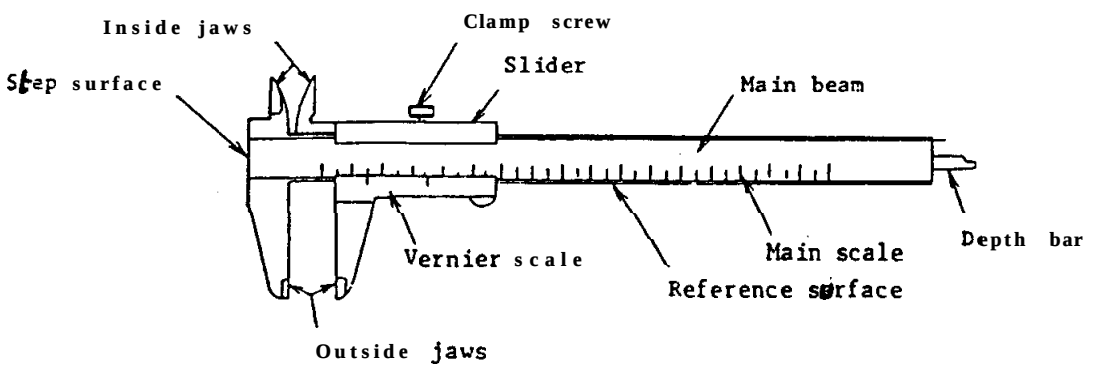
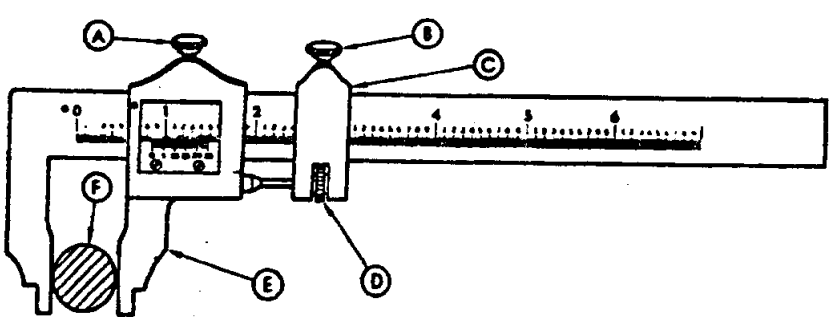
3. **เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์** (Vernier Caliper) เป็นเครื่องมือวัดที่มีสเกลอ่านค่าได้ในตัวเอง ค่าสเกลในการวัดจะละเอียดกว่าการใช้วัดด้วยบรรทัด เวอร์เนียร์ที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้มีหลายชนิดและหลายแบบ คำว่าเวอร์เนียร์เป็นหลักของการใช้สเกลสองสเกลร่วมกัน คือ สเกลเลื่อน (Vernier scale) กับ สเกลหลัก (Main scale) เวอร์เนียร์จะมี 2 ระบบการวัดอยู่ในอันเดียวกัน คือ ระบบอังกฤษวัดความละเอียดได้ถึง 1/128 นิ้ว, 1/1000 นิ้ว ในระบบเมตริกวัดความละเอียดได้ถึง 1/50 มม, 1/100 มม หลักการสร้างสเกลของเวอร์เนียร์จะไม่กล่าวถึง ขอให้อ่านจาก PH 113 บทที่ 2 เรื่องการวัดอย่างละเอียด



รูปที่ 4.23 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

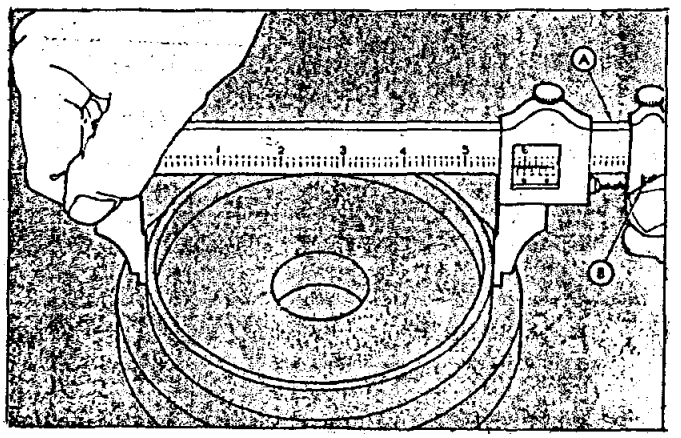


รูปที่ 4.24

การวัดขนาดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ทั้งวัดภายนอกและวัดภายใน ใช้หลักการในการวัดอย่างเดียวกันผิดกันตรงตำแหน่งที่จะเลื่อนเข้าไปวัดกับงานเท่านั้น ในรูปที่ 4.24 แสดงการวัดภายนอกกับชิ้นงานที่เป็นรูปทรงกระบอก (F) โดยมีขั้นตอนในการวัดดังนี้

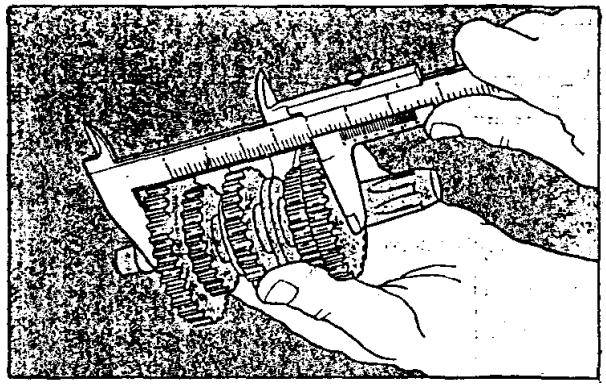
คลายเกลียวยึดทั้ง A และ B (ในกรณีที่มีตัวเลื่อนปรับค่าส่วนละเอียด) เลื่อนปากเวอร์เนียร์ (E) พร้อมทั้งส่วนประกอบหลังปากเลื่อน (C) ออกให้โตกว่าขนาดของงานที่จะวัดให้งานเข้าไปอยู่ระหว่างปากวัดทั้งสอง แล้วเลื่อนปากเข้าหางาน จนใกล้กับส่วนโค้งของงานที่จะวัด จึงหมุนเกลียว(B) ให้แน่น แล้วใช้หัวแม่มือหมุนเลื่อนเกลียวปรับละเอียด(D) ให้ปากเลื่อน (E) เลื่อนเข้าไปชิดกับงาน โดยให้สังเกตจากการสัมผัสขณะที่หมุนงานขยับถ้าความรู้สึกของงานตึงมือเมื่อใด จึงหยุดเลื่อนและหมุนเกลียวยึดปากเลื่อน (A) และอ่านค่าโดยไม่ต้องถอดออกจากงาน

ในการวัดงานขนาดใหญ่จะต้องตั้งเวอร์เนียร์ขึ้น เพื่อจะได้วัดในแนวผ่านศูนย์กลางของงาน เพราะปากวัดของเวอร์เนียร์สั้น ครอบไปถึงจุดเส้นผ่านศูนย์กลางของงานผ่านได้ ใช้การวัดวิธีเดียวกันกับข้างต้น โดยหมุนปรับที่เกลียวปรับส่วนละเอียด (B) ดังรูปที่ 4.25



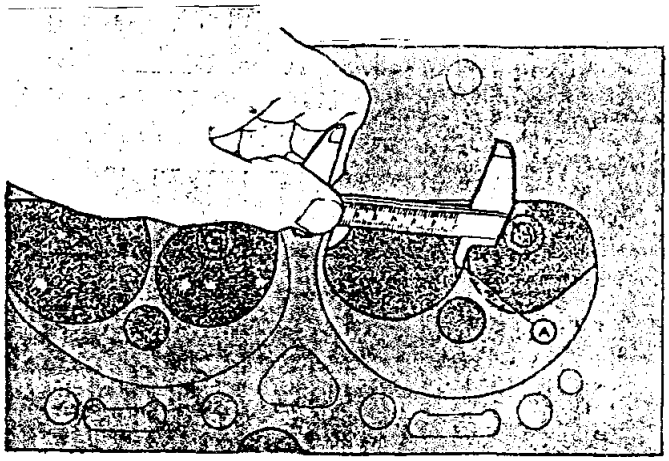
รูป 4.25

การวัดงานโดยวิธีใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ที่ไม่มีเกลียวปรับเลื่อนในส่วนละเอียด (B) ให้ใช้หัวแม่มือดันปากเลื่อนจนสัมผัสกับงานพร้อมทั้งอ่านค่าที่วัดได้ ขณะที่เวอร์เนียร์ยังอยู่กับงาน และยังมีแรงดันที่หัวแม่มืออยู่ ห้ามวัดขนาด แล้วดึงเวอร์เนียร์ออกมาอ่านค่าข้างนอกด้วยตาเปล่า ดูรูปที่ 4.26



