บทที่ 4
เครื่องมือวัดที่ทำการทดลอง GRR

4.1 เครื่องมือวัดความหนาด้วยกล้องไมโครสโคป (MICROSCOPE)

หลักการ

วิธีการตรวจสอบแบบนี้จัดอยู่ในวิธีการตรวจสอบแบบทำลาย ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการทดสอบแบบปกติทุกวัน (Routine Tests) เพราะการวัดความหนาที่จำเป็นต้องใช้ กล้องไมโครสโคป โดยทั่วไปมักจะใช้สำหรับชิ้นงาน แผ่นพิมพ์วงจรที่ผ่านการทำ Microsection เพื่อวัดความหนาของทองแดงในรูซึ่ง เครื่องมือวัดประเภทอื่นๆไม่สามารถจะวัดความหนาแบบนี้ได้ โดยทั่วๆไป กล้องไมโครสโคปจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1.แบบ STEREO MICROSCOPE

2.แบบ METALLURGY MICROSCOPE

4.1.1 STEREO MICROSCOPE

หลักการ

เป็นแบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องมาจาก มีราคาไม่แพงและง่ายต่อการใช้งาน แต่ก็มีข้อเสีย ก็คือ จะให้กำลังขยายได้ไม่มากเท่ากับแบบ Metallurgy Microscope โดยทั่วๆไป กำลังขยายที่สูงที่สุดของกล้องแบบ Stereo คือ 100 เท่า อย่างไรก็ตาม พนักงานวัดสามารถใช้กล้องแบบนี้ได้ง่าย สำหรับ การวัดความหนาแผ่นพิมพ์วงจร,ความหนาทองแดงในรู เป็นต้น ด้วย eyepiece micrometer

Eyepiece Micrometer คือ การวัดที่มีสเกลสำหรับวัดอยู่ที่ช่อง eyepiece ด้านใดด้านหนึ่ง เมื่อพนักงานวัดต้องการวัดความหนาของแผ่นพิมพ์วงจร หรือ ทองแดง ก็สามารถทำได้โดยการใช้ สเกลที่ช่อง eyepiece ไปทาบกับบริเวณที่จะวัด แล้วอ่านจำนวนช่องบนสเกลออกมา แล้วนำจำนวนช่องที่อ่านได้นั้นมาคำนวณหาความหนา

การวัดความหนาด้วยกล้องแบบนี้สามารถถ่ายรูปชิ้นงานได้ (Photographing a Microsection through a Stereo Microscope)

รูปที่ 4.1 แสดงภาพการใช้งานของกล้อง STEREO MICROSCOPE

4.1.2 METALLURGICAL MICROSCOPE

หลักการ

เป็นแบบที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับการวัดที่มีความละเอียด และ สามารถใช้กำลังขยายได้ถึง 1000 เท่า เป็นอย่างต่ำ

ลักษณะการใช้งานก็สะดวกสำหรับพนักงานวัดมากขึ้น เพราะว่า ชิ้นงานจะวางอยู่ด้านบนและ สามารถปรับจุดโฟกัสเพียงครั้งเดียว ตลอดการใช้งาน ไม่ว่าจะเลื่อนแท่นวางขึ้นหรือลง จุดโฟกัสของภาพก็จะไม่เปลี่ยนแปลง และสามารถถ่ายรูปชิ้นงานได้ (Photographing Microsection through a Metallurgical Microscope)

รูปที่ 4.2 แสดงภาพการใช้งาน METALLURGICAL MICROSCOPE

4.1.3 วิธีการใช้กล้องไมโครสโคป

1.เตรียมชิ้นงานที่ได้มาจากการทำ Microsection ที่มีขนาด 1 x 2 cm. จำนวน 10 ชิ้น และอยู่ใน Part No. เดียวกัน

2.ทำเครื่องหมายลงบริเวณที่จะทำการวัดความหนา และ กำหนดหมายเลขชิ้นงานตั้งแต่หมายเลข 1 ถึง 10

3.วางชิ้นงานลงบน Mouse เพื่อความสะดวกในการวัด

4 ใช้กล้องที่กำลังขยาย 10 เท่า

5.วาง M use ลงบนแท่นวางสำหรับที่จะส่องกล้องวัดความหนา และมองที่ช่อง eye's piece พร้อมกับปรับจุดโฟกัสให้ภาพชัดเจน

6.วัดความหนาโดยผ่าน เลนส์ eye's piece ที่มีขีดสเกลสำหรับการวัดอยู่

7.เมื่อนับจำนวนขีดสเกลแล้วก็นำมาเปิดตารางเปรียบเทียบจำนวนช่องกับความหนาที่มีหน่วยเป็น มิลลิอินช์ (1/1000 นิ้ว)

กล้องไมโครสโคปที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้กล้องประเภท STEREO MICROSCOPE

4.2 เครื่องมือวัดความหนาแผ่นลามิเนตที่ผ่านการชุบทองแดงโดยไม่ใช้ไฟฟ้า(THICK-CHECK)

หลักการ

วิธีการตรวจสอบแบบนี้จัดอยู่ในวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Test) ซึ่งเหมาะสำหรับการทดสอบแบบปกติทุกวัน (Routine Test) อีกทั้งยังรวดเร็วในการวัดผล,อ่านค่า และให้ค่าที่เชื่อถือได้ถึงทศนิยม 3 ตำแหน่ง

4.2.1 โครงสร้าง

เครื่องวัดความหนา มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

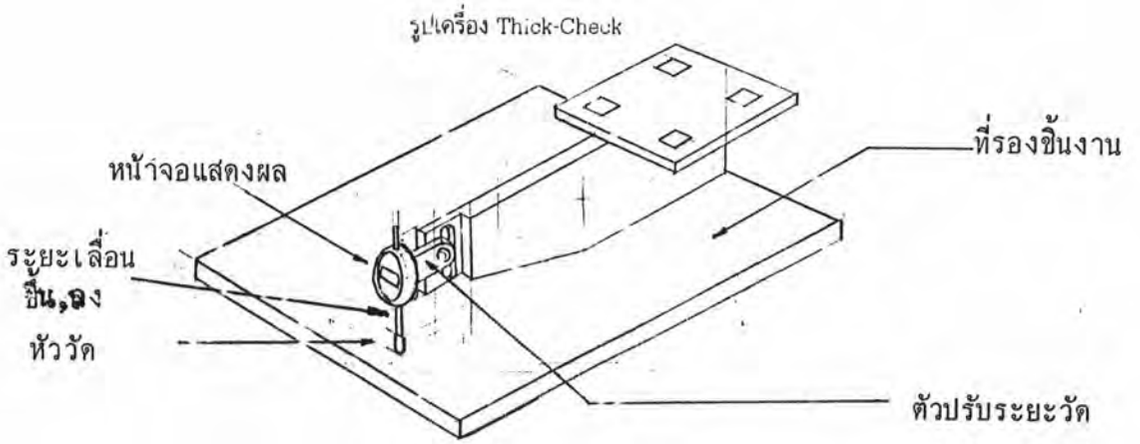
1.แท่นสำหรับวางแผ่นลามิเนต (Plate Surface)

2.หัววัด (Indicator)

3.แกนวัดที่สามารถเลื่อนขึ้นลงได้

4.หน้าปัดแสดงผลที่เป็นตัวเลข

รูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้างของเครื่องวัดความหนา



4.2.2 วิธีการใช้เครื่องวัดความหนา

1.ก่อนที่จะเริ่มวัด กดปุ่ม SET ZERO ที่บริเวณหน้าปัดเพื่อให้ค่าเริ่มต้นเป็น 0.000

