บทที่ 4

ความพอดีและพิกัดความเผื่อ
Fits and Tolerances

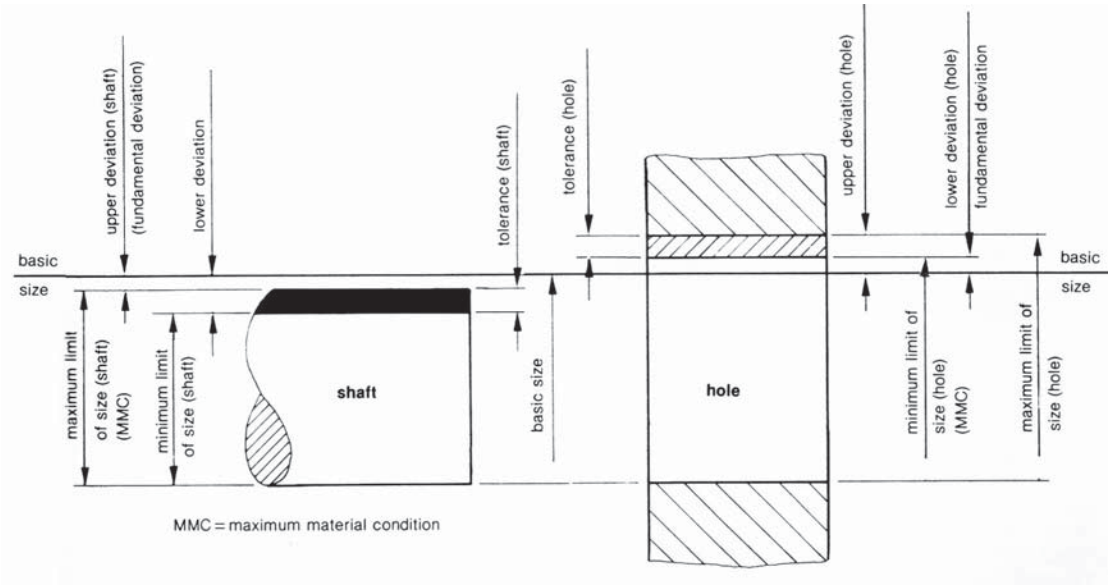
สำหรับชิ้นงานที่ต้องมีการประกอบเข้าด้วยกันนั้น ขนาดและรูปร่างของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีความสำคัญต่อการใช้งานร่วมกันของชิ้นงาน แต่เนื่องจากการผลิตชิ้นงานจำนวนมากๆนั้น เราไม่สามารถผลิตชิ้นงานให้ได้ตรงพอดีกันค่าที่ต้องการได้ ดังนั้นจะต้องมีการกำหนดความพิกัดความเผื่อของขนาดและรูปร่างที่ยอมรับได้จากการผลิต เช่นขนาดไม่ต่ำกว่าเท่าใดและไม่มากกว่าเท่าใด ความแตกต่างระหว่างขนาดสูงสุดและต่ำสุดนี้เราเรียกว่า ค่าพิกัดความเผื่อ (tolerance) การให้ขนาดความเผื่อนี้เมื่อใช้ถูกต้องจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้ดี และสามารถเลือกใช้การผลิตมีราคาต่ำที่ที่สามารถผลิตได้ตามขนาดที่ต้องการได้ ในทางปฏิบัติ เราจะให้ค่าพิกัดความเผื่อเท่าที่จำเป็นเท่านั้น และให้ค่าความเผื่อให้มากที่สุด เท่าที่จะไม่รบกวนการใช้งาน ทั้งนี้เพื่อให้การผลิตมีต้นทุนต่ำที่สุด การกำหนดพิกัดความเผื่อนี้มีสองประเภท คือพิกัดของขนาด และ พิกัดของรูปร่าง

ในบทนี้เราจะศึกษาพิกัดของขนาดก่อน ค่าพิกัดความเผื่อนั้น ใช้กันมากที่สุดสำหรับชิ้นงานที่ต้องสวมเข้าด้วยกัน เช่น เพลา (shaft) และ รูเพลา (hole) ค่าความเผื่อนั้นจะขึ้นกับการใช้งานของชิ้นงานที่มีเพลาและมีรูเพลานี้ เราอาจต้องการให้เพลาหมุนอยู่ในรูเพลาได้โดยสะดวก ในกรณีนี้เราก็ต้องกำหนดให้มั่นใจได้ว่า ชิ้นงานที่ได้จากการผลิตจะมีเพลาที่เล็กกว่าขนาดของรูเพลาแน่ๆ และมีช่องว่างระหว่างกันตามการใช้งาน เช่นถ้าการหมุนไม่มีการสั่นสะเทือนที่ทำให้จุดสัมผัสระหว่างเพลาและรูเพลาเกิดการกระแทก ก็อาจให้มีช่องว่างมาก แต่สำหรับเครื่องจักรที่มีการสะเทือนมากก็ต้องมีช่องว่างน้อยเพื่อลดการกระแทก หรือในประกอบเราอาจต้องการให้เพลายึดติดกับรูปเพลา เราก็ต้องกำหนดให้เพลาใหญ่กว่ารูเพลา เมื่อเราสวมเพลาเข้ากับรูเพลาโดยการสวมอัดก็จะทำให้เพลายึดติดแน่นกับรูเพลา การกำหนดขนาดระหว่างเพลาและรูเพลานี้มีมาตรฐานของ ISO (International Standard Organization) เราจะใช้งานตามมาตรฐานนี้

4.1 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

4.1.1 เพลา (shaft) และ รูเพลา (hole)

สำหรับการกำหนดขนาดพิกัดความเผื่อ เพลาหมายถึงชิ้นส่วนที่สวมเข้าไปในอีกชิ้นส่วน และ รูเพลาหมายถึงชิ้นส่วนที่รับให้อีกชิ้นสวมเข้าไปภายใน ในการนี้เราจะต้องไม่สับสนกับชื่อของชิ้นงาน ชื่อชิ้นงานอาจมีชื่อว่าเพลา แต่อาจทำหน้าที่เป็นรูเพลาก็ได้ ถ้ามีชิ้นส่วนอีกชิ้นถูกใส่เข้าไปภายใน ในการกำหนดต่อไปนี้เราจะสนใจเฉพาะหน้าที่เท่านั้น จะไม่สนใจชิ้นงานนั้นจะมีชื่ออะไร นอกจากนี้ชิ้นงานอาจดูไม่เหมือนเพลาหรือรูเพลาก็ได้ เช่นช่องว่างระหว่างชิ้นงานสองชิ้นอาจทำหน้าที่เป็นรูเพลา ถ้าเราต้องใส่ชิ้นงานอีกชิ้นแทรกเข้าไป ชิ้นงานที่แทรกเข้าไปในช่องว่านี้ถือว่าทำหน้าที่เป็นเพลา



รูปที่ 4.1: ขนาดต่างๆของเพลาและรูเพลา

4.1.2 ขนาดต่างๆของเพลา และรูเพลา

รูปที่ 4.1 แสดงคำศัพท์ต่างๆสำหรับใช้ในการกำหนดขนาดเพลาและรูเพลา สำหรับเพลา ค่าพื้นฐาน (basic size) ของขนาดเพลาคือขนาดเพลาที่ใช้ในการอ้างอิงและการคำนวณค่าต่างๆ ขนาดใหญ่ที่สุดสำหรับเพลา (maximum limit) หรือขนาดที่มีเนื้องานมากที่สุด (maximum material limit, MML) คือขนาดใหญ่ที่สุดของเพลาที่ยอมรับได้ ขนาดเล็กที่สุดสำหรับเพลา (minimum limit) หรือขนานเนื้องานน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ (minimum material limit, LML) ในทางกลับกันขนาดที่มีเนื้องานมากที่สุด (MML) ของรูเพลาคือขนาดเล็กที่สุด และขนาดที่มีเนื้องานที่น้อยที่สุดของรูเพลา (LML) คือเมื่อรูเพลามีขนาดใหญ่ที่สุด

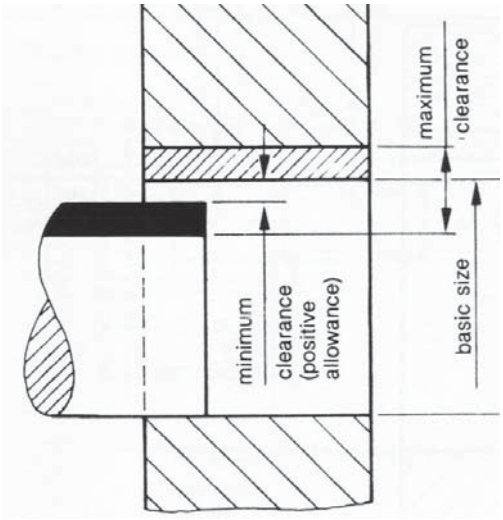
ค่าความเบี่ยงเบน(deviation) คือค่าความแตกต่างระหว่างขนาดเพลาจริง (actual size) กับค่าพื้นฐาน (basic size) (ค่าบวกเมื่อขนาดจริงใหญ่กว่าขนาดพื้นฐาน) ค่าความเบี่ยงเบนที่ยอมรับได้สำหรับงานต่างๆนั้นจะต่างกันไป โดยเราจะเลือกใช้ตามขอแนะนำและค่ามาตรฐานที่จะกล่าวถึงต่อๆไป สำหรับค่าความแตกต่างของขนาดจริงที่ใหญ่ที่สุดกับค่าพื้นฐานจะเรียกว่าค่า ขอบบนของค่าความเบี่ยงเบน (upper deviation) และ ค่าความแตกต่างระหว่างขนาดที่เล็กที่สุดเรียกว่าค่า ขอบล่างของค่าความเบี่ยงเบน (lower deviation) ค่าขอบบนของค่าความเบี่ยงเบนของเพลา และค่าขอบล่างของค่าความเบี่ยงเบนของรูเพลา เราจะเรียกว่าค่าพื้นฐานของค่าความเบี่ยงเบน (fundamental deviation) หรือค่าเบี่ยงเบนพื้นฐาน

