงเมื่อจำเป็นเราจำเป็นต้องให้ค่าความเผื่อของรูปร่างของชิ้นงานด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าเราให้ขนาดเผื่อสำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกเพียงอย่างเดียว ชิ้นงานอาจผลิตออกมาคดหรือโก่ง แต่ก็สามารถมีขนาดตรงตามแบบได้ เพราะการกำหนดขนาดแบบนี้ เราควบคุมเฉพาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แต่ละตำแหน่งเท่านั้น แต่ไม่สนใจรูปร่างโดยรวมของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 สำหรับการให้ความเผื่อขนาด จากรูปจะเห็นว่า ชิ้นงานจะไม่สามารถประกอบเข้าในรูเพลลาได้ ดังนั้นในงานบางอย่างเราจำเป็นต้องกำหนดความเผื่อสำหรับรูปร่างของชิ้นงานด้วย

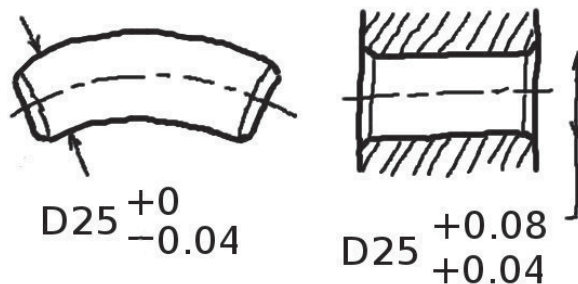
### 5.1 แบบต่างๆ ของค่าพิกัดความเผื่อสำหรับรูปร่าง (types of geometry tolerances)

เราสามารถใช้อัตลักษณ์ต่างๆ ของค่าพิกัดความเผื่อรูปร่างตามมาตรฐานของ AS 1100 Part101 ตามแสดงในตารางที่ 5.2













#### 5.1.1 คำศัพท์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

##### Feature

Feature หมายถึงชิ้นงาน หรือ ส่วนของชิ้นงาน เส้นหรือพื้นผิวเดี่ยวๆ ไม่มีความหนาเราไม่นับเป็น feature ทรงกระบอก, ร่องลิ้ม, ชิ้นส่วนสี่เหลี่ยม (ผิวเรียบสองผิว) จึงจะนับว่าเป็น feature และเราจะเรียกว่า features of



รูปที่ 5.1: ตัวอย่างความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้

Geometric Characteristic	Symbol	Type of Tolerance	Applications
Straightness		Form	For individual features
Flatness			
Circularity			
Cylindricity			
Profile of a line		Profile	For individual or related features
Profile of a surface			
Angularity		Orientation	For related features
Perpendicularity			
Parallelism			
Position including concentricity and symmetry		Location	
Circular runout		Runout	
Total runout			

รูปที่ 5.2: สัญลักษณ์ต่างๆ

size

#### Maximum and Least material conditions, MMC and LMC

ในการกำหนดค่าความเผื่อของ features of size ต่างๆ ที่ประกอบกัน (mating parts) เราจะพบว่าขนาดเมื่อชิ้นส่วนต่างๆ มีขนาดใหญ่มากที่สุดนั้นเป็นขนาดที่มีผลต่อการสวมใส่มากที่สุด และที่ขนาดอื่นๆ ก็จะมีผลน้อย ถ้าทุกชิ้นมีขนาดใหญ่มากและสามารถประกอบกันได้ เมื่อแต่ละชิ้นไม่ได้มีขนาดใหญ่มากที่สุดก็จะสามารถประกอบกันได้แน่ ถ้าเราพิจารณาตัวอย่างในรูปที่ 5.3 จะเห็นว่า ตามแบบแล้ว เมื่อชิ้นงานทั้งสองมีขนาดใหญ่มากที่สุด (Maximum Material Condition, MMC) ทั้งเพลลาและรูเพลลาจะต้องมีความเป็นทรงกระบอกอย่างสมบูรณ์จึงจะสามารถประกอบเข้ากันได้ (รูป b) ในทางกลับกันถ้าชิ้นงานทั้งสองมีขนาดต่ำสุด (Least Material Condition, LMC) เพลลาจะสามารถโค้งได้ถึง 0.02 mm ถ้ารูเพลลาเป็นทรงกระบอกอย่างสมบูรณ์

ที่ MMC ชิ้นงานจะมีเนื้องานมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ตามค่าความเผื่อ (tolerance) ที่กำหนดไว้ในแบบ และที่ LMC ชิ้นงานจะมีเนื้องานน้อยที่สุดเท่าที่กำหนดไว้ในแบบ

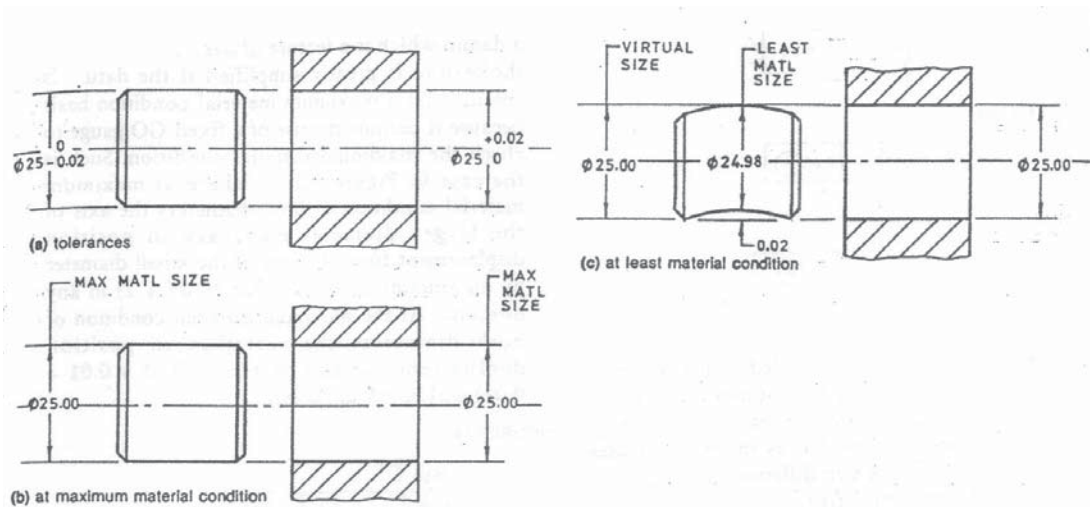
#### Virtual size

Virtual size เป็นขนาดของรูปร่างสมบูรณ์ (perfect form) ที่สามารถครอบคลุมชิ้นงานได้พอดี คือสัมผัสตำแหน่งสูงสุดของชิ้นงานพอดี การพิจารณาว่าชิ้นส่วนจะสวมใส่กันได้หรือไม่จะสามารถทำได้ง่ายขึ้นเมื่อใช้ virtual size (เป็นการประมาณเท่านั้น)

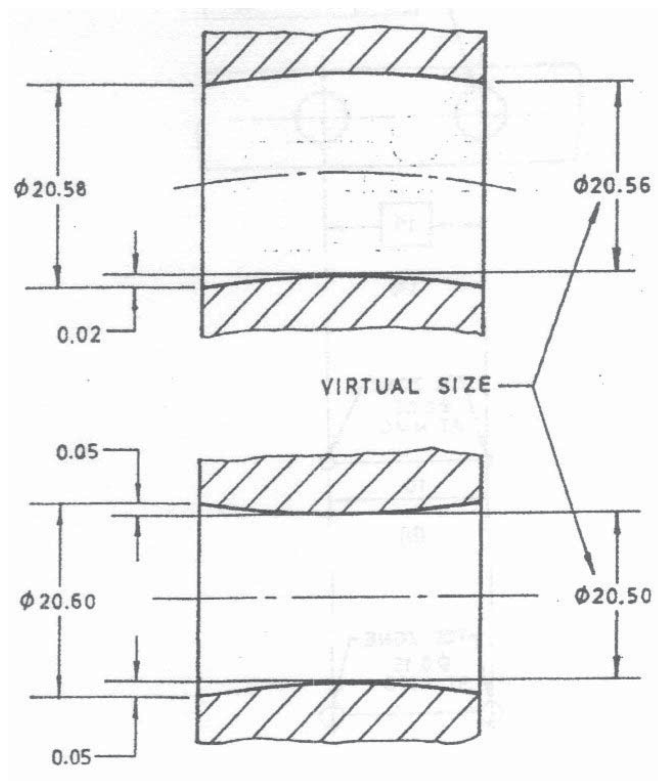
ในรูปที่ 5.3 (c) แสดงถึง virtual size ของเพลลา และ รูปที่ 5.4 แสดง virtual size ของรูเพลลา

