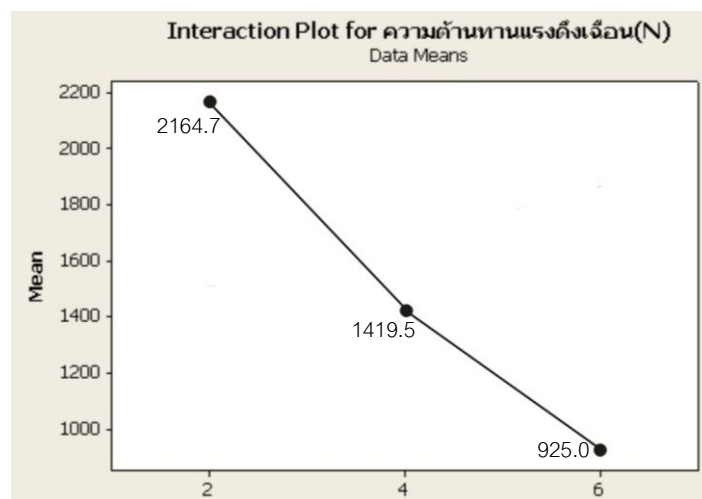


4.5 อิทธิพลของความเร็รรอบของตัวกวน ระยะเวลาการกวดแช่ ความเร็วในการสอตตัวกวนที่มีผลต่อความความแข็งแรงดึงเฉือนที่ความเร็วรอบ 4500 รอบ/นาที

ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน ที่มีสัมพันธระหว่างโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของรอยต่อลุ่มิเนียม 1100 และเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีเกรด SGACD ที่สภาวะต่างๆที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงเฉือน ที่ความเร็วรอบ 4,500 ได้ดังนี้

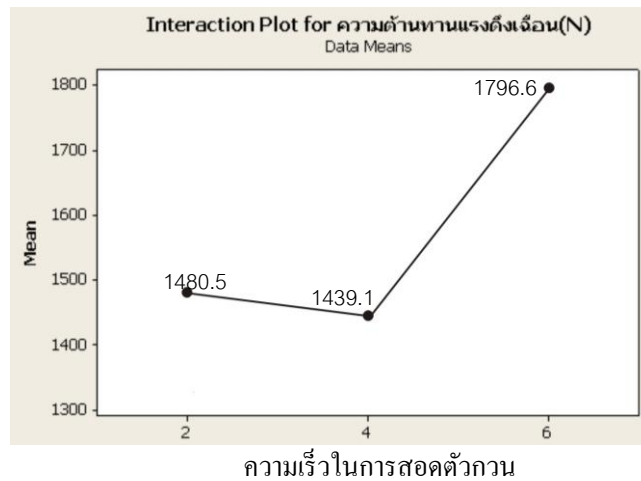
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงเฉือน ที่ความเร็วรอบของตัวกวน 4,500 รอบ/นาที

| ความเร็วรอบ | เวลาแช่ | ความเร็วหัวเชื่อม | ผลการทดสอบครั้งที่ 1 | ผลการทดสอบครั้งที่ 2 |
|-------------|---------|-------------------|----------------------|----------------------|
| 4500 | 2 | 2 | 2218.8 | 2002 |
| 4500 | 2 | 4 | 1931.4 | 2189 |
| 4500 | 2 | 6 | 2381 | 2266 |
| 4500 | 4 | 2 | 1151 | 1293 |
| 4500 | 4 | 4 | 1231.5 | 1262.7 |
| 4500 | 4 | 6 | 1972 | 1607 |
| 4500 | 6 | 2 | 786.6 | 635.5 |
| 4500 | 6 | 4 | 880 | 1048.2 |
| 4500 | 6 | 6 | 1029 | 1170.6 |



ระยะเวลาในการกวดแช่

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของตัวกวนกับระยะเวลาในการกวดแช่



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากดแช่ 2 วินาที กับ ความเร็วในการสอดตัวกวน

ตารางที่ 4.10 ตารางค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนจากการคำนวณ

| A | B | C | Mean | SE Mean |
|------|---|---|--------|---------|
| 4500 | 2 | 2 | 2110.4 | 95.58 |
| 4500 | 2 | 4 | 2060.2 | 95.58 |
| 4500 | 2 | 6 | 2323.5 | 95.58 |
| 4500 | 4 | 2 | 1222.0 | 95.58 |
| 4500 | 4 | 4 | 1247.1 | 95.58 |
| 4500 | 4 | 6 | 1789.5 | 95.58 |
| 4500 | 6 | 2 | 711.0 | 95.58 |
| 4500 | 6 | 4 | 964.1 | 95.58 |
| 4500 | 6 | 6 | 1099.8 | 95.58 |

