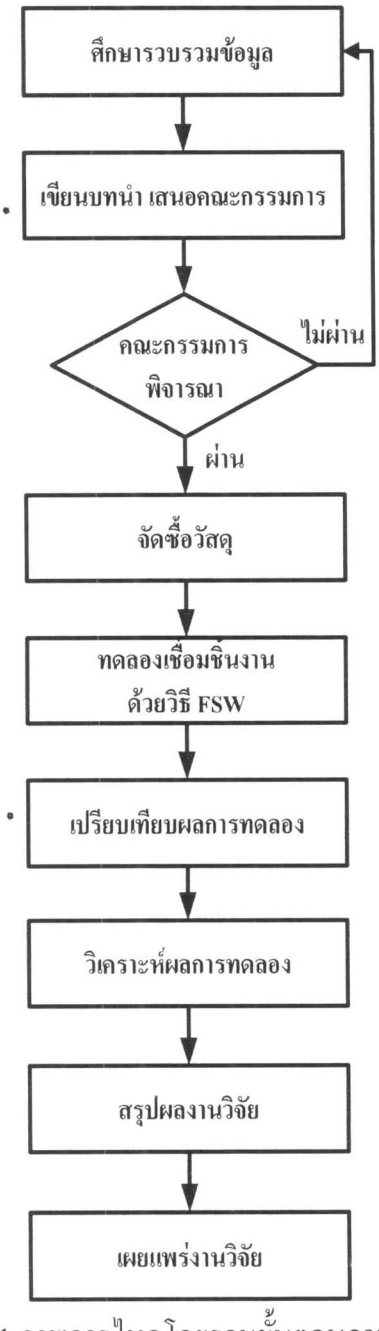
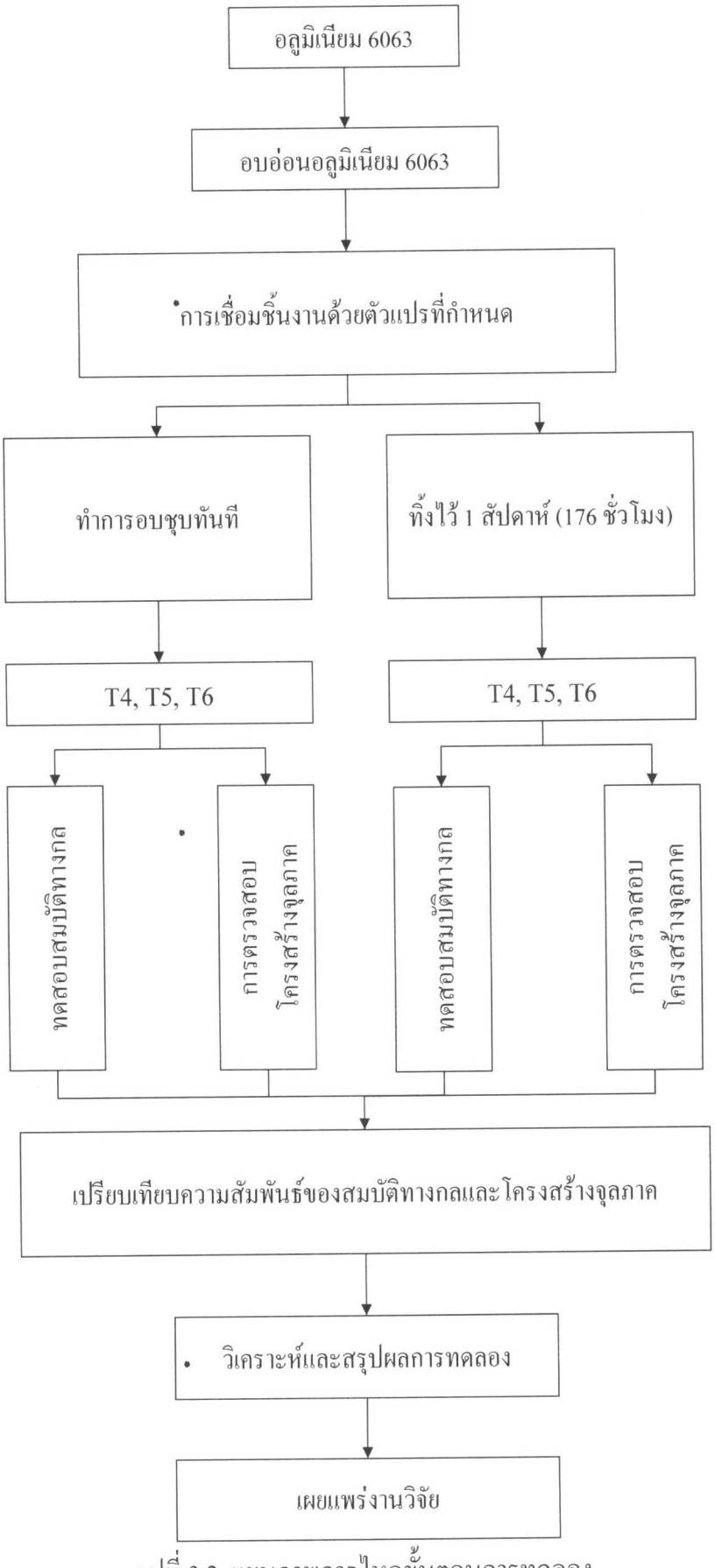
บทที่ 3
วิธีทดลอง

3.1 แผนการดำเนินการ

จากการดำเนินการศึกษาข้อมูลต่างๆ และหลักการที่เกี่ยวข้องกับการอบชุบแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียมแผ่นรีด 6063 ได้มีการวางแผนการดำเนินการวิธีการทดลองเพื่อจะได้ดำเนินงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ มีแผนการดำเนินงานดังรูปที่ 1



รูปที่ 3.1 ภาพการไหลโดยรวมขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.2 แผนภาพการไหลขั้นตอนการทดลอง

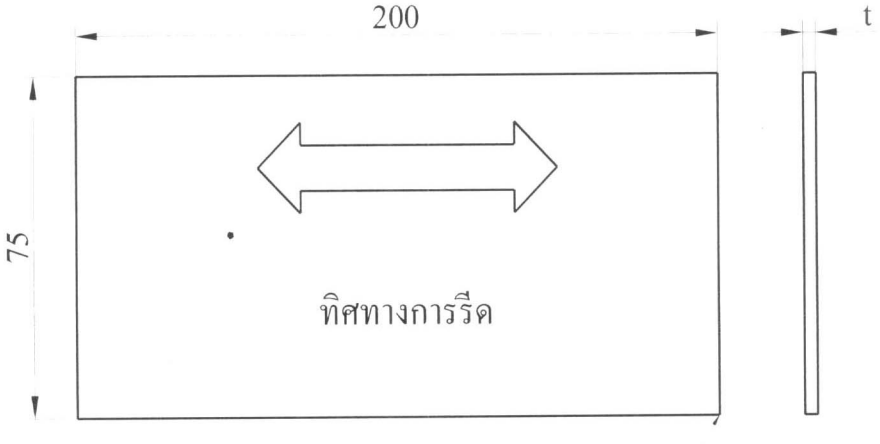
ภาพรวมขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงไว้ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยแบ่งออกการทดลองออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ คือ การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ การทำการทดลองเชื่อมที่สภาวะการเชื่อมต่างๆการอบชุบแนวเชื่อม การทดสอบสมบัติของโลหะเชื่อม และการวิเคราะห์สรุปผลการทดลอง รายละเอียดของวิธีการดำเนินการทดลองมีดังนี้

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ธาตุ	Al	Mg	Mn	Cu	Cr
ปริมาณ (%น้ำหนัก)	สมดุล	4.00	0.05	0.01	0.02

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุในการทดลอง คือ อลูมิเนียมแผ่นรีด หนา 6.3 มม. ยาว 6 เมตร จาก บริษัท เอ็ม เอฟ ที เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด โดยมีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 3.1 แผ่นอลูมิเนียมถูกเตรียมให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยนผืนผ้า ขนาดกว้าง 75 มม. ยาว 200 มม. โดยให้ทิศทางของการรีดขนานกับด้านยาวของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 3.3

