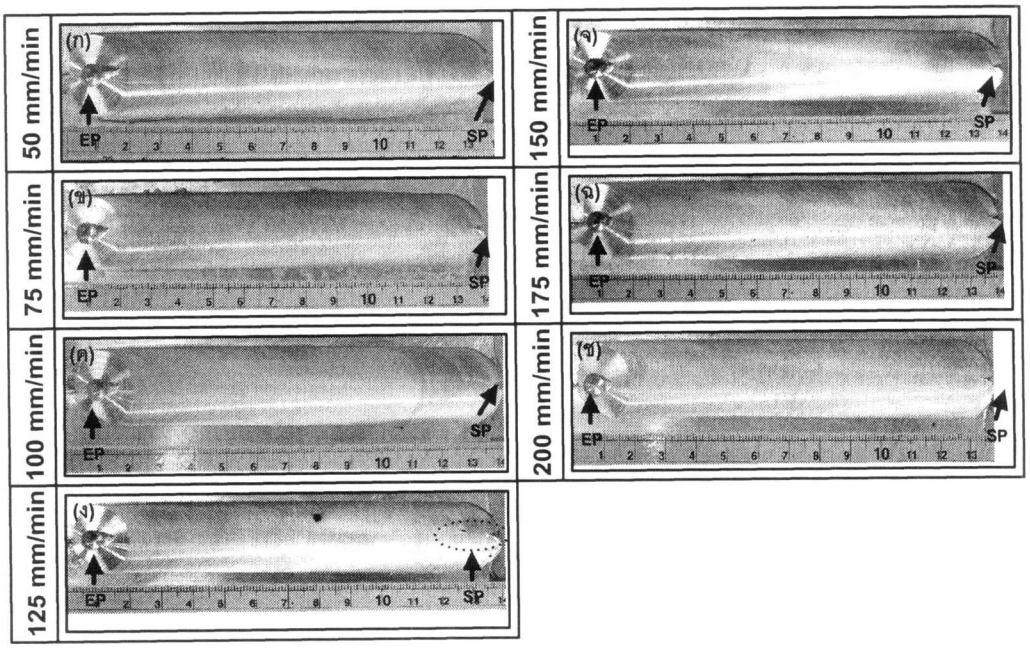
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ในบทนี้เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการวัดและการทดลองที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 มาทำการวัดค่า เก็บข้อมูล และทำการวิเคราะห์ผล ผลการการทดลองที่แสดงในบทนี้ประกอบด้วย 4 คือ อิทธิพลความเร็วเดินแนวเชื่อมต่อความแข็งแรงของโลหะเชื่อมอลูมิเนียม 6063 สภาพจำหน่าย อิทธิพลความเร็วเดินแนวเชื่อมต่อความแข็งแรงของโลหะเชื่อมอลูมิเนียม 6063-O อิทธิพลการอบชุบแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063-O ต่อความแข็งแรงของโลหะเชื่อม ระยะเวลาการอบแช่ปกติ และอิทธิพลการอบชุบแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063-O ต่อความแข็งแรงของโลหะเชื่อม ระยะเวลาการอบแช่ 1 สัปดาห์ ผลการทดลองที่ได้มีดังต่อไปนี้

4.1 โครงสร้างและความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมอลูมิเนียม 6063 สภาพจำหน่าย



รูปที่ 4.1 ผิวหน้าแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063 สภาพจำหน่าย

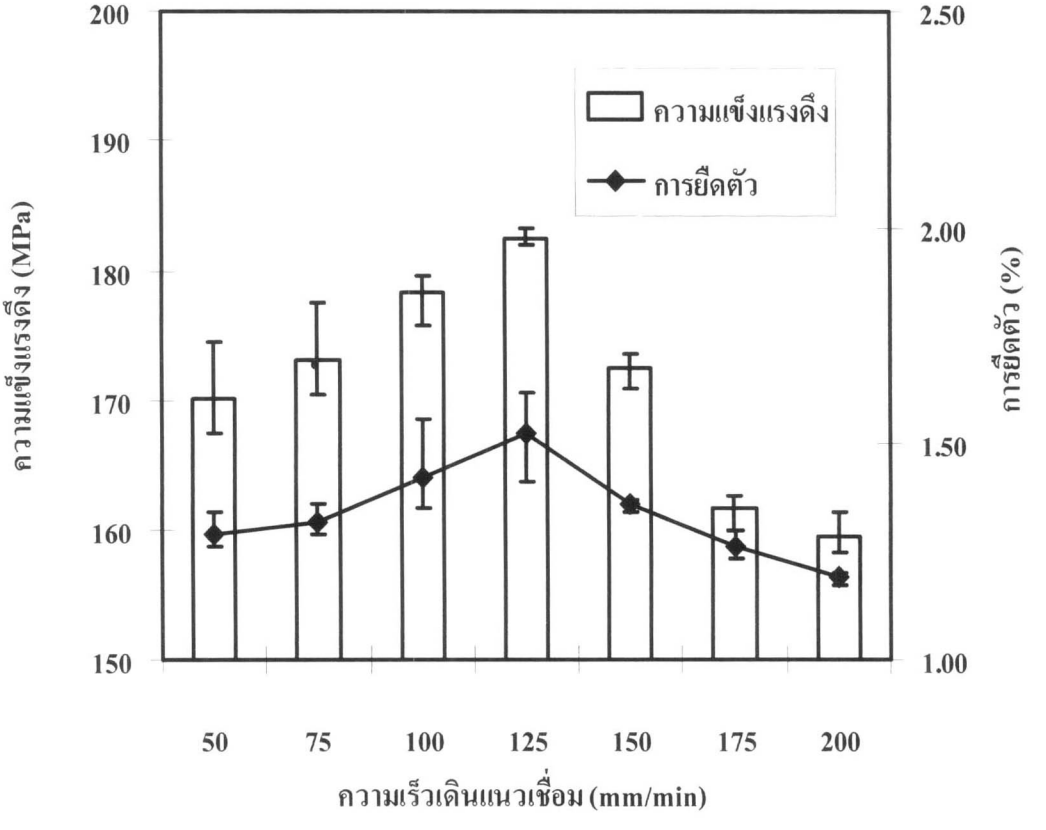
การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนรอยต่ออลูมิเนียม 6063 ในสภาพจำหน่าย เป็นตัวแปรการเชื่อมแรกที่ทำการศึกษาในการทดลองนี้ เนื่องจากอลูมิเนียมที่ได้รับจากผู้จำหน่ายนั้นไม่สามารถระบุได้ว่า อลูมิเนียมที่ได้มานั้นมีสภาพการผลิตอย่างไร อลูมิเนียมที่ได้นำมา

ทำการออกแบบเพื่อเตรียมชิ้นงานเพื่อให้ได้มิติของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 3.3 จากนั้นทำการเชื่อมด้วยตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนดังต่อไปนี้

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

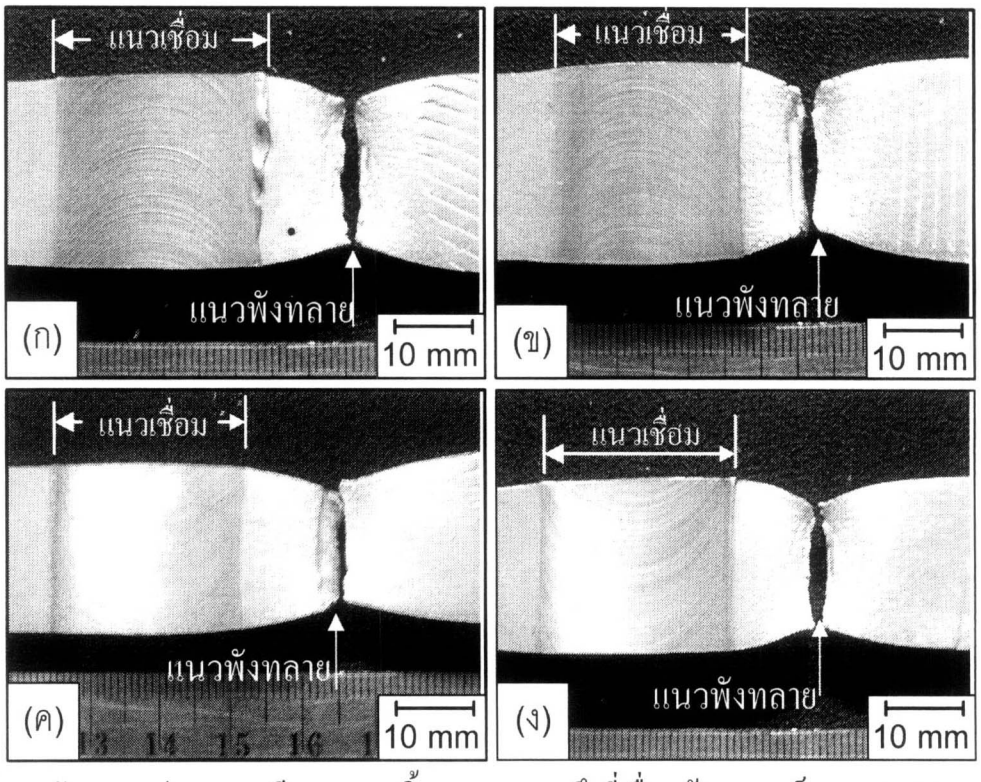
รูปที่ 4.1 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมอลูมิเนียมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียวขวา ซึ่งเป็นตัวกวนที่แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมที่ทำเกิดความสมบูรณ์สูงสุด และให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดของรอยต่ออลูมิเนียม 6063 ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียววนขวาขนาด M5 [33] พบผิวหน้าแนวเชื่อมที่ได้มีความสมบูรณ์ตลอดทั้งความยาวของแนวเชื่อมทุกความเร็วเดินแนวเชื่อม และพบที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อมมีจุดบกพร่องที่เกิดจากการถอนตัวกวนออกจากแนวเชื่อมซึ่งแสดงด้วยตัวอักษร EP (End point) ทุกความเร็วเดินแนวเชื่อม ดังที่ปราโมทย์ พูนนายม และคณะ [10] ได้กล่าวไว้ว่า “จุดบกพร่องแบบนี้จะเกิดที่ทุกๆ สภาวะของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ไม่สามารถกำจัดออกได้ และเป็นข้อเสียของกระบวนการเชื่อมแบบนี้ ซึ่งรูช่องว่างสามารถที่จะอุดรูได้ด้วยกระบวนการเชื่อมอื่นๆ เช่น การเชื่อมอาร์คด้วยไฟฟ้า (Shield metal arc welding : SMAW) ได้” นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาที่ด้านข้างของแนวเชื่อมพบว่ามีครีบขนาดเล็กของอลูมิเนียมเกิดขึ้น ครีบที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นจากอลูมิเนียมภายในโลหะเชื่อมที่ถูกกวนด้วยตัวกวนเกิดการเคลื่อนที่อย่างรุนแรงภายในบริเวณการกวนและมีอลูมิเนียมบางส่วนถูกดันขึ้นสู่ด้านบนของแผ่นโลหะบริเวณบ่าเครื่องมือเชื่อม และเมื่อสัมผัสกับบ่าเครื่องมือเชื่อมแล้วทำให้อลูมิเนียมถูกดันออกด้านนอกของแนวเชื่อมตามแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางออกมาด้านข้างของแนวเชื่อมและเกิดเป็นครีบเกิดขึ้น [16] ลักษณะของครีบที่เกิดขึ้นนี้มีลักษณะคล้ายกับการเกิดครีบบนแนวเชื่อมของอลูมิเนียม 6063-T1 ที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm ที่มีลักษณะของครีบขนาดเล็กกระจายรอบข้างแนวเชื่อมที่เป็นครีบที่ไม่ต่อเนื่อง และสามารถหลุดออกได้ในขั้นตอนการเชื่อม [33] การหลุดออกของครีบที่ไม่ต่อเนื่องด้านข้างของแนวเชื่อมมีลักษณะการเกิดคล้ายกับการเกิดในรอยต่อของรอยเชื่อมวัสดุต่างชนิดต่างๆ เช่น รอยต่ออลูมิเนียม 5083 และเหล็กกล้า SS400 [26] รอยต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าคาร์บอน 1015 [34] รอยต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 [35] หรือรอยต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 [36] เป็นต้น ที่แสดงให้เห็นการเดินทางต่อเนื่องของอลูมิเนียมที่ถูกดันออกจากแนวเชื่อมด้านอลูมิเนียมผ่านแนวรอยต่อชนจากด้านอลูมิเนียมเข้าสู่ด้านเหล็ก ครีบของอลูมิเนียมถูกดันให้เข้าสู่ด้านเหล็กแต่เนื่องจากบริเวณนั้นไม่มี

