บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 ส่วนผสมทางเคมีของแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงผลกระทบของกระบวนการอบโฮโมจีไนซ์ที่มีต่อโครงสร้างทางจุลภาคของแท่งอะลูมิเนียมบิลเลท ขนาดของเกรนที่ได้หลังกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปร้อน (Extrusion) ของชิ้นงานท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16.0 มิลลิเมตร ความหนา 1.2 มิลลิเมตร และการเกิดปัญหาผิวเปลือกส้มที่บริเวณผิวของชิ้นงานหลังกระบวนการขึ้นรูปเย็น ซึ่งแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่นำมาใช้ทดลองเพื่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทผสมหมายเลข 3003 ซึ่งทำการหลอมและหล่อเป็นแท่งบิลเลทขึ้นเองภายในบริษัทฯ ด้วยระบบการหล่อแบบ Direct chilled casting มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งบิลเลทที่ 178 มิลลิเมตร ยาว 5,000 มิลลิเมตรและมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 3.1 โดยแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่ทางบริษัทฯทำการหลอม หล่อและอบโฮโมจีไนซ์นี้ จะนำไปเข้ากระบวนการอัดรีดขึ้นรูปร้อนเป็นท่อและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทซึ่งนำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีที่ใกล้เคียงกันดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของแท่งอะลูมิเนียมที่หลอมและหล่อขึ้นเองภายในบริษัทฯ

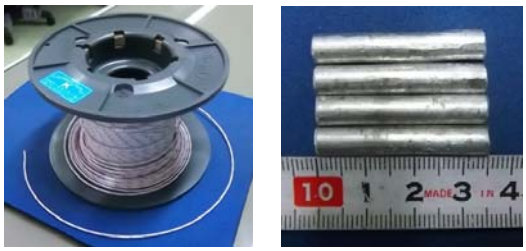
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.133	0.425	0.154	1.077	0.005	< 0.001	< 0.001	0.014	ที่เหลือ

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของแท่งอะลูมิเนียมที่นำเข้าจากต่างประเทศ

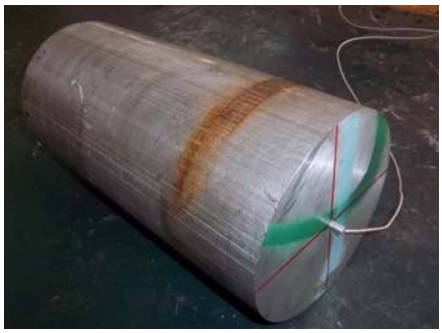
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.097	0.422	0.160	1.058	0.003	< 0.001	< 0.001	0.019	ที่เหลือ

3.2 การอบโฮโมจีไนซ์แท่งอะลูมิเนียมบิลเลท

นำแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่มีส่วนผสมดังตารางที่ 3.1 มาทำการตัดเป็นทรงกระบอกที่ความยาว 370 มิลลิเมตร จำนวน 6 บิลเลท โดยบิลเลททั้ง 6 ท่อนที่ทำการอบทดลองในครั้งนี้ได้ทำการควบคุมอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงภายในแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทโดยทำการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร ลึก 30 มิลลิเมตร จำนวน 1 รู ที่บริเวณจุดศูนย์กลางของแท่งอะลูมิเนียมบิลเลท ทำการเสียบสายวัดอุณหภูมิ (thermocouple) ชนิด K Type และตอกยึดด้วยสลักอะลูมิเนียมดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดงสายวัดอุณหภูมิชนิด K Type และสลักอะลูมิเนียม



รูปที่ 3.2 แสดงการตอกสายวัดอุณหภูมิที่แท่งอะลูมิเนียมบิลเลท

นำแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่ทำการตอกสายวัดอุณหภูมิเสร็จเรียบร้อยมาต่อเข้ากับชุดควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) ของเตาอบโฮโมจีไนซ์ซึ่งมีค่าความแม่นยำของการควบคุมอุณหภูมิที่ $\pm$ 3^{o}C จากนั้นนำสายของชุดควบคุมอุณหภูมิต่อเชื่อมโยงไปยังชุดบันทึกค่าอุณหภูมิ (temperature recorder) ยี่ห้อ KEYENCE รุ่น GR-3500 ดังแสดงในรูป 3.3