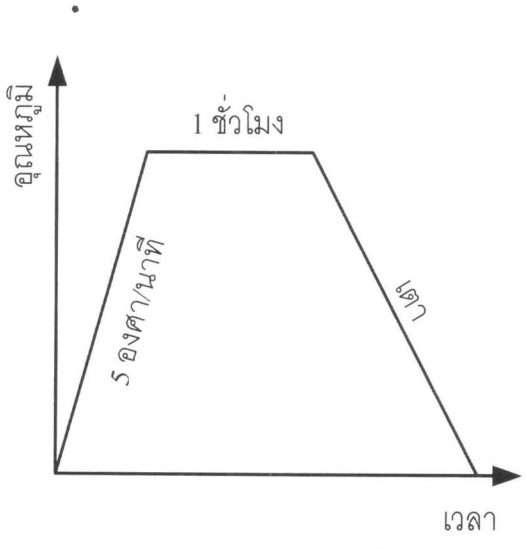


ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 240
และ 500

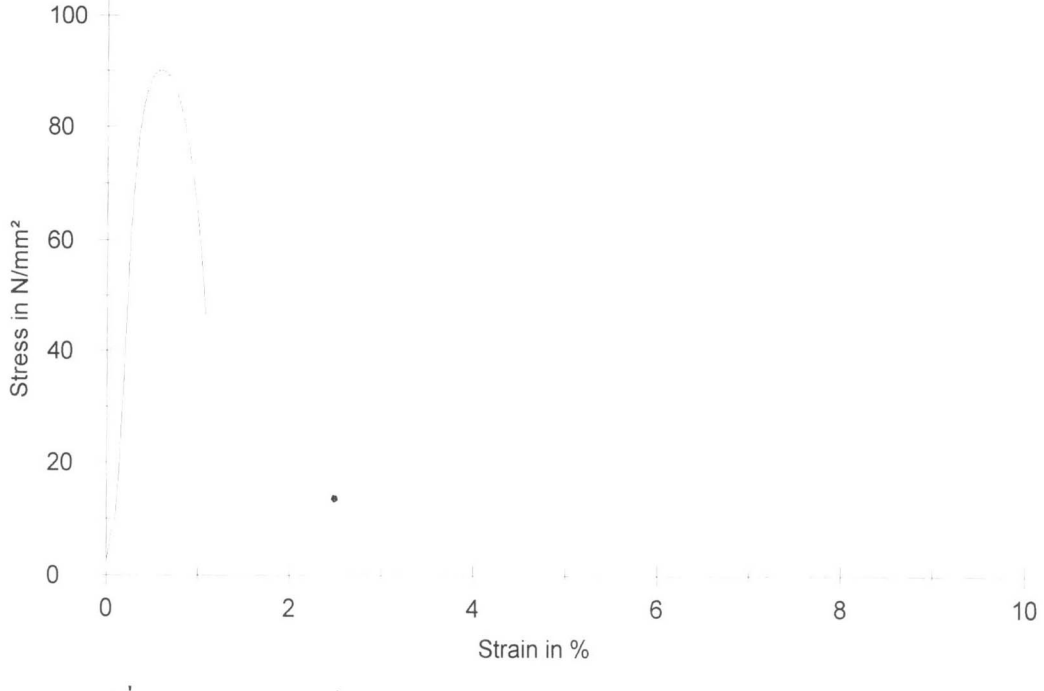
รูปที่ 3.3 มิติแผ่นอลูมิเนียม (t = 6.3 มม., หน่วย: มม.)

แผ่นอลูมิเนียมดังแสดงในรูปที่ 3.3 ถูกนำไปทำการอบอ่อน เพื่อให้แน่ใจว่า ชิ้นงานอลูมิเนียมนี้ คือ อลูมิเนียมผสมเกรด 6063-O โดยมีขั้นตอนในการอบอ่อนดังแสดงในรูปที่ 3.4 กล่าวคือ ทำการอบชิ้นงานไปที่อุณหภูมิ 421°C ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที จากนั้นทำ

การอบแช่ที่อุณหภูมิ 421°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในเตาจนกระทั่งอุณหภูมิของเตามีค่าเท่ากับอุณหภูมิห้อง ความแข็งแรงดึงของของอลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนมีค่าดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.4

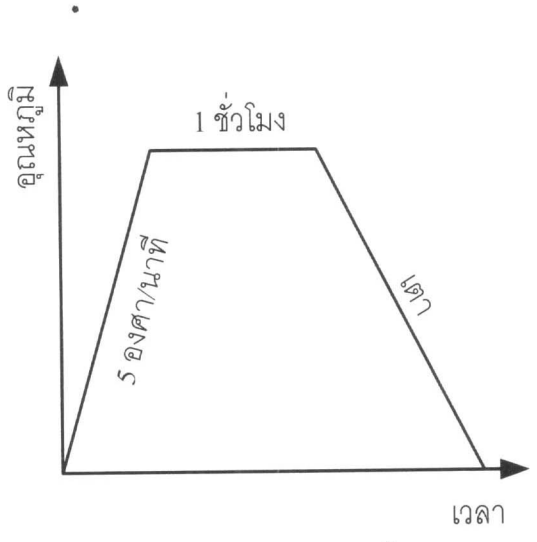


รูปที่ 3.3 แผนภาพเวลา อุณหภูมิ และขั้นตอนการอบอ่อน

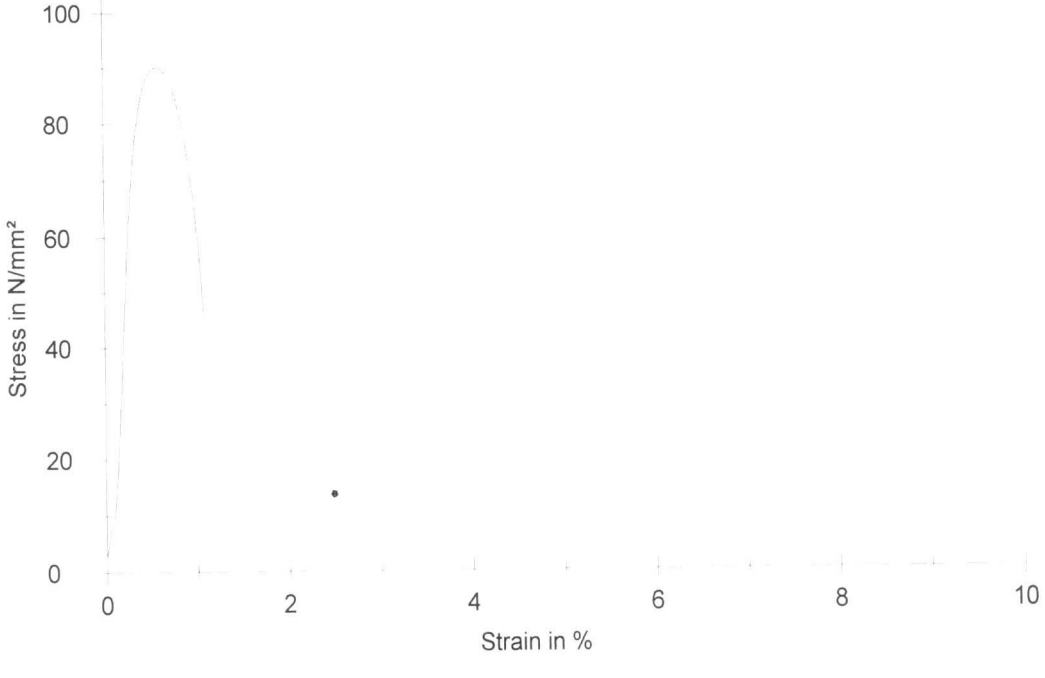


รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของอลูมิเนียม A6063-O

การอบแช่ที่อุณหภูมิ 421°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในเตาจนกระทั่งอุณหภูมิของเตามีค่าเท่ากับอุณหภูมิห้อง ความแข็งแรงดึงของของอลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนมีค่าดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แผนภาพเวลา อุณหภูมิ และขั้นตอนการอบอ่อน