4.1.3 ค่าพิกัดความเผื่อ (tolerance)

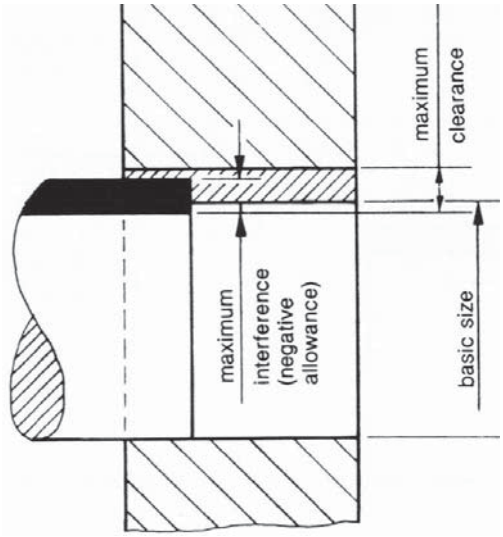
ค่าพิกัดความเผื่อคือค่าความแตกต่างระหว่างขนาดใหญ่ที่สุดและเล็กที่สุดที่ยอมรับได้ (มีค่าบวกเสมอ) ค่านี้เท่ากับค่าความแตกต่างระหว่าง ค่าขอบบนของค่าความเบี่ยงเบนและค่าขอบล่างของค่าความเบี่ยงเบน

4.2 ความพอดีในการสวม (fit)

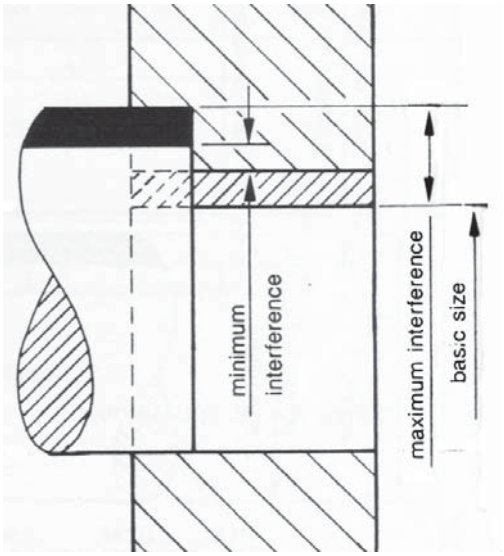
ความพอดีหมายถึงความสามารถในการเคลื่อนที่สัมพัธกันระหว่างเพลาและรูเพลา เราแบ่งความพอดีออกได้เป็นสามแบบคือ สวมเผื่อ (clearance fit), สวมพอดี (transition fit), สวมอัด (interference fit)



รูปที่ 4.2: clearance fit



รูปที่ 4.3: transition fit



รูปที่ 4.4: interference fit

4.2.1 clearance fit

รูปที่ 4.2 แสดงการสวมเผื่อ จากรูปจะเห็นว่าการสวมแบบนี้จะทำให้เพลามีขนาดเล็กกว่ารูเพลาเสมอ การเคลื่อนที่สัมพัธกันสามารถทำได้สำหรับขนาดของเพลาและรูเพลาใดๆที่อยู่ในช่วงค่าพิกัดความเผื่อของทั้งสองชิ้นงาน ค่าขนาดเผื่อต่ำสุด (minimum clearance) จะเกิดขึ้นเมื่อเพลามีขนาดมากที่สุดและรูเพลามีขนาดน้อยที่สุด ค่าขนาดเผื่อมากที่สุด (maximum clearance) จะเกิดขึ้นเมื่อเพลามีขนาดน้อยที่สุดและรูเพลามีขนาดมากที่สุด

การสวมเผื่อสามารถเลือกใช้ได้ตั้งแต่ ค่าหยาบ, หลวมมาก ถึง หลวมน้อย ตามต้องการดังแสดงในตารางที่ 4.1 ถึง 4.4

4.2.2 transition fit

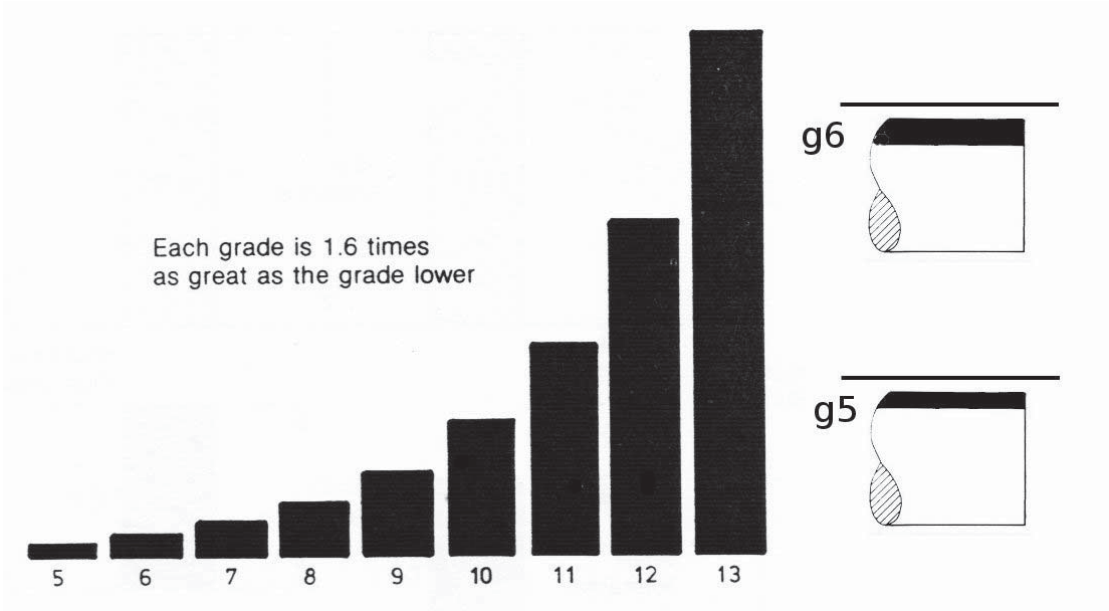
รูปที่ 4.3 แสดงการสวมพอดี จากรูปจะเห็นว่าการสวมแบบนี้เพลาอาจมีขนาดเล็กหรือใหญ่กว่ารูเพลาก็ได้ ทำให้เราสามารถสวมชิ้นงานทั้งสองเข้าด้วยกันได้โดยการกดด้วยมือ หรือตอกเบาๆด้วยค้อนยาง ค่าขนาดเผื่อมากที่สุด (maximum clearance) จะเกิดขึ้นเมื่อเพลามีขนาดเล็กที่สุด และรูเพลามีขนาดใหญ่ที่สุด ค่า maximum interferance จะเกิดขึ้นเมื่อเพลามีขนาดมากที่สุด และรูเพลามีขนาดเล็กที่สุด

4.2.3 interferance fit

จากรูปที่ 4.4 แสดงการสวมอัด ในกรณีนี้ขนาดเพลาจะใหญ่กว่ารูเพลาแน่นอน และจะอาจจะต้องใช้เครื่องกด (press) 10-20 ตันจึงจะประกอบได้ minimum interferance จะเกิดขึ้นเมื่อเพลามีขนาดเล็กที่สุด และรูเพลามีขนาดมากที่สุด maximum interferance จะเกิดขึ้นเมื่อเพลามีขนาดมากที่สุด และรูเพลามีขนาดเล็กที่สุด การสวมอัดใช้สำหรับการประกอบที่ไม่ต้องการถอดหรือถอดออกน้อยครั้ง

4.2.4 Allowance

หลายๆครั้งเราจะสนใจว่าเมื่อชิ้นส่วนสองชิ้นประกอบเขาด้วยกันแล้ว ประกอบเข้าด้วยกันได้ยากง่ายเพียงไร จำเป็นจะต้องใช้กรรมวิธีในการประกอบอย่างไร ในกรณีของ clearance fit เราจะสนใจจะมีช่องว่างเหลืออย่างน้อยเท่าใด (minimum clearance) เราค่าระยะของช่องว่างนี้ว่า allowance หรือ positive allowance และสำหรับ



รูปที่ 4.5: ตัวอย่าง Grade of Tolerance [?]

transition หรือ interferance fit แล้ว เมื่อเพลานั้นใหญ่มากกว่ารูเพลาแล้ว เพลาจะใหญ่มากกว่ามากที่สุดเท่าใด เราเรียกกรณีนี้ว่า negative allowance สังเกตว่าไม่ว่ากรณีใด allowance คือค่าความแตกต่างของรูเพลากับเพลาเมื่อทั้งสองชิ้นมีเนื้อชิ้นงานมากที่สุด (maximum material limits, MML)

4.2.5 Grade of Tolerance

มาตรฐาน ISO มีค่ากำหนดของพิกัดความเผื่อ (grade of tolerance) อยู่ 18 ค่า ตั้งแต่ค่า tolerance น้อยๆสำหรับงานละเอียด ถึงค่ามากๆสำหรับงานหยาบ รูปที่ 4.5 แสดงค่าตัวอย่างของค่าพิกัดความเผื่อ แต่ละค่าจะมีความกว้างของช่วงต่างกันประมาณ 1.6 เท่า ค่าเหล่านี้เขียนอ้างอิงเป็น ITO1, ITO, IT1, IT2, up to IT16 แต่ในการใช้งานเราจะใช้แค่ตัวเลขเป็นหลัก