รูปที่ 3.3 แสดงชุดบันทึกค่าอุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียมบิลเลท

จากนั้นนำแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทเข้าเตาอบโฮโมจีไนซ์ตามเงื่อนไขของอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดดังแสดงในรูปที่ 3.4

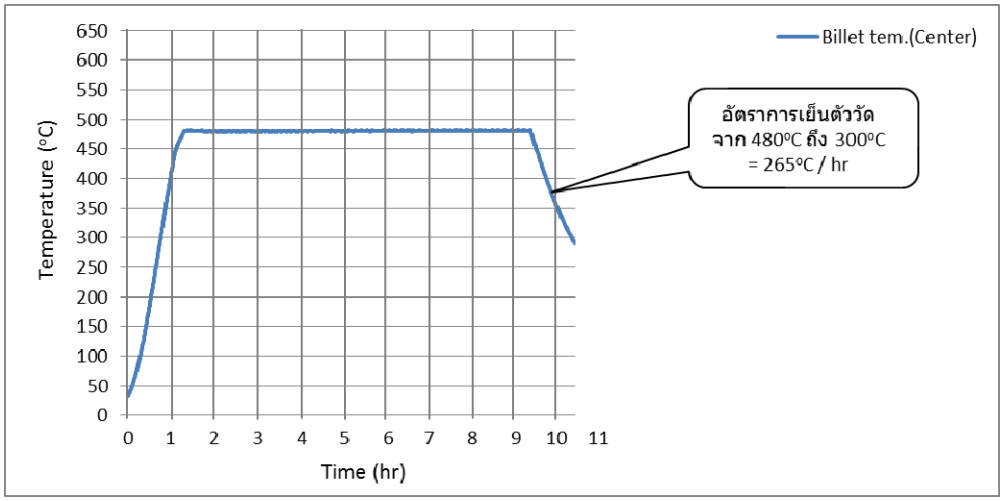
รูปที่ 3.4 แสดงเตาอบโฮโมจีไนซ์ที่ใช้ในการอบแท่งอะลูมิเนียมบิลเลท

3.3 รูปแบบการอบโฮโมจีไนซ์

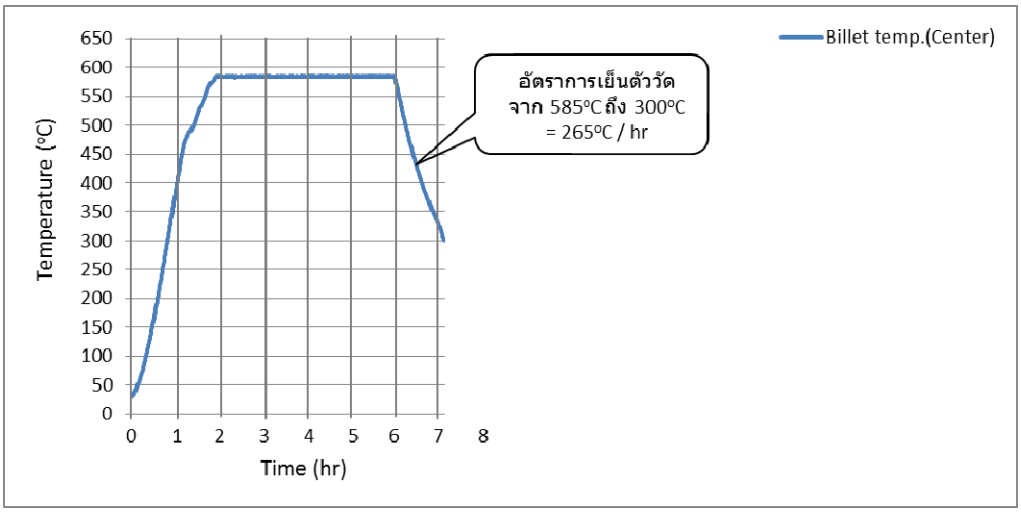
การศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดรูปแบบการอบโฮโมจีไนซ์ด้วยอุณหภูมิและเวลาการอบที่แตกต่างกันให้กับแท่งอะลูมิเนียมทั้ง 6 บิลเลท (billet no. 2 – 7) ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งอุณหภูมิการอบ เวลาการอบและอัตราการเย็นตัวที่เกิดขึ้นจริงภายในแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทแต่ละแท่งนั้นได้ถูกบันทึกไว้ด้วยชุดบันทึกค่าอุณหภูมิดังแสดงในกราฟรูปที่ 3.5 ถึง 3.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 การกำหนดรูปแบบการอบโฮโมจีไนซ์ของแท่งอะลูมิเนียมบิลเลท

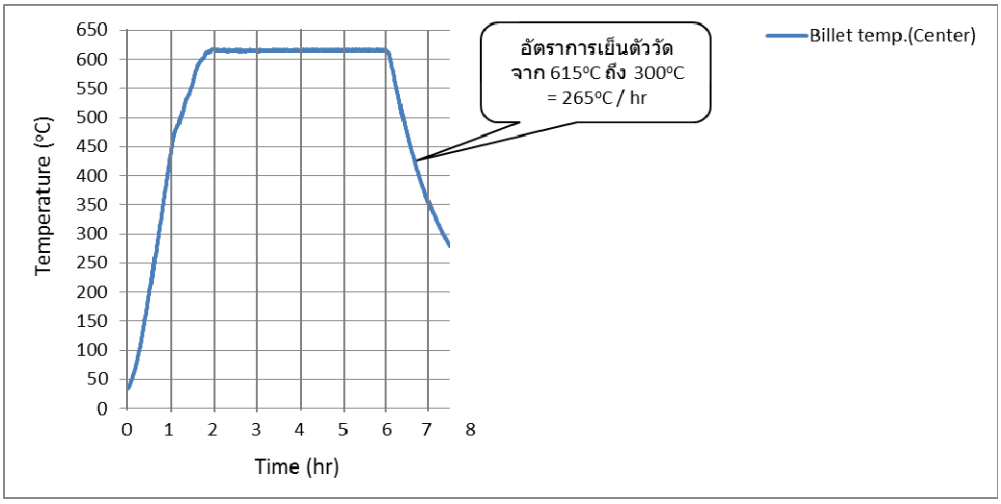
Billet no.	รูปแบบการอบโฮโมจีไนซ์
1	บิลเลทที่ไม่ผ่านกระบวนการอบโฮโมจีไนซ์ (As cast)
2	อบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 480°C นาน 8 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ
3	อบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 585°C นาน 4 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ
4	อบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 615°C นาน 4 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ
5	อบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 615°C นาน 4 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นตัวในเตาอบ และอบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 480°C นาน 4 ชั่วโมง
6	อบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 615°C นาน 8 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ
7	อบโฮโมจีไนซ์ที่อุณหภูมิ 615°C นาน 8 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นตัวในเตาอบ และอบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 480°C นาน 4 ชั่วโมง



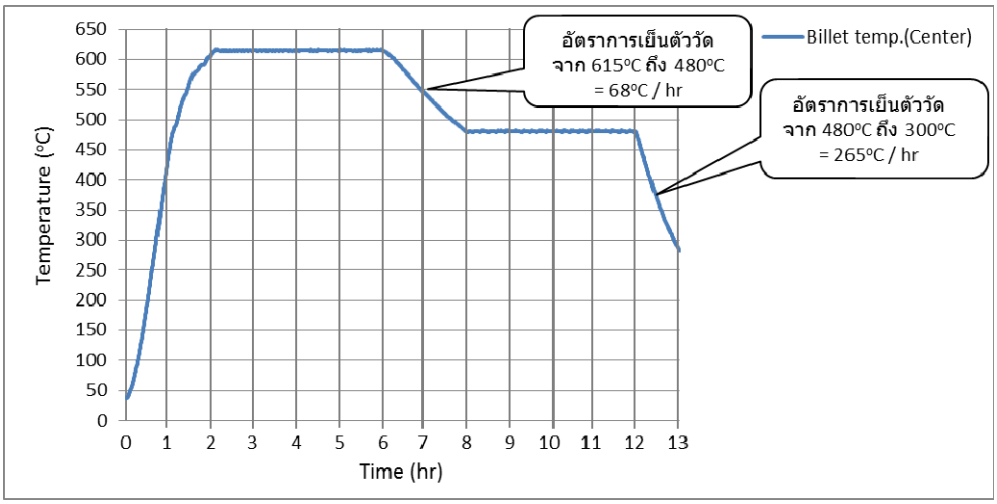
รูปที่ 3.5 กราฟบันทึกผลการอบโฮโมจีไนซ์ Billet no. 2 ด้วยรูปแบบการอบ 480°C นาน 8 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ



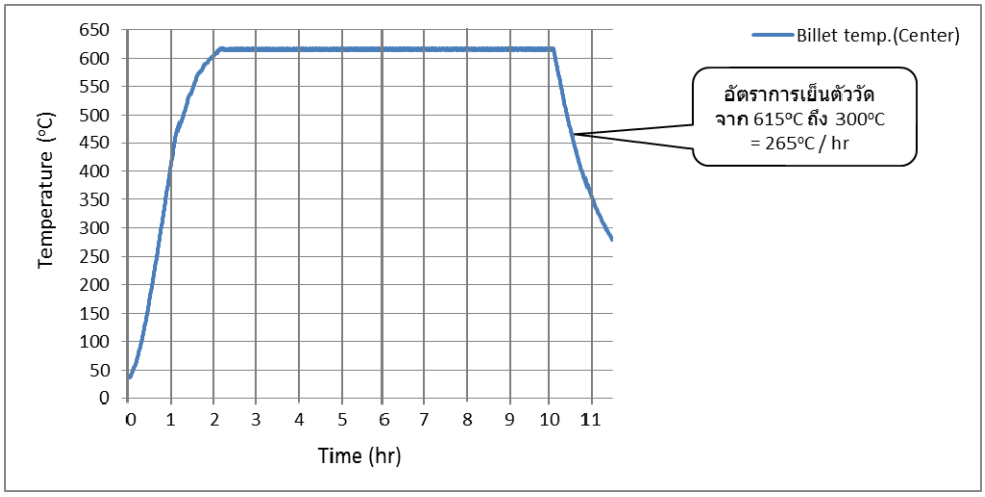
รูปที่ 3.6 กราฟบันทึกผลการอบโฮโมจีไนซ์ Billet no.3 ด้วยรูปแบบการอบ 585°C นาน 4 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ



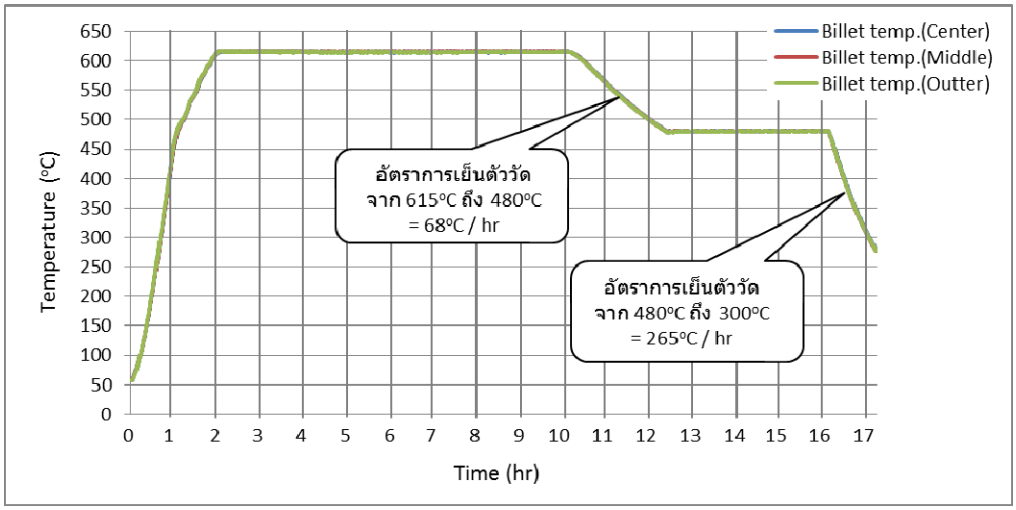
รูปที่ 3.7 กราฟบันทึกผลการอบโฮโมจีไนซ์ Billet no.4 ด้วยรูปแบบการอบ 615°C นาน 4 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ



รูปที่ 3.8 กราฟบันทึกผลการอบโฮโมจีไนซ์ Billet no.5 ด้วยรูปแบบการอบที่อุณหภูมิ 615°C นาน 4 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในเตาอบและอบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 480°C นาน 4 ชั่วโมง



รูปที่ 3.9 กราฟบันทึกผลการอบโฮโมจีไนซ์ Billet no.6 ด้วยรูปแบบการอบ 615°C นาน 4 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ



รูปที่ 3.10 กราฟบันทึกผลการอบโฮโมจีไนซ์ Billet no.7 ด้วยรูปแบบการอบที่อุณหภูมิ 615°C นาน 4 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในเตาอบและอบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 480°C นาน 4 ชั่วโมง

3.4 กระบวนการอัดรีดขึ้นรูปร้อน (Hot Extrusion)

นำแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทที่ผ่านการอบโฮโมจีไนซ์ในแต่ละรูปแบบมาทำการอัดรีดขึ้นรูปให้เป็นท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16.0 มิลลิเมตร หนา 1.2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดรีดขึ้นรูปยี่ห้อ UBE ขนาด 1,650 ตัน ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยทำการกำหนดพารามิเตอร์ในการอัดรีดขึ้นรูปที่เหมือนกันทุกบิลเลทดังแสดงในตารางที่ 3.4

รูปที่ 3.11 เครื่องอัดรีดขึ้นรูปร้อนยี่ห้อ UBE ขนาด 1,650 ตัน (Hot extrusion machine)

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ในการอัดรีดขึ้นรูป

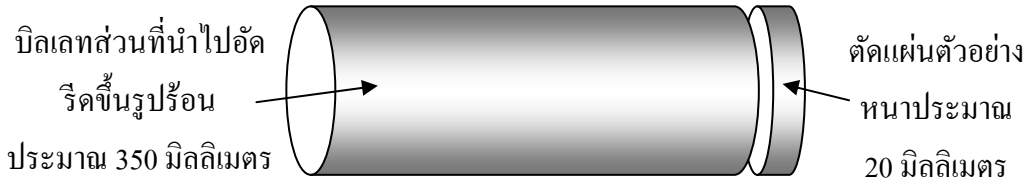
Items	Parameters
Billet size	OD 178 mm. x Length 350 mm.
Billet Preheating temperature	500°C
Extrusion ratio	457
Extrusion speed	30 m/min.
Product size	OD 16.0 mm. x Thickness 1.2 mm.
Extrusion length	50,000 mm.

3.5 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์

การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทและส่วนของชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากท่อหลังผ่านกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปร้อน ซึ่งมีรายละเอียดของการจัดเตรียมและวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

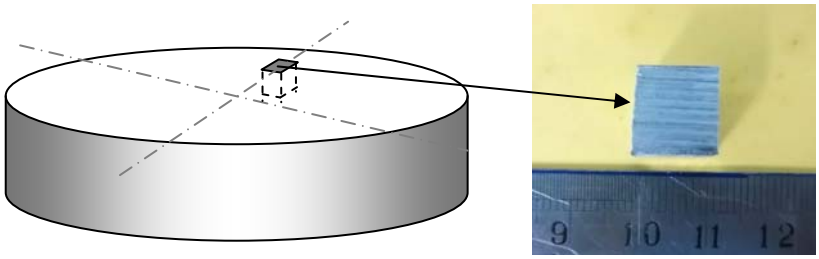
3.5.1 ชิ้นงานตัวอย่างจากแท่งอะลูมิเนียมบิลเลท

3.5.1.1 นำแท่งอะลูมิเนียมบิลเลททั้ง 7 บิลเทลที่ไม่ผ่านกระบวนการอบโฮโมจีไนซ์และที่ผ่านการอบโฮโมจีไนซ์ในรูปแบบที่แตกต่างกันรวมถึงอะลูมิเนียมบิลเลทที่นำเข้าจากต่างประเทศมาทำการตัดโดยผ่านการใช้น้ำหล่อเย็นเพื่อเอาแผ่นตัวอย่างจำนวนท่อนละ 1 แผ่น มีความหนาประมาณ 20 มิลลิเมตร โดยส่วนที่เหลือจากการตัดแผ่นตัวอย่างคือส่วนที่จะนำไปผ่านกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปต่อไปดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผ่นตัวอย่างจากแท่งอะลูมิเนียมบิลเลท

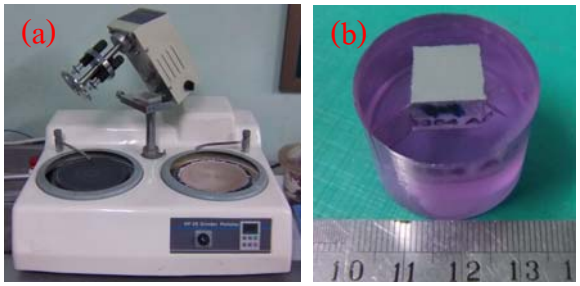
3.5.1.2 นำแผ่นตัวอย่างขนาดความหนา 20 มิลลิเมตรที่ได้จากข้อ 3.4.1.1 มาทำการผ่าโดยผ่านการใช้น้ำหล่อเย็นเพื่อจัดเตรียมชิ้นงานตัวอย่างที่จะนำไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคตรงบริเวณกึ่งกลางระหว่างขอบ OD ถึงจุดศูนย์กลางของบิลเลท (r/2) ขนาดประมาณ 10 x 10 มิลลิเมตรดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การตัดชิ้นงานตัวอย่างจากแผ่นตัวอย่างของแท่งอะลูมิเนียมบิลเลท

3.5.1.3 นำชิ้นงานตัวอย่างขนาดประมาณ 10 x 10 มิลลิเมตร ที่ได้จากข้อ 3.5.1.2ไปทำการหล่อด้วยสารเรซิ่นจากนั้นทำการขัดด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 120, 320, 800, 1200 และ 2000 แล้วทำการขัดมันด้วยผงขัดอะลูมิน่าเบอร์ 5 และ 1 ไมครอนตามลำดับ ด้วยเครื่องขัดชิ้นงานตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3.14

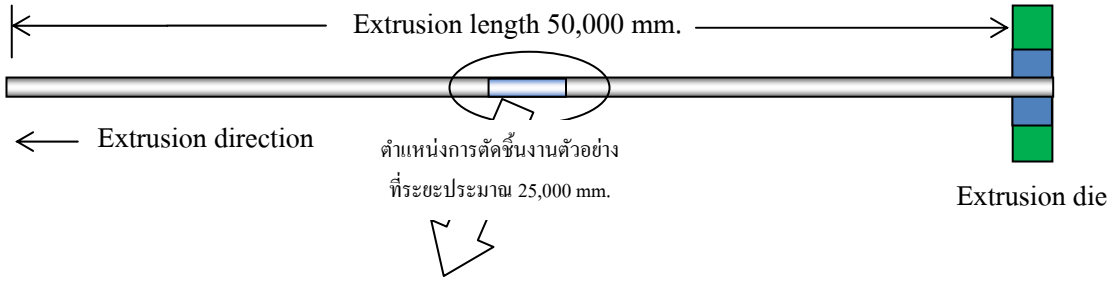
3.5.1.4 นำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ทำการเตรียมผิวเสร็จเรียบร้อยแล้วไปทำการกัดกรด (etching) ด้วยสารละลายไฮโดรฟลูออริก (HF) ความเข้มข้น 0.5 % นาน 15 วินาที เพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDS)

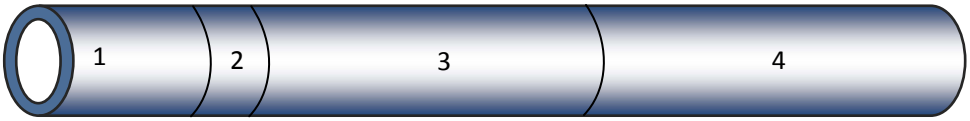


รูปที่ 3.14 การจัดเตรียมชิ้นงานตัวอย่างจากแท่งอะลูมิเนียมบิลเลทเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค
(a) เครื่องขัดเตรียมผิวหน้าชิ้นงานตัวอย่าง (polishing machine)
(b) ชิ้นงานตัวอย่างที่ขัดเตรียมผิวหน้าเรียบร้อยแล้ว

3.5.2 ชิ้นงานตัวอย่างจากท่อหลังกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปร้อน

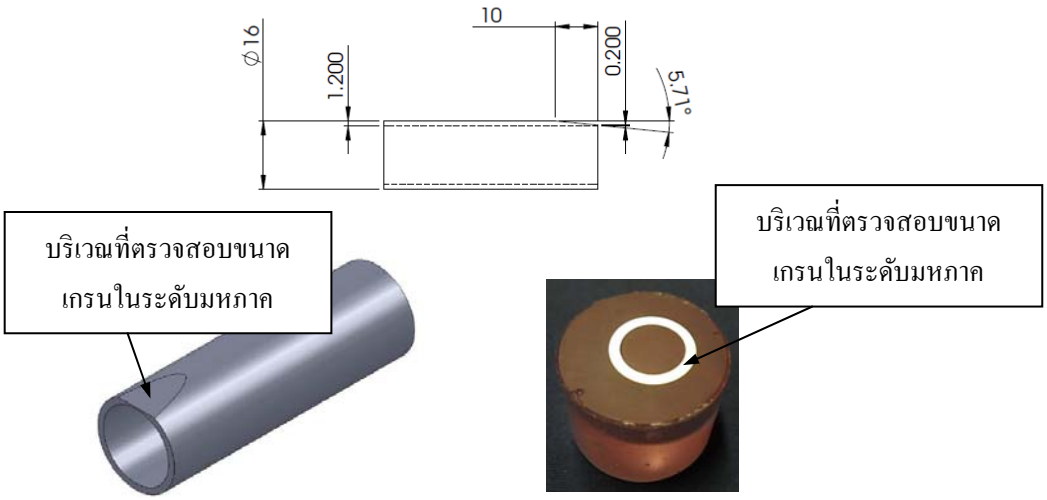
3.5.2.1 ตัดชิ้นงานตัวอย่างท่อตรงตำแหน่งที่ระยะความยาวประมาณ 25,000 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งกึ่งกลางของความยาวรีดทั้งหมด จากนั้นนำมาตัดโดยผ่านการใช้น้ำหล่อเย็นเพื่อเตรียมเป็นชิ้นงานทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.15 โดยชิ้นงานตัวอย่างหมายเลข 1 (ตัดที่ความยาวประมาณ 50 มิลลิเมตร) คือตัวอย่างที่จะนำไปตรวจสอบขนาดของเกรนในระดับมหภาค ส่วนชิ้นงานตัวอย่างหมายเลข 2 (ตัดที่ความยาวประมาณ 10 มิลลิเมตร) คือตัวอย่างที่จะนำไปตรวจสอบขนาดของเกรนในระดับจุลภาคตรงบริเวณหน้าตัด ชิ้นงานตัวอย่างหมายเลข 3 (ตัดที่ความยาวประมาณ 255 มิลลิเมตร) คือตัวอย่างที่นำไปทดสอบสมบัติเชิงกล และชิ้นงานตัวอย่างหมายเลข 4 (ตัดที่ความยาวประมาณ 255 มิลลิเมตร) คือตัวอย่างที่จะนำไปทำการขึ้นรูปเย็นด้วยการดึงด้วยอัตราความเร็วที่เท่ากันเพื่อเปรียบเทียบความรุนแรงของการเกิดปัญหาผิวส้มบริเวณผิวชิ้นงาน





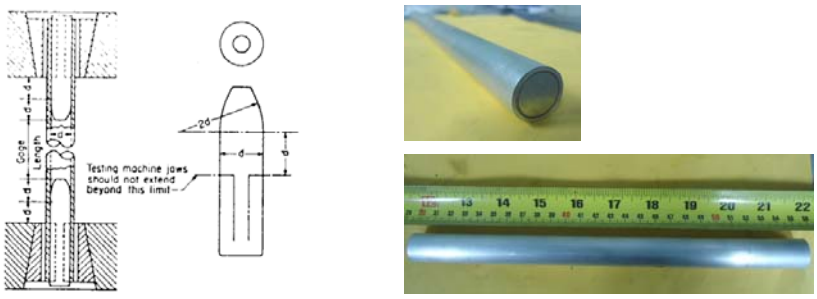
รูปที่ 3.15 การตัดตัวอย่างชิ้นงานทดสอบจากท่อหลังผ่านกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปร้อน

3.5.2.2 นำชิ้นงานตัวอย่างหมายเลข 1 มาทำการขัดปาดผิวทำมุมประมาณ 5.7 องศา จากผิวด้านนอก OD ถึงผิวด้านใน OD ดังแสดงในรูปที่ 3.16 จากนั้นนำไปกัดกรด (etching) ด้วยสารละลายไนตริก (HNO_3) 32.6%,ไฮโดรคลอลิค (HCL) 32.6%,ไฮโดรฟลูลิค (HF) 2.2% ผสมน้ำ (H_2O) 32.6% นาน 20 วินาที เพื่อตรวจสอบขนาดเกรนในระดับมหภาค ส่วนชิ้นงานตัวอย่างหมายเลข 2 นำไปทำการหล่อด้วยสารเรซิ่น จากนั้นทำการขัดด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 120, 320, 800, 1200 และ 2000 แล้วทำการขัดมันด้วยผงขัดอะลูมิน่าเบอร์ 5 และ 1 ไมครอนตามลำดับ จากนั้นนำไปทำการกัดกรดด้วยสารละลายชนิดเดียวกัน นาน 15 วินาที เพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง



รูปที่ 3.16 การจัดเตรียมชิ้นงานตัวอย่างจากชิ้นงานท่อสำหรับตรวจสอบ
โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างทางจุลภาค

3.5.2.3 นำชิ้นงานตัวอย่างหมายเลข 3 มาทำการจัดเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM no. B557M [23] ดังแสดงในรูปที่ 3.17 จากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง Tensile ยี่ห้อ INSTRON ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 การจัดเตรียมชิ้นงานตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM no. B557M [24]

รูปที่ 3.18 เครื่องทดสอบแรงดึงที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลและการเกิดผิวส้มที่ผิวชิ้นงาน

3.5.2.4 นำชิ้นงานตัวอย่างหมายเลข 4 ไปทำการจัดเตรียมในลักษณะเช่นเดียวกับชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกลและนำไปทำการดึงขึ้นรูปเย็นด้วยเครื่องดึง Tensile ชนิดเดียวกันในอัตราความเร็วคงที่ 50 มิลลิเมตร/นาที จากแรงดึงเริ่มต้นจนถึงแรงดึงที่ 6,000 นิวตัน จากนั้นหยุดการดึงและนำชิ้นงานมาตรวจสอบการเกิดผิวส้มและทำการตรวจวัดค่าความหยาบผิวโดยเฉลี่ย (Ra) ที่ผิวชิ้นงานจำนวน 3 จุด ด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SV-3000 ดังแสดงในรูปที่ 3.19

รูปที่ 3.19 เครื่องตรวจวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน