บทที่ 2

วิธีการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงวิธีการวิจัยซึ่งประกอบด้วย วัสดุที่ใช้ในการวิจัย ชิ้นทดสอบการคืบ อุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ เครื่องทดสอบและอุปกรณ์บันทึกข้อมูล การวิเคราะห์องค์ประกอบเคมี การทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ การทดสอบความแข็ง การทดสอบแรงดึง และการทดสอบการคืบ การตรวจโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมทั้งก่อนและหลังการทดสอบการคืบ มีรายละเอียดดังนี้

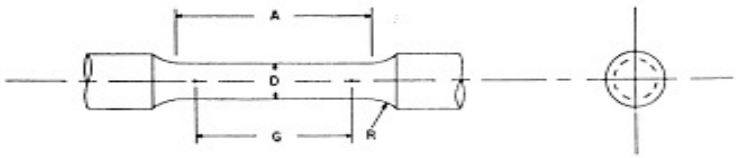
2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T651 (ALUSA HA75-A Lot No. E04913) ชนิดแผ่นหนา 12.7 มม. ผลิตในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ สั่งซื้อจาก บริษัท นาซ่าเม็ททัล จำกัด กรุงเทพฯ

2.2 ชิ้นทดสอบการคืบ (Specimen for Creep Test)

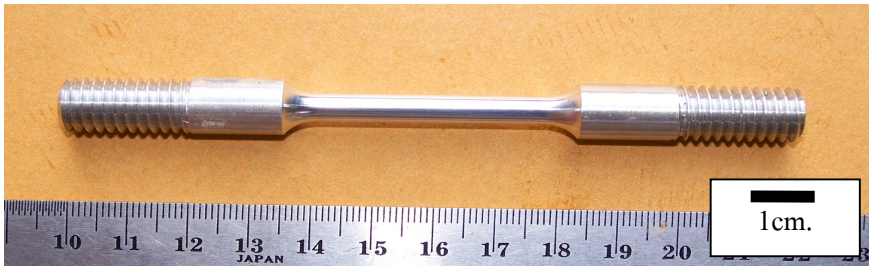
การเตรียมชิ้นทดสอบในการวิจัยนี้ อะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T651 ผ่านการขึ้นรูปโดยการรีด มีลักษณะเป็นแผ่น (Plate) มีความหนา 12.7 มม. ก่อนทำการเตรียมวัสดุเป็นชิ้นทดสอบต้องสังเกตทิศทางการรีด (Rolling Direction) ของวัสดุก่อนการนำไปขึ้นรูป แนวการตัดของเครื่องมือกล จะต้องขนานกับทิศทางการรีดของวัสดุ เพื่อให้ได้ชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 557M-94 [Allen, *et al.,* 1998] ดังแสดงในรูปที่ 2.1 รายละเอียดของชิ้นทดสอบมาตรฐานเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 12.5 มม. และชิ้นทดสอบมาตรฐานขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 9, 6 และ 4 มม. เนื่องจากแผ่นอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T651 ที่ได้มามีความหนาเพียง 12.7 มม. ดังนั้นจึงเลือกใช้ชิ้นทดสอบเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 6 มม. เพื่อใช้ในการทดสอบการคืบ อะลูมิเนียมแผ่นจะถูกตัดเป็นเส้น มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดประมาณ 13×12.7 มม. ก่อน แล้วจึงนำอะลูมิเนียมเส้นไปขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลเป็นชิ้นทดสอบลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ชิ้นทดสอบมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 6 มม. และความยาวเกจ (Gage Length) 30 มม. ส่วนปลายทั้งสองด้านจะ

ทำเป็นเกลียวขนาด M 12×1.75 เพื่อประกอบกับอุปกรณ์จับยึดภายในเตา และป้องกันการลื่นไถลของชิ้นทดสอบขณะทำการทดสอบที่อุณหภูมิสูง แบบชิ้นทดสอบดังแสดงไว้ ในภาคผนวก ก



Dimensions, mm				
Nominal Diameter	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	12.5	9	6	4
G-Gage Length	62.50±0.10	45.00±0.09	30.00±0.06	20.00±0.04
D-Diameter (Note 1)	12.50±0.25	9.00±0.10	6.00±0.10	4.00±0.05
R-Radius of fillet,min	9	8	6	4
A-Length of Reduced Section,min (Note 2)	75	54	36	24

รูปที่ 2.1 ชิ้นทดสอบมาตรฐาน ASTM 557M-94 [Allen, *et al.,* 1998]