#### Datum

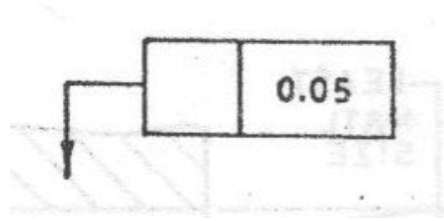
Datum คือ จุด, เส้น, ระนาบ หรือ พื้นผิวอย่างอื่นที่ใช้ในการอ้างอิงการวัดตำแหน่งของขนาดต่างๆ สำหรับการผลิตรวมเรียกว่า Datum มีความสมบูรณ์ของรูปร่าง คือ ถ้าเป็นระนาบของผิวงานหนึ่ง ถึงแม้ว่าการผลิตจะทำให้ผิวงานนี้มีรูปร่างต่างไปจากระนาบ เราจะต้องพยายามวัดหรืออ้างอิงกับระนาบที่สมบูรณ์ของผิวงานนี้ ไม่ใช่ผิวงานจริง



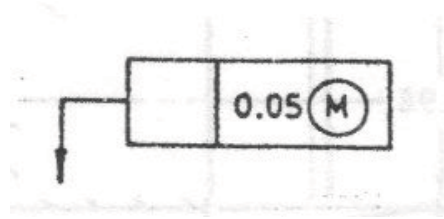
รูปที่ 5.3: ผลรวมของค่าเพื่อเชิงเส้นและรูปร่าง



รูปที่ 5.4: ขนาด virtual size ของรูเพลลา



รูปที่ 5.5: ไม่มีการกำหนด MMC



รูปที่ 5.6: การกำหนดให้มีค่าความเผื่อที่ MMC

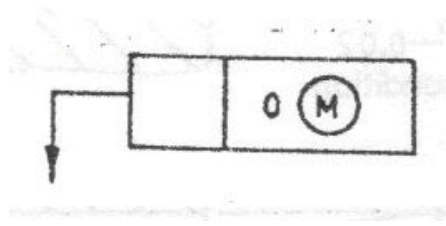
### Datum feature

Datum feature เป็น feature ของชิ้นงาน เช่น ขอบ, ระนาบ, หรือ รูเพลลา ที่ใช้ในการสร้าง datum หรือใช้ในการกำหนดตำแหน่งของ datum

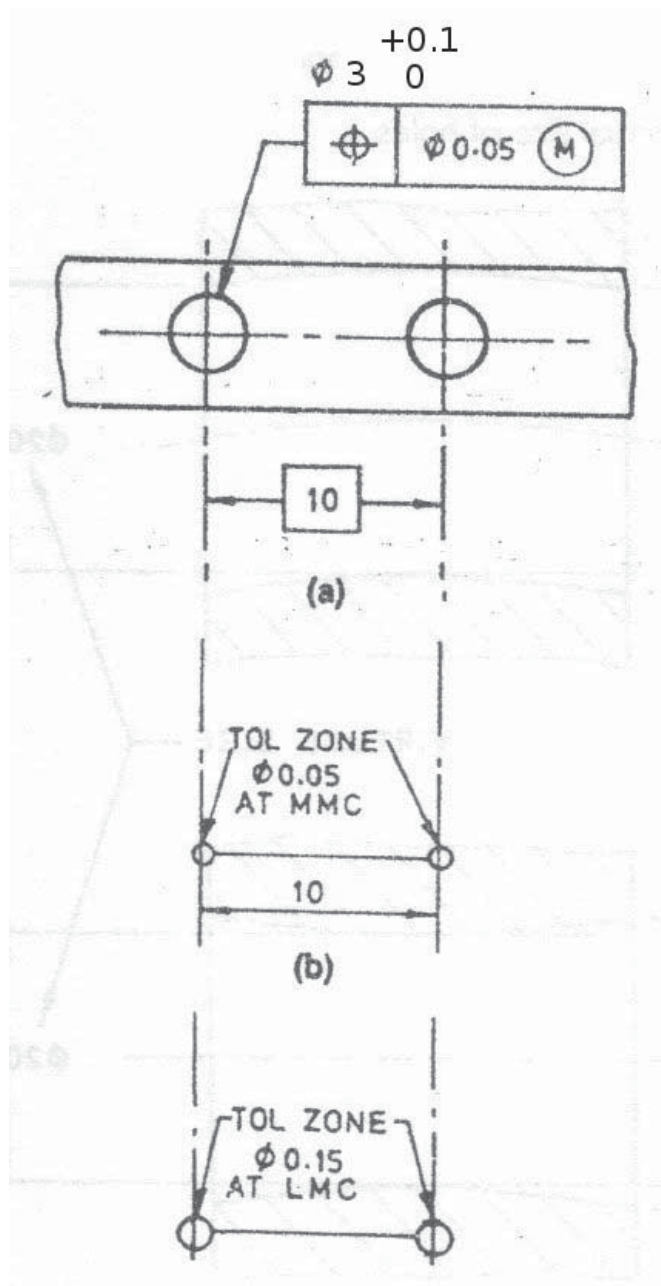
### Maximum material principle

Maximum material principle แสดงด้วยสัญลักษณ์  $\textcircled{M}$  เพื่อแสดงว่าขนาดเผื่อนั้นกำหนดให้เมื่อชิ้นงานมีเนื้องานมากที่สุด ตัวอย่างการใช้งานมีดังนี้

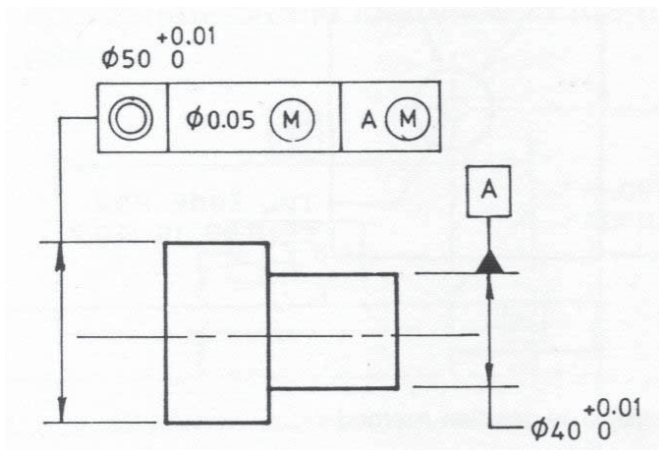
1. ในรูปที่ 5.5 เป็นการกำหนดความเผื่อของรูปร่างที่ไม่ได้ใช้ MMC ในกรณีนี้ค่าความเผื่อนั้นไม่มีความสัมพันธ์ใดๆกับขนาดของชิ้นงาน ค่าความเผื่อที่ใช้กับทุกๆขนาดของชิ้นงาน (ตามรูปร่างไม่ได้ใส่สัญลักษณ์ของรูปร่าง)
2. ในรูปที่ 5.6 เราให้ขนาดความเผื่อที่ MMC นั้นคือที่เนื้องานมากที่สุดนั้น ค่าความเผื่อคือ 0.05mm
3. ในรูปที่ 5.7 ค่าความเผื่อที่ MMC คือศูนย์
4. ในรูปที่ 5.8 เราให้ขนาดความเผื่อที่ MMC นั้นคือที่เนื้องานมากที่สุดนั้นค่าความเผื่อคือ 0.05mm นั้นคือตำแหน่งจุดศูนย์กลางจะสามารถผิดได้ภายในรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05mm ดังแสดงในรูป (b) แต่ที่ขนาดเนื้องานน้อยที่สุดหรือเมื่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด ตำแหน่งจุดศูนย์กลางจะมีได้มากกว่า คือมีได้เท่ากับ 0.05mm บวกกับผลรวมของค่าความเผื่อของรูเพลลาอีก 0.1mm เท่ากับ 0.15 ดังในรูปที่ (c)
5. ในรูปที่ 5.9 จากในรูปเรากำหนดให้เพลลาชิ้นเล็กเป็น feature อ้างอิง ที่เนื้องานมากที่สุดตำแหน่งแนวแกนของเพลลาชิ้นใหญ่จะต้องอยู่ในรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05mm รอบๆแกนของเพลลาของเพลลาอันเล็ก นั่นคือแกนของเพลลาอันใหญ่จะขยับไปได้ไม่เกิน 0.025mm (0.05/2) เมื่อเทียบกับแกนเพลลาอันเล็ก ที่ขนาดอื่นตำแหน่งแกนเพลลาสามารถผิดพลาดจากแกนเพลลาอันเล็กได้ไม่เกิน 0.035 (= (0.05+0.1+0.1)/2) คือรวมค่าเผื่อของเพลลาทั้งสองด้วย