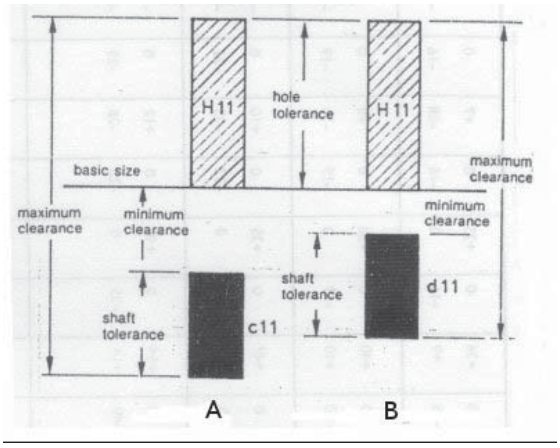
grade of tolerance มีผลมากต่อการเลือกกรรมวิธีการผลิต ที่ค่าต่ำๆเราต้องใช้การผลิตที่มีความแม่นยำสูง และที่ค่ามากเราสามารถใช้การผลิตทั่วๆไปได้

4.2.6 Bilateral and Unilateral limits

ค่าขอบเขตที่ยอมรับได้แบ่งออกได้เป็นสองประเภทคือแบบสองทาง (bilateral) และแบบทางเดียว (unilateral) แบบสองทางเกิดขึ้นเมื่อขอบเขตล่าง และขอบเขตบนที่ยอมรับได้ (maximum and minimum limits) นั้นมีค่าหนึ่งมากกว่า และอีกค่าน้อยกว่าค่าขนาดพื้นฐาน (basic size) ส่วนค่าขอบเขตแบบทางเดียวเกิดขึ้นเมื่อเขตล่างและขอบเขตบนที่ยอมรับได้ (maximum and minimum limits) นั้นมากกว่า หรือ น้อยกว่าค่าขนาดพื้นฐาน (basic size) ทั้งสองค่า

4.2.7 ค่าความเบี่ยงเบนพื้นฐานของพิกัดความเผื่อ (Fundamental Deviation of Tolerance)

ค่าความเบี่ยงเบนพื้นฐาน (fundamental deviation) เป็นค่าขนาดของเพลาหรือรูเพลาที่ใกล้ขนาดพื้นฐานมากที่สุดที่ยอมรับได้ เราใช้ค่านี้ในการกำหนดจุดเริ่มต้นของช่วงพิกัดความเผื่อที่ยอมรับได้ (tolerance zone) เมื่อ



รูปที่ 4.6: Usage of fundamental deviation [Boundy]

เทียบกับขนาดพื้นฐาน การกำหนดค่านี้ ตามมาตรฐาน ISO จะกำหนดเป็นตัวหนังสือโดยใช้ตัวพิมพ์ใหญ่สำหรับรูเพลา และตัวพิมพ์เล็กสำหรับเพลา ดังต่อไปนี้ (จากมากไปน้อย)

- Holes: A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, JS, J, K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC
- Shafts: a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, js, j, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc

ในการใช้งานเราจะใช้ขนาดพื้นฐาน (basic size), ค่าความเบี่ยงเบนพื้นฐาน (fundamental deviation) และค่าพิกัดความเผื่อ (tolerance) ในการกำหนดขนาดของเพลาหรือรูเพลาที่ยอมรับได้ ค่าความเบี่ยงเบนพื้นฐานรวมกับค่าพิกัดความเผื่อเรียกว่า designation

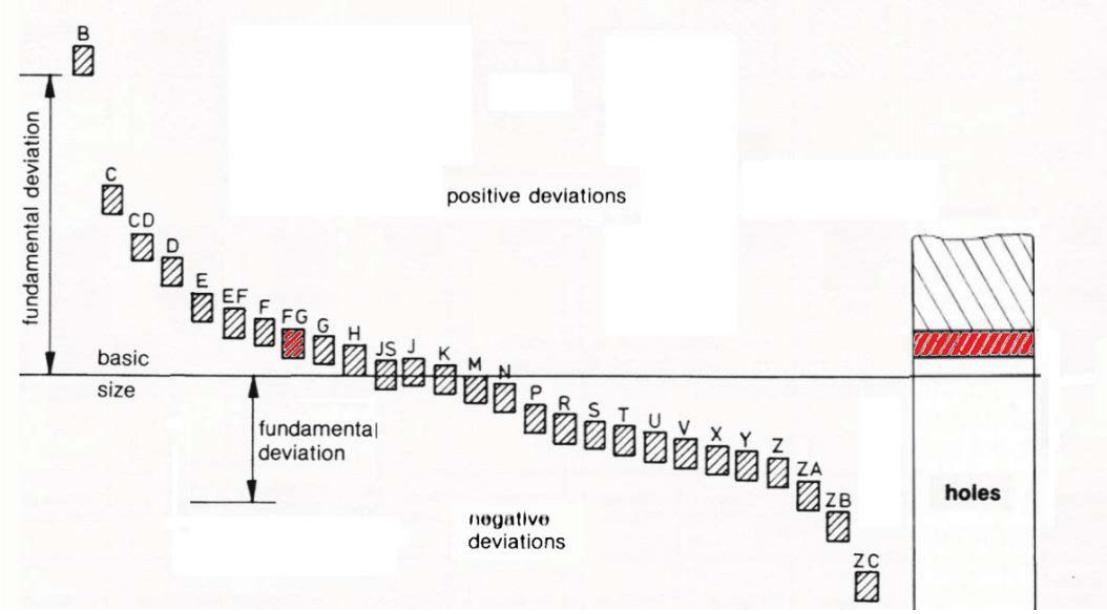
ตัวอย่างการใช้งาน แสดงดังในรูปที่ 4.6 สำหรับการสวมเผื่อ (clearance fit) ค่าเบี่ยงเบนพื้นฐานจะช่วยกำหนด ขนาดช่องว่างระหว่างเพลาและรูเพลาน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ (minimum clearance) จากในรูปจะเห็นว่าค่าความเบี่ยงเบนพื้นฐาน ค่า c นั้น จะมากกว่าค่า d ซึ่งจะมีผลให้การสวมของเพลาที่มีความเผื่อแบบ c11 และ รูเพลาที่มีความเผื่อแบบ H11 หรือ ที่เรียกย่อๆว่า H11-c11 นั้นจะหลวมกว่าแบบ H11-d11 ทั้งสองแบบสามารถผลิตได้ยากง่ายเท่ากันเพราะมีขนาดพิกัดความเผื่อ 11 เท่ากัน

ค่าความเบี่ยงแบบพื้นฐานขนาดต่างๆนั้นเปรียบเทียบกันให้เห็นในรูปที่ 4.7 และ 4.8

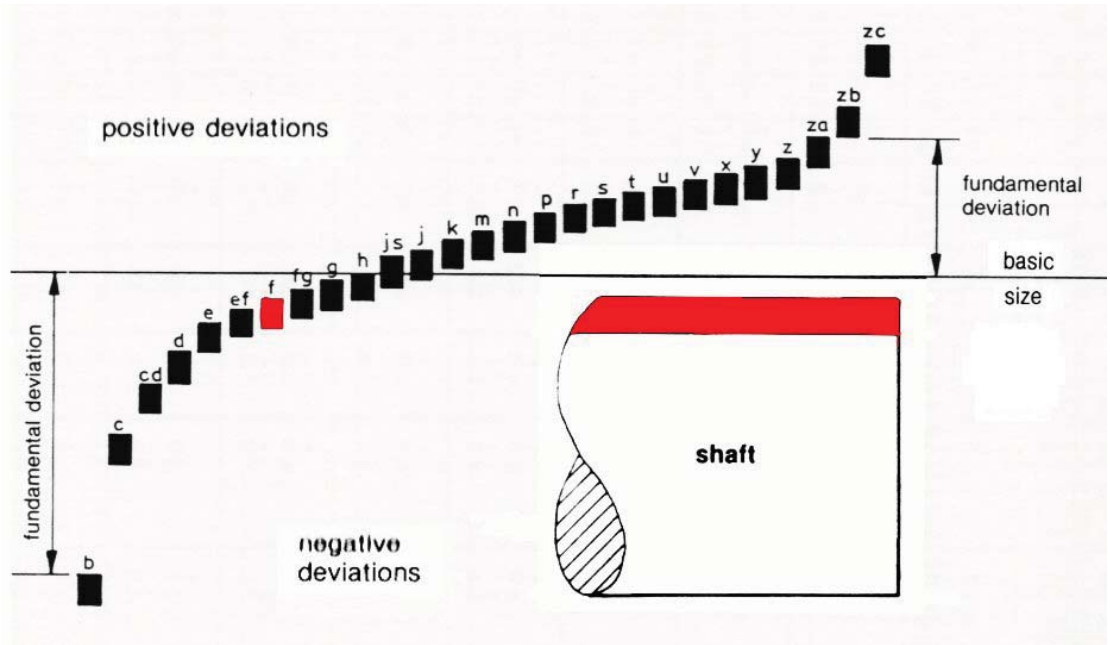
4.3 การใช้งาน

ในการใช้เราเราจะกำหนดขนาด พื้นฐาน (basic size), ค่าความเบี่ยงเบนพื้นฐาน (fundamental deviation) และค่าพิกัดความเผื่อ (tolerance) เราจะเริ่มที่ขนาดเพลาและรูเพลาก่อน ∅10mm ค่านี้อาจจะมาจากการออกแบบหรือข้อจำกัดอื่นๆ จากนั้นเราจะเลือกค่าเผื่อเช่น H11-h11 ซึ่งค่านี้มักจะมาจากค่าที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วว่าเหมาะกับงานประเภทใดบ้างซึ่งเราจะกล่าวถึงต่อๆไป