ส่วนของอลูมิเนียมทำให้หลุดออกไปได้ นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบผิวหน้าแนวเชื่อมกับการเชื่อมอลูมิเนียม 6063-T1 [10] แล้วพบว่ามีความคล้ายกัน



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

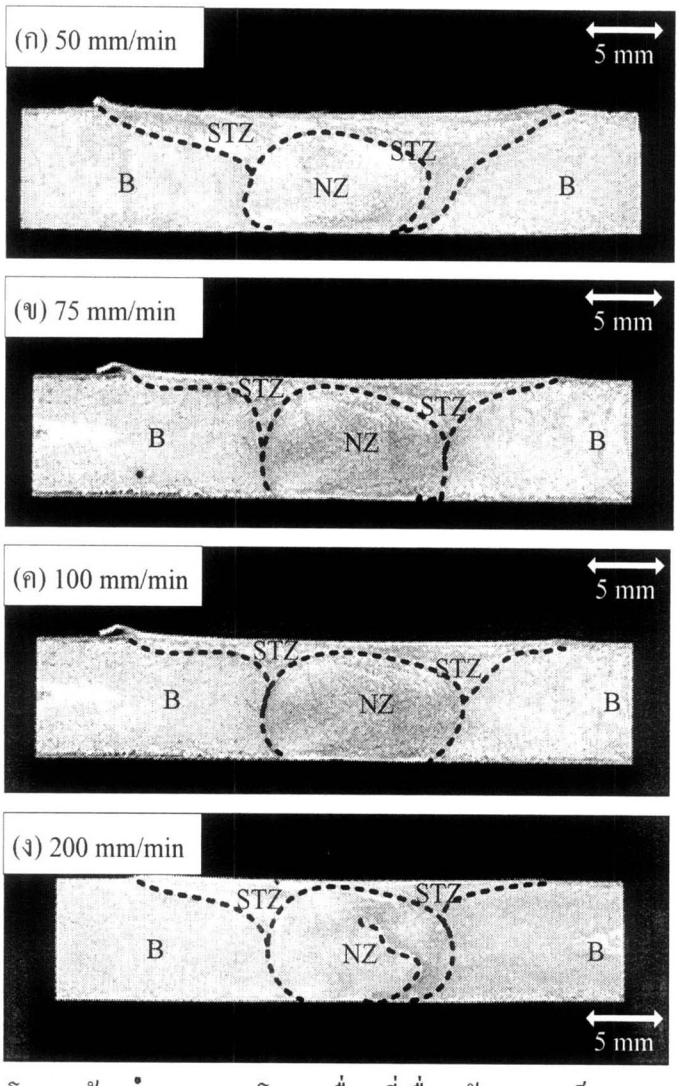
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง การยืดตัว และความเร็วเดินแนวเชื่อมของโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm พบค่าความแข็งแรงดึงและการยืดตัวของรอยต่อโลหะเชื่อมที่มีค่าแปรตามกัน กล่าวคือ ค่าความแข็งแรงดึงและการยืดตัวของโลหะเชื่อมมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่าสูงขึ้น จาก 50 ถึง 125 mm/min และที่ค่าความเร็วเดิน 125 mm/min นี้ พบว่าเป็นความเร็วเดินนี้คือค่าความเร็วเดินที่แสดงความแข็งแรงสูงสุด ที่ค่าประมาณ 183 MPa จากนั้นค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อมีค่าที่ลดต่ำลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 150 ถึง 200 mm/min ค่าความแรงดึงของรอยต่อที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกับความแรงดึงของอลูมิเนียม 6063-T1 ความหนา 6.3 มม. ที่มีค่าความแข็งดึงประมาณ 180 MPa [33] อย่างไรก็ตามการระบุเกรดการอบคืนไฟของอลูมิเนียมสภาพจำหน่ายนี้จำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบกับผู้ผลิตต่อไป



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

รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นทดสอบแรงดึงที่ที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm ซึ่งเป็นสภาวะการเชื่อมเดียวกับผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.1 พบว่า การพังทลายที่เกิดขึ้นเกิดที่บริเวณด้านนอกของแนวเชื่อม ผลการตรวจสอบที่ได้ยืนยันผลการทดสอบความแข็งแรงดึงในรูปที่ 4.1 ที่แสดงให้เห็นว่าแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนของชิ้นทดสอบที่ได้นั้นมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าบริเวณอลูมิเนียมหลัก ทำให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดที่ตำแหน่งอลูมิเนียมหลัก ตำแหน่งการฉีดขาดของอลูมิเนียมเกิดที่ระยะประมาณ 10-14 มม. ซึ่งการเกิดขากพังทลายตรงตำแหน่งนี้ควรมีการศึกษาต่อไปว่า ในเชื่อมการเสียดทานแบบกวนนี้ตัวแปรใดที่มีผลทำให้เกิดการพังทลายที่บริเวณนี้ อย่างไรก็ตามในการวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นการฉีดขาดในลักษณะนี้เมื่อแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ เช่น การเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063-T1 [10,32,33] อลูมิเนียม 6063-T1 และเหล็กกล้าคาร์บอน 1015 [26] หรืออลูมิเนียม 5052 และเหล็กกล้าไร้มนิม 430 [13] เป็นต้น

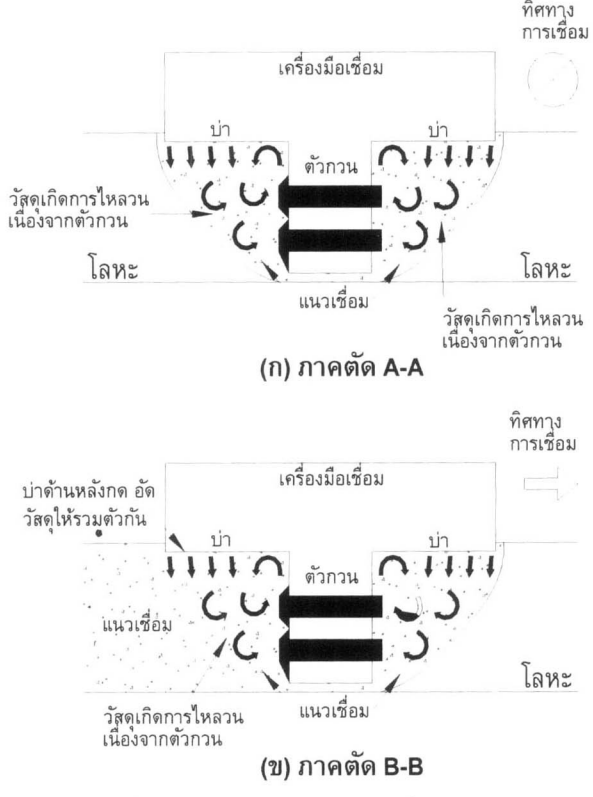
แนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์บริเวณกึ่งกลางตามความยาวของแนวเชื่อมถูกนำไปทำการเตรียมเพื่อการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาคดังแสดงในรูปที่ 4.4 โครงสร้างมหภาคที่แสดงนี้ตั้งฉากกับทิศทางการเดินแนวเชื่อม (ภาคตัดขวาง) โดยมีทิศทางการเดินแนวเชื่อมพุ่งออกมาจากแผ่นกระดาษ ผลการตรวจสอบพบข้อมูลที่หน้าสนใจดังนี้



รูปที่ 4.4 โครงสร้างมหภาคของโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm

โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm ด้วยความเร็วต่างดงัแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่า รอยเชื่อมที่ได้เป็นรอยเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ (Sound joint) ไม่มีจุดบกพร่องใดๆ เช่น ตามด รู หรือความไม่สมบูรณ์ ในเนื้อโลหะเชื่อม การเกิดความสมบูรณ์นี้เป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงสูง พิจารณาพื้นที่โดยรวมพบว่า โครงสร้างมหภาคของรอยต่อสามารถแบ่งออกได้เป้นพื้นที่ต่างๆ 3 พื้นที่ คือ พื้นที่อลูมิเนียมหลัก (Base aluminum: B) คือ คือพื้นที่ของอลูมิเนียม 6063 สภาพจำหน่ายที่ใช้ในการเชื่อม 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 และเกิดการกดย้อนลงมาเนื่องจากการกดของบ่าเครื่องมือทำให้วัสดุเกิดการไหลวน หรือเกิดการกวน (Stirring) ภายใต้บ่าขึ้น ขั้นตอนต่อไปเมื่อวัสดุที่อ่อนตัวเกิดการไหลวนแล้ว และเมื่อตัวกวนเกิดการเคลื่อนที่ วัสดุที่อ่อนตัวและเกิดการกวนอยู่ด้านหน้าของตัวกวน จะถูกถ่ายเทมาสู่ด้านหลังตามทิศทางการหมุนของตัวกวนทางด้านรีทรีทกิ่ง และบางส่วนจะไหลจากด้านหลังสู่ด้านหน้าทางด้านแอดวานซิ่งดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ด้านรีทรีทกิ่ง คือ ด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนสวนทางกับทิศทางการเชื่อม ขณะที่ด้านแอดวานซิ่ง คือ ด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนขนานกับทิศทางการเชื่อม) จากนั้นเมื่อวัสดุส่งผ่านรอบๆ ตัวกวนและตัวกวนเกิดการเคลื่อนที่บ่าด้านหลังของเครื่องมือเชื่อม จะกด อัด และผสมวัสดุทำให้เกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นแนวเชื่อม"



รูปที่ 4.5 กลไกการเกิดแนวเชื่อม [16]

พื้นที่การกวนนี้รวมไปถึงพื้นที่ของก้อนกลมนักเกต (Nugget zone: NZ) ที่อยู่กึ่งกลางของแนวเชื่อมด้วย พื้นที่นักเกต คือ พื้นที่ที่อลูมิเนียมโดนกดอัดม้วนเข้ามารวมกันเป็นวงๆ และชั้นๆ โดยทั่วไปพื้นที่ที่มีการเกิดการอัดตัวจนเกิดเม็ดเกรนใหม่ (Dynamics recrystallization: DRX) ที่มีความเล็ก กลมมน และละเอียดขึ้น [21] ซึ่งความเล็ก กลมมน และละเอียดของเม็ดเกรนที่เกิดขึ้นใหม่นี้เป็นเหตุผลที่ทำให้โลหะเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียม 6063 สภาพจำหน่ายแสดงค่าความแข็งและความแข็งแรงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมหลัก ซึ่งจะมีการแสดงค่าความเล็กละเอียดต่อไป นอกจากนั้นหากพิจารณาขนาดของนักเกตตามเส้นประพบว่าขนาดของนักเกตมีแนวโน้มที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น การเกิดลักษระนี้คาดว่าการเดินแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นนี้มีผลทำให้เกิดความรุนแรงในการกวนเพิ่มสูงมากขึ้น และส่งผลโดยตรงต่อพื้นที่การกวนที่เพิ่มสูงมากขึ้นด้วย [10,17,32,33]

4.2 การเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ผ่านการอบให้ความร้อนหลังการเชื่อม

อลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนดังหัวข้อที่ 3.1 อลูมิเนียมที่ได้นำมาทำการออกแบบเพื่อเตรียมชิ้นงานเพื่อให้ได้มิติของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 3.3 จากนั้นทำการเชื่อมด้วยตัวแปรการเชื่อมเสียดทานแบบกวนดังต่อไปนี้

ตัวกวนรูปร่างทรงเกลียวซ้ายโดยมีขนาดตามเกลียวมาตรฐาน M6 การเชื่อมใช้ตัวกวนทรงกระบอกเกลียววนขวา M6 ที่คาดว่าการไหลวนของอลูมิเนียมจะมีลักษณะการกดดันเศษลงด้านล่างคล้ายดอกต๊าปเกลียว

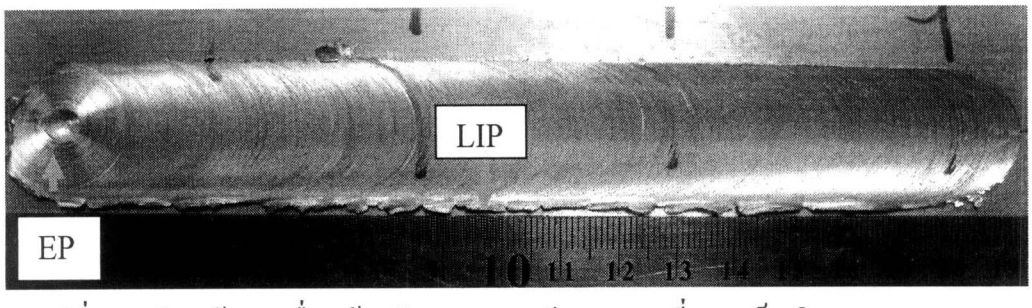
- ความเร็วรอบการหมุนของตัวกวน มีค่าเท่ากับ 2000 rpm
- ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมมีค่าเท่ากับ 50-200 mm/min
- ความเอียงของตัวกวนมีค่าเท่ากับ 2 องศา

ผลการทดลองดังต่อไปนี้มีสัญลักษณ์ต่างๆ ดังนี้

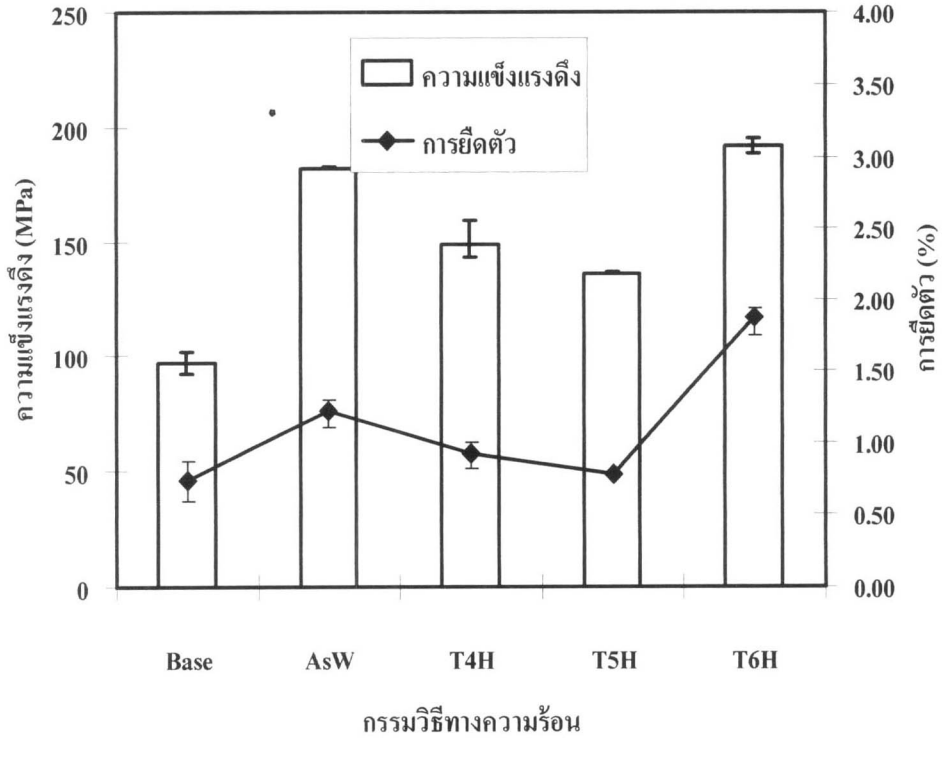
- WP หมายถึง จุดบกพร่องบนแนวเชื่อม
- EP หมายถึง จุดบกพร่องที่จุดสุดท้าย
- LIP หมายถึง ครีบที่เกิดขึ้น
- Base หมายถึงอลูมิเนียมที่ผ่านการ
- AsW หมายถึง ชิ้นงานที่เชื่อมแล้วไม่ได้ทำการอบ
- T4H หมายถึง ชิ้นงานที่อบคืนไฟแบบ T4

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

- T5H หมายถึง ชิ้นงานที่อบคืนไฟแบบ T5
- T6H หมายถึง ชิ้นงานที่อบคืนไฟแบบ T6
- T4HAG หมายถึง ชิ้นงานที่ทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้องแล้วอบคืนไฟแบบ T4
- T5HAG หมายถึง ชิ้นงานที่ทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้องแล้วอบคืนไฟแบบ T5
- T6HAG หมายถึง ชิ้นงานที่ทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้องแล้วอบคืนไฟแบบ T6



รูปที่ 4.6 ผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียววนขวาที่ความเร็วเดิน 125 mm/min

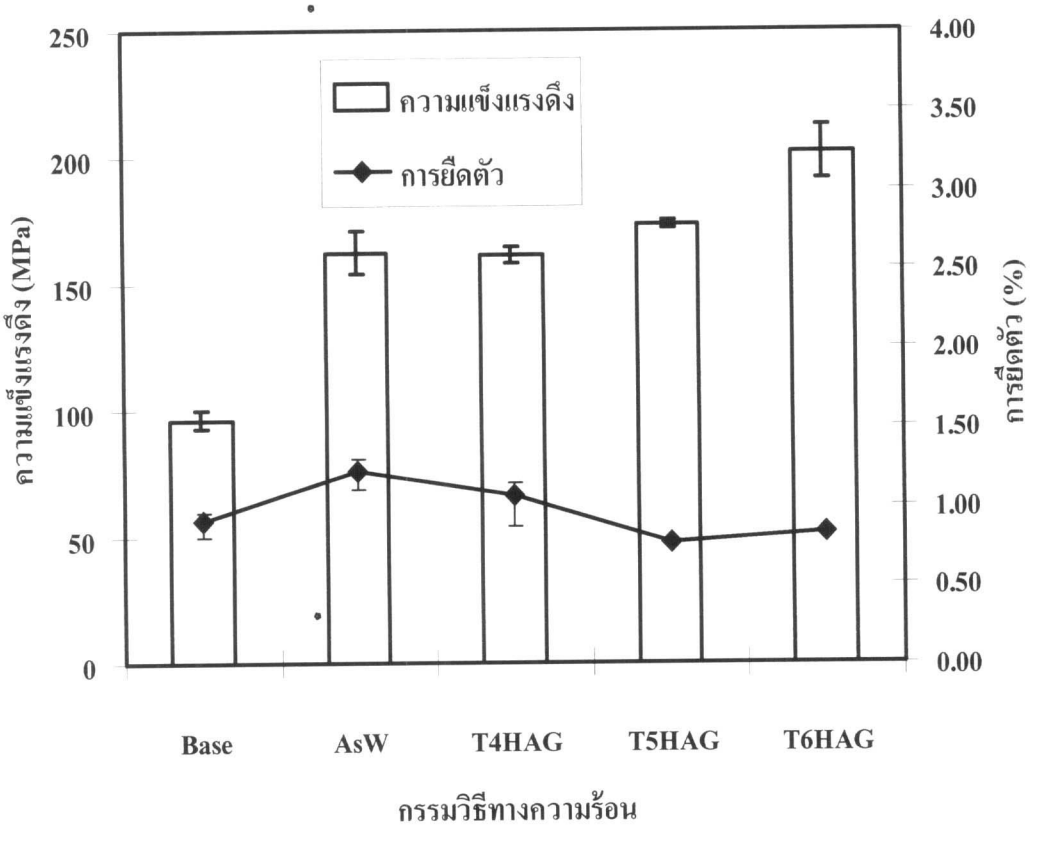


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบคืนไฟทันที

รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างของผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินวเชื่อม ผิวหน้าแนวเชื่อมอลูมิเนียมที่ความเร็วเดิน 125 mm/min ที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียววนขวา พบว่าที่จุดสุดท้ายของแนวเชื่อมทุกสภาวะยังคงมีจุดบกพร่องเป็นรูกลมดังแสดงด้วยลูกศร ขณะที่จุดอื่นๆ ของผิวหน้าแนวเชื่อม ไม่ปรากฏจุดบกพร่องหรือความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้น ความสมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อมนี้คาดว่าเกิดจากตัวกวนทรงเกลียววนขวานั้น สามารถกวนให้อลูมิเนียมเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่เกิดการกวนที่รุนแรง ทำให้อลูมิเนียมสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างต่อเนื่องและเกิดการเติมเต็มของอลูมิเนียมภายใต้บ่าเครื่องมือได้ดี และในรายงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ตัวกวนที่เหมาะสม สามารถทำให้เกิดผิวหน้าแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ได้

รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบแรงดึงของโลหะเชื่อมเสียดทานแบบกวนทีความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อมเสียดทานอลูมิเนียม 6063 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอลูมิเนียมในสภาวะอบอ่อน โดยมีค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าอลูมิเนียมในสภาวะอบอ่อนประมาณ 43% ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมที่เพิ่มขึ้นนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่มีคุณลักษณะการขึ้นรูปด้วยแรงทางกลที่กวนรุนแรงทำให้อลูมิเนียมเกิดการไหลวนม้วนเข้าไปรมกันแรงอัดที่เกิดจากการกวนทำให้อลูมิเนียมเกิดผลึกใหม่ที่มีความเล็กและละเอียดส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น [21] จากนั้นทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อที่เชื่อมด้วยสภาวะการเชื่อมเดียวกันแต่หลังจากทำการเชื่อมชิ้นงานได้ถูกนำไปทำการอบคืนไฟทันทีที่อุณหภูมิ 520 °C ระยะเวลา 1 ชั่วโมงแล้วนำมาทำการทดสอบความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อม พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นทดสอบโลหะเชื่อมเสียดทานแบบกวนนั้นมีค่าลดลง 26% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อมเสียดทานที่ไม่ผ่านการอบคืนไฟ ค่าความแข็งแรงที่ลดลงนี้คาดว่าเกิดจากแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่เป็นแนวเชื่อมที่มีความเค้นตกค้างสูง [7] เกิดการคลายความเครียดเนื่องจากความร้อนในระดับ T4 นี้ทำให้เกิดการคลายตัวของโลหะบริเวณแนวเชื่อมและทำให้เกิดการเติบโตของเกรนมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น [4] เปรียบเทียบกับการให้ความร้อนแก่โลหะเชื่อมเสียดทานแบบกวนซ้ำไปอีกครั้งด้วยการอบคืนไฟวิธี T5 ที่ให้ความร้อนซ้ำหลังจากกรรมวิธี T4 โดยให้ความเพิ่มที่ 182 °C และอบแช่ไปอีก 3 ชั่วโมงและทำให้เย็นตัวในอากาศนิ่งดังแสดงในรูปที่ 3.22 พบว่าค่าความแข็งแรงของอลูมิเนียมมีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีการอบคืนไฟ T4 ค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นมีค่าประมาณ 4% ผลการทดลองที่พบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความร้อนซ้ำไปทำให้แนวเชื่อมเสียดทานมีค่าความแข็งลดลงไป อย่างไรก็ตามเมื่อทำการอบคืนไฟด้วยกรรมวิธี T6 ที่ให้ความร้อนซ้ำหลังจากกรรมวิธี T4 โดยให้ความเพิ่มที่ 182 °C และอบแช่ไปอีก 6 ชั่วโมงและทำให้เย็นตัวในอากาศนิ่งดังแสดงในรูปที่ 3.23 พบว่าค่าความ

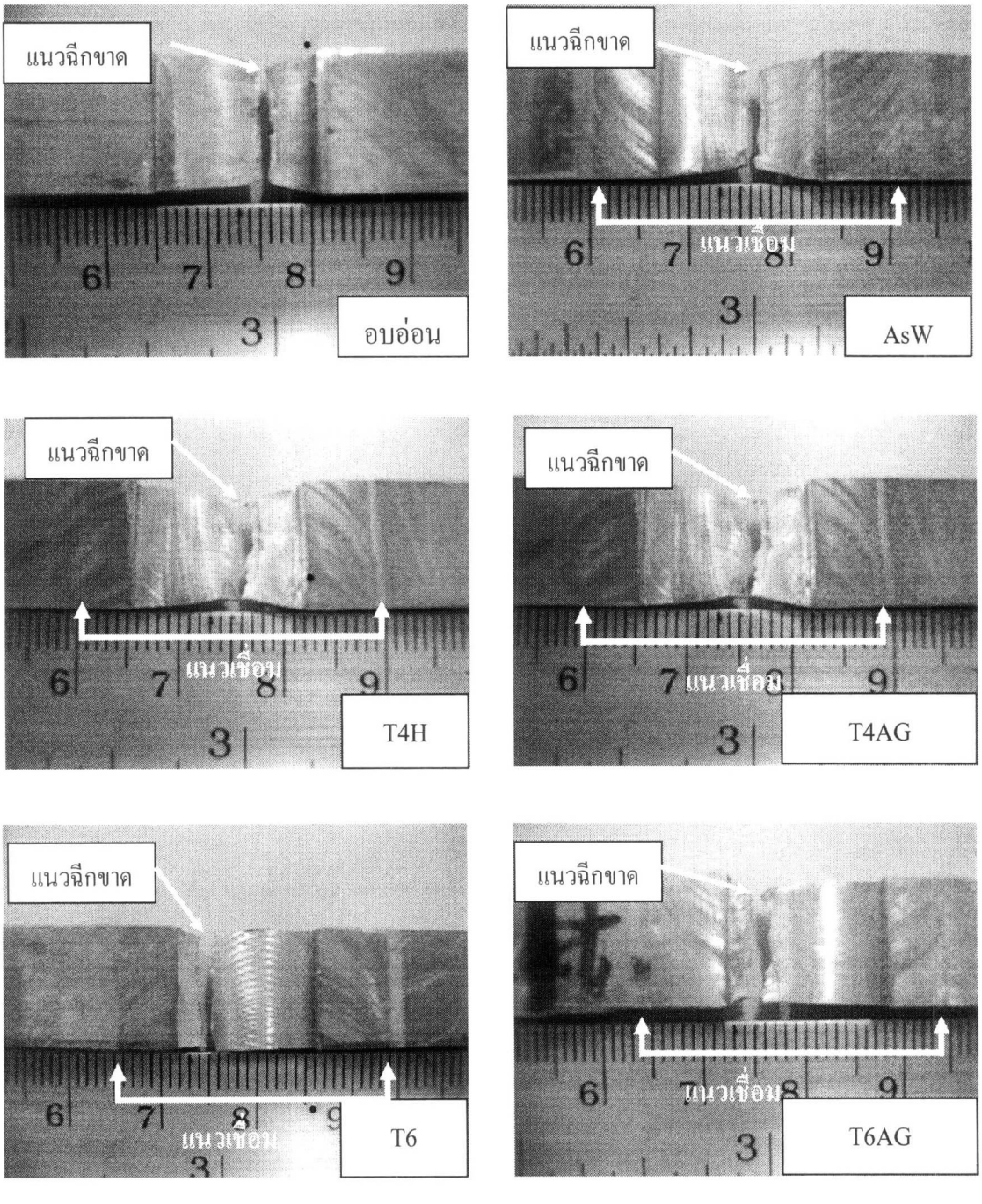
แข็งแรงของแนวเชื่อมมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นกว่ากรรมวิธีการอบคืนไฟ T4 และ T5 และมีค่าที่สูงกว่าโลหะเชื่อมที่ไม่ผ่านการอบคืนไฟ ค่าความแข็งแรงที่ได้นี้คาดว่าเกิดจากอุณหภูมิและระยะเวลาที่เพียงพอทำให้อลูมิเนียมเกิดการตกผลึกที่เสริมความแข็งแรงให้แก่แนวเชื่อมได้ [34]



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืดตัว และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบคืนไฟหลังบ่มแข็งธรรมชาติ 1 สัปดาห์

ผลการทดลองในรูปที่ 4.7 บอกให้ทราบว่า หากปล่อยให้ชิ้นงานทิ้งไว้ที่เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วสามารถที่จะเพิ่มค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อได้ ด้วยแนวคิดนี้จึงทำการเพิ่มระยะเวลาในการอบแช่ให้ยาวนานยิ่งขึ้น โดยชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนถูกนำไปทำการเชื่อมเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์จากนั้น ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิไม่เกิน 25°C) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ (10080 นาที) ก่อนนำไปทำการอบด้วยกรรมวิธี T4 T5 และ T6 แล้วนำไปทำการทดสอบความแข็งแรงดึง ผลการทดสอบแรงดึงแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อมเสียดทานแบบกวนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อทำการอบแช่ที่อุณหภูมิห้อง หรือบ่มแข็งธรรมชาติ (Natural aging) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ชิ้นงานที่ได้จากการบ่มแข็ง 1 สัปดาห์แล้วนำไปทำการอบคืนไฟวิธี T4 พบว่ามีค่าความแข็งแรงต่ำกว่าความแข็งแรงในสภาพก่อนการอบเล็กน้อย แต่เมื่อนำชิ้นงานไปทำ

การอบคืนไฟด้วยกรรมวิธี T5 การเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงสามารถสังเกตุเห็นได้ชัด ค่าความแข็งแรงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 7% ขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการอบแช่ที่ 182°C จาก 1 ชั่วโมงเป็น 3 ชั่วโมงแล้วพบว่าค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อมีค่าที่สูงขึ้นถึง 25% เมื่อเปรียบเทียบกับรอยเชื่อมที่ไม่ผ่านการอบคืนไฟและบ่มแข็งธรรมชาติ ค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่มีค่าสูงขึ้นนี้คาดว่าเกิดจากการตกผลึกของเฟสเสริมแรงภายในเนื้อโลหะเชื่อม และคำกล่าวที่ว่าสมบัติของโลหะผสมที่ผ่านการบ่มแข็งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาการบ่มแข็ง [14]

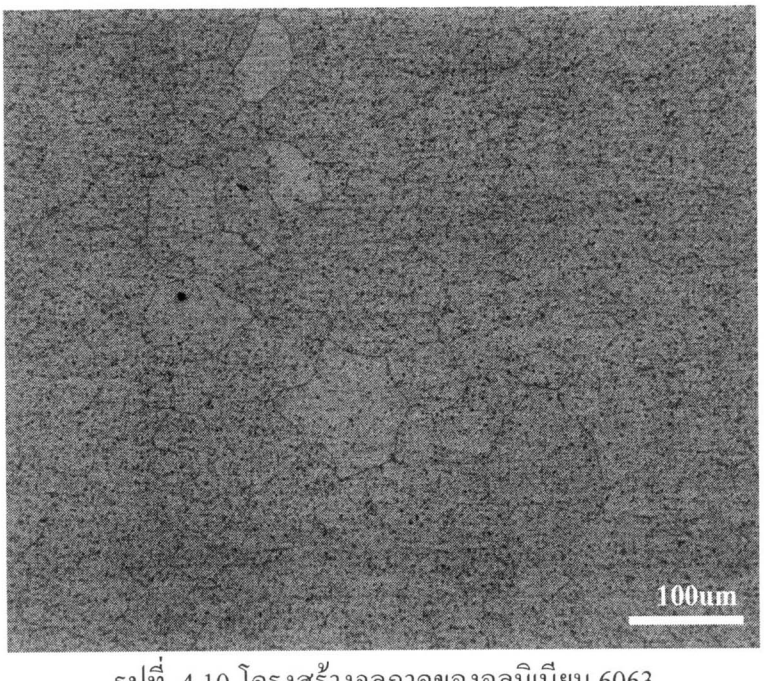


รูปที่ 4.9 ตำแหน่งการเกิดการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงที่ผ่านการทำ Solution แบบต่างๆ

อย่างไรก็ตามเนื่องจากความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นแต่ดูเหมือนโลหะเชื่อมที่ผ่านการอบคืนไฟและบ่มแข็งจะสูญเสียความสามารถในการยืดตัวลงดังแสดงให้เห็นในกราฟ %การยืดตัวของชิ้นงานด้วยเหตุนี้ควรมีการศึกษาพฤติกรรมของเฟสที่ตกผลึกในเนื้อโลหะเชื่อมเพิ่มเติมด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่มีกำลังขยายสูงว่าเหตุผลใดจึงทำให้ค่า % การยืดตัวของชิ้นงานมีค่าลดลงได้ พิจารณาการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงดังแสดงในรูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงพบว่าทุกๆ สภาวะชิ้นงานทดสอบเกิดการฉีกขาดบริเวณกึ่งกลางของชิ้นทดสอบแรงดึงซึ่งเป็นตำแหน่งที่แตกต่างจากรูปที่ 4.2 เนื่องจากชิ้นทดสอบแรงดึงนี้ขึ้นรูปจากเนื้อโลหะเชื่อมซึ่งมีความแข็งแรงสม่ำเสมอ ตำแหน่งที่ขาดคือตำแหน่งของส่วนที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุดของชิ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.25

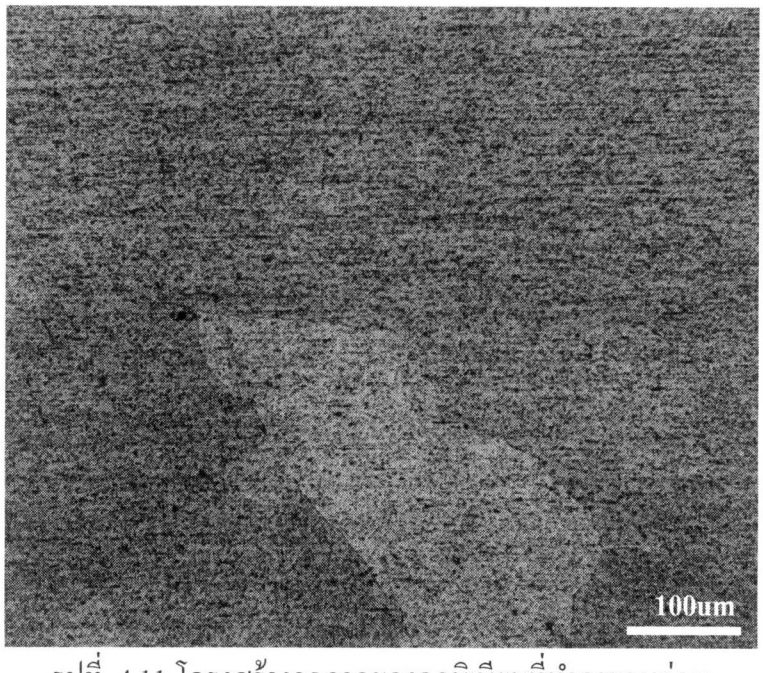
4.3 โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ผ่านการอบให้ความร้อนหลังการเชื่อม

การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงชิ้นงานที่ทำการวิจัยตั้งแต่วัสดุเดิมของอลูมิเนียม 6063 ก่อนการทำการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุก่อนทำการทดลองโดยการทำการอบอ่อนก่อนเพื่อปรับโครงสร้างภายในของวัสดุก่อนการทดลองถึงการเชื่อมโดยที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงหลังเชื่อมไปจนถึงการปรับปรุงโดยการทำบ่มแข็งแบบT4 และT6 หลังเชื่อมทันทีและหลังทำการบ่มแข็งธรรมชาติทั้งแบบ T4 และ T6



รูปที่ 4.10 โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียม 6063

รูปที่ 4.10 แสดงโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียม 6063 พื้นที่ของอลูมิเนียมแผ่นรีดพบการเรียงตัวโครงสร้างเม็ดเกรนที่มีรูปร่างไม่กลมมนมากนัด แต่มีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ทำการวัดขนาดเกรนด้วยวิธีการลากเส้นตัดผ่านเกรน (Linear Interception) ตามมาตรฐาน ASTM E112 [35] พบว่ามีขนาดเกรนเฉลี่ยประมาณ 35 μm ซึ่งเป็นขนาดเม็ดเกรนของอลูมิเนียม 6063-T1 ที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมไทย และมีการนำมาใช้ในการทดสอบทำการเชื่อมในหลายๆ สภาวะ [10,13,33,36] ขณะที่เมื่ออลูมิเนียมผ่านการอบอ่อนดังแสดงในรูปที่ 4.11 เม็ดเกรนของอลูมิเนียมได้เกิดการเติบโตเป็นเม็ดเกรนที่มีขนาดใหญ่ แต่มีการเรียงตัวภายในโครงสร้างเป็นระเบียบมากขึ้นขนาดของเม็ดเกรนมีขนาดใหญ่กว่าอลูมิเนียม 6063 ที่ไม่ได้ผ่านการอบอ่อนขนาดของเม็ดเกรนแต่การกัดขอบเกรนด้วยน้ำยากัดกรดเป็นไปด้วยความยากลำบากจึงไม่สามารถแสดงขนาดของเม็ดเกรนได้ในหัวข้อนี้



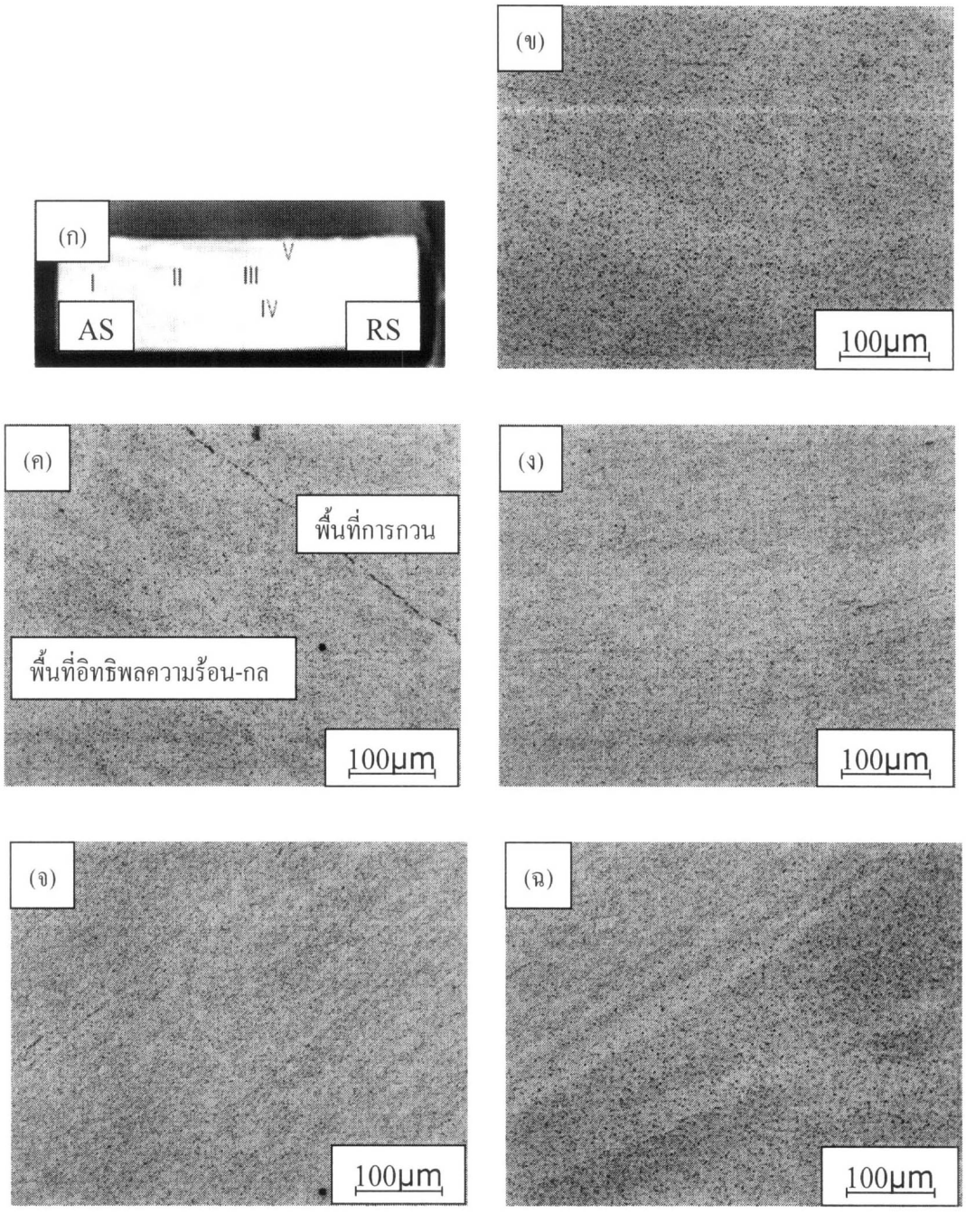
รูปที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมที่ทำการอบอ่อน

รูปที่ 4.12 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง รอยเชื่อมที่ตัดขวางแนวทางเชื่อมโดยรอยต่อเชื่อมนี้เชื่อมด้วยความเร็วเดิน แนวเชื่อม 125 mm/min :ซึ่งแสดงค่าความแข็งแรงสูง ตัวอักษร AS หมายถึง ด้านแอดวานซิ่ง และตัวอักษร RS หมายถึง ด้านรีทรีทติ่ง รอยเชื่อมแสดงความสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้นภายในแนวเชื่อม บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมเรียกว่าพื้นที่การกวน (stir zone) พบอลูมิเนียมม้วนเป็นวงพื้นที่เรียกว่า พื้นที่นี้เรียกว่า พื้นที่นักเกต (Nugget Zone) ซึ่งเป็นพื้นที่การกวนรุนแรง และอลูมิเนียมที่อ่อนตัวจากความร้อนเสียดทาน ถูกตัดเฉือนและอัดอย่างรุนแรงเข้าด้วยกัน บริเวณพื้นที่นี้รูปแบบของเม็ดเกรน จะเกิดการก่อตัวใหม่ และมีขนาดเล็ก

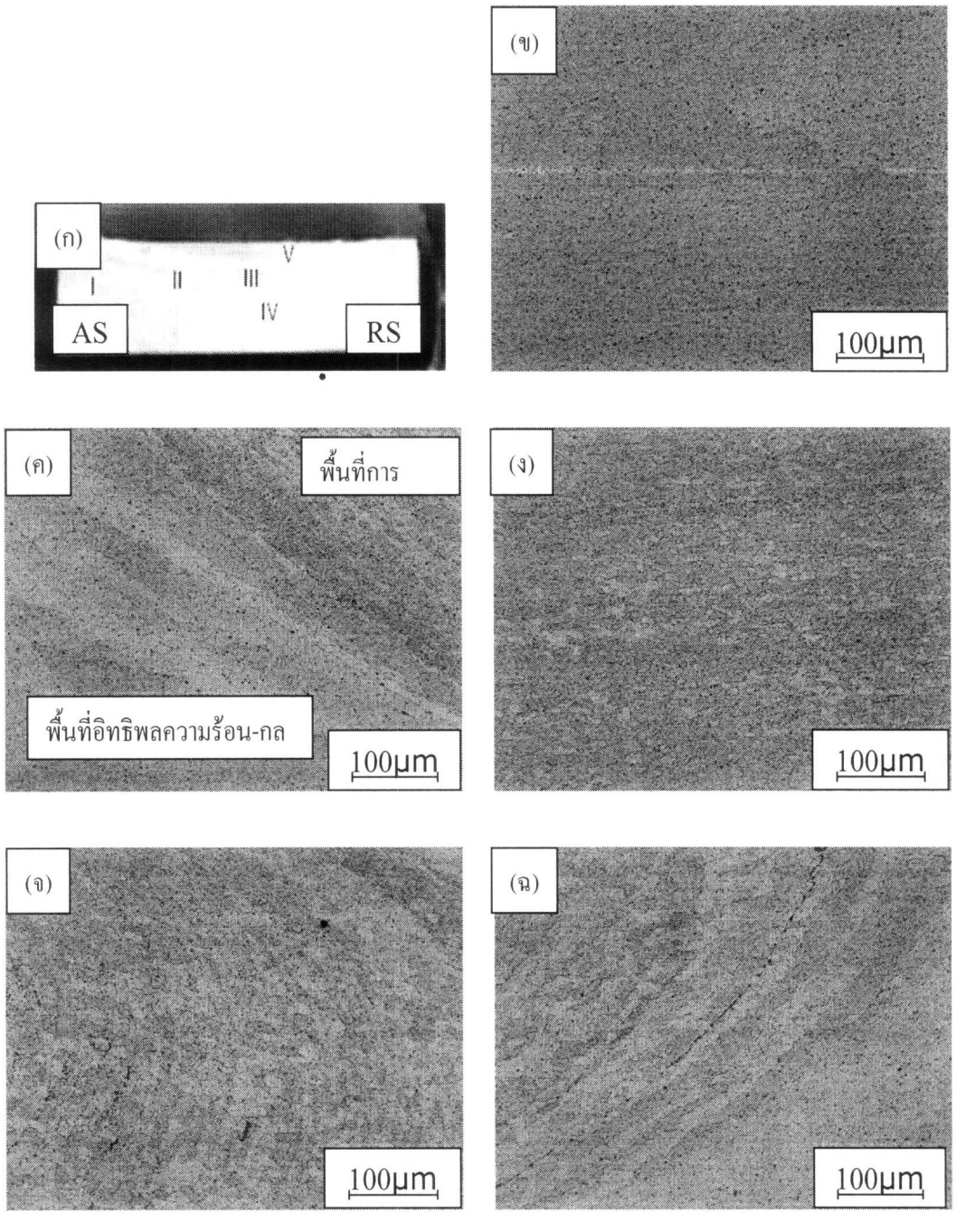
กลมมนขึ้น ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณนี้มีความแตกต่างบนโครงสร้าง มหภาคที่ตำแหน่ง I ถึง V มีรายละเอียดดังรูปที่ 4.12 (ข) แสดงพื้นที่ I โครงสร้างจุลภาคของโลหะเหล็กอลูมิเนียม ผสม 6063 สภาวะที่ไม่ผ่านการอบคืนไฟที่รูปร่างขนาดของเม็ดเกรนจะมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ที่ถูกการเชื่อมแบบกวนและการเรียงตัวของเม็ดเกรนเป็นระเบียบ จุดที่ II คือขอบเขตระหว่างพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน และแรงทางกลซึ่งเป็นพื้นที่เกิดการปรับสภาพเนื่องจากความร้อนเสียดสี และแรงกวนอลูมิเนียมทำให้เม็ดเกรนมีรูปร่างกลมมน และสังเกตุบริเวณที่เกิดการกวนขึ้นนั้นเกิดการไหลตัวของเนื้ออลูมิเนียมจะเกิดการเรียงตัวกันใหม่ของเม็ดเกรนที่มีความเป็นระเบียบและการอัดตัวรวมกันของเม็ดเกรน มากกว่าเนื้อเดิมของอลูมิเนียม และบริเวณที่ได้รับความร้อนจากเครื่องมือเชื่อม ส่งผลให้มีความแข็งแรงมากกว่า ทำให้เกิดการขาดที่แนวที่เกิดการกวน บริเวณ III ถึง V คือพื้นที่การกวนที่อลูมิเนียมก่อตัวของเกรณใหม่ ที่มีความละเอียดและกลมมน ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอลูมิเนียมหลัก ซึ่งเกิดจากการอัดรวมตัวกันและขอบเกรนมีขนาดโตขึ้น เกิดจากที่เนื้อที่อลูมิเนียมดันตัวรวมกันและในขณะเดียวกัน บริเวณนี้มีขนาดเม็ดเกรนเล็กที่สุดคือตำแหน่งด้านล่างของบ่าเครื่องมือเชื่อม

รูปที่ 4.13 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่ผ่านทำ Solution แบบT4 ทันทีหลังเชื่อม โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ต่างๆคือพื้นที่ของโลหะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พื้นที่การกวน (Stir Zone) และพื้นที่นักเกต (Nugget Zone) การเกิดความแตกต่างดังกล่าวของพื้นที่คาดว่าเกิดจากการจัดเรียงตัวของเม็กเกรนในโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกัน ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่งต่างๆ ของแนวเชื่อมพบว่าตำแหน่งที่ I แสดงโครงสร้างของโลหะหลักของอลูมิเนียมผสม 6063 ผ่านการทำ Solution แบบ T4 หลังเชื่อมทันที รูปร่างของเม็ดเกรนจะมีใหญ่กว่าอลูมิเนียมที่อบอ่อนเนื่องจากผ่านการให้ความร้อนกับอลูมิเนียม ผ่านการอบละลาย และปล่อยให้แข็งตัวตามธรรมชาติจนอยู่ในสภาพคงรูป แต่การเรียงตัวของเม็ดเกรนยังคงความเป็นระเบียบอยู่ จุดที่ II คือ ขอบเขตระหว่างพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนและทางกล (Thermo-mechanical Affected Zone:TMAZ) ซึ่งเป็นพื้นที่เกิดการปรับสภาพเนื่องจากความร้อนเสียดสีและแรงกวนอลูมิเนียม สังเกตบริเวณแรกคือบริเวณที่ได้รับความร้อนจากเครื่องมือเชื่อมจะเห็นว่าเม็ดเกรนมีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและมีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับโลหะหลัก ขณะที่ด้านขวาของเส้นประดังรูปที่ 4.13 (ค) (ง) และ(จ) นั้น หรือจุดที่ III ถึง V นั้นคือพื้นที่การกวนที่อลูมิเนียมเกิดขึ้นใหม่ (Dynamic Re-crystallization) ที่มีความละเอียดและกลมมนและมีขนาดของเกรนใหญ่กว่าโลหะหลักและมีขนาดของเกรนใหญ่กว่าการทำการเชื่อมที่ไม่ได้ทำการ Solution ด้วย รวมถึงค่าความแข็งแรงที่แนวเชื่อมมีมากกว่าบริเวณที่เป็นโลหะหลักด้วย ตลอดจนค่าความแข็งแรงดึงมีมากกว่าอลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนและอลูมิเนียมที่ทำการเชื่อมที่ไม่ได้ทำการ

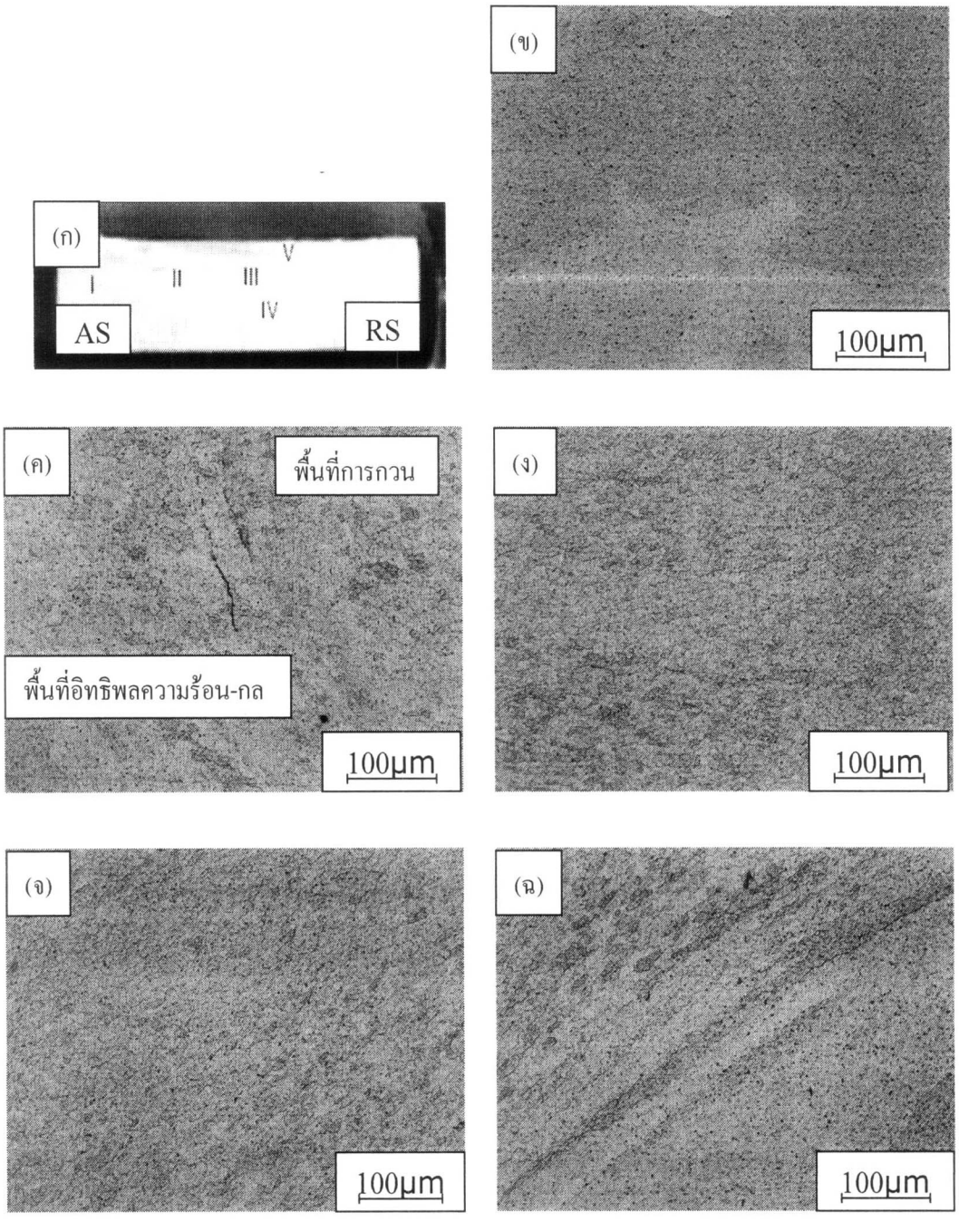
Solution ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนหลังการเชื่อมมีผลต่อโครงสร้างและความแข็งแรงของอลูมิเนียม



รูปที่ 4.12 โครงสร้างแนวเชื่อมแบบเกลียวขวาความเร็วรอบ 2000 Rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125mm/min สภาวะที่ไม่ได้ผ่านการอบคืนไฟ: (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอลูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กลและพื้นที่การกวน (ง) พื้นที่การกวนรุนแรง (จ) พื้นที่ใต้บ่าเครื่องมือเชื่อม



รูปที่ 4.13 โครงสร้างแนวเชื่อมแบบเกลียวขวาผ่านการทำ Solution แบบT4 Heatหลังเชื่อม: (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอลูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กล และพื้นที่การกวน (ง) พื้นที่การกวนรุนแรง (จ) พื้นที่ใต้บ่าเครื่องมือเชื่อม



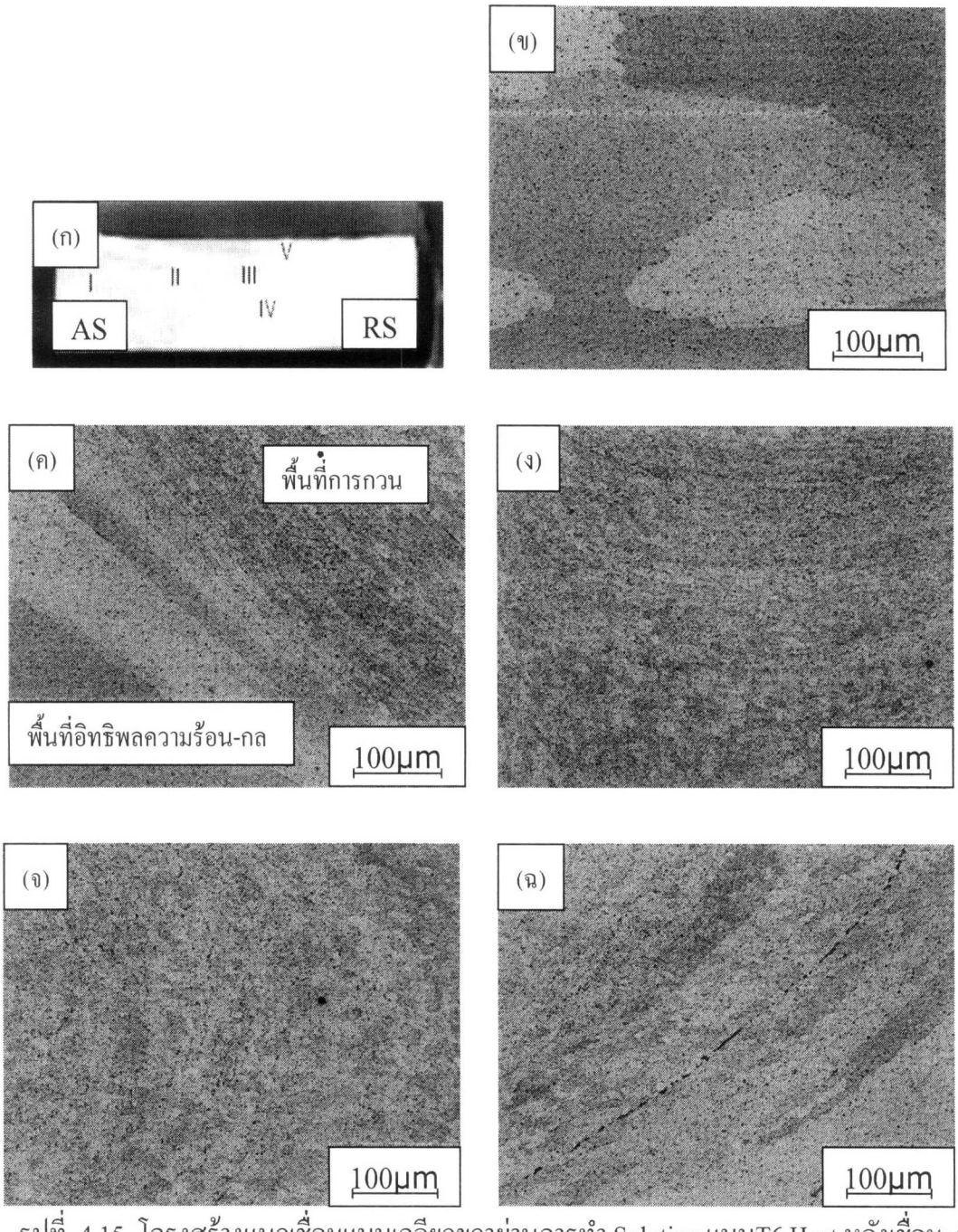
รูปที่ 4.14 โครงสร้างแนวเชื่อมแบบเกลียวขวาบ่มแข็งธรรมชาติ 1 สัปดาห์ทำ Solution แบบT4 : (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอลูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กลและพื้นที่การกวน (ง) พื้นที่การกวนรุนแรน (จ) พื้นที่ใต้บ่าเครื่องมือเชื่อม

รูปที่ 4.14 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติ 1 สัปดาห์แล้วผ่านการทำ Solution แบบT4 โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ต่างๆคือ พื้นที่ของโลหะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พื้นที่การกวน (Stir Zone) และพื้นที่นักเกต (Nugget Zone)

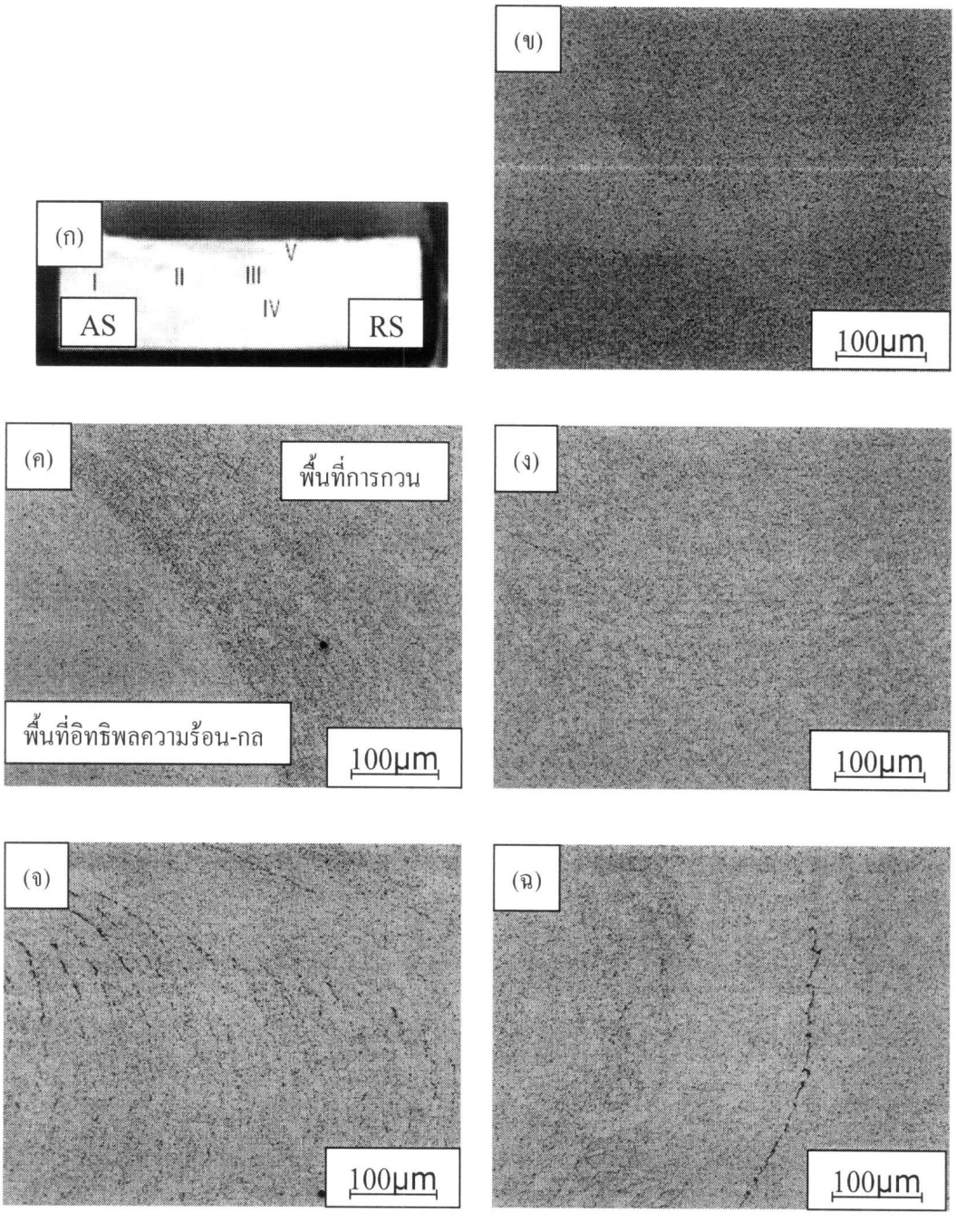
การเกิดความแตกต่างดังกล่าวของพื้นที่คาดว่าเกิดจากการจัดเรียงตัวของเม็กเกรนในโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกัน ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่งต่างๆ ของแนวเชื่อมพบว่าตำแหน่งที่ I แสดงโครงสร้างของโลหะหลักของอลูมิเนียมผสม 6063 ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติ 1 สัปดาห์และผ่านกานทำ Solution แบบ T4 ที่รูปร่างของเม็ดเกรนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากผ่านการให้ความร้อนกับอลูมิเนียม ผ่านการอบละลาย และปล่อยให้แข็งตัวตามธรรมชาติจนอยู่ในสภาพคงรูปแต่การเรียงตัวของเม็ดเกรนยังคงความเป็นระเบียบอยู่ จุดที่ II คือ ขอบเขตระหว่างพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนและทางกล (Thermo-mechanical Affected Zone:TMAZ) ซึ่งเป็นพื้นที่เกิดการปรับสภาพเนื่องจากความร้อนเสียดสีและแรงกวนอลูมิเนียม ทำให้เม็ดเกรนมีรูปร่างขนาดใหญ่และมีการเรียงตัวกันอย่างระเบียบเพราะเกิดจากการอัดรวมตัวกันของอลูมิเนียมมากกว่าบริเวณที่เป็นโครงสร้างเดิมโดยมองเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนระหว่างพื้นที่ของอลูมิเนียมหลักและพื้นที่ได้รับอิทธิพลการกวนและบริเวณจุด III ถึง V ในรูปที่ 4.14 (ง) ถึง (ฉ) เป็นตำแหน่งที่อลูมิเนียมก่อตัวของเกรนใหม่ที่มีขนาดใหญ่และเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและพบบริเวณที่เป็นพื้นที่ที่เกิดขึ้นใหม่นั้นมีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าอลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนและอลูมิเนียมที่ผ่านการเชื่อมที่โดยไม่ได้ทำ Solutionและอลูมิเนียมที่ผ่านการทำ Solution แบบT4 ทันทีดังนั้นการให้ความร้อนของอลูมิเนียมและระยะเวลาการบ่มแข็งมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของอลูมิเนียม

รูปที่ 4.15 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่ผ่านทำ Solution แบบ T6 ทันทีหลังเชื่อม โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ต่างๆคือพื้นที่ของโลหะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พื้นที่การกวน (Stir Zone) และพื้นที่นักเกต (Nugget Zone) การเกิดความแตกต่างดังกล่าวของพื้นที่คาดว่าเกิดจากการจัดเรียงตัวของเม็กเกรนในโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกัน ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่งต่างๆ ของแนวเชื่อมพบว่าตำแหน่งที่ I แสดงโครงสร้างของโลหะหลักของอลูมิเนียมผสม 6063 ผ่านการ Solution แบบ T6 หลังเชื่อมทันทีขนาดของเม็ดเกรนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากให้ความร้อนกับอลูมิเนียม ผ่านการอบละลาย และปล่อยให้แข็งตัวตามธรรมชาติจนอยู่ในสภาพคงรูป แต่การเรียงตัวของเม็ดเกรนยังคงความเป็นระเบียบอยู่ จุดที่ II คือ ขอบเขตระหว่างพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนและทางกล (Thermo-mechanical Affected Zone:TMAZ) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เกิดการปรับสภาพเนื่องจากความร้อนเสียดสีและแรงกวนอลูมิเนียม เกิดจากการปรับสภาพเนื่องจากความร้อนเสียดสีและแรงกวนอลูมิเนียม ทำให้เม็ดเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นมีการเรียงตัวกันเป็นระเบียบ ขณะเดียวกันตำแหน่งที่ III ถึง V ดังรูปที่ 4.15 (ง) ถึง (ฉ) นั้น คือพื้นที่การกวนอลูมิเนียมก่อตัวของเกรนใหม่ และมีขนาดเกรนใหญ่การเรียงตัวของเกรนเป็นระเบียบและพบบริเวณที่เป็นพื้นที่ตำแหน่งรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นใหม่นั้นมีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าอลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนและอลูมิเนียมที่ผ่านการเชื่อมที่โดยไม่ได้ทำ Solutionและอลูมิเนียมที่

ผ่านการทำ Solution แบบT4 ดังนั้นการให้ความร้อนกับอลูมิเนียมมีผลต่อค่าความแข็งแรงของอลูมิเนียม



รูปที่ 4.15 โครงสร้างแนวเชื่อมแบบเกลียวขวาผ่านการทำ Solution แบบT6 Heat หลังเชื่อม: (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอลูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กลและพื้นที่การกวน (ง) พื้นที่การกวนรุนแรง (จ) พื้นที่ใต้บ่าเครื่องมือเชื่อม



รูปที่ 4.16 โครงสร้างแนวเชื่อมแบบเกลียวขวาบ่มแข็งธรรมชาติ 1 สัปดาห์ทำ Solution แบบT6 : (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอลูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กลและพื้นที่การกวน (ง) พื้นที่การกวนรุนแรง (จ) พื้นที่ใต้บ่าเครื่องมือเชื่อม

รูปที่ 4.16 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติ 1 สัปดาห์แล้ว ผ่านการทำSolutionแบบT6 โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ต่างๆคือพื้นที่ของโลหะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง พื้นที่การกวน (Stir Zone) และพื้นที่นักเกต (Nugget Zone) การเกิดความแตกต่างดังกล่าวของพื้นที่คาดว่าเกิดจากการจัดเรียงตัวของเม็กเกรนในโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกัน ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่งต่างๆ ของแนวเชื่อมพบว่าตำแหน่งที่ I แสดงโครงสร้างของโลหะหลักของอลูมิเนียมผสม 6063 ผ่านการบ่มแข็งธรรมชาติ 1 สัปดาห์และผ่านกานทำ Solution แบบ T6 ที่รูปร่างของเม็ดเกรนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากโลหะผ่านการอบละลายมาก่อนแล้ว นำไปทำให้เย็นตัวด้วยกรรมวิธีทางความร้อนแต่การเรียงตัวของเม็ดเกรนยังคงความเป็นระเบียบอยู่ จุดที่ II คือ ขอบเขตระหว่างพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนและทางกล (Thermo-mechanical Affected Zone:TMAZ) ซึ่งเป็นพื้นที่เกิดการปรับสภาพเนื่องจากความร้อนเสียดสีและแรงกวนอลูมิเนียม ทำให้เม็ดเกรนมีรูปร่างขนาดใหญ่ขึ้นโดยมองเห็นความแตกต่างได้เกิดการปรับสภาพเนื่องจากความร้อนเสียดสีและแรงกวนอลูมิเนียม ทำให้เม็ดเกรนมีรูปร่างขนาดใหญ่และมีการเรียงตัวกันอย่างระเบียบเพราะเกิดจากการอัดรวมตัวกันของอลูมิเนียมมากกว่าบริเวณที่เป็นโครงสร้างเดิมโดยมองเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนระหว่างพื้นที่ของอลูมิเนียมหลักและพื้นที่ได้รับอิทธิพลการกวนและบริเวณจุดที่ IIIถึง V ดังแสดงในรูปที่ 4.16 (ง) ถึง (ฉ) เป็นตำแหน่งที่อลูมิเนียมก่อตัวของเกรนใหม่ที่มีขนาดใหญ่และเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและพบบริเวณที่เป็นพื้นที่ที่เกิดขึ้นใหม่นั้นมีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่าอลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนและอลูมิเนียมที่ผ่านการเชื่อมที่โดยไม่ได้ทำ Solutionและอลูมิเนียมที่ผ่านการทำ Solution แบบT4 อลูมิเนียมที่ผ่านการทำ Solution แบบT6 ทันที ดังนั้นการให้ความร้อนของอลูมิเนียมและระยะเวลาการบ่มแข็งมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของอลูมิเนียม