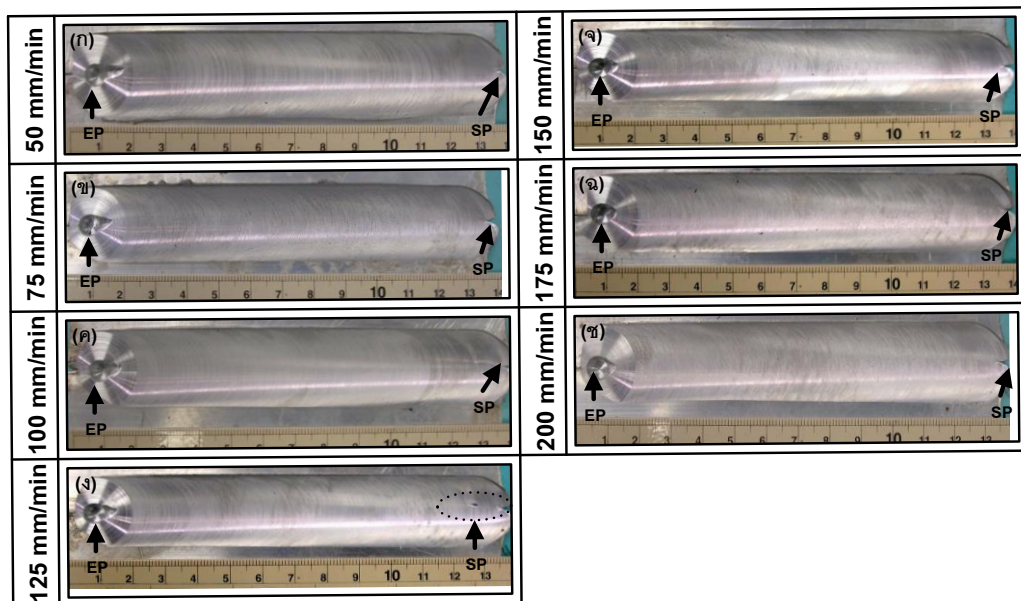


บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ในบทนี้เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการวัดและการทดลองที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 มาทำการวัดค่า เก็บข้อมูล และทำการวิเคราะห์ผล ผลการทดลองที่แสดงในบทนี้ประกอบด้วย 4 คือ อิทธิพลความเร็วเดินแนวเชื่อมต่อความแข็งแรงของโลหะเชื่อมอลูมิเนียม 6063 สภาพจำหน่าย อิทธิพลความเร็วเดินแนวเชื่อมต่อความแข็งแรงของโลหะเชื่อมอลูมิเนียม 6063-O อิทธิพลการอบชุบแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063-O ต่อความแข็งแรงของโลหะเชื่อม ระยะเวลาการอบชุบแปรปกติ และอิทธิพลการอบชุบแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063-O ต่อความแข็งแรงของโลหะเชื่อม ระยะเวลาการอบชุบ 1 สัปดาห์ ผลการทดลองที่ได้มีดังต่อไปนี้

4.1 โครงสร้างและความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมอลูมิเนียม 6063 สภาพจำหน่าย



รูปที่ 4.1 ผิวหน้าแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063 สภาพจำหน่าย

