

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การได้มาซึ่งข้อมูลในบทนี้ เกิดจากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยการทดลองเชื่อมเสียดทานแบบกวน ด้วยวัสดุตัวอย่างอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมเกรด 6061-T6 วิธีการต่อชนที่กำหนดเงื่อนไขรายละเอียดการทดสอบ ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษาวิจัยซึ่งเป็นการทดลองวิจัยในสถานการณ์เสมือนจริง การวัดและการเก็บข้อมูล ในงานเชื่อมทดสอบในเบื้องต้น จึงมีลำดับการตรวจสอบความไม่สมบูรณ์ของรอยเชื่อมแบบไม่ทำลายสภาพ รอยเชื่อมตัวอย่างที่ผ่านการประเมินในเบื้องต้นเท่านั้น ที่จะถูกนำไปทดสอบแบบทำลายสภาพตามลำดับขั้นตอนต่อไป การศึกษาวิจัยได้ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีตรวจพินิจ (Visual Examination)

ผลการทดสอบหลังการเชื่อมในเบื้องต้น เพื่อเป็นการประเมินคุณภาพ ของรอยเชื่อมโดยการตรวจวิเคราะห์ด้วยสายตาบริเวณรอยเชื่อม ซึ่งได้ให้น้ำหนักความสำคัญภายนอกของรอยเชื่อมได้แก่ การประสานติดกันของรอยเชื่อม หรือ ปรากฏมีรอยแตกร้าวหรือไม่ และ คุณภาพความเรียบของผิวรอยเชื่อม การบันทึกผลการทดสอบแบ่งออกเป็นสี่กลุ่ม ตามลักษณะหวักดเชื่อมและความเร็วรอบของหัวกดเชื่อม โดยให้สัญลักษณ์แก่ชิ้นทดสอบและการบันทึกผลการประเมินซึ่งมีความหมายในรายงานวิจัยเล่มนี้ คือ

R-LXXX หมายถึง การทดลองด้วยสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเรียบปลายมน ด้วยความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วในการเชื่อม 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที

R-HXXX หมายถึง การทดลองด้วยสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเรียบปลายมน ด้วยความเร็วรอบ 1,180 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วในการเชื่อม 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที

T-LXXX หมายถึง การทดลองด้วยสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเกลียวปลายตัด ด้วยความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วในการเชื่อม 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที

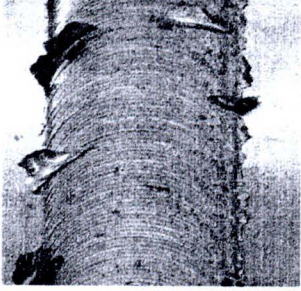
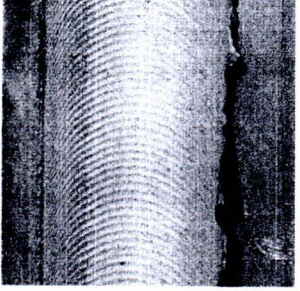
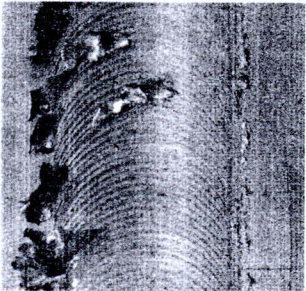
T-HXXX หมายถึง การทดลองด้วยสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเรียบปลายมน ด้วยความเร็วรอบ 1,180 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วในการเชื่อม 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที

P หมายถึง รอยเชื่อมประสานติดกันได้สมบูรณ์, ผิวรอยเชื่อมเรียบเป็นมัน (pass)

F หมายถึง รอยเชื่อมประสานไม่ติดกันหรือไม่สมบูรณ์, ผิวรอยเชื่อมหยาบ (fail)

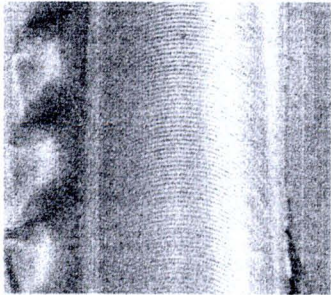
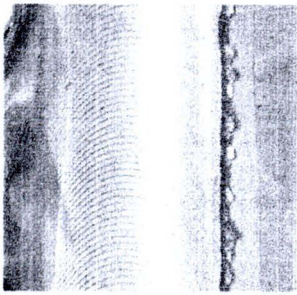
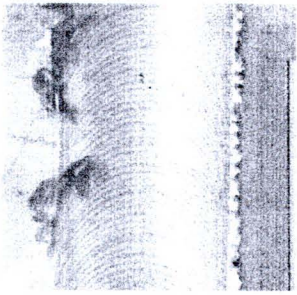
4.1.1 ผลการทดลองสลักแกนหมุนกวนผิวเรียบ 950 รอบต่อนาที ด้วยความเร็วในการเชื่อม 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที (แสดงผลตามตารางที่ 4-1)

ตาราง 4-1 ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมกลุ่มตัวอย่าง R-L

ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีตรวจพินิจ				
เงื่อนไขการตรวจสอบ: ☒ ตา ☐ แว่นขยาย กำลังขยาย.....เท่า ☐ อื่นๆ.....				
สภาพผิวที่ตรวจสอบ: ☒ รอยเชื่อม ☐ บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน				
วิธีการเตรียมผิวงาน: ☒ ผิวรอยเชื่อม ☐ ขัด/ปัดด้วยแปรง ☐ ขัดด้วยเครื่องขัด ☐ ฟันทราย				
รูปภาพ :				
   R-L475 R-L600 R-L750				
รหัสชิ้นงาน	ความสมบูรณ์	รอยแตกร้าว	ความเรียบของผิว	
R-L475	P	P	F	ผิวหยาบและมีเศษเล็กๆ
R-L600	P	P	P	ผิวเรียบเนียนเป็นมัน
R-L750	P	P	P	ผิวเรียบและมีเศษเล็กๆ

4.1.2 ผลการทดลองสลักแกนหมุนกวนผิวเรียบ 1,180 รอบต่อนาที ด้วยความเร็วในการเชื่อม 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที (แสดงผลตามตารางที่ 4-2)

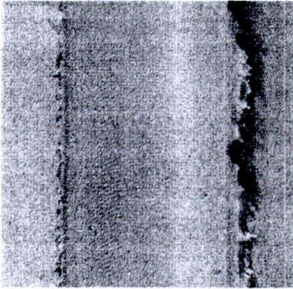
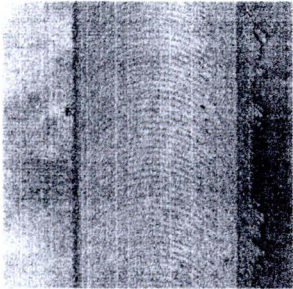
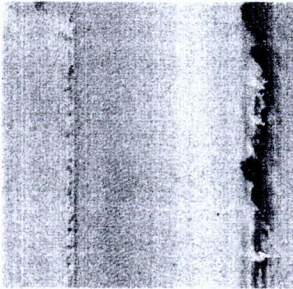
ตาราง 4-2 ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมกลุ่มตัวอย่าง R-H

ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีตรวจพินิจ				
เงื่อนไขการตรวจสอบ: ☒ ตา ☐ แวนขยาย กำลังขยาย.....เท่า ☐ อื่นๆ.....				
สภาพผิวที่ตรวจสอบ: ☒ รอยเชื่อม ☐ บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน				
วิธีการเตรียมผิวงาน: ☒ ผิวรอยเชื่อม ☐ ขัด/ปัดด้วยแปรง ☐ ขัดด้วยเครื่องขัด ☐ ฟันทราย				
รูปภาพ :				
   R-H475 R-H600 R-H750				
รหัสชิ้นงาน	ความสมบูรณ์	รอยแตกร้าว	ความเรียบของผิว	
R-H475	P	P	P	ผิวเรียบเนียนเป็นมัน
R-H600	P	P	P	ผิวเรียบเนียนเป็นมัน
R-H750	P	P	P	ผิวเรียบมีเศษเล็กๆ



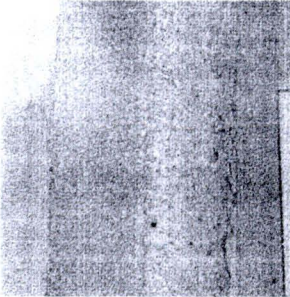
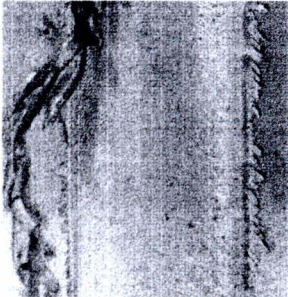
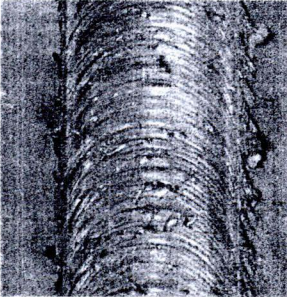
4.1.3 ผลการทดลองสลักแกนหมุนกวนผิวเกลียว 950 รอบต่อนาที ด้วยความเร็วในการเชื่อม 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที (แสดงผลตามตารางที่ 4-3)

ตาราง 4-3 ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมกลุ่มตัวอย่าง T-L

ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีตรวจพินิจ				
เงื่อนไขการตรวจสอบ: ☒ ตา ☐ แว่นขยาย กำลังขยาย.....เท่า ☐ อื่นๆ.....				
สภาพผิวที่ตรวจสอบ: ☒ รอยเชื่อม ☐ บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน				
วิธีการเตรียมผิวงาน: ☒ ผิวรอยเชื่อม ☐ ขัด/ปัดด้วยแปรง ☐ ขัดด้วยเครื่องขัด ☐ พ่นทราย				
รูปภาพ :				
 T-L475  T-L600  T-L750				
รหัสชิ้นงาน	ความสมบูรณ์	รอยแตกร้าว	ความเรียบของผิว	
T-L475	P	P	P	ผิวเรียบและมีเศษเล็กๆ
T-L600	P	P	F	ผิวหยาบและมีเศษเล็กๆ
T-L750	P	P	F	ผิวหยาบและมีเศษเล็กๆ

4.1.4 ผลการทดลองสลักแกนหมุนกวนผิวเรียบ 1,180 รอบต่อนาที ด้วยความเร็วในการเชื่อม 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที (แสดงผลตามตารางที่ 4-4)

ตาราง 4-4 ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมกลุ่มตัวอย่าง T-H

ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีตรวจพินิจ				
เงื่อนไขการตรวจสอบ: ☒ ตา ☐ แว่นขยาย กำลังขยาย.....เท่า ☐ อื่นๆ.....				
สภาพผิวที่ตรวจสอบ: ☒ รอยเชื่อม ☐ บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน				
วิธีการเตรียมผิวงาน: ☒ ผิวรอยเชื่อม ☐ ขัด/ปัดด้วยแปรง ☐ ขัดด้วยเครื่องขัด ☐ ฟันทราย				
รูปภาพ :				
   T-H475 T-H600 T-H750				
รหัสชิ้นงาน	ความสมบูรณ์	รอยแตกร้าว	ความเรียบของผิว	
T-H475	P	P	F	ผิวหยาบมีเศษเล็กๆ
T-H600	P	P	F	ผิวหยาบมีเศษเล็กๆ
T-H750	P	P	F	ผิวหยาบไม่เรียบ

4.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงรอยเชื่อม

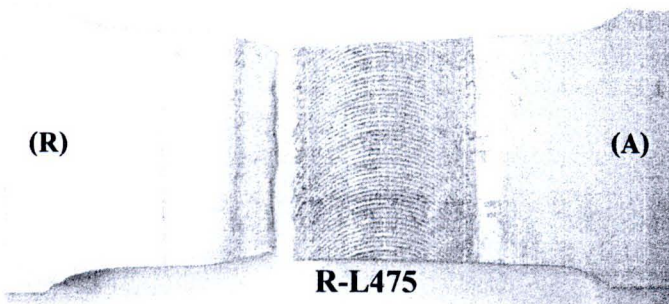
การทดสอบแรงดึงด้วยชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน AWS D1.2 โดยใช้เครื่องทดสอบที่มีกำลังสูงสุด 300 กิโลนิวตัน กำหนดอัตราเร็วการดึงทดสอบ 1.0 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อประเมินค่าความแข็งแรงสูงสุดในรอยเชื่อม โดยการทดสอบแรงดึงตัวอย่างละสามครั้ง และนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยึดตัว และหาค่าเฉลี่ย ได้ผลการทดสอบตามเงื่อนไขการทดลอง ดังนี้

4.2.1 ผลการทดสอบแรงดึงรอยเชื่อมจากกลุ่มตัวอย่าง R-L โดยใช้ความเร็วรอบในการเชื่อม 950 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วในการเชื่อม 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที ได้ผลการทดสอบดังนี้ (แสดงตามตารางที่ 4-5)

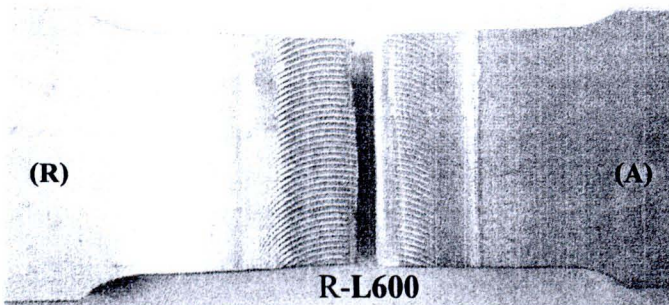
ตาราง 4-5 ผลการทดสอบแรงดึงรอยเชื่อมกลุ่มตัวอย่าง R-L

Specimen	Max Force (kgf)	0.2% Yield Strength (Kgf/mm ²)	Yield Strength (Kgf/mm ²)	Tensile strength (Kgf/mm ²)	Elongation (%)
T-H475	31410	176.84	225.26	225.26	10.0
T-H600	28200	210.32	245.26	252.63	5.0
T-H750	32160	198.63	240.00	250.53	10.0

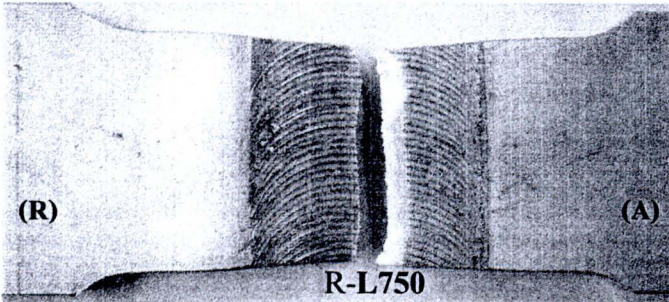
ตำแหน่งการหักขาด:



R-L475 การหักขาดเกิดขึ้นที่ด้าน Retreating เฉียงลง ไปด้าน Advancing ทำมุมประมาณ 45° กับแนวเชื่อม



R-L600 การหักขาดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางรอยเชื่อม ใน แนวตั้งฉากกับแนวแรง ลงไปด้านล่างแบบฟันเลื่อย



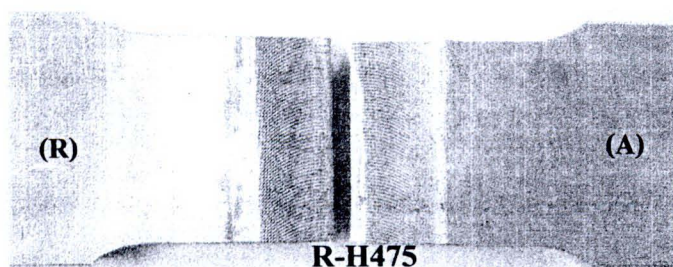
R-L750 การหักขาดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางรอยเชื่อม ใน แนว ตั้งฉากกับแนวแรง ไปทางด้านหลังแบบฟันเลื่อย

4.2.2 ผลการทดสอบแรงดึงรอยเชื่อมจากกลุ่มตัวอย่าง R-H โดยใช้ความเร็วรอบในการเชื่อม 1,180 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วในการเชื่อม 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที ได้ผลการทดสอบดังนี้ (แสดงตามตารางที่ 4-6)

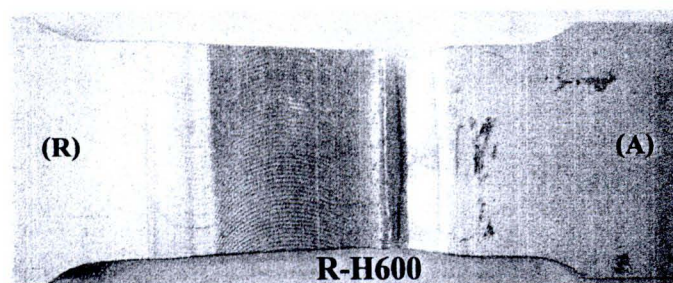
ตาราง 4-6 ผลการทดสอบแรงดึงรอยเชื่อมกลุ่มตัวอย่าง R-H

Specimen	Max Force (kgf)	0.2% Yield Strength (Kgf/mm ²)	Yield Strength (Kgf/mm ²)	Tensile strength (Kgf/mm ²)	Elongation (%)
T-H475	31410	68.21	157.89	157.89	3.75
T-H600	28200	207.37	245.26	255.79	10.00
T-H750	32160	225.68	253.68	262.11	7.50

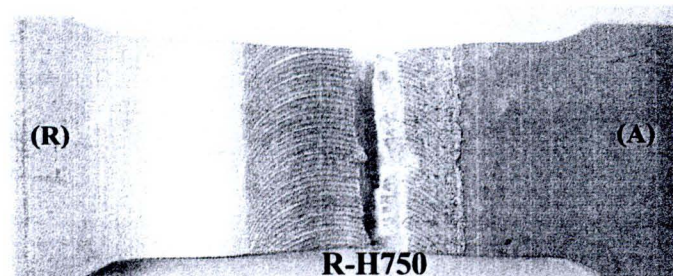
ตำแหน่งการหักขาด:



R-H475 การหักขาดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางรอยเชื่อมในแนวตั้งฉากกับแนวแรงขาดไปด้านหลังแบบพื้นเลื้อย



R-H600 การหักขาดเกิดขึ้นที่ด้าน Advancing เฉียงลงไปทางด้านRetreating ประมาณ 45° ตามแนวว่าให้ความร้อน



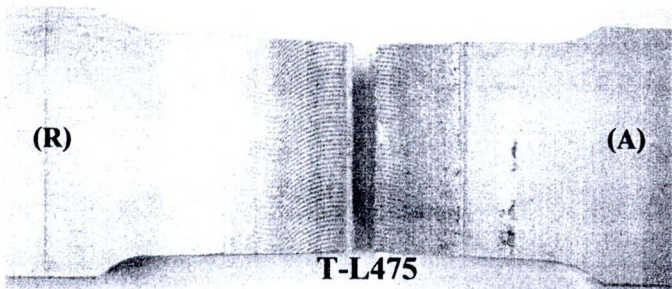
R-H750การหักขาดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางรอยเชื่อมในแนวตั้งฉากกับแนวแรงไปทางด้านหลังแบบไม่มีระเบียบ

4.2.3 ผลการทดสอบแรงดึงรอยเชื่อมจากกลุ่มตัวอย่าง T-L โดยใช้ความเร็วรอบในการเชื่อม 950 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วในการเชื่อม 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาทีได้ผลการทดสอบดังนี้ (แสดงตามตารางที่ 4-7)

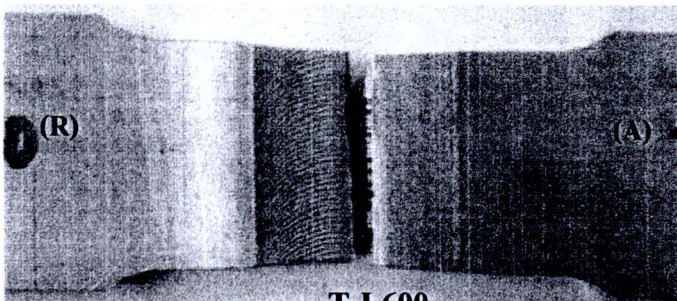
ตาราง 4-7 ผลการทดสอบแรงดึงรอยเชื่อมกลุ่มตัวอย่าง T-L

Specimen	Max Force (kgf)	0.2% Yield Strength (Kgf/mm ²)	Yield Strength (Kgf/mm ²)	Tensile strength (Kgf/mm ²)	Elongation (%)
T-H475	31410	214.84	237.89	248.42	6.25
T-H600	28200	176.00	215.79	221.05	5.00
T-H750	32160	215.89	255.79	267.37	11.25

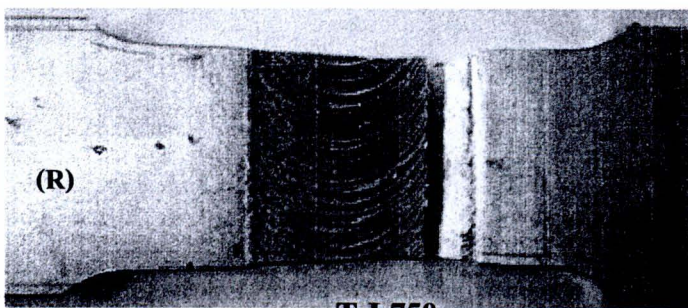
ตำแหน่งการหักขาด:



T-L475 การหักขาดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางรอยเชื่อม ในแนวตั้งฉากกับแนวแรง ไปด้านหลังแบบฟันเลื่อยไม่เป็นระเบียบ



T-L600 การหักขาดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางรอยเชื่อม ในแนวตั้งฉากกับแนวแรงไปด้านหลัง แบบฟันเลื่อยตามแนวขอบงาน



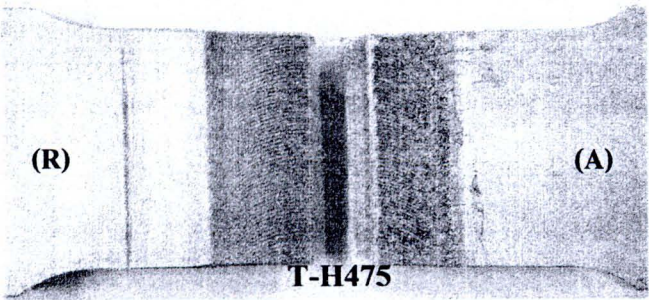
T-L750 การหักขาดเกิดขึ้นที่ด้าน Retreating เฉียงลงด้าน Advancing ประมาณ 45° รอยขาดขนานตามแนวบ่าให้ความร้อน

4.2.4 ผลการทดสอบแรงดึงรอยเชื่อมจากกลุ่มตัวอย่าง T-H โดยใช้ความเร็วรอบในการเชื่อม 1,180 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วในการเชื่อม 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที ได้ผลการทดสอบดังนี้ (แสดงตามตารางที่ 4-8)

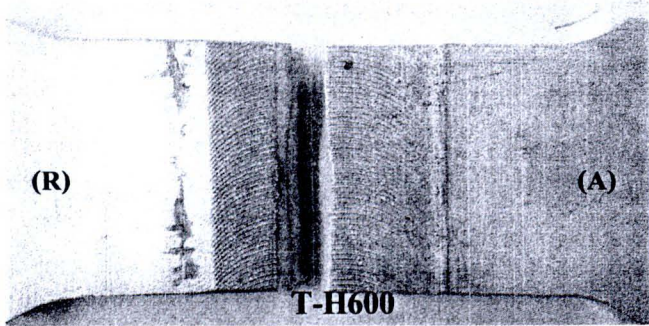
ตาราง 4.8 ผลการทดสอบแรงดึงรอยเชื่อมกลุ่มตัวอย่าง T-H

Specimen	Max Force (kgf)	0.2% Yield Strength (Kgf/mm ²)	Yield Strength (Kgf/mm ²)	Tensile strength (Kgf/mm ²)	Elongation (%)
T-H475	31410	220.42	205.26	220.00	5.00
T-H600	28200	83.58	197.89	197.89	5.00
T-H750	32160	214.84	212.63	225.26	8.75

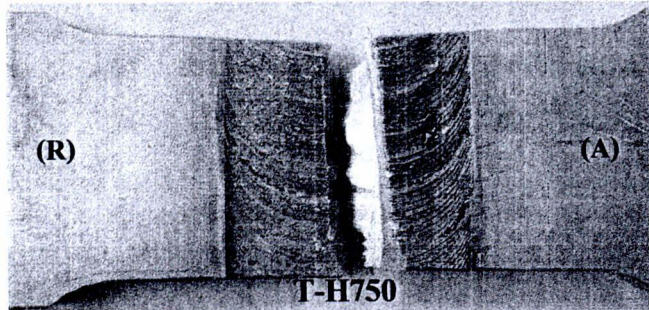
ตำแหน่งการหักขาด:



T-H475 การหักขาดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางรอยเชื่อม ในแนวตั้งฉากกับแนวแรงไปด้านหลัง แบบพื้นเลื้อยไม่เป็นระเบียบ

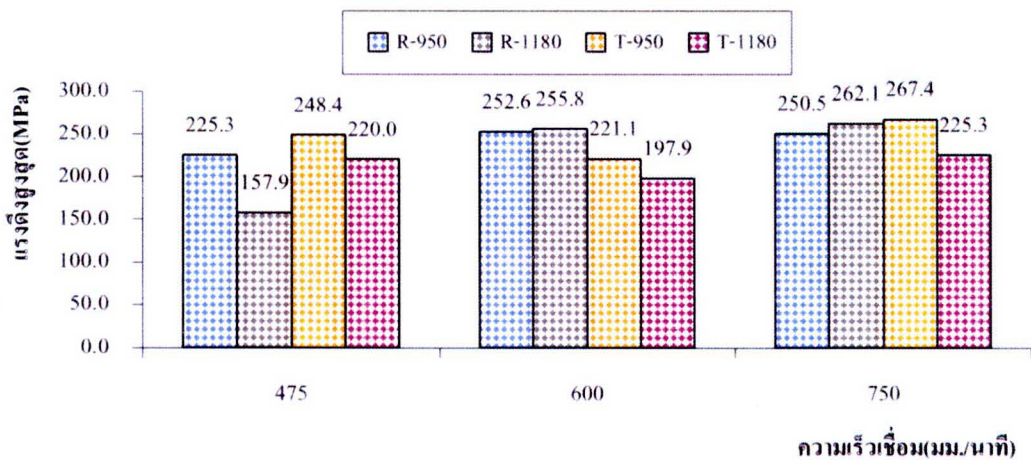


T-H600 การหักขาดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางรอยเชื่อม ในแนวตั้งฉากกับแนวแรงไปด้านหลัง แบบพื้นเลื้อย ขาดตามขอบเดิม



T-H750 การหักขาดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางรอยเชื่อม ในแนวตั้งฉากกับแนวแรงไปด้านหลัง แบบไม่เป็นระเบียบ

4.2.5 ผลการเปรียบเทียบความเร็วในการเชื่อมกับแรงดึงสูงสุด เมื่อนำค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดทุกเงื่อนไขการทดลองด้วยความเร็วรอบหัวกดเชื่อม 950 และ 1,180 รอบต่อนาที ของหัวกดเชื่อมที่มีสลักแกนหมุนกวน แบบผิวเรียบและแบบผิวเกลียว มาเปรียบเทียบผลการทดลองที่กำหนดความเร็วการเชื่อมสามระดับ 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที (แสดงตามรูปที่ 4-1) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟเปรียบเทียบความเร็วในการเชื่อม ได้ดังนี้

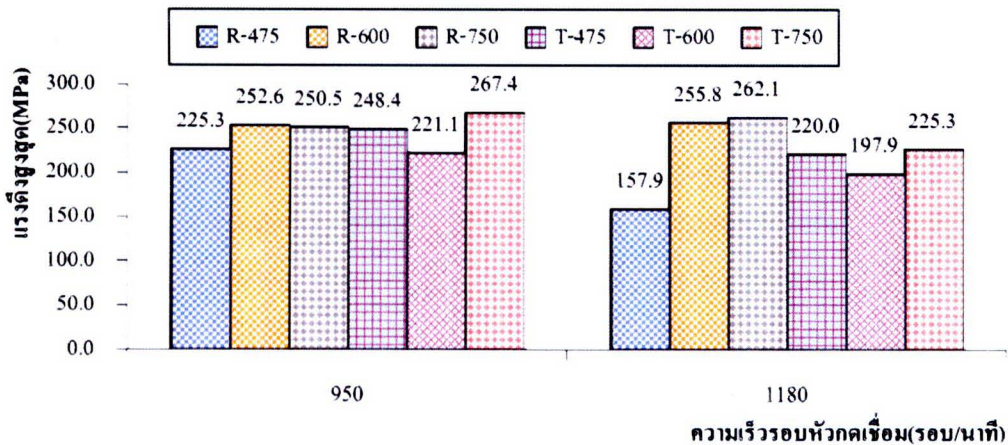


รูป 4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชื่อมกับแรงดึงสูงสุด

จากกราฟเปรียบเทียบด้วยความเร็วในการเชื่อมกับค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด เมื่อพิจารณาตามลักษณะสลักแกนหมุนกวน พบว่า

- 1) สลักแกนหมุนกวนผิวเรียบที่ความเร็วกดหมุน 950 รอบต่อนาที มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ย 252 ± 3 MPa ที่ความเร็วในการเชื่อม 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที
- 2) สลักแกนหมุนกวนผิวเรียบที่ความเร็วกดหมุน 1,180 รอบต่อนาที มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ย 259 ± 3 MPa ที่ความเร็วในการเชื่อม 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที
- 3) สลักแกนหมุนกวนผิวเกลียวที่ความเร็วกดหมุน 950 รอบต่อนาที มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ย 258 ± 3 MPa ที่ความเร็วในการเชื่อม 475 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที
- 3) สลักแกนหมุนกวนผิวเกลียวที่ความเร็วกดหมุน 1,180 รอบต่อนาที มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ย 223 ± 3 MPa ที่ความเร็วในการเชื่อม 475 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที

4.2.6 ผลการเปรียบเทียบความเร็วรอบหัวกดเชื่อมกับแรงดึงสูงสุด เมื่อนำค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของทุกเงื่อนไขการทดลอง ด้วยความเร็วในการเชื่อมสามระดับ คือ 475 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที มาเปรียบเทียบผลการทดลองที่ความเร็วรอบหัวกดเชื่อม 950 และ 1,180 รอบต่อนาที ของหัวกดเชื่อมทั้งสองแบบ (แสดงตามรูปที่ 4-2) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟเปรียบเทียบความเร็วรอบหัวกดเชื่อม ได้ดังนี้



รูป 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดึงสูงสุด

จากกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทานแรงดึงสูงสุดกับความเร็วรอบหมุนหัวกดเชื่อม พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 267 MPa โดยเงื่อนไขการทดลองต่างๆ มีค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย 244 MPa ความแตกต่างกันในกลุ่มตัวอย่างมีความแปรปรวน 17.6 ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1,180 รอบต่อนาที พบว่า มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 262 MPa โดยทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย 220 MPa ความแตกต่างกันในกลุ่มตัวอย่าง มีค่าความแปรปรวน 38.5

เมื่อพิจารณาตามลักษณะของสลักแกนหมุนกวน พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที สลักแกนหมุนกวนทั้งสองแบบ มีความต้านทานแรงดึงที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ความเร็วรอบสูงขึ้น 1,180 รอบต่อนาที สลักแกนหมุนกวนแบบผิวเรียบจะให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่า โดยเฉพาะความเร็วการเชื่อม 600 และ 750 มิลลิเมตรต่อนาที แต่สลักแกนหมุนกวนแบบผิวเกลียวมีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำกว่า แต่ทุกความเร็วเชื่อมมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ใกล้เคียงกันมาก

4.2.7 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของรอยเชื่อมกับวัสดุเดิม จากผลการทดสอบเมื่อนำค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดในรอยเชื่อม มาศึกษาสมรรถนะด้านความแข็งแรงและสมรรถนะการยึดตัวของรอยเชื่อมที่ได้ โดยทำการเปรียบเทียบกับวัสดุเดิมที่ไม่ผ่านการเชื่อม (base material) ได้ค่าสมรรถนะทางกลของรอยเชื่อมเงื่อนไขต่างๆ เป็นเปอร์เซ็นต์ (แสดงตามตารางที่ 4-9)

ตาราง 4-9 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะทางกลของรอยเชื่อมกับวัสดุเดิม

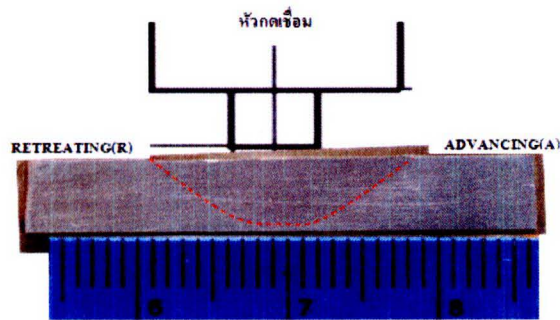
Specimen	Tensile strength	Joint efficiency	Elongation	Elongation efficiency
	(MPa)	(%)	(%)	(%)
6061-T6	295	100	17.5	100
R-L475	226	76.4	10.0	57.1
R-L600	253	85.6	5.0	28.6
R-L750	251	84.9	10.0	57.1
R-H475	158	53.5	3.8	21.4
R-H600	256	86.7	10.0	57.1
R-H750	262	88.9	7.5	42.9
T-L475	248	84.2	6.3	35.7
T-L600	221	74.9	5.0	28.6
T-L750	267	90.6	11.3	64.3
T-H475	220	74.6	5.0	28.6
T-H600	198	67.1	5.0	28.6
T-H750	225	76.4	8.8	50.0

หมายเหตุ 6061-T6 วัสดุอะลูมิเนียมที่ไม่ผ่านการเชื่อม

4.3 ผลการทดสอบด้วยวิธีทางโลหะวิทยาระดับมหภาค

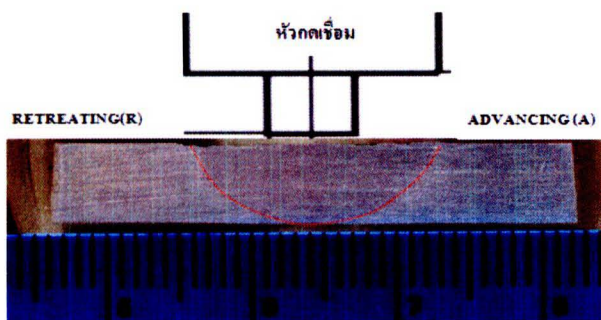
จากการดำเนินการทดลอง โดยการเตรียมผิวชิ้นทดสอบภาคตัดรอยเชื่อม แบบขัดผิวหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1,200 และขัดผิวแบบละเอียดด้วยผงขัดอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 1.0 ไมครอน และทำการกัดขึ้นรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผลการทดสอบด้วยวิธีทางโลหะวิทยาเป็นผลการศึกษาจากบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนในรอยเชื่อม HAZ ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจากการเชื่อมทดสอบ พบว่า บริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนมีความแตกต่างกันที่ตัวแปรความเร็วรอบการเชื่อม

4.3.1 ผลกระทบทางความร้อนที่ความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที พบว่า ตัวอย่างการทดลองทุกเงื่อนไข ที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบของหัวกดเชื่อม 950 รอบต่อนาที บริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อนจะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมป้านคล้ายๆ ปลายดอกสว่าน (แสดงตามรูปที่ 4-3) โดยด้านกว้างมีขนาด 18.0 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับความกว้างของบ่าให้ความร้อนของหัวกดเชื่อม ส่วนความลึกจะมีขนาดประมาณ 5.7 มิลลิเมตร ใกล้เคียงกับขนาดความยาวของสลักแกนหมุนกวน



รูป 4-3 ผลกระทบทางความร้อนที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที

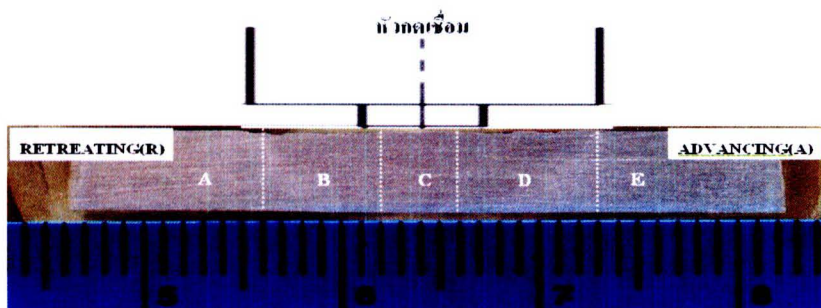
4.3.2 ผลกระทบทางความร้อนที่ความเร็วรอบ 1,180 รอบต่อนาที พบว่า ตัวอย่างการทดลองทุกเงื่อนไขที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบของหัวกดเชื่อม 1,180 รอบต่อนาที บริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อนจะมีรูปร่างลักษณะแบบครึ่งวงกลม (แสดงตามรูปที่ 4-4) โดยมีความกว้างขนาด 18.0 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับความกว้างของบ่าให้ความร้อนของหัวกดเชื่อม ส่วนความลึกที่ได้รับความร้อนจะมีขนาดเส้นรัศมีของวงกลม มีขนาดเท่ากับความหนาของชิ้นงานประมาณ 6.0 มิลลิเมตร



รูป 4-4 ผลกระทบทางความร้อนที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1,180 รอบต่อนาที

4.4 ผลการทดสอบด้วยวิธีทางโลหะวิทยาในระดับจุลภาค

ผลการทดสอบด้วยวิธีทางโลหะวิทยาเป็นผลการศึกษาโครงสร้างในรอยเชื่อมด้วยภาพถ่ายโดยการเตรียมโครงสร้างขึ้นทดสอบบริเวณรอยเชื่อม และทำการถ่ายภาพโครงสร้างผ่านกล้องจุลทรรศน์สำหรับโลหะ โดยแบ่งพื้นที่บริเวณรอยเชื่อมออกเป็นส่วนๆ (แสดงตามรูปที่ 4-5) คือ ส่วนเอและอี (A,E) เป็นบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (unaffected zone) ซึ่งเป็นโครงสร้างเดิมของวัสดุก่อนการทดลองเชื่อม ส่วนบีและดี (B,D) เป็นบริเวณที่ได้รับความร้อนและแรงทางกลจากสลักแกนหมุนกวนขณะเชื่อม (Thermo mechanical affected zone) และในส่วนซี (C) เป็นบริเวณรอยต่อกึ่งกลางรอยเชื่อม (joining zone) ซึ่งผลที่นำมาวิเคราะห์นี้เป็นตัวอย่างที่พิจารณาจากผลการทดสอบแรงดึงแล้วมีแนวโน้มที่จะสามารถนำไปใช้งานได้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (แสดงผลรวมในภาคผนวก ง)



รูป 4-5 แสดงตำแหน่งวิเคราะห์โครงสร้างภาคตัดรอยเชื่อมระดับจุลภาค

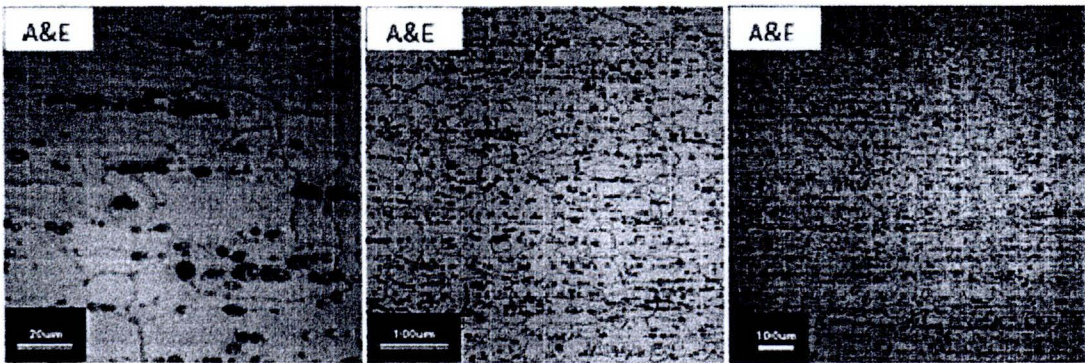
4.4.1 โครงสร้างจุลภาคในรอยเชื่อมชิ้นงาน R-H 600 ผลการทดสอบด้วยวิธีทางโลหะวิทยา และถ่ายภาพโครงสร้างโลหะในภาคตัดรอยเชื่อม ของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยสลักแกนหมุนแบบผิวเรียบ ที่ความเร็วรอบ 1,180 รอบต่อนาที และใช้ความเร็วในการเชื่อม 600 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งมีสมรรถนะความแข็งแรงของรอยเชื่อม 86.7 เปอร์เซ็นต์ และสมรรถนะการยึดตัวของรอยเชื่อม 57.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ให้คุณภาพผิวรอยเชื่อมเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้จริง เมื่อทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคในรอยเชื่อมด้วยกำลังขยาย 400 100 และ 50 เท่า พบว่า

โครงสร้างโลหะในบริเวณเอและอี (แสดงตามรูปที่ 4-6) เกรนจะมีขนาดใหญ่กว่าและเรียงตัวตามแนวซ้ายและขวา เป็นแนวรีดตามยาวของวัสดุตามปกติ ซึ่งไม่ได้รับผลกระทบทางความร้อนในการทดลองเชื่อม

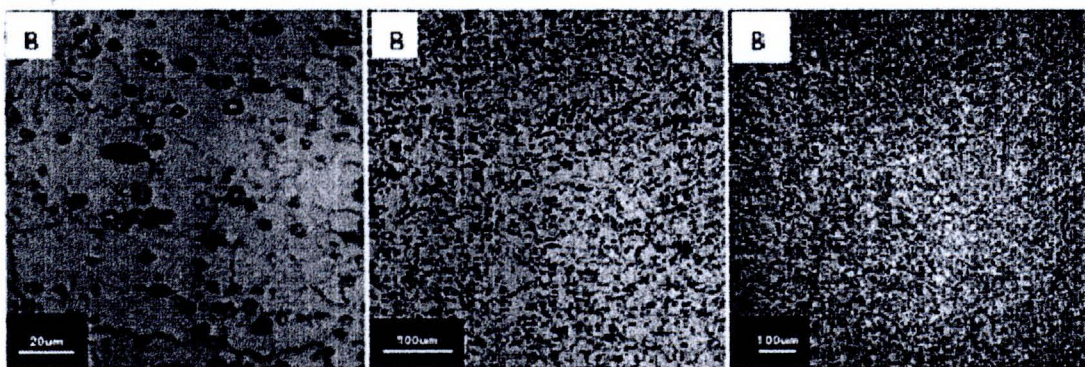
โครงสร้างโลหะในบริเวณบี (แสดงตามรูปที่ 4-7) เกรนบางส่วนเริ่มมีขนาดเล็กลงและมีทิศทางการเคลื่อนที่โค้งลงเล็กน้อยจากแรงทางกลไปสู่บริเวณกลางรอยเชื่อมที่บริเวณซี

โครงสร้างโลหะในบริเวณซี (แสดงตามรูปที่ 4-8) เกรนมีขนาดละเอียดใกล้เคียงกัน ต่างแตกต่างจากส่วนบริเวณอื่นๆ โดยเฉพาะบริเวณที่แนวขอบของสลักแกนหมุนกลวนเคลื่อนที่ผ่าน บริเวณซีจะมีขนาดเล็กกว่าส่วนอื่นๆ และมีทิศทางเคลื่อนที่ต่อเนื่องจากส่วนบริเวณดีและผ่านไปยัง บริเวณบี

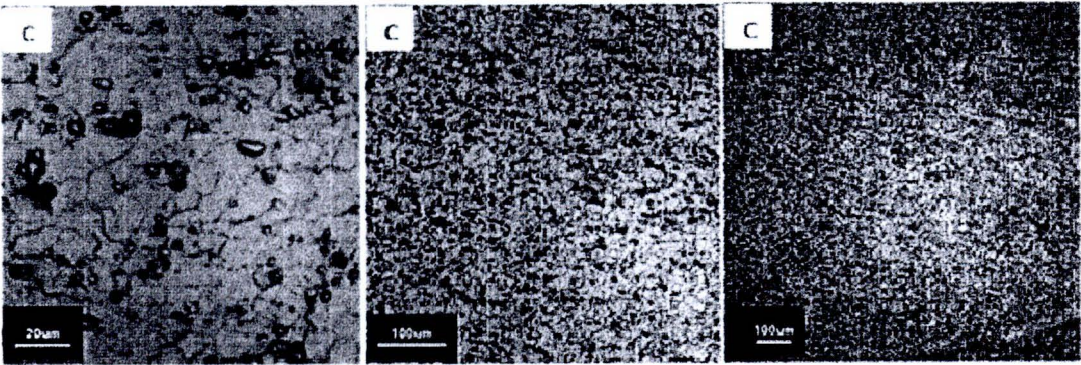
โครงสร้างโลหะในบริเวณดี (แสดงตามรูปที่ 4-9) เกรนบริเวณที่ได้รับแรงทางกลจะมี ขนาดเล็กลงกว่าบริเวณที่ไม่ได้รับแรงทางกลอย่างเห็นได้ชัดเจน และมีการเคลื่อนตัวของเกรน ค้าง ลงไปยังด้านล่างของชิ้นงาน โดยมีการสิ้นสุดตามความยาวของสลักแกนหมุนกลวน ในลักษณะที่รุนแรงกว่าบริเวณด้านบี



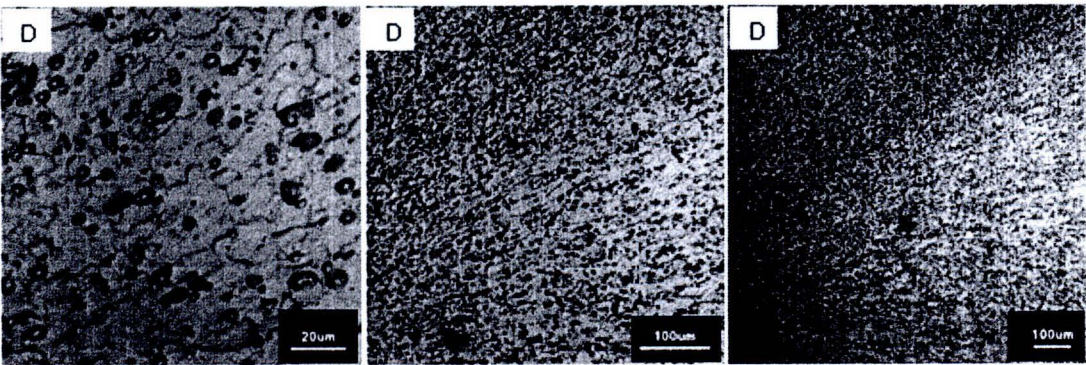
รูป 4-6 โครงสร้างรอยเชื่อม R-H600 บริเวณเอและอีกำลังขยาย 400 100 และ 50 เท่า



รูป 4-7 โครงสร้างรอยเชื่อม R-H600 บริเวณบีกำลังขยาย 400 100 และ 50 เท่า



รูป 4-8 โครงสร้างรอยเชื่อม R-H600 บริเวณซีกำลังขยาย 400 100 และ 50 เท่า



รูป 4-9 โครงสร้างรอยเชื่อม R-H600 บริเวณดีกำลังขยาย 400 100 และ 50 เท่า

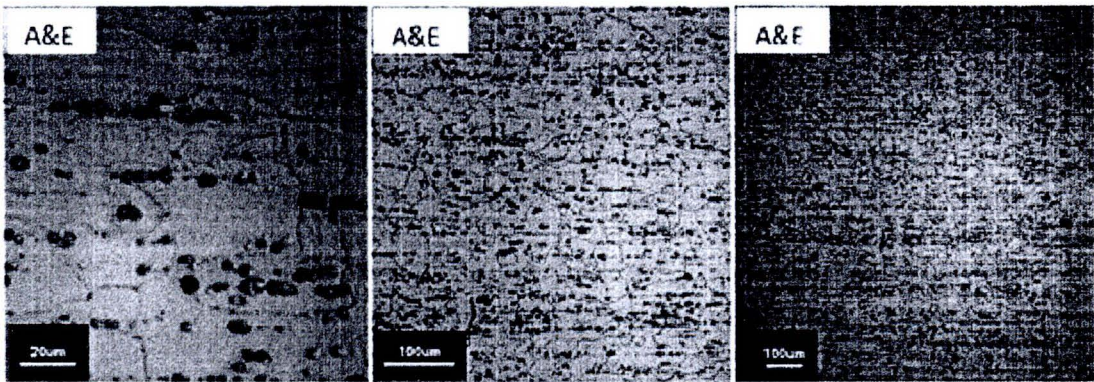
4.4.2 โครงสร้างจุลภาคในรอยเชื่อมชิ้นงาน R-L600 ชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเรียบ ที่ความเร็วรอบ 950 รอบต่อนาที และใช้ความเร็วการเชื่อม 600 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งมีสมรรถนะความแข็งแรงของรอยเชื่อม 85.6 เปอร์เซนต์ มีค่าใกล้เคียงกับ R-H600 และมีสมรรถนะการยึดตัวของรอยเชื่อม 28.6 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าตัวอย่าง R-H600 ประมาณหนึ่งเท่า เมื่อทำการศึกษาผลการทดสอบด้วยถ่ายภาพโครงสร้างโลหะในภาคตัดรอยเชื่อมด้วยกำลังขยาย 400 100 และ 50 เท่า พบว่า

โครงสร้างโลหะในบริเวณเอและอี (แสดงตามรูปที่ 4-10) เกรนจะมีขนาดใหญ่กว่า และเรียงตัวตามแนวซ้ายและขวา หรือเรียงตัวตามแนวรีดมีลักษณะเหมือนกับตัวอย่าง R-H600

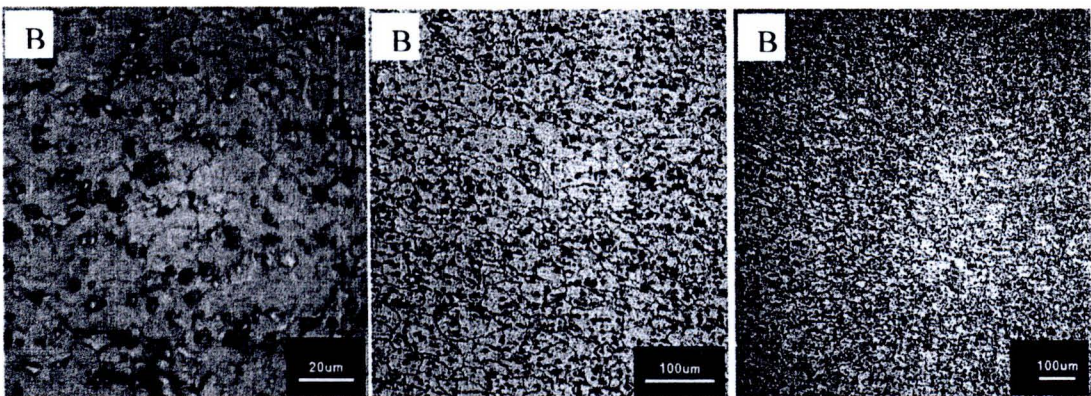
โครงสร้างโลหะในบริเวณบี (แสดงตามรูปที่ 4-11) เกรนบางเกรนมีขนาดเล็ก และทิศทางเคลื่อนที่ลงไปด้านล่างบริเวณซีมีลักษณะไม่แตกต่างกับตัวอย่าง R-H600

โครงสร้างโลหะในบริเวณซี (แสดงตามรูปที่ 4-12) เกรนมีขนาดเล็กกว่าบริเวณอื่นๆ มีลักษณะเหมือนกับตัวอย่าง R-H600 และ มีความผิดปกติไป คือ ปรากฏมีข้อบกพร่องระดับจุลภาคเกิดขึ้นบริเวณนี้ มีลักษณะเป็นริ้วรอยสีดำมีทิศทางในการเคลื่อนตัวตามขอบเกรน เป็นบางเกรนไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับ ค่าสมบัติทางกลด้านการยืดตัวลดลง

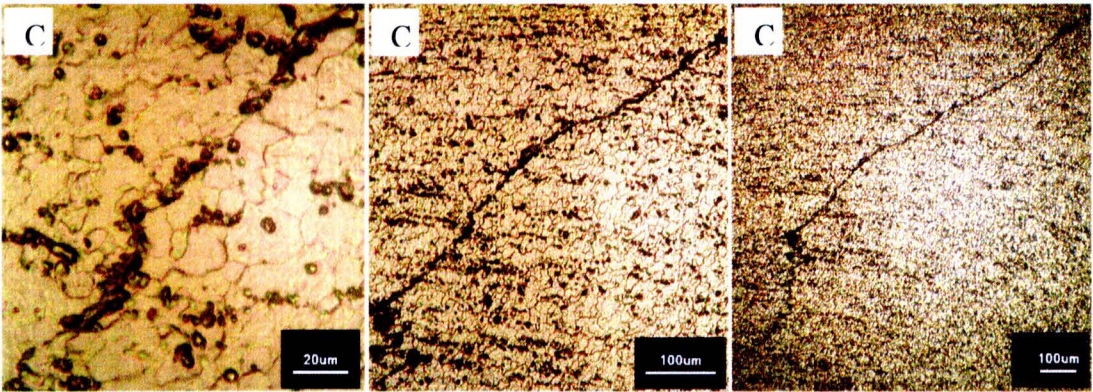
โครงสร้างโลหะในบริเวณดี (แสดงตามรูปที่ 4-13) เกรนบริเวณส่วนที่ได้รับแรงทางกลจะมีขนาดเล็กกว่าส่วนที่ไม่ได้รับแรงทางกลอย่างเห็นได้ชัดเจน และมีทิศทางการเคลื่อนตัวของเกรนรุนแรงกว่าบริเวณอื่นๆ มีลักษณะเหมือนกับตัวอย่าง R-H600



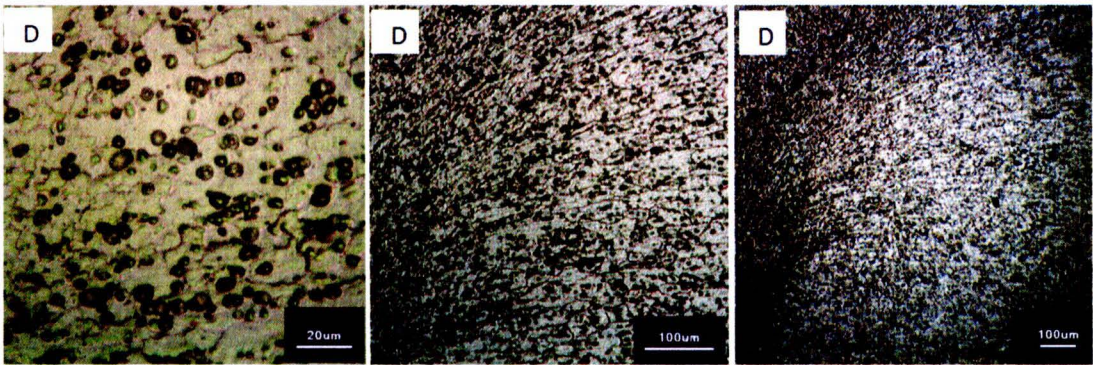
รูป 4-10 โครงสร้างรอยเชื่อม R-L600 บริเวณส่วนเอและอีกำลังขยาย 400 100 และ 50 เท่า



รูป 4-11 โครงสร้างรอยเชื่อม R-L600 บริเวณส่วนบีกำลังขยาย 400 100 และ 50



รูป 4-12 โครงสร้างรอยเชื่อม R-L600บริเวณซีกำลังขยาย 400 100 และ 50 เท่า

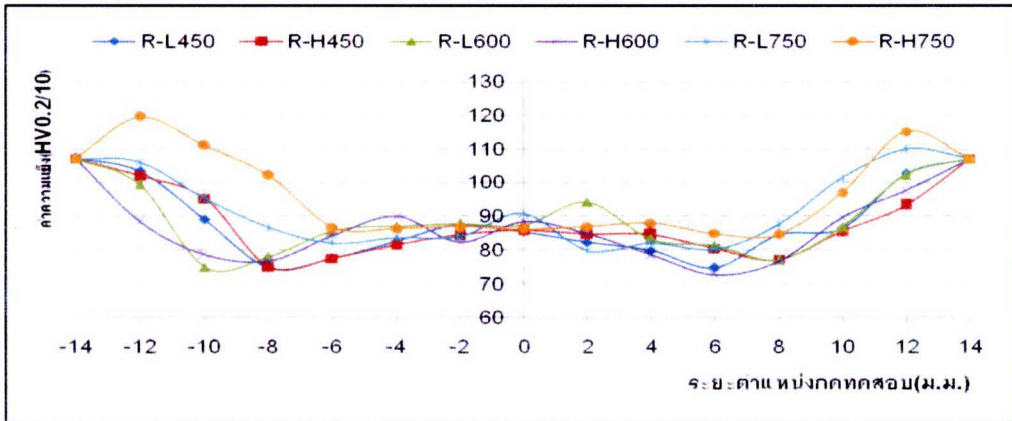


รูป 4-13 โครงสร้างรอยเชื่อม R-L600บริเวณดีกำลังขยาย 400 100 และ 50 เท่า

4.5 ผลการทดสอบค่าความแข็งในรอยเชื่อม

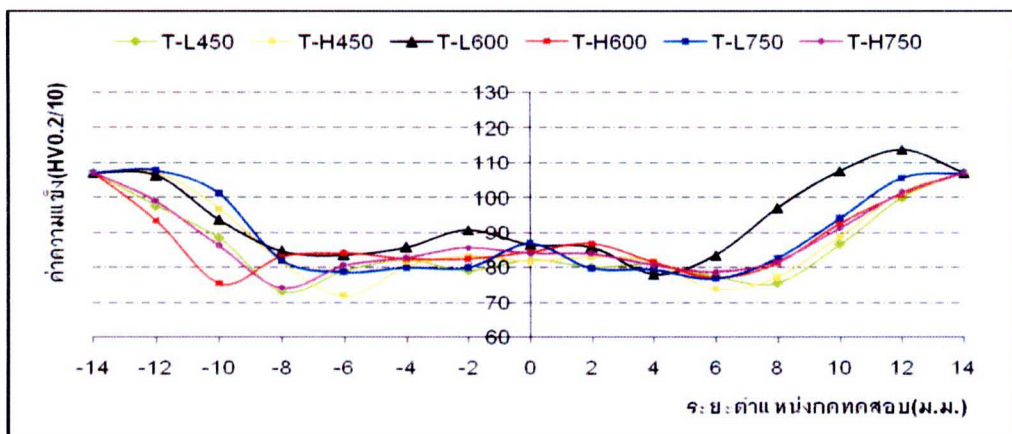
การทดสอบค่าความแข็งบริเวณภาคตัดรอยเชื่อม เปรียบเทียบกับค่าความแข็งของวัสดุเดิมด้วยวิธีวิกเกอร์ส โดยใช้ช่วงวัด 0.2 กิโลกรัมแรง ใช้เวลาในการกดวัดนาน 10 วินาที เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและทำการเปรียบเทียบ ในรูปแบบกราฟได้ผลการทดสอบดังนี้

4.5.1 ค่าความแข็งที่เชื่อมด้วยสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเรียบ คือการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ค่าความแข็งในรอยเชื่อมของกลุ่มตัวอย่างชิ้นทดลอง ที่เชื่อมด้วยสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเรียบ ทั้งสองกลุ่มความเร็วรอบ ในรูปแบบกราฟ (แสดงตามรูปที่ 4-14) พบว่า ค่าความแข็งในรอยเชื่อมมีค่าความแข็งโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 72.6 ถึง 119.4 VHN ตำแหน่งที่มีค่าความแข็งต่ำสุดอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางรอยเชื่อมทั้งสองด้าน ประมาณ 6.0 มิลลิเมตร และตำแหน่งที่มีค่าความแข็งสูงสุดอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางรอยเชื่อมประมาณ 12.0 มิลลิเมตร โดยที่วัสดุที่ไม่ผ่านการเชื่อมมีค่าความแข็งโดยเฉลี่ยที่ 107.0 VHN



รูป 4-14 ค่าความแข็งที่เชื่อมด้วยสลักแกนหมุนกวนผิวเรียบปลายมน

4.5.2 ค่าความแข็งที่เชื่อมด้วยสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเกลียว คือการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งในรอยเชื่อมของกลุ่มตัวอย่างชิ้นทดสอบ ที่เชื่อมด้วยสลักแกนหมุนกวนแบบผิวเกลียว ทั้งสองกลุ่มความเร็วรอบ ในรูปแบบกราฟ (แสดงตามรูปที่ 4-15) พบว่าค่าความแข็งในรอยเชื่อม มีค่าความแข็งโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 72.0 ถึง 113.9 VHN ลักษณะของสลักแกนหมุนกวน มีผลต่อค่าความแข็งไม่แตกต่างกัน คืออยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางรอยเชื่อมประมาณ 6.0 มิลลิเมตร และตำแหน่งที่มีค่าความแข็งสูงสุดอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางรอยเชื่อมประมาณ 12.0 มิลลิเมตร โดยที่วัสดุที่ไม่ผ่านการเชื่อมมีค่าความแข็งโดยเฉลี่ยที่ 107.0 VHN



รูป 4-15 ค่าความแข็งที่เชื่อมด้วยสลักแกนหมุนกวนผิวเกลียวปลายตัด