2.เลือกหน่วยที่ต้องการจะวัดโดยกดปุ่ม INCH(นิ้ว) หรือ mm.(มิลลิเมตร)ที่บริเวณหน้าปัด

3.วางแผ่นลามิเนตลงบนแท่นวาง (Plate Surface) โดยยกหัววัดขึ้นเพื่อจะได้วางแผ่นลามิเนตได้เต็มแผ่นและในขณะที่ยกหัววัดขึ้นมาให้ยกอย่างระมัดระวัง ไม่ควรยกอย่างรุนแรงจนเกินไป

4.ค่อยๆวางหัววัดลงบนแผ่นลามิเนตในจุดที่เราต้องการวัดความหนา

5.อ่านค่าที่วัดได้จากหน้าปัดที่แสดงผล

6.ควรวัดที่จุดอื่นๆบนแผ่นลามิเนตเดิมอีกครั้ง โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้อ 1-5

4.3 เครื่องมือวัดความหนาของโลหะบางๆ (Coating Measurement Instument,CMI)

หลักการ

ในปัจจุบันมีวิธีการวัดความหนาของโลหะเคลือบบางๆ(Coating)บนแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าอยู่ทั้งหมด 5 วิธีซึ่งวิธีต่างๆเหล่านี้จัดว่าเป็น วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย(Nondestructive Method)

1.วิธี X-ray Fluorescence

2.วิธี Eddy Current

3.วิธี Magnetic Induction

4.วิธี Beta Backscatter

5.วิธี Microresistance

4.3.1 วิธี X-ray Fluorescence

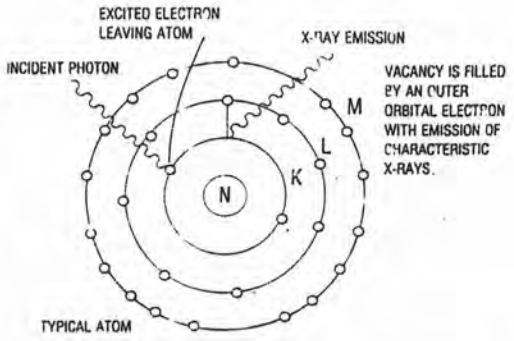
หลักการ

เมื่อวัตถุได้รับการกระตุ้นจากรังสีเอ็กซ์(X-ray)อิเลคตรอนที่ได้รับพลังงานและอิเลคตรอนที่คายตัวออกไปก็จ ได้รับการทดแทนจากอิเลคตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า พร้อมกับมีการคายพลังงานรังสีเอ็กซ์ หรือที่รู้จักกันในชื่อ X-ray Fluorescence

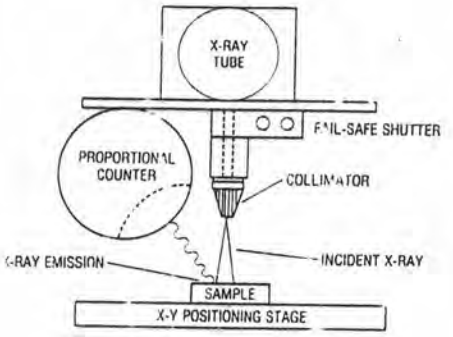
ระดับพลังงานของ รังสีเอ็กซ์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเลขอะตอมของแต่ละธาตุที่อยู่ในโลหะ และสามารถนำไปคำนวณหาค่าความหนาของโลหะเคลือบบางๆ(Coating)

วิธีการนี้จะเหมาะสมกับ โลหะเคลือบบางๆที่อยู่กันเป็นคู่ๆ เช่น ความหนาทองบนนิกเกิล

รูปที่ 4.4 แสดงหลักการทำงานวิธี X-Ray Fluorescence (1)



Result of X-ray bombardment of a material



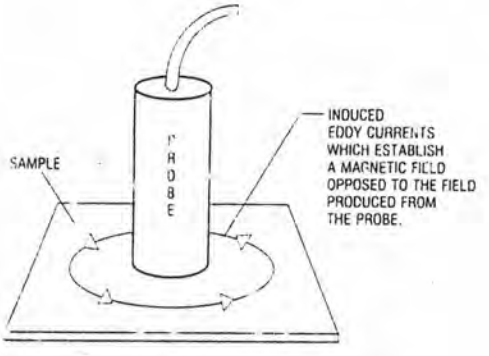
X-ray fluorescence measurement.

4.3.2 วิธี Eddy Current

หลักการ

เทคนิคการวัดแบบนี้จะใช้สำหรับวัดความหนาของโลหะบางๆที่ไม่มีคุณสมบัติแม่เหล็ก เช่น สังกะสี,แคดเมียม,ทองแดง และคุณสมบัติการนำไฟฟ้า เช่น สี,สารอะโนไดส์ ที่เคลือบอยู่บนวัตถุที่ไม่ใช่โลหะบางเภทเหล็ก เช่น อลูมิเนียม

รูปที่ 4.5 แสดงหลักการทำงานวิธี Eddy Current



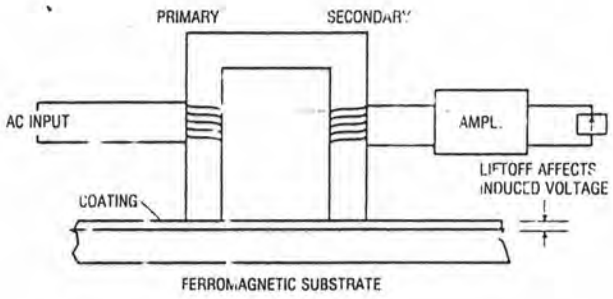
Eddy-current method.

4.3.3 วิธี Magnetic Induction

หลักการ

จะใช้สำหรับวัดความหนาของโลหะที่ไม่มีคุณสมบัติแม่เหล็ก เช่น สังกะสี,แคดเมียม, สีรองพื้น(สีฝุ่น) ที่เคลือบอยู่บนวัตถุที่เป็นโลหะประเภทเหล็ก

รูปที่ 4.6 แสดงหลักการทำงานวิธี Magnetic Induction



Magnetic induction probe

4.3.4 วิธี Beta Backscatter

หลักการ

จะใช้สำหรับการวัดความหนาของทอง บน นิกเกิล

4.3.5 วิธี Microresistance

หลักการ

จะใช้สำหรับวัดความหนาของของโลหะเคลือบบางๆที่อยู่ในรู (Plated Through Holes) และ วัดความหนาของ องแดงที่อยู่บนผิว

ตารางที่ 4.1 แสดงการเลือกวิธีการวัดที่เหมาะกับประเภทความหนาของโลหะบางๆที่เคลือบบนแผ่นวงจรไฟฟ้า

โลหะเคลือบบางๆ	วิธี				
	X-ray	Eddy Current	Magnetic Induction	Beta Backscatter	Micro-resistance
ทอง	/			/	/
ทองบางนิกเกิล	/		/	/	
ดีบุกตะกั่ว	/		/	/	
สารประกอบดีบุกตะกั่ว	/			/	
ทองแดง	/	/	/	/	/
ทองแดงในรู			/	/	/
สีรองพื้น		/	/		
สังกะสี	/	/	/	/	
แคดเมียม	/	/	/	/	
นิกเกิล	/	/	/	/	
โครเมียม		/	/	/	
สี		/	/		
อะโนไดส์		/		/	
อิเลคโตรเพลต นิกเกิล	/	/	/		
อิเลคโตรเลส นิกเกิล	/		/		

ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกวิธีการวัด

1.การพิจารณาค่า Repeatability and Reproducibility (R&R)

2.ส่วนประกอบของเครื่องมือวัด

3.ค่าใช้จ่าย

4.ประเภทของโลหะเคลือบ

5.สถานะของระบบการผลิต

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่องวัดประเภท X-ray Fluorescence

4.3.6 วิธีการใช้เครื่อง Coating Measurement Instrument

1.ใส่แผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า ลงในช่องสำหรับการฉายรังสีเอ็กซ์

2.เลือกตำแหน่งของการวัดโดยให้เครื่องหมาย + ที่อยู่ตรงกลางจอภาพให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของจุดที่จะวัดความหนาของโลหะเคลือบ

3.ปรับความคมชัด(Focus) ของภาพที่ปรากฏบนหน้าจอ

4.จากหน้าจอ Main ให้เลือก Measure เลือกรายการที่จะวัด ตัวอย่างเช่น SNPBCU

5.เครื่องจะขึ้นคำถามว่า ลบข้อมูลการวัดเก่าหรือไม่ (Clear Prior Stats For This Calibration?)

