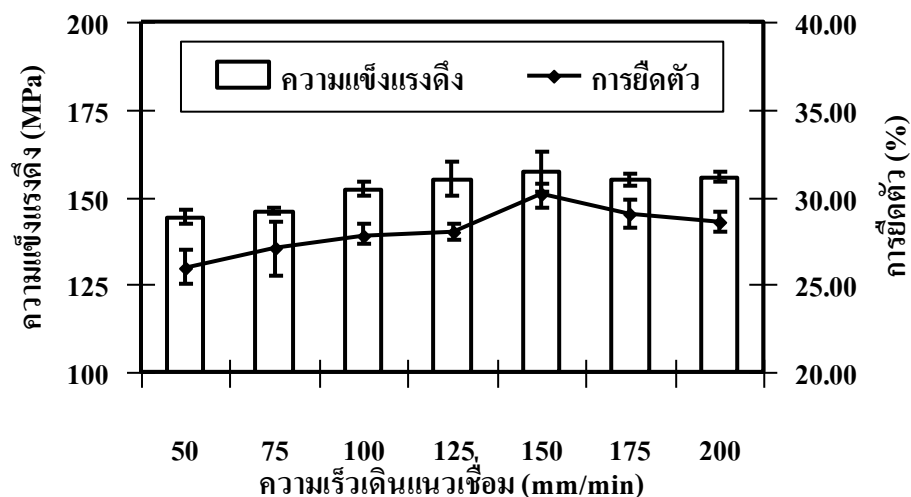


50 mm/min	(ก) 	150 mm/min	(จ) 
75 mm/min	(ข) 	175 mm/min	(ฉ) 
100 mm/min	(ค) 	200 mm/min	(ช) 
125 mm/min	(ง) 		

รูปที่ 4.14 ภาพรอยเชื่อมด้วยตัวความทงกรเกลียวที่ความเร็วเดินแนวต่างๆ ค่า EP=จุดบกพร่องที่จุดสุดท้าย และค่า SP=จุดบกพร่องบนแนวเชื่อม (หน่วยสเกล: ซม.)

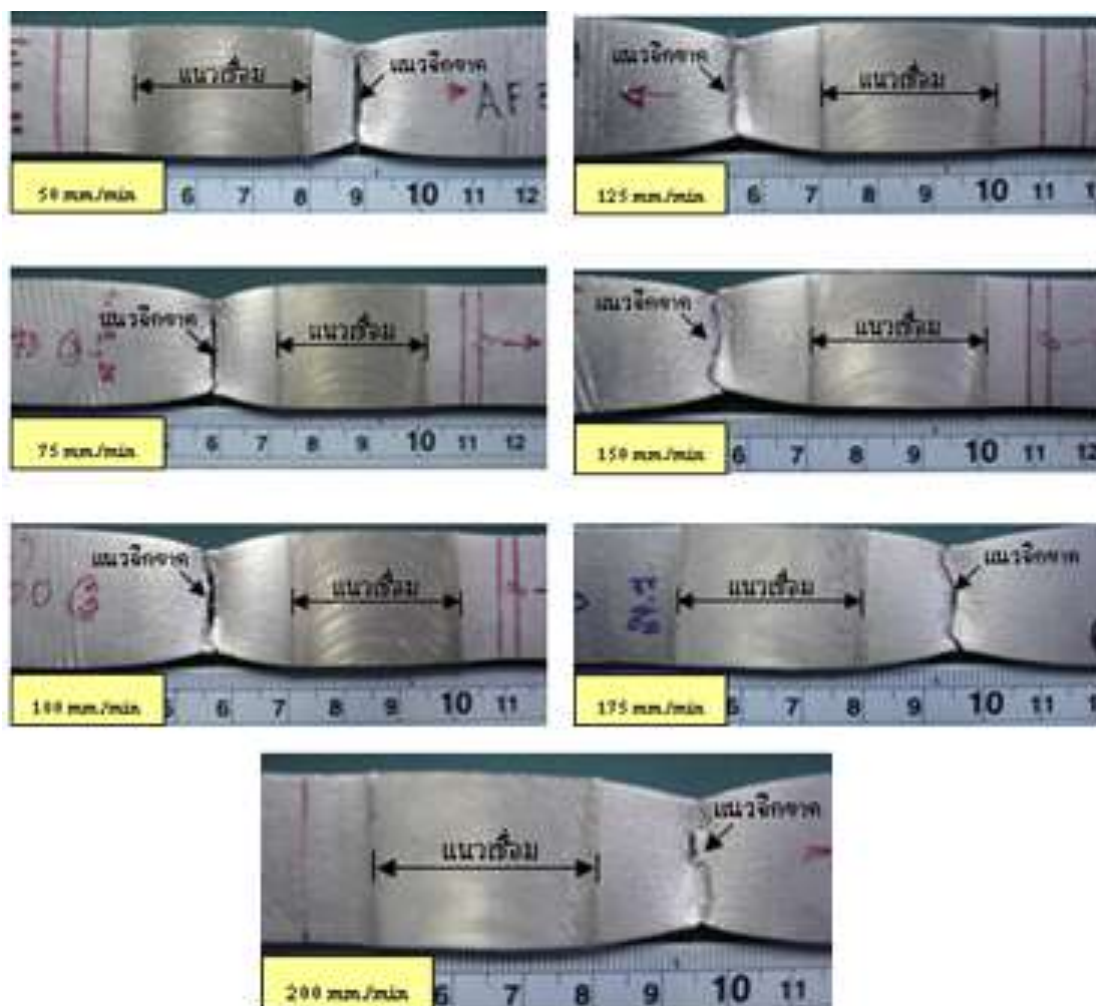
รูปที่ 4.14 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมอลูมิเนียมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวา พบว่าที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อมทุกๆ สภาพจะปรากฏจุดบกพร่องเป็นรูปกลมดั่งแสดงด้วยลูกศรและอักษร EP คล้ายกับผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวขวา และซ้ายดังเสนอในหัวข้อที่ผ่านมา พิจารณาจากจุดสุดท้าย (EP) ไปถึงจุดเริ่มต้น (SP) หรือจากซ้ายไปขวาในหน้ากระดาษ พบว่าไม่พบจุดใดๆ บนผิวหน้าแนวเชื่อมระหว่างจุดสุดท้ายและจุดเริ่มต้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่จุดเริ่มต้น พบว่าเกิดจุดบกพร่องเป็นแนวยาวประมาณ 4-5 มม. ที่จุดเริ่มต้นดังแสดงด้วยลูกศรและตัวอักษร SP และมีขนาดยาวสูงสุดที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ลักษณะจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นนี้คาดว่าเกิดจากการเริ่มต้นกดตัวกวนลงบนแผ่นอลูมิเนียมที่ใกล้กับขอบของรอยต่อมากเกินไปทำให้ไม่สามารถเติมอลูมิเนียมลงไปได้สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ไม่ได้ทำการพิจารณาโดยละเอียดถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดจุดบกพร่องนี้ และเมื่อนำชิ้นทดสอบไปทำการเตรียมชิ้นทดสอบนั้น จุดดังกล่าวอยู่ที่บริเวณหัวท้ายนั้นถูกตัดออกไป และไม่ได้นำมาทำการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และความเร็วเดินแนวเชื่อม ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวา

รูปที่ 4.15 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวาที่ค่าความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่มีค่าต่ำ เช่น 50-75 mm/min ค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์มีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วเดินแนวเชื่อมที่สูงกว่า อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมมีค่าความแข็งแรงค่อนข้างคงที่ เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่า 100-200 mm/min และค่าความผิดพลาด (Error bar) ของการทดสอบในแต่ละความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่าความผิดพลาดน้อยมาก การเกิดลักษณะนี้เนื่องจากว่าการฝึกหัดของรอยต่อนั้นไม่ได้เกิด

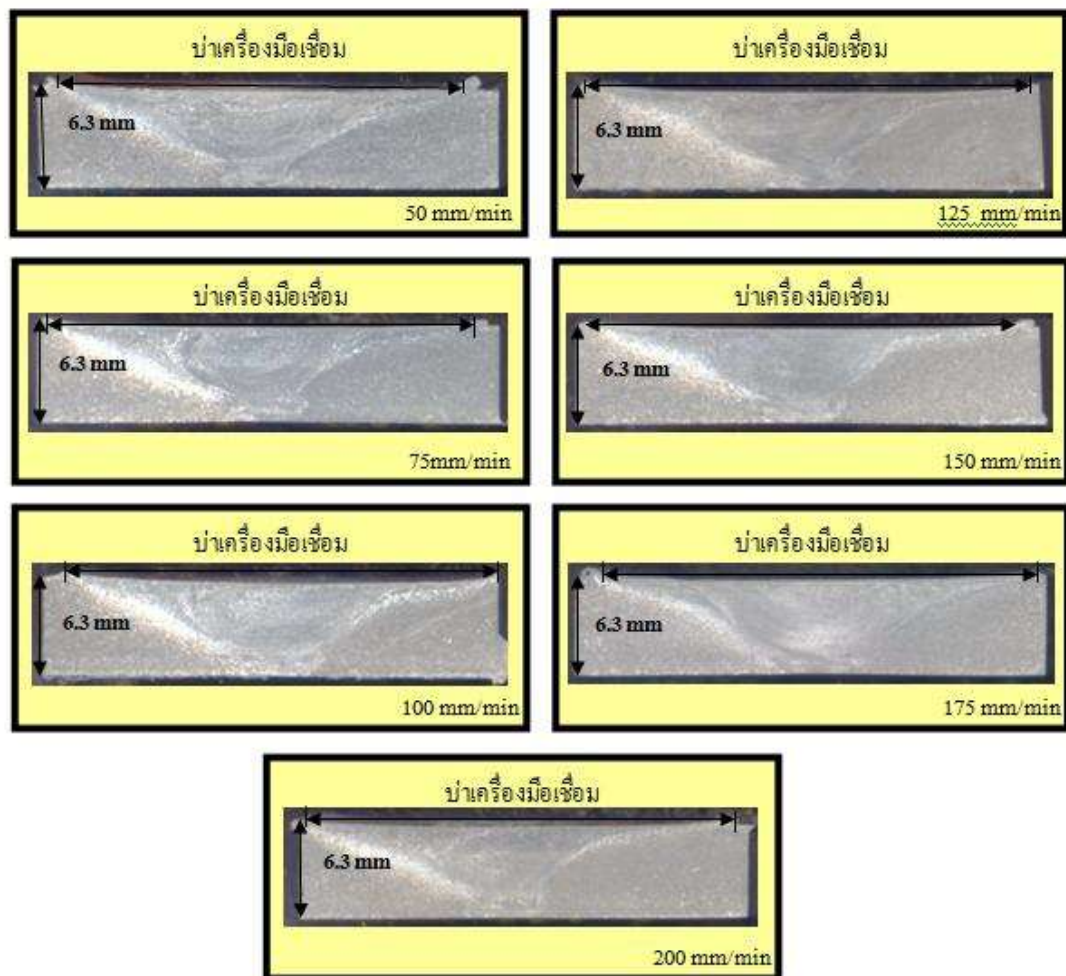
ชั้นที่บริเวณโลหะเชื่อม รอยต่อที่ได้ทุกค่าความเร็วเดินแนวเชื่อมนั้นโลหะเชื่อมมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าโลหะหลักทำให้การพังทลายนั้นเกิดขึ้นที่โลหะหลักอูมิเนียม นอกพื้นที่การเชื่อมในระยะ 10-15 มม. ดังแสดงในรูปที่ 4.16 เหมือนดังที่เกิดขึ้นกับแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวขวาและซ้าย



รูปที่ 4.16 ตำแหน่งการเกิดการพังทลายของชั้นทดสอบแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวา

รูปที่ 4.17 แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ตัดในแนวทิศทางการตั้งฉากกับทิศทางการเดินแนวเชื่อมของตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวา โดยทิศทางการเดินแนวเชื่อมพุ่งออกจากแผ่นกระดาษาเข้าหาตา แนวเชื่อมถูกเชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min เส้นประที่แสดงแนวการพังทลาย หรือลักษณะของชั้นทดสอบความแข็งแรงดังที่แสดงในโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวขวาและซ้ายนั้น ไม่มีแสดงในโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมในรูปที่ 4.17 เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวเกิดอยู่ห่างจากพื้นที่แนวเชื่อมประมาณ 10-15 มม.

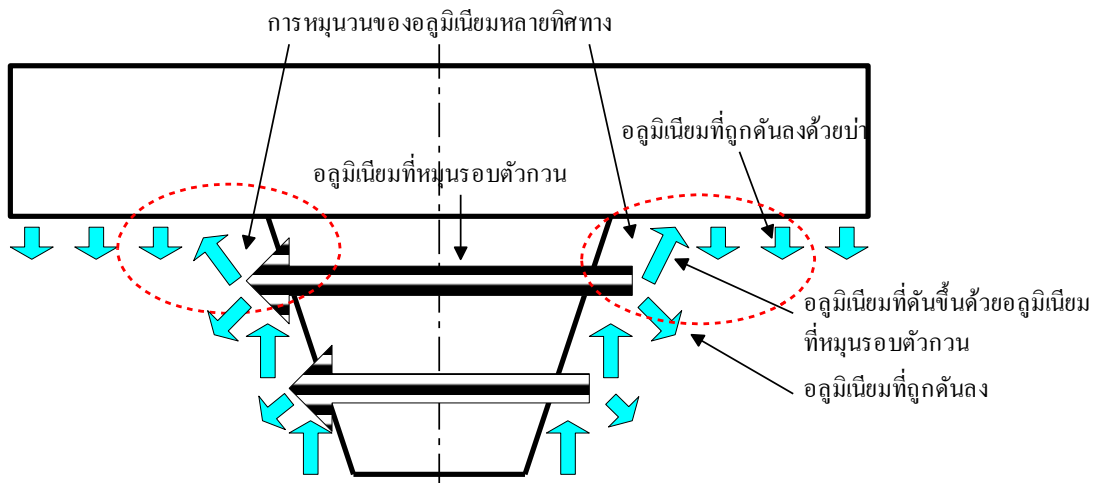
ที่โลหะอูมิเนียมหลัก พิจารณาจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในพื้นที่การเชื่อมคั้งที่เกิดบริเวณมุมล่างซ้าย ด้านแอดวานซ์ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวขวา พบว่าในแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวานี้ ไม่พบจุดบกพร่องลักษณะดังกล่าว



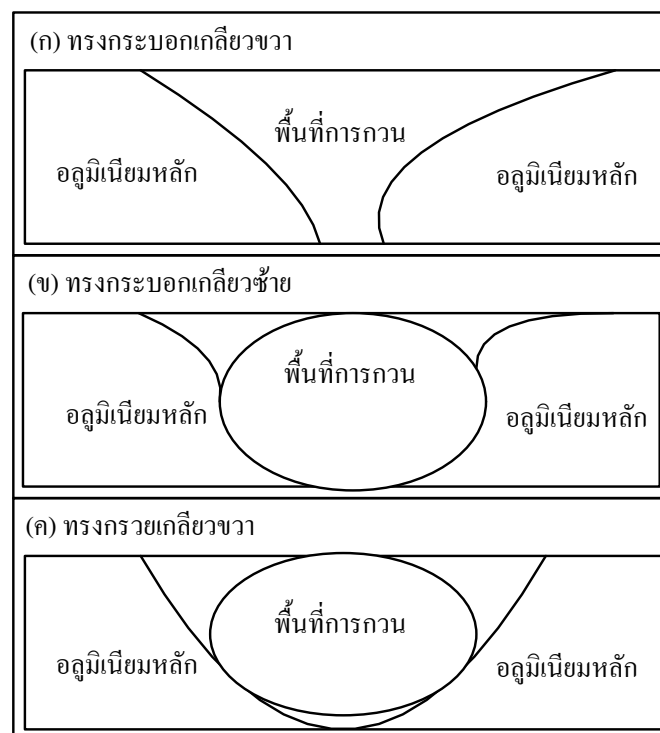
รูปที่ 4.17 โครงสร้างมหภาคของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวาที่ความเร็วในการเชื่อมต่างๆ

ผลการทดลองที่ทำให้เกิดความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกนี้ มีกลไกที่น่าสนใจ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองการเกิดการไหลวนของวัสดุภายในได้ปาเครื่องมือที่มีตัวกวนรูปร่างทรงกระบอก [3] ที่แสดงในหัวข้อที่ 2.2 ผู้วิจัยขอนำเสนอแผนภาพที่สร้างขึ้นจากสมมติฐานการไหลวนของอูมิเนียมดังแสดงในรูปที่ 4.18 การไหลวนของอูมิเนียมด้านล่างของปาเครื่องมือที่ใช้ตัวกวนที่เป็นรูปทรงกระบอกแบ่งได้เป็น 2 ทิศทาง คือ ทิศทางที่ขนานกับผิวหน้าของแผ่นอูมิเนียม ซึ่งเป็นอูมิเนียมที่ไหลรอบๆ ตัวกวน [27,28] และอูมิเนียมที่ไหลในทิศทางตั้งฉากกับปาเครื่องมือเชื่อม เนื่องจากปาเครื่องมือมีหน้าที่ในการดันอูมิเนียมให้ไหลย้อนกลับเพื่อให้เกิดการกวน [1,2] ในการไหลของอูมิเนียมรอบๆตัวกวนทรงกรวยนั้น มีลักษณะแบ่งออกเป็นชั้นๆ

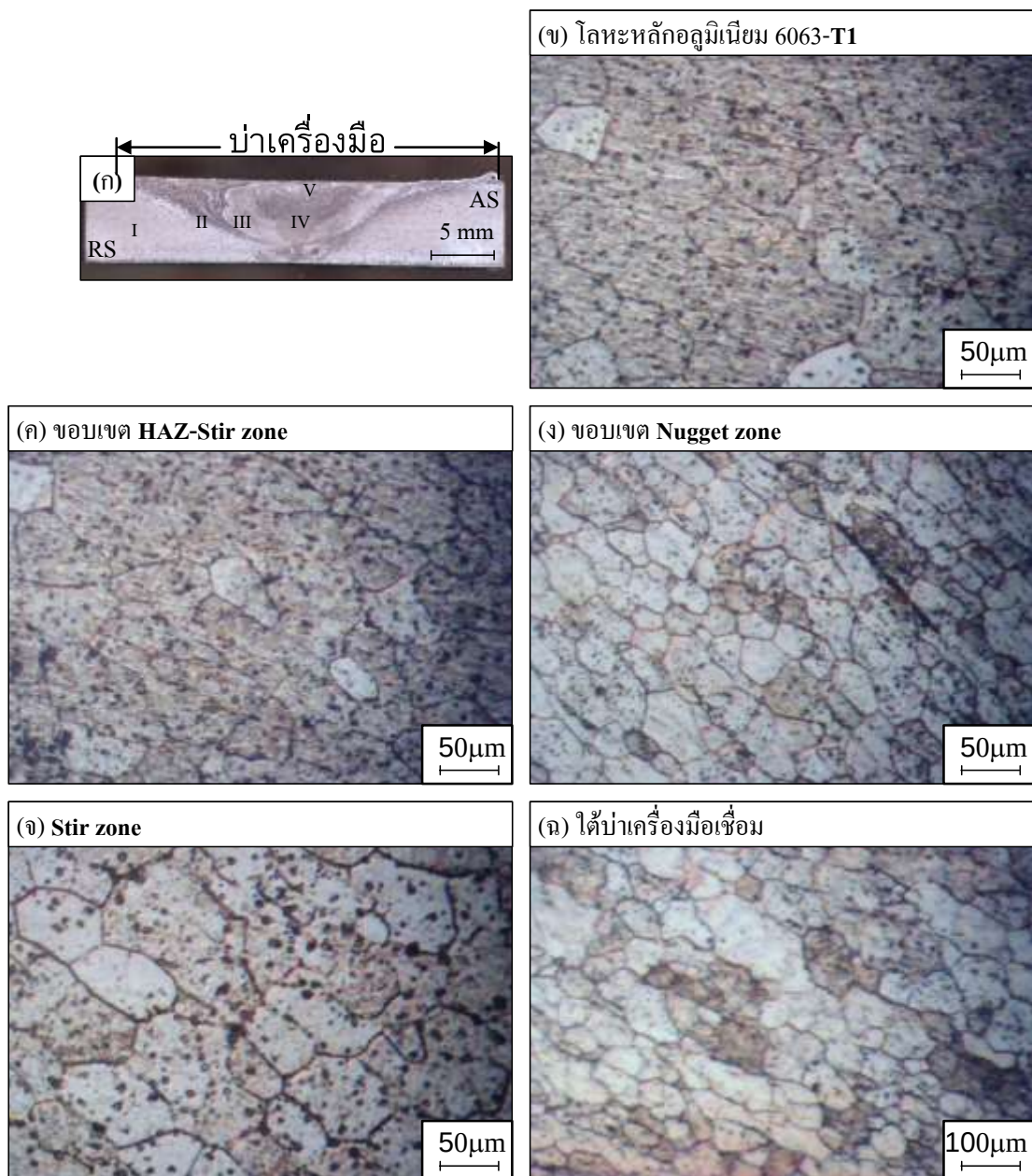
และเมื่ออลูมิเนียมที่ไหลวนรอบๆ ตัวกวนถูกดันขึ้นด้านบน อลูมิเนียมในแต่ละชั้นจะกดอลูมิเนียมที่ถูกดันขึ้นไปทำให้อลูมิเนียมชั้นนั้นเกิดการกวนที่มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับตัวกวนทรงกรวย จึงคาดว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์มากกว่า และคาดว่ามีการกวนที่รุนแรงกว่า อย่างไรก็ตามแนวคิดนี้จำเป็นต้องนำไปทำการศึกษาคืบต่อไป เพื่อพิสูจน์สมมติฐานดังรูปที่ 4.18 ว่าเป็นจริงหรือไม่



รูปที่ 4.18 สมมติฐานการไหลวนของอลูมิเนียมภายใต้เครื่องมือเชื่อมตัวกวนทรงกรวย



รูปที่ 4.19 รูปร่างโครงสร้างมหภาคที่แตกต่างกันของตัวกวนทรงกระบอกเกลียวและทรงกรวยเกลียวขวา



รูปที่ 4.20 โครงสร้างมหภาคและจุลภาคชิ้นงานเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวา และความเร็ว
เดินแนว 150 mm/min

นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวขวาในรูปที่ 4.17 มีความแตกต่างจากโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนต่างๆ ที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ กล่าวคือ รูปร่างของโครงสร้างมหภาคแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวขวามีรูปร่างคล้ายกรวยร่ม ตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้ายมีลักษณะเป็นวงรีม้วนในโลหะเชื่อมขณะที่ด้านบนมีลักษณะที่บานปลายออกคล้ายร่ม ขณะที่ตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวานั้นทำให้เกิดแนวเชื่อมคล้ายอ่างและมีวงรีขดม้วนอยู่ในอ่างนั้น ความแตกต่างของการเกิดรูปร่างที่แตก

ดังนั้น คาดว่ามีผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยต่อซึ่งจะกล่าวต่อไป แต่ในเบื้องต้นทำให้ทราบว่าตัวกวนที่แตกต่างกันทำให้เกิดรูปร่างโครงสร้างมหภาคที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.20 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวาที่ความเร็วรอบ 2000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min และความเอียงของตัวกวน 2 องศา พบรูปร่างของพื้นที่การเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.19 (ค) ที่เป็นลักษณะอ่างกระทะและมีอุณหภูมิเย็นม้วนเป็นวงรีวางอยู่ด้านในของอ่างกระทะ ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมที่บริเวณตำแหน่ง I ถึง V ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ก) และแสดงผลการตรวจสอบดังนี้

รูปที่ 4.20 (ข) คือ พื้นที่ตำแหน่ง I ในรูปที่ 4.20 (ก) ซึ่งเป็นพื้นที่ของอุณหภูมิเย็นที่ไม่ถูกเปลี่ยนแปลงจากกระบวนการเชื่อม โครงสร้างจุลภาคของโลหะหลักอุณหภูมิเย็นผสม 6063-T1 มีรูปร่างของเม็ดเกรนที่ไม่เป็นระเบียบและไม่กลมมน ซึ่งเป็นโครงสร้างของอุณหภูมิเย็นที่ได้จากการรีด ทำการวัดขนาดเกรนพบว่ามีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ $33.99 \mu\text{m}$ เช่นเดียวกับในหัวข้อที่ผ่านมา พื้นที่ตำแหน่ง II ในรูปที่ 4.20 (ก) หรือ พื้นที่ขอบเขตระหว่างพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน-กล [4,8,9] และพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลความร้อน ซึ่งเป็นพื้นที่เกิดการปรับสภาพเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานและความดันอุณหภูมิเย็น ทำให้เม็ดเกรนมีรูปร่างกลมมนมากกว่าโลหะหลักอุณหภูมิเย็น 6063-T1 ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ค)

รูปที่ 4.20 (ง) คือ พื้นที่ตำแหน่งที่ III คือ ขอบเขตของนิกเกต (Nugget zone) หรือวงม้วนอุณหภูมิเย็นที่เกิดจากการกวนที่รุนแรงของตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวา พบว่าเม็ดเกรนของอุณหภูมิเย็นถูกกวนและดึงให้เม็ดเกรนมีความยาวขึ้นตามทิศทางของการกวนจากมุมล่างขวาขึ้นไปมุมบนซ้าย ขณะที่พื้นที่ตำแหน่งที่ IV ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (จ) คือ พื้นที่ภายในวงหัวหอม หรือพื้นที่นิกเกต หรือพื้นที่การกวน ซึ่งแสดงการก่อตัวของเกรนใหม่ [8] ที่มีความละเอียดและกลมมน อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวัดขนาดเกรน พบว่าขนาดเกรนเฉลี่ยของพื้นที่การกวนด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียวนี้มีขนาดเกรนเฉลี่ย $28.19 \mu\text{m}$ ซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าขนาดเกรนเฉลี่ยในพื้นที่การกวนของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวขวาและซ้าย

ขนาดเกรนที่เล็กที่สุดในระดับโครงสร้างจุลภาคของรูปที่ 4.20 (ก) พบที่บริเวณที่เกิดการเสียดสี และสัมผัสกับบ่าเครื่องมือโดยตรงดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ฉ) ดังที่กล่าวผ่านมา สาเหตุที่ทำให้เม็ดเกรนมีขนาดที่เล็กที่สุด เนื่องจากบริเวณนี้เป็นบริเวณที่ได้รับความร้อนสูงและเกิดการเลื่อนสูงสุด ในแนวเชื่อม [8] แต่มีบริเวณการเกิดลึกลงมาจากผิวหน้าเล็กน้อยเท่านั้น

การประยุกต์ตัวกวนรูปทรงกรวยเกลียวขวา ความเร็วรอบในการหมุน 2000 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min ในการเชื่อมรอยต่อชนอุณหภูมิเย็นผสมเกรด 6063-T1 พบว่าการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ใช้ตัวกวนทรงกรวยเกลียวขวา สามารถทำการเชื่อมรอยต่อชนอุณหภูมิเย็น 6063-T1 ให้ได้รอยต่อที่สมบูรณ์ (Sound joint) ได้ และแสดงค่าความแข็งแรงที่มากกว่าโลหะอุณหภูมิเย็นหลัก ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่เปลี่ยนแปลงไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยต่อ