รูปที่ 5.7: การกำหนดให้มีค่าความเผื่อที่ MMC เป็นศูนย์



รูปที่ 5.8: การใช้งาน MMC สำหรับตำแหน่งรูเพลา



รูปที่ 5.9: การใช้งาน MMC สำหรับตำแหน่งของแกนเพลลา

## 5.2 การกำหนดขนาดความเผื่อของรูปร่างบนแบบ

การกำหนดขนาดความเผื่อบนแบบทำได้สองแบบคือ แบบกรอบภาพ (frame method) และแบบตาราง แบบตารางนั้นมักจะใช้เมื่อต้องกำหนดขนาดความเผื่อมากกว่า 3 ชุดขึ้นไป ซึ่งเราจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ สัญลักษณ์ต่างๆ และของมูลที่จำเป็นสำหรับการกำหนดขนาดความเผื่อของรูปร่างแสดงดังในตารางที่ 5.1 ถึง 5.7 เราจะอธิบายค่าบางค่าในตารางนี้เพื่อเป็นตัวอย่าง

### การให้ข้อมูล

การให้ข้อมูลนั้นแสดงดังในตารางที่ 5.1 (1) สำหรับแถวล่าง ค่าแรกแสดงชุดของขนาดความเผื่อในกรณีที่ต้องแสดงว่ากรอบข้อมูลนั้นให้ข้อมูลเกี่ยวเนื่องกัน ช่องที่สองแสดงสัญลักษณ์ของรูปร่างที่เราต้องการให้ค่าความเผื่อ ช่องที่สามแสดงค่าความเผื่อและสัญลักษณ์การวัดค่าเผื่อ ช่องสุดท้ายแสดง datum feature ที่ต้องการใช้ ส่วนแถวบนใช้กำหนด datum feature ไปพร้อมกับการให้ค่าเผื่อ

### การกำหนด datum feature

การกำหนด datum feature นั้นมีสองวิธีดังแสดงในตารางที่ 5.1 (2) โดยจะเห็นว่าเราสามารถกำหนด datum ให้กับ feature ต่างๆได้ เช่น พื้นผิว (2), แนวแกนรู (7), แนวแกนเพลลา (10) และ slot (18)

### flatness

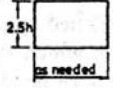
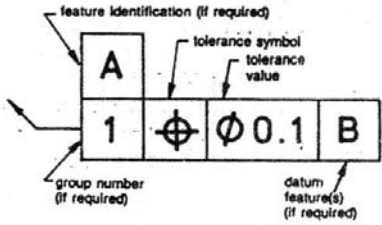
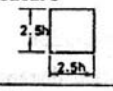

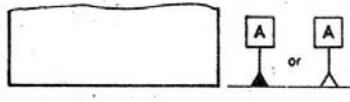
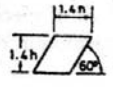
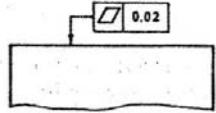
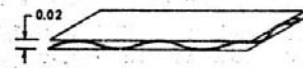

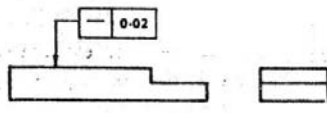

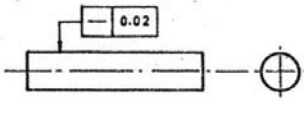

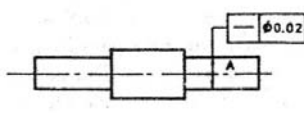

ค่าความเรียบนั้นกำหนดได้ตามตารางที่ 5.1 (3) เราใช้กำหนดระนาบของผิวงานที่ต้องการเพื่อให้อยู่ระหว่างระนาบสมมุติสองอันที่ห่างกันเท่ากับค่าความเผื่อที่กำหนด

### ความเป็นเส้นตรง (straightness)


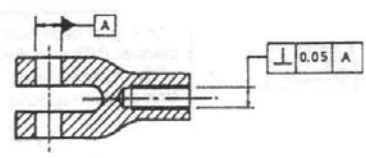
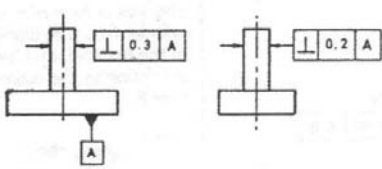
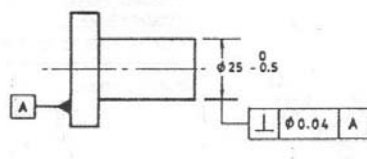
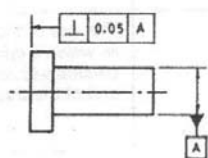
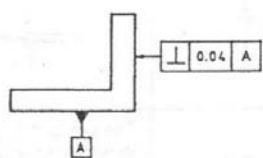
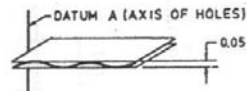
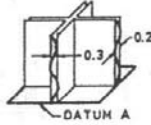
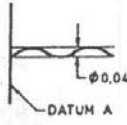
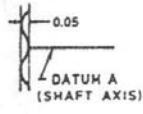
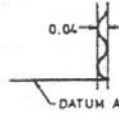
เราสามารถใช้ความเป็นเส้นตรงในการกำหนดค่าความเผื่อสำหรับ

1. ความเป็นเส้นตรงของเส้น
2. ความเป็นเส้นตรงของแกนในระนาบ
3. ความเป็นเส้นตรงของแกนรูปทรงกระบอกแบบต่างๆ (solids of revolution)

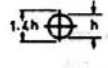
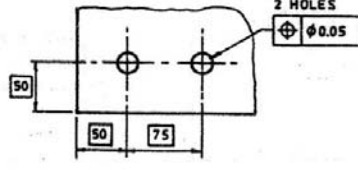
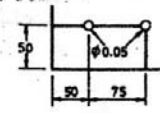
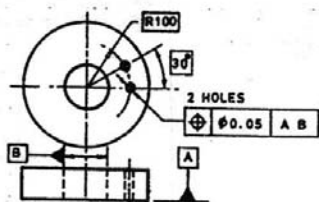
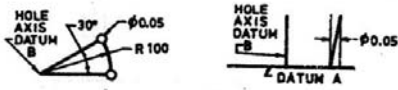
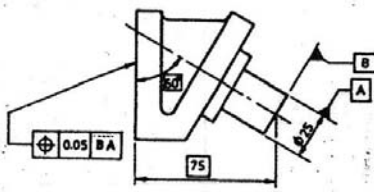
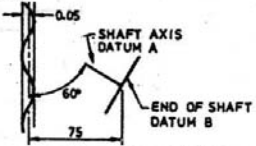

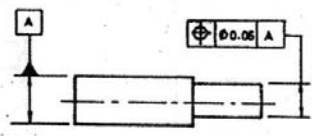
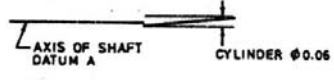
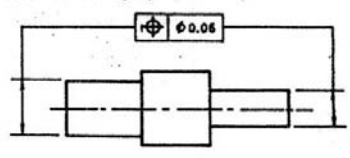
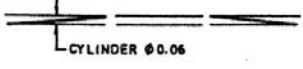
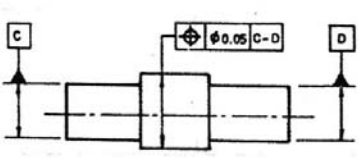
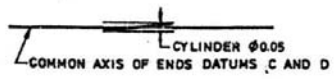
ตารางที่ 5.1: การกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ

Symbol	Drawing Callout	Interpretation
<p><b>frame</b></p> 	<p>1.</p> 	<p>If the feature and group identifications are not required, the left-hand and datum compartments may be omitted.</p>
<p><b>feature</b></p>  <p><b>datum</b></p> 	<p>2.</p> 	<p>The surface is identified as datum feature A. Either datum symbol may be used, but never both on the one drawing.</p>
<p><b>flatness</b></p> 	<p>3.</p>  	<p>The surface indicated must lie between two parallel planes 0.02 mm apart.</p>
<p><b>straightness</b></p> 	<p>4.</p>  	<p>Any actual line on the top surface, parallel to the plane of projection in which the tolerance frame is shown must lie between two horizontal parallel lines 0.02 mm apart.</p>
	<p>5.</p>  	<p>Any position of the generator of the cylinder must lie between two parallel straight lines on the surface 0.02 mm apart.</p>
	<p>6.</p>  	<p>The axes of cylinder A only must lie within a cylindrical tolerance zone of 0.02 mm diameter.</p>


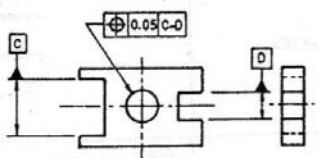
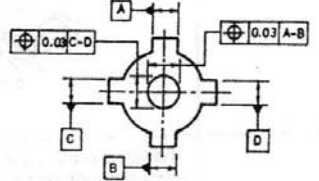
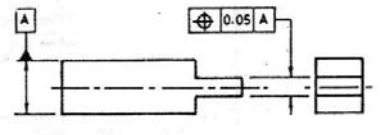
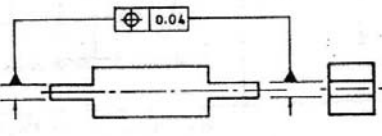
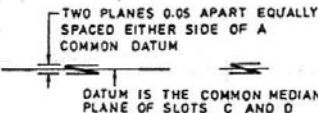
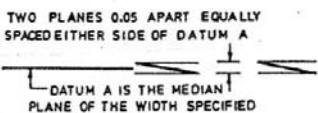


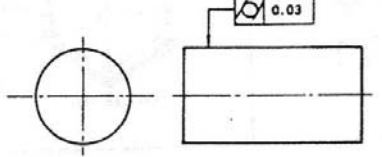

ตารางที่ 5.2: การกำหนดขนาดความเพี้ยนแบบต่างๆ

Symbol	Drawing Call Out	Interpretation
<p>perpendicularity</p> 	<p>7.</p>  <p>8.</p>  <p>9.</p>  <p>10.</p>  <p>11.</p> 	<p>The axis of the threaded hole must lie between two horizontal planes 0.05 mm apart, normal to the hole axis, datum A.</p>  <p>The axis of the upright member must lie between the intersection of four vertical planes mutually at right angles to datum plane A.</p>  <p>The axis of the cylindrical member must lie within a cylinder, 0.04 mm diameter, the axis of which is normal to the datum surface A.</p>  <p>The left-hand end of the part must lie between two planes 0.05 mm apart which are normal to the shaft axis, datum A.</p>  <p>The outside vertical face of the part must be between two planes 0.04 mm apart which are normal to the bottom surface, datum A.</p> 

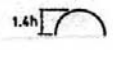
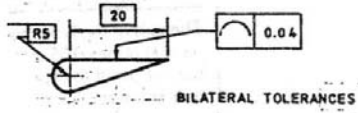
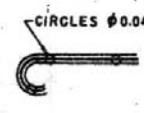
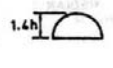
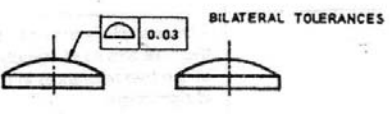

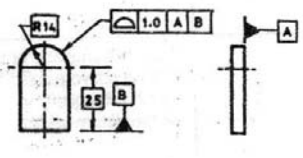
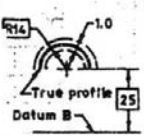
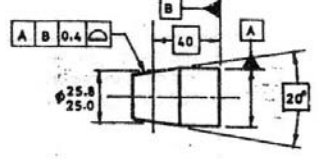
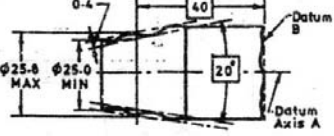
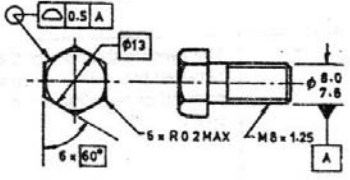
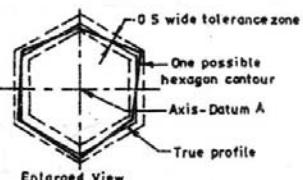
ตารางที่ 5.3: การกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ

Symbol	Drawing Callout	Interpretation
<b>position</b> 	<b>12.</b> 	<p>The axis of each hole must be contained within a cylinder 0.05 mm diameter through the thickness of the material, each cylinder having its axis in the true position specified by the dimensions.</p> 
	<b>13.</b> 	<p>The axis of each hole must be contained within a cylinder 0.05 mm diameter through the thickness of the material, each axis being in its true position in relation to the datum plane A and datum hole B.</p> 
	<b>14.</b> 	<p>The back vertical surface must lie between two parallel planes 0.05 mm apart and be symmetrically located about the true position of the surface in relation to the datum axis A and the datum plane B.</p> 
<b>position (concentricity)</b> 	<b>15.</b> 	<p>The axis of the right-hand end of the shaft must lie within a cylinder 0.06 mm diameter which is co-axial with datum A, the axis of the left hand end of the shaft.</p> 
	<b>16.</b> 	<p>The axes of the left-hand and right-hand cylindrical ends of the shaft must lie within a cylinder 0.06 mm diameter.</p> 
	<b>17.</b> 	<p>The axis of the middle section of the shaft must lie within a cylinder 0.05 mm diameter which is co-axial with the common datum axis of the ends C and D.</p> 


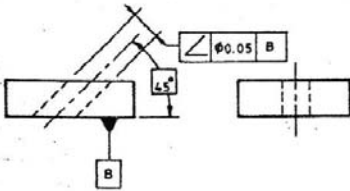
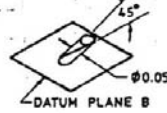
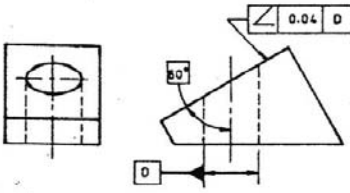
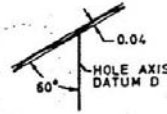
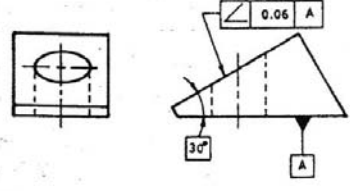
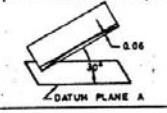
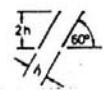
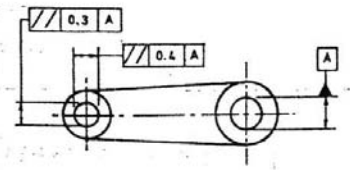
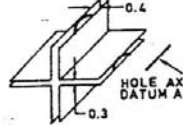
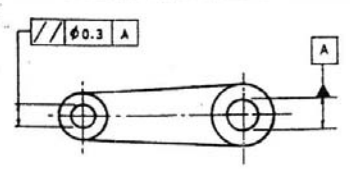
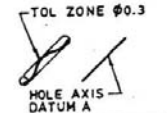
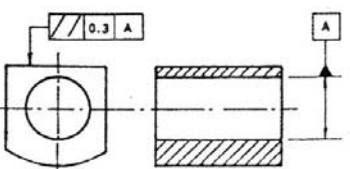
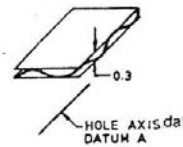
ตารางที่ 5.4: การกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ

Symbol	Drawing Callout	Interpretation
<p><b>position (symmetry)</b></p> 	<p><b>18.</b></p>  <p><b>19.</b></p>  <p><b>20.</b></p>  <p><b>21.</b></p> 	<p>The axis of the hole must lie between two parallel planes 0.05 mm apart which are equally spaced about the common median plane of the two end slots C and D.</p>  <p>The example is similar to the above except that the hole axis must comply individually with each of the two tolerances in two directions mutually at right angles.</p> <p>The median plane of the tongue must lie between two parallel planes 0.05 mm apart which are equally spaced about the median plane of the datum width A.</p>  <p>The two median planes of the tongue on each end must lie between two parallel planes 0.04 mm apart.</p> 
<p><b>cylindricity</b></p> 	<p><b>22.</b></p> 	<p>The cylindrical surface of the part must lie between two cylindrical surfaces co-axial with each other and a radial distance of 0.03 mm apart.</p> 