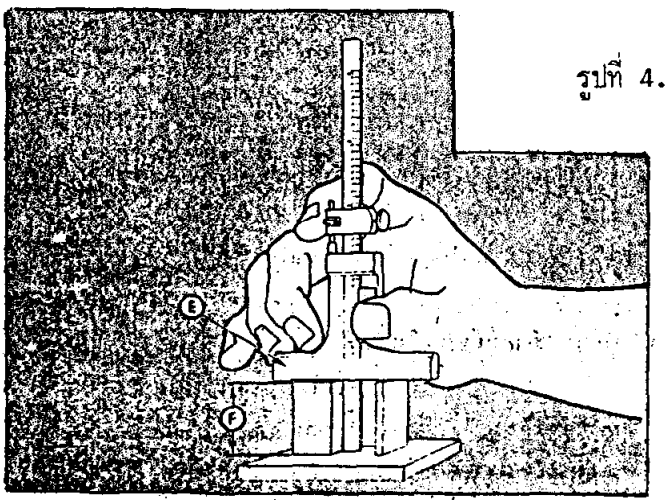
รูปที่ 4.26

การใช้ปากเวอร์เนียร์วัดภายในขนาดของรูลิ้นไอดีและไอเสียบนฝาสูบเครื่องยนต์ จะต้องทำการวัดพร้อมทั้งอ่านค่าขนาดของงานขณะที่เวอร์เนียร์ยังอยู่กับงานเช่นเดียวกัน การทำเช่นนี้เพราะว่าเมื่อนำเวอร์เนียร์ออกมาอ่านค่าข้างนอก จะทำให้ค่าการวัดคลาดเคลื่อนได้ จึงต้องอ่านค่าของการวัดในขณะที่ปากของเวอร์เนียร์ยังจับอยู่กับงาน ดูรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27

การใช้เวอร์เนียร์แบบวัดความลึกเหมาะสำหรับใช้วัดงานทางด้านความลึกของรูหรือร่องต่างๆ ของงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.28 ความลึกของร่องในงานนี้ (F) ใช้ฐานของเวอร์เนียร์ (E) วางแนบบนปากของร่องคลายเกลียว ยึดบรรทัดสเกล ดันบรรทัดสเกลลงไปยังก้นรู ยึดเกลียวที่ปรับละเอียด แล้วอ่านค่าจากการวัด



รูปที่ 4.28

คุณสมบัติที่สำคัญของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

1. ค่าผิดพลาดตลอดสเกลในการวัด จะต้องอยู่ในพิกัดตามกำหนดของแต่ละช่วงของการวัดที่ผู้ผลิตจะกำหนดให้ว่าช่วงใด ให้ผิดพลาดได้มากน้อยเพียงใด ในที่นี้จะไม่ขอกล่าวถึงเนื่องจากข้อผิดพลาดนี้แต่ละบริษัทผู้ผลิตจะกำหนดไม่เหมือนกัน และความละเอียดในการสร้างก็ไม่เท่ากันด้วย

2. ความตรงของปากวัด จะต้องอยู่ในพิกัดไม่เกิน 0.01 ไมโครเมตรต่อช่วงการวัด 100 มิลลิเมตร

3. ช่องว่างระหว่างปากวัดภายนอกเมื่อเลื่อนมาชนกันสนิท จะต้องไม่เกิน 5 ไมโครเมตร

ดังนั้นเพื่อป้องกันและหลีกเลี่ยงค่าผิดพลาดของเวอร์เนียร์ ผู้ใช้เวอร์เนียร์ใน

ข้อ 2 และข้อ 3 จะต้องคำนึงถึงแรงกระทำบนจุดวัด (measuring force) เป็นสำคัญ การใช้แรงกระทำบนจุดวัดที่พอเหมาะจากการใช้หัวแม่มือดันปากเลื่อนให้เข้าไปประทับงานนั้น จะต้องทำด้วยความระมัดระวัง โดยใช้แรงดันเลื่อนให้เพียงเข้าไปสัมผัสกับงานเท่านั้น ไม่ใช่ดันจนปากวัดโย้ออก ทำให้ปากของเวอร์เนียร์ล้าและคลาดเคลื่อนได้

อีกกรณีหนึ่ง การวัดต้องไม่วัดขณะงานกำลังหมุน หรือให้เวอร์เนียร์หมุนรอบงาน และวัดโดยครูดลากไปกับงาน ปากของเวอร์เนียร์จะสึกหรอได้

ข้อควรระวังในการใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

1. ทำความสะอาดชุดปากเลื่อน รางเลื่อน หน้าสัมผัสวัด และสเกลอ่านค่า ไม่ให้มีฝุ่นผงติดค้างอยู่ จะทำให้การวัดขนาดไม่ได้ผล และเครื่องมือวัดชำรุดสึกหรอได้

2. ต้องแน่ใจว่าแนวเส้นศูนย์บนสเกลวัดกับปากของเวอร์เนียร์ เมื่อปิดสนิทต้องได้ศูนย์พอดี ไม่มีช่องว่างเกิดขึ้น โดยที่ไม่ให้แสงลอดผ่านปากของเวอร์เนียร์ได้ ถ้ามีความห่างของปากวัดเกิดขึ้น จะยอมให้ได้ไม่เกิน 3-5 ไมโครเมตร

3. ความถูกต้อง เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์เมื่อใช้วัดขนาดเป็นเวลานาน 1 ปี ควรจะทำการสอบเทียบความถูกต้อง เพราะการใช้งานมาตลอดระยะเวลาอาจจะวัดงานในพื้นผิวหยาบ หรือวัดงานที่มีคุณภาพต่ำ ทำให้คุณภาพของความละเอียดในเครื่องมือวัดลดน้อยลงไป ขนาดของงานจะคลาดเคลื่อนไปได้ และการใช้งานโดยการเลื่อนปากวัดเข้า-ออกบ่อยๆ ประจำเกือบทุกวัน อาจจะทำให้ชุดเลื่อนสึกหรอ เกิดหลวมคลอนได้ ปากวัดจะกางออกไปเป็นเส้นตรงตั้งฉาก เวลาปากวัดสัมผัสกับงานจะต้องปรับให้ได้เกณฑ์ความถูกต้อง ตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้ในค่าผิดพลาดต่อช่วงการวัด (โดยดูได้จากคู่มือการใช้ของบริษัทผู้ผลิต)

4. แรงที่กระทำในชุดเลื่อน (sliding force) ชุดปากเลื่อนจะเลื่อนได้คล่องตัวและนิ่มนวล ไม่มีการขัดตัวเวลาเลื่อนตลอดบนสเกลหลัก เกลียวสองตัวที่อยู่บนชุดตัวเลื่อน ใช้สำหรับปรับให้ชุดตัวเลื่อนแนบสนิทกับสเกลหลัก และปรับแรงกระทำในชุดเลื่อนคงที่ไม่หลวมเกินไปและยึดเกินไป การปรับทำได้โดยใช้ไขควงเล็กๆ ปรับโดยทดลองเลื่อน

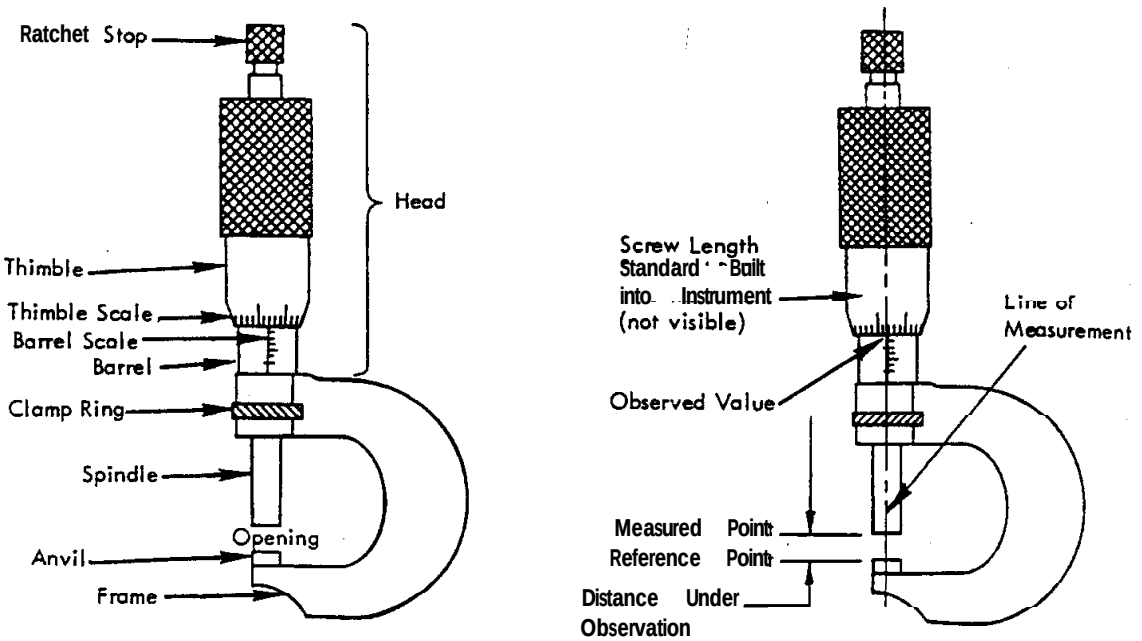
ตัวเลื่อนดูให้พอเหมาะกับกำลังดันด้วยหัวแม่มือ ถ้าหลวมมากหรือยืดมาก ให้ขันเข้าหรือคลายออกเพียง 1/8 - 1/10 รอบเท่านั้น

5. เวอร์เนียร์ขนาดใหญ่ใช้วัดงานโต เมื่อกางปากวัดออกกว้างๆ เพื่อวัดงานใหญ่ น้ำหนักของเวอร์เนียร์จะทำให้สเกลหลักโค้งตัวลง เนื่องจากน้ำหนักในแนวนอนทำให้ไม่สามารถกำหนดค่าผิดพลาดในแต่ละช่วงได้ (position error) เพราะความโค้งของสเกลหลักจะไม่เท่ากัน จะเปลี่ยนไปตามขนาดของงานที่จะวัด และเปลี่ยนไปตามตำแหน่งที่จะวัด เช่น วัดตามแนวนอนกับตามแนวตั้ง ค่าผิดพลาดในตำแหน่งที่จะวัดต้องเปลี่ยนไปด้วย