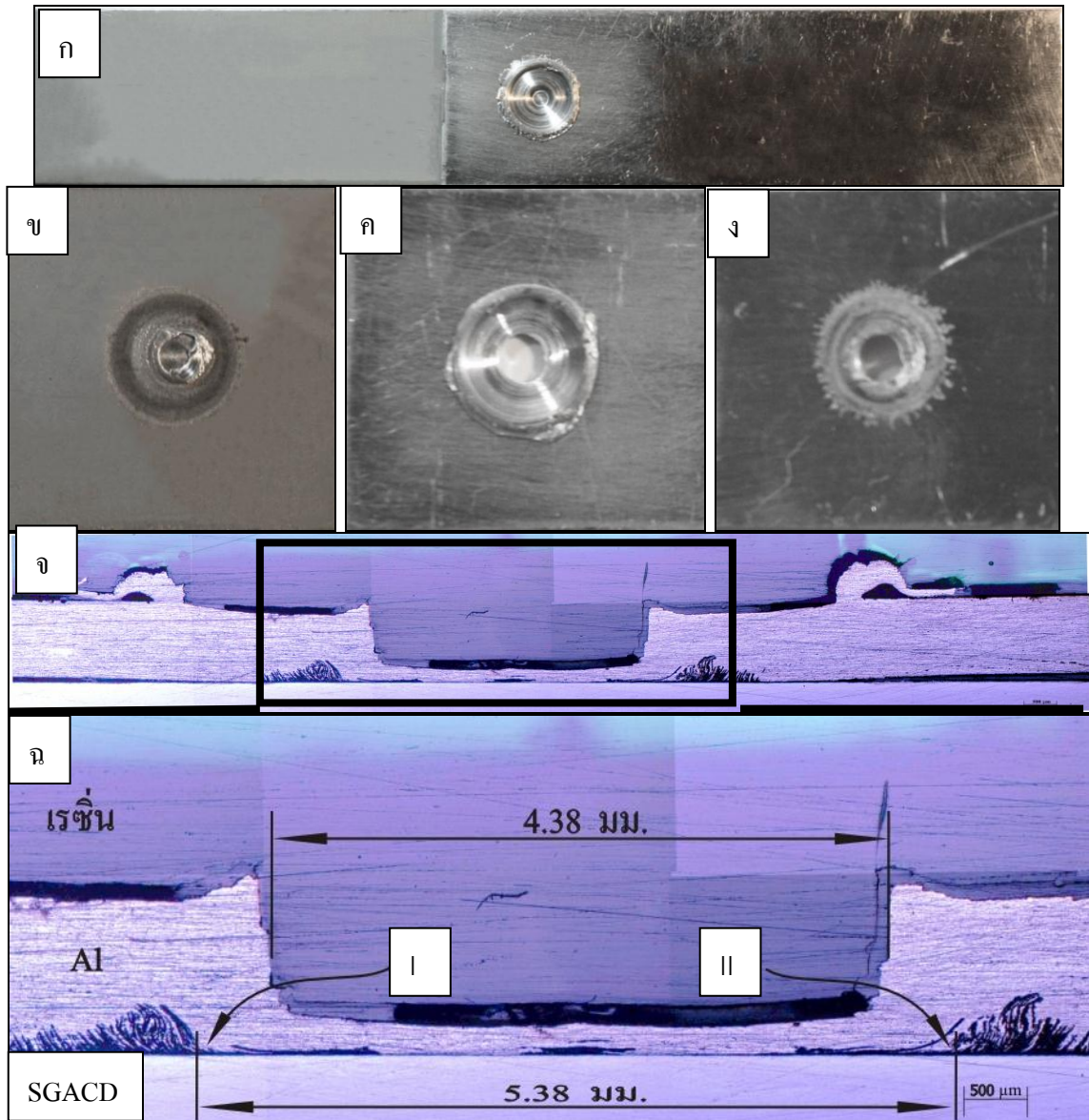
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของตัวกวนกับระยะเวลาในการกดแช่ที่ความเร็วรอบของตัวกวน 4,500 รอบ/นาที พบว่าผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนลดลงในทุก ๆ ระยะเวลาในการกดแช่ที่เพิ่มขึ้น โดยค่าสูงสุดที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนอยู่ที่เวลาในการกดแช่ 2 วินาที และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบของตัวกวน 4,500 รอบ/นาที ที่เวลาในการกดแช่ 2 วินาที ดังแสดงในรูปรูปที่ 4.12 พบว่าความเร็วในการสอดตัวกวนที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลาในการสอดตัวกวนมากขึ้น แต่ก็เป็นผลความแตกต่างที่มีค่าน้อย โดยพิจารณาได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการกดแช่ 2 วินาที กับระยะเวลาในการสอดตัวกวน อย่างไรก็ตามค่าที่สูงที่สุดของระยะเวลาในการสอดตัวกวนที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือน คือ 6 มม./นาที