ในการใช้งานเราจะเห็นว่าการกำหนดค่าความเบี่ยงเบนพื้นฐาน (fundamental deviation) นั้นไม่มีความจำเป็นที่จะต้องให้ค่าสำหรับเพลาและรูเพลาพร้อมๆกัน เราสามารถให้ค่าใดค่าหนึ่งเป็นศูนย์ได้โดยไม่มีผลต่อการใช้งานเลย หรือบางทีเราอาจจะมีตลับลูกปืนอยู่ ถ้าเราวัดขนาดรูของแหวนในเพื่อทำเพลาในการสวมใส่ ในกรณีนี้เราไม่จำเป็นจะต้องใช้ค่าพิกัดความเผื่อของรูเพลา เพราะเราทราบขนาดที่แน่นอนของรูเพลาอยู่แล้วจากการวัด และเมื่อเปิดตารางเพื่อเลือกค่าความเผื่อสำหรับเพลา เราก็สามารถกำหนดใช้ค่าเบี่ยงเบนพื้นฐาน (fundamental deviation) ของรูเพลาเป็นศูนย์ได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติแล้วเราจะกำหนดให้ค่าความเบี่ยงเบนพื้นฐานของเพลาหรือ รูเพลาเป็นศูนย์ ค่าต่างๆที่แนะนำให้เลือกใช้ก็จะ มีให้สองแบบคือแบบที่ให้ค่าความเบี่ยงเบนพื้นฐานของ



รูปที่ 4.7: Fundamental deviation for holes [?]



รูปที่ 4.8: Fundamental deviation for shafts [?]

รูเพลาเป็นศูนย์ (hole-basis system) และแบบที่ให้ค่าความเบี่ยงเบนพื้นฐานของเพลาเป็นศูนย์ (shaft-basis system)

ในระบบ hole-basis เราให้ค่าความเบี่ยงเบนพื้นฐานของรูเพลาเป็นศูนย์ ตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงค่าพิกัดความเผื่อสำหรับเพลาและรูเพลาขนาดต่างๆ และที่ความพอดีแบบต่างๆ และในตารางที่ 4.3 และ 4.4 แสดงค่าต่างๆในระบบ shaft-basis

ปกกติแล้วเรามักจะใช้ hole-basis system เพราะการผลิตจะทำได้ง่ายกว่า เนื่องจากการเจาะรูนั้นมักจำเป็นจะต้องมีดอกสว่าน เราจำเป็นต้องเลือกซื้อดอกสว่านมาตรฐานมาใช้ ส่วนเพลาสามารถกลึงเอาให้ได้ขนาดที่ต้องการ

สำหรับการใช้งานทั้วๆไป เราสามารถใช้ค่าพิกัดความเผื่อที่มีผู้แนะนำไว้ได้ ในที่นี้เราจะแสดงค่าที่นิยมใช้และงานที่เหมาะสม

4.3.1 Coarse Tolerance (H11/c11 or C11/h11)

ค่าความเผื่อชุดนี้เป็นแบบ clearnace fit ที่ค่อนข้างหลวม คือมีช่องว่างเหลือระหว่างเพลาและรูเพลาค่อนข้างมาก ในกรณีนี้เราอาจใช้สาหรับตำแหน่งที่มีความสกปรกจากการใช้งาน เราอาจต้องการให้สามารถถอดออกเพื่อทำความสะอาดได้สะดวก เช่น งานเครื่องจักรกลการเกษตร หรืองานเพลาที่มีตลับลูกปืนขนาดใหญ่

4.3.2 Loose Running (H9/d10 or D10/h9)

ค่าชุดนี้เป็นค่าเผื่อสำหรับงานที่ต้องการให้เพลาหมุนอยู่ในรูเพลาได้ (loose running fit) ใช้สำหรับเกียร์ว่างเพราะรับแรงน้อย (idler gears and pulleys) หรือใช้สำหรับงานสวมใส่ตลับลูกปืนขนาดใหญ่ในงานเช่น โรงเหล็ก, turbine ขนาดใหญ่ หรือ โรงขึ้นรูปโลหะต่างๆ ค่าความเผื่อชุดนี้ก็เหมาะสมกับงานที่มีความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูง ซึ่งจะป้องกันการติดเมื่อเพลาเกิดการขยายตัว

4.3.3 Easy Running (H9/e9 or E9/h9)

ค่าชุดนี้ เหมาะสำหรับงานที่ต้องการให้เพลาหมุนอยู่ในรูเพลาได้โดยละดวก (easy running fit) แต่จะพอดีมากกว่าแบบ loose running fit ค่านี้เหมาะสำหรับงานที่ไม่ละเอียดมาก หรือต้องการให้มีช่องว่างเล็กน้อย เช่น main bearings, camshaft bearings, valve rocker shaft ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

4.3.4 Normal Running (H8/f7 or F8/h7)

ค่านี้ใช้ในตำแหน่งทั่วๆไปที่ต้องการให้เพลาหมุนหรือเลื่อนไปมาได้ ตำแหน่งที่มีความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อย ค่าชุดนี้เป็นค่าที่มีความละเอียดสูงแต่สามารถผลิตได้โดยไม่ยากเย็นและราคาไม่แพง เหมาะสำหรับ ความพอดีระหว่างตลับลูกปืนและเพลา, เกียร์ที่ต้องหมุนหรือเลื่อนได้บนเพลา และงานที่รับแรงน้อยถึงปานกลาง

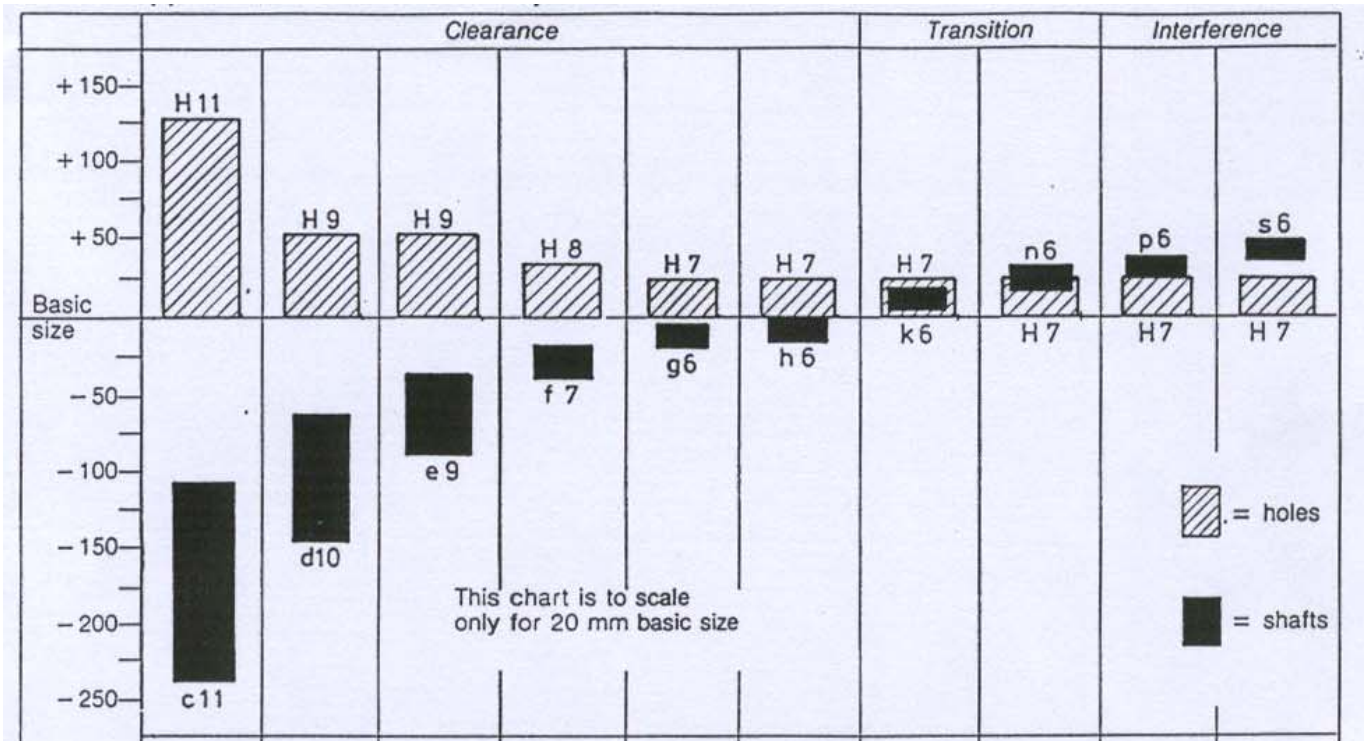
4.3.5 Precision Running and Sliding (H7/g6 or G7/h6)

ค่านี้ใช้เมื่อต้องการให้เพลาหมุนหรือเลื่อนไปมาได้ แต่ต้องการความแม่นยำ คือต้องการค่าเผื่อน้อยๆ ใช้เมื่อจำเป็นต้องการความแม่นยำ เมื่อชิ้นงานรับน้ำหนักน้อย และมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำ

4.3.6 Average Location (H7/h6)

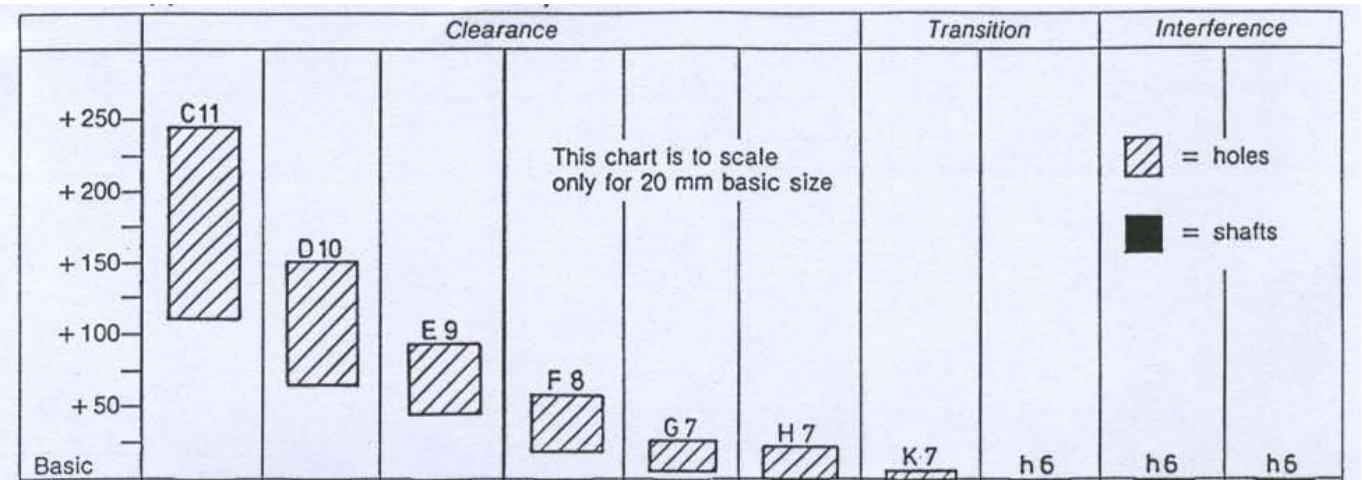
ค่านี้ใช้สำหรับการประกอบทั่วไปที่เพลาไม่หมุนหรือเลื่อนไปมาในรูเพลา

ตารางที่ 4.1-4.2: ค่าพิกัดความเผื่อที่นิยมใช้ในระบบ Hole-basis [Boundy]



Tolerance unit = 0.001mm		Coarse tolerance		Loose running fit	Easy running fit	Normal running	Precision running, location	Average location	Light push fit	Heavy push fit	Press fit (ferrous)	Heavy press fit (non-ferrous)	
Basic sizes (mm) over	to	H11–c11		H9–d10	H9–e9	H8–f7	H7–g6	H7–h6	H7–k6	H7–n6	H7–p6	H7–s6	
0	3	+60	−60	+25 −20	+25 −14	+14 −6	+10 −2	+10 0	+10 +6	+10 +10	+10 +12	+10 +20	
		0	−120	0 −60	0 −39	0 −16	0 −8	0 −6	0 0	0 +4	0 +6	0 +14	
3	6	+75	−70	+30 −30	+30 −20	+18 −10	+12 −4	+12 0	+12 +9	+12 +16	+12 +20	+12 +27	
		0	−145	0 −78	0 −50	0 −28	0 −12	0 −8	0 +1	0 +8	0 +12	0 +19	
6	10	+90	−80	+36 −40	+36 −25	+22 −13	+15 −5	+15 0	+15 +10	+15 +19	+15 +24	+15 +32	
		0	−170	0 −98	0 −61	0 −28	0 −14	0 −9	0 +1	0 +10	0 +15	0 +23	
10	18	+110	−95	+43 −50	+43 −32	+27 −16	+18 −6	+18 0	+18 +12	+18 +23	+18 +29	+18 +39	
		0	−205	0 −120	0 −75	0 −34	0 −17	0 −11	0 +1	0 +12	0 +18	0 +28	
18	30	+130	−110	+52 −65	+52 −40	+33 −20	+21 −7	+21 0	+21 +15	+21 +28	+21 +35	+21 +48	
		0	−240	0 −149	0 −92	0 −41	0 −20	0 −13	0 +2	0 +15	0 +22	0 +35	
30	40	+160	−120 −280	+62 −80	+62 −50	+39 −25	+25 −9	+25 0	+25 +18	+25 +33	+25 +42	+25 +59	
		0	−130 −290	0 −180	0 −112	0 −50	0 −25	0 −16	0 +2	0 +17	0 +26	0 +43	
40	50												
50	65	+190	−140 −330	+74 −100	+74 −60	+46 −30	+30 −10	+30 0	+30 +21	+30 +39	+30 +51	+30	+72 +53
		0	−150 −340	0 −220	0 −134	0 −60	0 −29	0 −19	0 +2	0 +20	0 +32	0	+78 +59
65	80												
80	100	+220	−170 −390	+87 −120	+87 −72	+54 −36	+35 −12	+35 0	+35 +25	+35 +45	+35 +59	+35	+93 +71
		0	−180 −400	0 −260	0 −159	0 −71	0 −34	0 −22	0 +3	0 +23	0 +37	0	+101 +79
100	120												
120	140	+250	−200 −450	+100 −145	+100 −84	+63 −43	+40 −14	+40 0	+40 +28	+40 +52	+40 +68	+40	+117 +92
		0	−210 −460	0 −305	0 −185	0 −83	0 −39	0 −25	0 +3	0 +27	0 +43	0	+125 +100
140	160												
160	180		−230 −480										+133 +108
180	200	+290	−240 −530	+115 −170	+115 −100	+72 −50	+46 −15	+46 0	+46 +33	+46 +60	+46 +79	+46	+151 +122
		0	−260 −550	0 −355	0 −215	0 −96	0 −44	0 −29	0 +4	0 +31	0 +50	0	+159 +130
200	225												
225	250		−280 −570										+169 +140
250	280	+320	−300 −620	+130 −190	+130 −110	+81 −56	+52 −17	+52 0	+52 +36	+52 +66	+52 +88	+52	+190 +158
		0	−330 −650	0 −400	0 −240	0 −108	0 −49	0 −32	0 +4	0 +34	0 +56	0	+202 +170
280	315												
315	355	+360	−360 −720	+140 −210	+140 −125	+89 −62	+57 −18	+57 0	+57 +40	+57 +73	+57 +98	+57	+226 +190
		0	−400 −760	0 −440	0 −265	0 −119	0 −54	0 −36	0 +4	0 +37	0 +62	0	+244 +208
355	400												
400	450	+400	−440 −840	+155 −230	+155 −135	+97 −68	+63 −20	+63 0	+63 +45	+63 +80	+63 +108	+63	+272 +232
		0	−480 −880	0 −480	0 −290	0 −131	0 −60	0 −40	0 +5	0 +40	0 +68	0	+292 +252
450	500												

ตารางที่ 4.3-4.4: ค่าพิกัดความเผื่อที่นิยมใช้ในระบบ Shaft-basis [Boundy]



Tolerance unit = 0.001mm		Coarse tolerance	Loose running fit	Easy running fit	Normal running	Precision running, location	Average location	Light push fit	Heavy push fit	Press fit (ferrous)	Heavy press fit (non-ferrous)
Basic sizes (mm)		C11–h11	D10–h9	E9–h9	F8–h7	G7–h6	H7–h6	K7–h6	N7–h6	P7–h6	S7–h6
over	to										
0	3	+120 0 / +60 −60	+60 0 / +20 −25	+39 0 / +14 −25	+20 0 / +6 −10	+12 0 / +2 −6	+10 0 / 0 −6	0 0 / −10 −6	−4 0 / −14 −6	−6 0 / −16 −6	−14 0 / −24 −6
3	6	+145 0 / +70 −75	+78 0 / +30 −30	+50 0 / +20 −30	+28 0 / +10 −12	+16 0 / +4 −8	+12 0 / 0 −8	+3 0 / −9 −8	−4 0 / −16 −8	−8 0 / −20 −8	−15 0 / −27 −8
6	10	+170 0 / +80 −90	+98 0 / +40 −36	+61 0 / +25 −36	+35 0 / +13 −15	+20 0 / +5 −9	+15 0 / 0 −9	+5 0 / −10 −9	−4 0 / −19 −9	−9 0 / −24 −9	−17 0 / −32 −9
10	18	+205 0 / +95 −110	+120 0 / +50 −43	+75 0 / +32 −43	+43 0 / +16 −18	+24 0 / +6 −11	+18 0 / 0 −11	+6 0 / −12 −11	−5 0 / −23 −11	−11 0 / −29 −11	−21 0 / −39 −11
18	30	+240 0 / +110 −130	+149 0 / +65 −52	+92 0 / +40 −52	+53 0 / +20 −21	+28 0 / +7 −13	+21 0 / 0 −13	+6 0 / −15 −13	−7 0 / −28 −13	−14 0 / −35 −13	−27 0 / −48 −13
30	40	+280 0 / +120 −160	+180 0 / +80 −62	+112 0 / +50 −62	+64 0 / +25 −25	+34 0 / +9 −16	+25 0 / 0 −16	+7 0 / −18 −16	−8 0 / −33 −16	−17 0 / −42 −16	−34 0 / −59 −16
40	50	+290 0 / +130 −160									
50	65	+330 0 / +140 −190	+220 0 / +100 −74	+134 0 / +60 −74	+76 0 / +30 −30	+40 0 / +10 −19	+30 0 / 0 −19	+9 0 / −21 −19	−9 0 / −39 −19	−21 0 / −51 −19	−42 0 / −72 −19
65	80	+340 0 / +150 −190									−48 0 / −78 −19
80	100	+390 0 / +170 −220	+260 0 / +120 −87	+159 0 / +72 −87	+90 0 / +36 −35	+47 0 / +12 −22	+35 0 / 0 −22	+10 0 / −25 −22	−10 0 / −45 −22	−24 0 / −59 −22	−58 0 / −93 −22
100	120	+400 0 / +180 −220									−66 0 / −101 −22
120	140	+450 0 / +200 −250	+305 0 / +145 −100	+185 0 / +85 −100	+106 0 / +43 −40	+54 0 / +14 −25	+40 0 / 0 −25	+12 0 / −28 −25	−12 0 / −52 −25	−28 0 / −68 −25	−77 0 / −117 −25
140	160	+460 0 / +210 −250									−85 0 / −125 −25
160	180	+480 0 / +230 −250									−93 0 / −133 −25
180	200	+530 0 / +240 −290	+355 0 / +170 −115	+215 0 / +100 −115	+122 0 / +50 −46	+61 0 / +15 −29	+46 0 / 0 −29	+13 0 / −33 −29	−14 0 / −60 −29	−33 0 / −79 −29	−105 0 / −151 −29
200	225	+550 0 / +260 −290									−113 0 / −159 −29
225	250	+570 0 / +280 −290									−123 0 / −169 −29
250	280	+620 0 / +300 −320	+400 0 / +190 −130	+240 0 / +110 −130	+137 0 / +56 −52	+62 0 / +17 −32	+52 0 / 0 −32	+16 0 / −36 −32	−14 0 / −66 −32	−36 0 / −88 −32	−138 0 / −190 −32
280	315	+650 0 / +330 −320									−150 0 / −202 −32
315	355	+720 0 / +360 −360	+440 0 / +210 −140	+265 0 / +125 −140	+151 0 / +62 −57	+75 0 / +18 −36	+57 0 / 0 −36	+17 0 / −40 −36	−16 0 / −73 −36	−41 0 / −98 −36	−169 0 / −226 −36
355	400	+760 0 / +400 −360									−187 0 / −244 −36
400	450	+840 0 / +440 −400	+480 0 / +230 −155	+290 0 / +135 −155	+165 0 / +68 −63	+83 0 / +20 −40	+63 0 / 0 −40	+18 0 / −45 −40	−17 0 / −80 −40	−48 0 / −108 −40	−209 0 / −272 −40
450	500	+880 0 / +480 −400									−229 0 / −292 −40

4.3.7 Light Push Fit (H7/k6 or K7/h6)

ค่านี้เป็นค่าความเผื่อของ transition fit โดยเฉลี่ยแล้วเมื่อประกอบจะไม่เกิดช่องว่างระหว่างชิ้นงาน เหมาะสำหรับงานที่ต้องให้ถอดประกอบได้ แต่ต้องการช่องว่างระหว่างชิ้นงานให้น้อยที่สุด เช่น เมื่อชิ้นงานมีการสั่นสะเทือนมาก เราจะไม่ต้องการให้ชิ้นส่วนต่างๆมีช่องว่างระหว่างกันทำให้เกิดการกระแทกระหว่างชิ้นงาน

4.3.8 Heavy Push Fit (H7/n6 or N7/h6)

ค่านี้เป็น transition fit แต่โดยเฉลี่ยแล้วเพลาจะใหญ่กว่ารูเพลาจนต้องใช้เครื่องมือช่วยในการประกอบ เราใช้สำหรับงานประกอบทั่วๆไปที่ต้องการความแน่น แต่ถ้ามีช่องว่าง (clearance) ระหว่างชิ้นงานนิดหน่อยก็ยอมรับได้

4.3.9 Press Fit (H7/p6 or P7/h6)

ค่าชุดนี้เป็น interfererence fit สำหรับชิ้นงานเหล็ก (ferrous) การถอด และการประกอบใหม่สามารถทำได้ แต่จะเกิดความเสียหายเล็กน้อย

4.3.10 Heavy Press Fit (H7/s6 or S7/h6)

ค่าชุดนี้เป็นแบบ interference fit ต้องใช้เครื่องมือขนาดใหญ่ในการประกอบ เช่นเครื่องกด 10 ตัน หรือใช้การให้ความร้อนกับรูเพลาเพื่อให้ขยายตัว ค่านี้ใช้เมื่อไม่ต้องการถอดประกอบ ใช้กับชิ้นงานที่ไม่ใช่เหล็ก สำหรับชิ้นส่วนเช่น bushes, sleeves, liners, seats.

4.3.11 การคำนวณขนาดจากตาราง

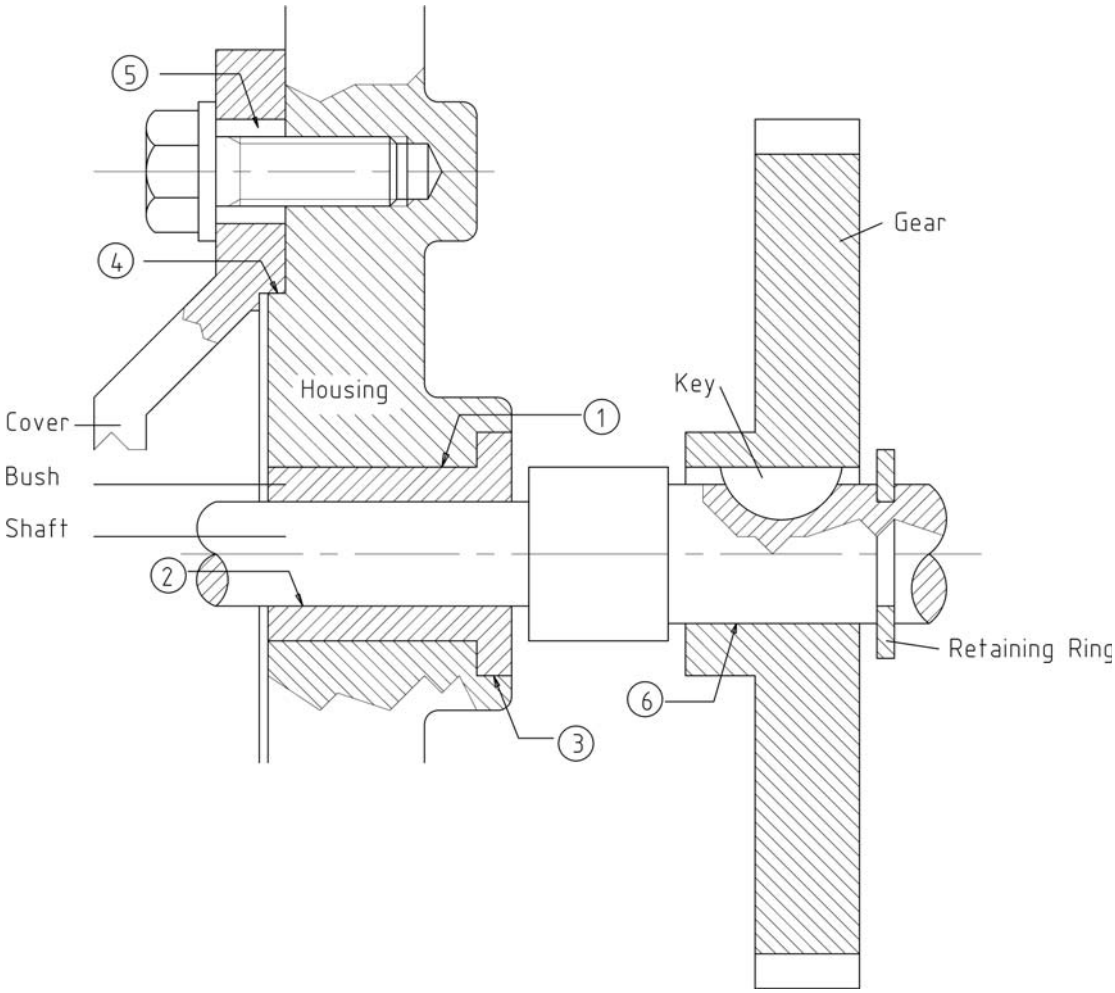
เมื่อเขียนแบบชิ้นงานสำหรับการผลิต เรานิยมเขียนขนาดโดยการเขียนค่าตัวเลขแทนการเขียนสัญลักษณ์ความพอดี เราสามารถจะแปลงค่าความพอดีให้เป็นตัวเลขได้ โดยสำหรับค่าทั่วๆไปจะใช้รูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.4 ได้ สำหรับตัวเลขที่ได้เรามักเขียนให้อยู่ในรสองรูปแบบคือ ค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุด หรือ ให้เป็นค่าพื้นฐานประกอบกับค่าบวกลบที่ยอมรับได้

ขั้นตอนการคำนวณขนาดต่างๆจากต่างมีดังนี้ สมมุติว่าเราต้องการ เพลาและรูเพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm designation เป็น H7-g6 จากตารางที่ 4.1 เราจะได้ว่า สำหรับรูเพลาค่าเผื่อคือ 0 ถึง +0.015 และค่าเผื่อของเพลาคือ -0.014 ถึง -0.005 จากค่านี้เราสามารถเขียนในแบบชิ้นงานได้คือ $8^{+0.015}_{0}$ สำหรับรูเพลา และ $8^{-0.005}_{-0.014}$ สำหรับเพลา หรือ 8.015 สำหรับรูเพลา และ 7.995 สำหรับเพลา