ดังนั้นเมื่อต้องการวัดงานที่มีขนาดใหญ่ จะต้องใช้ผู้วัดสองคน โดยให้คนหนึ่งเป็นผู้จับเวอร์เนียร์เข้าวัดขนาดและประคองเวอร์เนียร์ให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางของงาน และอีกคนหนึ่งจะเป็นผู้อ่านค่าในการวัด

6. ในการอ่านค่าจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ จะต้องให้แนวสายตาตั้งฉากกับสเกลที่จะอ่าน เพื่อหลีกเลี่ยงการมองไม่ตรงทิศทาง (parallax error)

4. ไมโครมิเตอร์ (Micrometer caliper) ไมโครมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดละเอียดชนิดหนึ่งในบรรดาเครื่องมือวัดทั้งหลาย สามารถวัดงานได้ละเอียดมาก ไมโครมิเตอรที่ใช้ทั่วๆ ไปในงานช่างสามารถวัดได้ละเอียดถึง 1/1000 นิ้ว บางชนิดสามารถวัดละเอียดได้มากที่สุดถึง 1/10000 นิ้ว ส่วนไมโครมิเตอร์ในระบบเมตริกสามารถวัดได้ละเอียดถึง 1/100 มม และ 1/1000 มม



รูปที่ 4.29 ไมโครมิเตอร์

ลักษณะรูปร่างและส่วนประกอบของไมโครมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.29 ซึ่งมีส่วนสำคัญ ดังนี้

- โครง (Frame)
- แกนรับ (Anvil)
- แกนวัด (Spindle)
- แหวนยึด (Lock Nut หรือ Clamping Ring)
- ปลอกหมุนวัด (Thimble)
- ขีดสเกลวัด (Barrel scale)
- แรชเชส สต๊อฟ (Ratchet stop)

หลักการทำงานของไมโครมิเตอร์ นำมาจากลักษณะการหมุนของแท่งเกลียว ถ้าเราสังเกตดูแท่งเกลียวชนิดเกลียวขวา เมื่อหมุนแท่งเกลียวไปตามเข็มนาฬิกา โดยยึดแหวนเกลียวที่สวมอยู่กับแท่งเกลียวเป็นหลัก แท่งเกลียวนั้นจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถ้าหมุนทวนเข็มนาฬิกา แท่งเกลียวจะเคลื่อนที่ถอยมาข้างหลัง เราจึงนำมาเป็นหลักในการสร้างไมโครมิเตอร์ โดยที่ระยะที่แท่งเกลียวเคลื่อนที่เมื่อหมุนแท่งเกลียว

แกนวัดหรือแกนเกลียว (Spindle screw) ซึ่งซ่อนอยู่ภายในบาเรล (Barrel) และปลอกหมุนวัด (Thimble) จะมีลักษณะเป็นเกลียวขวาสวมอยู่ในแหวนเกลียว แหวนเกลียวยึดติดกับบาเรล ปลายของเกลียวจะยึดติดกับปลอกหมุนวัดอีกทีหนึ่ง เมื่อเราหมุนปลอกหมุนวัด แกนวัดจะเคลื่อนที่ไปตามลักษณะของการหมุนของปลอกหมุนวัด

สำหรับระยะที่แกนวัดจะเคลื่อนที่ไปได้เท่าไรจะขึ้นอยู่กับขนาดของเกลียวที่แกนเกลียว เช่น แกนเกลียวที่มีขนาดของเกลียวเป็น 25 เกลียวต่อนิ้ว ระยะของเกลียวเท่ากับ 1/25 นิ้ว เราหมุนปลอกมุนวัดไป 1 รอบ แกนเกลียวจะเคลื่อนที่ไปได้เท่า กับ 1/25 นิ้ว (ซึ่งเท่ากับระยะ pitch ของเกลียวปากเดียว)

ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่ง คือ แรชเชส สต๊อพ (Ratchet Stop) เป็นตัวกำหนดแรงที่จะกระทำบนจุดวัดงานบนแกนวัดไมโครมิเตอร์ หรือ Contacts pressure ของการวัดในแต่ละครั้งให้เท่ากัน และป้องกันเกลียวของไมโครมิเตอร์เสียหายเนื่องจากใช้แรงหมุนให้แกนวัดชนกับงานมากเกินไป ในการวัดอาจมีบางตำแหน่งที่อ่านค่าไม่สะดวก จำเป็นต้องตรึงแกนไว้ด้วยแหวนยึดเพื่อที่จะไม่ให้ค่าบนไมโครมิเตอร์เปลี่ยนแปลง เมื่อนำออกมาอ่านค่านั้นจากงานที่วัด

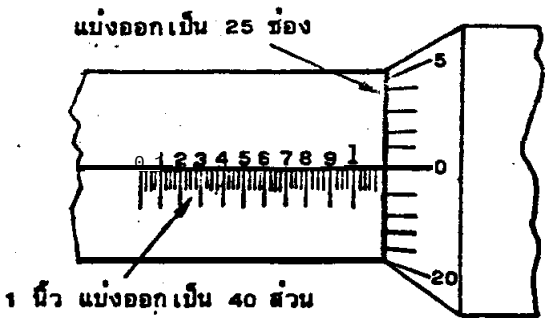
ไมโครมิเตอร์ชนิดแบ่งละเอียด l/moo นิ้ว (0.001 นิ้ว)

เกลียวที่แกนเกลียวเป็นเกลียวขนาด 40 เกลียวต่อนิ้ว ระยะพิต (pitch) ของ เกลียวเท่ากับ 1/40 นิ้ว หมุนปลอกหมุนวัดไป 1 รอบ แกนเกลียวจะเคลื่อนที่ไปได้ 1/40 นิ้ว (0.025 นิ้ว) ที่ขีดสเกลวัด (Barrel scale) แบ่งสเกลเป็นนิ้ว ใน 1 นิ้ว แบ่งออกเป็นช่องใหญ่ได้ 10 da.3 แต่ละช่องมีค่าเท่ากับ 1/10 นิ้ว และใน 1 ช่องยังแบ่ง

ออกเป็นช่องเล็กได้ 4 ช่อง แต่ละช่องมีค่าเท่ากับ 1/40 นิ้ว (0.025 นิ้ว) ดังแสดงในรูปที่ 4.30 1 ช่องของช่องเล็กจะมีค่าเท่ากับระยะพิตของแกนเกลียว หรือเท่ากับระยะที่แกนเกลียวเคลื่อนที่ไปได้เมื่อหมุนปลอกหมุนวัดไป 1 รอบ บนปลอกหมุนวัดจะแบ่งสเกลออกเป็น 25 ช่องเท่าๆ กัน ปลอกหมุนวัดหมุนไปได้ 1 รอบ (25 ช่อง) จะเท่ากับ 1/40 ดังนั้น 1 ช่องของปลอกหมุนวัด จะมีค่า = (1/40) x (1/25) นิ้ว

= 1/1000 นิ้ว

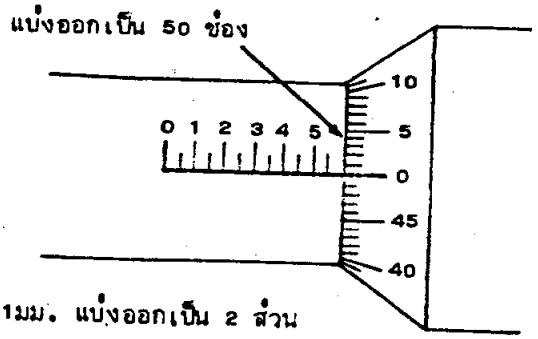
ไมโครมิเตอร์ชนิดนี้จึงสามารถแบ่งได้ละเอียดถึง 1/1000 นิ้ว (0.001 นิ้ว)



รูปที่ 4.30

ไมโครมิเตอร์ชนิดแบ่งละเอียด 1/100 มม (0.01 มม)

ไมโครมิเตอร์ชนิดนี้แกนวัดกับปลอกหมุนวัดประสานติดแน่นด้วยกัน มีครอบรูปกรวยยึดให้ติดกันไว้ เมื่อหมุนปลอกหมุนวัด แกนเกลียวของแกนวัดก็จะหมุนตามไปด้วยเช่นเดียวกับไมโครมิเตอร์ชนิดแบ่งละเอียด 1/1000 นิ้ว และชนิดอื่นๆ ขนาดเกลียวที่แกนเกลียวของแกนวัดเป็นขนาดเกลียว 0.5 มม หมายถึงมีระยะพิต 0.5 มม เมื่อหมุนปลอกหมุนวัดไป 1 รอบ (แกนเกลียวหมุน 1 รอบ) แกนวัดจะเคลื่อนที่ได้ 0.5 มม ดังแสดงในรูปที่ 4.31

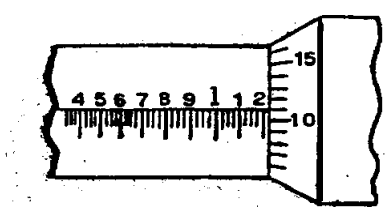


รูปที่ 4.31

ที่ขีดสเกลวัดแบ่งสเกลออกเป็น 1 มม และ 0.5 มม ที่ปลอกหมุนวัดแบ่งสเกลออกเป็น 50 ช่องเท่าๆ กันรอบปลอกหมุนวัด หมุนปลอกหมุนวัดไป 50 ช่อง แกนวัดเคลื่อนที่ได้เท่ากับ 0.5 มม ถ้าหมุนไป 1 ช่อง แกนวัดจะเคลื่อนที่ได้เท่ากับ 0.5/50 = 1/100 มม (0.01 มม) ดังนั้นเราจึงสามารถวัดละเอียดได้ถึง 1/100 มม (0.01 มม)

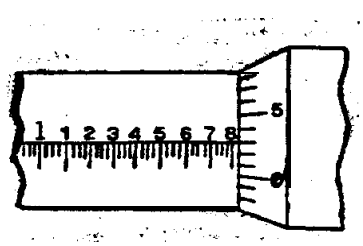
หลักการอ่านไมโครมิเตอร์ ให้ถือช่องใหญ่บนขีดสเกลวัดเป็นเลขจำนวนแรก หลังจุดทศนิยม บวกด้วยช่องเล็ก และบวกด้วยขีดบนสเกลของปลอกหมุนวัดที่ตรงกับขีดตามแนวแกนของขีดสเกลวัด อ่านเป็นจุดทศนิยม

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> การอ่านของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดละเอียดได้ 1/1000 นิ้ว (0.001 นิ้ว)



อ่านได้ 1.000 t .200 t .025 t .011

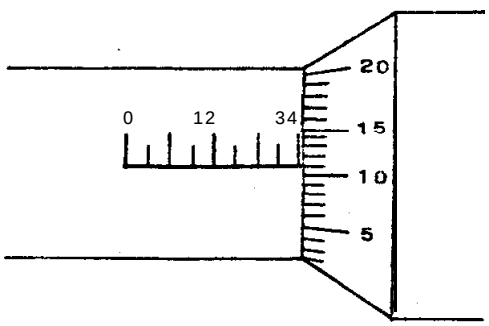
= 1.236 นิ้ว



อ่านได้ 1.000 t .800 t .003

= 1.803 นิ้ว

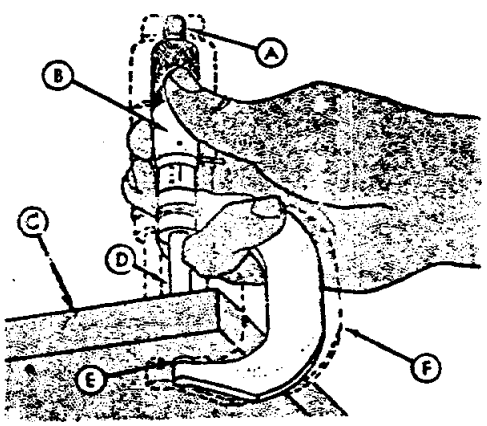
ตัวอย่างที่ 2 การอ่านไมโครมิเตอร์ชนิดวัดละเอียดได้ 1/100 มม (0.01 มม)



อ่านได้ 4.00 t 0.11

= 4.11 มม.

การใช้ไมโครมิเตอร์วัดขนาด ในการวัดต้องให้งานสัมผัสกับแกนรับให้สนิทก่อนจึงจะค่อยหมุนแกนวัด ให้หน้าสัมผัสเข้าไปยันกับผิวงาน โดยให้แกนวัดของไมโครมิเตอร์ตั้งฉากกับผิวงานที่จะวัด แรงที่กระทำบนจุดสัมผัส (contacts pressure) ต้องพอดี

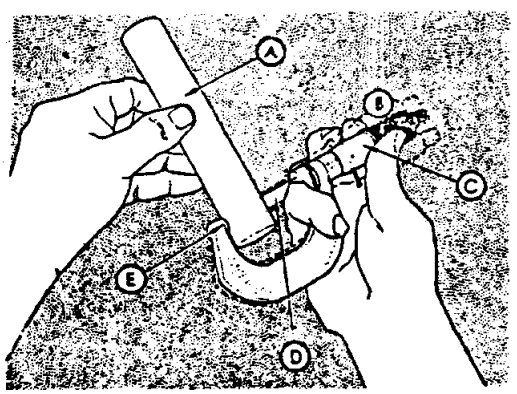


รูปที่ 4.32

วิธีการจับไมโครมิเตอร์ที่จะวัดงาน ให้ใช้นิ้วก้อยมือขวาเกี่ยวไมโครมิเตอร์

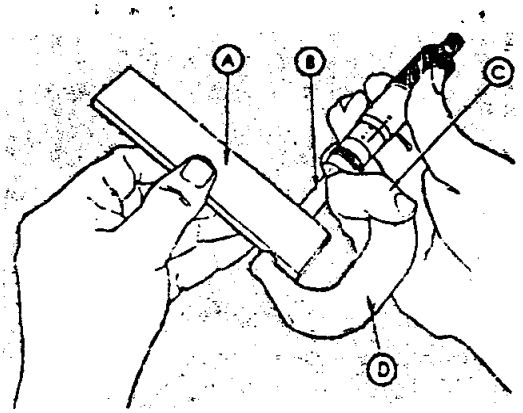
ไว้ ใช้นิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้หมุนปลอกวัด ดังรูปที่ 4.32 โดยจะต้องหมุนแกนวัดให้โตกว่าขนาดของงานที่จะวัด แล้วจึงสวมเข้าไปในงาน ค่อยๆ หมุนปลอกหมุนวัด (B) ให้ปลายแกนวัดสัมผัสกับผิวของงาน ถ้างานที่จะวัดเป็นแผ่นเรียบ จะต้องให้แกนรับ (E) สัมผัสกับผิวงานด้านล่างก่อน จึงค่อยใช้นิ้วหัวแม่มือกับนิ้วชี้หมุนปลอกหมุนวัด ให้แกนวัดลงมาสัมผัสกับผิวงานด้านบน (D) แรงที่กระทำบนจุดวัดจะไม่คงที่ ต้องใช้แรชเชส สต๊อพ (A) เป็นตัวช่วยปรับ

เมื่องานที่วัดเป็นแท่งกลมหรือรูปทรงกระบอก (A) จับไมโครมิเตอร์ให้แกนรับ (E) ยันกับงานด้านหนึ่งก่อน จึงใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วกลางกับนิ้วชี้หมุนปลอกหมุนวัด (C) จนแกนวัด (D) สัมผัสกับด้านตรงข้ามของงาน ขยับไมโครมิเตอร์ให้แกนวัดได้ฉากกับแนวแกนของงาน (B) หาจุดที่โตที่สุดแล้วจึงอ่านค่า ดังแสดงในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33

เมื่อต้องการวัดงานที่เป็นชิ้นเล็กๆ ทำได้โดยจับชิ้นส่วนนั้นด้วยมือซ้าย (A) และจับไมโครมิเตอร์ด้วยมือขวา หมุนเลื่อนเปิดปากแกนวัดให้กว้างห่างออกไปจากความยาวหรือความกว้างของงานเล็กน้อย นำงานเข้าไปอยู่ในระหว่างไมโครมิเตอร์โดยหมุนแกนวัดให้สัมผัสกับงาน (B) โดยใช้นิ้วก้อยขวาเกี่ยวโครงไมโครมิเตอร์ไว้ที่ D หรือถ้าเป็นไมโครมิเตอร์ตัวใหญ่อาจจะอยู่ในตำแหน่ง C ดูรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34

การเลือกใช้ไมโครมิเตอร์ให้ถูกต้อง

การเลือกไมโครมิเตอร์ให้เหมาะสมกับความต้องการในการวัดขนาดของงาน มีองค์ประกอบในการเลือก ดังนี้

1. แบบหรือชนิด จะต้องเป็นแบบหรือชนิดที่ใช้สำหรับวัดในรูปแบบของงานที่ต้องการ

2. ช่วงการวัด เลือกช่วงการวัดให้เหมาะสมขึ้นอยู่กับขนาดของงานที่จะวัด

3. ค่าขนาดของการวัด จะต้องมีค่าขนาดในพิกัดกลางๆ ให้ความละเอียดได้ตามความต้องการของงานที่จะทำ

ไมโครมิเตอร์จะใช้ในโอกาสการทำงานได้ทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นงานผลิตหรือการทำงานเล็กน้อยในโรงงานก็ได้ ไม่ได้บังคับเฉพาะงานลงไป

การปรับศูนย์ของไมโครมิเตอร์ก่อนใช้งาน

ก่อนที่จะใช้ไมโครมิเตอร์วัดงาน ต้องทำการปรับศูนย์ไมโครมิเตอร์ก่อนทุกครั้ง โดยทำการปรับดังนี้

1. ทำความสะอาดปลายแกนรับและแกนวัดด้วยผ้าสะอาด หรือน้ำยาสำหรับ

ล้างไมโครมิเตอร์

2. หมุนให้แกนวัดชนกับหน้าแกนรับสนิท โดยหมุนที่แรชเชส สต๊อพ สังเกตดูขีดศูนย์กับขีดชี้จะตรงกันและเสมอศูนย์พอดี

5. แท่งเทียบ (Gauge Block) อาจใช้เป็นตัวเครื่องมือวัดในตัวของมันเองหรืออาจจะใช้เป็นตัวสำหรับสอบเทียบเมื่อต้องการปรับเครื่องมือวัดให้เข้าหามาตรฐานที่ต้องการหรืออาจจะเป็นการเทียบขนาดจากระบบการวัดหนึ่งไปสู่อีกระบบการวัดหนึ่งก็ได้ แท่งเทียบที่ใช้กันมีการใช้งานแยกประเภทกันออกไปหลายอย่าง แต่ส่วนใหญ่จะคุ้นเคยกับ Working Gauge Block มากกว่า เพราะเป็นแท่งเทียบที่ใช้กันอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป

แท่งเทียบ เป็นเครื่องมือใช้งานในพื้นฐาน 2 ประการด้วยกัน คือ

ก. เป็นแท่งเทียบหลักที่สำคัญในโรงงาน คือมีความแม่นยำสูงสำหรับใช้เป็นแท่งเทียบหลักในการตรวจงานชั้นสุดท้าย ในชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องกลหรือเครื่องมือวัดอื่นๆ

ข. ใช้เป็นเครื่องมือวัดในการทำงานผลิต หรือวัดแบบบนเครื่องจักรที่ไม่สามารถใช้เครื่องมือวัดอื่นๆ ที่มีขนาดใหญ่โตกว่าลงไปทำงานได้ ในกรณีที่งานนั้นต้องการความถูกต้องและความแม่นยำสูงและได้ราคาดีด้วย

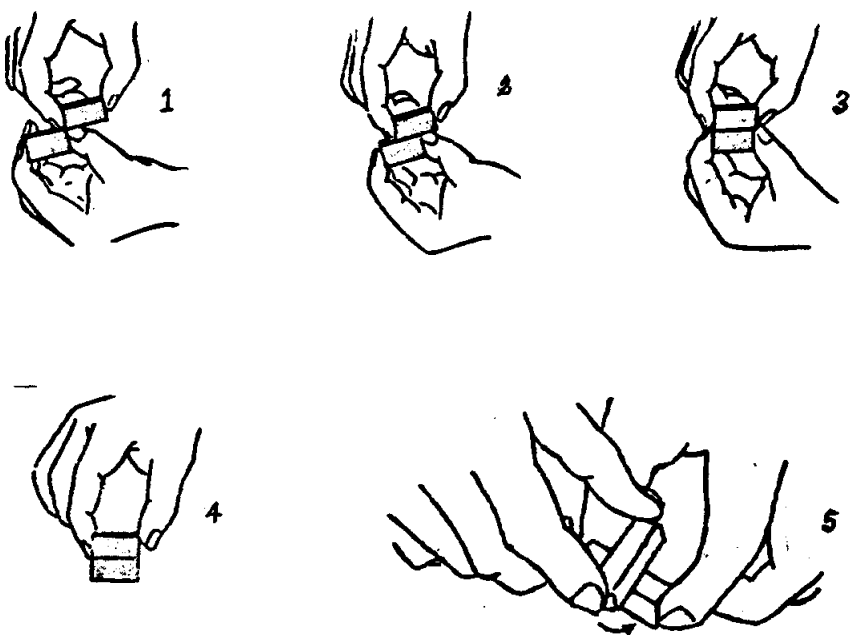
ในบางโอกาสของการทำงานเมื่อต้องการแท่งเทียบอย่างชนิดรวมกัน ต้องหาแท่งเทียบชนิดที่จะนำมาใช้ประกอบรวมกันได้ ที่เรียกว่า Building a combination การรวมกัน ก็คือ ใช้ค่าของแท่งเทียบแต่ละค่ามารวมกันให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ แท่งเทียบที่ได้จากการรวมกันนี้จะมีขนาดใหญ่ขึ้นมา แล้วนำไปเทียบกับเครื่องมือวัด หรือนำไปใช้วัดงานโดยตรงก็ได้ สามารถอ่านค่าของขนาดได้โดยบวกหรือลบจากค่าที่ต้องการใช้

แท่งเทียบจะมีแบบต่างๆ คือ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และแบบกลมเป็นแท่งกลม

ข้อควรระวังในการใช้แท่งเทียบ จะได้กล่าวในเรื่องการสอบเทียบแท่งเทียบ

วิธีการประกอบรวมแท่งเทียบ

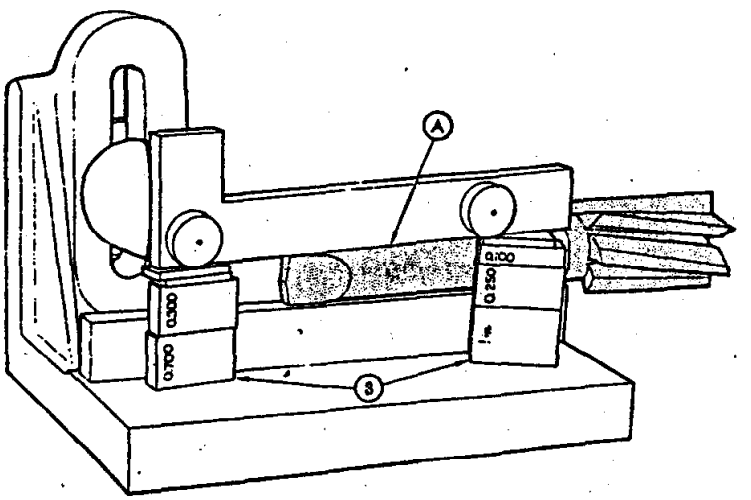
1. ต้องแน่ใจว่าพื้นผิวหน้าของแท่งเทียบสะอาด
2. วางประกบกันโดยเลื่อนบนหน้าผิวการวัดสัมผัสซึ่งกันและกัน
3. ดันเลื่อนเข้าอย่างช้าๆ
4. จนกระทั่งซ้อนปิดทับกันสนิท
5. เมื่อติดกันสนิทแล้ว จะเป็นแท่งเทียบขนาดใหม่ตามที่ต้องการ

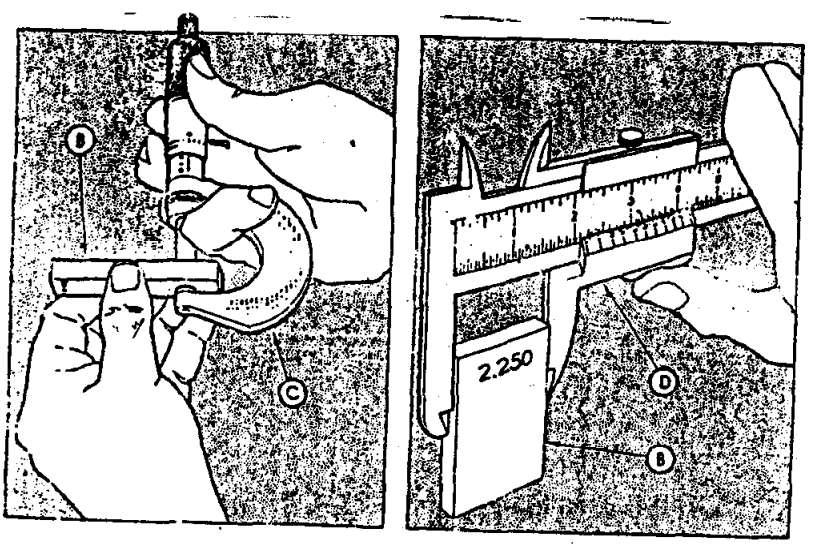


รูปที่ 4.35

เมื่อต้องการจะเอาแท่งเทียบแยกออกจากกัน ให้ใช้วิธีบิดออก ดังแสดงในรูป แล้วจึงทำความสะอาด ทาน้ำมันกันสนิมบางๆ จึงเก็บในที่เฉพาะของมันในกล่องบรรจุแท่งเทียบ ตามรูปที่ 4.35

แท่งเทียบ (B) ใช้เป็นตัวประกอบในการวัดตรวจสอบมุมงานเรียว (A) และใช้เป็นตัวตรวจมาตรฐานในการสอบเทียบไมโครมิเตอร์วัดภายนอก (C) หรือเวอร์เนียร์-คาลิปเปอร์ (D) ดังแสดงในรูปที่ 4.36





รูปที่ 4.36

4.4 การสอบเทียบเครื่องวัดความยาว

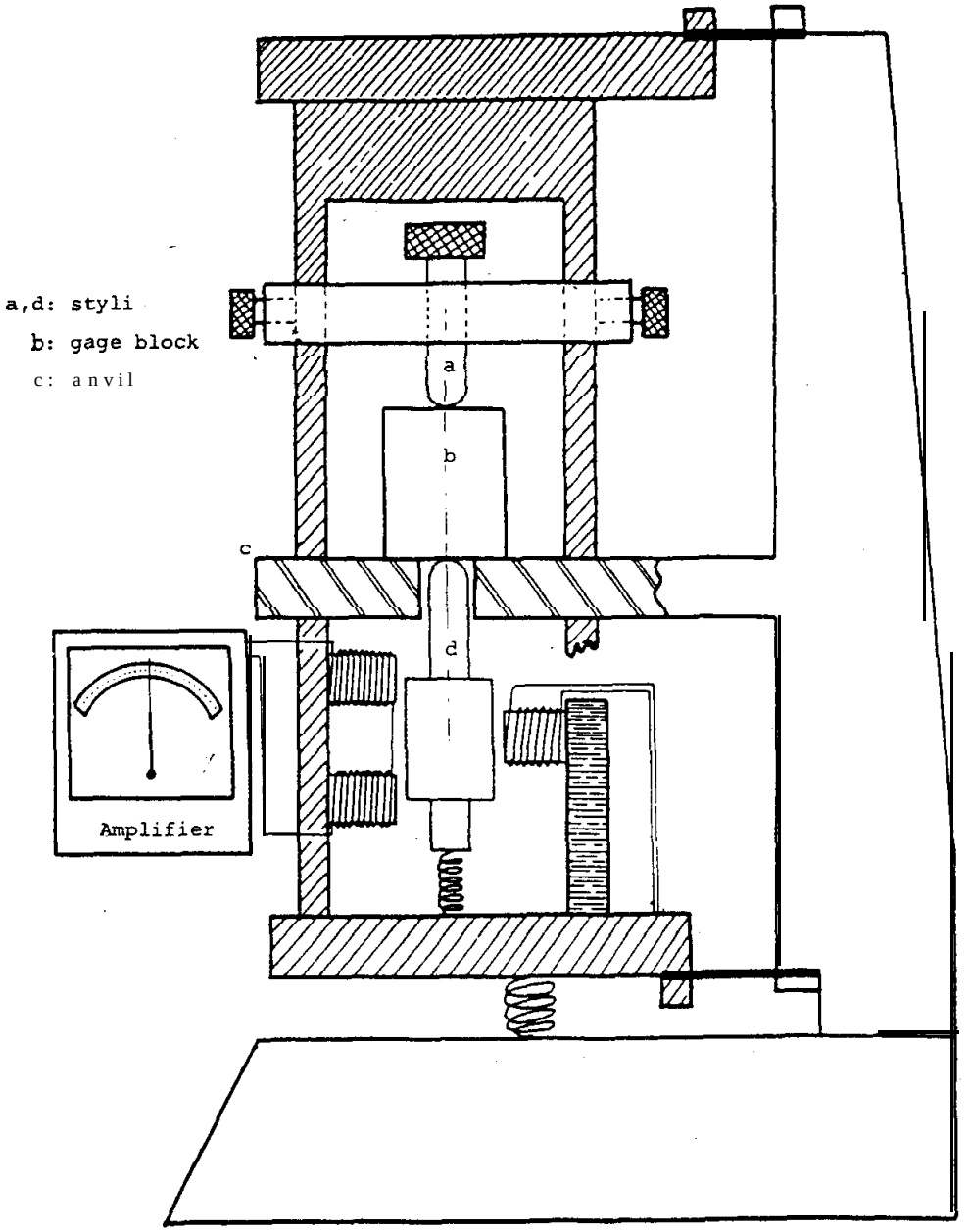
4.4.1 เครื่องสอบเทียบแท่งเทียบมาตรฐาน (Electronic Comparator) ลักษณะของเครื่องสอบเทียบแท่งเทียบมาตรฐาน ประกอบด้วย rigid frame แท่นวางแท่งเทียบมาตรฐาน และทรานสดิวเซอร์ (transducer)