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของอลูมิเนียม A6063-O

ตารางที่ 3.2 ความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียม 6063-O

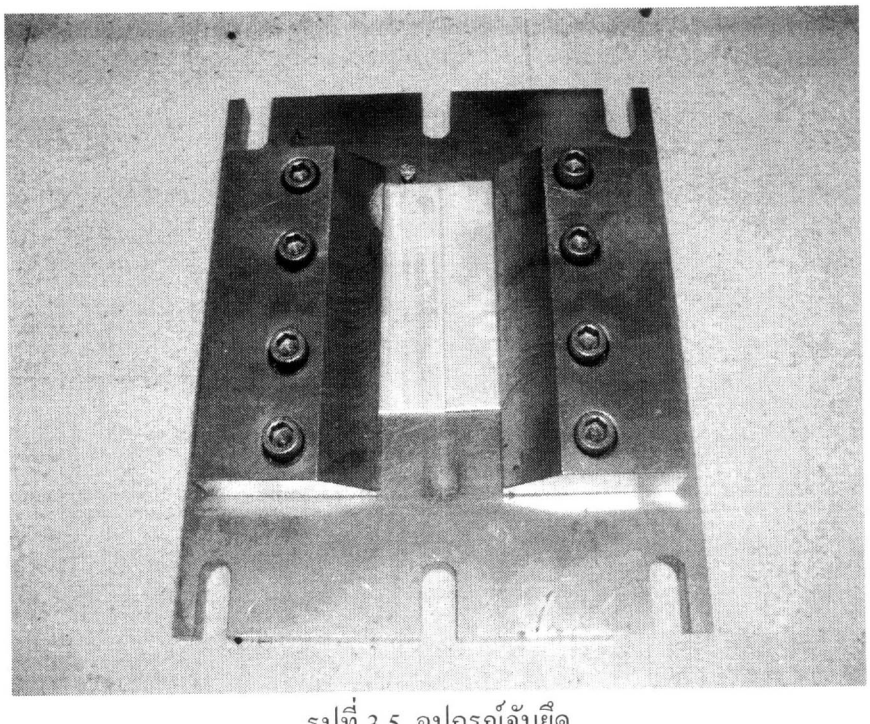
$\sigma_{max.}$ (N/mm^2)	F_{Break} (N/mm^2)	ε_{Break} (%)	$\varepsilon_{max.}$ (%)
90.12	46.50	1.08	0.58

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

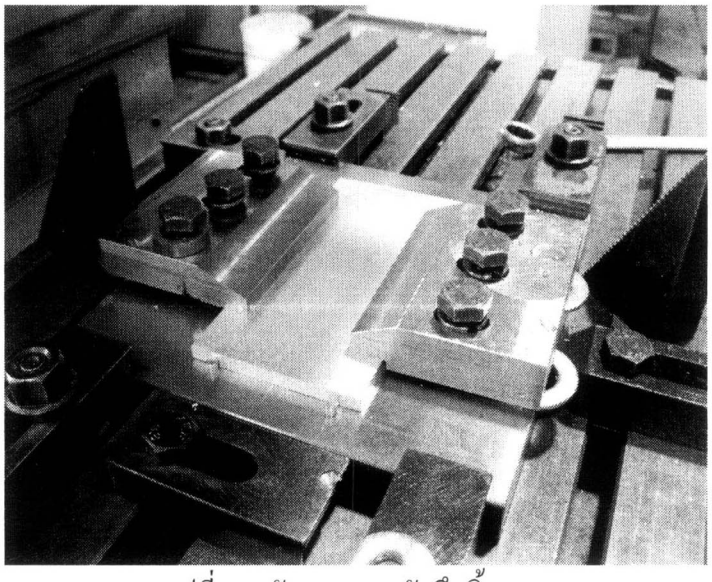
3.2.1 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 3.5-3.7 เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ เนื่องจากในกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนนั้น ชิ้นงานที่ถูกจับยึดจะต้องแน่นหนาไม่เคลื่อนที่ขณะที่ทำการเชื่อม และที่สำคัญในขณะที่ทำการเชื่อมจำเป็นจะต้องมีแผ่นรองรับแนวแรงที่การกดของแกนหมุนที่ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน ดังนั้นจึงจะต้องออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถรองรับแรงกดจากตัวกวน และต้องออกแบบให้อุปกรณ์สามารถจับยึดชิ้นงานอย่างมั่นคง อุปกรณ์การจับยึดนี้ เป็นอุปกรณ์ที่มีการออกแบบเพื่อการทำงานอันเดียวกันตลอกทั้งแผนการวิจัย โดยใช้หลักการการดังนี้คือ

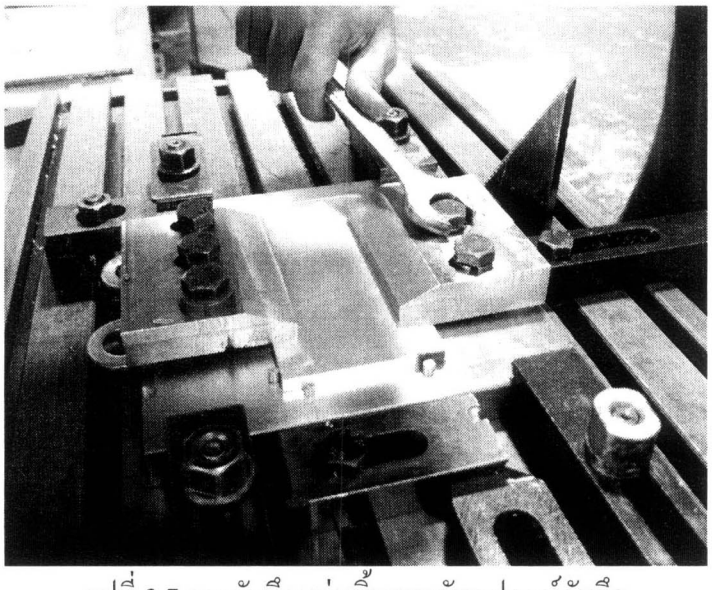
- แผ่นรองรับจะต้องรองรับแรงกดได้โดยไม่มีการเสียรูปขณะที่ทำการเชื่อม
- ทนอุณหภูมิได้สูงโดยไม่มีการเสียรูป
- อุปกรณ์จับยึดจะต้องแข็งแรงและให้แรงในการจับยึดมากพอที่ไม่ทำให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ขณะทำการเชื่อมและที่สำคัญสามารถถอดประกอบได้ง่ายหากเกิดการชำรุดอีกด้วย