ตารางที่ 5.5: การกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ

Symbol	Drawing Callout	Interpretation
<p><b>profile (line)</b></p> 	<p><b>23.</b></p>  <p>BILATERAL TOLERANCES</p>	<p>The actual profile must lie between two profiles separated by a series of spheres 0.04 mm diameter whose centres lie on the theoretical profile.</p>  <p>CIRCLES <math>\phi 0.04</math></p>
<p><b>(surface)</b></p> 	<p><b>24.</b></p>  <p>BILATERAL TOLERANCES</p>	<p>The curved surface must lie between two surfaces separated by a series of spheres 0.03 mm diameter having their centres on a surface of correct profile shape.</p>  <p>SPHERES <math>\phi 0.03</math></p>
	<p><b>25.</b></p> 	<p>The actual profile must lie within the 1 mm tolerance zone centred around the true profile.</p>  <p>True profile Datum B</p>
	<p><b>26.</b></p> 	<p>The actual conical profile must lie within an 0.4 mm diameter tolerance zone limited by the toleranced dimension.</p>  <p>Datum B Datum Axis A</p>
	<p><b>27.</b></p> 	<p>The actual hexagon profile must lie within the 0.5 mm tolerance zone centred around the true profile.</p>  <p>0.5 wide tolerance zone One possible hexagon contour Axis-Datum A True profile Enlarged View</p>

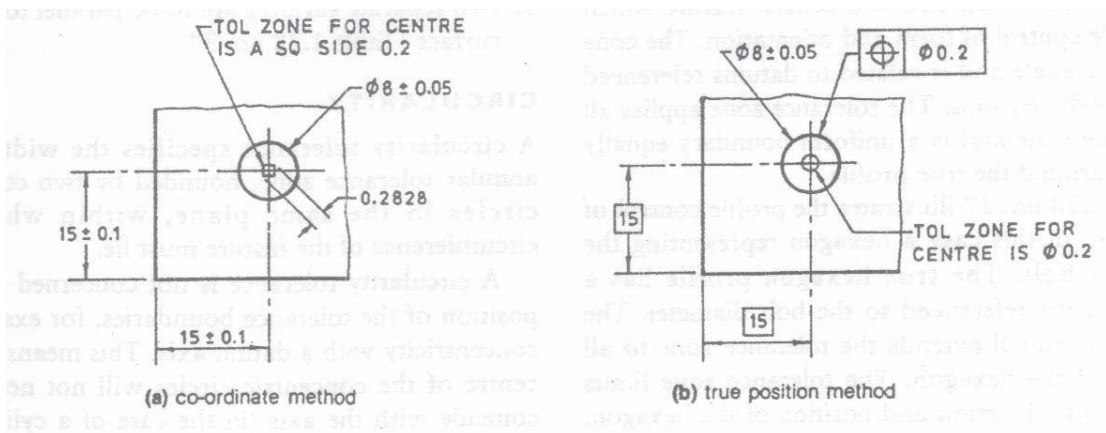
ตารางที่ 5.6: การกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ

Symbol	Drawing Callout	Interpretation
<b>angularity</b> 	<b>28.</b> 	<p>The axis of the inclined hole must lie within a cylindrical tolerance zone 0.05 mm diameter which is inclined at 45° to the datum plane B in one direction and normal to it in the direction 90° to the first.</p> 
	<b>29.</b> 	<p>The inclined surface of the part must lie between two parallel planes 0.04 mm apart which is inclined at 30° to the datum axis D in one direction and normal to it in the direction 90° to the first.</p> 
	<b>30.</b> 	<p>The inclined surface of the part must lie between two parallel planes 0.06 mm apart which are inclined at 30° to the datum plane A in one direction and elements at right angles to this direction are parallel to datum plane A.</p> 
<b>parallelism</b> 	<b>31.</b> 	<p>The axis of the left-hand hole must lie between two sets of parallel planes spaced according to the dimensions given, mutually at right angles and placed as shown in relation to the hole axis, datum A.</p> 
	<b>32.</b> 	<p>The axis of the left-hand hole must lie inside a cylindrical tolerance zone 0.03 mm diameter which has its axis parallel to the other hole axis, datum A.</p> 
	<b>33.</b> 	<p>The top surface must lie between two parallel planes 0.3 mm apart and parallel to the hole axis, datum A.</p> 

ตารางที่ 5.7: การกำหนดขนาดความเผื่อแบบต่างๆ

Symbol	Drawing Callout	Interpretation
<p><b>parallelism</b></p>	<p><b>34.</b></p>	<p>The two top surfaces must each lie between two parallel planes 0.3 mm apart, each set of parallel planes being parallel to the bottom surface, datum A.</p>
<p><b>circularity</b></p>	<p><b>35.</b></p>	<p>Any cross-section of the cylinder perpendicular to the axis must lie between two concentric circles of radial distance 0.02 mm apart.</p> <p>Note: The centre of the two concentric circles need not lie on the axis of the cylinder.</p>
	<p><b>36.</b></p>	<p>Any cross-section of the sphere passing through the centre must lie between two concentric circles in the same plane as the section and of radial distance 0.03 mm apart.</p> <p>Note: The centre of the two concentric circles need not coincide with the centre of the sphere.</p>
<p><b>runout</b></p>	<p><b>37.</b></p>	<p>The runout of the centre portion must not exceed 0.2 mm measured normal to the datum axis at any point along the surface.</p>
<p><b>total runout</b></p>	<p><b>38.</b></p>	<p>The total runout must not be greater than 0.3 mm in any traverse of the surface during a series of rotations about the common axis of ends C and D.</p>

ตารางที่ 5.8: การกำหนดขนาดความเผื่อของตำแหน่งรูเจาะ



ในตารางที่ 5.1 (4) เป็นการใช้ความเป็นเส้นตรงกำหนดขนาดความเผื่อของเส้นตรงใดๆที่ลากในระนาบที่ขนานกับระนาบภาพของรูปที่มีการให้ขนาดความเผื่อ สำหรับ (5) เราใช้กำหนดความเป็นเส้นตรงเส้นที่ใช้ในการหมุนรอบแกนของเพลลาเพื่อสร้างพื้นผิวของทรงกระบอก (6) กำหนดแกนของทรงกระบอก ในกรณีนี้เราต้องการให้แกนเพลลานั้นอยู่ในทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับค่าเผื่อที่กำหนด

### ความตั้งฉาก (perpendicularity)

ความตั้งฉากสามารถใช้ในการกำหนด

1. ความตั้งฉากของเส้นกับเส้นอ้างอิง
2. ความตั้งฉากของแกนเทียบกับระนาบอ้างอิง
3. ความตั้งฉากของระนาบพื้นผิวเทียบกับแกนอ้างอิง
4. ความตั้งฉากของระนาบพื้นผิวเทียบกับระนาบอ้างอิง

ในตารางที่ 5.2 (7) ค่าเผื่อของแกนรูเกลียวจะต้องอยู่ระหว่างระนาบสองระนาบที่ตั้งฉากกับรูอ้างอิง และห่างกันเท่ากับค่าเผื่อ ในกรณีที่สองเราใช้ค่าเผื่อในการกำหนดให้แกนเพลลาอยู่ในระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบอ้างอิง โดยในที่นี้เราใช้ระนาบสองชุดเพราะเรากำหนดค่าเผื่อสองชุด 5.2 (8) ในตารางที่ 5.2 (9) กำหนดคล้ายๆกันกับใน (8) แต่สังเกตว่ามีสัญลักษณ์เส้นผ่านศูนย์กลางด้วย ในกรณีนี้เราต้องการให้แกนเพลลาอยู่ภายในรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับค่าความเผื่อที่ให้ไว้