แรงกด (gauge pressure) กำลังขยาย (magnification) และความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์ (linear of transducer) ของเครื่อง ควรได้รับการตรวจสอบและปรับตั้งเพื่อให้มีความถูกต้องสำหรับการสอบเทียบ

สไตลัส (stylus) บนและล่างจะเป็นตัวสัมผัสกับผิวหน้าของแท่งเทียบมาตรฐาน โดยตัวล่างจะต่อขนานกับทรานสดิวเซอร์ ซึ่งจะเป็นตัวส่งสัญญาณไปแสดงผลบนมิเตอร์ ดังนั้นจะหาขนาดที่ต่างกันระหว่างสองตัวได้โดยการใส่ตัวแรกเข้าไปในระหว่างหัวสไตลัส ตั้งค่าไว้เป็นศูนย์ และใส่ตัวที่สองเข้าไปเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง ค่าที่ได้จะแสดงที่มิเตอร์

การสอบเทียบแท่งเทียบโดยวิธีการเปรียบเทียบเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก สำหรับวิธีการนี้นอกจากแท่งเทียบมาตรฐานต้องผ่านการสอบเทียบในระดับที่เหมาะสมแล้ว เครื่องสอบเทียบแท่งเทียบยังต้องมีคุณภาพและกำลังขยายสูงด้วย

การควบคุมอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการ มีความจำเป็นมากต่อการสอบเทียบที่ต้องการความแม่นยำสูง อุณหภูมิที่จะควบคุมนั้นขึ้นอยู่กับความยาวของแท่งเทียบ สัมประสิทธิ์การขยายตัว และค่าความไม่แน่นอนที่ต้องการ สำหรับห้องปฏิบัติการมาตรวิทยาได้ทำการสอบเทียบที่อุณหภูมิ 20 ± 1°C ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 65% เพื่อป้องกันการสึกกร่อนของแท่งเทียบและเครื่องมือ



รูปที่ 4.37 Schematic diagram of the electronic comparator

การเตรียมสำหรับการสอบเทียบ (Preparation for calibration)

1. **การเตรียมแท่งเทียบ** (Block preparation) สำหรับการสอบเทียบอย่างถูกต้องทั้งแท่งเทียบมาตรฐานและตัวอย่างจะต้องสะอาด และได้รับการตรวจสอบก่อนการสอบเทียบ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การทำความสะอาดแท่งเทียบมาตรฐาน มีดังนี้

1.1 เช็ดวาสลินออกจากแท่งเทียบมาตรฐาน

1.2 จากนั้นใช้อัลกอฮอล์หรือสารเคมีที่เหมาะเช็ด

1.3 ใช้ผ้าที่ไม่มีขน เช่น ชาร์มัว เช็ดให้สะอาด นำไปวางไว้บนพื้นที่เตรียมไว้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากัน หรือวางบนกระดาษหรือผ้าที่ไม่มีขน

สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำสูงๆ หรือสำหรับแท่งเทียบมาตรฐานระดับสูง การทำความสะอาดควรเพิ่มขึ้นอีก 2 ข้อ คือ

1.4 ทำความสะอาดด้วยเครื่องอุลตราโซนิค โดยการใส่แท่งเทียบมาตรฐานลงในอ่างของเครื่องอุลตราโซนิค ซึ่งมีอัลกอฮอล์อยู่ แล้วเปิดให้เครื่องทำงาน

1.5 ทำความสะอาดด้วยเครื่อง demagnetizer หลังจากทำความสะอาดด้วยเครื่องอุลตราโซนิคแล้ว ก็ใช้เครื่อง demagnetizer เพื่อกำจัดสนามแม่เหล็กในแท่งเทียบมาตรฐาน

2. **ช่วงเวลาที่วางแท่งเทียบมาตรฐานเพื่อให้อุณหภูมิคงที่** (Thermal Equalization Time) แท่งเทียบขนาดเล็ก (0.5 มม - 100 มม) หลังจากที่ทำความสะอาดแล้ว ควรวางไว้บนพื้นที่ควบคุม เพื่อให้อุณหภูมิเท่ากันก่อนทำการวัด สำหรับชิ้นที่มีขนาด 7 มม ขึ้นไป การเคลื่อนย้ายไปยังแกนรับ (anvil) ควรวางไว้ก่อน เพื่อให้อุณหภูมิเท่ากันกับแกนรับ แล้วจึงทำการวัด

ช่วงเวลาของการวางแท่งเทียบเพื่อให้อุณหภูมิเท่ากัน และเท่ากับอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการนั้น จะขึ้นอยู่กับขนาดของแต่ละชิ้น และความไม่แน่นอนที่ต้องการ

ขนาดของชิ้นความหนา (มม)	ช่วงเวลาเพื่อให้อุณหภูมิเท่ากัน (นาที)
0.5 - 6.5	30
7.5 - 25	60
50 - 100	90

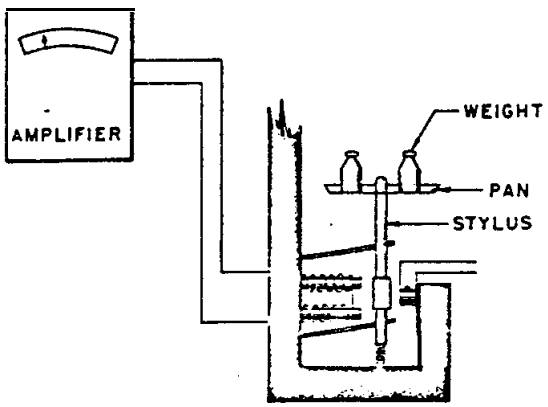
3. **การบำรุงรักษาแท่งเทียบมาตรฐาน**

- ต้องไม่จับแท่งเทียบมาตรฐานด้วยมือเปล่า ควรใช้ปากคีบ
- ไม่ควรวางแท่งเทียบมาตรฐานไว้บนพื้น เพราะจะทำให้สิ่งสกปรกจับหรือเกิดรอยขีดข่วนได้
- ควรวางไว้บนกระดาษที่ไม่มีขน
- แท่งเทียบมาตรฐานควรได้รับการสอบเทียบตามกำหนดเวลา
- ควรนำแท่งเทียบมาตรฐานออกมาทำความสะอาดบ้างตามสมควร
- หลังจากนำแท่งเทียบมาตรฐานออกมาใช้แล้ว ต้องทำความสะอาดและ grease กลับเสมอ

4. **การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์** (Linear Test for Transducer) เมื่อเครื่อง comparator ผิดปกติหรือสงสัยว่าผิดปกติ ต้องทำการตรวจสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์ การตรวจสอบทำได้ 2 วิธี คือ

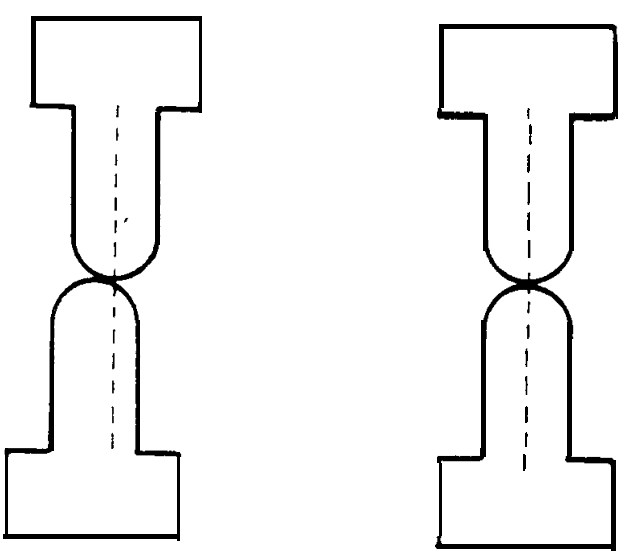
ก. **โดยวิธีใช้มวล** (The Weight Method) ทำได้ดังนี้

1. วางเครื่อง comparator บนพื้นที่ไม่มีการสั่น เปิดเครื่องไว้อย่างน้อย 30 นาที
2. ถอดแท่น (Platen หรือ anvil) ที่ใช้วางชิ้นความหนาออก
3. วางจานเล็กๆ ที่มีรูตรงกลางไปบนสไตลัส ดังรูปที่ 4.38



SET-UP FOR LINEARITY CHECK

รูปที่ 4.38 แสดงการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของทรานสดิวเซอร์

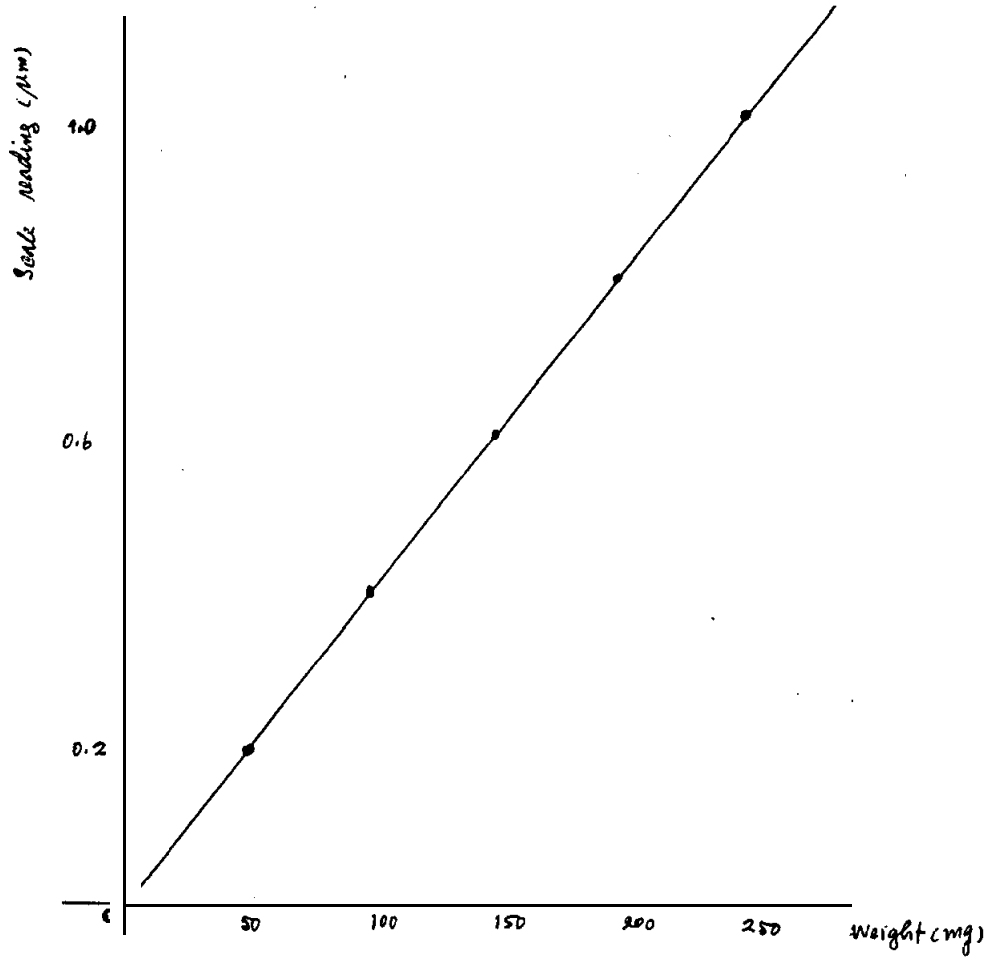


(a) wrong alignment (b) right alignment

รูปที่ 4.39 Alignment of the stylus axis

4. วางตุ้มน้ำหนักลงบนจาน เพื่ออ่านค่าจากมิเตอร์ (ด้านลบ) จากนั้นเพิ่มน้ำหนักมากขึ้นเรื่อยๆ เป็นจำนวนหนึ่งเท่าของน้ำหนักที่ใช้จนกว่าจะอ่านค่าได้เต็มสเกล (ด้านบวก) จากนั้นก็เอาน้ำหนักออกทีละอัน และอ่านค่าจากมิเตอร์จนกว่าน้ำหนักจะหมด ทำหลายๆ ครั้งและหาค่าเฉลี่ย

5. นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างน้ำหนักกับค่าที่อ่านได้ กราฟที่ได้ควรจะเป็นเส้นตรง ถ้าทรานสดิวเซอร์เป็นเชิงเส้น ดังกราฟรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 กราฟระหว่างน้ำหนักและค่าที่อ่านได้

ข. **โดยวิธีใช้ชิ้นความหนา** (The Gauge Block Method) วิธีนี้ไม่ต่างจากวิธีแรก สามารถทำได้รวดเร็ว โดยใช้ชิ้นความหนาที่มีขนาดต่างกันประมาณ 0.020 ไมโครเมตร

1. ใส่ชิ้นความหนาที่มีขนาดเล็กกว่าเข้าไปบนเครื่องสอบเทียบชิ้นความหนา และตั้งค่าให้เป็นศูนย์ (ทำหลายๆ ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย)

2. ใส่ชิ้นความหนาอีกชิ้นหนึ่งที่ใหญ่กว่าเข้าไปแทนที่ อ่านค่าและทำหลายๆ ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

ความแตกต่างที่ได้จากทั้งสองครั้ง ควรจะเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ถ้าทรานสดิวเซอร์เป็นเชิงเส้น

5. **การปรับกำลังขยาย** (Magnification Adjusting) ควรตรวจสอบกำลังขยายของเครื่องสอบเทียบทุกวันจนกว่าจะได้ข้อมูลซึ่งแน่ใจว่า กำลังขยายของเครื่องคงที่แล้ว (stability) จากนั้นจะตรวจสอบทุกสัปดาห์หรือสองสัปดาห์ก็พอ

การสอบเทียบ (Calibration)

1. **หลักการสอบเทียบแท่งเทียบมาตรฐาน** การสอบเทียบความยาวของแท่งเทียบมาตรฐานนั้น จะต้องคำนึงถึงระดับชั้นของแท่งเทียบมาตรฐานเป็นสำคัญ หลักการสอบเทียบจะใช้วิธีการเปรียบเทียบโดยใช้แท่งเทียบมาตรฐานในระดับชั้นที่สูงกว่า (ซึ่งถือว่าเป็นมาตรฐาน) มาเปรียบเทียบกับระดับชั้นที่ต่ำกว่า (ซึ่งถือว่าเป็นตัวอย่าง) ค่าความยาวที่แตกต่างกัน จะบ่งชี้ว่าชิ้นความหนาตัวอย่างมีความยาวต่างจากตัวอย่างที่เป็นมาตรฐานเพียงใด

วิธีดำเนินการสอบเทียบ (opearting procedure) หลังจากได้ทำตามขั้นตอนต่างๆ แล้ว เครื่อง comparator ก็พร้อมจะทำงาน แอมปลิไฟเออร์มีสวิทช์ 2 แบบ คือ STEP (A) และ STEP (B)

การสอบเทียบความยาวของชิ้นความหนาของแท่งเทียบจะทำที่จุดกึ่งกลาง (central point) ของผิวหน้าของชิ้นความหนา ชิ้นความหนาที่ใช้เป็นมาตรฐานควรมี

ความถูกต้องสูงกว่าชิ้นที่นำมาสอบเทียบ การถ่ายความถูกต้องนี้ชิ้นความหนาทั้งสองต้องทำมาจากวัสดุชนิดเดียวกัน

วิธีดำเนินการสอบเทียบด้วยเครื่อง Electronic comparator มีดังนี้

1. เปิดเครื่องสอบเทียบ และแอมปลิไฟเออร์ไว้อย่างน้อย 30 นาทีก่อนทำการวัด

2. ปรับสวิทช์เลือก (selector switch) ไปที่ METRIC

3. ตั้งปุ่ม ZERO CONTROL ไปที่ 500

4. หมุน lifting lever ที่อยู่บนเครื่องสอบเทียบชิ้นความหนาไปที่ตำแหน่ง RETRACT

5. หมุน hand wheel เพื่อปรับ reference contact ให้เหมาะสมกับชิ้นความหนาของแต่ละขนาด

6. วางชิ้นมาตรฐานบน platen ให้ตรงกลางอยู่บน sensitive contact

7. หมุน lifting lever ไปตำแหน่ง GAGE

8. หมุน hand wheel ลงไปจนกว่ามิเตอร์จะอ่านค่าได้ประมาณศูนย์

9. หมุน lifting lever ไปที่ตำแหน่ง RETRACT

10. จากนั้นให้ lock hand wheel ไว้

11. หมุน lifting lever ไปที่ตำแหน่ง GAGE อีกครั้งหนึ่ง

12. ปรับ ZERO CONTROL เพื่อให้มิเตอร์อ่านได้เท่ากับศูนย์

13. หมุน lifting lever กลับไปที่ตำแหน่ง RETRACT

14. เลื่อนชิ้นความหนาเข้าออกหลายๆ ครั้ง เพื่อตรวจสอบว่ามิเตอร์อ่านค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ ถ้าไม่ได้ให้กลับไปทำใหม่