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์จับยึด

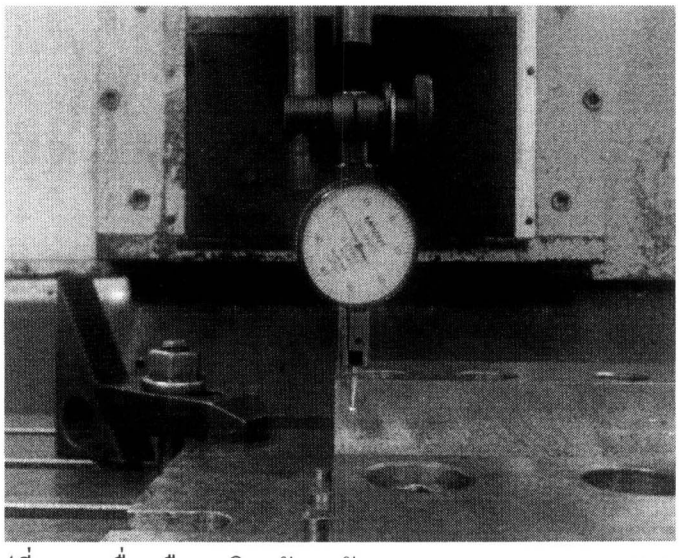


รูปที่ 3.6 ลักษณะการจับยึดชิ้นงาน



รูปที่ 3.7 การขันยึดแน่นชิ้นงานกับอุปกรณ์จับยึด

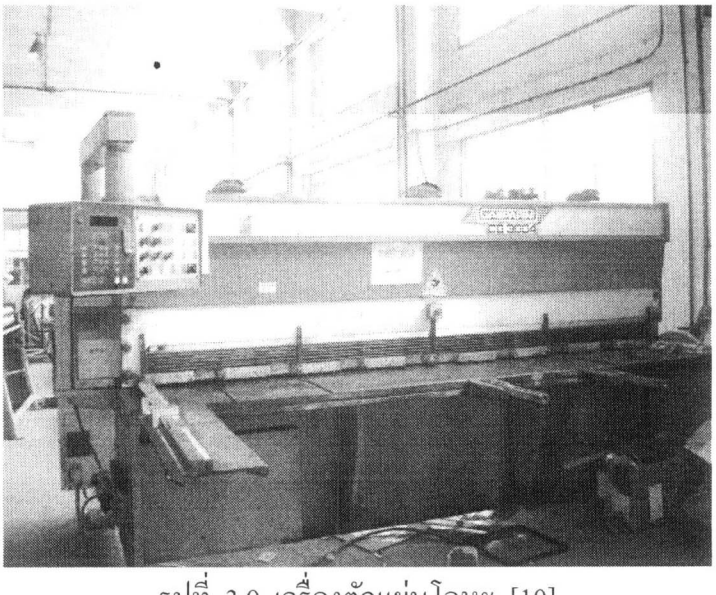
ในการจับยึดชิ้นงานนั้นขอบของชิ้นงานต้องวางขนานกับแท่นรองรับชิ้นงานของเครื่องกัดอัตโนมัติ โดยใช้เครื่องมือนาฬิกาวัดระดับแนวขนาน (Dial gauge) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เพื่อทำการวัดระดับแนวของชิ้นงานที่ได้ทำการเตรียมไว้ในการทดลองให้มีความเที่ยงตรง ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเชื่อมที่จำเป็นต้องมีการเดินแนวเชื่อมที่เที่ยงตรงและสม่ำเสมอ หลังจากทำการติดตั้งชิ้นงานอย่างเที่ยงตรงแล้ว จึงทำการติดตั้งเครื่องมือเชื่อมเข้ากับตัวจับยึดเครื่องมือของเครื่องกัดอัตโนมัติ โดยได้ทำการใส่เครื่องมือเชื่อมอย่างหนาแน่นเพื่อป้องกันการสะบัดของเครื่องมือเชื่อมขณะทำการเชื่อม รวมถึงอาจทำให้เครื่องมือเชื่อมเกิดการยุบตัวเข้าไปในตัวจับยึดเครื่องมือได้



รูปที่ 3.8 เครื่องมือนาฬิกาวัดระดับแนวขนาน (Dial Gauge) [10]

3.2.1 เครื่องมืออื่นๆ ที่ใช้ประกอบการทดลองในครั้งนี้มีดังนี้

- เครื่องตัดแผ่นโลหะ ผู้ทำการวิจัยได้ใช้เครื่อง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังรูปที่ 3.9

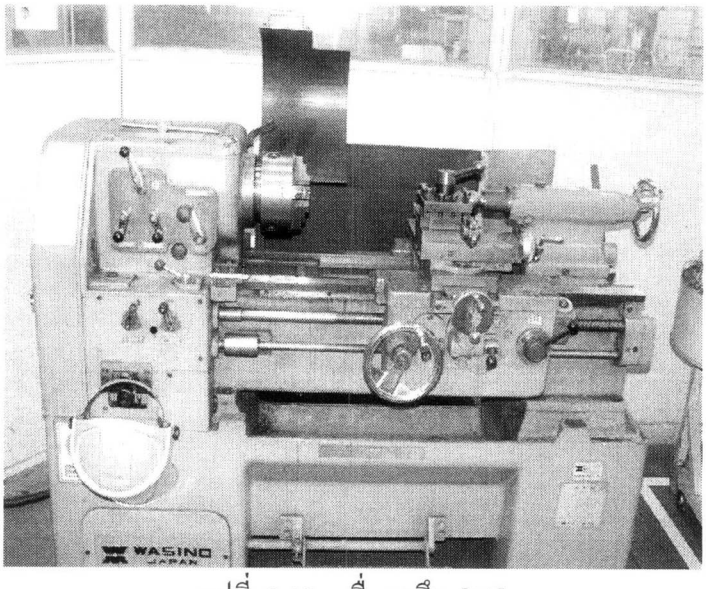


รูปที่ 3.9 เครื่องตัดแผ่นโลหะ [10]

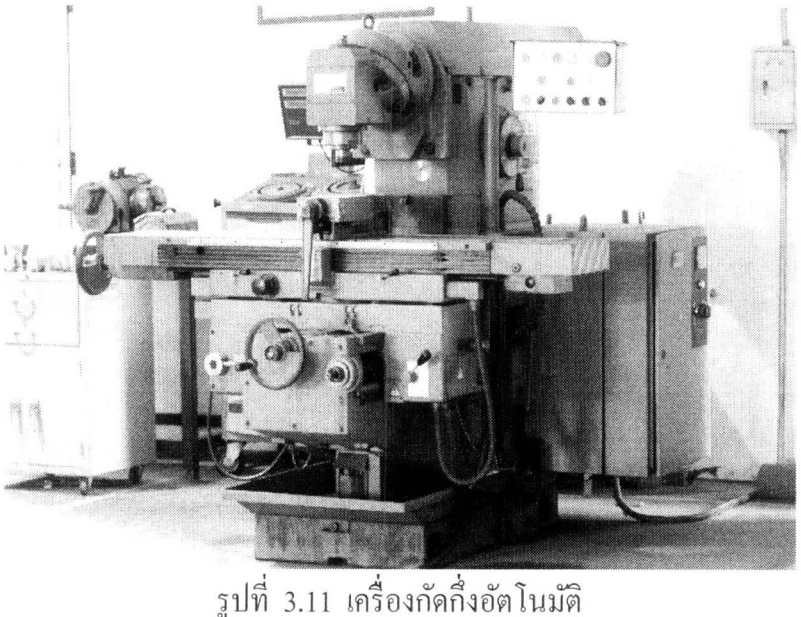
- เครื่องกลึงโลหะ เพื่อการทำตัวกวน ดังรูปที่ 3.10

- เครื่องกัดกึ่งอัตโนมัติ ผู้ทำการวิจัยทำการทดลองที่ สาขาเทคโนโลยีการออกแบบแม่พิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังกลกังวล ดังรูปที่ 3.11 ที่ใช้เชื่อมชิ้นงานอลูมิเนียมทดลอง

- เครื่องตัดชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคดังรูปที่ 3.12
- เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง ดังรูปที่ 3.13
- กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) ดังรูปที่ 3.14
- เครื่องทดสอบความแข็งวิกเกอรส์ (Vickers hardness) ดังรูปที่ 3.15

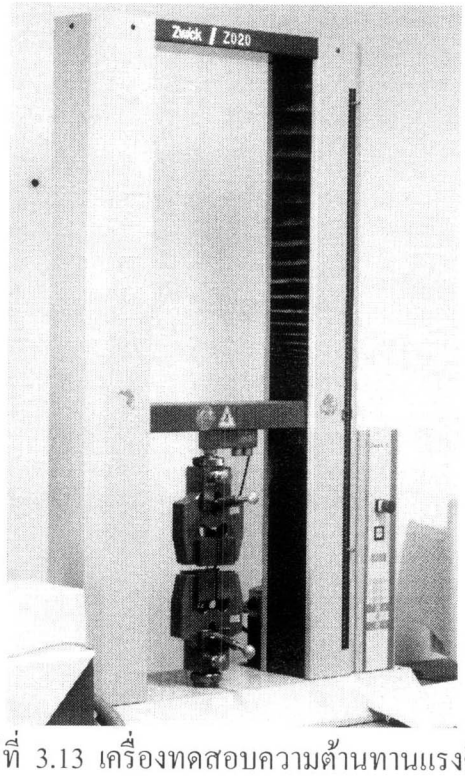


รูปที่ 3.10 เครื่องกลึง [10]

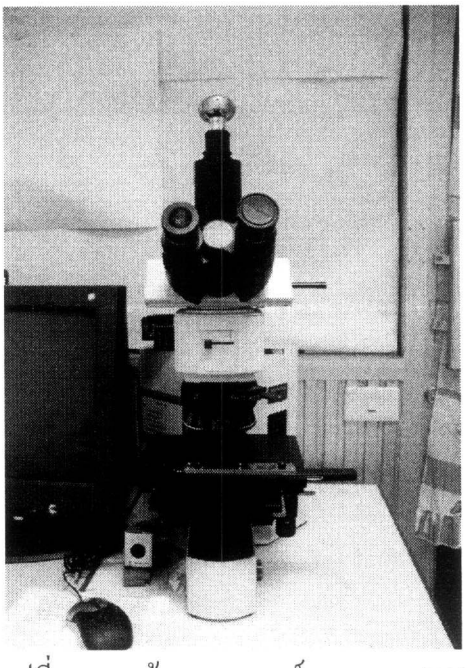


รูปที่ 3.11 เครื่องกัดกึ่งอัตโนมัติ

รูปที่ 3.12 เครื่องตัดชิ้นงาน [10]

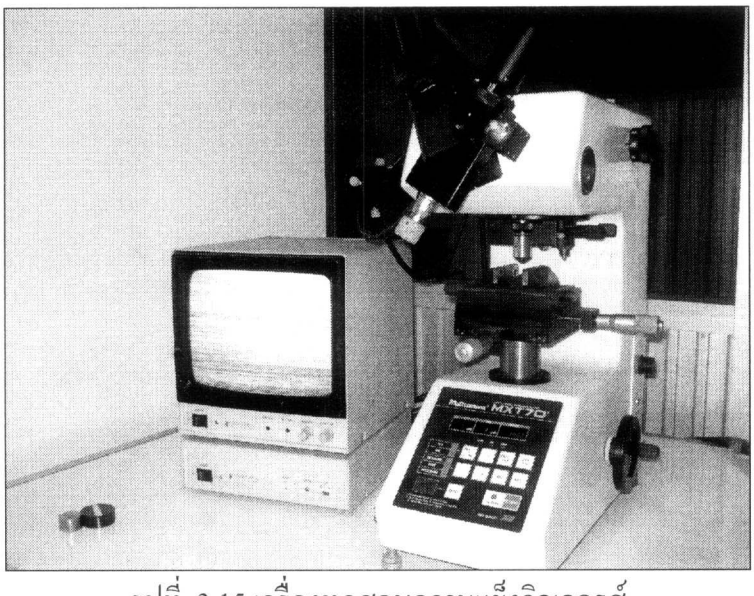


รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 3.14 กล้องจุลทรรศน์แบบแสง [10]



รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบความแข็งวิกเกอรส์

3.2 การเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่สภาวะการเชื่อมต่างๆ

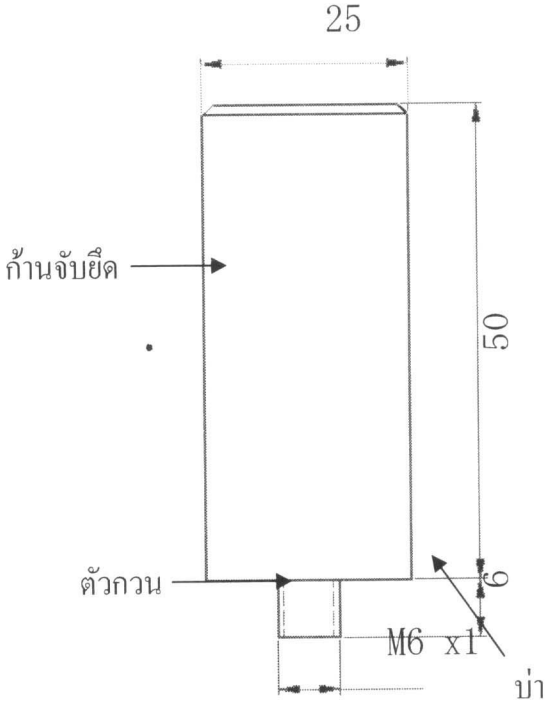
3.2.1 เครื่องมือเชื่อม

ในการทดลองจำเป็นต้องมีตัวกวน (Tool) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการทดลอง ซึ่งจะเป็นตัวกวนที่ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานขณะเชื่อม โดยมีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3.15

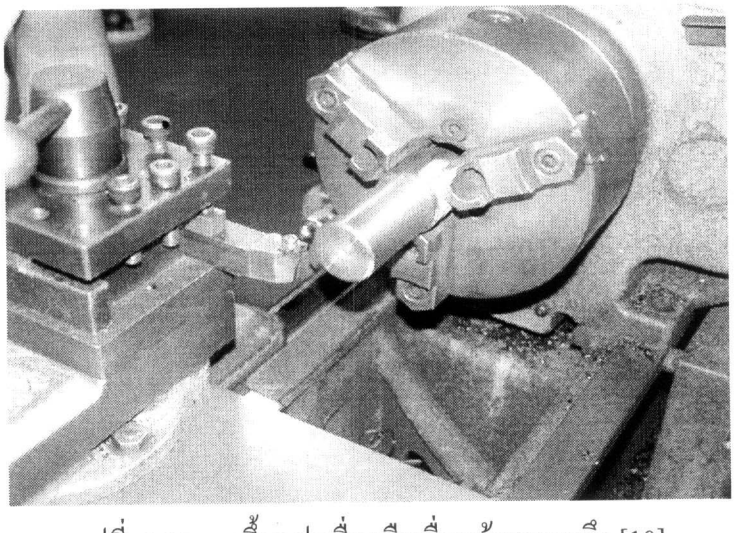
- ก้านจับยึด เป็นส่วนที่สวมเข้าไปในแกนหมุน (Spindle) ของเครื่องกัด เพื่อส่งแรงหมุนไปยังตัวกวน

- บ่า (Shoulder) เป็นส่วนที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานจนเกิดความร้อนที่ชิ้นงาน จนเนื้อของวัสดุเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นพลาสติก

- ตัวกวน (Stirrer) เป็นส่วนที่หมุนอยู่ในเนื้อของวัสดุ และทำการกวนเนื้อของวัสดุที่อยู่ในสภาพพลาสติกให้เคลื่อนที่มารวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 3.15 ส่วนต่างๆ ของตัวกวน



รูปที่ 3.16 การขึ้นรูปเครื่องมือเชื่อมด้วยการกลึง [10]

โดยชิ้นส่วนทั้งหมดได้จากการขึ้นรูปเหล็กกล้าเครื่องมือ SKH-57 และซีเมนต์คาร์ไบด์ เพื่อให้ได้รูปร่างของตัวกวนดังแสดงในรูปที่ 3.15 โดยการนำเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด SKH-57 ที่ใช้ทำเครื่องมือเชื่อมมาทำการกลึงขึ้นรูปด้วยเครื่องกลึง ดังรูปที่ 3.16

3.2.2 วิธีการเชื่อม

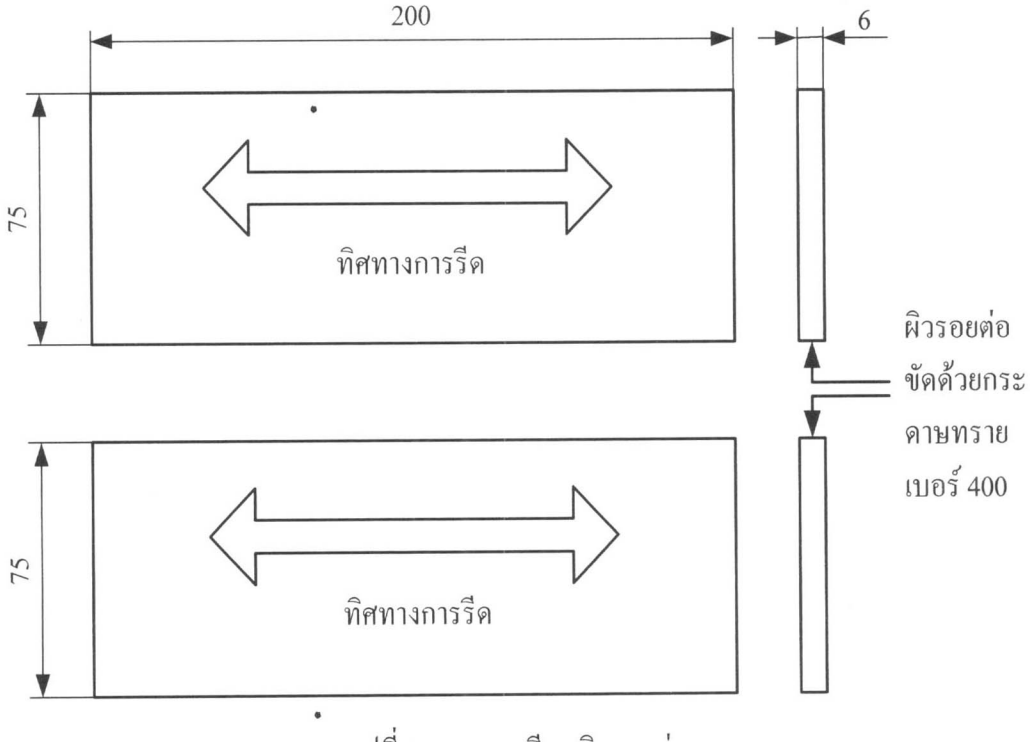
- ก่อนทำการเชื่อมต้องมั่นใจว่าขอบของชิ้นงานมีความเรียบและสะอาด ด้วยเหตุนี้จึงทำความสะอาดอีกครั้งด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400 ที่ขอบของรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 3.17

- การเชื่อมปลายของตัวกวน จะถูกลดลงจนถึงบ่าเครื่องมือเชื่อมสัมผัสกับผิวของแผ่นอลูมิเนียมที่เตรียมเป็นรอยต่อจุดที่ 1 ของรอยต่อในรูปที่ 3.18 และ 3.19

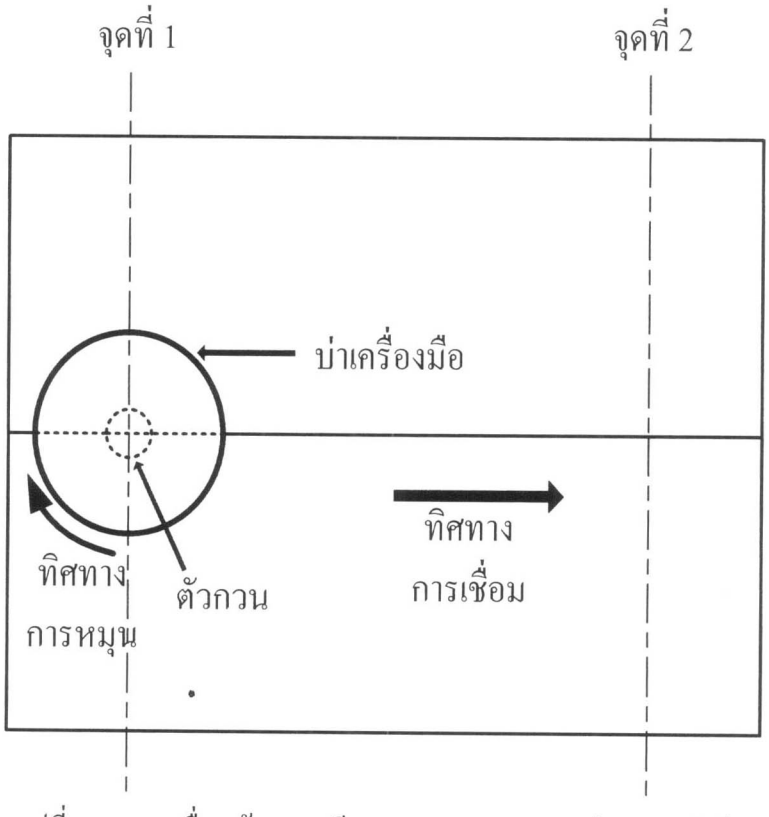
- ตัวกวนรูปตัวเกลียวที่ขึ้นรูปจากสะเตนคาร์ไบด์ ถูกสอดเข้าไปตรงตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 3.18 เพื่อให้บ่าเครื่องมือเชื่อมจมลงไปในผิวอลูมิเนียมแล้วแช่ไว้ 10 วินาที

- เครื่องมือเชื่อมเดินทางตามแนวรอยต่อจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.18 และทำการแช่ไว้ที่จุดที่ 2 10 วินาทีก่อนยกตัวกวนออก จะได้แนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 3.19

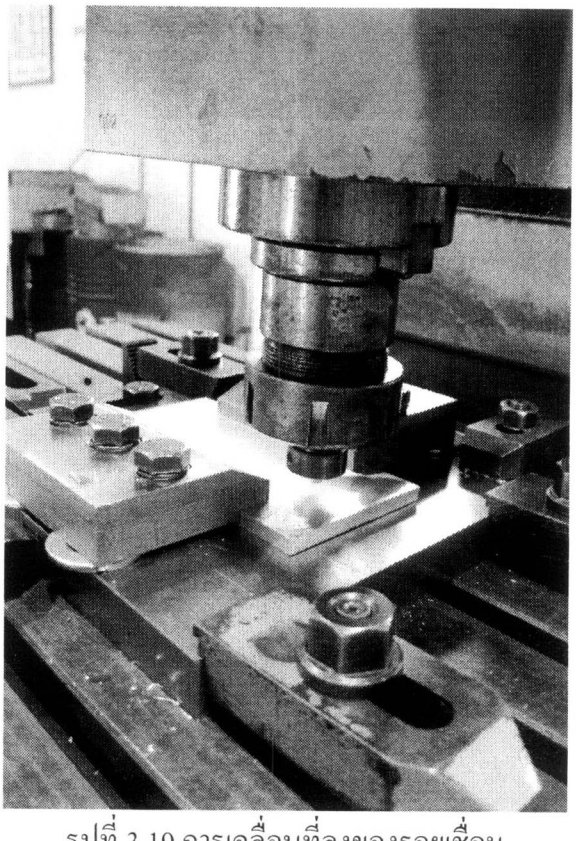
- รอให้ชิ้นงานเย็นตัวและทำการถอดชิ้นงานไปปฏิบัติการขั้นตอนต่อไป



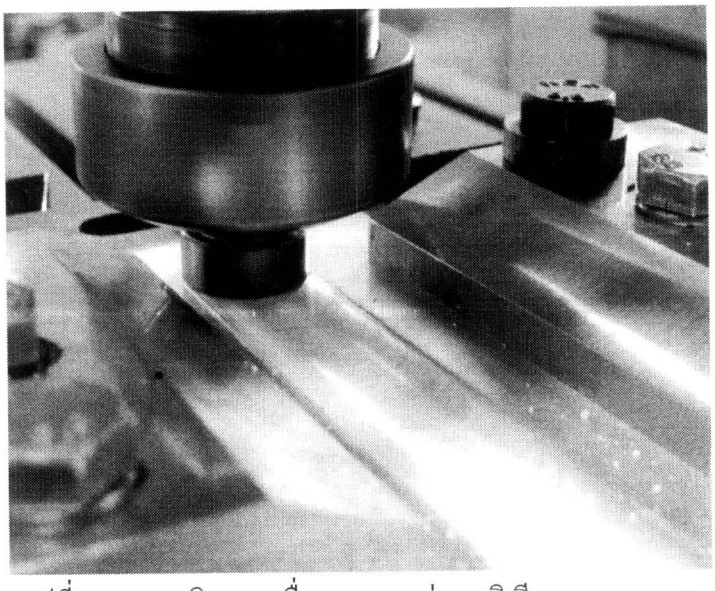
รูปที่ 3.17 การเตรียมผิวรอยต่อ



รูปที่ 3.18 การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนรอยต่อชนอลูมิเนียม



รูปที่ 3.19 การเคลื่อนที่ลงของรอยเชื่อม



รูปที่ 3.20 การเดินแนวเชื่อมบนรอยต่ออลูมิเนียมผสม A6063

3.2.3 ตัวแปรการเชื่อม

ในการทดลองนี้ตัวแปรการเชื่อมประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- ความหนาของวัสดุ ในการทดลองครั้งนี้ใช้วัสดุที่มีความหนาเท่ากัน คือ อลูมิเนียมหนา 6.3 มิลลิเมตร