ผลการคำนวณที่ได้สูงสุดถูกนำมาทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผล โดยทำการเชื่อมที่ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 4,500 รอบ/นาที ที่ระยะเวลาในการกดแช่ 2 วินาที และความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที แล้วนำไปทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4. 11 ตารางผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนซ้ำ เปรียบเทียบจากการคำนวณ

| ผลการทดสอบ | ชั้นที่ 1 | ชั้นที่ 2 | ชั้นที่ 3 | ชั้นที่ 4 | ชั้นที่ 5 | เฉลี่ย | การคำนวณ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|----------|
| แรงดึงเฉือน | 2305.2 | 2320.5 | 2260.6 | 2350.6 | 2230.4 | 2293.46 | 2323.5 |

การศึกษาระยะเวลาที่เกิดการเชื่อม เพื่อศึกษาลักษณะพื้นที่ที่เกิดการเชื่อมยึดโดยการวัดขนาดรอยเชื่อม โดยการทดสอบสมบัติทางกลของรอยเชื่อมด้วยการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน



รูปที่ 4.13 ชั้นทดสอบเพื่อหาความต้านทานแรงดึงเฉือน ที่ ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 4,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 2 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที

รูปที่ 4.13 (ก) แสดงชิ้นงานที่เชื่อมในลักษณะการต่อแยกก่อนการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง โดยการควบคุมปัจจัยในการเชื่อมที่ความเร็วรอบของหัวเชื่อม 4,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการ

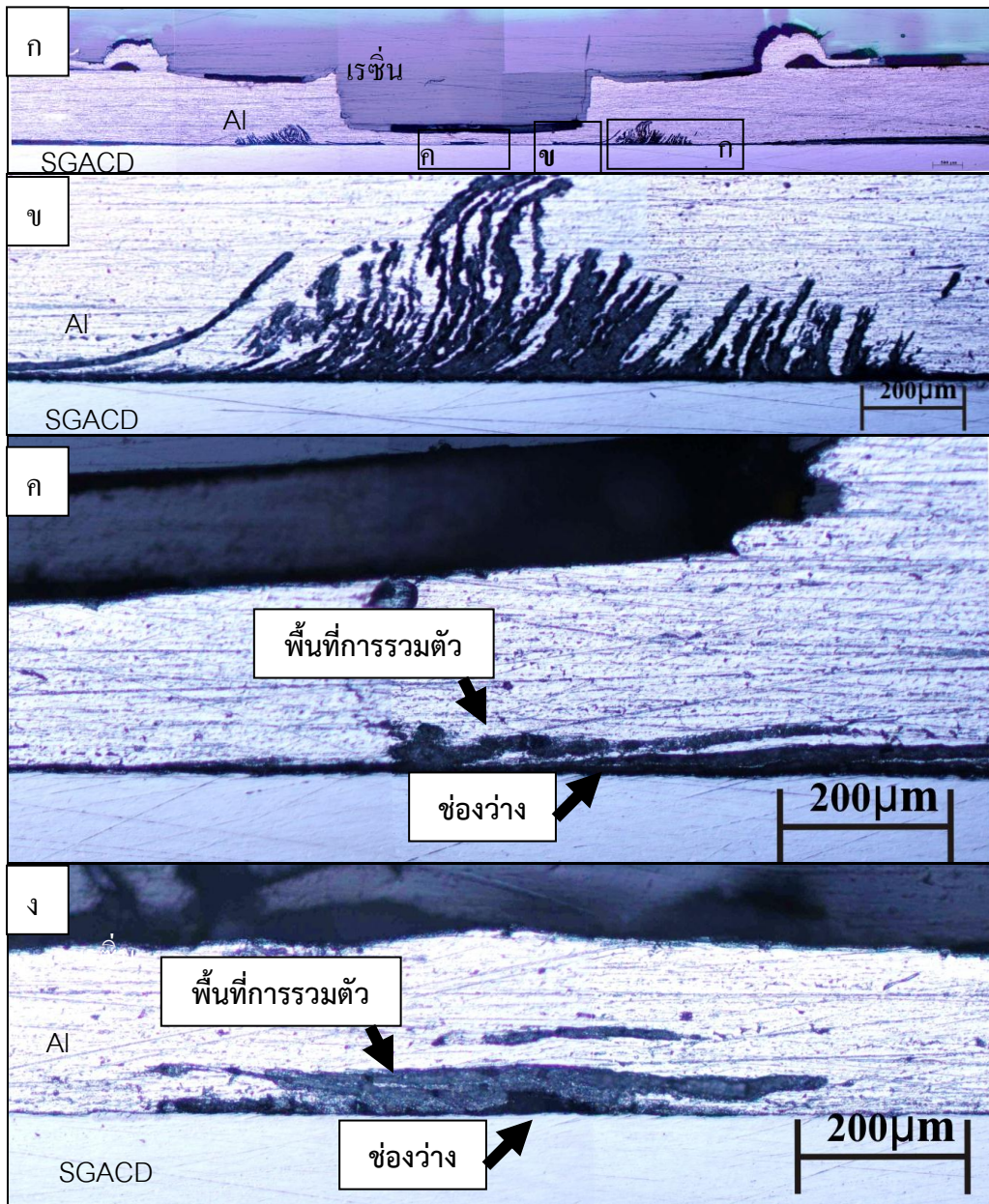
กตแช่ 2 วินาที และความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที หลังจากทำการเชื่อมแล้วได้ทำการวัดขนาดของชิ้นทดสอบ พบว่าขนาดความกว้างของบริเวณที่ถูกตัวกวนกดลึกลงไปมีขนาดเท่ากับ 4.38 มม. ซึ่งขนาดความกว้างบริเวณนี้มีขนาดความกว้างกว่า ขนาดความโตของตัวกวนที่ 0.38 มม. ขณะที่ด้านอลูมิเนียมขนาดความกว้างของรอยเชื่อมบริเวณที่บ่าเครื่องมือกดลงไปนั้นมีค่า 10.25