-ให้ตอบ YES ถ้าจะลบแน่นอน

-ให้ตอบ NO ถ้าต้องการวัดเป็นลำดับต่อเนื่องจากเดิม(ถ้าเปลี่ยนงานให้ตอบ YES)

6.เครื่องจะขึ้นคำว่า จบแน่หรือไม่ (Are You Sure?)

-ตอบว่า YES ถ้าจะลบแน่นอน

-ตอบว่า NO ถ้าไม่ลบ(ถ้าตอบว่า NO ที่นี่ การตอบ YES ในหัวข้อที่ 2 ไม่มีผล)

โดยปกติถ้าเปลี่ยนงานที่จะวัด จะตอบ YES

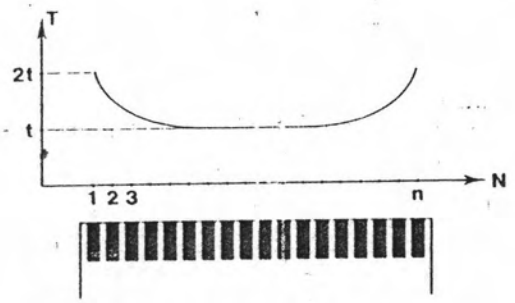
7.นำตำแหน่งที่ต้องการวัดให้อยู่ตรงกลางเป้า เลือกกด START รอ 5 วินาที จะปรากฏค่าความหนาที่วัดได้ในหน้าจอภาพ ให้ลำดับการวัดในแต่ละครั้ง ถ้ามีการวัดผิดให้เลือกกด CLEAR

8.วัดครบจุดหรือจำนวนที่ต้องการวัดและต้องการดูข้อมูลทางสถิติให้เลือกกด STATISTICS และ เลือกกด STATISTICS อีกครั้งจะมีข้อมูลทางสถิติให้ดูหน้าจอภาพ

การเลือกจุดที่ทำการวัด

ควรจะเลือกขาทองที่จะทำการวัดความหนาบริเวณที่อยู่ตรงกลางๆ เพราะว่า ขาทองที่อยู่บริเวณด้านริมทั้ง 2 ด้าน จะมีความหนาทองที่สูงมาก เนื่องมาจากในขณะที่ทำการชุบทอง บริเวณริมจะมีกระแสไฟฟ้าเข้ามาก จึงทำให้เกิดความหนาทองในบริเวณนี้สูง(เกิด higher current density) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยกราฟรูปที่

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความหนาของทองบริเวณขาทองตำแหน่งต่างๆ



(จากหนังสือ *Quality Assessment of Printed Circuit Boards*)

4.4.เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์(VERNIER CALIPER)

หลักการ

เวอร์เนียร์พื้นฐานมี 4 ชนิด ได้แก่ M1,M2,CB และ CM มาตรฐาน JIS ได้กำหนดรูปลักษณะของเวอร์เนียร์ที่ใช้วัดความยาวต่ำกว่า 1,000 มิลลิเมตร ไว้ดังนี้

4.4.1 ชนิด M

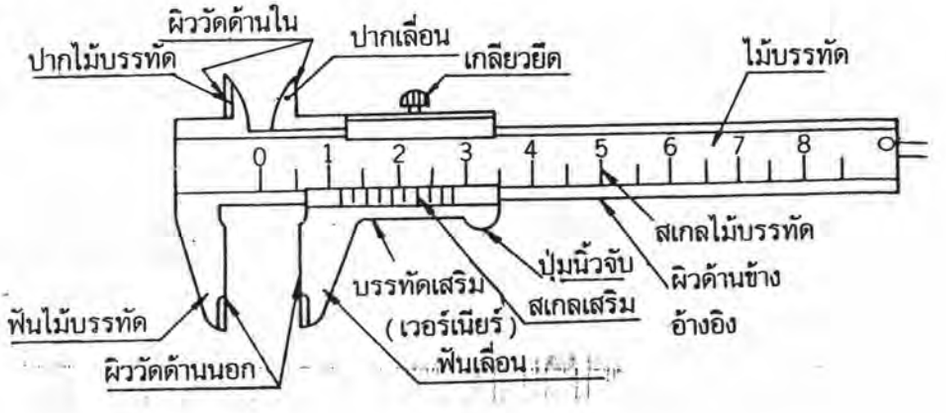
เวอรเนียร์ชนิดนี้อาจเรียกเป็น แบบโมเซล ที่มีตัววัดความลึก หรือเรียกว่า ชนิดดีเคลก็ได้ เป็นชนิดที่ใช้งานกันทั่วไปมากที่สุด ตัวเลื่อน (ไม้บรรทัดเสริม = เวอร์เนียร์) มีรูปทรงเป็นร่องสเกลเสริมมีขนาด 19 มม. แบ่งเป็น 20 ส่วนเท่าๆกัน หน่วยวัดมีขนาด 0.05 มม.(1/20 มม.)

การวัดผิวด้านนอกจะใช้ฟันจับ ส่วนการวัดผิวด้านในใช้ปากจับโดยการเลื่อนตัวเลื่อนไปมาให้ได้ขนาด ในกรณีที่ขนาดความยาวสูงสุดในการวัด(ขนาดที่วัดได้)ไม่เกิน 300 มม. จะมีแท่งวัดความลึกอยู่ด้วย ใช้วัดรูปทรงที่เป็นขั้นหรือความลึกของรูได้ ซึ่งเป็นลักษณะเด่นพิเศษของเวอร์เนียร์ชนิด M

ในกรณีที่มีเกียร์เลื่อนติดไว้ที่ไม้บรรทัดเสริมทำให้การเลื่อนส่งเป็นไปได้อย่างละเอียดมากขึ้นจะเรียกเป็นชนิด M2 สำหรับชนิดที่เลื่อนส่งอย่างละเอียดไม่ได้เรียกเป็นชนิด M1

รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้าง เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ ชนิด M

ชนิด M.1



4.4.2 **ชนิด CB**

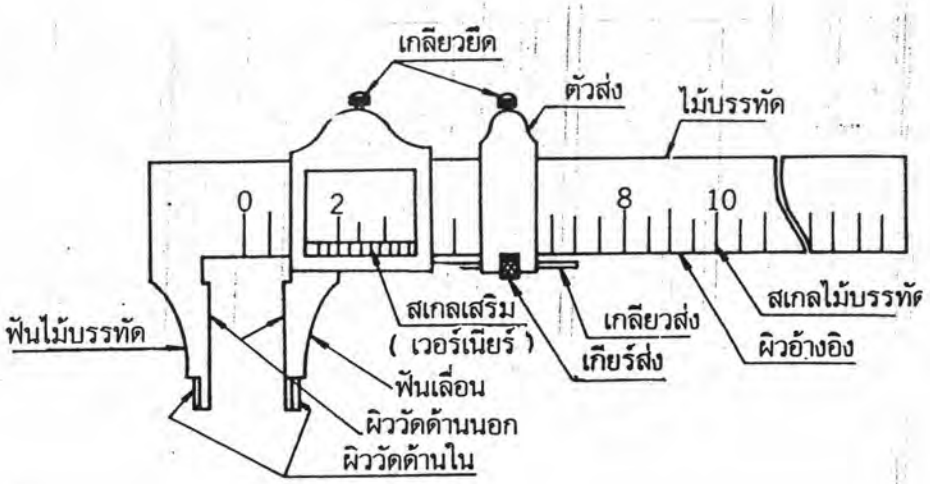
เวอร์เนียร์ชนิดนี้อาจเรียกว่า ชนิด บราวน์ชาร์ป หรือ ชนิดสตาร์เล็ท ก็ได้ สเกลของไม้บรรทัดมีหน่วยวัดขนาด 0.5 มม. ไม้บรรทัดเสริมจะมีสเกลขนาด 12 มม. แบ่งเป็น 25 ส่วนเท่าๆ กัน ทำให้ความเที่ยงตรงในการวัดสูงสามารถวัดได้ถึงหน่วยวัดขนาด 0.02 มม.(1/50 มม.) แต่เนื่องจากสเกลมีขนาดเล็กจึงทำให้เกิดปัญหาในการอ่านค่าได้ค่อนข้างยาก

ตัวเลื่อนจะมีรูปทรงเป็นกล่อง ใช้ฟันเป็นตัววัดทั้งผิวในและผิวด้านนอก ไม่มีแท่งวัดความลึกอยู่ การเลื่อนส่งไม้บรรทัดเสริมจะมีอุปกรณ์ส่งละเอียดอยู่ด้วย การปรับสเกลให้ตรงกันทำได้ง่าย จึงใช้ร่วมกับเขาควายหรือไมโครมิเตอร์ได้สะดวก

แต่ทว่า เนื่องจากผิวหน้าที่ใช้วัดมีความกว้างอยู่ การวัดผิวด้านในที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่าความกว้างของผิวหน้าที่ใช้วัด (ชนิดเล็กที่สุดมีขนาด 5 มม.) จะทำไม่ได้ในกรณีที่วัดได้จะต้องบวกขนาดความกว้างของผิวหน้าที่ใช้วัดเข้ากับค่าที่อ่านได้ จึงจะได้ค่าที่แท้จริง

รูปที่ 4.9 แสดงโครงสร้าง เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ ชนิด CB

ชนิด CB

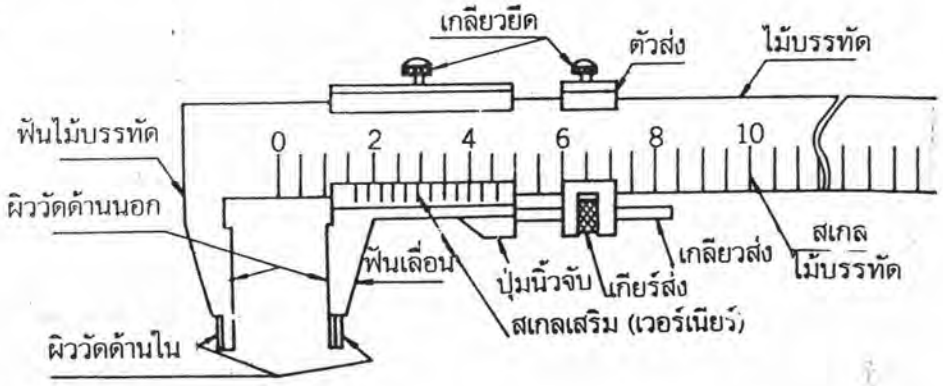


4.4.3 **ชนิด CM**

เวอร์เนียร์ชนิดนี้อาจเรียกว่า เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ชนิดโมเซล หรือเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบเยอรมันก็ได้ รูปทรงจะเหมือนกับชนิด CB และมีอุปกรณ์เลื่อนส่งอย่างละเอียดติดอยู่ ตัวเลื่อนจะมีรูปทรงเป็นร่อง หน่วยวัดจะเหมือนกับชนิด CB คือ 0.02 มม.แต่สเกลของไม้บรรทัดจะมีขนาด 1 มม.สเกลของไม้บรรทัดเสริมมีขนาด 49 มม.แบ่งเป็น 50 ส่วนเท่าๆกัน เนื่องจากไม้บรรทัดเสริมมีขนาดใหญ่ การอ่านสเกลจึงทำได้ง่ายขึ้น ลักษณะอื่นๆนอกจากนี้จะเหมือนชนิด CB

รูปที่ 4.10 แสดงโครงสร้าง เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ ชนิดCM

ชนิด CM



4.4.4 **ชนิด อื่นๆ**

นอกจากเวอร์เนียร์ชนิดต่างๆดังกล่าวแล้วข้างต้น ยังมีเวอร์เนียร์วัดความหนาของฟันเกียร์ที่ใช้วัดขนาดความหนาของฟันเฟืองต่างๆ เวอร์เนียร์วัดความลึกที่ใช้วัดความลึกของรูหรือความสูงของรูปทรงขั้นบันได เวอร์เนียร์วัดระยะของรูทรงกลมที่ใช้วัดช่วงห่างระหว่างรูที่มีขนาดเท่ากันหรือวัดตำแหน่งของรูจากขอบชิ้นงาน และ เวอร์เนียร์วัดด้านในที่ใช้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในโดยเฉพาะ

4.4.5 หลักการของเวอร์เนียร์และการอ่านค่าจากสเกล

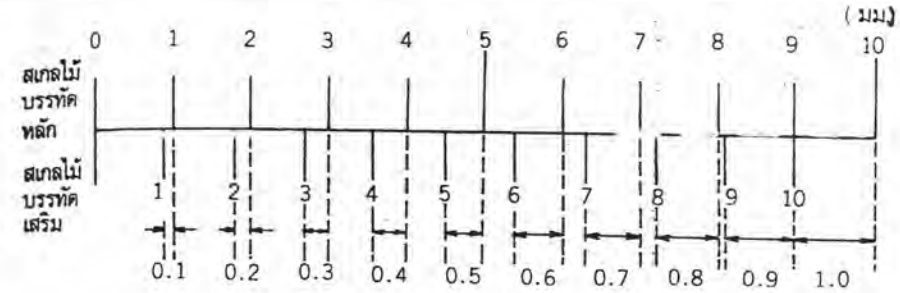
หน่วยวัดค่าที่ต่ำที่สุดของเวอร์เนียร์ คือ 0.02 มม. และ 0.05 มม. การอ่านค่า 0.5 และ 1.0 มม. นั้นจะใช้ไม้บรรทัดหลัก ส่วนค่าที่ต่ำกว่านั้นจะใช้อ่านจากไม้บรรทัดเสริม(เวอร์เนียร์)

หลักการของเวอร์เนียร์(ไม้บรรทัดเสริม)

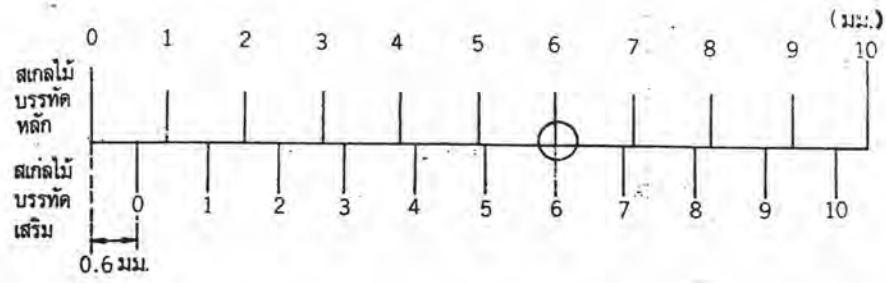
ลองพิจารณาตัวอย่างจากเครื่องมือวัดที่มีไม้บรรทัดหลักที่มีสเกล 1 มม.ไม้บรทัดเสริมหรือเวอร์เนียร์มีสเกล 9 มม.แบ่งเป็น 10 ส่วนเท่าๆกัน จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าความยาว 1 ช่องสเกลของเวอร์เนียร์จะมีความยาว 0.9 มม.

