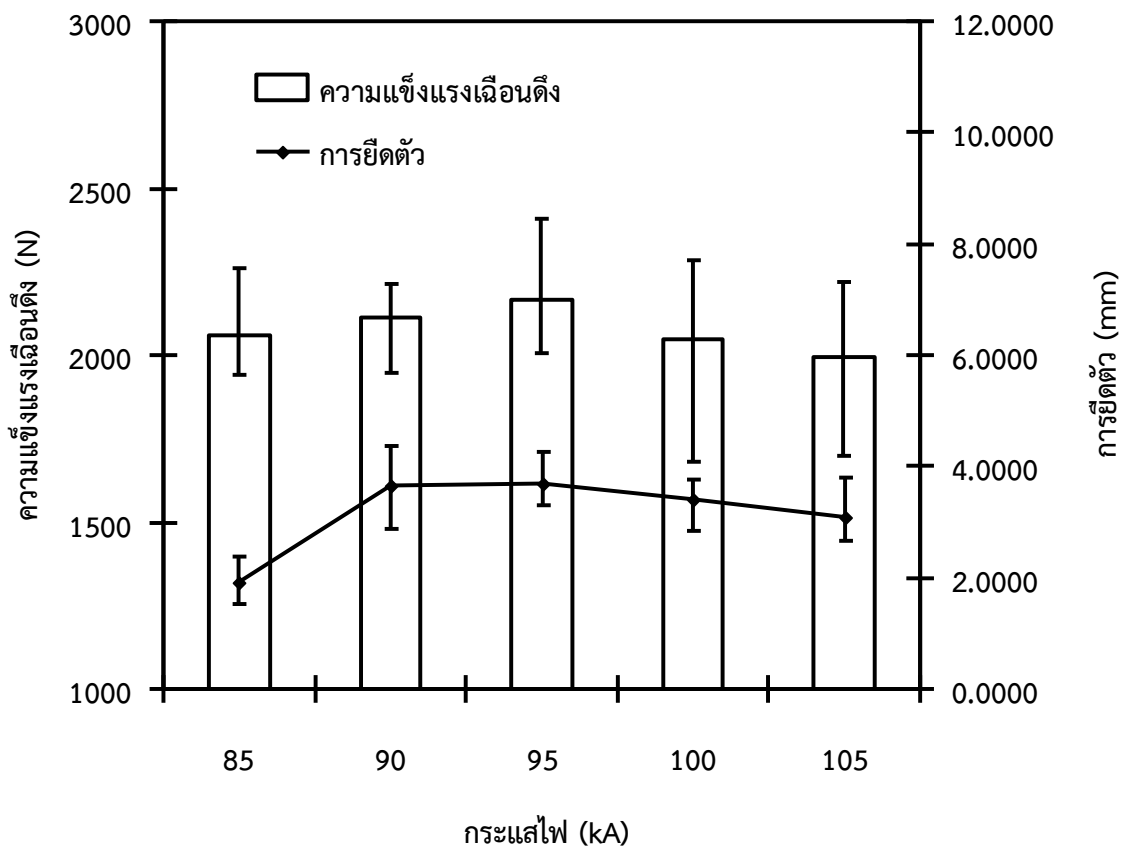


บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

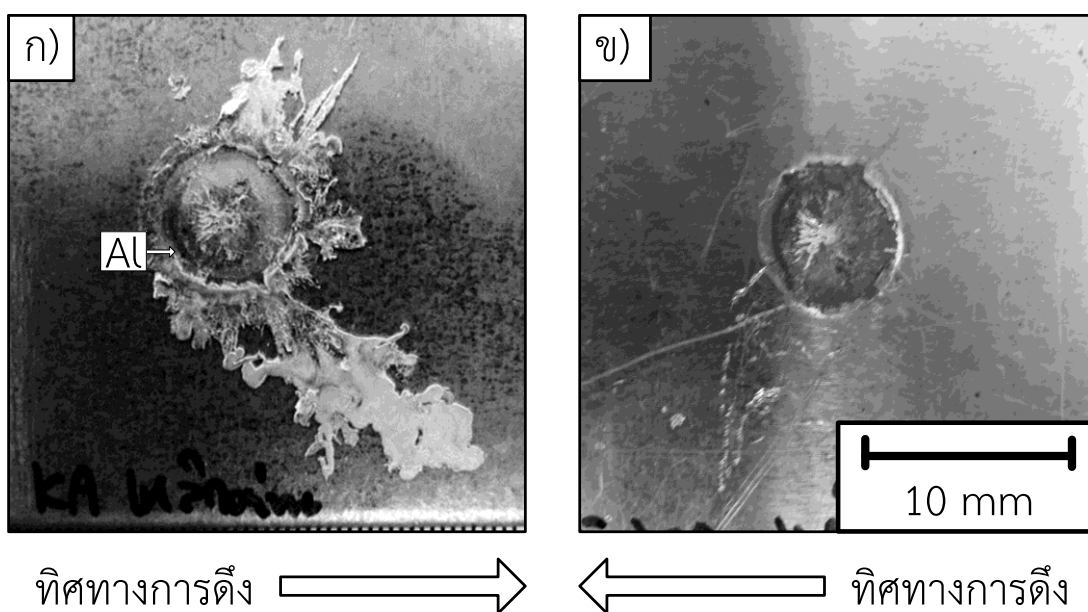
4.1 อิทธิพลกระแสไฟเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงเฉือนดึงของรอยต่อที่กำหนดให้แผ่นเหล็กไว้ด้านบนและแผ่นอลูมิเนียมไว้ด้านล่าง

การทดลองเชื่อมได้ตั้งสมมติฐานเบื้องต้นไว้ว่า “หากนำเอาแผ่นโลหะที่มีความแข็งต่ำกว่า (อลูมิเนียม) ไว้ด้านบน การเกิดการเชื่อมอาจเป็นไปได้ลำบาก เนื่องจากเครื่องเชื่อมเสียดทานแบบจุดที่ทำการทดลองนั้นอิเล็กโทรดเกิดการเคลื่อนที่เพียงอิเล็กโทรดด้านบนลงมาหาอิเล็กโทรดด้านล่าง ความร้อนและแรงกดที่เกิดขึ้นกับแผ่นอลูมิเนียม อาจทำให้แผ่นอลูมิเนียมเสียรูป และส่งผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อได้” ดังนั้นการเชื่อมจึงเริ่มต้นทำการเชื่อมโดยกำหนดให้รอยต่อเกาะระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กที่วางแผ่นเหล็กต่อเกยอลูมิเนียมที่ระยะ 30 มิลลิเมตร ถูกนำมาทำการเชื่อมด้วยแบบจุดด้วยตัวแปรการเชื่อมที่กำหนด โดยเริ่มต้นจากเปลี่ยนแปลงกระแสไฟเชื่อมระหว่าง 85-105 kA โดยกำหนดให้เวลาในการเชื่อม 10 cycles และแรงกด 0.1 MPa จากนั้นทำการทดสอบความแข็งแรงของรอยต่อเกยได้ค่าความแข็งแรงและการยืดตัวของรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า ความแข็งแรงเฉือนดึง และการยืดตัวของรอยต่อเกยที่วางแผ่นเหล็กไว้ด้านบน

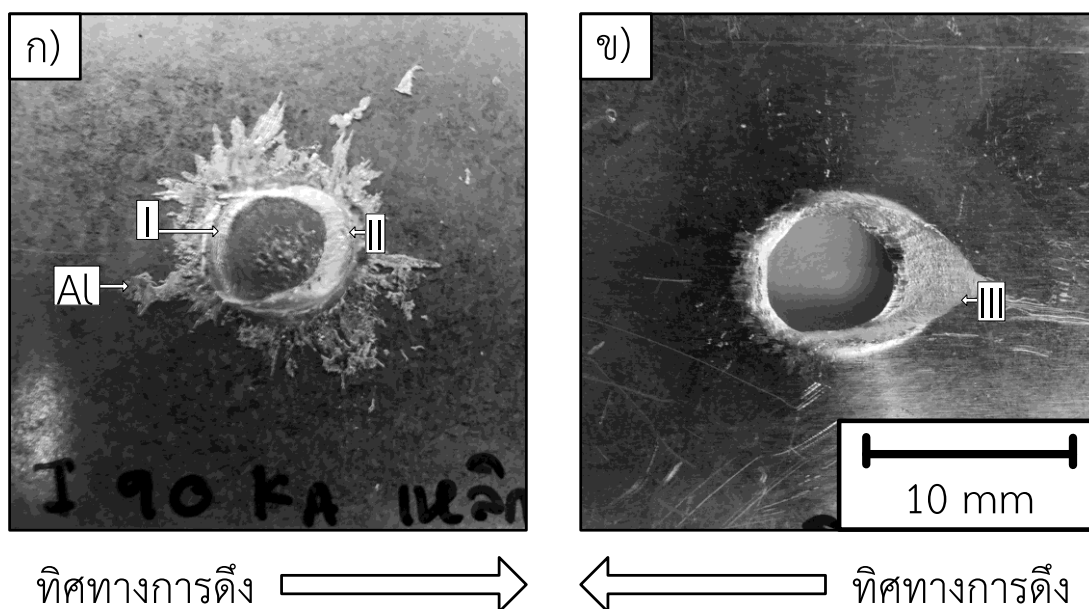
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า ความแข็งแรงเหนือนดึง และการยึดตัวของรอยต่อ
 เกยที่เชื่อมด้วยเวลาในการเชื่อม 10 cycle และแรงกด 0.1 MPa พบว่าความแข็งแรงเหนือนดึงและการยึดตัว
 ของรอยต่อมีค่าสูงขึ้นเมื่อกระแสไฟเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นและแสดงค่าความแข็งแรงสูงสุดที่กระแสไฟเชื่อม 95
 kA ที่ค่าความแข็งแรงเหนือนประมาณ 2200 N และการยึดตัวประมาณ 2.4 มิลลิเมตร การเพิ่มค่าความ
 แข็งแรงเหนือนดึงเกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มกระแสส่งผลทำให้ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในรอยต่อมีค่าสูงขึ้น
 ดังสมการความร้อนที่ได้แสดงไว้ใน การเชื่อมแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีโครไมด์ที่พบว่ากระแสที่เพิ่มส่งผลเป็น
 ทวีคูณต่อการเพิ่มความร้อนในรอยต่อ [20] อย่างไรก็ตามเมื่อกระแสไฟเชื่อมมีค่าสูง คือ 100-105 kA พบว่า
 ค่าความแข็งแรงเหนือนดึงและการยึดตัวมีค่าลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าลดลงเมื่อกระแสมีค่าต่ำกว่า 95
 kA แล้วมีค่าการลดลงของค่าความแข็งแรงเหนือนดึงและการยึดตัวน้อยกว่า