รูปที่ 4.13 (ข)-(ง) แสดงภาพขยายบริเวณรอยเชื่อม พบว่าที่บริเวณผิวการพังทลายของรอยต่อด้านแผ่นเหล็กมีส่วนของอลูมิเนียมถูกอัดลงไปบนแผ่นเหล็ก และแนวการพังทลายเกิดขึ้นเป็นนูนเกือบลากผ่านแนวศูนย์กลางของตัวกวนที่กดลงไป ส่วนของอลูมิเนียมที่ถูกกดลงไปบนแผ่นอลูมิเนียมเกิดจากการกดอลูมิเนียมลงไปบนแผ่นเหล็กดังพบได้จากการขาดหายไปของอลูมิเนียมที่มองจากภาพด้านบนดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ค) นอกจากนี้หากพิจารณาที่บริเวณผิวด้านล่างของอลูมิเนียมที่ถูกประกบลงบนผิวของแผ่นเหล็กดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ง) พบว่าเกิดการฉีกขาดหายไปของอลูมิเนียมบางส่วนซึ่งเชื่อว่าส่วนที่หายไป คือ ส่วนที่อยู่ด้านบนของแผ่นเหล็กดังได้กล่าวไว้ในรูปที่ 4.13 (ข)

รูปที่ 4.13 (จ) แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบของตัวกวน 4,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกตแช่ 2 วินาที และความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที พบส่วนของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นคล้ายกับโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่มีการกล่าวถึงในหัวข้อที่ผ่านมา ความกว้างของรูที่เกิดจากการสอดตัวกวนมีค่า 4.30 มม. ตำแหน่งการพังทลายของรอยต่อเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง I และ II ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ฉ) โดยมีระยะความกว้างของตำแหน่งทั้งสอง คือ 5.38 มม.

โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่ตำแหน่ง I ถึง III ของโครงสร้างมหภาคดังแสดงในรูปที่ 4.14 (ก) ถูกนำมาแสดงอีกครั้งในรูปที่ 4.14 (ข)-(ง) ตามลำดับ แนวเส้นสีดำที่เกิดขึ้นบริเวณด้านมุมขวาของตัวกวนดังแสดงในรูปที่ 4.14 (ข) แสดงลักษณะคล้ายกับต้นหญ้าขนาดเล็กเกิดขึ้นจากอินเทอร์เฟซและมีแนวการเกิดทำมุมประมาณ 5-10 องศาจากแนวตั้ง ความกว้างของเส้นสีดำมีขนาดประมาณ 4 ไมครอน และขนาดของความกว้างของเฟสนี้ค่อนข้างจะสม่ำเสมอ แต่เมื่อระยะห่างออกมาก่อนจึงขอบแนวเชื่อม 0.6 มม. ลักษณะของเส้นสีดำนี้จะมีขนาดกว้างขึ้น มีขนาด 52 ไมครอน และยังคงความกว้างไปเรื่อยจนกระทั่ง ถึงจุดที่เกิดพังทลาย เส้นสีดำนี้ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยลักษณะของเส้นสีดำได้ยกตัวขึ้นไม่สูงมากนักมีลักษณะเป็นริ้ว ๆ จากนั้นพบว่าเส้นลักษณะสีดำนี้จะค่อย ๆ เคลื่อนออกไปทางด้านข้าง โดยมีลักษณะที่ปลายของเส้นสีดำนี้ล้นพุ่งออกข้างนอกบริเวณรอยเชื่อม ตรงบริเวณขอบแนวเชื่อมทั้งสองด้าน มีซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่ชิ้นทดสอบเกิดการพังทลาย ขนาดของเส้นมีความสั้นของเส้นต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบในการเชื่อมที่ต่ำกว่าในหัวข้อที่ผ่านมา

รูปที่ 4.13 (ข) แสดงอินเทอร์เฟซของรอยต่อที่บริเวณด้านข้างของตัวกวนพบอลูมิเนียมโดนอัดเข้าไปหาแผ่นเหล็ก และแสดงพื้นที่ที่เกิดการรวมตัวของอลูมิเนียมและเหล็ก (พื้นที่สีเทา) อย่างไรก็ตามด้านล่างของพื้นที่การรวมตัวพบความไม่สมบูรณ์ (พื้นที่ดำ) เกิดขึ้น อินเทอร์เฟซของรอยต่อด้านล่างของตัวกวนดังแสดงในรูปที่ 4.14 (ค) พบอลูมิเนียมโดนอัดเข้าไปหาแผ่นเหล็ก อย่างไรก็ตามปลาบของตัวกวนไม่สามารถสัมผัสถึงแผ่นเหล็กโดยตรง เฟสที่เกิดการรวมตัวของอลูมิเนียมและเหล็กสามารถตรวจสอบพบได้ดังแสดงด้วยพื้นที่สีเทาในรูปที่ 4.13 (ค) อย่างไรก็ตามสามารถพบความไม่สมบูรณ์เป็นลักษณะรูช่องว่างบริเวณอินเทอร์เฟซ



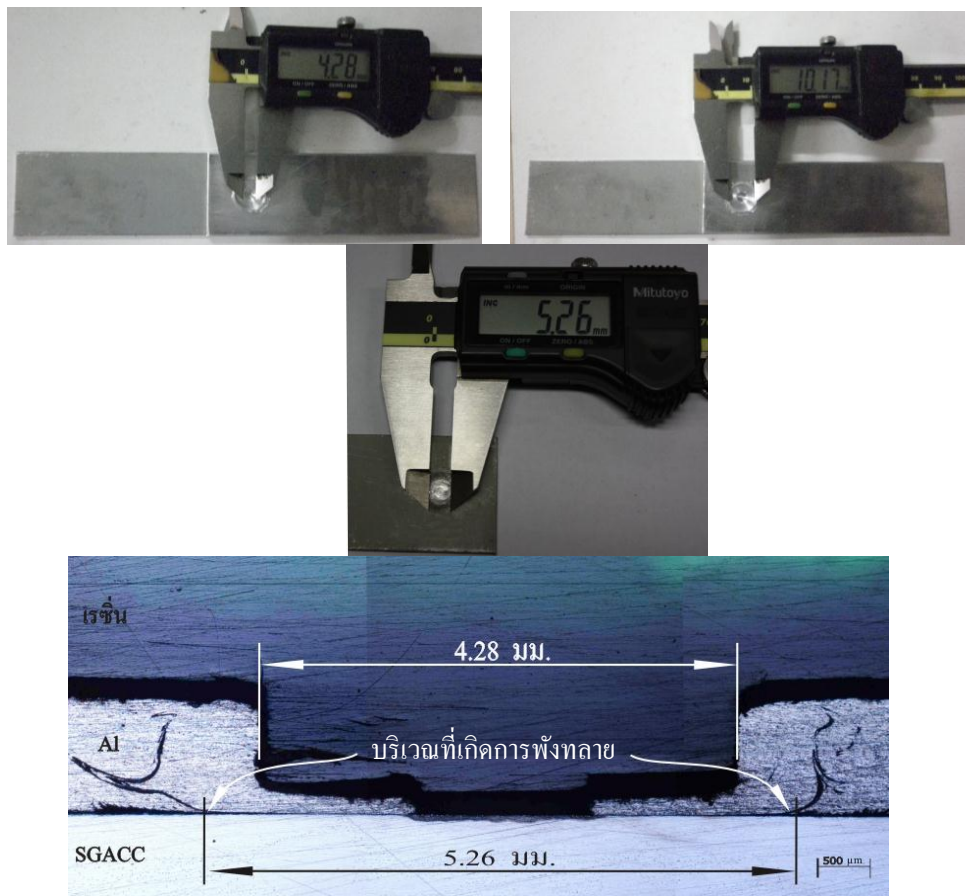
รูปที่ 4.14 โครงสร้างมหภาคและจุลภาคของรอยต่อที่ ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 4,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที

4.6 การวิเคราะห์เปรียบเทียบขนาดรอยเชื่อมและโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อ ที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงเฉือนที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

การวิเคราะห์เปรียบเทียบขนาดรอยเชื่อมและโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อ จึงได้กำหนดอัตราของตัวแปรการเชื่อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อการรวมตัวระหว่างอลูมิเนียม 1100 และเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีเกรด SGACC ในการเชื่อมเสียดทานแบบจุด (Friction Spot Joining : FSJ) โดยการกำหนด

ปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมของแต่ละความเร็วรอบจากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab 15 ลักษณะการกำหนดปัจจัยดังนี้

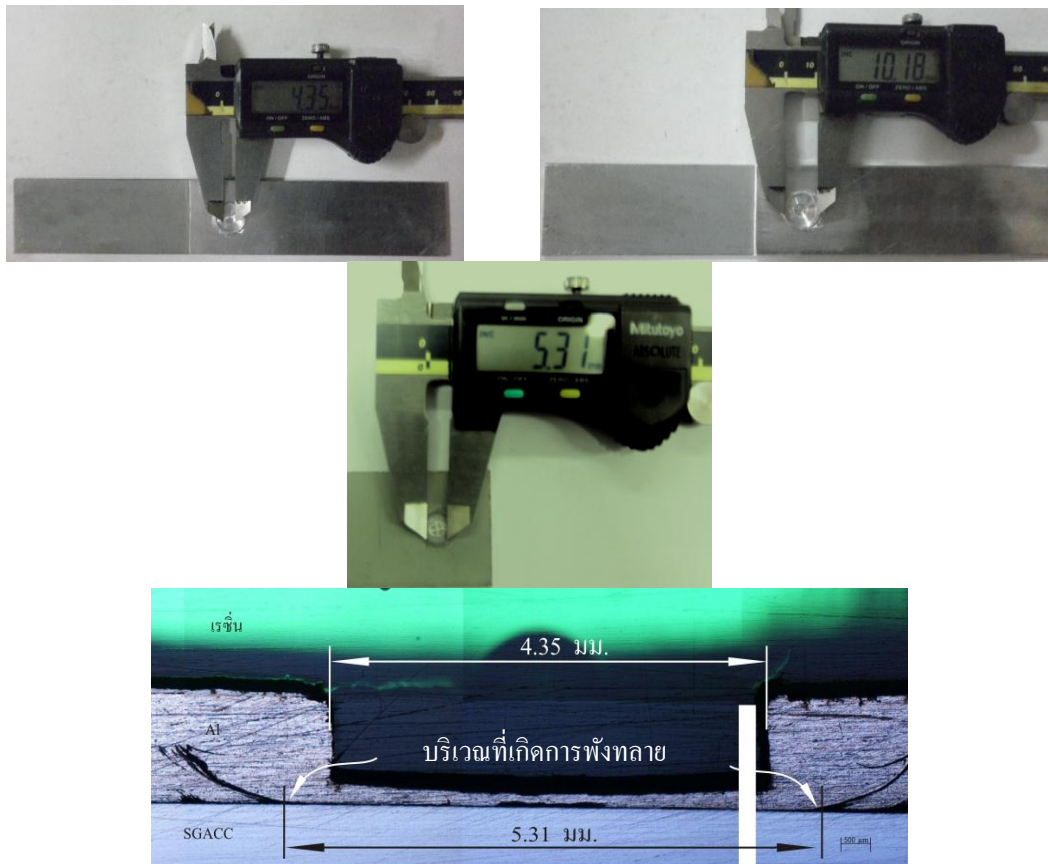
1. ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 3,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกัดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที
2. ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 4,000 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกัดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที
3. ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 4,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกัดแช่ 2 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที



รูปที่ 4.15 ขนาดของรอยเชื่อม ที่ความเร็วรอบตัวกวน 3500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกัดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที

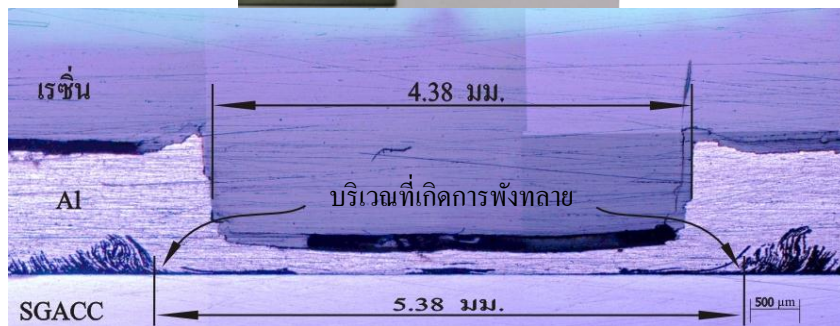
ผลการทดลองพบว่าที่ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 3,500 รอบ/นาที ขนาดความกว้างของบริเวณที่ตัวกวนกดลึกลงไปมีขนาด 4.28 มม. ที่ป่าเครื่องมือเชื่อม มีขนาด 10.17 มม. และเมื่อทำการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงเฉือน รอยที่เกิดจากการทดสอบมีขนาดความกว้าง 5.26 มม. ดังรูปที่ 4.15 ที่ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 4,000 รอบ/นาที ขนาดความกว้างของบริเวณที่ตัวกวนกดลึกลงไปมีขนาด 4.35 มม. ที่ป่าเครื่องมือเชื่อม มีขนาด 10.18 มม. และเมื่อทำการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงเฉือน รอยที่เกิดจากการทดสอบมีขนาดความกว้าง 5.31 มม. ดังรูปที่ 4.16 ความเร็วรอบของตัวกวนที่ 4,500 รอบ/นาที ขนาดความกว้างของบริเวณที่ตัวกวนกดลึกลงไปมีขนาด 4.38 มม. ที่ป่าเครื่องมือเชื่อม มีขนาด 10.25 มม. และเมื่อทำการทดสอบหา

ค่าความต้านทานแรงดึงเฉือน รอยที่เกิดจากการทดสอบมีขนาดความกว้าง 5.38 มม. ดังรูปที่ 4.17 เมื่อทำการเปรียบเทียบ จะพบว่าขนาดความกว้างของบริเวณที่ตัวถวนกดลึกลงไปใ้เนื้ออลูมิเนียม และความกว้างของบริเวณที่เกิดการเสียดทานจากบ่าของเครื่องมือเชื่อม เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ขนาดความกว้างของชั้นทดสอบก็มีขนาดความกว้างมากขึ้นด้วย โดยพบว่าที่ความเร็วรอบตัวถวนที่ 4,500 รอบ/นาที มีขนาดความกว้างมากที่สุด และความเร็วรอบตัวถวนที่ 3,500 รอบ/นาที มีขนาดความกว้างน้อยที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดความกว้างของบริเวณที่เกิดการพังทลายจะพบว่า ที่ความเร็วรอบของตัวถวนที่สูงขึ้น ความกว้างของบริเวณที่พังทลายก็มีแนวโน้มที่สูงขึ้นด้วย ซึ่งความกว้างของบริเวณที่เกิดการพังทลายมากขึ้น หมายความว่า บริเวณพื้นที่ที่เกิดการเชื่อมยึดมากขึ้นด้วย

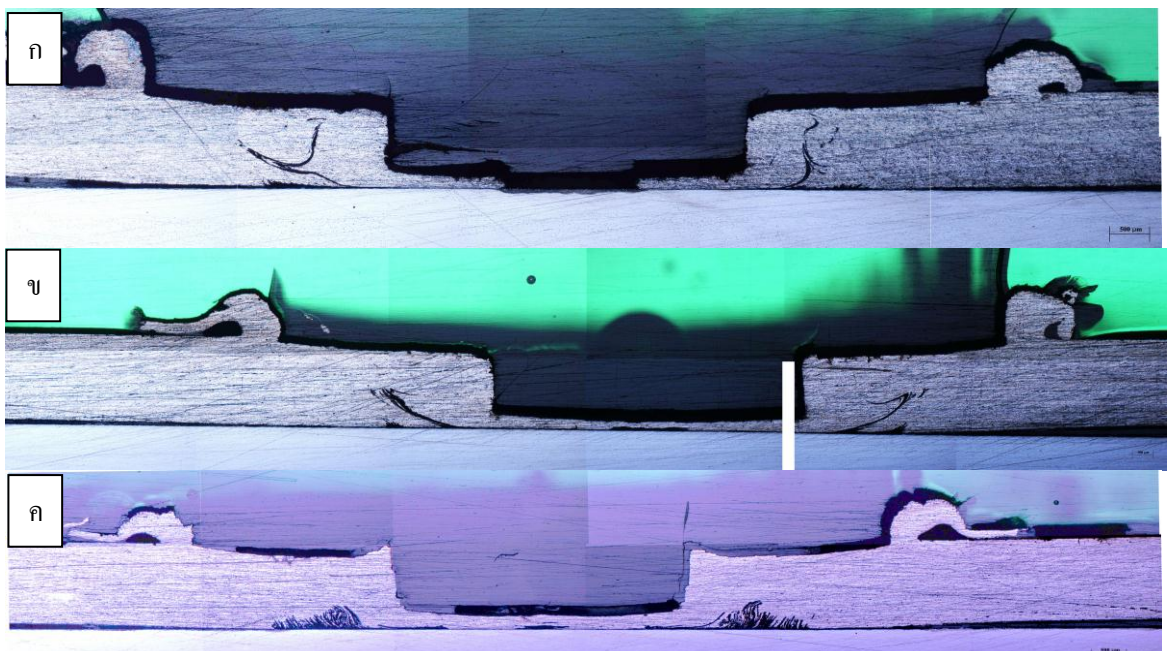


รูปที่ 4.16 ขนาดของรอยเชื่อม ที่ความเร็วรอบตัวถวน 4,000 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกดแช่ 6 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวถวน 6 มม./นาที

การทดสอบแรงดึงเฉือนแสดงบริเวณที่เกิดการพังทลายของชั้นทดสอบ พบว่าทุกความเร็วรอบของตัวถวนจุดที่เกิดการพังทลายของชั้นทดสอบเกิดการพังทลายบริเวณที่เส้นสีดำที่มีลักษณะคล้ายรอยไหม้ของวัสดุที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน เริ่มยกตัวสูงขึ้นสู่จากบริเวณอินเตอร์เฟสขึ้นสู่บนผิวหน้าอลูมิเนียม



รูปที่ 4.17 ขนาดของรอยเชื่อม ที่ความเร็วรอบตัวกวน 4,500 รอบ/นาที ระยะเวลาในการกวดแช่ 2 วินาที และ ความเร็วในการสอดตัวกวน 6 มม./นาที



รูปที่ 4.18 โครงสร้างมหภาคของชิ้นทดสอบ: (ก) 3,500 รอบ/นาที (ข) 4,000 รอบ/นาที และ (ค) 4,500 รอบ/นาที

รูปที่ 4.18 (ก) พบว่าที่ความเร็วรอบตัวถวน 3,500 รอบ/นาที เส้นสีดำที่มีลักษณะคล้ายรอยไหม้ของวัสดุที่ได้รับความร้อนจะยกตัวสูงขึ้นจนถึงบริเวณผิวหน้าของชิ้นทดสอบ เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.18 (ข) ที่ความเร็วรอบของตัวถวน 4,000 รอบ/นาที เส้นสีดำนี้ก็ยกตัวสูงขึ้นเช่นกัน แต่จุดปลายของเส้นสูงสุดอยู่บริเวณกลางของความหนาชิ้นทดสอบ ขณะที่ความเร็วรอบของตัวถวน 4,500 รอบ/นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.18 (ค) แนวเส้นสีดำมีลักษณะการยกตัวของเส้นไม่ได้ยกตัวสูงขึ้น แต่มีลักษณะเป็นริ้วๆ เกาะกลุ่มกัน โดยส่วนปลายของเส้นมีทิศทางออกจากบริเวณจุดศูนย์กลางของบริเวณที่เกิดอินเตอร์เฟส กล่าวได้ว่าที่ความเร็วรอบของตัวถวนที่มีความเร็วรอบต่ำ เส้นสีดำนี้ยกตัวสูงขึ้น ในขณะที่เมื่อความเร็วรอบของตัวถวนสูงขึ้น ส่วนปลายของเส้นสีดำนี้ก็มีแนวโน้มของความสูงที่ต่ำลง ซึ่งที่ความเร็วรอบ 4,500 รอบ/นาที เป็นความเร็วที่เส้นสีดำนี้มีความสูงต่ำที่สุด ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากความเร็วรอบตัวถวนที่ต่ำในขณะที่ทำการเชื่อมบริเวณนี้เกิดการกรวนเกิดขึ้น ซึ่งในขณะที่วัสดุเกิดการอ่อนตัวและเกิดการกรวนเนื้อของวัสดุเกิดขึ้นในขณะเดียวกันนั้นเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของเกิดขึ้นพร้อมกันด้วย แต่เนื่องจากความเร็วรอบตัวถวนที่ต่ำทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่น้อย ทำให้เส้นสีดำซึ่งอาจจะเป็นสารประกอบระหว่างอลูมิเนียมและสังกะสีนี้ก่อตัวสูงขึ้นโดยมีผลมากจากการกรวน ในขณะที่ความเร็วรอบตัวถวนที่สูงขึ้น แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางก็เพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้เส้นสีดำนี้มีแนวโน้มค่อยๆ ต่ำลงมา ซึ่งเส้นสีดำที่มีความต่ำสุดอยู่ที่ความเร็วรอบ 4,500 รอบ/นาที ดังรูปที่ 4.18 (ง)