### ตำแหน่ง (position)

สำหรับการกำหนดค่าเผื่อของตำแหน่ง เรามีสองแบบคือ สำหรับแกนของรูเพลลา และพื้นผิว ในตารางที่ 5.3 (12) และ (13) จะเห็นว่า ค่าตำแหน่งของรูเพลลานั้นกำหนดไว้ในกรอบ โดยค่าตำแหน่งนี้สามารถผิดพลาดได้ตามกำหนดไว้ในค่าเผื่อคือ เป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05mm รอบตำแหน่งกำหนด โดยจะเห็นว่า การกำหนดแบบนี้จะได้ตำแหน่งจริงที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งที่ต้องการไม่เกิน 0.05/2mm ในทุกทิศทาง แบบนี้เราเรียกว่าแบบ true position คือค่าความผิดพลาดนั้นวัดจากตำแหน่งจริงในทุกทิศทาง พิจารณาเทียบกับในรูปที่ 5.8

สำหรับค่าความเผื่ออีกแบบ ในอีกแบบนี้เราจะเห็นว่าค่าตำแหน่งที่ยอมรับได้นั้น เราพิจารณาที่เส้นแนว ทำให้เกิดพื้นที่ของตำแหน่งที่ยอมรับได้เป็นสี่เหลี่ยม เทียบกับพื้นที่แบบวงกลมสำหรับการให้ความเผื่อแบบ true position เราสามารถให้ค่าเผื่อสำหรับพื้นผิวได้ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ซึ่งเป็นแบบ true position เช่นกัน นั่นคือค่าความผิดพลาดนั้นให้วัดจากตำแหน่งที่ต้องการไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าความเผื่อ

**ความร่วมศูนย์ (concentricity)**

เราใช้ความร่วมศูนย์สำหรับ feature สองอันขึ้นไป ว่ามีความแตกต่างของแนวแกนอย่างไร ความร่วมศูนย์สามารถถือว่าเป็นการให้ค่าความเผื่อของตำแหน่งแบบหนึ่ง พิจารณาในตารางที่ 5.3 (16) ในกรณีนี้เราต้องการให้ แกนเพลลาทางซ้ายและแกนเพลลาด้านขวาอยู่ในแนวเดียวกัน โดยค่าเผื่อแสดงค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้รอบๆ แกนร่วมนี้

**ความสมมาตร (symmetry)**

การให้ค่าเผื่อของความสมมาตรถือเป็นการให้ค่าเผื่อของตำแหน่งแบบหนึ่ง

ในตารางที่ 5.4 (18) แสดงการใช้ค่าเผื่อสำหรับตำแหน่งของรูเพลลาที่ต้องการให้อยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางบน แกนร่วมของ datum feature C และ D โดยตามการให้ค่าเผื่อเราต้องการให้ตำแหน่งแกนของรูนี้้อยู่ระหว่างระนาบสองระบบที่อยู่ห่างจากแกนนี้เท่าๆกัน และระนาบห่างกันเท่ากับค่าเผื่อ 0.05mm ในรูปที่ (19) ก็จะคล้ายๆกันแต่เราคิดค่าเผื่อสองแนว โดยแต่ละแนวนั้นไม่ขึ้นแก่กัน

ในตารางที่ 5.5 (20) เรากำหนดให้แกนของลิ้น (tongue) นั้นต้องอยู่ในระนาบสองระบบที่อยู่ห่างจากแกนกลางของพื้นผิวสองพื้นผิวที่กำหนดด้วย datum A และระนาบสองระบบห่างกันเท่ากับค่าเผื่อ 0.05mm ส่วน (21) นั้นเราต้องการให้พื้นผิวทั้งสองนั้นสมมาตรเมื่อเทียบกับแกนร่วม

**ความเป็นทรงกระบอก (cylindricity)**

ในกรณีนี้เราต้องการให้ผิวงานเป็นรูปทรงกระบอกโดยให้มีค่าความผิดพลาดจากรูปทรงกระบอกที่สมบูรณ์ไม่เกิน ครึ่งหนึ่งของค่าความเผื่อ หรือคือให้รูปทรงกระบอกที่ผลิตได้นั้นอยู่ระหว่างพื้นผิวทรงกระบอกสองกันที่ร่วมแกนกันและที่พื้นผิวห่างกันเท่ากับค่าความเผื่อ (22) ในกรณีนี้เราไม่สนใจกำหนดค่าความเผื่อของตำแหน่งแกนของผิวงานทรงกระบอกที่เกิดขึ้น

**profiles**

ในกรณีนี้เราต้องการกำหนดค่าเผื่อสำหรับ รูปร่างของเส้นหรือ รูปร่างของพื้นผิวก็ได้ ในกรณีแรก (23) เรากำหนดให้แนวเส้นจริงนั้นจะต้องอยู่ภายใน รูปทรงที่สร้างขึ้นจากแนวเส้นสมบูรณ์ โดยสร้างทรงกลมขึ้นที่มีจุดศูนย์กลางบนเส้นนี้และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับค่าเผื่อที่กำหนด จากนั้นเลื่อนทรงกลมนี้ไปตามเส้น หรือเราอาจคิดว่า ตำแหน่งเส้นจะยอมรับได้ถ้าตำแหน่งนี้อยู่ภายในรูปทรงกลมอันใดก็ได้ที่มีจุดศูนย์กลางบนเส้นสมบูรณ์ที่ต้องการและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับค่าเผื่อที่กำหนด

เช่นเดียวกันสำหรับค่าเผื่อสำหรับรูปร่างของพื้นผิว (24-27) ตำแหน่งของพื้นผิวจะยอมรับได้ ถ้าตำแหน่งนั้นอยู่ในรูปทรงกลมอันใดก็ได้ที่มีจุดศูนย์กลางบนพื้นผิวสมบูรณ์ที่ต้องการและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับค่าเผื่อที่กำหนด

**angularity**

ค่าเผื่อนี้ใช้กำหนดค่าเผื่อสำหรับมุมต่างๆ ในตารางที่ 5.6 แสดงการให้ค่าความเผื่อสำหรับมุมต่างๆ

**ความขนาน parallelism**

ในตารางที่ 5.6 (31) เราต้องการให้แนวแกนของรูเพลลาด้านซ้าย ขนานกับแนวแกนของรูอ้างอิงทางด้านขวา ในกรณีนี้ให้ค่าความเผื่อที่ละแนว โดยเราต้องการให้แนวแกนอยู่ระหว่างระนาบสองระนาบในแนวตั้งที่ห่างกันเป็นระยะเท่ากัน 0.4mm แต่ระนาบในแนวนอนที่ระยะ 0.3m โดยระนาบทั้งหมดต้องขนานกันกับแนวแกนของรูอ้างอิง ส่วนใน (32) เราต้องคล้ายๆกันแต่ให้ค่าเผื่อเป็นตำแหน่งของแกนจริงรอบๆแกนสมมุติที่ต้องการ

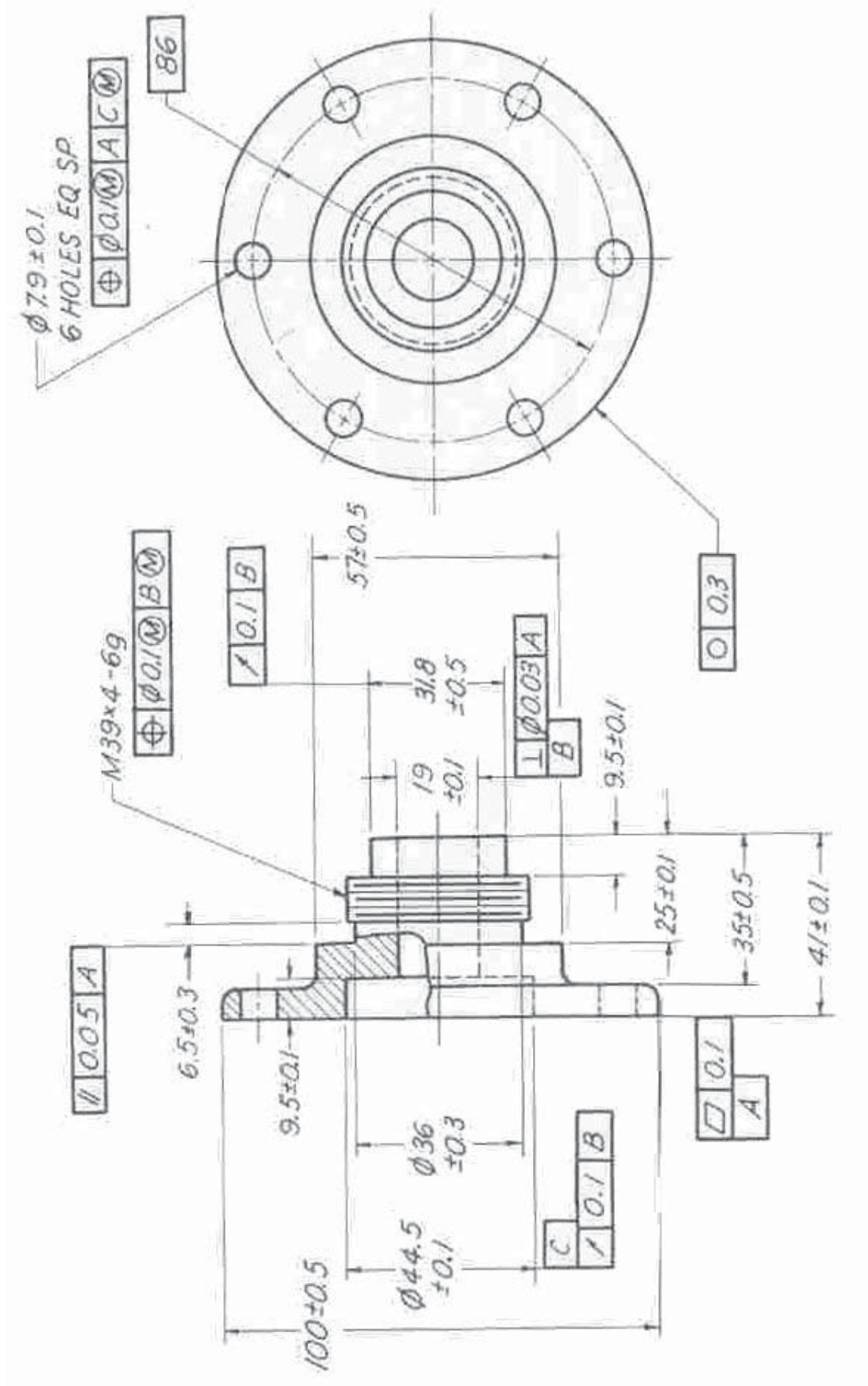
### ความกลม circularity

ความกลมจะคล้ายกับความเป็นทรงกระบอก แต่เราจะสนใจเฉพาะตำแหน่งในแต่ละระนาบที่ตัดตั้งฉากกับแนวแกนเท่านั้น และเช่นเดียวกันกับค่าความเผื่อทรงกระบอก เราไม่ได้สนใจตำแหน่งแกนหรือจุดกึ่งกลางของวงกลมหรือทรงกลมเลย

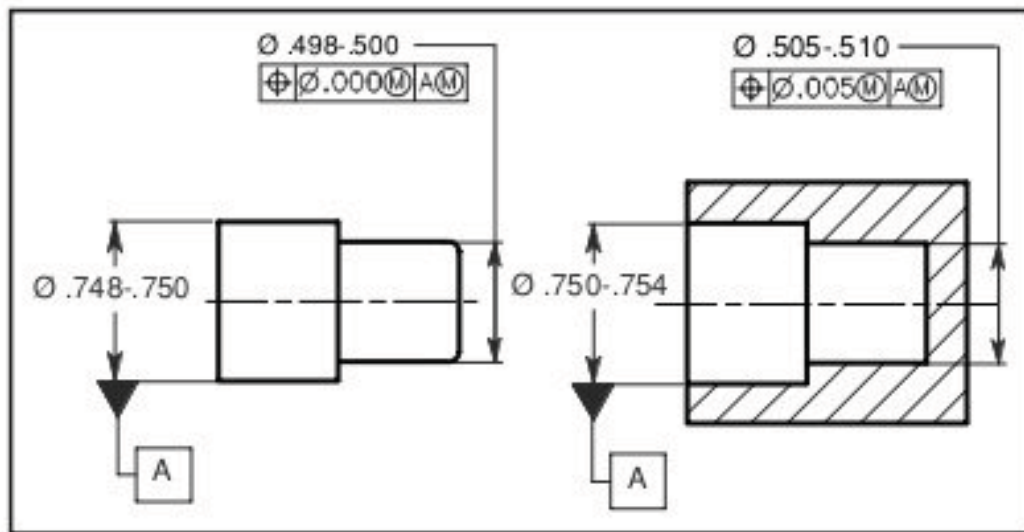
### Runout

Runout นั้นใช้ในการให้ค่าเผื่อสำหรับพื้นผิวที่เกิดจากการหมุนของเส้นรอบแกน เช่นในงานกลึง runout จะหมายถึงเฉพาะความเผื่อที่เกิดจากความแตกต่างของตำแหน่งหรือรัศมีจากแกนหมุนต่างๆรอบแกนหมุนเท่านั้น ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร ในตาราง 5.7 (37) และ (38) แสดงการให้ค่าความเผื่อแบบ runout และ total runout ในกรณีนี้เราต้องการให้ค่าความเผื่อสำหรับ ความแตกต่างของรัศมีระหว่างจุดต่างๆบนรูปทรงกระบอกนั้น เมื่อเทียบกับแกนหมุน ในการวัดเราจะหมุนชิ้นงานรอบแกนอ้างอิง จากนั้นใช้อุปกรณ์วัดตำแหน่ง เช่น dial gauge จากนั้นหมุนชิ้นงานไปรอบๆ เพื่อดูว่าค่าตำแหน่งที่อ่านได้มีการเปลี่ยนแปลงจากค่ามากไปน้อยสุดเท่าใด เราจะยอมรับได้เมื่อค่าความเปลี่ยนแปลงสูงสุดนี้ไม่เกินค่าเผื่อที่กำหนด สำหรับ runout เราจะวัดค่าความเปลี่ยนแปลงสูงสุดนี้ในแต่ละระนาบเท่านั้น ส่วน total runout เราจะดูค่าความเปลี่ยนแปลงในทุกๆระนาบ นั่นคือสำหรับ total runout เราจะหมุนเพลลาและเลื่อนอุปกรณ์การวัดไปมาในแนวแกนและจดค่าต่ำสุดและสูงสุดนำมาลบกันเพื่อหาค่าความเปลี่ยนแปลงสูงสุด ส่วน runout เราจะไม่เลื่อนตำแหน่งอุปกรณ์วัด แต่จะหาความเปลี่ยนแปลงสูงสุดก่อนซึ่งจะต้องให้ได้ต่ำกว่าค่าเผื่อที่กำหนด จากนั้นทำซ้ำโดยเปลี่ยนตำแหน่งอุปกรณ์วัดไปตามแนวแกนเพลลา total runout จะมากกว่า runout เสมอ

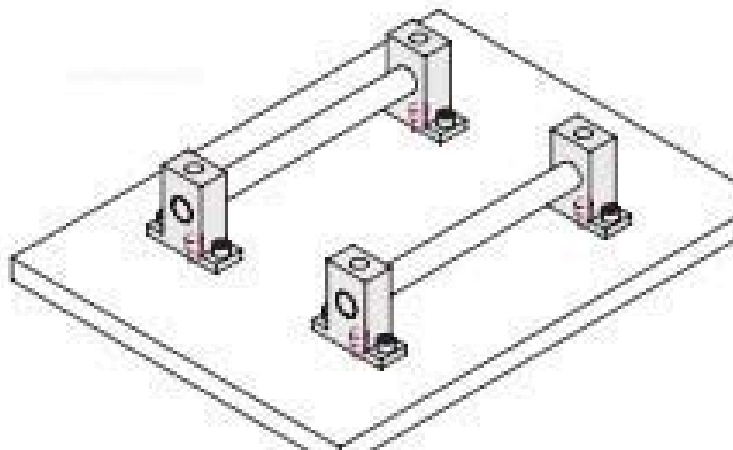
## 5.3 ตัวอย่างการใช้งาน



รูปที่ 5.10: ตัวอย่างการใช้งาน (endplate)



รูปที่ 5.11: การให้ขนาดเพลาสองระดับให้ประกอบกันได้แน่ๆ

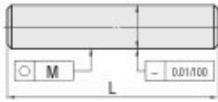


รูปที่ 5.12: เพลารองเลื่อนและตักตา

**Precision Standards of Hardened Shaft with Outer Diameter Tolerance g6**

**Circularity and Straightness**

※ When D≤6 and L≤100, the straightness is 0.01 or less.  
 When D≤6 and L>100, the straightness is (L/100)×0.01 or less.  
 When D>3-4 (L/100)×0.05,  
 When D>5 (L/100)×0.03 or less.