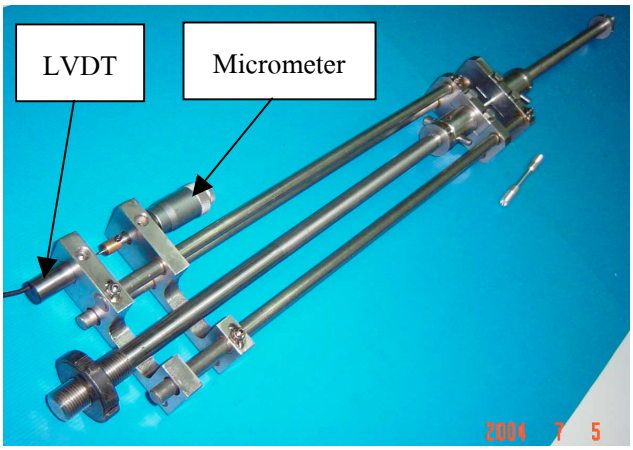


รูปที่ 2.2 ชิ้นทดสอบการคืบ

2.3 อุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ (Specimen Holder)

อุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ ประกอบด้วยชิ้นส่วนทำจากวัสดุเหล็กกล้าสเตนเลส (Stainless Steel) เกรด 304L ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนอยู่กับที่ และส่วนเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และแบบประกอบในภาคผนวก ข ลักษณะการทำงานทั่วไปขณะทำการทดสอบการคืบ

โดยการนำ LVDT ประกอบกับชุดส่วนเคลื่อนที่ชิ้นส่วนหมายเลข 16 และไมโครมิเตอร์ประกอบกับชุดส่วนอยู่กับที่ ชิ้นส่วนหมายเลข 15 และนำชิ้นทดสอบประกอบกับอุปกรณ์จับยึดกับชิ้นส่วนหมายเลข 12, หมายเลข 13 พร้อมกับยึดให้แน่นด้วยแผ่นยึดด้วยชิ้นส่วนหมายเลข 14, 23 และยึดด้วย Bolt M8 ให้แน่น

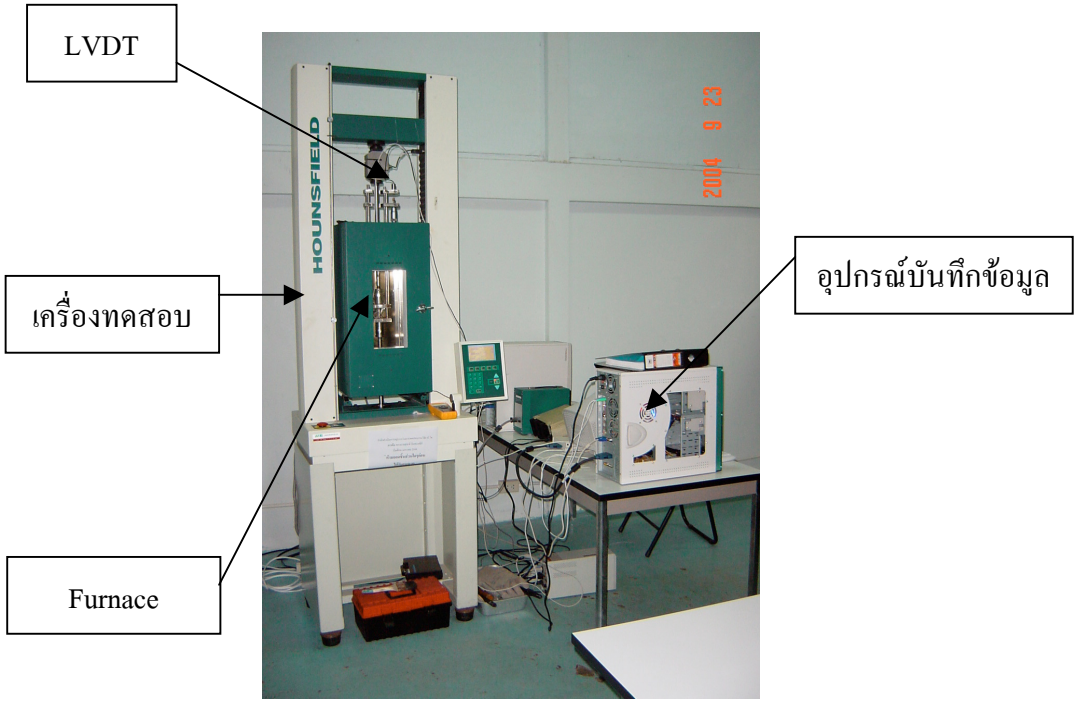


รูปที่ 2.3 อุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบ (Specimen Holder)