4.3.12 ตัวอย่างการใช้งาน

ในรูปที่ 4.9 เป็นส่วนของเครื่องจักรอันหนึ่ง เพลาในรูปนั้นสวมเกียร์อยู่ เมื่อเกียร์หมุนก็จะพาเอาเพลาหมุนไปด้วยกัน เพลานี้จะหมุนอยู่บนปลอก ปลอกนี้จะถูกกำหนดตำแหน่งด้วยตัวเรือน (housing) อีกทีหนึ่ง ทางด้านซ้ายมีฝาครอบ ฝาครอบนี้ถูกกำหนดตำแหน่งด้วยวงขอบ (4) และยึดไว้ด้วยสกรู (capscrew) ในกรณีนี้มีการสวมประกอบกันอยู่อย่างน้อย 6 ตำแหน่งที่แสดงด้วยลูกศรในรูป และแต่ละคู่มีขนาดดังตารางที่ 4.5 โดยขนาดในตารางเป็นมิลลิเมตร

สำหรับคู่ประกอบที่ (1) ตัวเรือน และ ปลอก ปลอกนี้ทำหน้าที่ป้องกันการสึกหรอของตัวเพลา ปลอกมักจะทำขึ้นจากวัสดุที่มีความแข็งของผิวต่ำกว่าของเพลา และอาจมีคุณสมบัติในการหล่อลื่น เช่น พวกเหล็กหล่อ เมื่อมีการใช้งานตัวปลอกจะเกิดการสึกหรอเป็นหลัก แต่ตัวเพลาที่มีราคาสูงกว่าจะเกิดการสึกหรอน้อยมาก เมื่อมีการใช้งานไปนานๆก็เพียงเปลี่ยนตัวปลอกนี้ถ้าจำเป็น ทำให้การซ่อมบำรุงมีราคาต่ำ ในกรณีนี้เราไม่ต้องการให้ปลอกมีการหมุนเทียบกับตัวเรือน นั้นคือเราจะไม่ใช้ค่าพิกัดความเผื่อแบบ running หรือ sliding แต่การส่วมนี้ก็จะไม่ค่อยมีการถอดประกอบบ่อยๆด้วย ดังนั้นเราก็จะไม่ใช้ แบบ average location (H7/h6) หรือ light push



รูปที่ 4.9: ตัวอย่างการใช้งาน

fit ที่เหมาะสมในกรณีนี้คือ heavy push fit, press fit, หรือ heavy press fit สำหรับ heavy push fit นั้นจะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการให้สวมง่าย เช่นเวลาเราไม่มีเครื่องกดอัด หรืองานเครื่องจักรราคาถูก แต่ต้องระวังว่าบางกรณีตัวปลอกอาจเลื่อนถอยออกมาจากตำแหน่งที่ต้องการได้ ถ้าเราไม่ต้องการใช้ push fit เราอาจใช้ press fit ในกรณีที่ตัวเรือนเป็นเหล็ก หรือเหล็กหล่อ หรือถ้ายังต้องการให้ถอดปลอกออกไปได้ แต่ถ้าคาดว่าจะไม่มีการเปลี่ยนเลย, หรือในกรณีที่มีการใช้วัสดุที่นิ่ม, (หรือในกรณีอื่นที่อาจต้องการใช้แรงเสียดทานระหว่างปลอกกับตัวเรือนในการส่งแรง คือให้ส่งแรงผ่านได้โดยไม่มีการเลื่อน แต่ในกรณีนี้ต้องมีการคำนวณแรงสูงสุดที่ส่งได้) ก็ให้เลือกใช้ heavy push fit สมมุติว่าเราเลือก press fit คือ H7/p6 จะได้ค่าเผื่อดังในตาราง

สำหรับคู่ประกอบที่ (2) ปลอก และ เพลา ในกรณีนี้เราต้องการ running fit เพราะเราต้องการให้เพลาหมุนได้ ในกรณีทั่วๆไปเราจะเลือก normal running เป็นหลัก แต่เราอาจจะเลือกค่าพิกัดเผื่ออื่นๆได้ดังอธิบายไว้ในตาราง โดยพิจารณาตามเหตุผลต่างๆ เช่น ราคาในการผลิต, การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ, การสั่นสะเทือน และอื่นๆ

สำหรับคู่ประกอบที่ (3) ปลอกและตัวเรือน ในกรณีนี้เราไม่ต้องการให้เกิดการสัมผัสกันเลยระหว่างการใช้งาน ทั้งนี้เพราะคู่ประกอบที่ (1) นั้นทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งของปลอกไปแล้ว ดังนั้นเราอาจเลือกใช้ coarse tolerance หรือมากกว่านั้น โดยอาจตั้งขึ้นมาเองเลยก็ได้ เช่น $\varnothing 30 \pm 0.5$ สำหรับตัวเรือน และ $\varnothing 28 \pm 0.5$ สำหรับตัวปลอก

สำหรับคู่ประกอบที่ (4) ฝาครอบกับตัวเรือน ในกรณีนี้เราใช้ขอบนี้ในการกำหนดตำแหน่งของตัวฝาเทียบกับตัวเรือน ในการนี้เราอาจจะเลือกใช้หมุดในการกำหนดตำแหน่งแทนก็ได้ แต่การขอบของตัวเรือนแองน่าจะทำให้การประกอบนั้นรวดเร็วขึ้นกว่า ให้สังเกตว่าผิวหน้าของตัวเรือนด้านในของขอบนั้นจะไม่สัมผัสกับตัวฝา มีแต่ส่วนขอบที่เป็นทรงกระบอกนั้นสวมสัมผัสกัน ทั้งนี้เพื่อให้หน้าสัมผัสระหว่างตัวเรือนกับฝาในส่วนที่อยู่ใกล้ๆ กับสกรูนั้นได้ สัมผัสกันได้เมื่อขันสกรู ในกรณีนี้เราไม่ต้องการใช้ running fit ทั้งหลายแน่ๆ และก็ชัดเจนว่าเราต้องการให้การถอดประกอบทำได้ง่ายเพราะได้เลือกใช้สกรูในการจับยึด ดังนั้นจะมีค่าพิกัดที่เหมาะสมคือ average location และ light push fit แต่ light push fit นั้นจะต้องใช้การเคาะหรือกดเล็กน้อย ซึ่งอาจทำให้การประกอบนั้นไม่สะดวกนัก แต่ก็อาจจะจำเป็นถ้าต้องการให้มีการสั่นคลอนน้อยในการใช้งาน สมมุติว่าเราเลือก average location คือ H7/h6 จะได้ขนาดตามในตาราง

สำหรับคู่ประกอบที่ (5) สกรูและฝา หลังจากที่เราได้พิจารณาคู่ประกอบที่ (4) ไป เราจะเห็นว่าเราไม่ได้ใช้คู่ประกอบนี้ในการกำหนดตำแหน่งของฝาเลย เราใช้สกรูในการจับยึดเท่านั้น ดังนั้นรูที่ฝานี้มักจะมีขนาดใหญ่กว่าตัวสกรูมาก (0.5-1 mm หรือมากกว่า) ค่าแนะนำนั้นจะหาได้ในบทของสลักเกลียว เราเรียกรู แบบนี้ว่า clearance hole สำหรับตัวสกรูนั้นเป็นชิ้นส่วนที่หาซื้อมา จึงไม่จำเป็นต้องกำหนดขนาดแต่อย่าง ใด

สำหรับคู่ประกอบที่ (6) เกียร์ และ เพลา ในกรณีนี้เราต้องการไม่ให้มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันระหว่างเกียร์และเพลา แต่ยังต้องการให้มีการถอดประกอบได้เพื่อการซ่อมบำรุงเกียร์ ดังนั้นเราควรเลือกค่าพิกัดแนะนำคือ average location, light push fit, หรือ heavy push fit แล้วแต่งาน ถ้าใช้ average location ก็จะทำให้ถอดประกอบง่าย แต่อาจเกิดการสั่นคลอนได้จากการสั่นสะเทือน หรืออาจเกิดแรงกระแทกถ้ามีการใช้เกียร์หมุนไปกลับ, แต่ถ้าเลือกไปทาง heavy press fit ก็ได้การสั่นคลอนน้อยลงแต่ถอดประกอบยากขึ้น และสิ้นเปลืองในการผลิตมากขึ้น ถ้าเราเลือกใช้ light push fit ก็จะได้ขนาดดังในตาราง

4.3.13 การกำหนดความเผื่อบนแบบ

ในส่วนนี้เราจะแสดงการกำหนดขนาดความเผื่อบนแบบชิ้นงาน

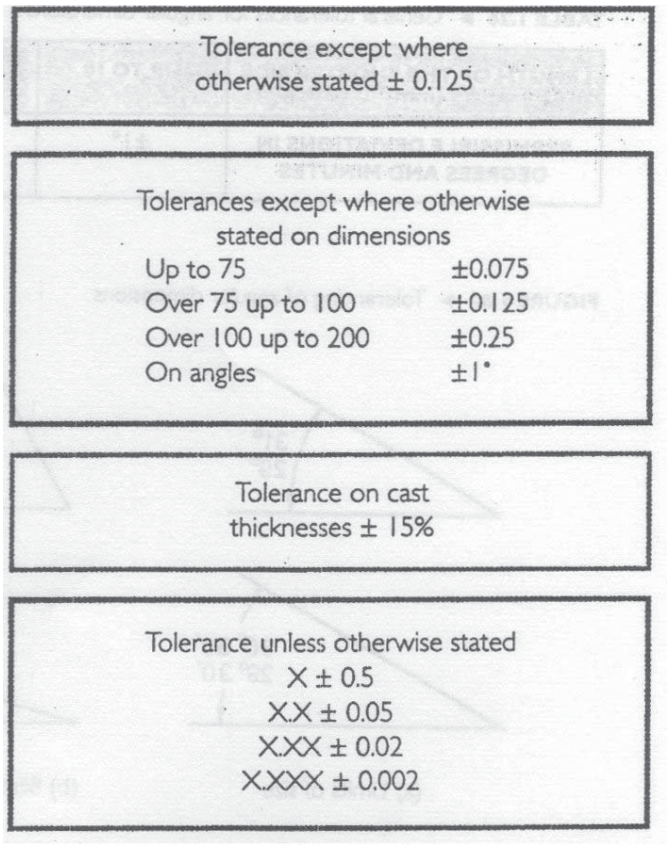
general tolerances

ถ้าเราต้องการให้ค่าความเผื่อสำหรับขนานทุกขนาดบนแบบ เราอาจใช้วิธีดังในตารางที่ 4.6 สำหรับค่าความเผื่อสำหรับขนาดเชิงเส้นที่ตำแหน่งทั้วๆไป เราอาจเลือกใช้ค่าจากตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.5: ขนาดต่างๆสำหรับชิ้นส่วนที่มีการสวมประกอบ (mm)