รูปที่ 4.2 รูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงเหนือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 85 kA: (ก) แผ่นเหล็ก และ (ข)
 แผ่นอลูมิเนียม

รูปที่ 4.2 แสดงผิวหน้าการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงเหนือนดึงที่กระแสไฟเชื่อมต่างๆ รูปรอย
 พังทลายแถวด้านบนเกิดจากการแยกแผ่นเหล็กที่อยู่ด้านบนที่ปกติถูกวางคว่ำประกบบนแผ่นอลูมิเนียมให้
 หายขึ้น และถ่ายภาพ ขณะที่แถวด้านล่าง คือ รอยพังทลายของแผ่นอลูมิเนียมหลังจากดึงขาดออกจากกัน
 ในการทดสอบค่าความแข็งแรงเหนือนดึงที่แสดงผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.1 นั้นแผ่นเหล็กถูกดึงไป
 ด้านขวา ขณะที่แผ่นอลูมิเนียมถูกดึงไปด้านซ้าย พิจารณารอยการกระจายตัวของเศษอลูมิเนียมที่เกิดจาก
 ความร้อนเสียตทานที่แตกต่างกันจากการให้กระแสไฟเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่าเศษของอลูมิเนียมมีการ
 กระจายตัวออกมารอบๆ บริเวณพื้นที่การเชื่อมและกระจายตัวไประหว่างรอยต่อของแผ่นอลูมิเนียมและ
 เหล็ก เศษของอลูมิเนียมที่กระจายออกไปจากการตรวจสอบพบว่ามีกระจายตัวสูงที่ใช้กระแสไฟ
 เชื่อมต่ำ คือ 85 kA ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก) เศษอลูมิเนียมที่กระจายตัวออกนี้ทำให้พื้นที่รับแรงของรอยต่อ

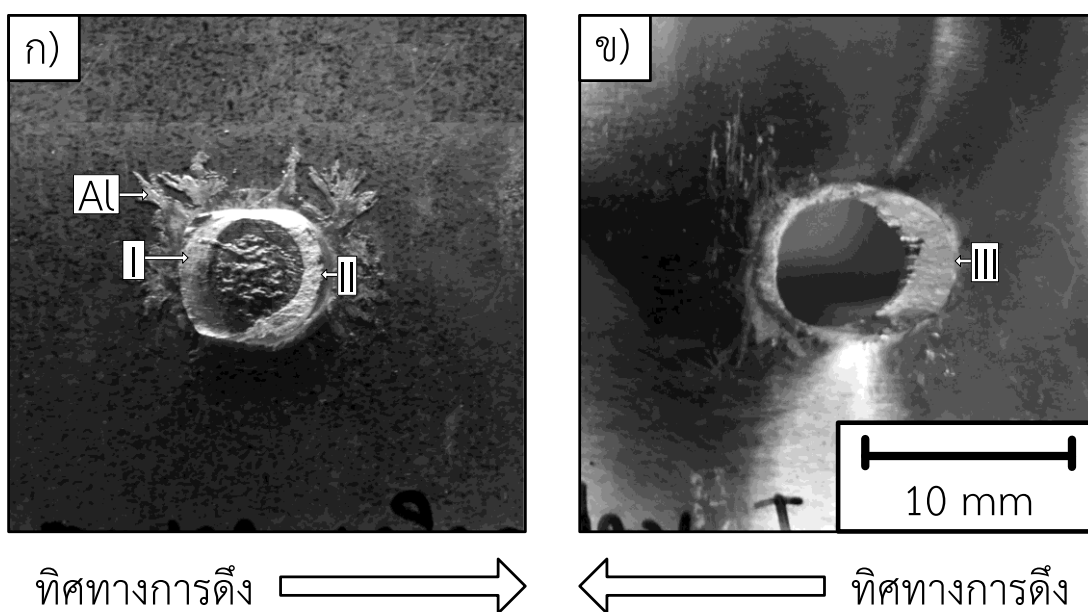
บริเวณที่ทำการรับแรงเฉือนดิ่งมีค่าน้อยลงและส่งผลทำให้ค่าการรับแรงเฉือนดิ่งมีค่าน้อย นอกจากนั้นที่บริเวณรอยฉีกขาดบนพื้นที่การเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก) และ (ข) พบว่าการฉีกขาดนั้นเกิดที่อินเทอร์เฟซระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก เนื่องจากการตรวจสอบในระดับกำลังขยายต่ำ (Macro interface examination) กำลังขยายไม่เกิน 10 เท่าด้วยภาพถ่ายดังแสดงในรูปที่ 4.2 นั้น ไม่พบเศษอลูมิเนียมบนผิวเหล็ก หรือเศษเหล็กบนผิวอลูมิเนียม อย่างไรก็ตามการตรวจสอบที่กำลังขยายสูง เช่น ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope: SEM) และการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีบริเวณรอยพังทลายอาจต้องมีการตรวจสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองต่อไป



รูปที่ 4.3 รูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงเฉือนดิ่งที่เชื่อมด้วยกระแส 90 kA: (ก) แผ่นเหล็ก และ (ข) แผ่นอลูมิเนียม

รูปที่ 4.3 (ก) และ รูปที่ 4.4 (ก) แสดงผิวรอยพังทลายของชิ้นทดสอบแรงเฉือนดิ่งที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 90 และ 95 kA เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวการพังทลายของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 85 kA ของแผ่นเหล็ก พบว่ารูปการพังทลายของรอยต่อที่กระแสไฟเชื่อมทั้งสองมีความแตกต่างจากกระแสไฟเชื่อม 85 kA อย่างชัดเจน กล่าวคือ การกระจายตัวของเศษอลูมิเนียมบนแผ่นเหล็กที่กระจายตัวบริเวณรอบๆ แนวเชื่อม มีปริมาณลดลงเมื่อกระแสไฟเชื่อมเพิ่มขึ้น อลูมิเนียมที่กระจายออกมานั้นแสดงการกระจายต่ำสุดเมื่อใช้กระแสไฟเชื่อม 95 kA ซึ่งเป็นกระแสไฟเชื่อมที่แสดงค่าความแข็งแรงดิ่งสูงสุดในการทดลองนี้ การยึดติดของอลูมิเนียมและเหล็กมีการยึดติดที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนของอลูมิเนียมที่ติดบนแผ่นเหล็กดังแสดงด้วยลูกศร I ในรูปที่ 4.3 (ก) และ รูปที่ 4.4 (ก) ผิวของรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 95 kA แสดงผิวเชื่อมที่มีความขรุขระมากกว่าอันเกิดจากกระแสไฟเชื่อมที่สูงกว่าทำให้เกิดความร้อนที่มากกว่าในการหลอมวัสดุเข้าด้วยกัน ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 90 และ 95 kA มีการพังทลายเนื่องจากแรงเฉือนดิ่งรอบๆ บริเวณพื้นที่การยึดติดของอลูมิเนียมและ

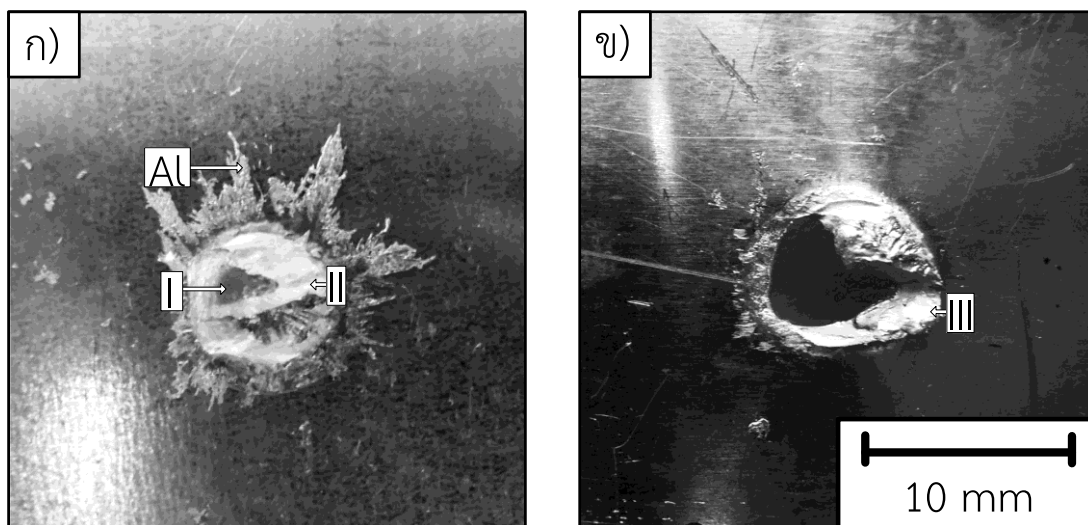
เหล็กดังแสดงด้วยลูกศร II ในรูปที่ 4.3 (ก) และ รูปที่ 4.4 (ก) โดยตำแหน่งการฉีกขาดเกิดที่เนื้ออลูมิเนียมรอบๆ พื้นที่การเชื่อมที่ด้านอลูมิเนียม โดยสามารถยืนยันการฉีกขาดบนแผ่นอลูมิเนียมได้ดังแสดงด้วยลูกศร III ในรูปที่ 4.3 (ข) และ รูปที่ 4.4 (ข) และพบว่าแนวเชื่อมของอลูมิเนียมและเหล็กมีความแข็งแรงสูงกว่าแผ่นวัสดุอลูมิเนียม เนื่องจากวัสดุเกิดการฉีกขาดที่แผ่นรอยต่อเกยด้านอลูมิเนียมและไม่เกิดการพังทลายที่อินเทอร์เฟซของรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 4.2 ในการศึกษาทดลองนี้รอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 95 kA แสดงความแข็งแรงเฉือนดึงสูงสุดที่ค่าประมาณ 2165 N ความแข็งแรงที่สูงกว่าของรอยต่อเมื่อเปรียบเทียบกับความแข็งแรงของรอยต่อเกยที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 90 kA เมื่อพิจารณาจากรอยพังทลายพบว่า พื้นที่การฉีกขาดของรอยต่อด้านแผ่นอลูมิเนียมของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 95 kA มีค่ามากกว่าจึงสามารถรับแรงได้ดีกว่า



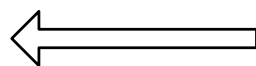
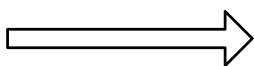
รูปที่ 4.4 รูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 95 kA: (ก) แผ่นเหล็ก และ (ข) แผ่นอลูมิเนียม

รูปที่ 4.5 แสดงรอยการฉีกขาดของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแส 100 kA ด้านเหล็กและอลูมิเนียมตามลำดับ พบว่าแนวเชื่อมมีความแข็งแรงต่ำกว่ากระแสไฟเชื่อม 95 kA แนวการฉีกขาดแตกต่างออกไป กล่าวคือ การฉีกขาดไม่ได้เกิดขึ้นรอบๆ พื้นที่การเชื่อมแต่เกิดสลับกันไปในพื้นที่การเชื่อมที่แสดงทั้งพื้นที่การเชื่อมที่เกิดจากการกดของอิเล็กโทรดดังแสดงด้วยลูกศร I และพื้นที่ที่เกิดการฉีกขาดบนส่วนของแผ่นอลูมิเนียมดังแสดงด้วยลูกศร II หากเปรียบเทียบกับรอยเชื่อมที่ใช้กระแสไฟเชื่อม 95 kA แล้วสาเหตุที่รอยต่อมีความแข็งแรงต่ำกว่า คือ พื้นที่การรับแรงของรอยต่อมีค่าน้อยกว่า อันเกิดจากอลูมิเนียมที่ถูกทำให้กระจายออกด้านนอกรอบข้างแนวเชื่อมที่มากกว่า อย่างไรก็ตามรอยเชื่อมที่กระแสไฟนี้แสดงค่าที่มีความแข็งแรงที่ใกล้เคียงกับความแข็งแรงของแผ่นอลูมิเนียมเพราะแสดงการฉีกขาดในเนื้อของอลูมิเนียมดังแสดงด้วยลูกศร III การเพิ่มกระแสไฟเชื่อมมีค่าเท่ากับ 105 kA พบว่ารอยฉีกขาดมีรูปแบบใกล้เคียงกับรอยเชื่อมที่

เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 95 kA คือ มีการฉีกขาดรอบๆ แนวเชื่อมบริเวณแผ่นอลูมิเนียม แต่พื้นที่การฉีกขาด หรือพื้นที่รับแรงมีค่าน้อยกว่า จึงเป็นสาเหตุทำให้รอยต่อแสดงค่าต่ำกว่า

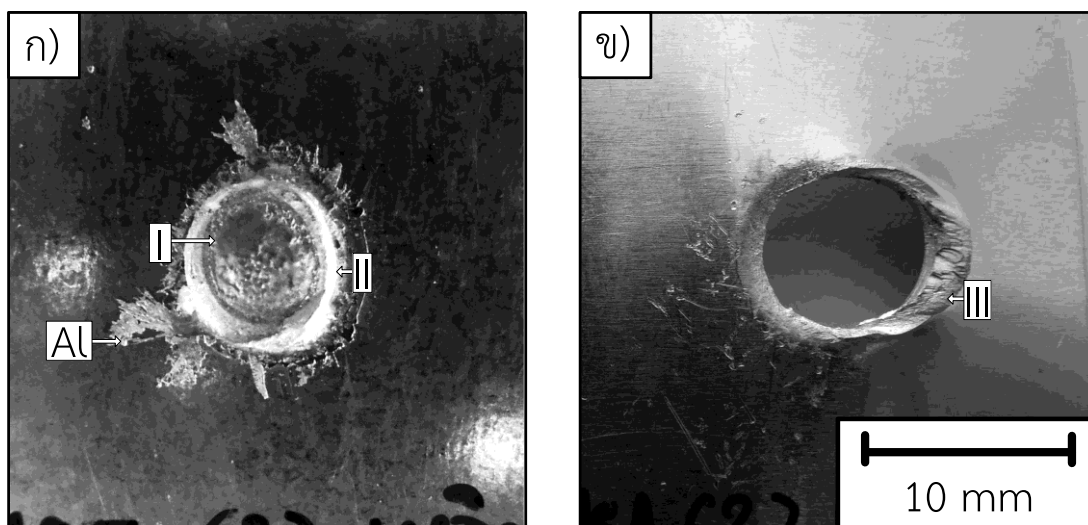


ทิศทางการดึง

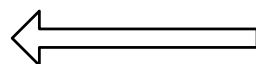
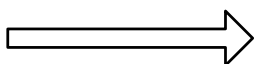


ทิศทางการดึง

รูปที่ 4.5 รูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 100 kA: (ก) แผ่นเหล็ก และ (ข) แผ่นอลูมิเนียม



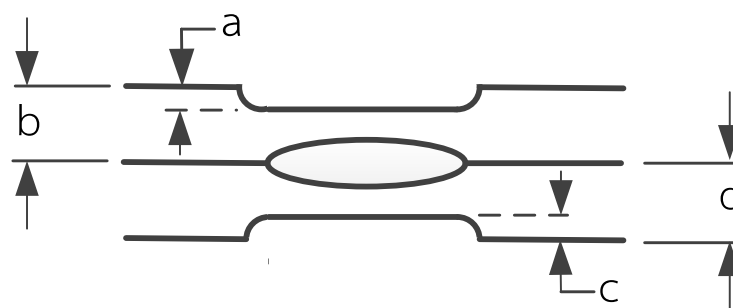
ทิศทางการดึง



ทิศทางการดึง

รูปที่ 4.6 รูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงเฉือนดึงที่เชื่อมด้วยกระแส 105 kA: (ก) แผ่นเหล็ก และ (ข) แผ่นอลูมิเนียม

การกระจายของอลูมิเนียมบนแผ่นเหล็กมีค่าลดลงเมื่อกระแสไฟเพิ่มขึ้นเป็น 105 kA ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก) เมื่อเปรียบเทียบกับรอยฉีกขาดของแผ่นเหล็กที่เชื่อมด้วยกระแส 100 kA ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ก) พบว่าพื้นที่ของอลูมิเนียมที่ซรุขระที่แสดงการเชื่อมนั้นมีปริมาณพื้นที่ใหญ่ขึ้นดังแสดงด้วยลูกศร I ขณะที่พื้นที่ของการฉีกขาดของอลูมิเนียมดังแสดงด้วยลูกศร II มีขนาดเล็กลง ซึ่งตรวจสอบได้ว่าการขาดเกิดที่ทางด้านแผ่นอลูมิเนียมดังแสดงด้วยลูกศร III ในรูปที่ 4.5 (ข)



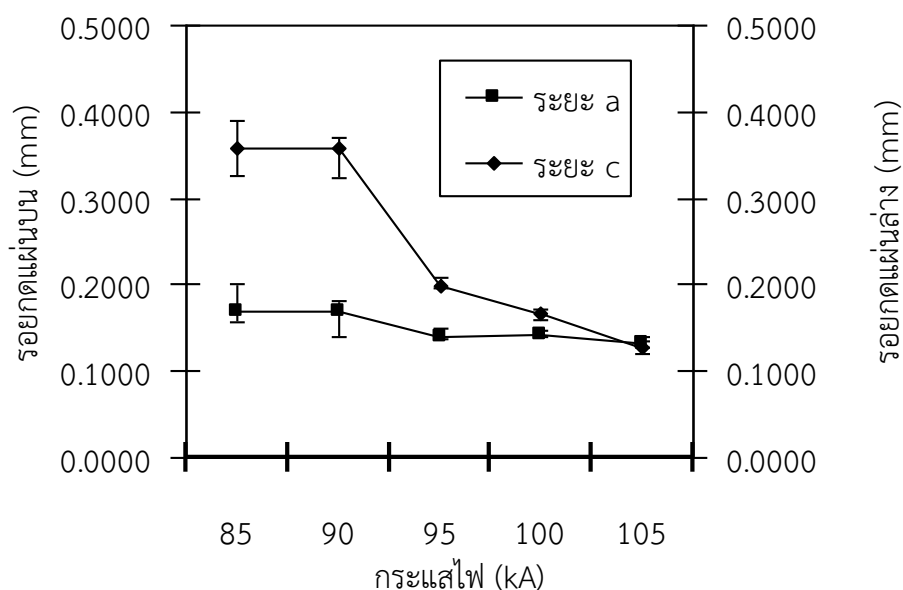
รูปที่ 4.7 ตำแหน่งและระยะการวัดรอยกุด [22]

การนำรอยต่อการเชื่อมด้านทานแบบจุดไปใช้งานในงานอุตสาหกรรม รอยต่อควรมีรูปร่างของรอยเชื่อมเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น หมายเลข JIS Z31339 [22] ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยมีค่าสำคัญที่ต้องวัดดังแสดงในรูปที่ 4.7 คือ ความลึกของรอยกุดด้านบน (a) ความลึกของรอยกุดด้านล่าง อัตราส่วน (b) อัตราส่วนระหว่างความลึกรอยกุดและความหนาแผ่นบน (a/b) และอัตราส่วนระหว่างความลึกรอยกุดและความหนาแผ่นล่าง (c/d) ผลการตรวจสอบที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.1 ค่าระดับคุณภาพของรอยเชื่อมด้านทานแบบจุด JIS Z31339 [22]

ระดับ	คุณภาพผิวสำเร็จ
A	คุณภาพผิวสำเร็จที่มีคุณภาพสูง ผิวสำเร็จต้องเรียบ ไม่มีรอยกุด ไม่มีรอยแตกร้าว และไม่มีรูปแบบต่างๆ
B	คุณภาพผิวสำเร็จที่มีความละเอียด รอยกุดแผ่นบนและล่างไม่ลึกเกิน 0.1 มิลลิเมตร ไม่มีรอยแตกร้าว ไม่มีรูปแบบต่างๆ และไม่มีเศษที่เกิดการกระจายออกมาของโลหะ
C	คุณภาพผิวสำเร็จที่มีความละเอียดปานกลาง รอยกุดแผ่นบนและล่างไม่ลึกเกิน 0.3 มิลลิเมตร ไม่มีรอยแตกร้าว ไม่มีรูปแบบต่างๆ และไม่มีเศษที่เกิดการกระจายออกมาของโลหะ
D	ไม่คำนึงถึงรูปร่างรอยเชื่อม ไม่มีรอยแตกร้าว

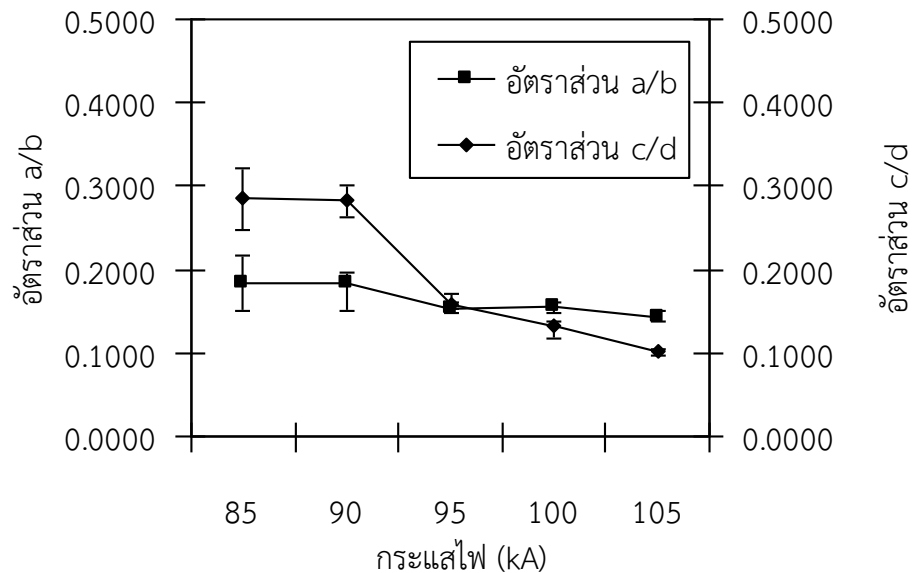
รูปที่ 4.8 แสดงความลึกของรอยกตออิเล็กโทรดการเชื่อมด้านทานแบบจุดบนผิวรอยต่อเกยที่กระแสไฟต่างๆ พบว่ารอยกตอที่เกิดขึ้นมีความลึกเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟเพิ่มขึ้น ความลึกของรอยกตอที่เกิดขึ้นบนผิวของแผ่นเหล็กที่ถูกกำหนดไว้ด้านบนมีค่าประมาณ 0.1800 - 0.1200 มิลลิเมตร และมีค่าลดลงเมื่อกระแสไฟเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 85 ถึง 105 kA เมื่อนำค่าความลึกของรอยกตอไปเปรียบเทียบกับความลึกของรอยกตอด้านแผ่นอลูมิเนียมที่ถูกกำหนดไว้ที่ด้านล่าง พบว่า ความลึกของรอยกตอมีค่าสูงประมาณ 3.5000 - 3.6000 มิลลิเมตร ในการเชื่อมที่กระแสไฟ 85-90 kA ความลึกมีค่าของรอยกตอมีค่าลดลงเมื่อกระแสไฟเชื่อมมีค่าลดลงเช่นเดียวกันกับด้านแผ่นเหล็ก ผลความลึกของรอยกตอที่วัดได้นี้เมื่อนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่าคุณภาพแนวเชื่อมด้านทานแบบจุดของผลิตภัณฑ์ยานยนต์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น หมายเลข JIS Z31339 พบว่าความลึกของรอยกตอการเชื่อมด้านแผ่นอลูมิเนียมของกระแสไฟเชื่อม 85 และ 90 kA นั้นไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานเนื่องจากความลึกของรอยกตอมีค่าสูงกว่าเกณฑ์การยอมรับ ขณะที่ความลึกของรอยกตอของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 95-105 kA นั้นมีค่าความลึกอยู่ในช่วงระดับ C มีค่าความลึกของรอยกตออยู่ที่ 0.1-0.3 มิลลิเมตร ผิวลักษณะนี้เป็นผิวรอยเชื่อมที่มีคุณภาพปานกลาง ต้องการการตกแต่งผิวก่อนสามารถนำไปใช้งานได้เนื่องจากไม่พบการเกิดการแตกร้าว (Crack) ขึ้นในบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม



รูปที่ 4.8 ความลึกของรอยกตออิเล็กโทรดของรอยต่อที่กำหนดให้แผ่นเหล็กอยู่ด้านบน

ความลึกของรอยกตอของอิเล็กโทรดบนผิวรอยต่อเกยนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความหนาของแผ่นวัสดุ เนื่องจากหากความลึกของรอยกตอมีค่ามากอาจทำให้แผ่นงานมีพื้นที่ในการรับแรงลดลงได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่าอัตราส่วนระหว่างรอยกตอของอิเล็กโทรดบนผิวรอยต่อเกยต่อความหนาของแผ่นโลหะ โดยกำหนดไว้ตาม JIS Z31339 ว่าอัตราส่วนนี้ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.3 รอยต่อเกยจึงสามารถนำไปใช้งานในระดับคุณภาพแนวเชื่อมที่ยอมรับได้ ค่าอัตราส่วนอัตราส่วนระหว่างรอยกตอของอิเล็กโทรดบนผิวรอยต่อเกยต่อความหนาของแผ่นโลหะของการศึกษาครั้งนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.9 อัตราส่วนความลึกของรอยกตอบนผิว

รอยต่อเกยต่อความหนาแผ่นโลหะของรอยต่อเกยที่กระแสไฟต่างๆ ที่พบว่าค่าอัตราส่วนความลึกของรอยกุดบนผิวรอยต่อเกยต่อความหนาแผ่นโลหะมีค่าลดลงเมื่อกระแสไฟเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามที่กระแสไฟ 85 kA ควรหลีกเลี่ยงนำไปใช้งาน เนื่องจากค่าอัตราส่วนความลึกของรอยกุดบนผิวรอยต่อเกยต่อความหนาแผ่นโลหะมีค่าใกล้เคียงค่าขีดจำกัดการยอมรับมากเกินไป



รูปที่ 4.9 อัตราส่วนความลึกของรอยกุดบนผิวรอยต่อเกยที่กำหนดให้แผ่นเหล็กอยู่ด้านบน ต่อความหนาแผ่นโลหะของรอยต่อเกยที่กระแสไฟต่างๆ

การทดลองในส่วนนี้ได้ทำการเชื่อมตันทานแบบจูดรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียมเกรด AA1100 และ เหล็กกล้าเคลือบสังกะสีเกรด SGACD โดยทำการศึกษาอิทธิพลของกระแสไฟที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อ ผลการศึกษาสำคัญมีดังนี้

- การเชื่อมตันทานแบบจูดสามารถทำให้เกิดรอยต่อเกยที่มีความสมบูรณ์
- การเพิ่มขึ้นของกระแสไฟเชื่อมทำให้ค่าความแข็งแรงแรงฉีกและการยึดตัวของรอยต่อเกยมีค่าเพิ่มขึ้น
- สภาวะการเชื่อมที่แสดงค่าความแข็งแรงแรงฉีกสูงสุดประมาณ 2200 N และการยึดตัวของรอยต่อเกย 2.8 มิลลิเมตร คือ กระแสไฟเชื่อม 95 kA เวลาเชื่อม 10 cycle และแรงกด 0.1 MPa
- ความลึกรอยกุดของอิเล็กโทรดการเชื่อมตันทานแบบจูดบนผิวหน้ารอยต่อเกยมีค่าลดลงเมื่อกระแสไฟมีค่าเพิ่มขึ้น
- อัตราส่วนอัตราส่วนรอยกุดต่อความหนาของแผ่นโลหะมีค่าลดลงเมื่อกระแสไฟเชื่อมเพิ่มขึ้น