- ชนิดของรอยต่อ เลือกศึกษารอยต่อชน

- รูปร่างของตัวกวน คือ ทรงกระบอกผิวเกลียวซ้ายขนาด M6

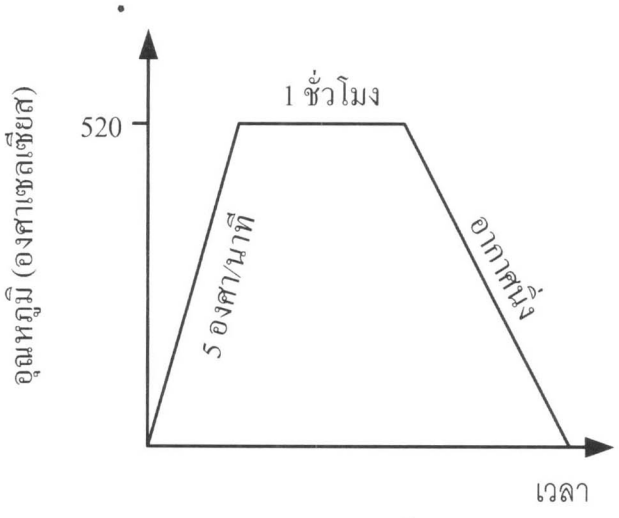
- ความเร็วรอบของตัวกวน เลือกใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 2000 rpm เนื่องจากเป็นความเร็วรอบที่ใช้ในการเชื่อมรอยต่อชนอลูมิเนียม 6063 ที่ได้รายงานไว้ [33]

- ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ตั้งแต่ 50-200 mm/min [33]

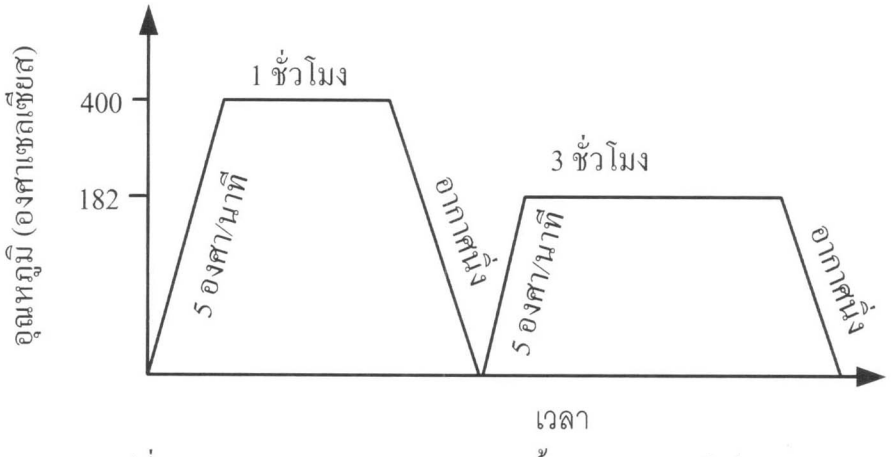
- ความเอียงของตัวกวน ที่ทำให้เกิดแนวเชื่อมที่สมบรูณ์มีค่าประมาณ 2-6 องศา [17] ในการทดลองนี้เลือกที่ 2 องศา เนื่องจากในรายงานที่ผ่านมาพบว่าค่าความแข็งแรงสูงที่ค่ามุมเอียงนี้ [33]

3.3 การอบคืนไฟแนวเชื่อม

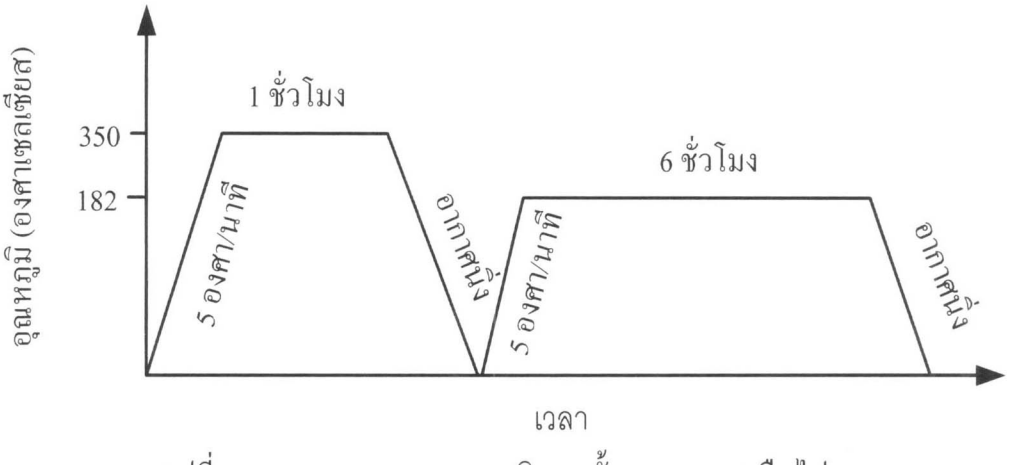
ชิ้นงานที่นำมาทำการอบชุบนั้น คือ ชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมแล้ว โดยชิ้นงานที่ทำการเชื่อมนั้นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ทำการอบชุบทันทีหลังจากทำการเชื่อม และกลุ่มที่ทำการทิ้งแช่ไว้ 1 สัปดาห์ แล้วนำมาทำการอบชุบดังแสดงแล้วในเบื้องต้นในรูปที่ 3.2 ขั้นตอนในการอบคืนไฟประกอบไปด้วยการอบคืนไฟวิธีการ T4 T5 และ T6 ดังแสดงในรูปที่ 3.21 ถึง 3.23



รูปที่ 3.21 แผนภาพเวลา อุณหภูมิ และขั้นตอนการอบคืนไฟ T4



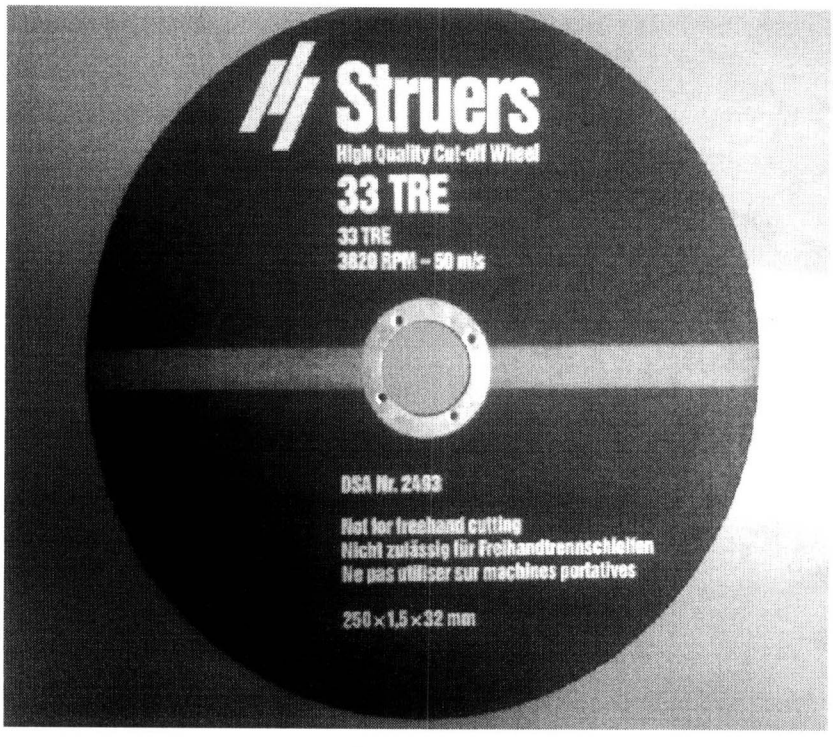
รูปที่ 3.22 แผนภาพเวลา อุณหภูมิ และขั้นตอนการอบคืนไฟ T5



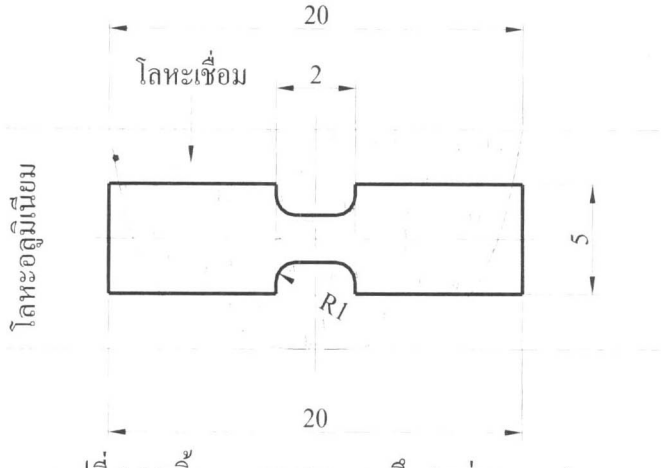
รูปที่ 3.23 แผนภาพเวลา อุณหภูมิ และขั้นตอนการอบคืนไฟ T6

3.4 การทดสอบสมบัติทางกล

ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมจะถูกนำมาทำการเตรียมชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึง โดยทำการเตรียมชิ้นทดสอบตัดขวางแนวเชื่อมด้วยใบตัด Noritake เกรด WA120N BA ดังแสดงในรูปที่ 3.24 และเครื่องกัด ชิ้นทดสอบมีขนาดและมิติดังแสดงในรูปที่ 3.25 จำนวนชิ้นทดสอบในแต่ละตัวแปรการเชื่อม กำหนดให้เลือกชิ้นทดสอบ 6 ชิ้นจากรอยต่อที่เชื่อม 3 รอยต่อแบบสุ่ม เพื่อนำไปทำการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile test machine) ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ต่อไป



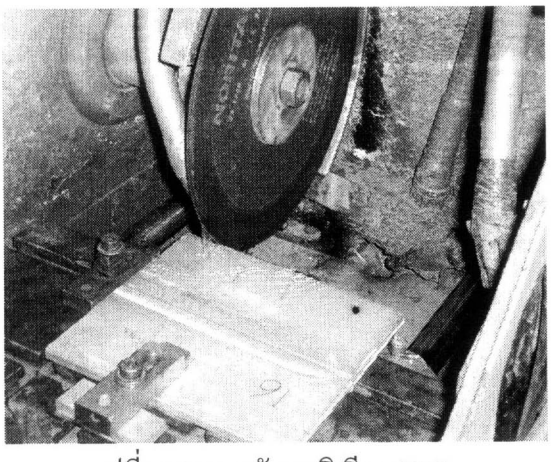
รูปที่ 3.24 ใบตัด [10]



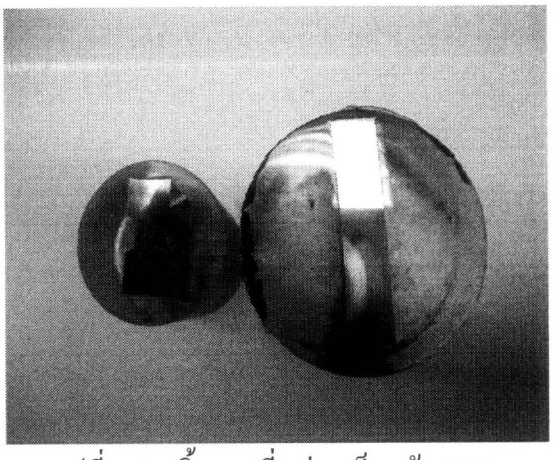
รูปที่ 3.25 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง (หน่วย: มม.)

3.5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค [10]

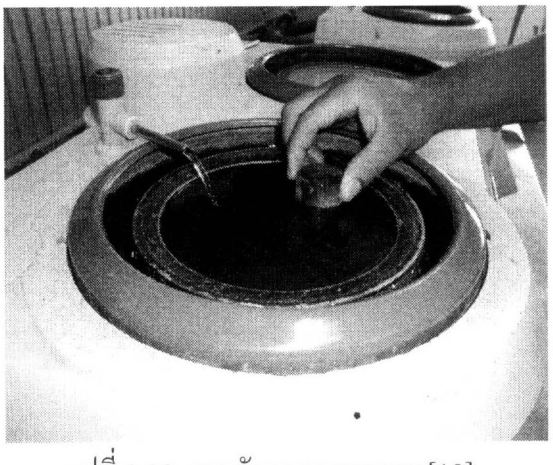
การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมที่สภาวะตัวแปรต่างๆ ที่ทำการทดลอง มีขั้นตอนดังนี้



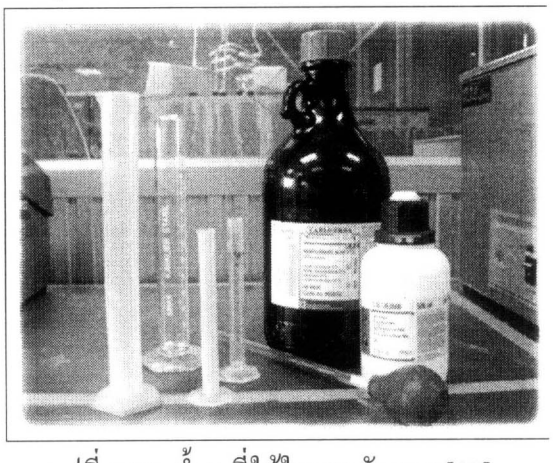
รูปที่ 3.26 การตัดอลูมิเนียม [10]



รูปที่ 3.27 ชิ้นงานที่หล่อเสร็จแล้ว [10]



รูปที่ 3.28 การขัดกระดาษทราย [10]



รูปที่ 3.29 น้ำยาที่ใช้ในการกัดกรด [10]

- ตัดชิ้นงานด้วยใบตัดพร้อมทั้งหล่อเย็นชิ้นงานตลอดเวลาเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระหว่างการเลื่อย ดังรูปที่ 3.26

- นำชิ้นงานไปหล่อด้วยการเรซิ่น ด้วยเครื่องหล่อ ดังรูปที่ 3.27

- นำชิ้นงานไปขัดกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 120 320 400 600 1000 1200 ตามลำดับโดยการขัดผ่านน้ำเพื่อให้น้ำเป็นตัวช่วยในการคายเศษที่ขัดแล้ว หลังจากนั้นนำงานที่ขัดแล้วไปขัดด้วยผงเพชรขนาด 3 2 และ 1 ไมครอน บนผ้าสักลาดบนเครื่องขัด ดังรูปที่ 3.28 ตามลำดับ โดยผงเพชรที่ใช้นั่นเนื่องจากมีราคาแพง คณะผู้วิจัยจึงตกลงที่ร่วมใช้ผงเพชรร่วมกันระหว่างแผนงานวิจัยการปรับปรุงสมบัติรอยเชื่อมอลูมิเนียมผสมด้วยเทคโนโลยีการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ของโครงการวิจัยย่อยทั้งสามที่ประกอบด้วย โครงการวิจัยย่อย 1 อิทธิพลการอบชุบด้วยความร้อนหลัง

การเชื่อมต่อสมบัติของโลหะเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม เกรด6063 โครงการวิจัยย่อย 2 อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อสมบัติรอยต่อชนระหว่างอลูมิเนียมเกรด 6063 สภาพหล่อและรีด และโครงการวิจัยย่อย 3 โครงสร้างและความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ด้วยการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนตัวกวนรูปร่างต่างๆ

- หลังจากนั้นนำงานไปกัดกรดโฮโดรฟูริก (HF) 30% โดยการผสมกรดไฮโดรครอริก 10% น้ำกลั่น 60% ทำการกัดนาน 3-5 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำและเอทานอลเพื่อไล่น้ำออกจากผิวหน้าผิวงาน ดังรูปที่ 3.29

- ถ่ายรูปโครงสร้างและจุดพร่องของชิ้นงานเพื่อหาสาเหตุของการขาดของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์ดังแสดงในรูปที่ 3.14