Feature	Designation	upper limit	lower limit
(1) Housing ∅20	H7	20.021	20.000
(1) Bush ∅20	p6	20.035	20.022
(2) Bush ∅12	H8	12.027	12.000
(2) Shaft ∅12	f7	11.984	11.966
(3) Housing ∅28	-	30.5	29.5
(3) Bush ∅28	-	28.5	27.5
(4) Cover ∅60	H7	60.030	60.000
(4) Housing ∅60	h6	60.000	59.981
(5) Cover ∅8	-	8.5	9.5
(5) Screw M8	-	-	-
(6) Gear ∅16	H7	16.018	16.000
(6) Shaft ∅16	k6	16.012	16.001

ตารางที่ 4.6: การกำหนดค่าเผื่อโดยรวม [Boundy]



ตารางที่ 4.7: ค่าความเผื่อสำหรับค่าเชิงเส้นทั่วไป [Boundy]

Nominal Dimension (mm)		0.5 To 3	Over 3 To 6	Over 6 To 30	Over 30 To 120	Over 120 To 315	Over 315 To 1000	Over 1000 To 2000
PERMISSIBLE DEVIATIONS IN MILLIMETRES	Fine series	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5
	Medium series	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2
	Coarse series		±0.2	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3
	Very coarse		±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±8

ตารางที่ 4.8: ค่าเผื่อทั่วไปสำหรับมุม [Boundy]

Length of the shorter side (mm)	Up To 10	Over 10 To 50	Over 50 To 120	Over 120 To 400	Over 400
PERMISSIBLE DEVIATIONS IN DEGREES AND MINUTES	±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'

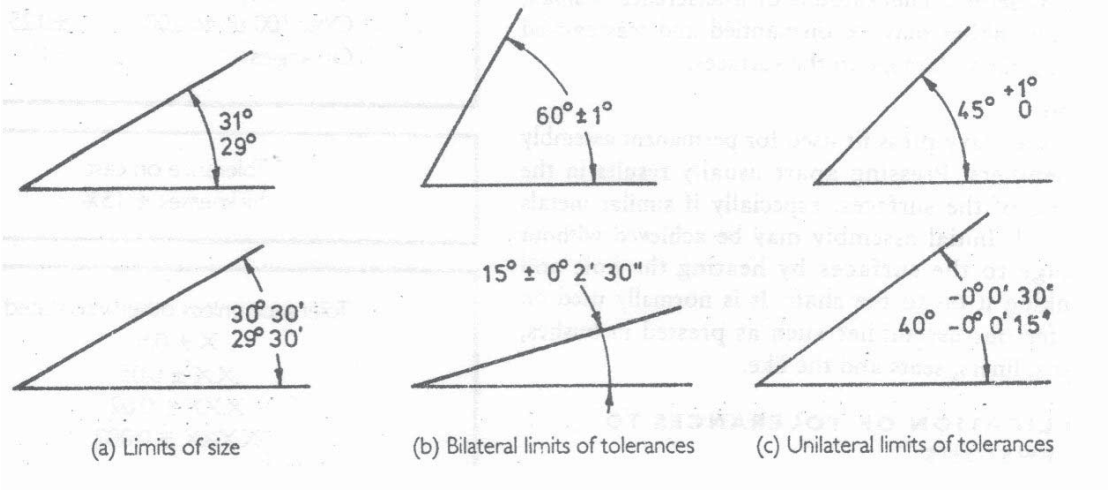
การค่าเผื่อและการกำหนดขนาดของมุม

สำหรับค่าความเผื่อของค่ามุมทั่วๆไปที่ไม่สำคัญต่อการใช้งานนั้น เราสามารถใช้ตามตารางที่ 4.8 และสามารถให้ขนาดบนแบบได้ตามรูปที่ 4.10

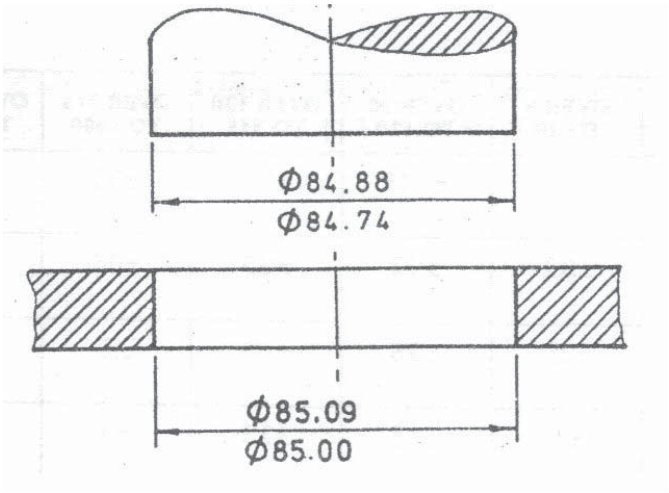
การกำหนดค่าความเผื่อบนแบบ

การกำหนดขนาดความเผื่อบนแบบทำได้หลากหลาย วิธีที่นิยมมีสามวิธีดังนี้

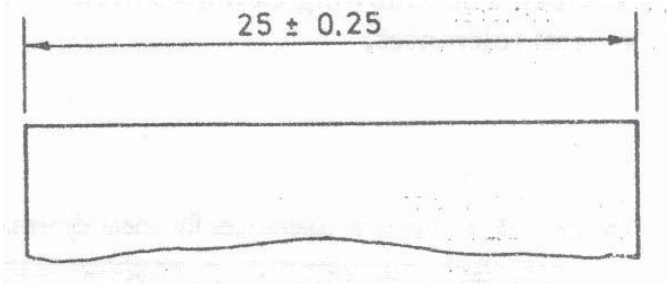
- Method 1: Limits of size ในกรณีนี้ เราจะเขียนขนาดต่ำสุดที่ยอมรับได้ใต้เส้นบอกขนาด และค่าสูงสุดเหนือเส้นดังแสดงในรูปที่ 4.11
- Method 2: Bilateral tolerances สำหรับขนาดที่มีค่าความเผื่อสองข้างที่เท่ากัน เรานิยมใส่ขนาดตามในรูปที่ 4.12
- Method 3: Unilateral tolerances สำหรับขนาดที่มีค่าความเผื่อทางเดียว เรานิยมให้ขนาดตามในรูปที่ 4.13



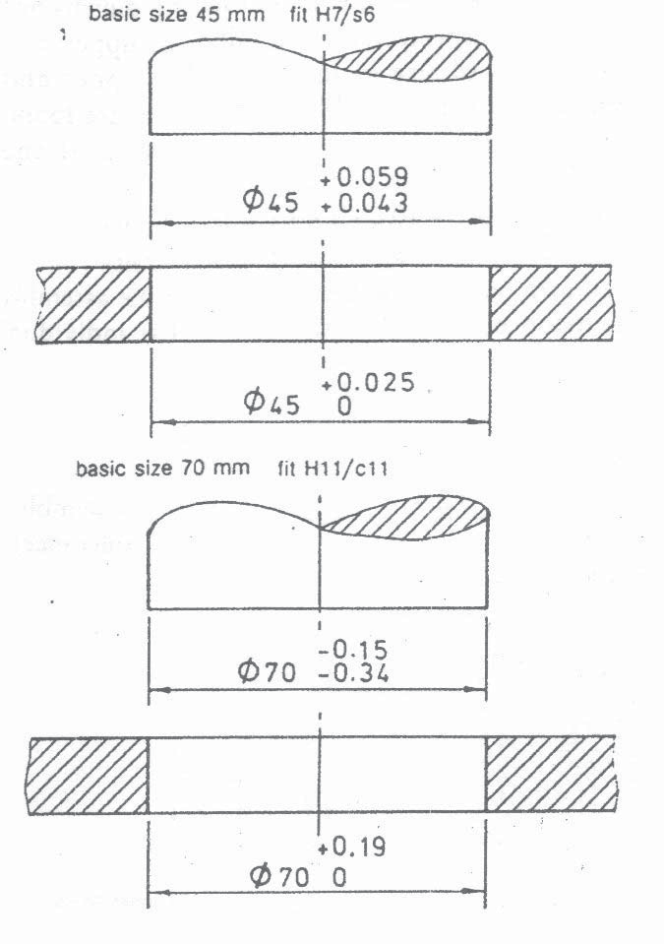
รูปที่ 4.10: การกำหนดค่าความเผื่อของมุมบนแบบ [Boundy]



รูปที่ 4.11: การกำหนดขนาดโดยใช้ค่าต่ำสุดและสูงสุด [Boundy]



รูปที่ 4.12: การกำหนดขนาดแบบสองทาง [Boundy]



รูปที่ 4.13: การกำหนดขนาดแบบทางเดียว [Boundy]