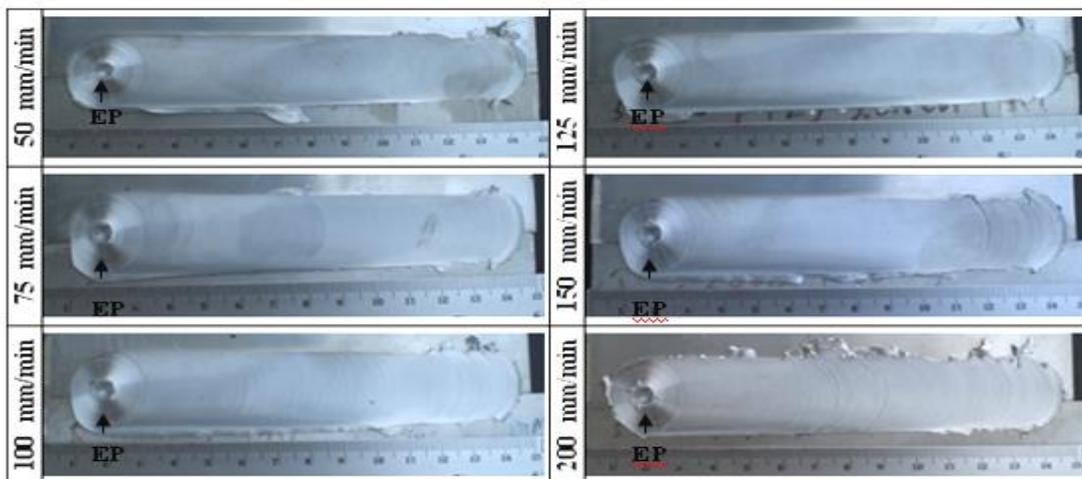


- รอยเชื่อมมีความแข็งแรงกว่าโลหะหลักเนื่องจากการพังทลายของชิ้นงานเกิดขึ้นที่แผ่นอลูมิเนียมหล่อ
- โครงสร้างจุลภาคแสดงพื้นที่การกวนที่ทำให้เม็ดเกรนเล็กและละเอียดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมหลัก
- โครงสร้างจุลภาคแสดงการรวมตัวไม่สมบูรณ์ของอลูมิเนียมในโครงสร้างจุลภาคแสดงชั้นการแบ่งแยกระหว่างอลูมิเนียมทั้งสองอย่างชัดเจน

#### 4.2 สมบัติของรอยต่อที่ความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min

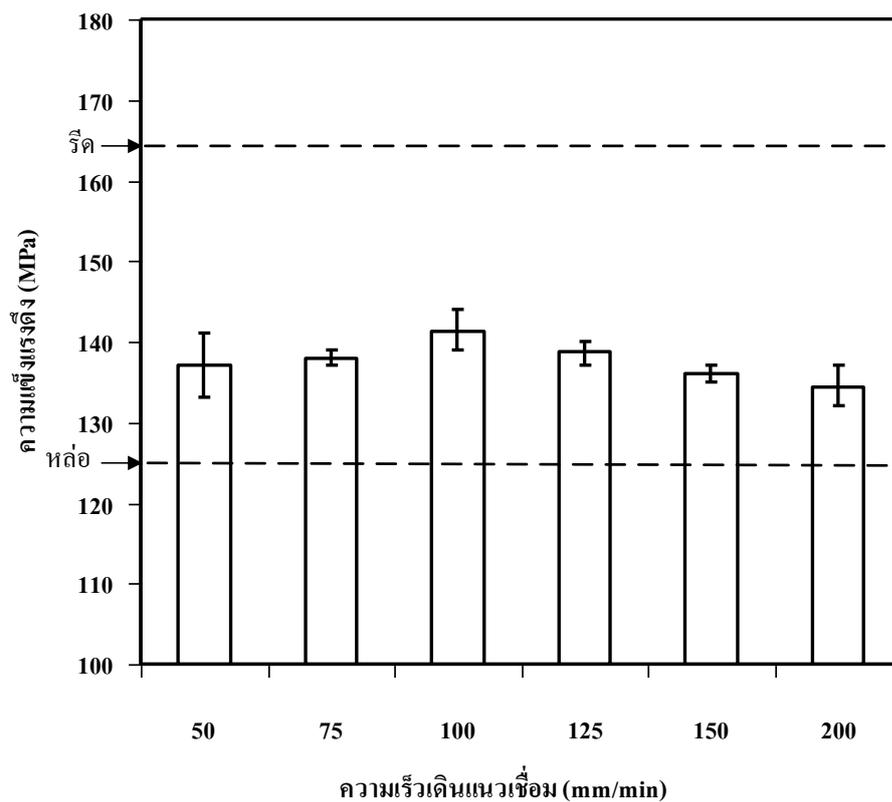
ตัวแปรการเชื่อมสำคัญที่ประยุกต์ใช้ในการเชื่อมรอยต่อในหัวข้อนี้ประกอบไปด้วย ความเร็วรอบตัวกวน 1000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min ความเอียงของตัวกวน 2 องศา ตัวกวนมีรูปร่างทรงกระบอกเกลียว ระยะสอดตัวกวน 0.1 มม. เข้าสู่แผ่นรีด แผ่นรีดวางอยู่ด้านแอดวานซิง ผลการทดลองที่น่าสนใจมีดังนี้



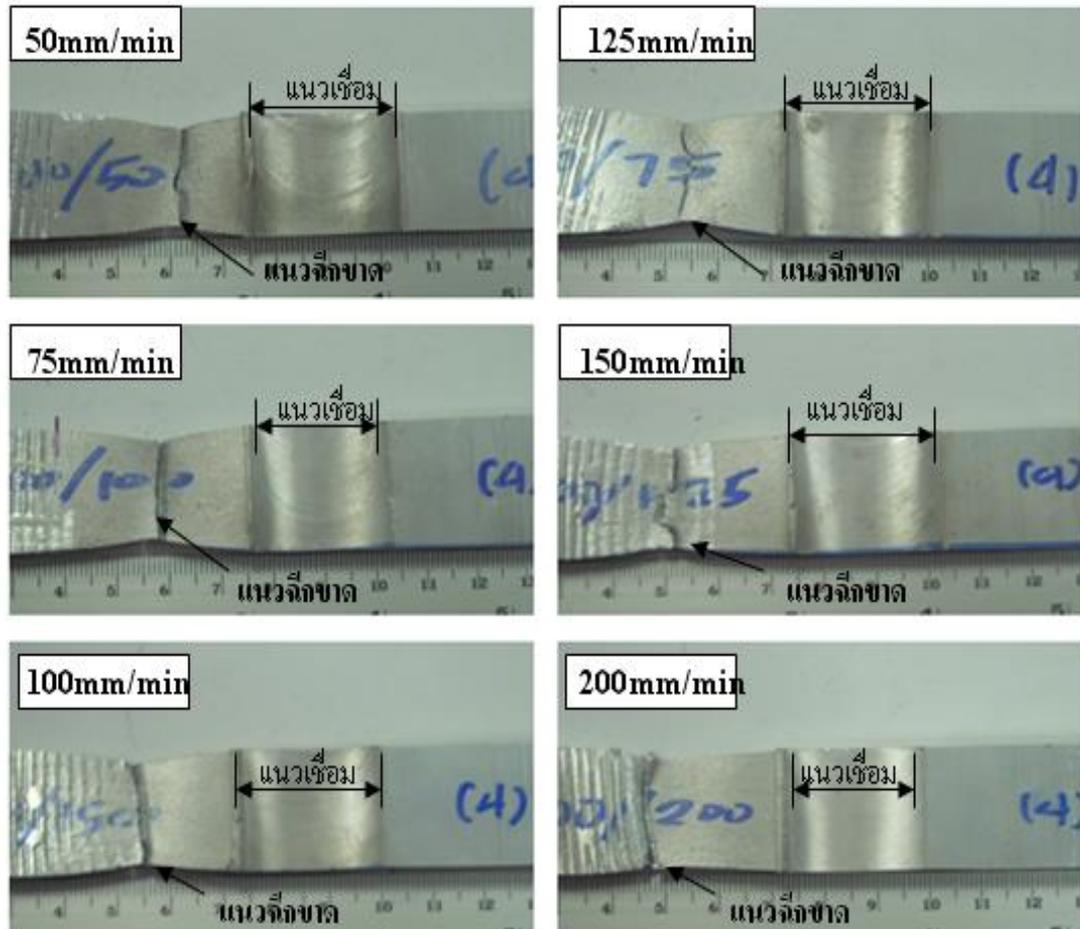
รูปที่ 4.6 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min

รูปที่ 4.16 แสดงผิวหน้ารอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วยสภาวะความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ พบว่าผิวหน้ารอยเชื่อมทุกๆ สภาวะแสดงความราบเรียบและสม่ำเสมอของผิวแนวเชื่อม ไม่มีจุดบกพร่องใดๆ ที่เกิดขณะทำการเชื่อมบนผิวหน้าแนวเชื่อม อย่างไรก็ตามที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อมพบจุดบกพร่องวงกลมที่เกิดจากการถอนตัวกวนออกจากแนวเชื่อมดังที่พบในหัวข้อที่ 4.1 พิจารณาด้านข้างของผิวหน้าแนวเชื่อมพบว่า มีครีบบางของอลูมิเนียมที่ถูกกวน อัด และดันออกมาด้านข้างของแนวเชื่อมเล็กน้อยและมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบตัวกวน 500 rpm ในรูปที่ 4.1 การ

เพิ่มขึ้นของครีบอลูมิเนียมด้านข้างแนวเชื่อมนี้ คาดว่าเกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเชื่อม เพราะว่าตัวแปรสำคัญที่ทำให้ความร้อนเสียดทานเพิ่มขึ้นในการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ประกอบด้วยตัวแปรสำคัญ 4 ตัวแปร คือ ชนิดของผิวสัมผัส แรงที่ใช้กดลงไปบนรอยต่อ ความเร็วเดินแนวเชื่อม และความเร็วรอบการหมุนของของเครื่องมือเชื่อม หากพิจารณาตัวแปรทั้งสี่พบว่าตัวแปรการเชื่อมอื่นๆ ถูกกำหนดให้มีค่าเดียวกันตลอด แต่ตัวแปรที่เปลี่ยนไปนั้น คือ ความเร็วรอบ [14] ด้วยเหตุนี้เมื่อความเร็วรอบการหมุนของตัวกวนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความร้อนเสียดทานมากขึ้น ส่งผลทำให้ลูมิเนียมอ่อนตัวได้มากกว่าความเร็วรอบ 500 rpm ในหัวข้อที่ 4.1 และส่งผลทำให้ลูมิเนียมถูกดันออกมาข้างนอกเพิ่มมากขึ้น เกิดเป็นครีบบอบๆ แนวเชื่อม อย่างไรก็ตามการวัดเปรียบเทียบอุณหภูมิการเชื่อม ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกับไปด้วยวิธีการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่อง มีวัด หรือการจำลองอุณหภูมิด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปอื่นๆ เช่น การจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์ (Finite element methods: FEM) หรือการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational fluid dynamics: CFD) เป็นต้น



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของรอยต่อและความเร็วเดินแนวต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm

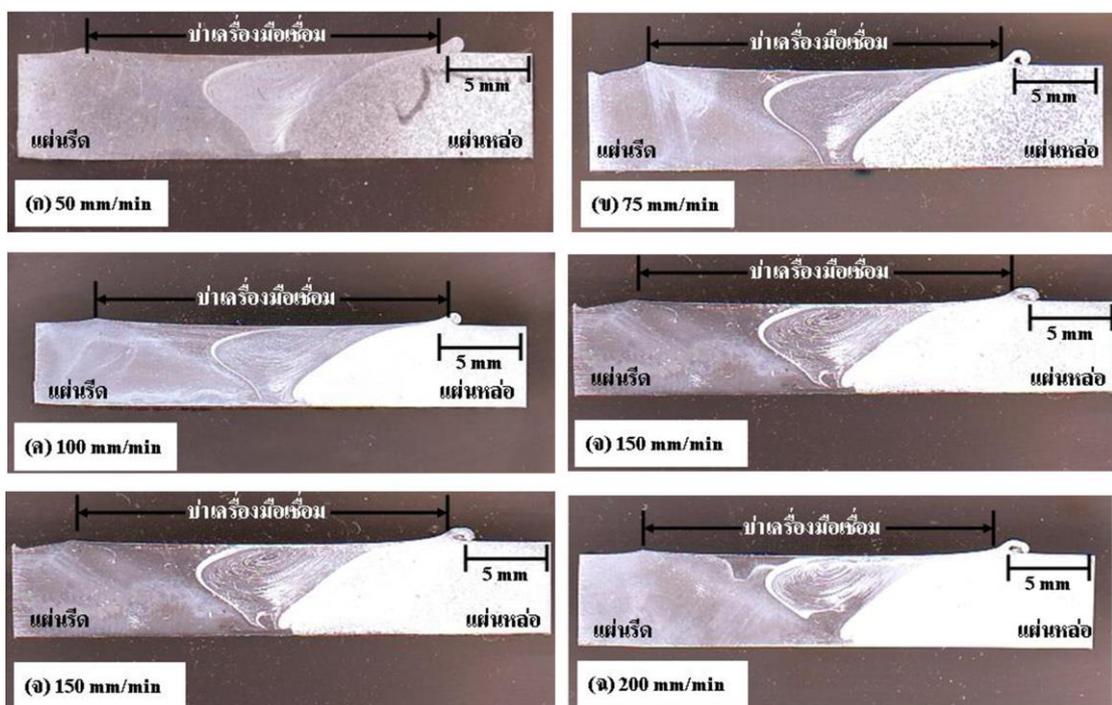


รูปที่ 4.8 ตำแหน่งการพังทลายของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min

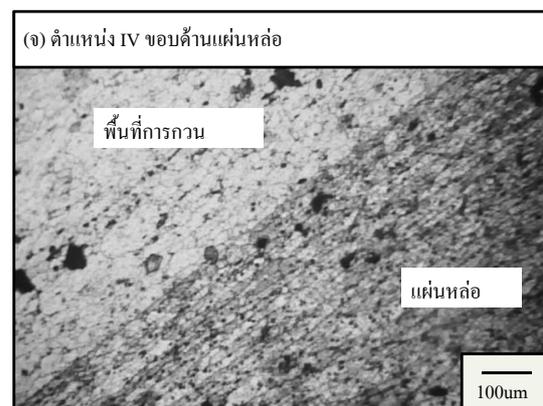
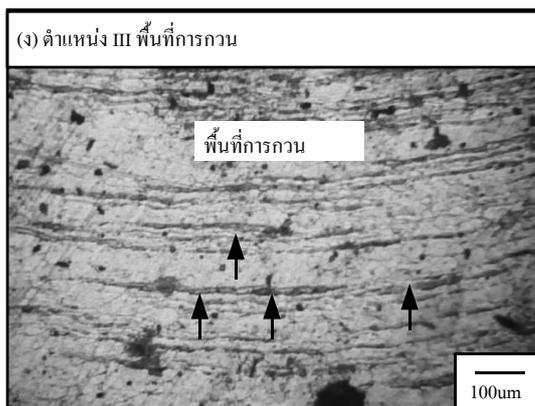
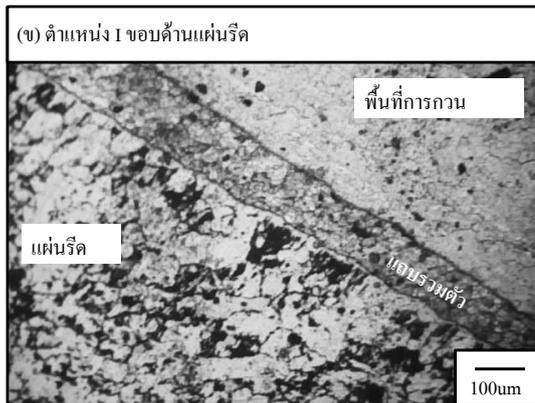
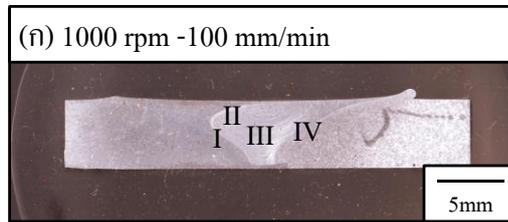
รูปที่ 4.7 แสดงค่าความแข็งแรงของรอยต่ออลูมิเนียมแผ่นรีดและแผ่นหล่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min ที่กำหนดให้เลือกขึ้นทดสอบ 6 ชิ้นจากรอยต่อที่เชื่อม 3 รอยต่อแบบสุ่ม แล้วนำไปทำการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง พบว่าค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยทุกๆ ความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่าสูงกว่าความแข็งแรงดึงของอลูมิเนียมหลัก โดยมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าอลูมิเนียมแผ่นหล่อประมาณ 5-10% แนวโน้มของค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นจาก 50-100 mm/min จากนั้นค่าความแข็งแรงมีค่าที่ลดลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นจาก 100-200 mm/min ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ได้จากสภาวะการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 1000 rpm นี้คือ การเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min แสดงค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 142 MPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500 rpm ค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ 500 rpm นี้ คาดว่าเกิดจาก

ความเร็วรอบ 1000 rpm นี้เป็นความเร็วรอบที่มีความเหมาะสมในการเชื่อมอลูมิเนียมเกรด 6063 ความหนา 6.3 มม. ดังเห็นได้ผลการทดลองจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063 เพื่อศึกษาอิทธิพลความเร็วเดินแนวเชื่อม [30] หรือการศึกษาอิทธิพลรูปร่างตัวกวนที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียม 6063-T1 [29-30]

ความแข็งแรงดึงที่ได้ในรูปที่ 4.7 นั้นไม่ใช่ค่าความแข็งแรงดึงของรอยเชื่อมที่ได้จากการประยุกต์ใช้ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องมือเชื่อม 1000 rpm ในการเชื่อม ค่าความแข็งแรงที่แสดงเป็นค่าความแข็งแรงดึงของอลูมิเนียมด้านอลูมิเนียมแผ่นหล่อ เนื่องจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ารอยต่อเกิดการพังทลายที่ด้านของอลูมิเนียมหล่อทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 4.8 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบเกิดขึ้นที่ระยะ 13, 13, 18, 23, 22 และ 25 มม. สำหรับรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 มม. ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ช่วยยืนยันข้อมูลผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 ว่าสภาวะการเชื่อมที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 สามารถทำให้เกิดรอยต่อที่มีความแข็งแรงสูงกว่าอลูมิเนียมหลักที่ใช้เชื่อม อย่างไรก็ตามการพังทลายบริเวณตำแหน่งดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุอื่นๆ หรือไม่จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 4.9 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min



รูปที่ 4.10 โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมอลูมิเนียมแผ่นรีดและแผ่นหล่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min

รูปที่ 4.9 แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min ในรูปนี้ไม่ได้ระบุเส้นประที่แสดงตำแหน่งการพังทลายเหมือนดังในรูปที่ 4.4 ของการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500 rpm แต่ขอระบุว่าตำแหน่งการพังทลายอยู่ด้านขวาสุดของรอยต่อด้านอลูมิเนียมแผ่นหล่อ โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ความเร็วรอบ 1000 rpm พบการแบ่งพื้นที่โครงสร้างมหภาคของรอยต่อออกเป็น 3 ส่วน คือ อลูมิเนียมแผ่นรีดอยู่ที่ด้านซ้าย อลูมิเนียมแผ่นหล่ออยู่ที่ด้านขวา และพื้นที่การกวานอยู่ที่กึ่งกลางแนวเชื่อม ที่กึ่งกลางของแนวเชื่อมในพื้นที่การกวาน พบน้กเกิดของวงแหวนหัวหอมที่มีลักษณะวงรีอยู่เช่นเดียวกับรอยต่อที่

เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500 rpm ดังแสดงในรูปที่ 4.4 แต่เมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่ามีความชัดเจนมากกว่า และวงของวงแหวนหัวหอมมีชั้นมากกว่า เปรียบเทียบแถบการรวมตัวสีขาวที่ขอบด้านซ้ายของวงแหวนหัวหอมมีขนาดที่เล็กลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับขนาดขนาดของวงแหวนหัวหอมที่มีขนาดของวงรีที่มีขนาดเล็กลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น การลดลงของขนาดวงแหวนหัวหอมนี้ คาดว่าเกิดขึ้นจากความรุนแรงที่เพิ่มมากขึ้นของการกวนเมื่อตัวกวนเกิดการเคลื่อนที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้อลูมิเนียมมีโอกาสในการรวมตัวเป็นนั้กเกิดที่มีขนาดใหญ่ได้น้อย [32]

รูปที่ 4.10 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่ออลูมิเนียมแผ่นรีดและอลูมิเนียมแผ่นหล่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนว 100 mm/min ซึ่งแสดงความแข็งแรงดึงสูงสุดในความเร็วรอบนี้ที่ 142 MPa ที่แสดงโลหะเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่เกิดจุดบกพร่องใดๆ ในโลหะเชื่อม ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่ง I ถึง IV ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทำให้เกิดการประสานกันระหว่างโลหะทั้งสองชนิด

รูปที่ 4.10 (ข) แสดงบริเวณขอบของแผ่นรีดและพื้นที่การกวน หรือตำแหน่งที่ I ในรูปที่ 4.10 (ก) พบการเกิดการอัดตัวของอลูมิเนียมมีขนาดเกรนเล็กลงเหมือนดังการเชื่อมการเสียดทานแบบกวนในอลูมิเนียมผสม [5, 14] ทั่วไป บริเวณกึ่งกลางระหว่างแผ่นรีดและพื้นที่การกวนเกิดการรวมตัวกันระหว่างอลูมิเนียมแผ่นรีดและหล่อเกิดขึ้นและมีความแข็งแรงสูงกว่าอลูมิเนียมแผ่นรีดและหล่อเพียงเล็กน้อย (ความแข็งแรงการรวมตัวประมาณ 85HV ความแข็งแรงแผ่นหล่อ 80HV และความแข็งแรงแผ่นรีด 77HV) แถบการรวมตัวนี้เริ่มเกิดที่ด้านล่างของรอยต่อและมีขนาดแถบมีความหนาเพิ่มขึ้น เมื่อมีระยะใกล้ผิวด้านบนของแนวเชื่อม

รูปที่ 4.10 (ค) แสดงบริเวณขอบของแผ่นรีดและพื้นที่การกวนด้านบน หรือตำแหน่งที่ II ในรูปที่ 4.10 (ก) พบแถบการขยายตัวมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแถบการรวมตัวในรูปที่ 4.10 (ข) การเกิดลักษณะนี้มีสาเหตุจากที่ด้านบนของแนวเชื่อมนั้นมีความร้อน และแรงเฉือนที่เกิดจากบ่าเครื่องมือเชื่อมสูง ทำให้โลหะทั้งสองมีโอกาสในการรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้น ที่บริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมพบวงแหวนหัวหอม (Onion ring) ก่อตัวขึ้นภายในแนวเชื่อม มีลักษณะไม่กลมมน แต่มีรูปร่างคล้ายวงแหวนหัวหอมวางซ้อนบนกรวยดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ก) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการตรวจสอบแล้ว พบว่าแถบของวงแหวนหัวหอมซึ่งแสดงการรวมตัวกันเป็นอย่างดีของโลหะเชื่อมการเสียดทานแบบกวนนั้นก่อตัวขึ้น

รูปที่ 4.10 (ง) แสดงพื้นที่การกวน หรือตำแหน่งที่ III ในรูปที่ 4.10 (ก) ชั้นของอลูมิเนียมวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ ดังแสดงด้วยลูกศร การรวมตัวของอลูมิเนียมในพื้นที่การกวน หรือในวงแหวนหัวหอมของความเร็วรอบ 1000 rpm มีความสมบูรณ์มากกว่า เนื่องจากในชั้นของวงแหวนหัวหอมที่ตรวจสอบนั้น ไม่เกิดการแบ่งแยกกันระหว่างอลูมิเนียมแผ่นรีดและแผ่นหล่อ (มีขนาดเล็กมาก) ดังที่

เกิดขึ้นในชั้นวงแหวนหัวหอมของรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500 rpm ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ง) นอกจากนั้นพบว่าแถบการรวมตัวกันของอลูมิเนียมทั้งสองไม่ก่อตัวขึ้น อินเทอร์เฟซของรอยต่อสามารถระบุได้ชัดเจนถึงพื้นที่การกววนและแผ่นหล่อ และเมื่อพิจารณาอินเทอร์เฟซของรอยต่อพบว่าโลหะทั้งสองถูกอัดและบีบเข้ากันอย่างรุนแรงมีขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 7 (จ)

รอยต่อชนอลูมิเนียม 6063 แผ่นรีดและแผ่นหล่อถูกเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยตัวแปรการเชื่อมประกอบไปด้วย ความเร็วรอบตัวกวน 1000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min ความเอียงของตัวกวน 2 องศา ตัวกวนมีรูปร่างทรงกระบอกเกลียว ระยะสอดตัวกวน 0.1 มม. เข้าสู่แผ่นรีด แผ่นรีดวางอยู่ด้านแอดวานซิง ได้ผลสรุปดังนี้

- การเชื่อมเสียดทานแบบกวนสามารถทำการเชื่อมรอยต่ออลูมิเนียม 6063 แผ่นรีดและแผ่นหล่อ
- ตัวแปรการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด 142 MPa คือ ความเร็วรอบตัวกวน 1000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min
- รอยเชื่อมมีความแข็งแรงกว่าโลหะหลักเนื่องจากการพังทลายของชิ้นงานเกิดขึ้นที่แผ่นอลูมิเนียมหล่อ
- โครงสร้างจุลภาคแสดงพื้นที่การกววนที่ทำให้เม็ดเกรนเล็กและละเอียดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมหลัก
- โครงสร้างจุลภาคแสดงการรวมตัวสมบูรณ์ของอลูมิเนียมในโครงสร้างจุลภาคแสดงชั้นการแบ่งแยกระหว่างอลูมิเนียม

#### 4.3 สมบัติของรอยต่อที่ความเร็วรอบ 1500 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min

ในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 ได้รายงานผลการศึกษาอิทธิพลความเร็วรอบที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียมแผ่นรีดและแผ่นหล่อในหัวข้อที่ผ่านมา พบว่าการเพิ่มขึ้นค่าความเร็วรอบส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อ ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อโดยการเพิ่มความเร็วรอบการหมุนของตัวกวนโดยกำหนดให้ ตัวแปรการเชื่อมสำคัญที่ประยุกต์ใช้ในการเชื่อมรอยต่อในหัวข้อนี้ประกอบไปด้วย ความเร็วรอบตัวกวน 500 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min ความเอียงของตัวกวน 2 องศา ตัวกวนมีรูปร่างทรงกระบอกเกลียว ระยะสอดตัวกวน 0.1 มม. เข้าสู่แผ่นรีด แผ่นรีดวางอยู่ด้านแอดวานซิง ผลการทดลองที่น่าสนใจมีดังนี้