จากนั้นให้ลองเลื่อนเวอร์เนียร์ตามรูปที่ 2 โดยนำเลข 6 ของเวอร์เนียร์มาตรงกับเลข 6 ของไม้บรรทัดหลัก จะได้ระยะเหลื่อมระหว่างไม้บรรทัดหลักและเวอร์เนียร์เป็น 0.6 มม.

รูปที่ 4.11 แสดงหลักการของเวอร์เนียร์(1)



รูปที่ 4.12 แสดงหลักการของเวอร์เนียร์(2)



ช่องสเกลเล็กที่สุดของไม้บรรทัดหลัก(มม.)	ลักษณะสเกลของเวอร์เนียร์	ค่าที่น้อยที่สุดที่อ่านได้(มม.)
0.5	12 มม. แบ่ง 25 ส่วนเท่าๆกัน	0.02
	24.5 มม.แบ่ง 25 ส่วนเท่าๆกัน	
1.0	49 มม. แบ่ง 50 ส่วนเท่าๆกัน	
	19 มม. แบ่ง 20 ส่วนเท่าๆกัน	0.05
	39 มม. แบ่ง 20 ส่วนเท่าๆกัน	

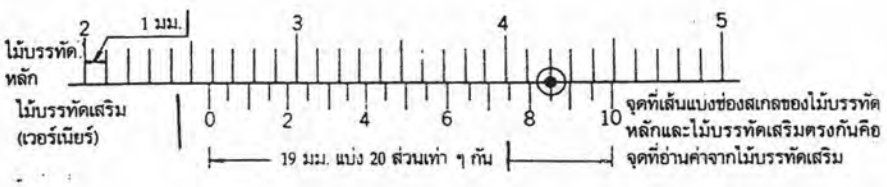
ตารางที่ 4.2 ชนิดของช่องสเกล เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์

ในกรณีของตัวอย่างนี้ จะสามารถอ่านค่าหน่วยวัดขนาด 0.1 มม.ได้ ถ้าให้สเกลเป็น 49 มม.แบ่ง 50 ส่วนเท่าๆกันแล้ว ความยาว 1 ช่องสเกลของไม้บรรทัดเสริมจะเป็น 49/50 = 0.98 มม.ดังนั้นจึงเป็นเครื่องวัดที่สามารถอ่านค่าได้ถึง 1-0.98 = 0.02 มม.

ถ้าเป็นสเกล 19 มม.แบ่ง 20 ส่วนเท่าๆกันก็จะเป็นเครื่องวัดที่สามารถอ่านค่าได้ถึง 1-19/20 = 0.05 มม.

มาตรฐาน JIS ได้กำหนดชนิดของช่องสเกลของเวอร์เนียร์และไม้บรรทัดหลักไว้เป็นมาตรฐานดังตารางข้างบนนี้ แต่ทว่าในเวอร์เนียร์ที่อ่านค่าน้อยที่สุดได้เท่ากัน เช่น ในกรณี 0.02 มม นั้น ชนิดที่มีความยาว 49 มม.แบ่งเป็น 50 ส่วนเท่ากัน ตัวไม้บรรทัดเสริมจะมีขนาดใหญ่กว่าและอ่านค่าได้ง่ายกว่า

การอ่านค่าจากสเกล



รูปที่ 4.13 แสดงการอ่านค่า (1)

สเกลของไม้บรรทัดหลักมีหน่วยวัดขนาด 1 มม.ไม้บรรทัดเสริมมีความยาว 19 มม.แบ่ง 20 ส่วนกล่าวคือ 1 ช่องของไม้บรรทัดเสริมจะแสดงค่าความยาว 0.05 มม.อ่านค่าจากไม้บรรทัดหลักได้ 25 มม.จากไม้บรรทัดเสริมได้ 0.85มม.ดังนั้นค่าที่อ่านได้ทั้งหมดคือ 25+0.85 = 25.85 มม.

รูปที่ 4.14 แสดงการอ่านค่า (2)

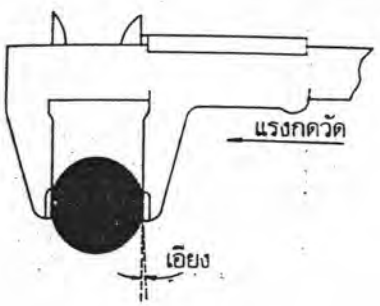
สเกลของไม้บรรทัดหลักมีหน่วยวัดขนาด 0.5 มม. ไม้บรรทัดเสริมมีความยาว 12 มม. แบ่งเป็น 25 ส่วน กล่าวคือ 1 ช่องไม้บรรทัดเสริมจะแสดงค่า 0.02 มม. อ่านค่าจากไม้บรรทัดหลักได้ 20.5 มม.จากไม้บรรทัดเสริมได้ 0.30 มม.ดังนั้นค่าที่อ่านได้ทั้งหมดคือ 20.5+0.30 = 20.80 มม.

4.4.6 วิธีการวัด

การวัดขนาดภายนอก

1.หลัก**พื้นฐาน**ในการจับให้ผิววัดของฟันด้านไม้บรรทัดหลักสัมผัสกับผิวชิ้นงานที่จะวัด แล้วใช้หัวแม่มือกดตรงจุดนิ้วกดที่ตัวเลื่อนแล้วเลื่อนให้ผิววัดด้านเวอร์เนียร์สัมผัสจับชิ้นงานที่จะวัด

2.จุดที่จะจับเพื่อวัด ให้จับโดยชิ้นงานอยู่ใกล้ส่วนโคนของฟันมากที่สุด ถ้าวัดโดยจับส่วนปลายของฟันดังแสดงในรูป แล้วไม้บรรทัดเสริมจะเกิดการงอโค้ง ทำให้ไม่สามารถวัดค่าที่ถูกต้องได้

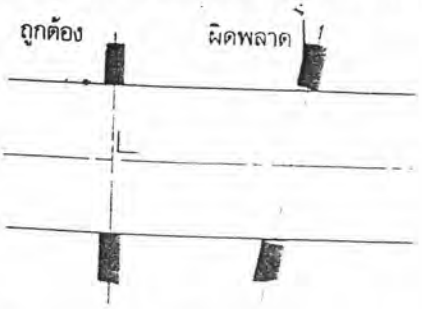


รูปที่ 4.15 แสดงแรงกดในการวัด

นอกจากนี้แรงที่ใช้กดวัดไม่ควรจะมากเกินความจำเป็น เพราะถ้ากดหนักเกินไปแล้ว แม้จะจับด้วยโคนฟันก็จะทำให้เกิดการโค้งงอ ดังนั้นแรงที่ใช้กดวัด(แรงของหัวแม่มือ) ก็เป็นสิ่งที่สำคัญเช่นเดียวกัน

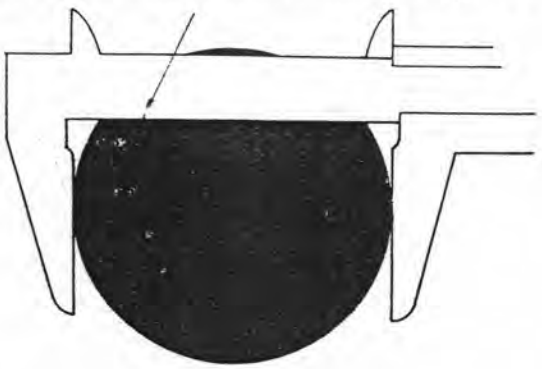
3.เวอร์เนียร์และชิ้นงานที่จะวัดต้องเป็นมุมฉากซึ่งกันและกัน นี่คือหลักพื้นฐานซึ่งคงไม่จำเป็นต้องย้ำถึงความสำคัญของหลักการนี้

ถ้าเกิดการเอียงแล้ว ให้ขยับไปทางซ้ายขวาเล็กน้อยโดยใช้หัวแม่มือกดเวอร์เนียร์เบาๆ ตัวเวอร์เนียร์จะขยับไปเล็กน้อยแล้วทำให้ผิววัดสัมผัสกันสนิท(เป็นมุมฉาก)ได้ดี



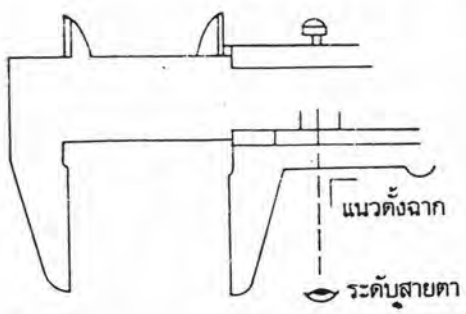
รูปที่ 4.16 แสดงวิธีการวัด

4.การวัดชิ้นงานขนาดใหญ่ โดยปกติจะวัดบริเวณส่วนปลายของชิ้นงาน ในขณะวัดนั้นเคล็ดลับในการวัดคือ ไม้บรรทัดหลักจะต้องสัมผัสแนบกับส่วนปลายของชิ้นงาน การทำเช่นนี้จะทำให้ป้องกันการโค้งงอของเวอร์เนียร์ ทำให้วัดค่าได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.17 แสดงการจับชิ้นงาน

5.ตำแหน่งของตา คงไม่จำเป็นต้องย้ำว่าตาจะต้องอยู่ในแนวตั้งฉากกับช่องสเกลของไม้บรรทัดเสริม ถ้าทำมุมผิดแล้วจะทำให้อ่านค่าได้คลาดเคลื่อนเนื่องจากความหนาของเวอร์เนียร์



รูปที่ 4.18 แสดงตำแหน่งของตาในขณะทำการวัด

4.5 ไมโครมิเตอร์(MICROMETER)

ไมโครมิเตอร์มีมากมายหลายชนิด แต่หลักการและโครงสร้างเป็นอย่างเดียวกัน ดังนั้นจึงขอใช้ตัวอย่างไมโครมิเตอร์มาตรฐานวัดภายนอกมาอธิบายให้เข้าใจ

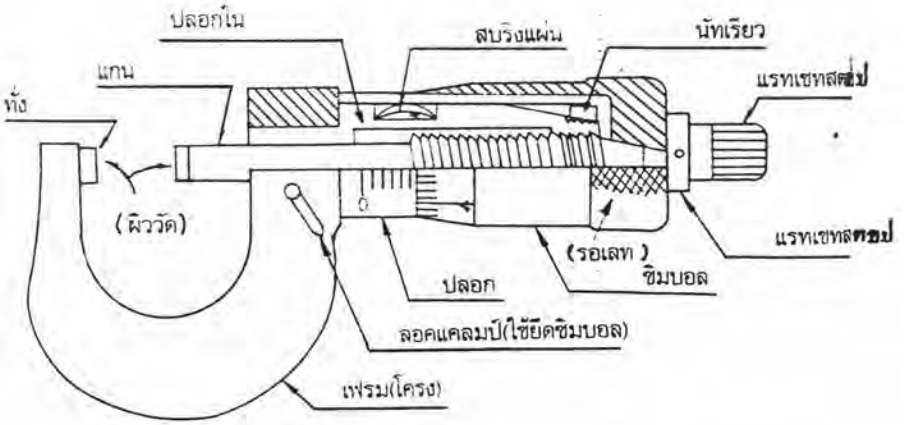
4.5.1 โครงสร้างและหลักการ

ในกรณีเกลียวหมุนช่วงเดียว หมุนเกลียวไป 1 รอบ แกนจะเคลื่อนที่ไปได้ 1 ช่วงเกลียว นี่คือ หลักการของไมโครมิเตอร์

ถ้าช่วงเกลียวเป็น 0.5 มม. เมื่อหมุนเกลียวไป 1 รอบ แกนจะเคลื่อนที่ไป 0.5 มม. ถ้าหมุน 1/50 รอบ จะเคลื่อนที่ไปได้ 0.5/50 = 0.01 มม.

ส่วนที่ติดอยู่กับตัวเกลียวจะเป็นแผ่นสเกล ซึ่งเรียกว่า ซิมบอล(Cymbal) ซึ่งแบ่งสเกลโดยรอบเป็น 50 ส่วนเท่าๆกัน เมื่อหมุนซิมบอลไป 1 รอบ จะเท่ากับระยะทาง 0.5 มม.และสเกล 1 ช่องมีค่าเท่ากับ 0.01 มม.กล่าวคือ สเกลที่เล็กที่สุดของไมโครมิเตอร์ คือ 0.01 มม.นั่นเอง

จากรูปที่4.19 จะเห็นได้ว่าผิวที่ใช้วัดจะประกอบด้วย ทั่ง(แอนวิล) และ แกน(สปินเดิล)

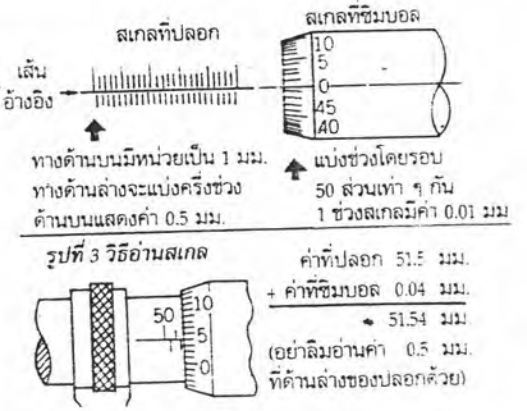


รูปที่ 4.19 แสดงโครงสร้างของไมโครมิเตอร์ใช้วัดภายนอก

การวัดจะนำเอาวัสดุมาไว้ระหว่างทั่งและแกน แล้วหมุนซิมบอลให้แกนเคลื่อนที่ ระยะระหว่างทั่งและแกนคือค่าที่วัดได้

แรทเชทสตอปจะเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมให้แรงในการวัดมีค่าคงที่ ส่วนลอคแคลมป์จะเป็นตัวยึดให้แกนหรือซิมบอลอยู่กับที่ถ้าจำเป็น

ช่วงพิสัยการวัดของไมโครมิเตอร์เมื่อพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนและการใช้งานจะอยู่ในช่วง 25 มม. มาตรฐานของ JIS ได้กำหนดชนิดของไมโครมิเตอร์ที่ใช้วัดในช่วง 0 - 25 มม. และ 475 - 500 มม. เอาไว้ ในโรงงานมีการใช้ไมโครมิเตอร์วัดขนาดในช่วง 1000 มม.ถึงประมาณ 2000 มม.



รูปที่ 4.20 แสดง วิธีการอ่านค่าไมโครมิเตอร์

4.5.2 วิธีอ่านค่าจากสเกล

สเกลที่ปลอกจะมีการแบ่ง โดยสเกลที่อยู่เหนือเส้นอ้างอิงจะมีหน่วยวัด 1 มม. ส่วนทางด้านล่างจะแบ่งช่วงระหว่างสเกลบนโดยแสดงค่า 0.5 มม.และช่วงห่างกัน 1 มม.

ดังนั้นเมื่อทั้งและแกนชนกันสนิทมองตามแนวระดับสายตาของผู้วัดแล้วเส้นอ้างอิงที่ปลอกและจุด 0 ของซิมบอลจะตรงกันพอดี

วิธีการอ่านจะเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.20 ขั้นแรกให้อ่านค่าที่สเกลบนปลอก จากนั้นให้รวมกับค่าที่เส้นอ้างอิงตรงกับสเกลบนซิมบอลเพื่อให้ได้เป็นขนาดที่วัดจริง จะต้องระวังอย่าลืมค่าช่วง 0.5 มม. ทางด้านล่างของเส้นอ้างอิงที่ปลอกด้วย

4.5. 3**ชนิดของไมโครมิเตอร์**

ไมโครมิเตอร์สามารถแบ่งใหญ่ ๆ ตามการใช้งานเป็น 3 ชนิดคือ วัดด้านนอก วัดด้านใน และ วัดความลึก ในแต่ละชนิดยังแบ่งเป็นชนิดย่อย ๆ อีกหลายชนิด ดังแสดงในตาราง

การใช้งาน	ชนิด
วัดภายนอก (ไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก)	ชนิดมาตรฐาน,ชนิดเปลี่ยนทั่งได้,ไมโครมิเตอร์ลิมิต ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดความหนาฟันเฟือง, ไมโครมิเตอร์เกลียว,ไมโครมิเตอร์ชนิดเลื่อนเข้า,ชนิดอื่นๆ
วัดภายใน (ไมโครมิเตอร์วัดด้านใน)	ชนิดคาลิปเปอร์,ชนิดแท่งตรง,ชนิดแท่งเลื่อนได้, ชนิดวัด 3 จุด
วัดความลึก	ไมโครมิเตอร์วัดความลึก

ตารางที่ 4.3 แสดงชนิดของไมโครมิเตอร์

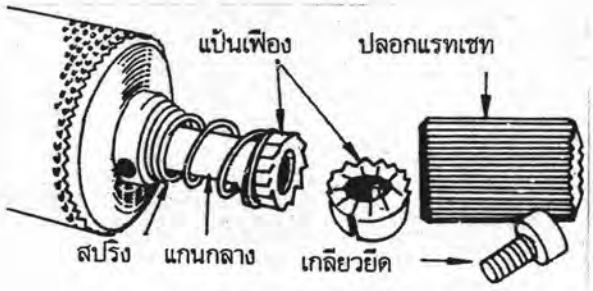
4.5.4 **แรงที่ใช้ในการวัดของไมโครมิเตอร์**

ในการวัดโดยใช้ไมโครมิเตอร์นั้น จะไม่ใช้วิธีการหมุนตัวซิมบอล แต่จะหมุนแรทเชทสตอป หรือฟริคชั่นสตอปแทน เพื่อให้แรงที่ใช้ในการวัดมีค่าคงที่

แรทเชทสตอบ (RATSETSTOP)

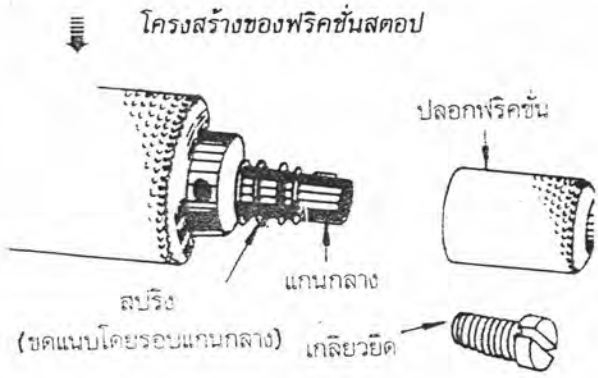
ที่แกนกลางซึ่งจะเป็นแกนหมุนจะมีแป้นเฟืองติดอยู่โดยมีสปริงยันอยู่ด้านหลังแป้นเฟืองนี้ ที่แป้นเฟืองปลายแกนหมุนจะมีแป้นเฟืองอีกตัวหนึ่งซึ่งมีลักษณะเหมือนกันประกบอยู่ ถ้ามีแรงกดที่แป้นเฟืองตัวหลังนี้มากกว่าค่าหนึ่งแล้ว แป้นเฟืองตัวนี้จะหมุนฟรี ซึ่งทำให้แกนหมุนอยู่กับที่ เมื่อแป้นหมุนเกิดการหมุนฟรีจะเกิดเสียงแก๊กๆ ทำให้ทราบได้ทันทีเนื่องจากฟันที่แป้นหมุนมีลักษณะเป็นฟันเลื่อย ถ้าหมุนกลับทางแล้วจะทำให้ซิมบอลหมุนตามไปและแกนหมุนจะเคลื่อนที่ถอยหลัง

รูปที่ 4.21 แสดงโครงสร้างของ แรทเชทสตอป



ฟริคชั่นสตอป (FRICTIONSTOP)

ที่แกนกลางจะมีสปริงขดแนบอยู่โดยรอบ ถ้ามีแรงกดที่สปริงเกินกว่าค่าหนึ่งแล้วผลจากแรงเสียดทานระหว่างแกนกลางกับปลอกฟริคชั่น จะทำให้ปลอกฟริคชั่นนี้หมุนฟรี



รูปที่ 4.22 แสดงโครงสร้างของ ฟริคชั่นสตอป

แรงวัดที่กำหนดโดย JIS

JIS ได้กำหนดแรงวัดเป็นค่ามาตรฐานดังตารางข้างล่างนี้ ในขณะที่แรทเชทและฟริคชั่นหมุนฟรี หมายถึงแรงกดมีค่ามากเกินกว่าช่วงที่กำหนดไว้

ความยาวสูงสุดที่วัด(มม.)	แรงวัด(กรัม)
ต่ำกว่า 100	400 - 600
100 - 300	500 - 700
300 - 500	700 - 1000

ตารางที่ 4.4 แสดงแรงวัดที่กำหนดโดย JIS

4.5.5 การปรับจุดศูนย์ของไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก

วิธีการตรวจสอบจุด 0 และวิธีการปรับแต่งเมื่อปรับจุด 0 แล้วไม่ตรง เป็นวิธีทำงานพื้นฐานของเครื่องมือวัดทุกชนิดที่ผู้วัดควรฝึกฝนให้เกิดความชำนาญ

วิธีการตรวจสอบจุด 0

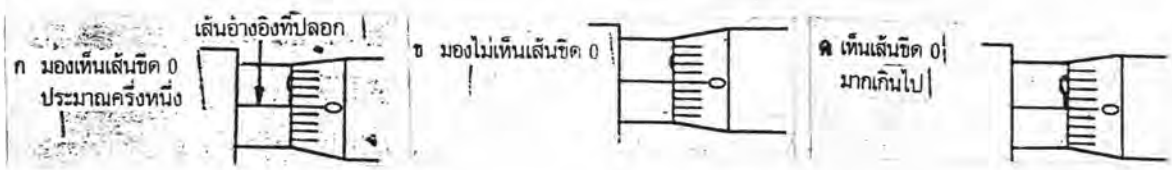
1.ทำความสะอาดผิววัดทั้ง 2 ด้าน ถ้าผิวหน้าของทั่งและแกนหมุนซึ่งเป็นผิววัดทั้ง 2 ด้าน เป็นสนิมหรือมีรอยขีดข่วนจะใช้ไม่ได้ ถึงแม้จะไม่มีข้อบกพร่องทั้ง 2 อย่าง แต่ถ้าระหว่างการใช้งานมีน้ำมันติดหรือมีการทาน้ำมันกันสนิมในขณะเก็บรักษา แล้วมีฝุ่นผงไปติดก็ใช้ไม่ได้ การทำความสะอาดจะใช้ผ้าสะอาดๆ หรือผ้าขี้ริ้วเช็ดออกก็ได้ แต่ควรจะใช้กระดาษบางๆ เช็ดออกเบาๆ อย่างที่แสดงในรูป

