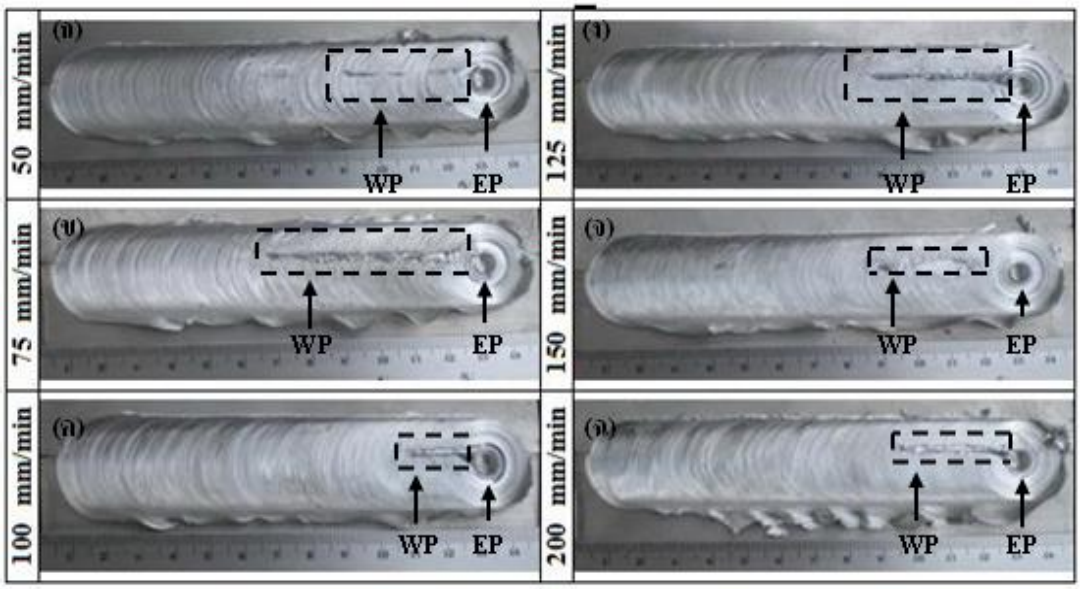
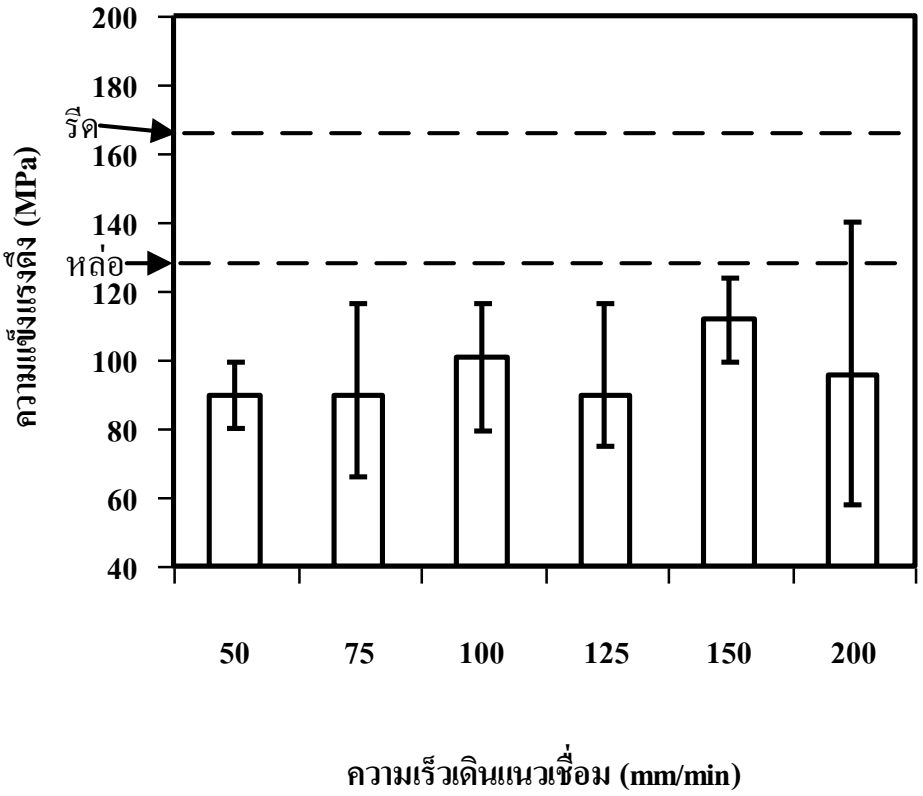


รูปที่ 4.16 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min

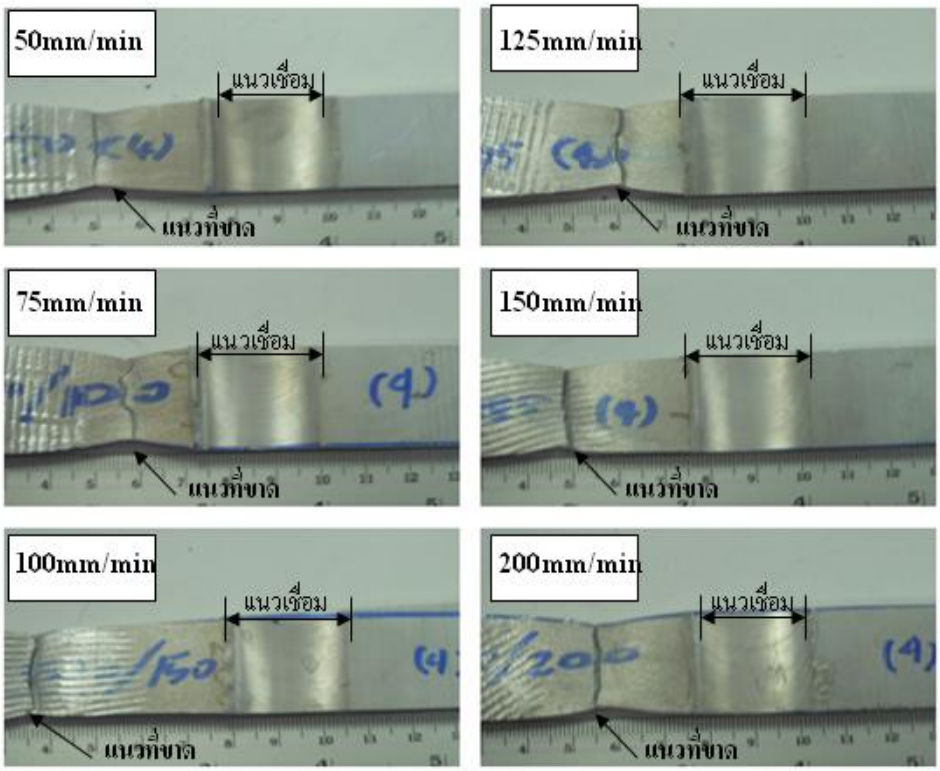
รูปที่ 4.16 แสดงผิวหน้ารอยเชื่อมอลูมิเนียมแผ่นรีดและแผ่นหล่อที่ผ่านการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min พบว่าทุกความเร็วเดินแนวเชื่อมตั้งแต่ 50-200 mm/min ผิวหน้ารอยเชื่อมมีจุดบกพร่องขนาดความยาวประมาณ 15-50 มม. ก่อนถึงจุดสุดท้ายของแนวเชื่อม (แสดงโดยสี่เหลี่ยมผืนผ้าเส้นประ WP) ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เป็นลักษณะครึ่งวลกลมไม่ราบเรียบเป็นเหมือนกับการเชื่อมที่ความเร็วรอบการหมุน 500-1500 rpm ผิวที่ได้มีความหยาบขรุขระมากกว่า ครีบที่เกิดขึ้นบริเวณข้างๆ รอยเชื่อมมีขนาดใหญ่ขึ้นและยาวต่อเนื่องเป็นแผ่นด้านข้างรอยเชื่อมทั้งสองด้าน การเกิดขนาดนี้เนื่องจากความร้อนแนวเชื่อมที่สูงทำให้อลูมิเนียมเกิดการไหลตัวอย่างง่ายดายและต่อเนื่องรอบๆ ตัวกวนซึ่งเป็นลักษณะที่แตกต่างจากการเชื่อมที่ความเร็วรอบการหมุน 500-1500 rpm ที่ครีบอลูมิเนียมจะเกิดการส่งถ่ายเพียงจากด้านแอดวานซิงสู่ด้านรัทรีททิงก็จะหลุดออกไป แต่ในความเร็วรอบนี้ครีบที่เกิดจะอ่อนตัว และไหลไปรอบๆ บ่าเครื่องมือเชื่อมจนกระทั่งหมุนกลับมาที่ตำแหน่งเดิมอีกครั้ง เป็นผลทำให้ครีบมีขนาดที่ใหญ่และต่อเนื่องยาวตลอกแนวเชื่อม การเกิดครีบนี้พบได้เมื่อใช้ความเร็วรอบที่สูงในการเชื่อมเสียดทานรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมเกรด 5083 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 [35-36] และการเชื่อมเสียดทานรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมเกรด 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 [37] ที่แสดงครีบที่มีขนาดใหญ่และต่อเนื่องกันเมื่อเชื่อมรอยต่อด้วยความเร็วรอบที่สูง



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของรอยต่อและความเร็วเดินแนวต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm

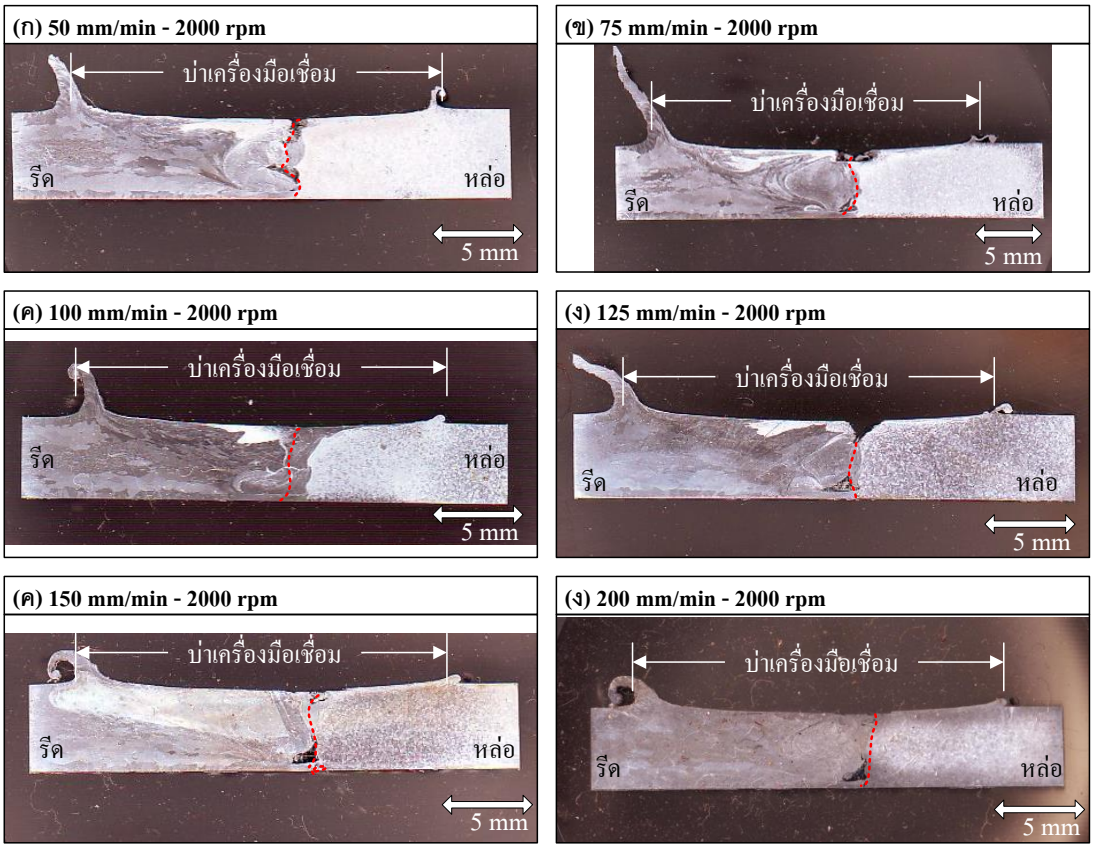
รูปที่ 4.17 แสดงค่าความแข็งแรงของรอยต่ออลูมิเนียมแผ่นรีดและแผ่นหล่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min ที่กำหนดให้เลือกชิ้นทดสอบ 6 ชิ้น จากรอยต่อที่เชื่อม 3 รอยต่อแบบสุ่ม แล้วนำไปทำการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง พบค่าความแข็งแรงดึงที่แตกต่างจากความเร็วรอบตัวกวน 500-1500 rpm กล่าวคือ ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของรอยต่อทุกค่าความเร็วเดินแนวเชื่อมนั้นมีค่าต่ำกว่าความแข็งแรงดึงของอลูมิเนียมหลัก ค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อมีค่าต่ำกว่าอลูมิเนียมแผ่นหล่อประมาณ 20-40% แนวโน้มของค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นจาด 50-100 mm/min จากนั้นความแข็งแรงดึงของรอยต่อมีค่าลดลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ได้จากสภาวะการเชื่อมที่ความเร็วรอบ 2000 rpm นี้คือ การเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min แสดงค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 112 MPa เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงที่ความเร็วรอบนี้กับค่าความแข็งแรงดึงในความเร็วรอบ 500-150 rpm พบว่าความแข็งแรงของรอยต่อ

ที่ได้นี้มีค่าที่ต่ำกว่า สาเหตุอาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของรอยต่อที่คาดว่าส่งผลต่อการลดความแข็งแรงของรอยต่อ ผลการทดลองที่ได้นี้คล้ายกับลักษณะการเกิดความไม่สมบูรณ์ของรอยต่อที่ส่งผลโดยตรงต่อการลดความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนอลูมิเนียม 6063-T1 ที่รายงานผลไว้ว่าความไม่สมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อมเสียดทานรอยต่ออลูมิเนียมนั้นส่งผลต่อความไม่สมบูรณ์ของเนื้อโลหะเชื่อมเมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและทำให้เป็นจุดกำเนิดที่ก่อให้เกิดการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงได้ง่ายขึ้น [34]



รูปที่ 4.18 ตำแหน่งการพังทลายของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min

รูปที่ 4.18 แสดงการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min ผลการตรวจสอบการพังทลายที่พบมีความแตกต่างจากการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500-1500 rpm ชิ้นทดสอบของชิ้นทดสอบกลุ่มนี้เกิดการพังทลายที่กึ่งกลางหรือบริเวณอินเทอร์เฟสของรอยเชื่อมตามแนวของการเกิดความไม่สมบูรณ์บนผิวหน้าแนวเชื่อมที่ตรวจพบในรูปที่ 4.16 ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาเพื่อตรวจสอบต่อไป



รูปที่ 4.19 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min

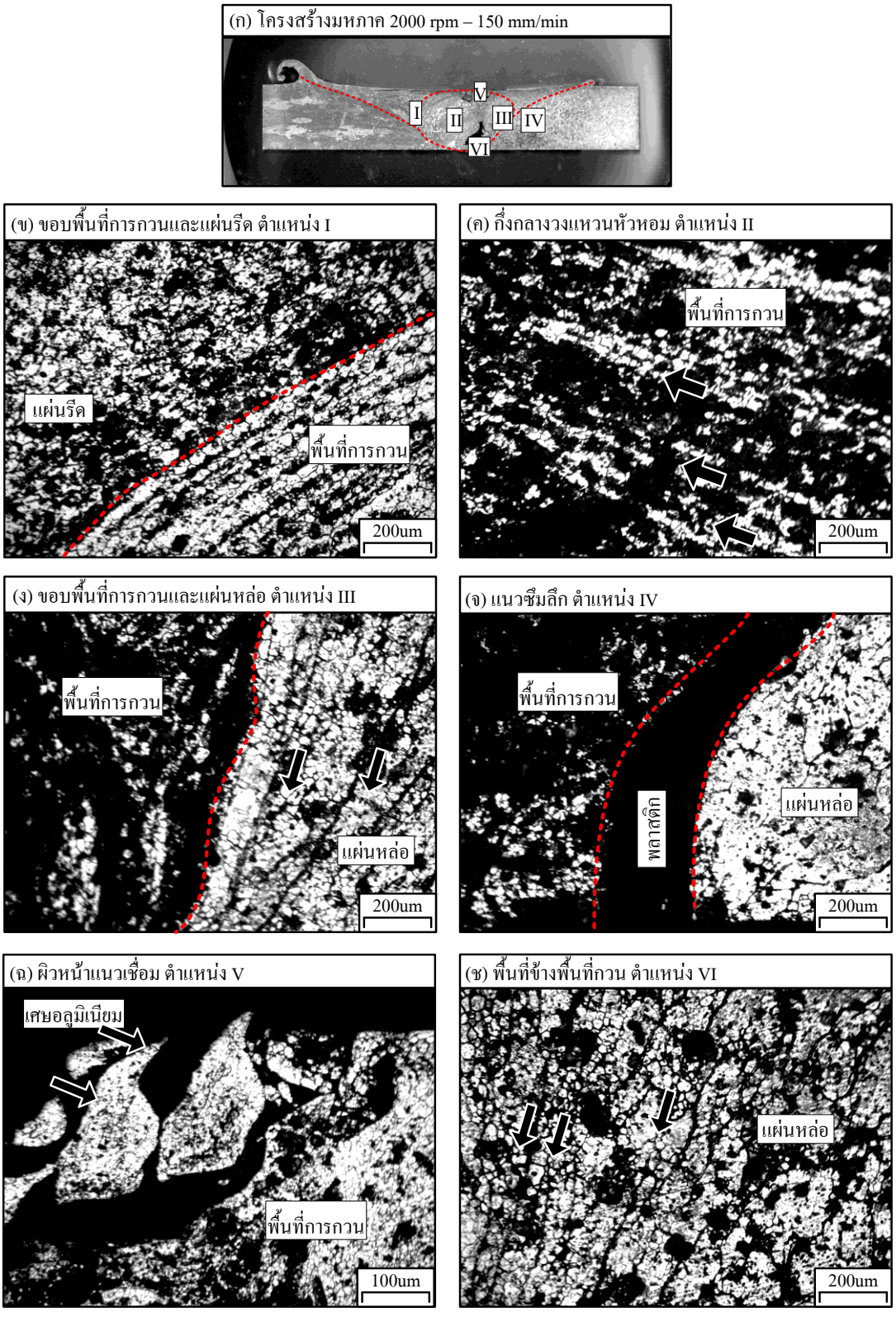
รูปที่ 4.19 แสดงโครงสร้างสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ความเร็วรอบ 2000 rpm พบการแบ่งพื้นที่โครงสร้างมหภาคของรอยต่อออกเป็น 4 ส่วน ดังโครงสร้างสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1500 rpm แสดงในรูปที่ 4.15 คือ อลูมิเนียมแผ่นรีดอยู่ที่ด้านซ้าย อลูมิเนียมแผ่นหล่ออยู่ที่ด้านขวา พื้นที่การกวนอยู่ที่กึ่งกลางแนวเชื่อมมีรูปร่างเป็นกรวย และพื้นที่วงแหวนหัวหอมที่กึ่งกลางพื้นที่การกวน พื้นที่การกวนของโครงสร้างมหภาคแสดงพื้นที่การกวนที่มีขนาดเท่ากับและใหญ่กว่าโครงสร้างสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1500 rpm โดยพบพื้นที่รูปกรวยที่มีวงแหวนหัวหอมภายใน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500-1500 rpm พบจุดบกพร่องแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ จุดบกพร่องที่บริเวณผิวหน้าด้านติดกับแผ่นหล่อ และจุดบกพร่องที่บริเวณด้านล่างของรอยเชื่อมด้านแผ่นหล่อ ขนาดของจุดบกพร่องที่มีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลทำให้รอยต่อมีความแข็งแรงที่ลดลง จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างของรอยต่อนี้เกิดจากการไหลวนของอลูมิเนียมที่บริเวณ

ดังกล่าวมีค่าน้อยเกินนไป อลูมิเนียมที่มีค่าอุณหภูมิสูงนี้ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนเป็นส่วนใหญ่ทำให้ไม่สามารถทำให้เกิดการเติมเต็มอลูมิเนียมได้ อย่างไรก็ตามหากทำการเพิ่มมุมเอียงของตัวกวนแล้ว คาดว่าอาจทำให้เกิดการเติมอลูมิเนียม หรือการไหลวนขออลูมิเนียมที่จุดดังกล่าวเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกันกับกาเพิ่มมุมเอียงในการเชื่อมอลูมิเนียมเกรด 6063 ทั่วไป [6,13] การลดความแข็งแรงของรอยต่อเมื่อปรากฏจุดบกพร่องในรอยต่อนั้น คาดว่าเกิดจากสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของค่าความเค้นที่จุดรวมความเค้นในรอยต่อ (ในที่นี้คือจุดบกพร่องในแนวเชื่อม) ที่แสดงให้เห็นว่าความเค้นที่มีนั้นมีค่าที่สูงขึ้นเมื่อรูปร่างและขนาดของรอยต่อเพิ่มขึ้น ความเค้นที่จุดรวมความเค้นที่มีค่าสูงนี้เมื่อดดนแรงกระทำทำให้ชิ้นส่วนรับแรงได้น้อยลง อีกทั้งบริเวณดังกล่าวมีพื้นที่ในการรับแรงน้อยทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปง่าย และส่งผลทำให้ความแข็งแรงลดลง [26]

รูปที่ 4.20 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่ออลูมิเนียมแผ่นรีดและอลูมิเนียมแผ่นหล่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนว 150 mm/min ซึ่งแสดงความแข็งแรงดึงสูงสุดในความเร็วรอบนี้ที่ 112 MPa ที่แสดงโลหะเชื่อมมีจุดบกพร่องที่ผิวหน้าและมุมด้านล่างติดแผ่นหล่อในพื้นที่การกวน ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่ง I ถึง VI ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดการประสานกันระหว่างโลหะทั้งสองชนิดรอยต่อ

รูปที่ 4.20 (ข) แสดงขอบเขตระหว่างอลูมิเนียมแผ่นรีดที่อยู่ด้านซ้ายกับพื้นที่การกวน โครงสร้างจุลภาคของแผ่นรีดพบว่าขนาดเม็ดเกรนคล้ายกับการเชื่อมด้วยความเร็วรอบอื่นๆ ที่ผ่านมา คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35 μm ขณะเดียวกันที่ด้านขวาของเส้นประนั้นแสดงพื้นที่การกวนบริเวณที่เป็นวงแหวนหัวหอมแสดงการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเม็ดเกรนของอลูมิเนียม และเรียงซ้อนเป็นชั้นๆ ชั้นการเรียงตัวนี้คือวงแหวนหัวหอมที่เกิดขึ้นภายในเนื้อโลหะเชื่อม ซึ่งมีทิศทางการเรียงตัวตามทิศทางการกวนของตัวกวนที่ทำให้เกิดการประสานของอลูมิเนียม ทำการวัดขนาดเกรนพบ ว่าขนาดเกรนเฉลี่ยมีค่าประมาณ 22 μm ซึ่งมีขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดเม็ดเกรนที่พบในพื้นที่การกวนของการเชื่อมที่ใช้ความเร็วรอบ 1500 rpm

รูปที่ 4.20 (ค) แสดงกึ่งกลางของวงแหวนหัวหอมที่ละเอียดยิ่งขึ้น พบชั้นการรวมตัวของอลูมิเนียมมีลักษณะเป็นวงปหวนหัวหอมดังแสดงด้วยลูกศรชี้ อย่างไรก็ตามดูเหมือนการก่อตัวของอลูมิเนียมบริเวณนี้จะตรวจสอบได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากโครงสร้างอาจเกิดการทำลายไปบางส่วนเนื่องจากความร้อนที่สูงเกินไปทำให้การก่อตัวของเม็ดเกรนไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามการกล่าวอ้างนี้เป็นเพียงการสันนิษฐานเท่านั้นเพราะใขอบเขตของการศึกษานี้ไม่ได้ระบุถึงการศึกษาเรื่องความร้อน จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาวิเคราะห์อุณหภูมิในแนวเชื่อมต่อไป ขนาดเม็ดเกรนเฉลี่ยมีค่าประมาณ 22.02 μm ซึ่งมีขนาดเม็ดเกรนเฉลี่ยที่โตกว่าขนาดเม็ดเกรนเฉลี่ยในวงแหวนหัวหอมของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500-1500 rpm



รูปที่ 4.20 โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมอลูมิเนียมแผ่นรีดและแผ่นหล่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min

รูปที่ 4.20 (ง) แสดงขอบเขตระหว่างวงแหวนหัวหอมและพื้นที่ของรูปทรงกรวยของพื้นที่การกวน ที่พบว่าด้านของอลูมิเนียมพื้นที่ของรูปทรงกรวยของพื้นที่การกวนเกิดการอัดตัวเข้าสู่ด้านวงแหวนหัวหอมเป็นชั้นๆดังแสดงด้วยลูกศรชี้ ภายในชั้นของลูกศรเกิดการก่อตัวของเม็ดเกรนอลูมิเนียมดังเกิดขึ้นในพื้นที่การกวน

รูปที่ 4.20 (จ) แสดงตำแหน่งที่แผ่นอลูมิเนียมแผ่นหล่อและแนวการกวนของอลูมิเนียมบริเวณที่มีจุดบกพร่องเกิดขึ้น ในพื้นที่แสดงด้วยพล่าสติกในรูป พบว่าการเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm นี้ไม่สามารถทำให้เกิดการรวมตัวระหว่างอลูมิเนียมแผ่นรีดและพื้นที่การกวนได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ 500-1500 rpm แล้ว พบว่าความเร็วรอบนี้อาจไม่เหมาะสมที่ทำให้เกิดความสมบูรณ์ของแนวต่อ และจุดบกพร่องนี้เป็นสาเหตุหลักที่ให้ความแข็งแรงของรอยต่อลดลง

รูปที่ 4.20 (ฉ) แสดงผิวหน้าของรอยต่อที่บริเวณการเกิดจุดบกพร่อง หรือความไม่สมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม พบส่วนของเศษอลูมิเนียมถูกดันเปิดออกที่ตำแหน่งนี้ ด้านล่างของพื้นที่การกวนไม่พบการก่อตัวของเม็ดเกรนอย่างต่อเนื่อง นั่นอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้รอยต่อไม่สมบูรณ์และเกิดจุดบกพร่องขึ้น

รูปที่ 4.20 (ช) แสดงพื้นที่ข้างพื้นที่การกวนด้านอลูมิเนียมแผ่นหล่อที่พบความแตกต่างจากการเชื่อมที่ความเร็วรอบอื่นๆ กล่าวคือที่ความเร็วรอบนี้พื้นที่ด้านนอกพื้นที่การกวน อลูมิเนียมถูกอัดเข้ามาสู่พื้นที่ของการกวนเพิ่มมากขึ้น ทำให้อลูมิเนียมเกิดการเรียงอัดตัวเป็นชั้นๆ ดังแสดงด้วยลูกศรในรูป การเกิดการอัดเรียงตัวนี้เกิดจากการที่อลูมิเนียมที่ถูกกวนไม่เพียงพอที่จะมำให้เกิดการประสานเพื่อให้แนวเชื่อมเกิดความสมบูรณ์ได้จึงพยายามดึงเอาอลูมิเนียมด้านข้างลงไปเติมเต็มตำแหน่งด้านล่างของพื้นที่การกวนจึงทำให้เกิดการเสียรูปขึ้น [6]

รอยต่อชนอลูมิเนียม 6063 แผ่นรีดและแผ่นหล่อถูกเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนด้วยตัวแปรการเชื่อมประกอบไปด้วย ความเร็วรอบตัวกวน 2000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min ความเอียงของตัวกวน 2 องศา ตัวกวนมีรูปร่างทรงกระบอกเกลียว ระยะสอดตัวกวน 0.1 มม. เข้าสู่แผ่นรีด แผ่นรีดวางอยู่ด้านแอดวานซิง ได้ผลสรุปดังนี้

- การเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ความเร็วรอบตัวกวน 2000 rpm ไม่สามารถทำการเชื่อมรอยต่ออลูมิเนียม 6063 แผ่นรีดและแผ่นหล่อที่สมบูรณ์ได้
- ตัวแปรการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด 112 MPa คือ ความเร็วรอบตัวกวน 2000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min
- รอยเชื่อมมีความแข็งแรงต่ำกว่าโลหะหลักเนื่องจากการพังทลายของชิ้นงานเกิดขึ้นที่แนวเชื่อม

- โครงสร้างจุลภาคแสดงพื้นที่การกวนที่ไม่สมบูรณ์ การก่อตัวของเม็ดเกรนที่เล็กและละเอียดและพบชั้นการอัดตัวของอลูมิเนียม