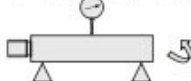
**Circularity of Part D**

D	Circularity M
More than 2	Less than 13 0.004
13	20 0.005
20	40 0.006
40	50 0.007

**Tolerance of L and Other Dimension**

Dimension	Dimension Tolerance
More than 2	Less than 6 ±0.1
6	30 ±0.2
30	120 ±0.3
120	400 ±0.5
400	1000 ±0.8
1000	1500 ±1.2

**Measuring Method of Straightness**



Support both ends with V-shaped blocks, and measure the dial gauge by making one rotation at any point. Half of gauge reading corresponds to straightness.

**Notes on Hardness - Surface Treatment**

Shaft end (thread effective length + about 10mm) may have less hardness due to annealing.



- For All Male Thread Shafts
- Female Thread (Following Sizes)  
 Female Threads with size M≤D/2  
 All FC Thread  
 Double Thread Type  
 All SUS440C Hard Chrome Plated

Other parts its hardness may decrease due to annealing like the shaft end mentioned above are approx. 10mm of the following:  
 - Retaining Ring Groove, Key Groove, Taper, Hexagonal Hole and Wrench Flat Option (SC and WSC)  
 - Key Groove Option (FC and WKC) and Set Screw Flat Option (FC and WFC)  
 \* For Precision Type: FC and WKC

**Precision Standards of Plated Shaft with Outer Diameter Tolerance f8**  
**Circularity and Straightness**

※ When L≤100, the straightness is 0.025 or less.  
 When L>100, the straightness is (L/100)×0.025 or less.



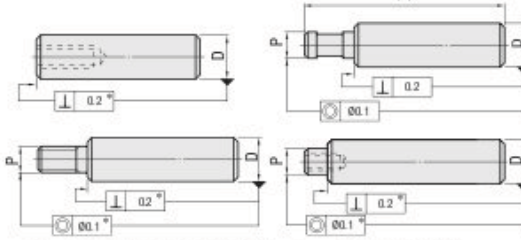
**Circularity of Part D**

D	Circularity M
More than 5	Less than 10 0.011
10	18 0.014
18	30 0.017
30	50 0.020

**Tolerance of L and Other Dimension**

Dimension	Dimension Tolerance
More than 3	Less than 6 ±0.1
6	30 ±0.2
30	120 ±0.3
120	400 ±0.5
400	1000 ±0.8
1000	1500 ±1.2

**Concentricity - Perpendicularity**

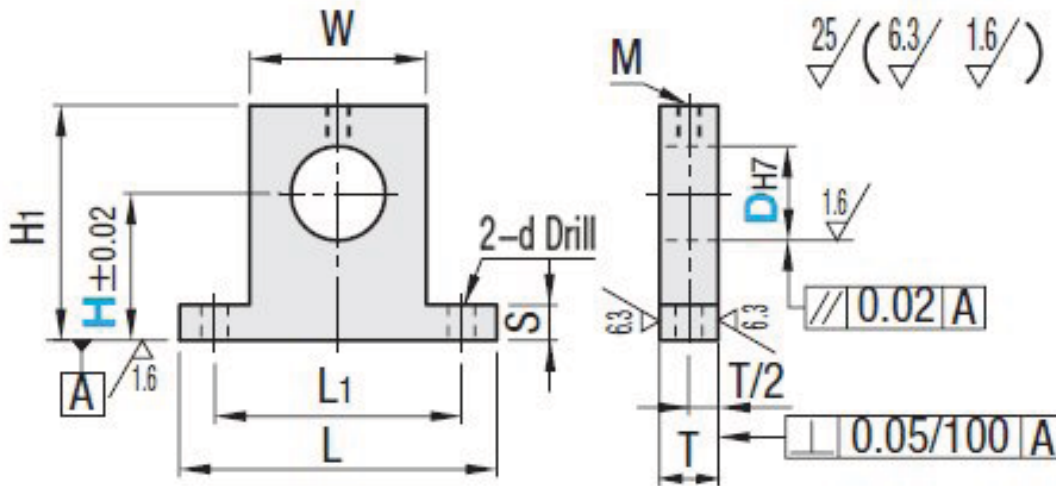


\* Concentricity of Precision Type is 0.02, and perpendicularity is 0.03.  
 (Note) The accuracy standard is not applicable to annealing shafts.

**Effective Hardening Depth of Hardening Shafts with Outer Diameter Tolerance g6**

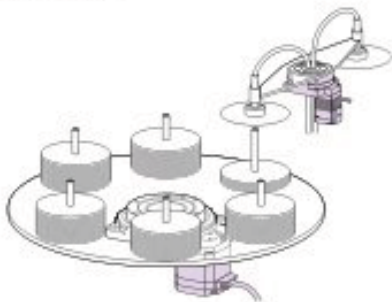
Outer Diameter (D)	Effective Hardening Depth		Outer Diameter (D)	Effective Hardening Depth	
	SUJ2	SUS440C Equivalent		SUJ2	SUS440C Equivalent
3			12-13	0.7 or More	0.5 or More
4	0.5 or More	0.5 or More	15-20	0.7 or More	0.7 or More
5			25 or More	1.0 or More	0.7 or More
6-10					

รูปที่ 5.13: geometric tolerance for the shaft

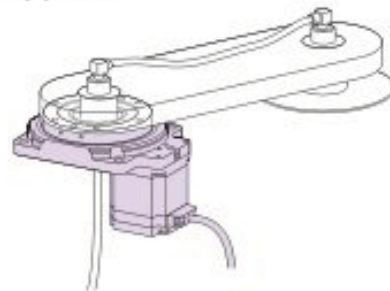


รูปที่ 5.14: shaft support

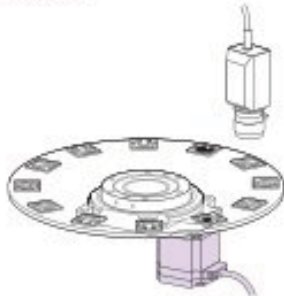
- Applications subject to changing load inertia



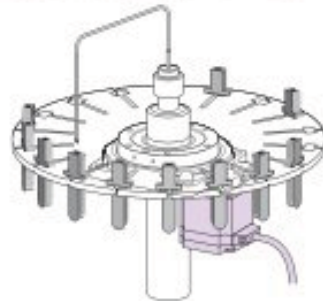
- Applications where a moment load is applied



- High accuracy positioning applications



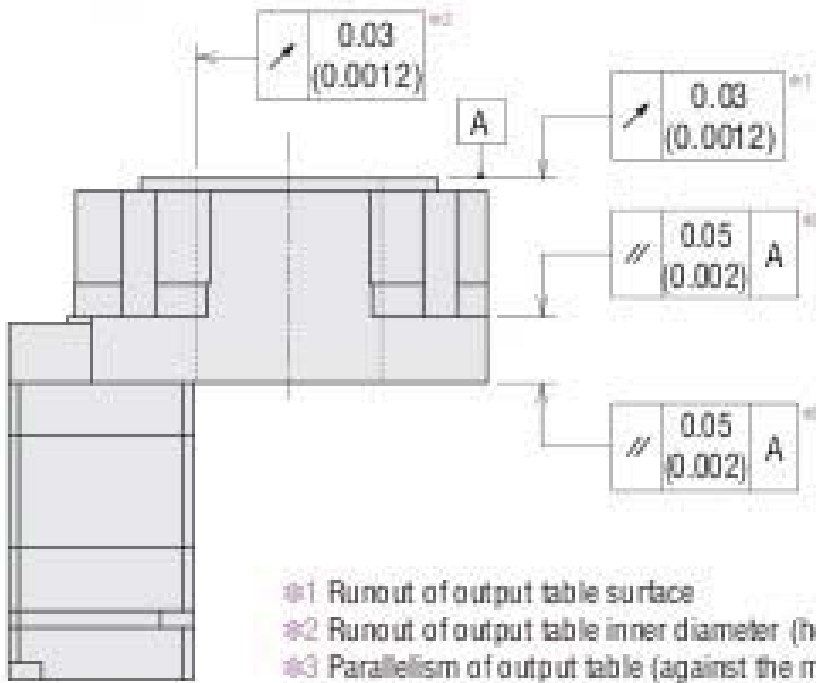
- High accuracy positioning applications using the hollow hole



รูปที่ 5.15: motor stage applications

● Table Precision (at no load) Unit = mm (in.)

**DG60**



รูปที่ 5.16: motor stage tolerance