

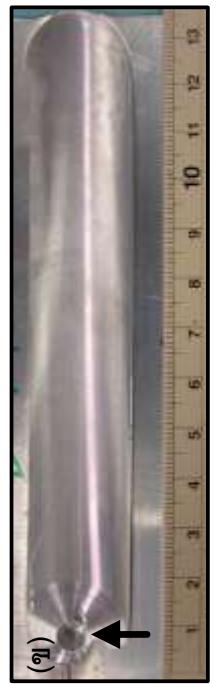
เนียม 6063-T1 ได้ และแสดงค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่มีค่ามากกว่าโลหะหล่ออลูมิเนียมที่ใช้ในการเชื่อม เนื่องจากชิ้นงานทั้งหมดในการทดลองเกิดการบิดงอที่บริเวณโลหะหล่ออลูมิเนียม ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่เปลี่ยนแปลง ส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นงานเชื่อม โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อแสดงการเกิดเกรนใหม่ที่มีรูปร่างที่กลมมนและมีขนาดเล็กลงเมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมหลัก และมีขนาดที่เล็กกว่าตัวกวนรูปทรงกระบอกและทรงกรวย จุดบกพร่องที่เกิดในแนวเชื่อมมีขนาดที่เล็กลงอย่างเห็นได้ชัด รูปแบบกวนถูกกวนของอลูมิเนียมสามารถตรวจสอบพบอย่างชัดเจน และคาดว่าแนวเส้นการเกิดกวนภายในแนวเชื่อมเป็นตัวแปรที่ทำให้เกิดความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น

4.2 อิทธิพลของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวซ้ายต่อความต้านทานแรงดึง

การใช้เกลียวขวา M5 ในการเชื่อมอลูมิเนียม 6063-T1 ซึ่งทำให้เกิดพฤติกรรมการไหลของอลูมิเนียมขึ้นด้านบนตามร่องเกลียว ทำให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงสูงกว่าโลหะเชื่อม แต่จุดบกพร่องในโลหะเชื่อมบริเวณด้านแอดวานซ์นั้นยังคงอยู่ดังแสดงในหัวข้อที่ผ่านมา ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการประยุกต์ตัวกวนพบว่าในหัวข้อนี้เริ่มทำการทดลองโดยการใช้ตัวกวนทรงเกลียวซ้าย M5 ที่คาดว่า การไหลวนของอลูมิเนียมจะมีลักษณะการกอดกันเศษลงด้านล่างคล้ายดอกตำปเกลียว และมีตัวแปรการเชื่อมในการเชื่อมประกอบไปด้วย

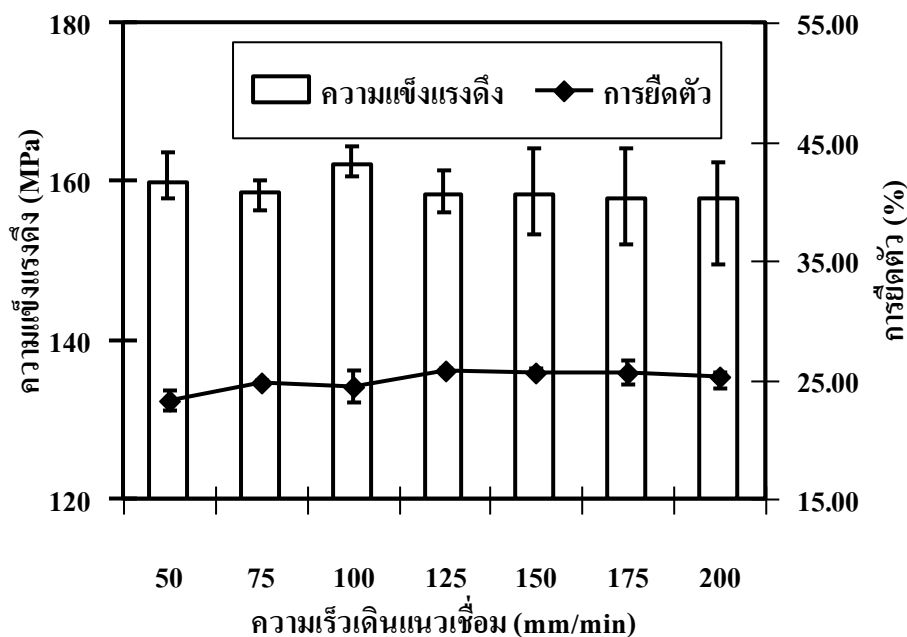
- ตัวกวนรูปร่างทรงเกลียวซ้ายโดยมีขนาดตามเกลียวมาตรฐาน M5
- ความเร็วรอบการหมุนของตัวกวน มีค่าเท่ากับ 2000 rpm
- ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมมีค่าเท่ากับ 50-200 mm/min
- ความเอียงของตัวกวนมีค่าเท่ากับ 2 องศา

รูปที่ 4.9 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมอลูมิเนียมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวซ้าย เช่นเดียวกันกับการเชื่อมด้วยตัวกวนที่ผ่านมา พบว่าที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อมทุกสภาวะยังคงมีจุดบกพร่องเป็นรูกลมที่จุดสุดท้ายดังแสดงด้วยลูกศร ขณะที่จุดอื่นๆ ของผิวหน้าแนวเชื่อม ไม่ปรากฏจุดบกพร่องหรือความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้น ความสมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อมนี้ คาดว่าเกิดจากตัวกวนทรงเกลียวซ้ายนั้น สามารถกวนให้อลูมิเนียมเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่เกิดการกวนที่รุนแรงขึ้นคล้ายกับตัวกวนทรงเกลียวขวา ทำให้อลูมิเนียมสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่อง และเกิดการเติมเต็มของอลูมิเนียมภายใต้เครื่องมือได้ดีขึ้น และในรายงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ตัวกวนทรงเกลียวขวา และทรงเกลียวซ้ายสามารถทำให้เกิดแนวเชื่อมที่มีผิวหน้าแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ได้ดีกว่า แนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก [20] ผลที่ได้นี้คาดว่าเกิดจากเนื่องจากการกวนอลูมิเนียม และการไหลอลูมิเนียมภายใต้เครื่องมือเชื่อมมีความรุนแรงมากกว่าและมีความต่อเนื่องมากกว่า

50 mm/min		150 mm/min	
75 mm/min		175 mm/min	
100 mm/min		200 mm/min	
125 mm/min			

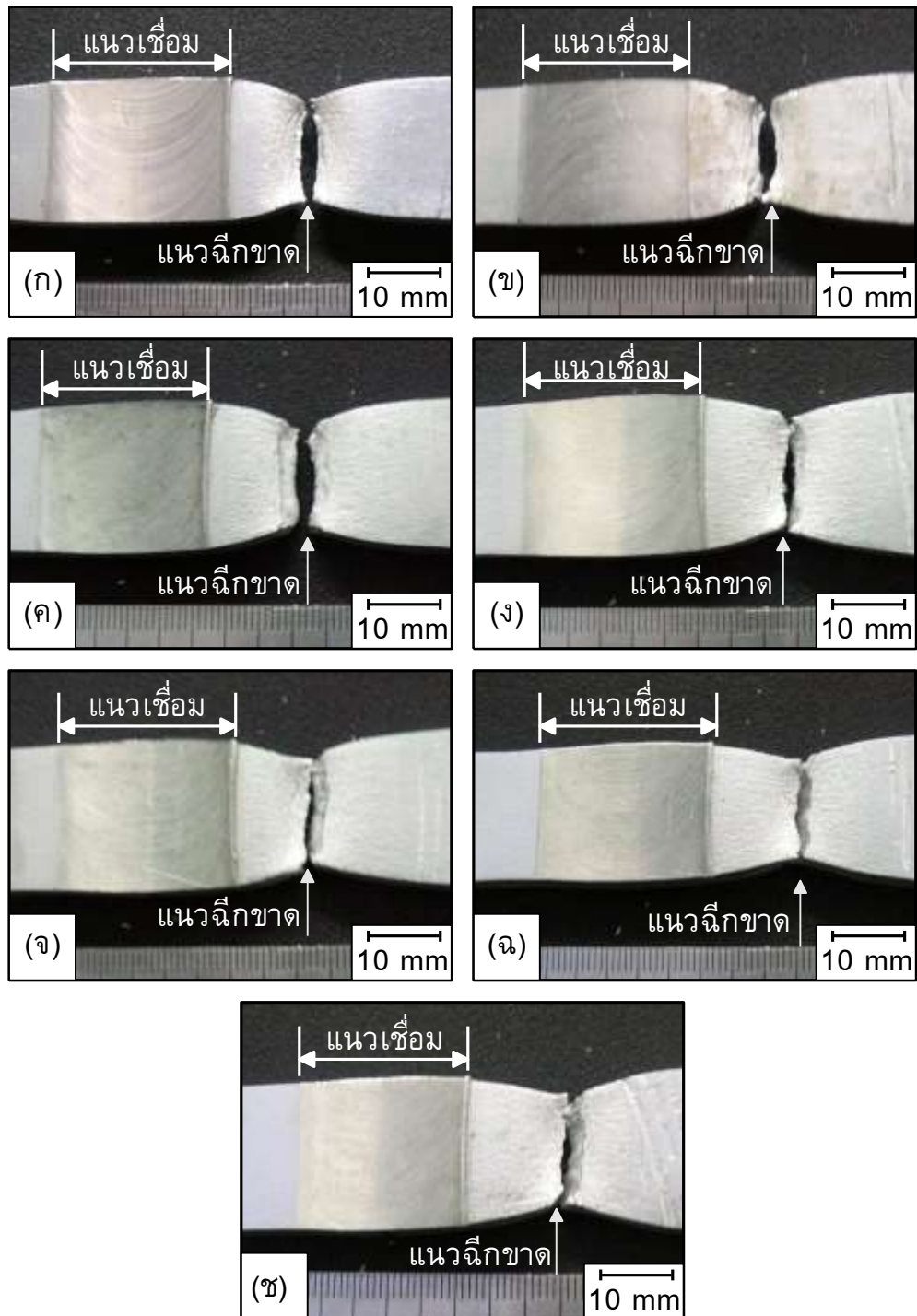
รูปที่ 4.9 ผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวความทงกระบอกเกลียวซ้ายที่ความเร็วเดินแนวต่างๆ ค่า EP=จุดบัพร่องที่จุดสุดท้าย

และค่า WP=จุดบัพร่องบนแนวเชื่อม (หน่วยสเกล: ซม.)

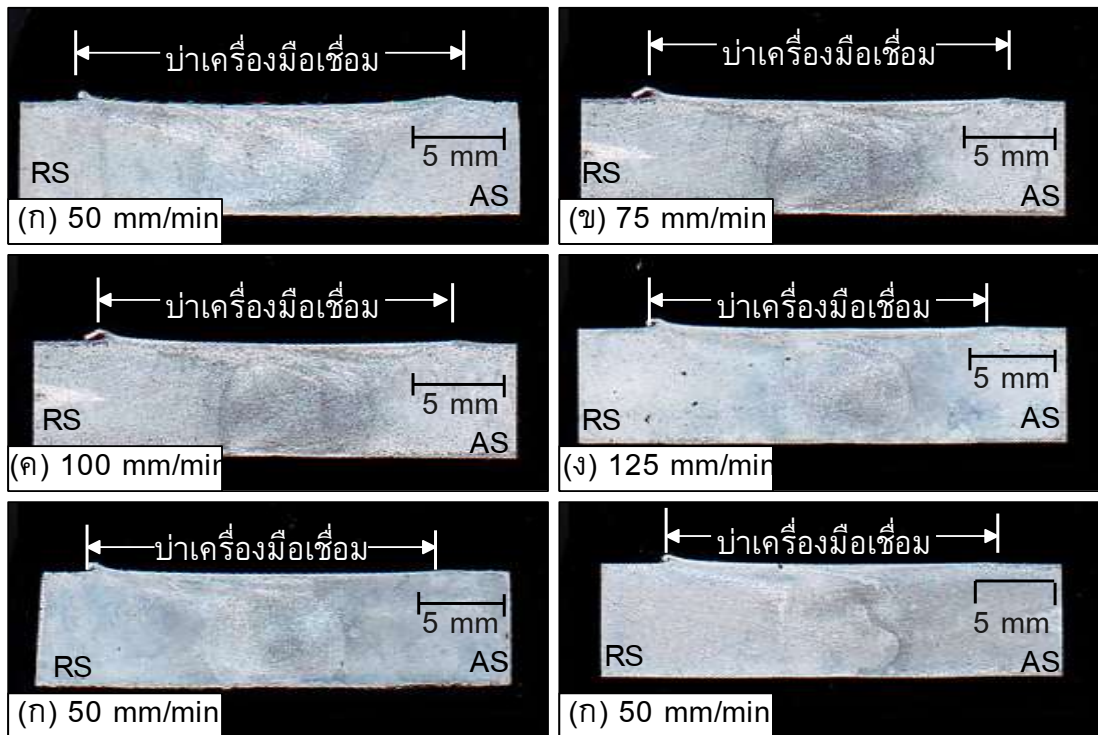


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยึดตัว และความเร็วเดินแนวเชื่อม ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย

รอยเชื่อมที่ผิวหน้ามีความสมบูรณ์ถูกนำมาทำการเตรียมชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึง ทดสอบแรงดึง และแสดงผลการทดลองการทดสอบความแข็งแรงดึงดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าความแข็งแรงดึงของชิ้นทดสอบและค่าร้อยละการยึดตัวของชิ้นทดสอบมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แม้ว่าความเร็วเดินแนวเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลง ค่าความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วเดินเชื่อมมีค่าประมาณ 7MPa สำหรับความแข็งแรงดึง และ 3% สำหรับค่าการยึดตัว ค่าความแข็งแรงสูงสุดของการเปลี่ยนแปลงความเร็วเดินแนวเชื่อมของการใช้ตัวกวนทรงเกลียวซ้ายในการเชื่อมมีค่าเท่ากับ 168MPa เมื่อเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125mm/min เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่ได้ กับแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนเกลียวขวาที่ผ่านมา พบว่ามีค่าความแข็งแรงในระดับเดียวกับตัวกวนทรงเกลียวขวา การเกิดขึ้นในลักษณะนี้ เนื่องจากรอยเชื่อมมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าเนื้อโลหะเชื่อม และตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบ มีลักษณะเดียวกันกับการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวขวา คือ เกิดการพังทลายที่บริเวณโลหะหล่อกลูมิเนียมที่ระยะห่างจากขอบของแนวเชื่อมประมาณ 10-15 มม. ชิ้นงานทุกชิ้นมีการเกิดการยึดตัวค่อนข้างมากก่อนเกิดการฉีกขาดคล้ายกับชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวขวา โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวประมาณ 23-25% และพบว่าชิ้นทดสอบที่ผ่านการดึงจนขาดนั้น เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางด้านความกว้างของชิ้นทดสอบเป็นลักษณะคอคอดดังแสดงในรูปที่ 4.11 ทุกๆ สภาวะ



รูปที่ 4.11 ตำแหน่งการเกิดการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก
 เกลียวซ้าย: (ก) 50 mm/min, (ข) 75 mm/min, (ค) 100 mm/min, (ง) 125 mm/min, (จ) 150 mm/min,
 (ฉ) 175 mm/min และ (ช) 200 mm/min,



รูปที่ 4.12 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อชนที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ของตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย (RS คือ ด้านริททิทัง AS แสดงด้านแอควานซิง เส้นประแสดงแนวพังทลาย)

รูปที่ 4.12 แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ตัดในแนวทิศทางการตั้งฉากกับทิศทางการเดินแนวเชื่อมของตัวกวนทรงเกลียวซ้ายที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ โดยทิศทางการเดินแนวเชื่อมพุ่งออกมาจากกระนาบที่แสดง เส้นประที่แสดงแนวการพังทลายหรือลักษณะของชั้นทดสอบความแข็งแรงดังที่แสดงในโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก และทรงกรวยนั้นไม่ได้แสดงในโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมในรูปที่ 4.12 เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวเกิดอยู่นอกพื้นที่แนวเชื่อมดังได้อธิบายไว้ในรูปที่ 4.11 จุดบกพร่องที่มักเกิดที่มุมล่างขวาของแนวเชื่อมด้านแอควานซิงของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก [20] และทรงเกลียววานั้น ไม่สามารถตรวจพบได้ในรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวซ้าย จุดบกพร่องดังกล่าวได้ถูกเติมเต็มด้วยอลูมิเนียมภายในแนวเชื่อม การเกิดความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมนี้เองเป็นสาเหตุที่ทำให้แนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวซ้ายมีความแข็งแรงสูง และทำให้แนวการพังทลายของแนวเชื่อมเลื่อนออกไปเกิดที่ตำแหน่งของแผ่นอลูมิเนียมดังแสดงในรูปที่ 4.11 และบอกให้ทราบว่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมนี้มีค่าที่สูงกว่าอลูมิเนียมผสมเกรด 6063-T1 ผลการทดลองได้สามารถยืนยันคำกล่าวของงานวิจัยหลายๆ ตัวที่ผ่านมามีว่า แนวเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรดต่างๆ สามารถทำให้เกิดความสมบูรณ์ได้ด้วยการใช้ตัวกวนทรงเกลียว [8-10]

โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวซ้ายในรูปที่ 4.12 มีความแตกต่างจากโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนต่างๆ ที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ กล่าวคือ รูป

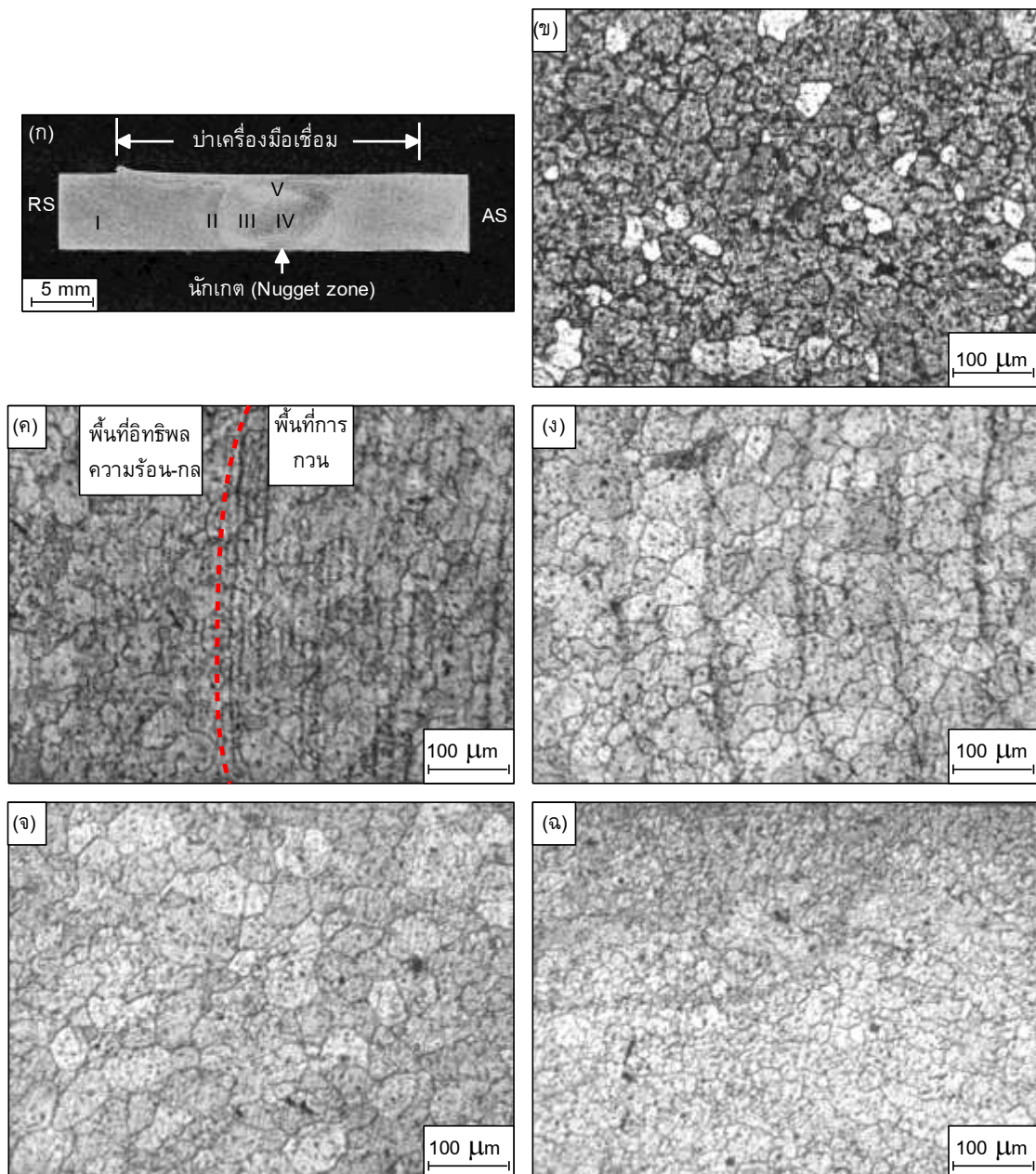
ร่างของโครงสร้างมหภาคแสดงอูมิเนียมมีการขมวดเป็นวงรีที่กึ่งกลางของแนวเชื่อม แต่ในโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก [20] หรือทรงกลีวยาวนั้น วงรีของการกวนที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถตรวจสอบให้เห็นได้ง่ายนัก สาเหตุคาดว่าเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อมที่มุมล่างขวา ทำให้อูมิเนียมที่ควรเกิดการไหลวนอย่างต่อเนื่องในบริเวณพื้นที่การเชื่อมนั้นไม่สามารถเกิดขึ้นได้ พื้นที่วงรีที่กึ่งกลางของแนวเชื่อมอูมิเนียมที่แสดงในรูปที่ 4.12 นี้มีชื่อเรียกว่า “พื้นที่นักเกต (Nugget zone)” หรือ “วงแหวนหัวหอม (Onion ring)” ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เกิดขึ้นในแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนที่มีรูปร่างทรงกลีวยาว ที่ให้ผลต่อการกวนอูมิเนียมที่รุนแรง ทำให้ขนาดเม็ดเกรนของแนวเชื่อมลดลง และส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงของแนวเชื่อมต่อไป [8,9,26]

รูปที่ 4.13 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกลีวยาว ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min ที่แสดงค่าความแข็งแรงสูงสุดในการทดลองครั้งนี้ ตัวอักษร AS หมายถึง ด้านแอดวานซ์ และตัวอักษร RS หมายถึง ด้านรีทริทิง การตรวจสอบโลหะเชื่อมพบว่าโครงสร้างมหภาคของโลหะเชื่อมทุกความเร็วเดินแนวเชื่อมนั้นมีความสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องใดๆ เช่น รูพรุน หรือตามมดเกิดขึ้นภายในโลหะเชื่อม

บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมที่เรียกว่า “พื้นที่การกวน (Stir zone)” พบอูมิเนียมมีขนาดเป็นวงรีพื้นที่นี้เรียกว่า “พื้นที่นักเกต (Nugget zone)” ซึ่งเป็นพื้นที่การกวนรุนแรง และอูมิเนียมที่อ่อนตัวจากความร้อนเสียความเหนียว ถูกตัดเฉือน และอัดอย่างรุนแรงเข้าด้วยกัน บริเวณพื้นที่นี้รูปแบบของเม็ดเกรนเกิดการก่อตัวขึ้นใหม่ (Dynamics Recrystallization) และมีขนาดเล็กกลมมนขึ้น [8] ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณที่มีความแตกต่างบนโครงสร้างมหภาคที่ตำแหน่ง I ถึง V มีรายละเอียดดังนี้

รูปที่ 4.13 (ข) คือ พื้นที่ตำแหน่ง I ในรูปที่ 4.13 (ก) ซึ่งแสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะหลักอูมิเนียมผสม 6063-T1 ที่รูปร่างของเม็ดเกรนที่ไม่เป็นระเบียบและไม่กลมมนซึ่งเป็นโครงสร้างของอูมิเนียมที่ได้จากการรีด ทำการวัดขนาดเกรนด้วยวิธีการลากเส้นตัดผ่านเกรน พบ ว่ามีขนาดเกรนเฉลี่ยประมาณ 33.99 μm

รูปที่ 4.13 (ค) คือพื้นที่ตำแหน่ง II ซึ่งแสดงพื้นที่ขอบเขตระหว่างพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนและแรงทางกล (Thermo-mechanical Affected Zone: TMAZ) [4,8,9] ซึ่งเป็นพื้นที่เกิดการปรับสภาพเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการเสียความเหนียวและแรงกวนอูมิเนียม ทำให้เม็ดเกรนมีรูปร่างกลมมน และหากเปรียบเทียบกับรูปร่างของเม็ดเกรนโลหะหลักอูมิเนียม 6063-T1 พบว่าเม็ดเกรนของอูมิเนียมที่อยู่บริเวณนี้มีความกลมมนและเป็นระเบียบมากกว่า ขณะที่ด้านขวาของเส้นประที่แสดงในรูปที่ 4.13 (ค) นั้นแสดงความกลมมนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับด้านซ้ายของเส้นประที่แสดงในรูปที่ 4.13 (ค)



รูปที่ 4.13 โครงสร้างแนวเชื่อมตัวกวนทรงกระบอกเกลียวซ้าย: (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอณูนิยมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กลและพื้นที่การกวน (ง) พื้นที่การกวน (จ) พื้นที่นั้กเกต (ฉ) พื้นที่ได้บ่าเครื่องมือเชื่อม

รูปที่ 4.13 (ง) ถึง (ฉ) คือ พื้นที่ตำแหน่งที่ III ถึง V ซึ่งแสดง พื้นที่การกวนที่อณูนิยมก่อตัวของเกรนใหม่ [8] ที่มีความละเอียดและกลมมน ทำการวัดขนาดเกรนพบว่ามีความละเอียด 18.49 μm ซึ่งมีความละเอียดที่น้อยกว่าอณูนิยมหลัก เปรียบเทียบขนาดเม็ดเกรนของพื้นที่การกวนรอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวขวาที่มีความละเอียดประมาณ 25.42 μm พบว่ามีค่าที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามขนาดเกรนที่ได้ไม่ใช่ขนาดเกรนที่เล็กที่สุด ตำแหน่งที่มีขนาดเกรนที่เล็กที่สุด คือ ตำแหน่งด้านล่างของบ่าเครื่องมือเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ฉ) เนื่องจากบริเวณนี้เป็นบริเวณที่ได้รับความร้อนสูง

และเกิดการฉีกขาดในแนวเชื่อม [8] แต่มีบริเวณการเกิดลึกลงมาจากผิวหน้าแนวเชื่อมเพียง 150 μm เท่านั้น

การประยุกต์ตัวกวนรูปทรงเกลียวซ้าย ความเร็วรอบในการหมุน 2000 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min ในการเชื่อมรอยต่อชนอลูมิเนียมผสมเกรด 6063-T1 พบว่า การเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ใช้ตัวกวนทรงเกลียวซ้าย สามารถทำการเชื่อมรอยต่อชนอลูมิเนียม 6063-T1 ให้ได้รอยต่อที่สมบูรณ์ (Sound joint) ได้ และแสดงค่าความแข็งแรงที่มากกว่าโลหะอลูมิเนียมหลัก ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่เปลี่ยนแปลงไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยต่อ เนื่องจากรอยต่อมีความแข็งแรงสูงกว่าโลหะหลักอลูมิเนียม และเกิดการแตกหักที่อลูมิเนียมหลัก โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อแสดงการเกิดเกรนใหม่ที่มีรูปร่างที่กลมมนและมีขนาดเล็กลงเมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมหลัก

4.3 อิทธิพลของตัวกวนรูปทรงกรวยเกลียวขวาต่อความต้านทานแรงดึง

Mishra and Ma [23] ได้รายงานไว้ตอนหนึ่งว่า รูปร่างของตัวกวนที่ออกแบบเชื่อมชิ้นงานอลูมิเนียม นั้น หากสามารถออกแบบให้ตัวกวนมีรูปร่างเป็นทรงกรวยได้นั้นทำให้สามารถลดแรงต้านของแผ่นอลูมิเนียมเมื่อทำการกดตัวกวนลงไปในเนื้ออลูมิเนียมได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการปรับรูปแบบตัวกวนจากตัวกวนทรงเกลียวเป็นตัวกวนทรงกระบอก เพื่อลดแรงต้านของเนื้ออลูมิเนียม อย่างไรก็ตามที่ผ่านมา ขวัญชัย อยู่สะอาด และ ขวาลิต นุชวงษ์ [22] ได้ออกแบบตัวกวนรูปทรงกระกรวยผิวเรียบในการเชื่อมอลูมิเนียม 6063-T1 และพบว่า “การทำการประยุกต์ตัวกวนรูปทรงกรวย ความเร็วรอบในการหมุน 2000 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min ในการเชื่อมรอยต่อชนอลูมิเนียมผสมเกรด 6063-T1 พบว่า การเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ใช้ตัวกวนทรงกรวย สามารถทำการเชื่อมรอยต่อชนอลูมิเนียม 6063-T1 ได้ และแสดงค่าความแข็งแรงที่ต่ำกว่าโลหะหลักอลูมิเนียม เนื่องจากการเกิดจุดบกพร่องในเนื้อโลหะเชื่อม แต่แนวโน้มของการเกิดจุดบกพร่องภายในเนื้อโลหะเชื่อมมีขนาดที่เล็กลง โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อแสดงการเกิดเกรนใหม่ที่กลมมนและมีขนาดเล็กกว่ารอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก” การเกิดจุดบกพร่องในเนื้อโลหะเชื่อมของ ขวัญชัย อยู่สะอาด และ ขวาลิต นุชวงษ์ [22] นั้นคาดว่า อลูมิเนียมถูกกวนไม่รุนแรงและไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้ ผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงรูปร่างตัวกวนทรงกรวยจากผิวเรียบเป็นผิวเกลียวมาตรฐาน M5 และประยุกต์ใช้ในการเชื่อมอลูมิเนียม 6063-T1 ต่อไป

ในหัวข้อนี้ทำการทดลองโดยมีตัวแปรการเชื่อมในการเชื่อมประกอบไปด้วย

- ตัวกวนรูปร่างทรงกรวยเกลียวขวาโดยมีขนาดตามเกลียวมาตรฐาน M5
- ความเร็วรอบการหมุนของตัวกวน มีค่าเท่ากับ 2000 rpm
- ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมมีค่าเท่ากับ 50-200 mm/min
- ความเอียงของตัวกวนมีค่าเท่ากับ 2 องศา