2.4 เครื่องทดสอบและอุปกรณ์บันทึกข้อมูล

เครื่องทดสอบที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ HOUNSFIELD TEST EQUIPMENT Model H 100ks Serial No. 0068 ใช้ทดสอบสมบัติเชิงกล ทั้งการทดสอบแรงดึงและการทดสอบการคืบ การเคลื่อนที่ของ Crosshead จะเคลื่อนที่โดยการหมุนของสกรูลูกบอล (Ballscrew) โดยส่งกำลังมาจากมอเตอร์เซอร์โวไฟฟ้ากระแสตรง (DC Servo Motor) สามารถกำหนดความเร็วของ Crosshead Speed ช่วงระหว่าง 0.001-250 มม./นาที ใช้ Load Cell ขนาด 100 KN และในการทดสอบใช้เตา (Furnace) ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 25 ถึง 250 °C เพื่อให้ความร้อนกับชิ้นทดสอบ มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมมีประตูด้านหน้าเปิดปิดเพื่อประกอบชิ้นงานในขณะทำการทดสอบชิ้นทดสอบจะเกิดการยืดตัว ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวของชิ้นทดสอบด้วย LVDT ชนิดทรานสดิวเซอร์การกระจัดขนาดเล็ก (Miniature Displacement Transducers) ±5.0 มม. รุ่น LD400 - 5 โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงช่วงระหว่าง 10-24 V DC และบันทึกการเปลี่ยนแปลงความยาวของชิ้นทดสอบด้วยโปรแกรม National Instruments Virtual Bench™ Version 2.6 500615D -00 ภาพถ่ายเครื่องทดสอบ

การคืบและอุปกรณ์บันทึกข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วนภาพถ่ายชิ้นส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล แสดงไว้ในภาคผนวก ค



รูปที่ 2.4 ภาพถ่ายเครื่องทดสอบการคืบพร้อมอุปกรณ์บันทึกข้อมูล

2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของชิ้นตัวอย่าง

ก่อนนำแผ่นอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T651 ไปขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกล เป็นชิ้นทดสอบการคืบตามมาตรฐาน ASTM 557M-94 [Allen, *et al.,* 1998] ทำการตัดแผ่นตัวอย่างขนาด 25.4×25.4×12.7 มม. นำไปตรวจองค์ประกอบเคมีด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์การปลดปล่อยเชิงแสง (Optical Emission Spectrometer) รุ่น ARL 3460

2.6 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

การทดสอบความแข็งของอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T651 ก่อนการทดสอบการคืบ เพื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่ามาตรฐาน ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งชนิด Vickers' Microhardness Model HWDM-3 No. SM 0055 กำหนดน้ำหนักกดเท่ากับ 1000 gf และใช้เวลาใน

การกดชิ้นงาน 10 วินาที เตรียมชิ้นตัวอย่างขนาด 12.7×12.7×13 มม. พร้อมขัดผิวหน้าเรียบประมาณ 10 μm ทำการทดสอบหาค่าความแข็งของแผ่นโลหะอะลูมิเนียมผสม ทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านข้าง ด้านบนและด้านหน้า แต่ละด้านจะทำการทดสอบซ้ำจำนวน 10 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

2.7 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

การทดสอบแรงดึง ใช้สำหรับการประมวลหาค่ากำลังของวัสดุ ในการทดสอบชิ้นทดสอบโลหะจะถูกดึงจนขาดออกจากกันในระยะเวลาสั้นๆ การทดลองนี้ เพื่อต้องการทราบค่าความเค้นสูงสุด (Ultimate Tensile Strength, σ_{UTS}) ซึ่งวัสดุจะรับได้โดยไม่เกิดการแตกหัก และค่าความเค้นคราก (Yield Strength) ของวัสดุโดยจะกำหนดที่การยืด 0.2% [เล็ก สีคง, 2540] ทำการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง HOUNSFIELD TEST EQUIPMENT Model H 100ks Serial No. 0068 โดยทำการทดสอบใน 2 ลักษณะดังนี้ คือ การทดสอบที่ค่า Speed Test คงที่เท่ากับ 1.8 มม./นาที หรือเทียบเป็นค่าอัตราความเครียด (Strain Rate) เท่ากับ 1×10^{-3} s^{-1} ณ อุณหภูมิต่างๆ คือ 25 (อุณหภูมิห้อง), 100, 150, 200 และ 250°C และการทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิ 150°C โดยเปลี่ยนแปลงค่าอัตราความเครียด (Strain Rate) เป็น 4 ระดับคือ 1×10^{-3}, 1×10^{-4}, 1×10^{-5} และ 5.56×10^{-6} s^{-1} ข้อมูลจากการทดสอบถูกบันทึกผลด้วยโปรแกรม QMat ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะยืด (มม.) และค่าแรงดึง (N) ถูกนำไปคำนวณ แปลงเป็นค่าความเครียด (Strain) และความเค้น (Stress) ตามมาตรฐาน ASTM E 8M - 98 และ ASTM E 21 - 92 [Allen, *et al.,* 1998]