15. เปลี่ยนเอาชิ้นที่ต้องการสอบเทียบเข้าไปแทนที่ชิ้นมาตรฐาน

16. หมุน lifting lever ไปที่ตำแหน่ง GAGE บันทึกผลการอ่านได้จากมิเตอร์

17. ทำซ้ำอีก 4 ครั้ง

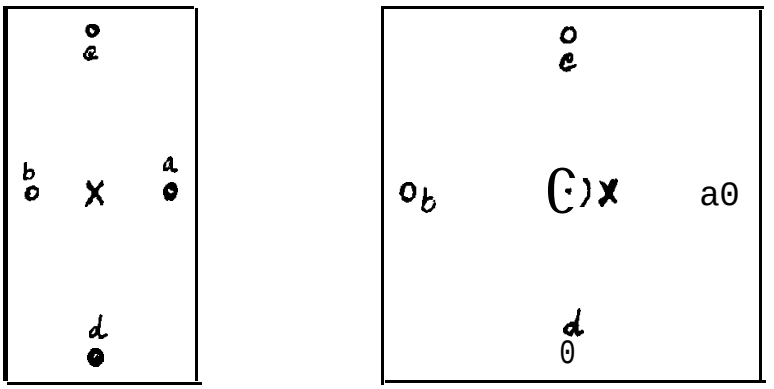
18. นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณ

ตัวอย่างการสอบเทียบแท่งเทียบมาตรฐาน ดูได้จากภาคผนวกที่ 5

2. **การวัดความขนาน (Parallelism Measurement)** มีหลายวิธีในการวัดความขนานของแท่งเทียบ ใช้ Electronic comparator วัดความขนาน (parallel) ระหว่างผิวหน้าของชิ้นความหนา โดยตั้งค่ามิเตอร์เป็นศูนย์ที่จุดวัด x ของชิ้นความหนา จุดที่จะวัดต่อไปคือ a, b, c และ d ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.41 ทุกๆ จุดจะวัดตรงกึ่งกลางของด้าน โดยวัดถัดเข้ามาประมาณ 0.5 มม เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดเนื่องจากขอบ คำนวณความขนานได้จาก

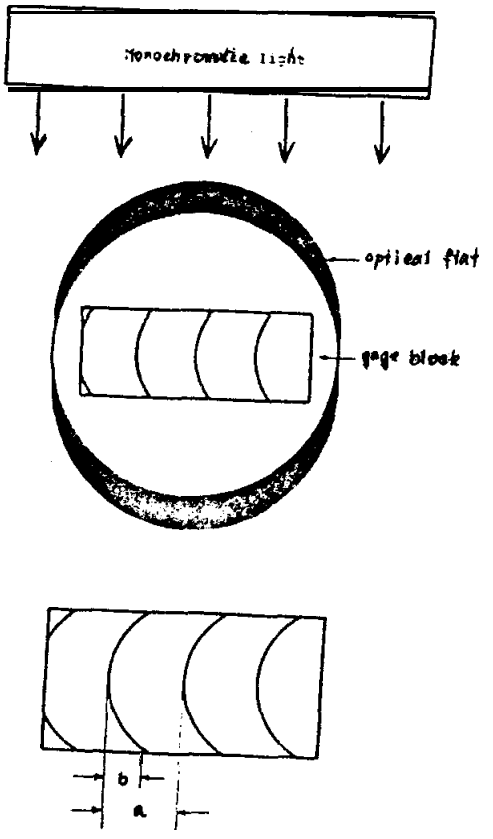
ความขนานตามความกว้างของแท่งเทียบ = a - b

ความขนานตามความยาวของแท่งเทียบ = c - b



รูปที่ 4.41 แสดงตำแหน่งการวัดความขนาน

3. **การวัดความเรียบผิว (Gauge** Block Flatness Measurement) การวัดความเรียบผิวของแนความหนา วัดได้จากการนับริ้ว(fringe) ที่เกิดจากแสงเอกรงค์บนผิวของชิ้นความหนาโดยใช้แว่นแก้วเรียบ (optical flat) อ้างอิงที่รู้ค่าความเรียบผิว ดังแสดงในรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 แสดงการวัดความเรียบผิว

จำนวนและตำแหน่งของริ้วเปลี่ยนได้โดยการปรับมุมระหว่างแว่นแก้วเรียบกับผิวของชิ้นความหนา จุดที่เกิดขึ้นบนริ้วทุกๆ จุดเกิดด้วยมุมที่เท่ากัน ค่าความผิดพลาดของความเรียบผิว (flatness) คำนวณได้จาก

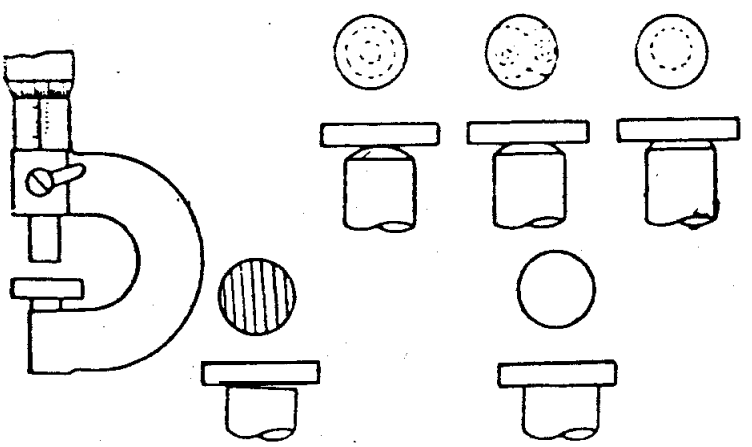
$$\text{flatness error} = (b/a) \times (\lambda/2)$$

เมื่อ λ = ความยาวคลื่นของแสงเอกรงค์

4.4.2 การสอบเทียบไมโครมิเตอร์

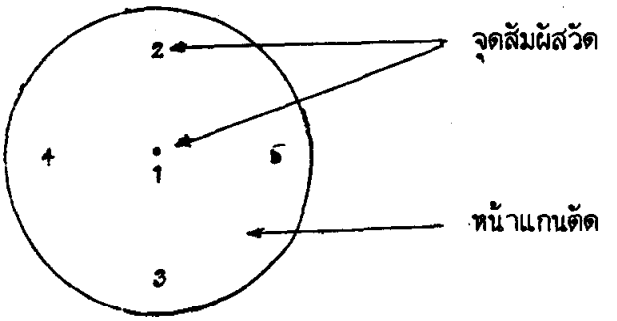
4.4.2.1 ความราบเรียบของปลายหน้าสัมผัสวัด

การตรวจสอบความราบเรียบของปลายหน้าสัมผัสวัดได้ดีที่สุด จะต้องตรวจสอบด้วยแว่นแก้วเรียบ แว่นแก้วเรียบที่ใช้วัดความเรียบนี้โดยทั่วไปใช้ขนาดโต (O.D) 45 มม หรือ 60 มม ดูรูปที่ 4.42 การตรวจสอบทำได้โดยเช็ดทำความสะอาดแว่นแก้วเรียบให้ใส ไม่ให้มีรอยขนแมวติดอยู่ สอดแว่นแก้วเรียบเข้าไปวางระหว่างแกนรับกับแกนวัดดังแสดงในรูปที่ 4.43 โดยที่แกนวัดกับแกนรับต้องทำความสะอาดด้วยเช่นกัน เมื่อแสงสว่างตกกระทบแก้วเรียบและส่องผ่านลงไปกระทบกับปลายหน้าสัมผัสวัดของไมโครมิเตอร์ จะสะท้อนกลับขึ้นมาผ่านแก้วเรียบและสะท้อนให้ตามองเห็นเป็นวงแสงเกิดขึ้น วงแสงที่สะท้อนบนแก้วเรียบนี้จะเกิดเป็นสีที่เปลี่ยนไปตามแหล่งกำเนิดแสง (Colored Interference Bands) และวงแสงจะมีจำนวนของวงตามขนาดของความเรียบ และลักษณะของวงแสงสะท้อนจะมีรูปร่างเป็นไปตามสภาพของหน้าสัมผัสวัด ในการกำหนดขนาดของความเรียบ คิดได้จากจำนวนของวงแสงสะท้อน วงแสง 1 วง มีค่าขนาดความเรียบเท่ากับ 0.32 ไมโครเมตร ดูรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.43

4.4.2.2 **ความขนานของหน้าสัมผัสวัดโดยใช้แท่งเทียบ** จุดที่ทำการวัดหาความแตกต่างทำเพียง 5 จุดบนหน้าสัมผัสวัดของไมโครมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 หน้าสัมผัสวัดของแกนไมโครมิเตอร์

โดยวางแท่งเทียบให้อยู่ระหว่างจุดวัดทั้งสองของไมโครมิเตอร์ที่ใช้แรงกระทำในการวัดงานทำการวัดและอ่านค่าในตำแหน่งจุดวัดบนแกนไมโครมิเตอร์จุดที่ 1 และอีก 4 จุดในจุดที่ 2 ถึงจุดที่ 5 ตามขอบรอบวงบนผิวหน้าแกนวัด โดยใช้แท่งเทียบขนาด 1.5 มม หรือ 2 มม

เมื่อวัดครบ 5 จุดแล้ว แต่ละจุดจดบันทึกค่าไว้และนำมาประเมินผลความขนานจากผลการวัดแต่ละจุด ถ้าไม่เท่ากันแสดงว่าไม่ขนาน ถ้าผลการวัดออกมาเท่ากันหมดทุกจุดสรุปผลได้ว่าพื้นผิวสัมผัสวัดนั้นขนานกันสมบูรณ์ ตัวอย่างการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ ดูได้จากภาคผนวกที่ 6