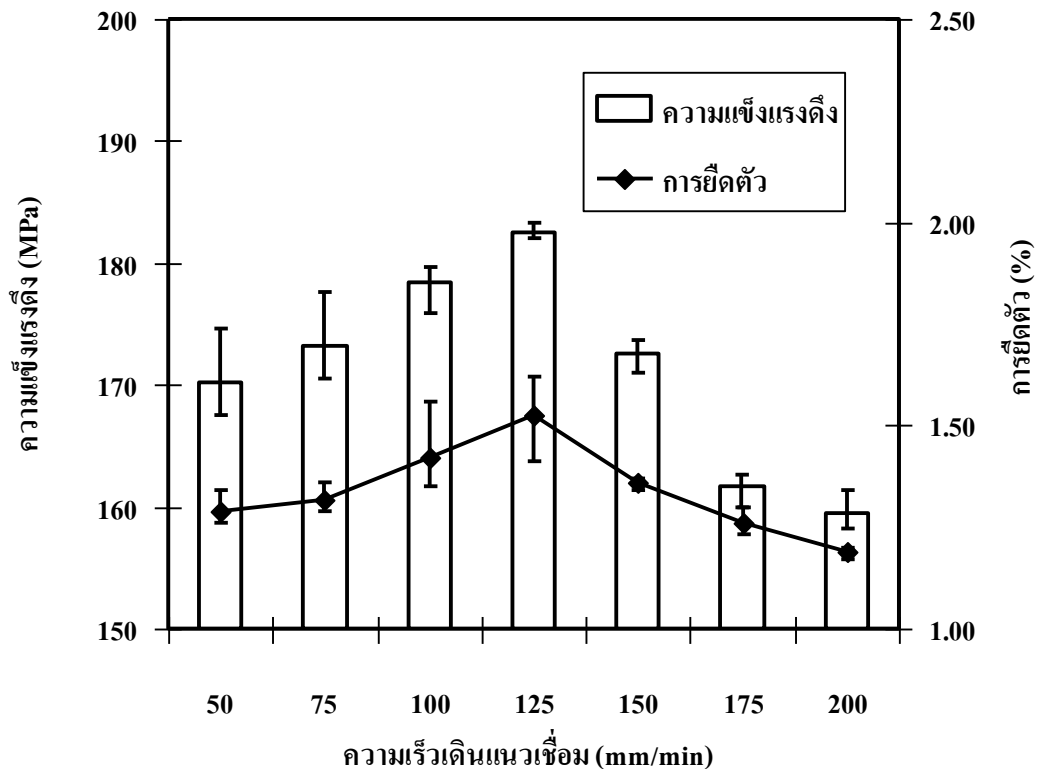
การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนรอยต่ออลูมิเนียม 6063 ในสภาพจำหน่าย เป็นตัวแปรการเชื่อมแรกที่ทำการศึกษาในการทดลองนี้ เนื่องจากอลูมิเนียมที่ได้รับจากผู้จำหน่ายนั้นไม่สามารถระบุได้ว่า อลูมิเนียมที่ได้มานั้นมีสภาพการผลิตอย่างไร อลูมิเนียมที่ได้นำมา

ทำการออกแบบเพื่อเตรียมชิ้นงานเพื่อให้ได้มิติของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 3.3 จากนั้นทำการเชื่อมด้วยตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนดังต่อไปนี้

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

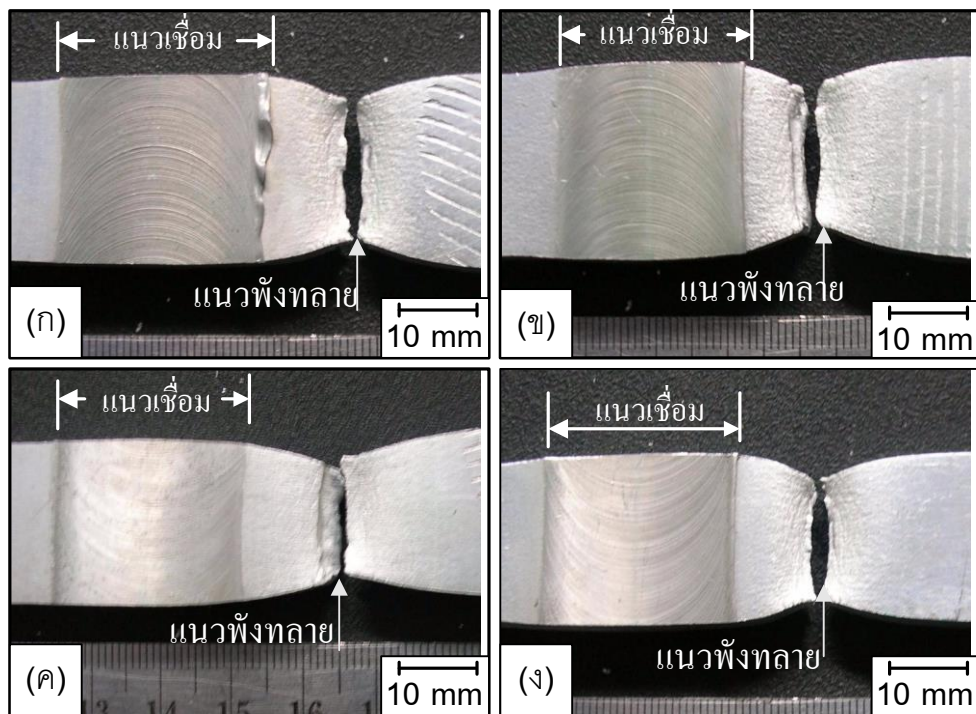
รูปที่ 4.1 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมอลูมิเนียมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวขวา ซึ่งเป็นตัวกวนที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมที่ทำให้เกิดความสมบูรณ์สูงสุด และให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดของรอยต่ออลูมิเนียม 6063 ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียวขวาขนาด M5 [33] พบผิวหน้าแนวเชื่อมที่ได้มีความสมบูรณ์ตลอดทั้งความยาวของแนวเชื่อมทุกความเร็วเดินแนวเชื่อม และพบที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อมมีจุดบกพร่องที่เกิดจากการถอนตัวกวนออกจากแนวเชื่อมซึ่งแสดงด้วยตัวอักษร EP (End point) ทุกความเร็วเดินแนวเชื่อม ดังที่ปราโมทย์ พูนนายน และคณะ [10] ได้กล่าวไว้ว่า “จุดบกพร่องแบบนี้จะเกิดที่ทุกๆ สภาวะของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ไม่สามารถกำจัดออกได้ และเป็นข้อเสียของกระบวนการเชื่อมแบบนี้ ซึ่งรูช่องว่างสามารถที่จะอุดรูได้ด้วยกระบวนการเชื่อมอื่นๆ เช่น การเชื่อมอาร์คด้วยไฟฟ้า (Shield metal arc welding : SMAW) ได้” นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาที่ด้านข้างของแนวเชื่อมพบว่ามีความผิดปกติของอลูมิเนียมเกิดขึ้น ครีบกี้ที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นจากอลูมิเนียมภายในโลหะเชื่อมที่ถูกกวนด้วยตัวกวนเกิดการเคลื่อนที่อย่างรุนแรงภายในบริเวณการกวนและมีอลูมิเนียมบางส่วนถูกดันขึ้นสู่ด้านบนของแผ่นโลหะบริเวณบ่าเครื่องมือเชื่อม และเมื่อสัมผัสกับบ่าเครื่องมือเชื่อมแล้วทำให้อลูมิเนียมถูกดันออกด้านนอกของแนวเชื่อมตามแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางออกมาด้านข้างของแนวเชื่อมและเกิดเป็นครีบกี้เกิดขึ้น [16] ลักษณะของครีบกี้ที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะคล้ายกับการเกิดครีบก้นแนวเชื่อมของอลูมิเนียม 6063-T1 ที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm ที่มีลักษณะของครีบก้นขนาดเล็กกระจายรอบข้างแนวเชื่อมที่เป็นครีบกี้ที่ไม่ต่อเนื่อง และสามารถหลุดออกได้ในขั้นตอนการเชื่อม [33] การหลุดออกของครีบกี้ที่ไม่ต่อเนื่องด้านข้างของแนวเชื่อมมีลักษณะการเกิดคล้ายกับการเกิดในรอยต่อของรอยเชื่อมวัสดุต่างชนิดต่างๆ เช่น รอยต่ออลูมิเนียม 5083 และเหล็กกล้า SS400 [26] รอยต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าคาร์บอน 1015 [34] รอยต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 [35] หรือรอยต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 [36] เป็นต้น ที่แสดงให้เห็นการเดินทางต่อเนื่องของอลูมิเนียมที่ถูกดันออกจากแนวเชื่อมด้านอลูมิเนียมผ่านแนวรอยต่อชนจากด้านอลูมิเนียมเข้าสู่ด้านเหล็ก ครีบกี้ของอลูมิเนียมถูกดันให้เข้าสู่ด้านเหล็กแต่เนื่องจากบริเวณนั้นไม่มี

ส่วนของอลูมิเนียมทำให้หลุดออกไปได้ นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบผิวหน้าแนวเชื่อมกับการเชื่อม อลูมิเนียม 6063-T1 [10] แล้วพบว่ามีคล้ายกัน



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง การยืดตัว และความเร็วเดินแนวเชื่อม ของโลหะเชื่อมเสียดทานแบบกวน อลูมิเนียม 6063 สภาพจำนำย ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm

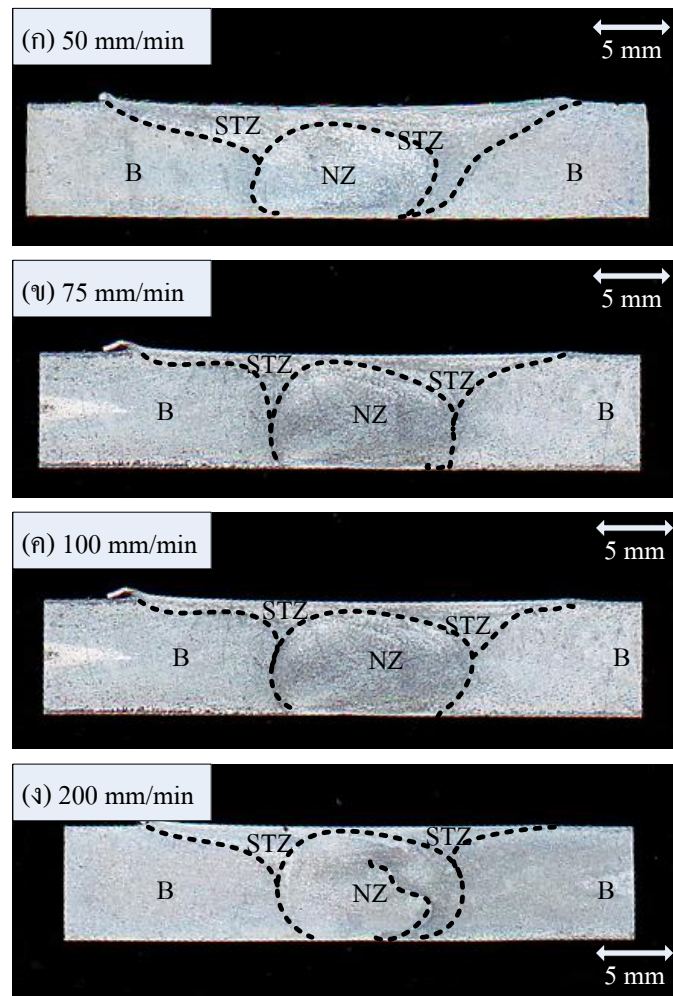
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง การยืดตัว และความเร็วเดินแนวเชื่อม ของโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm พบค่าความแข็งแรงดึงและการยืดตัวของรอยต่อ โลหะเชื่อมที่มีค่าแปรตามกัน กล่าวคือ ค่าความแข็งแรงดึงและการยืดตัวของโลหะเชื่อมมีค่าที่ เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่าสูงขึ้น จาก 50 ถึง 125 mm/min และที่ค่าความเร็วเดิน 125 mm/min นี้ พบว่าเป็นความเร็วเดินนี้คือค่าความเร็วเดินที่แสดงความแข็งแรงสูงสุด ที่ค่าประมาณ 183 MPa จากนั้นค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อมีค่าที่ลดต่ำลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น จาก 150 ถึง 200 mm/min ค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกับความแข็งแรงดึงของ อลูมิเนียม 6063-T1 ความหนา 6.3 มม. ที่มีค่าความแข็งแรงดึงประมาณ 180 MPa [33] อย่างไรก็ตามการ ระบุเกรดการอบคืนไฟของอลูมิเนียมสภาพจำนำยนี้จำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบกับผู้ผลิตต่อไป



รูปที่ 4.2 ลักษณะรูปแบบรอยร้าวของชิ้นทดสอบแรงดึงที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm: (ก) 50 mm/min (ข) 75 mm/min (ค) 100 mm/min และ (ง) 200 mm/min

รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งการร้าวของชิ้นทดสอบแรงดึงที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm ซึ่งเป็นสภาวะการเชื่อมเดียวกับผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.1 พบว่า การพังทลายที่เกิดขึ้นเกิดที่บริเวณด้านนอกของแนวเชื่อม ผลการตรวจสอบที่ได้ยืนยันผลการทดสอบความแข็งแรงดึงในรูปที่ 4.1 ที่แสดงให้เห็นว่าแนวเชื่อมเสียตามแบบกวนของชิ้นทดสอบที่ได้นั้นมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าบริเวณอูมิเนียมหลัก ทำให้ชิ้นงานเกิดการร้าวที่ตำแหน่งอูมิเนียมหลัก ตำแหน่งการร้าวของอูมิเนียมเกิดที่ระยะประมาณ 10-14 มม. ซึ่งการเกิดจากพังทลายตรงตำแหน่งนี้ควรมีการศึกษาต่อไปว่า ในเชื่อมการเสียตามแบบกวนนี้ตัวแปรใดที่มีผลทำให้เกิดการพังทลายที่บริเวณนี้ อย่างไรก็ตามในการวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นการร้าวในลักษณะนี้เมื่อแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ เช่น การเชื่อมเสียตามแบบกวนอูมิเนียม 6063-T1 [10,32,33] อูมิเนียม 6063-T1 และเหล็กกล้าคาร์บอน 1015 [26] หรืออูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 [13] เป็นต้น

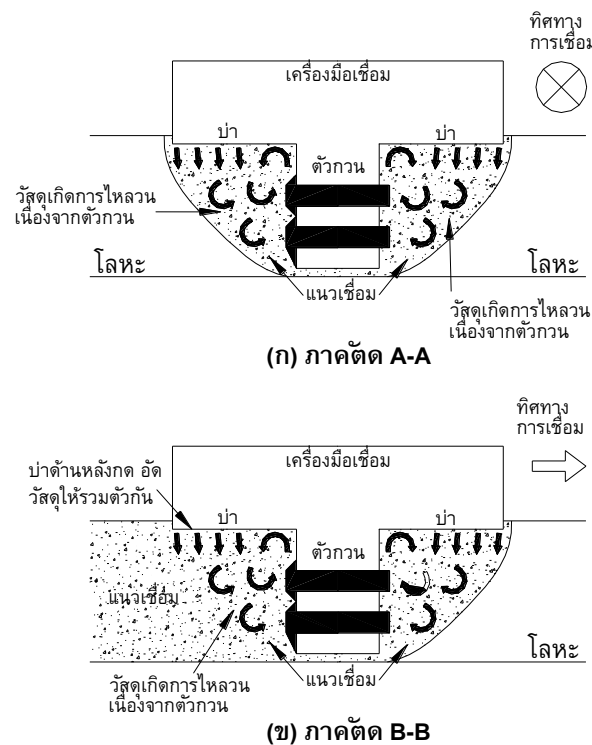
แนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์บริเวณกึ่งกลางตามความยาวของแนวเชื่อมถูกนำไปทำการเตรียมเพื่อการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาคดังแสดงในรูปที่ 4.4 โครงสร้างมหภาคที่แสดงนี้ตั้งฉากกับทิศทางการเดินแนวเชื่อม (ภาคตัดขวาง) โดยมีทิศทางการเดินแนวเชื่อมพุ่งออกมาจากแผ่นกระดาษ ผลการตรวจสอบพบข้อมูลที่หน้าสนใจดังนี้



รูปที่ 4.4 โครงสร้างมหภาคของโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm

โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm ด้วยความเร็วต่างดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่า รอยเชื่อมที่ได้เป็นรอยเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ (Sound joint) ไม่มีจุดบกพร่องใดๆ เช่น ตามค รุ หรือความไม่สมบูรณ์ ในเนื้อโลหะเชื่อม การเกิดความสมบูรณ์นี้เป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงสูง พิจารณาพื้นที่โดยรวมพบว่า โครงสร้างมหภาคของรอยต่อสามารถแบ่งออกได้เป็นพื้นที่ต่างๆ 3 พื้นที่ คือ พื้นที่อลูมิเนียมหลัก (Base aluminum: B) คือ พื้นที่ของอลูมิเนียม 6063 สภาพจำนำที่ใช้ในการเชื่อม พื้นที่การกวน (Stir zone: STZ) คือ พื้นที่บริเวณภายใต้เครื่องมือเชื่อมซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงของอลูมิเนียมหลัก เนื่องจากการกวนอย่างรุนแรงของของเครื่องมือเชื่อม พื้นที่การกวนนี้อลูมิเนียมหลักถูกให้ความร้อนเนื่องจากการเสียดทานระหว่างผิวของเครื่องมือเชื่อม ทำให้อลูมิเนียมเกิดการอ่อนตัวและเกิดการเคลื่อนเข้าประสานกันของอลูมิเนียมทั้งสองด้าน ดังที่กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ [16] ได้อธิบายกลไกการไหลวนไว้ว่า “ตัวกวนที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องมือเชื่อมสอดลงเข้าไปในรอยต่อของวัสดุ จนกระทั่งบ่าของเครื่องมือ

เชื่อมสัมผัสกับผิวของรอยต่อ ความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผิวของตัวกวนและบ่าของเครื่องมือกับเนื้อวัสดุรอบๆ ตัวกวน ทำให้วัสดุเกิดการอ่อนตัวอยู่ในสภาวะคล้ายของไหล (Plastic Fluid-like State) และเคลื่อนที่รอบตัวกวนภายใต้บ่าของเครื่องมือเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.5 วัสดุที่เคลื่อนที่รอบๆ ตัวกวนจะเกิดการเคลื่อนที่สู่ด้านบนของรอยต่อ และเกิดการกดขี่ลงมาเนื่องจากการกดของบ่าเครื่องมือทำให้วัสดุเกิดการไหลวน หรือเกิดการกวน (Stirring) ภายใต้บ่าขึ้น ขึ้นตอนต่อไปเมื่อวัสดุที่อ่อนตัวเกิดการไหลวนแล้ว และเมื่อตัวกวนเกิดการเคลื่อนที่ วัสดุที่อ่อนตัวและเกิดการกวนอยู่ด้านหน้าของตัวกวน จะถูกถ่ายเทมาสู่ด้านหลังตามทิศทางการหมุนของตัวกวนทางด้านรีทริททั้ง และบางส่วนจะไหลจากด้านหลังสู่ด้านหน้าทางด้านแอดวานซึ่งดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ด้านรีทริททั้ง คือ ด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนสวนทางกับทิศทางการเชื่อม ขณะที่ด้านแอดวานซึ่ง คือ ด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนขนานกับทิศทางการเชื่อม) จากนั้นเมื่อวัสดุส่งผ่านรอบๆ ตัวกวนและตัวกวนเกิดการเคลื่อนที่บ่าด้านหลังของเครื่องมือเชื่อม จะกด อัด และผสมวัสดุ ทำให้เกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นแนวเชื่อม”



รูปที่ 4.5 กลไกการเกิดแนวเชื่อม [16]