รูปที่ 4.23 แสดงวิธีการตรวจสอบจุดศูนย์

2.หมุนตัวบังคับให้ผิวหน้าทั้งสองประกบกันสนิทแล้วตรวจสอบค่าจุด 0

จากรูป ก จะเป็นลักษณะที่ดีที่สุดได้แก่ ลักษณะที่เส้นอ้างอิงที่ปลอกและสเกล 0 ของซิมบอลอยู่ตรงกัน มองเห็นเส้นขีด 0 ที่ปลอกประมาณครึ่งหนึ่ง แต่ในกรณีซึ่งแม้เส้นอ้างอิงและสเกล 0 ที่ซิมบอลจะตรงกัน แต่กลับมองไม่เห็นเส้นขีด 0 ดังรูป ข หรือเห็นเส้นขีด 0 มากเกินไป ดังรูป ค จะใช้ไม่ได้ ลักษณะอย่างรูป ข และ ค จะปรับไม่ได้จึงต้องใช้ความระมัดระวังในการวัด

ในการหมุนให้ผิวหน้าทั้งสองประกบกันนั้น จะต้องหมุนให้แรทเชทเกิดหมุนฟรี 2 รอบ นอกจากนี้การหมุนแรทเชทเร็วเกินไปเพื่อให้หน้าประกบกันจะใช้ไม่ได้ และควรทำการตรวจสอบ 2-3 ครั้ง



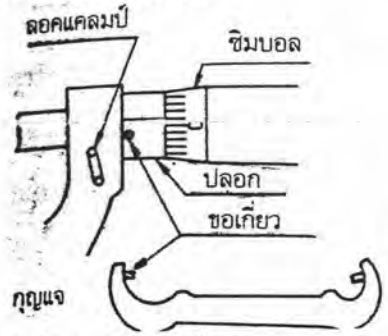
3.การตรวจสอบจุด 0 ของไมโครมิเตอร์ขนาดวัดตั้งแต่ 25 มม.ขึ้นไปใช้แท่งอ้างอิงมาตรฐาน ไมโครมิเตอร์ที่วัดงานซึ่งมีความยาวเกินกว่า 25 มม.นั้นผิวหน้าวัดทั้ง 2 ด้านไม่สามารถประกบกันสนิทได้ ในการตรวจสอบจุด 0 ให้ใช้แท่งอ้างอิงมาตรฐาน ซึ่งแท่งอ้างอิงมาตรฐานนี้จะสามารถเลือกใช้ให้เหมาะกับไมโครมิเตอร์ได้ โดยขนาดซึ่งเกินกว่า 25 มม.จะยาวเพิ่มเป็นช่วงๆละ 25 มม.

วิธีปรับค่าจุด 0

หลังจากการตรวจสอบค่าจุด 0 แล้ว ถ้าปรากฏว่ามีความผิดพลาดจะต้องทำการปรับแต่ง วิธีการปรับแต่งมี 2 วิธีได้แก่ การปรับแต่งที่ปลอก และการปรับแต่งที่ซิมบอล

1.ในกรณีคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 2 ช่องสเกล ให้ปรับที่ปลอก

ขั้นแรกให้ทำแบบการตรวจสอบจุด 0 โดยให้ผิววัดทั้งสองประกบกันสนิทแล้วจัดการยึดไม่ให้ซิมบอล (แกนหมุน)เคลื่อนตัวได้โดยใช้ลอคแคลมป์ จากนั้นให้ใช้กุญแจเกี่ยวที่รูปลอกเพื่อหมุนปลอกไปให้เส้นอ้างอิงตรงกับขีด 0 ที่ซิมบอล

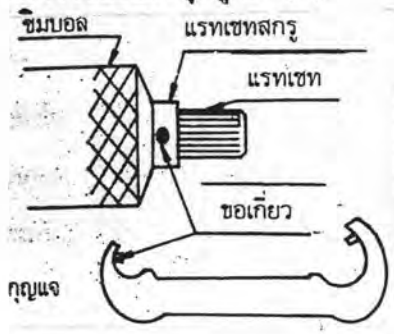


รูปที่ 4.24 แสดงวิธีปรับค่าจุดศูนย์ (1)

2.ในกรณีคลาดเคลื่อนเกินกว่า 2 ช่องสเกลให้ปรับซิมบอล

ขั้นแรกให้ทำแบบกรณีข้างต้นโดยใช้ลอคแคลมป์ยึดซิมบอลให้อยู่กับที่จากนั้นให้ใช้กุญแจเกี่ยวที่รูของแรทเชทสกรูหมุนไปทางซ้าย ซิมบอลจะหลวมตัวเพื่อให้ปรับได้ แต่เนื่องจากแกนและซิมบอลติดกัน โดยที่แกนเป็นรูปทรงเรียวสวมอยู่ ดังนั้นจึงจะใช้วิธีการเคาะปรับให้เคลื่อนที่เบาๆ วิธีนี้ทำได้ยาก การปรับละเอียดขั้นสุดท้ายจึงควรปรับที่ปลอกจะดีกว่า

รูปที่ 4.25 แสดงวิธีปรับค่าจุดศูนย์ (2)



4.5.6 การวัดโดยไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก

จะต้องทำความสะอาดผิววัดทั้ง 2 ด้านของไมโครมิเตอร์ และผิวงานที่จะวัดให้ปราศจากคราบน้ำมันหรือฝุ่นผง ตลอดจนปรับจุด 0 ของไมโครมิเตอร์ให้พอดีจึงจะเริ่มต้นวัดได้

การวัดด้วยไมโครมิเตอร์ เพื่อให้แรงในการวัดมีค่าคงที่นั้น เมื่อผิววัดจะสัมผัสกับผิวชิ้นงาน ให้หมุนแรทเชทสตอปปรับระยะ แต่ทว่าบางครั้งอาจจะต้องถือไมโครมิเตอร์มือหนึ่ง แล้วใช้มือหมุนซิมบอลโดยตรง ซึ่งวิธีนี้จะต้องใช้ความชำนาญสูง ดังนั้นจึงควรมีการฝึกฝนการใช้แรงวัดให้คงที่โดยใช้ Block Gauge มาเป็นตัวทดลองฝึก

หลักพื้นฐานในการจับไมโครมิเตอร์เพื่อวัดผิวระนาบ

การวัดให้ถูกต้องจะต้องเริ่มจากการจับไมโครมิเตอร์อย่างถูกต้อง โดยเส้นอ้างอิงที่ปลอกจะต้องอยู่ในแนวทิศทางเดียวกับระดับแนวสายตาของผู้วัด มือซ้ายจับที่เฟรม(โครง) มือขวาจับที่แรทเชทสตอป

การวัดผิวระนาบ จะต้องให้ผิวนั้นอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนหมุน แล้วหมุนแรทเชทสตอปเพื่อเพิ่มแรงในการกดวัด ขยับแกนหมุนไปทางด้านหน้า-หลัง-ซ้าย-ขวา เบาๆ ขณะที่ค่อยๆหมุนแรทเชทเพื่อให้ผิวหน้าวัดสัมผัสกับผิวชิ้นงาน จึงจะสามารถหาค่าขนาด(ค่าวัดที่ถูกต้อง)ได้