2.8 การทดสอบการคืบ (Creep Test)

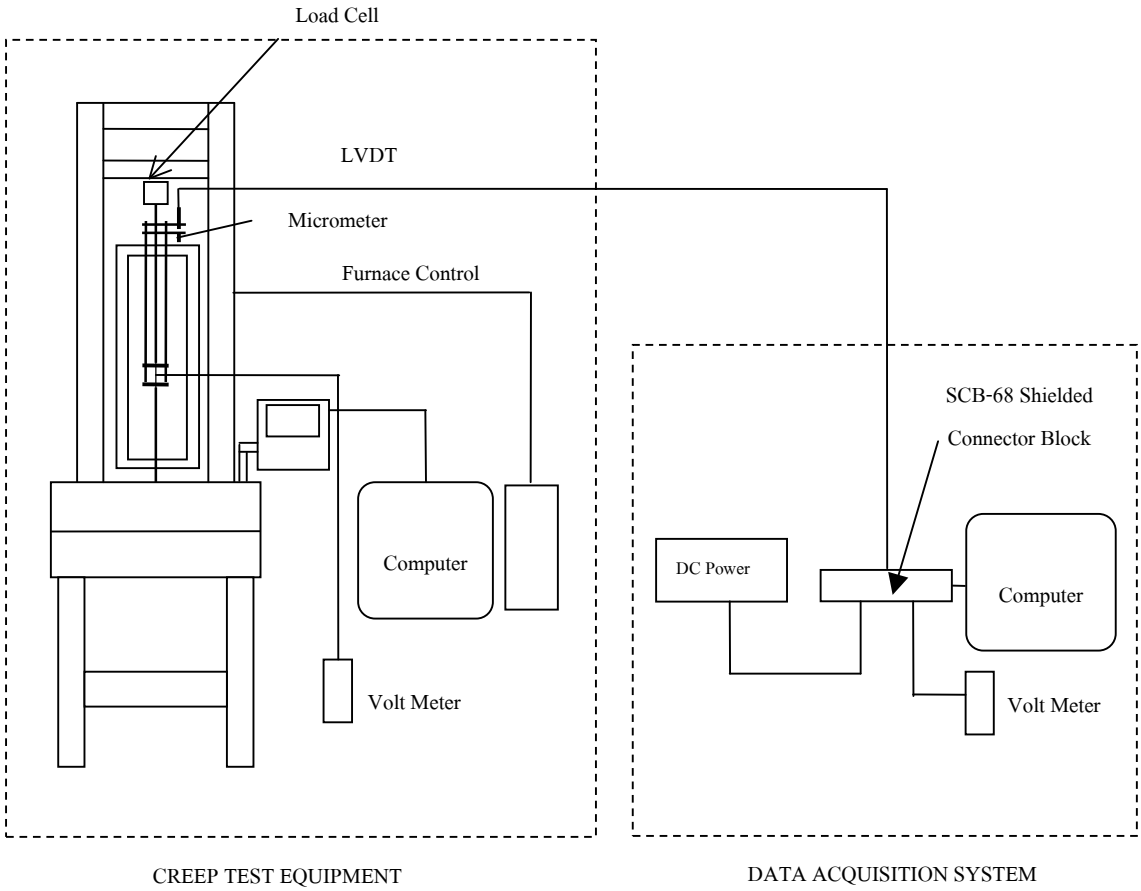
การทดสอบการคืบในงานวิจัยนี้ ตัวแปรสำคัญในการทดสอบคือ ความเค้นการคืบ (Creep Stress) และอุณหภูมิการคืบ (Creep Temperature) โดยมีขั้นตอนในการทดสอบ เริ่มจากทำการสอบเทียบ LVDT พร้อมกับประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และทำการกำหนดโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ บันทึกข้อมูลขณะทดสอบ ดังแสดงในภาคผนวก จ การทดสอบการคืบในการวิจัยนี้ เป็นการทดสอบภายใต้แรงดึงคงที่ (Constant Load Creep) ทำโดยแรงดึงชิ้นทดสอบขนานกับทิศทางการรีด (Rolling Direction) ของชิ้นทดสอบ ทดสอบภายในเตาในสภาวะบรรยากาศ ควบคุมอุณหภูมิ ± 1°C แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด การทดลองชุดที่ 1 เป็นการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ แบ่งเป็น 4 ระดับคือ 100, 150, 200 และ 250°C แต่ละระดับอุณหภูมิทำการทดสอบที่ค่าความเค้นต่างๆ ดังนี้ ที่อุณหภูมิ 100°C ค่าความเค้น 100, 150, 200, 320, 400, 410,

415, 420 และ 440 MPa ที่อุณหภูมิ 150°C ค่าความเค้น 80, 100, 150, 200, 300, 320, 360 และ 380 MPa ที่อุณหภูมิ 200°C ค่าความเค้น 80, 100, 120, 140, 160 และ 200 MPa และที่อุณหภูมิ 250°C ค่าความเค้น 40, 60, 80, 100 และ 120 MPa ชุดการทดลองที่ 2 เป็นการทดลองที่ค่าความเค้นคงที่แบ่งเป็น 3 ระดับคือ ความเค้น 80, 100 และ 120 MPa แต่ละระดับความเค้นทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้ ที่ความเค้น 80 MPa อุณหภูมิ 150, 200 และ 250°C ที่ความเค้น 100 MPa อุณหภูมิ 150, 200 และ 250°C และที่ความเค้น 120 MPa อุณหภูมิ 150, 200 และ 250°C แต่ละการทดลอง ชิ้นทดสอบที่ประกอบภายในเตา จะต้องให้อุณหภูมิของชิ้นทดสอบ ถึงค่าอุณหภูมิที่กำหนดแล้วปล่อยแช่ไว้อีก 30 นาที ก่อนที่จะให้ภาระแรงกับชิ้นทดสอบ เมื่อให้ภาระแรงกับชิ้นทดสอบจะเกิดการเสียรูป วัดระยะยืดด้วย LVDT ซึ่งมีค่าความละเอียด ±0.001 มม. พร้อมบันทึกข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับระยะยืดของชิ้นทดสอบโดยใช้ระบบจัดเก็บข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC-Based Data Acquisition System) และวิเคราะห์ผลการทดสอบการคืบภายหลังการทดสอบ โดยทำการแปลงค่าที่ได้เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (s) และค่าความเครียดจริง (True Strain, ε) เพื่อคำนวณหาค่าอัตราการคืบต่ำสุด (Minimum Creep Rate, $\dot{\varepsilon}_{ss}$) ของเส้นโค้งการคืบ ระยะที่สอง เมื่อได้ค่า Minimum Creep Rate ($\dot{\varepsilon}_{ss}$) ของเส้นโค้งการคืบแต่ละการทดลองแล้วผล การทดลองชุดที่ 1 สามารถคำนวณหาค่ายกกำลังของความเค้น (Stress Exponent, n) ที่อุณหภูมิ 100-250°C และความเค้นการคืบต่างๆ และผลการทดลองชุดที่ 2 สามารถคำนวณหาค่าพลังงานกระตุ้นสำหรับการคืบ (Activation Energy for Creep, Q_c) ที่ความเค้นการคืบคงที่และอุณหภูมิต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM E139-96 [Allen, *et al.,* 1998]

2.9 การตรวจโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมก่อนและหลังการทดสอบการคืบ

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อยคือ กลุ่มโครงสร้างจุลภาคของแผ่นโลหะอะลูมิเนียมผสมตามสภาพที่รับมา (As-Received Plate) โดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 12.7×12.7×13 มม. จำนวน 3 ชิ้น และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคทั้ง 3 ด้านคือ ด้านหน้า ด้านข้าง และด้านบน กลุ่มโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อน (Pre-Heated) ก่อนทำการทดสอบการคืบโดยทดสอบที่อุณหภูมิ 100, 150, 200 และ 250°C ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมินั้นๆ เป็นเวลา 30 นาที ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเฉพาะผิวด้านข้างของชิ้นทดสอบ และกลุ่มโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการคืบมาแล้ว โดยตัดชิ้นทดสอบตามแนวตัดขวางมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 6 มม. ความหนา 6 มม. นำชิ้นทดสอบไปขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 320, 400, 800, 1000 และ 1200 แล้วขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินาขนาด 5 μm 1 μm และกัด

กรดด้วย Keller's Reagent ซึ่งมีส่วนประกอบของ น้ำกลั่น 95 mL กรดไฮโดรคลอริค (HCl) 1.5 mL กรดไนตริก (HNO_3) 2.5 mL กรดไอโดรฟลูออริก (HF) 1.0 mL [Vander Voort, 1984] ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ OLYMPUS No. 5A0306



รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมแสดงเครื่องทดสอบการคืบพร้อมอุปกรณ์ควบคุมและบันทึกข้อมูล