

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การเชื่อมชิ้นงานในลักษณะการเชื่อมแนวราบ

##### 4.1.1 การทดลองเชื่อมเบื้องต้น

ในการศึกษาเพื่อหาตัวแปรการเชื่อมต่าง ๆ เพื่อให้ได้ลักษณะของรอยเชื่อมที่สมบูรณ์ตามมาตรฐานนั้น ก่อนอื่นจำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวที่มีผลกระทบต่อลักษณะการเกิดรอยเชื่อม หลังจากนั้นจึงนำความสัมพันธ์ต่าง ๆ เหล่านี้มาประมวลเข้าด้วยกัน ตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องศึกษาก่อนประกอบด้วย

- 4.1.1.1 ผลกระทบของความเร็วการเชื่อม ( $V_w$ ) ต่อลักษณะรอยเชื่อม
- 4.1.1.2 ผลกระทบของความถี่พัลส์ ( $f$ ) ต่อลักษณะรอยเชื่อม
- 4.1.1.3 ผลกระทบของ % On Time ต่อลักษณะรอยเชื่อม
- 4.1.1.4 ผลกระทบของกระแสไฟฟ้าเบส ( $I_b$ ) ต่อลักษณะรอยเชื่อม

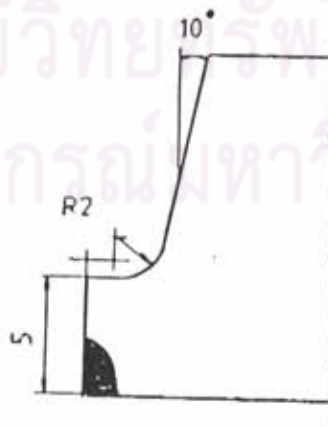
ก่อนที่จะศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ ว่ามีผลต่อลักษณะรอยเชื่อมอย่างไร จำเป็นที่จะต้องหาช่วงของค่าตัวแปรในการเชื่อมที่สามารถเชื่อมชิ้นงานได้ โดยเริ่มต้นจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองของ G. Huismann และ H. Hoffmeister<sup>(3)</sup> ที่ทำการทดลองเชื่อมเทียบเชื่อมฐาน (Root Pass Welding) ของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 329L (Duplex Stainless Steel) จัดเตรียมรอยต่อแบบ Single U-Groove ดังรูปที่ 4.1 ความเร็วในการเชื่อม 4 มิลลิเมตรต่อวินาที เวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าเบส (Base Current Time,  $t_b$ ) 0.45 วินาที เวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าพัลส์ (Pulse Current Time,  $t_p$ ) 0.55 วินาที ค่าตัวแปรเหล่านี้นำมาทดลองเชื่อมบนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนนิติกเกรด 304L ที่ใช้สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ โดยเชื่อมในแนวราบ การปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

สิ่งที่นำมาเป็นตัวตัดสินช่วงของค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสมนั้น คือ การพิจารณา ลักษณะของผิวรอยเชื่อม ซึ่งเป็นผลมาจากความต้องการดังนี้

1. รอยเชื่อมต้องมีการซึมลึกที่เพียงพอ ตาม DIN 8563 เกรด AS <sup>(1)</sup>
2. ในระหว่างการเชื่อมนั้น ช่วงจังหวะของกระแสไฟฟ้าพัลส์ จะต้องมีแรงผลึกมากพอที่จะผลึกน้ำโลหะหลอมเหลวในบ่อน้ำโลหะหลอมเหลวของรอยเชื่อมให้ไหลกลับไปเติมหลุมลึกที่เกิดจากบ่อน้ำโลหะหลอมเหลวก่อนหน้านั้น เพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ตามมาตรฐานที่ต้องการ
3. รอยเชื่อมที่ได้ต้องปราศจากรอยกินลึก (Undercut)

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการทดลองเชื่อมเบื้องต้น ซึ่งจากการทดลองนี้ทำให้ได้ค่าตัวแปรในการเชื่อมต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาถึงความสัมพันธ์ หรือผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อลักษณะรอยเชื่อม ค่าตัวแปรเหล่านั้นประกอบด้วย

1. ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อนาที
2. ความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที
3. เวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าเบส 0.45 วินาที
4. เวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าพัลส์ 0.55 วินาที
5. กระแสไฟฟ้าเบส 42 แอมแปร์
6. กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์



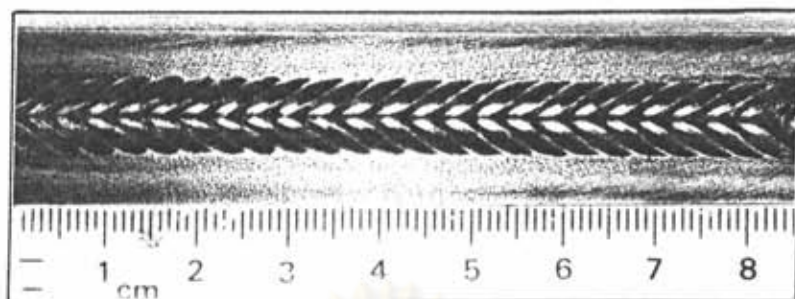
รูปที่ 4.1 การเตรียมรอยต่อแบบ Single U-Groove จากการทดลองของ G. Huismann และ H. Hoffmeister <sup>(3)</sup>

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเชื่อมชิ้นงานขั้นต้น เพื่อหาช่วงของค่าตัวแปรที่เหมาะสมต่อการเชื่อม

ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านบน 16 ลิตรต่อนาที  
 ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านล่าง 8 ลิตรต่อนาที  
 เวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าพัลส์ 0.55 วินาที  
 เวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าเบส 0.45 วินาที  
 ส่วนผสมก๊าซปกคลุม 100% อาร์กอน  
 ตำแหน่งการเชื่อมแนวราบ

หมายเลข ชิ้นงาน	f p/sec	$V_w$ mm/sec	Ip. Amp.	Ib. Amp.	ลักษณะรอยเชื่อม
1	0.75	4.0	144	91	ระยะห่างของแต่ละพัลส์มากเกินไป ทำให้ การเติมบ่อหลอมเหลวไม่ดีพอ ระยะซึ่มเล็กน้อย
2	0.75	4.0	156	91	ระยะห่างของแต่ละพัลส์มากเกินไป ทำให้ การเติมบ่อหลอมเหลวไม่ดีพอ ระยะซึ่มเล็กน้อย
4	0.75	4.0	160	100	ระยะห่างของแต่ละพัลส์มากเกินไป ทำให้ การเติมบ่อหลอมเหลวไม่ดีพอ ระยะซึ่มเล็กน้อย
5	1.0	4.0	160	100	ระยะห่างของพัลส์ดีขึ้น การเติมบ่อหลอมเหลว สมบูรณ์ขึ้น ระยะซึ่มเล็กน้อย
11	1.0	4.0	185	77	การเติมบ่อหลอมเหลวไม่พอ ระยะซึ่มเล็กน้อย
15	1.0	3.50	190	35	อาร์กดับระหว่างการเชื่อม ระยะซึ่มเล็กน้อย
17	1.0	3.33	190	42	รอยเชื่อมทู่ตัวเล็กน้อย เพราะระยะซึ่มมากเกินไป
18	1.0	3.33	190	38	อาร์กดับระหว่างการเชื่อม ระยะซึ่มมากเกินไป
19	1.0	3.45	190	42	ระยะซึ่มเล็กน้อย
20	1.0	3.40	190	42	ลักษณะรอยเชื่อมดี ระยะซึ่มเล็กน้อย

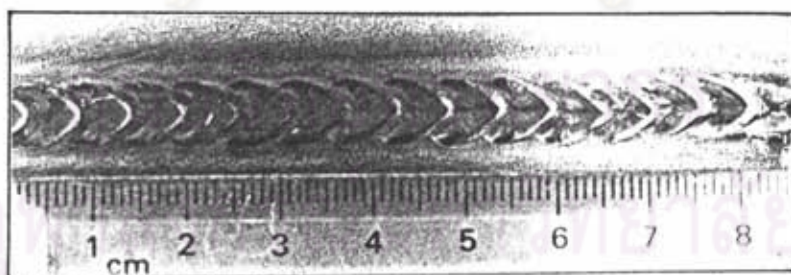
จากตารางที่ 4.1 ชิ้นงานหมายเลข 20 เป็นชิ้นงานที่มีรอยเชื่อมสมบูรณ์  
 ปรากฏจากข้อบกพร่อง ในการทดลองเชื่อมต่อไปจะใช้ตัวแปรการเชื่อมชิ้นงานนี้ เป็นค่าตัวแปร  
 เริ่มต้น



ก



ข



ค

รูปที่ 4.2 รูปแสดงรอยเชื่อมจากการทดลองเชื่อมเบื้องต้น

- ก. ความถี่เชื่อม 1.0 พัลส์ต่อวินาที ความเร็วเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที  
 ข. ความถี่เชื่อม 1.0 พัลส์ต่อวินาที ความเร็วเชื่อม 3.5 มิลลิเมตรต่อวินาที  
 ค. ความถี่เชื่อม 0.75 พัลส์ต่อวินาที ความเร็วเชื่อม 4.0 มิลลิเมตรต่อวินาที

#### 4.1.1.1 ผลกระทบของความเร็วการเชื่อม ต่อลักษณะการเกิดรอยเชื่อม

ทดลองเชื่อมชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นงาน ในลักษณะการเชื่อมแนวราบ โดยใช้ ความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์ 55% On Time และ กระแสไฟฟ้าเบส 42 แอมแปร์ ด้วยความเร็วในการเชื่อม 3.0, 3.4, 3.8, 5.0 และ 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที

จากรูปที่ 4.3 ก เป็นภาพรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็ว 3.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความกว้างของรอยเชื่อม 8.7 มิลลิเมตร ระยะซีมลิกรอยเชื่อม 3.6 มิลลิเมตร  $W/D = 2.4$  และ ระยะพัลส์ 3 มิลลิเมตร

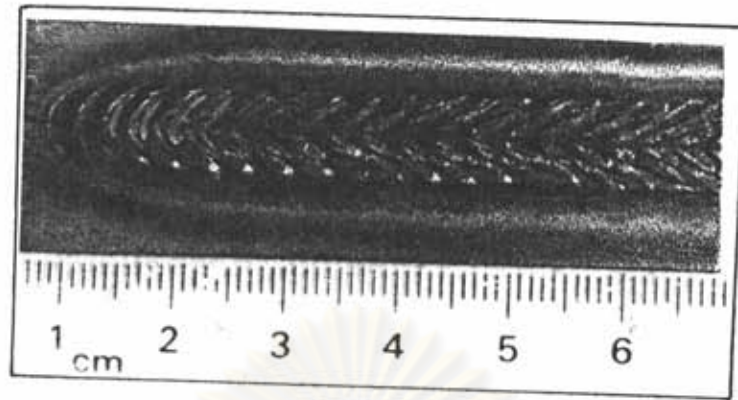
แต่เมื่อความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที ความกว้างรอยเชื่อม 8.2 มิลลิเมตร ระยะซีมลิกรอยเชื่อม 2.7 มิลลิเมตร  $W/D = 3.0$  และระยะพัลส์ 3.4 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ข

สำหรับรูปที่ 4.3 ค แสดงรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็ว 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที ความกว้างรอยเชื่อม 6.3 มิลลิเมตร ระยะซีมลิกรอยเชื่อม 1.3 มิลลิเมตร ระยะพัลส์ 6.8 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นความแตกต่างที่ชัดเจนถึงการลดลงของความกว้างรอยเชื่อม และระยะซีมลิกรอยเชื่อม

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของการวัดขนาดรอยเชื่อมจากชิ้นงานที่ความเร็วการเชื่อมต่าง ๆ และเมื่อนำผลที่ได้มาเขียนกราฟ ดังรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการเชื่อม ( $V_w$ ) กับความกว้างรอยเชื่อม ระยะซีมลิกรอยเชื่อม และอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อระยะซีมลิกรอยเชื่อม ( $W/D$ ) ซึ่งพอสรุปถึงผลกระทบของความเร็วในการเชื่อมที่มีต่อลักษณะการเกิดรอยเชื่อมได้ดังนี้

1. ค่า  $W/D$  เพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วการเชื่อมเพิ่มขึ้น
2. ระยะพัลส์ของแต่ละพัลส์เพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วการเชื่อมเพิ่มขึ้น

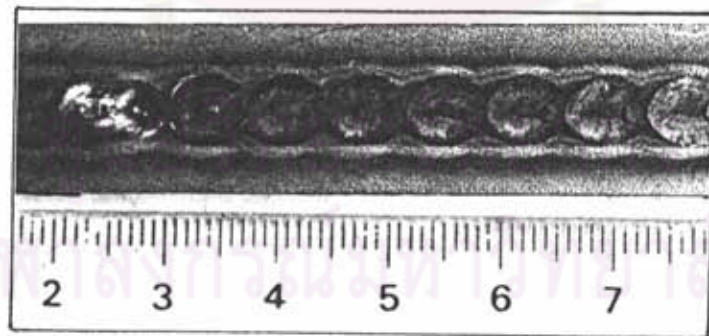
ผลการทดลองพบว่าที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นลักษณะรอยเชื่อมที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นทดลองอื่น ๆ



ก



ข



ค

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างลักษณะรอยเชื่อมอันเกิดจากผลกระทบของความเร็วการเชื่อม

ก. รอยเชื่อมที่ความเร็วการเชื่อม 3.0 มิลลิเมตรต่อวินาที

ข. รอยเชื่อมที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

ค. รอยเชื่อมที่ความเร็วการเชื่อม 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที

ตารางที่ 4.2 ขนาดของรอยเชื่อมที่ความเร็วการเชื่อมต่าง ๆ

ความถี่พัลส์ = 1 พัลส์ต่อวินาที

กระแสไฟฟ้าพัลส์ = 200 แอมแปร์

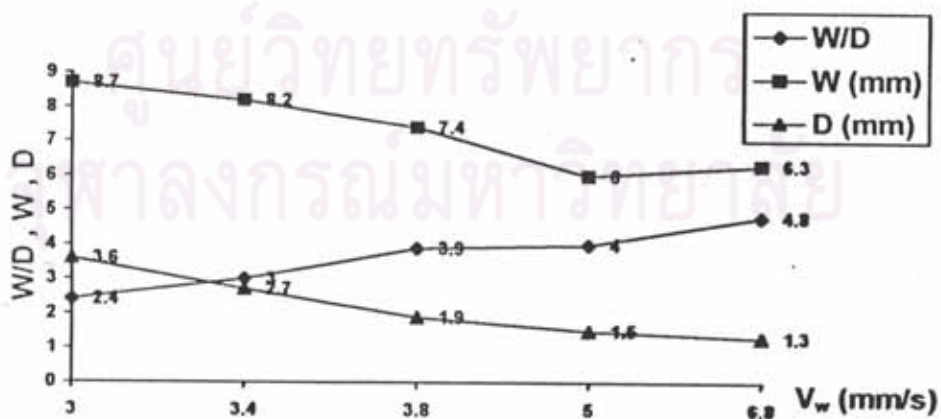
กระแสไฟฟ้าเบส = 42 แอมแปร์

% On Time = 55

ก๊าซปกคลุมด้านบน = 16 ลิตรต่อนาที 100% อาร์กอน

ก๊าซปกคลุมด้านล่าง = 8 ลิตรต่อนาที 100% อาร์กอน

หมายเลข ชิ้นงาน	$V_w$ mm/s	W mm	D mm	W/D
146	3.0	8.7	3.6	2.4
147	3.4	8.2	2.7	3.0
148	3.8	7.4	1.9	3.9
149	5.0	6.0	1.5	4.0
150	6.8	6.3	1.3	4.8



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W/D ,W และ D กับความเร็วในการเชื่อม  $V_w$

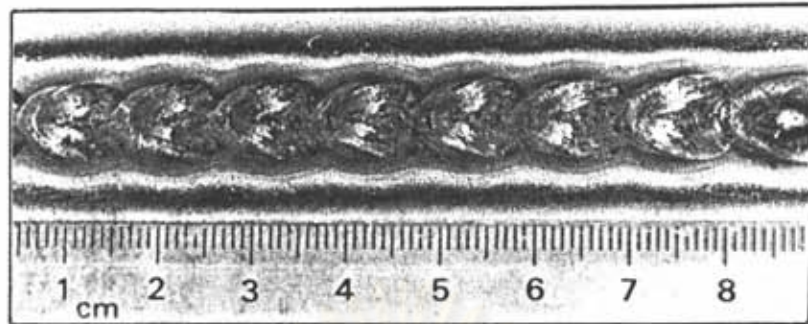
#### 4.1.1.2 ผลกระทบของความถี่พัลส์ต่อลักษณะการเกิดรอยเชื่อม

ทดลองเชื่อมชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นงาน ในลักษณะการเชื่อมแนวราบที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าเบส 42 แอมแปร์ ที่ 55% On Time ด้วยค่าความถี่พัลส์ 0.4, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 พัลส์ต่อวินาที จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นลักษณะของรอยเชื่อมอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความถี่พัลส์ ที่ความถี่พัลส์ 0.4, 1.0 และ 2.0 พัลส์ต่อวินาที พบว่าที่ทุก ๆ ความถี่พัลส์ของการเชื่อมได้ค่าความกว้างรอยเชื่อม 8.9 มิลลิเมตร และระยะซึมลึกของรอยเชื่อม 3.5 มิลลิเมตร ผลกระทบอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความถี่พัลส์ต่อลักษณะรอยเชื่อม คือความต่อเนื่องของรอยเชื่อมที่เกิดจากระยะพัลส์ของกระแสไฟฟ้าพัลส์ในแต่ละพัลส์ ความต่อเนื่องของแนวเชื่อมนี้สามารถพิจารณาได้จากความต่อเนื่องของโลหะหลอมเหลวบริเวณฐานของรอยเชื่อม (Root)

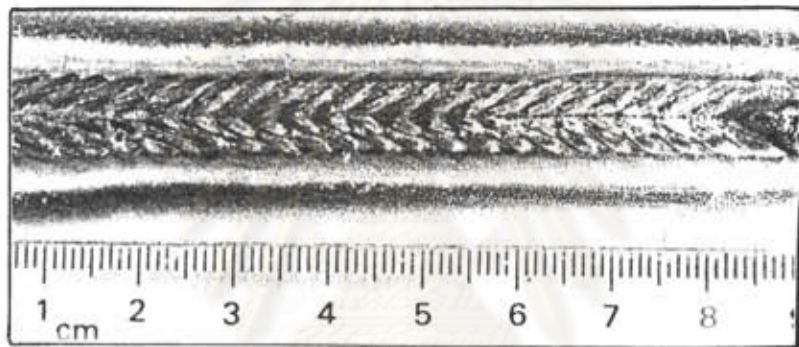
จากการทดลองสรุปได้ว่า ความถี่พัลส์มีผลกระทบโดยตรงต่อความต่อเนื่องของรอยเชื่อม คือ เมื่อความถี่พัลส์ลดลง ความต่อเนื่องของรอยเชื่อมลดลง โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อความกว้างรอยเชื่อม และระยะซึมลึกของรอยเชื่อม และพบว่าที่ความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที ความต่อเนื่องของรอยเชื่อมดีที่สุด สำหรับความเร็วเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

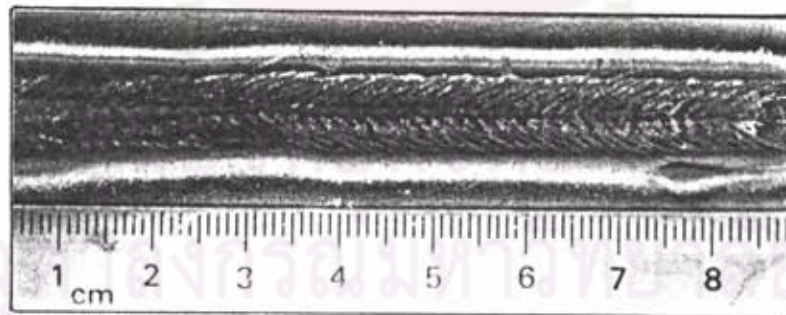




ก



ข



ค

รูปที่ 4.5 รอยเชื่อมอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความถี่พัลส์

- ก. ความถี่พัลส์ 0.4 พัลส์ต่อวินาที
- ข. ความถี่พัลส์ 1.0 พัลส์ต่อวินาที
- ค. ความถี่พัลส์ 2.0 พัลส์ต่อวินาที

#### 4.1.1.3 ผลกระทบของ % On Time ต่อลักษณะการเกิดรอยเชื่อม

เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับ % On Time ได้ และมีผลต่อลักษณะการเกิดรอยเชื่อมด้วยเช่นกัน % On Time คือ ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงกระแสไฟฟ้าพัลส์ที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในหนึ่งความถี่พัลส์ ตัวอย่างเช่น ถ้าการเชื่อมใช้ความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที ที่ 80% On Time เวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าพัลส์มีค่าเท่ากับ 0.8 วินาที และเวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าเบสมีค่าเท่ากับ 0.2 วินาที ถ้าการเชื่อมใช้ความถี่พัลส์ 0.5 พัลส์ต่อวินาที ที่ 70% On Time จะได้เวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าพัลส์มีค่า 1.4 วินาที และเวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าเบส 0.6 วินาที

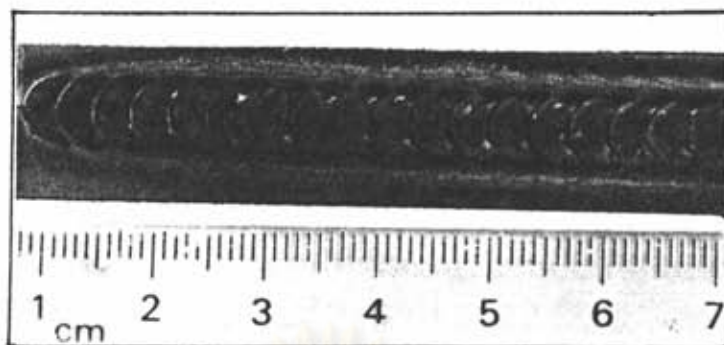
ทดลองเชื่อมชิ้นงานจำนวน 4 ชิ้นงาน ในลักษณะการเชื่อมแนวราบที่ความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าเบส 42 แอมแปร์ โดยใช้ค่า % On Time ที่ 35, 45, 55 และ 65%

รูปที่ 4.6 เป็นภาพเปรียบเทียบตัวอย่างลักษณะรอยเชื่อมที่ค่า % On Time 35, 55 และ 65% จะเห็นแนวโน้มของลักษณะรอยเชื่อมที่ความกว้าง และระยะซึมลึกของรอยเชื่อมเพิ่มขึ้นเมื่อค่า % On Time มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อวัดขนาดของรอยเชื่อมจากชิ้นงานทดลองทั้ง 4 ชิ้น ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าค่า W/D มีค่าลดลง เมื่อ % On Time มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสรุปได้ดังกราฟรูปที่ 4.7

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

1. ความกว้าง และระยะซึมลึกของรอยเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ % On Time มีค่ามากขึ้น
2. ค่า W/D มีค่าลดลงเมื่อ % On Time มีค่ามากขึ้น

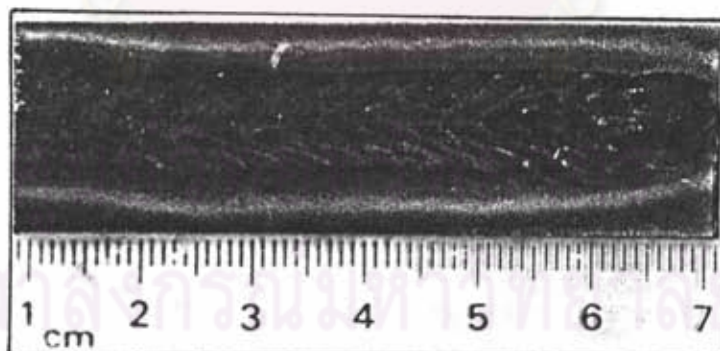
ผลการทดลองพบว่าที่ 55 % On Time เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด สภาพรอยเชื่อมที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานทดลองอื่น ๆ



ก



ข



ค

รูปที่ 4.6 ภาพเปรียบเทียบตัวอย่างลักษณะรอยเชื่อม ที่ % On Time ต่าง ๆ

ก. 35% On Time

ข. 55% On Time

ค. 65% On Time

ตารางที่ 4.3 ขนาดของรอยเชื่อมที่ % On Time ต่าง ๆ

ความถี่พัลส์ = 1 พัลส์ต่อวินาที

กระแสไฟฟ้าพัลส์ = 200 แอมแปร์

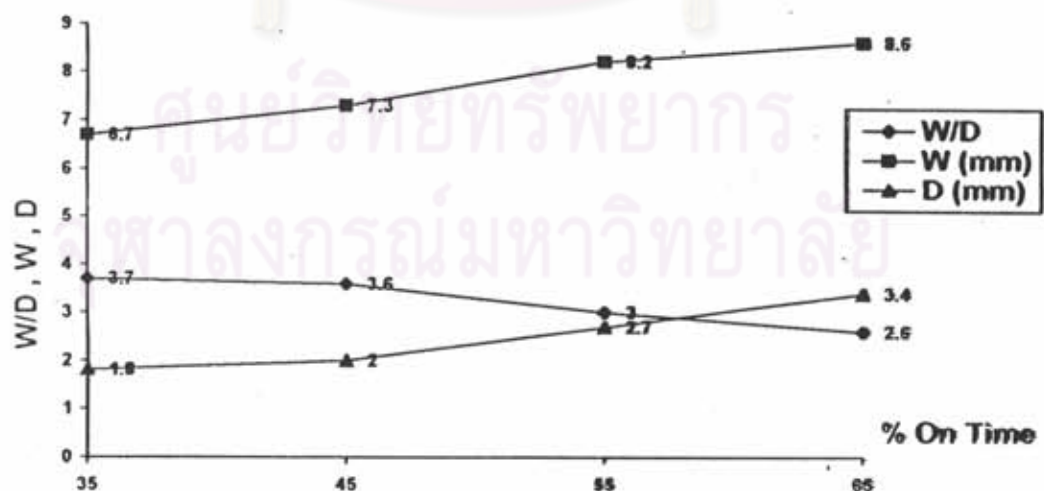
กระแสไฟฟ้าเบส = 42 แอมแปร์

ความเร็วการเชื่อม = 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

ก๊าซปกคลุมด้านบน = 16 ลิตรต่อนาที 100% อาร์กอน

ก๊าซปกคลุมด้านล่าง = 9 ลิตรต่อนาที 100% อาร์กอน

หมายเลข ชิ้นงาน	% On Time	W mm	D mm	W/D
136	35	6.7	1.8	3.7
137	45	7.3	2.0	3.6
138	55	8.2	2.7	3.0
139	65	8.6	3.4	2.6



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่า W/D, W และ D กับ % On Time

#### 4.1.1.4 ผลกระทบของกระแสไฟฟ้าเบสต่อลักษณะรอยเชื่อม

จากการทดลองของ G. Huisman และ H. Hoffmeister<sup>(3)</sup> ได้กล่าวไว้ถึง จุดมุ่งหมายของการควบคุมกระแสไฟฟ้าเบส พอสรุปได้ว่า ในช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าเบส เป็นช่วงเวลาของการรักษาสภาพการหลอมเหลวของน้ำโลหะในบ่อหลอมเหลวไม่ให้แข็งตัว และไม่ให้เกิดแรงอาร์กมากเกินไปจนเป็นการขัดขวางการผลักน้ำโลหะหลอมเหลวในช่วงของกระแสไฟฟ้าพัลส์ ที่เป็นช่วงของการผลักน้ำโลหะหลอมเหลวมาเติมบ่ออันเกิดขึ้นก่อนหน้านั้น ด้วยเหตุนี้การปรับปริมาณของกระแสไฟฟ้าเบสจะต้องเหมาะสมกับค่าตัวแปรอื่น ๆ ที่ใช้

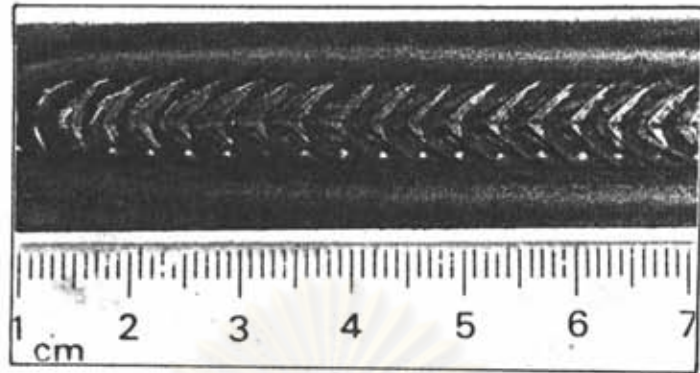
ทดลองเชื่อมชิ้นงานจำนวน 6 ชิ้นงาน ที่ความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์ ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที และค่า % On Time เท่ากับ 55 โดยปรับค่ากระแสไฟฟ้าเบสที่ 26, 35, 42, 52, 61 และ 70 แอมแปร์

รูปที่ 4.8 เป็นตัวอย่างภาพลักษณะรอยเชื่อมที่ใช้กระแสไฟฟ้าเบส 26, 42 และ 61 แอมแปร์ ซึ่งจะเห็นความแตกต่างค่อนข้างชัดเจนถึงความสามารถในการผลักน้ำโลหะในช่วงกระแสไฟฟ้าพัลส์เมื่อกระแสไฟฟ้าเบส 61 แอมแปร์ที่สภาพรอยเชื่อมไม่สม่ำเสมอ

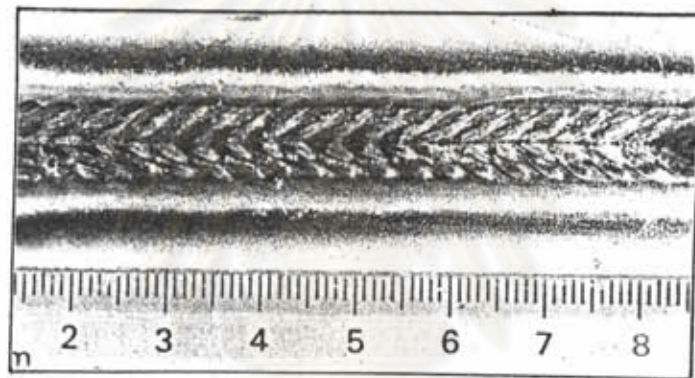
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวัดขนาดรอยเชื่อมจากชิ้นงานทดลอง จะเห็นว่า ความกว้างของรอยเชื่อมมีค่าค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ระยะซีมลึกมีค่ามากขึ้น เมื่อกระแสไฟฟ้าเบสมีค่าสูงขึ้น

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างรอยเชื่อม ระยะซีมลึก และ W/D กับกระแสไฟฟ้าเบสที่เปลี่ยนแปลง

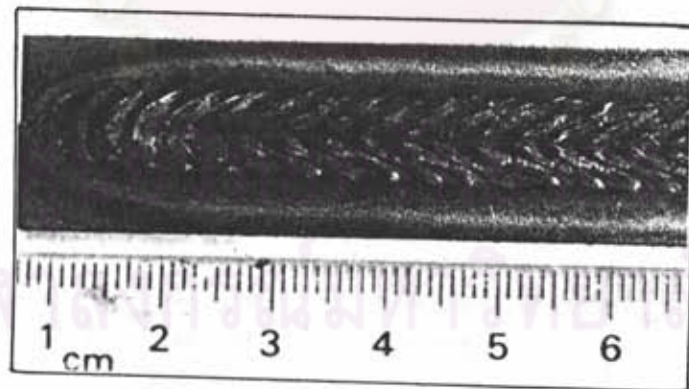
ผลการทดลอง พบว่าที่กระแสไฟฟ้าเบส 42 แอมแปร์ เป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานทดลองอื่น ๆ



ก



ข



ค

รูปที่ 4.8 ภาพตัวอย่างลักษณะรอยเชื่อมที่ค่ากระแสไฟฟ้าเบสต่าง ๆ

- ก. กระแสไฟฟ้าเบส 26 แอมแปร์
- ข. กระแสไฟฟ้าเบส 42 แอมแปร์
- ค. กระแสไฟฟ้าเบส 61 แอมแปร์

ตารางที่ 4.4 ขนาดของรอยเชื่อมที่ค่ากระแสไฟฟ้าเบสต่าง ๆ

ความถี่พัลส์ = 1 พัลส์ต่อวินาที

กระแสไฟฟ้าพัลส์ = 200 แอมแปร์

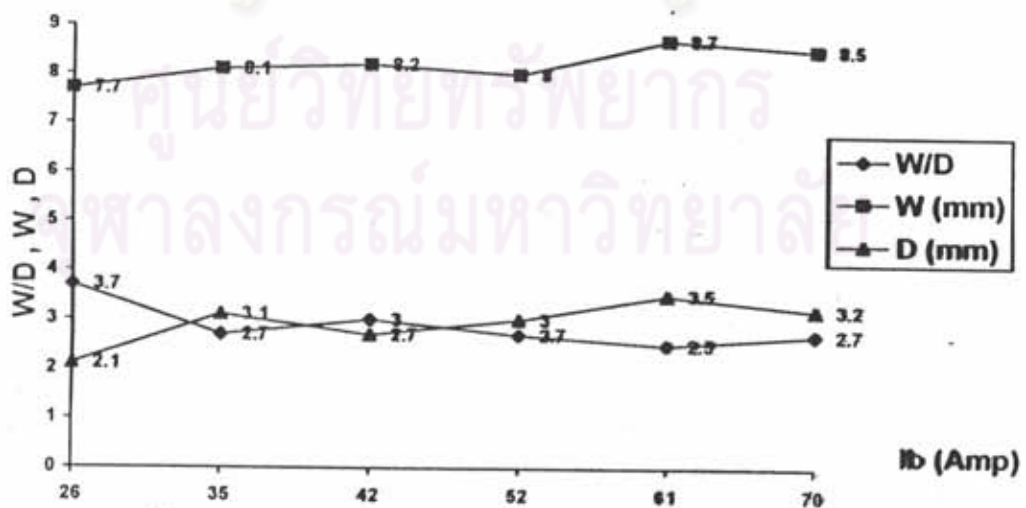
ความเร็วการเชื่อม = 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

ค่า % On Time = 55

ก๊าซปกคลุมด้านบน = 16 ลิตรต่อนาที 100% อาร์กอน

ก๊าซปกคลุมด้านล่าง = 8 ลิตรต่อนาที 100% อาร์กอน

หมายเลข ชิ้นงาน	$I_b$ Amp.	W mm	D mm	W/D
145	26	7.7	2.1	3.7
144	35	8.1	3.1	2.7
140	42	8.2	2.7	3.0
141	52	8.0	3.0	2.7
142	61	8.7	3.5	2.5
143	70	8.5	3.2	2.7



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง W/D, W และ D กับกระแสไฟฟ้าเบส

#### 4.1.1.5 สรุปผลกระทบของตัวแปรการเชื่อมต่าง ๆ ต่อลักษณะการเกิดรอยเชื่อม

เพิ่มขึ้น

เพิ่มขึ้น

มากขึ้น

เพิ่มขึ้น

1. ผลกระทบของความเร็วการเชื่อมต่อลักษณะการเกิดรอยเชื่อม
  - ความกว้างและระยะซีมลึกของรอยเชื่อมลดลง เมื่อความเร็วการเชื่อมเพิ่มขึ้น
  - ค่า W/D และระยะพัลส์ของแต่ละพัลส์เพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วการเชื่อมเพิ่มขึ้น
2. ผลกระทบความถี่พัลส์ต่อลักษณะการเกิดรอยเชื่อม
  - ความต่อเนื่องของรอยเชื่อมลดลง เมื่อความถี่พัลส์ลดลง
3. ผลกระทบของ % On Time ต่อลักษณะการเกิดรอยเชื่อม
  - ความกว้างและระยะซีมลึกของรอยเชื่อมเพิ่มขึ้น เมื่อ % On Time มีค่ามากขึ้น
  - ค่า W/D มีค่าลดลง เมื่อ % On Time มีค่ามากขึ้น
4. ผลกระทบของกระแสไฟฟ้าเบสต่อลักษณะรอยเชื่อม
  - กระแสไฟฟ้าเบสน้อยเกินไป ทำให้อาร์กดับขณะเชื่อม
  - ความกว้างและระยะซีมลึกของรอยเชื่อมเพิ่มขึ้น เมื่อกระแสไฟฟ้าเบสเพิ่มขึ้น
  - ค่า W/D ลดลง เมื่อกระแสไฟฟ้าเบสเพิ่มขึ้น

#### 4.1.2 การหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่ดีที่สุดในลักษณะการเชื่อมแนวราบ

จากผลการทดลองเชื่อมเบื้องต้นในหัวข้อ 4.1.1 ซึ่งทำให้ทราบถึงผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ต่อลักษณะรอยเชื่อม พร้อมทั้งยังได้ค่าตัวแปรที่สามารถเชื่อมชิ้นงานได้ และนอกจากนี้การทดลองดังกล่าวเป็นทดลองเชื่อมโดยใช้อาร์กอนเป็นก๊าซปกคลุมเท่านั้น



การทดลองในหัวข้อนี้ จะเป็นการทดลองที่ความเร็วการเชื่อมที่ความเร็วต่าง ๆ คือ 3.4, 5 และ 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที พร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของก๊าซปกคลุม โดยการผสมก๊าซไนโตรเจน 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเข้าไปในก๊าซปกคลุมอาร์กอน เพื่อหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่สามารถเชื่อมชิ้นงานให้ได้รอยเชื่อมตามมาตรฐานที่กำหนด

#### 4.1.2.1 การทดลองเชื่อมชิ้นงานที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

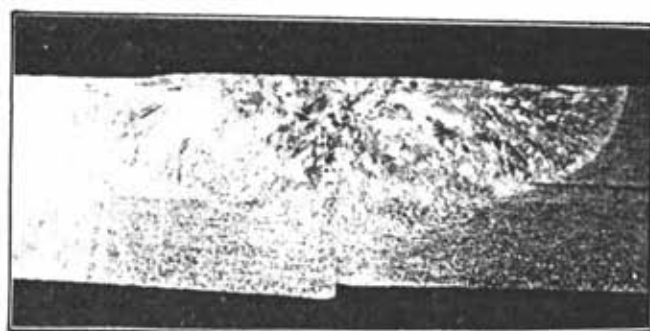
##### ก. ผลการทดลองเชื่อมเมื่อไม่ผสมก๊าซไนโตรเจนในอาร์กอน

จากข้อมูลการทดลองในหัวข้อ 4.1.1 ค่าตัวแปรเริ่มต้นที่ใช้ คือ

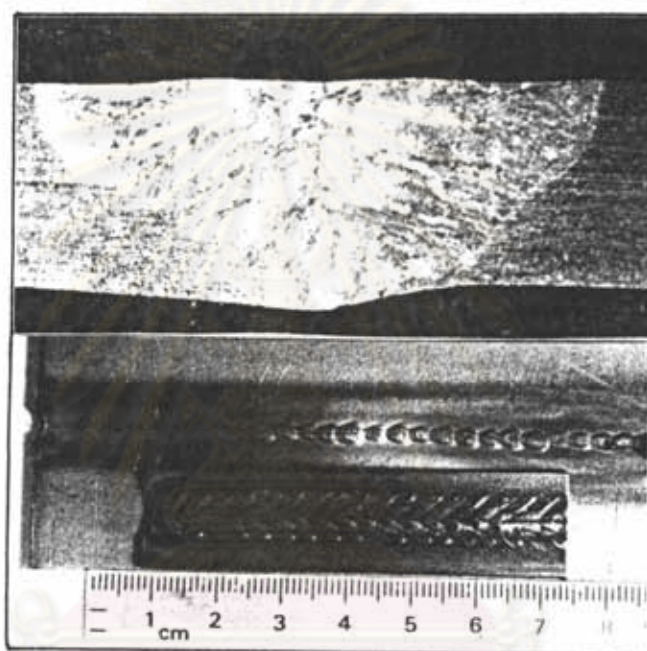
- ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที
- ความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที
- กระแสไฟฟ้าพัลส์ 42 แอมแปร์
- 55 % On Time

จากตัวแปรดังกล่าวจะใช้ทดลองเชื่อมเมื่อใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนที่ไม่มีก๊าซไนโตรเจนผสม ปรากฏว่าค่าตัวแปรดังกล่าวเป็นค่าที่ดีที่สุด ทดลองโดยการปรับกระแสไฟฟ้าพัลส์ไปที่ 190 และ 203 แอมแปร์ เพื่อดูผลของรอยเชื่อมที่ได้ พบว่าที่ 190 แอมแปร์ ระยะซึมลึกของรอยเชื่อมไม่เพียงพอ และที่ 203 แอมแปร์ ระยะซึมลึกมากเกินไป แต่ที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์ ระยะซึมลึกของรอยเชื่อมพอดี สภาพรอยเชื่อมสมบูรณ์ รูปที่ 4.10 แสดงภาพตัดของรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 190, 203 และ 200 แอมแปร์

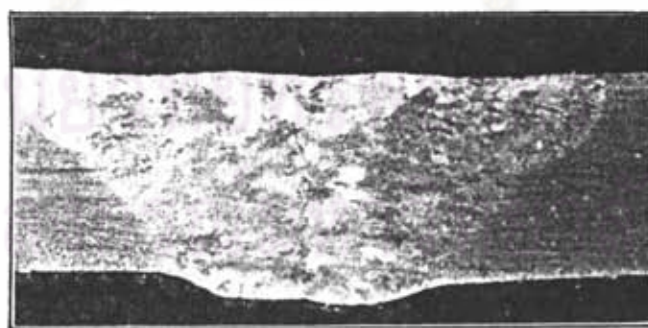
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก



ข



ค

- รูปที่ 4.10 ภาพรอยเชื่อมในลักษณะการเชื่อมแนวราบ เมื่อใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอน
- ก. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 190 แอมแปร์
  - ข. ผิวรอยเชื่อม และภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์
  - ค. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 203 แอมแปร์

**ข. ผลการทดลองการเชื่อมใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนผสมไนโตรเจน 1% (ปริมาตร)**

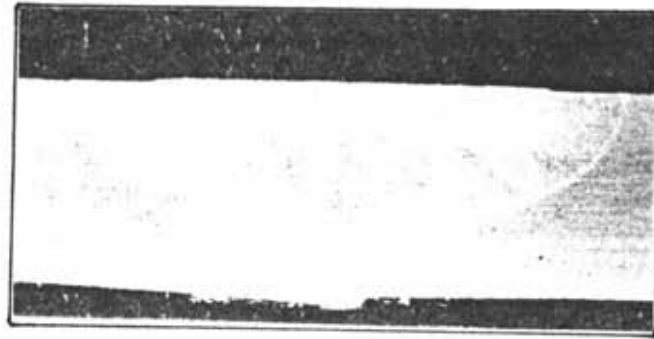
จากค่าตัวแปรการเชื่อมในหัวข้อ ก นำมาเป็นจุดเริ่มต้นของการทดลอง พบว่าเมื่อเพิ่มไนโตรเจนเข้าไปในก๊าซปกคลุม ระยะชิมลิกในรอยเชื่อมมากขึ้น จนรอยเชื่อมบริเวณฐานเกิดการย่อ เมื่อลดปริมาณกระแสไฟฟ้าพัลส์ลงมาที่ 185 แอมแปร์ ลักษณะรอยเชื่อมที่ได้มีระยะชิมลิกน้อย ในขณะที่ผิวรอยเชื่อมที่ได้มีสภาพดี และเมื่อเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าพัลส์เป็น 190 แอมแปร์ ลักษณะรอยเชื่อมที่ได้สมบูรณ์ตามต้องการ รูปที่ 4.11 แสดงภาพของรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200, 185 และ 190 แอมแปร์

**ค. ผลการทดลองการเชื่อมใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนผสมไนโตรเจน 2% (ปริมาตร)**

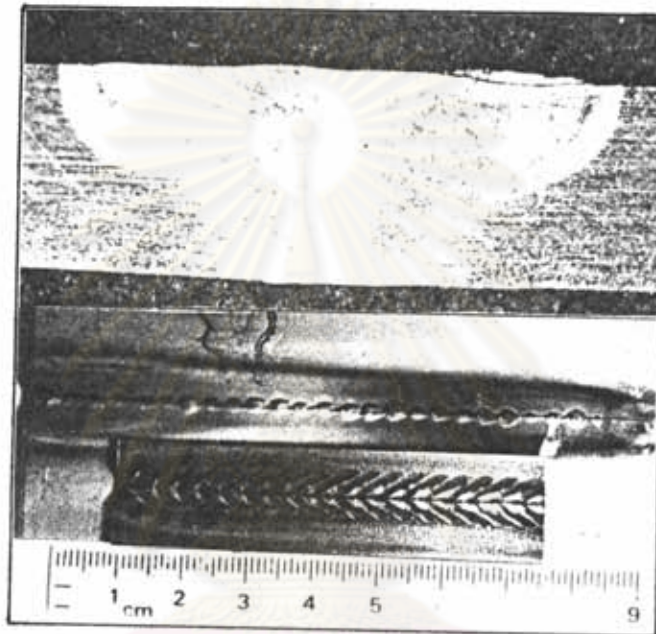
นำผลที่ได้จากการเชื่อมโดยผสมไนโตรเจน 1% (ปริมาตร) ในก๊าซปกคลุม มาทดลองสำหรับการเชื่อมเมื่อผสมก๊าซไนโตรเจน 2% (ปริมาตร) ผลการเชื่อมลักษณะรอยเชื่อมมีระยะชิมลิกสูง บริเวณฐานรอยเชื่อมเกิดการย่อ และการอาร์กดับในระหว่างการเชื่อม เมื่อเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าเบสจาก 42 แอมแปร์ เป็น 48 แอมแปร์ และลดปริมาณกระแสไฟฟ้าพัลส์จาก 190 แอมแปร์ มาที่ 185 แอมแปร์ รอยเชื่อมที่ได้มีระยะชิมลิกที่ดี สภาพรอยเชื่อมสมบูรณ์ แต่เพื่อความมั่นใจจึงทดลองลดปริมาณกระแสไฟฟ้าพัลส์ ลงมาที่ 180 แอมแปร์ ผลที่ได้คือระยะชิมลิกของรอยเชื่อมน้อยเกินไป ลักษณะของรอยเชื่อมแสดงในรูปที่ 4.12

**ง. ผลการทดลองการเชื่อมใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนผสมไนโตรเจน 3% (ปริมาตร)**

นำค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการเชื่อมเมื่อผสมก๊าซไนโตรเจน 2% (ปริมาตร) ในก๊าซปกคลุมอาร์กอนเป็นจุดเริ่มต้นในการทดลองเชื่อมเมื่อผสมก๊าซไนโตรเจน 3% (ปริมาตร) ผลการเชื่อมระยะชิมลิกของชิ้นงานน้อยเกินไป เมื่อทดลองปรับค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ไปที่ 195 แอมแปร์ โดยลดกระแสไฟฟ้าเบสลงมาที่ 42 แอมแปร์ รอยเชื่อมที่ได้มีระยะชิมลิกมากเกินไป และอาร์กดับขณะเชื่อม แต่เมื่อปรับลดกระแสไฟฟ้าพัลส์ลงมาที่ 190 แอมแปร์ และเพิ่มกระแสไฟฟ้าเบสไปที่ 48 แอมแปร์ รอยเชื่อมที่ได้มีสภาพดีตามต้องการ ลักษณะรอยเชื่อมต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.13



ก



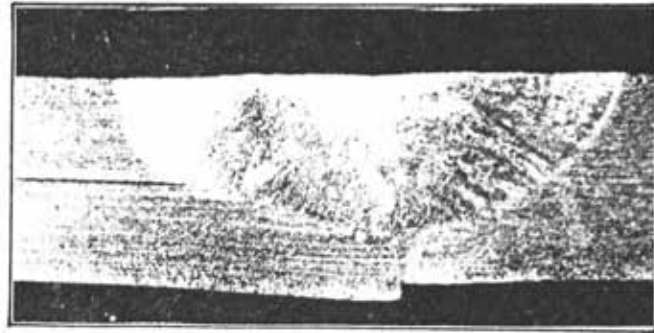
ข



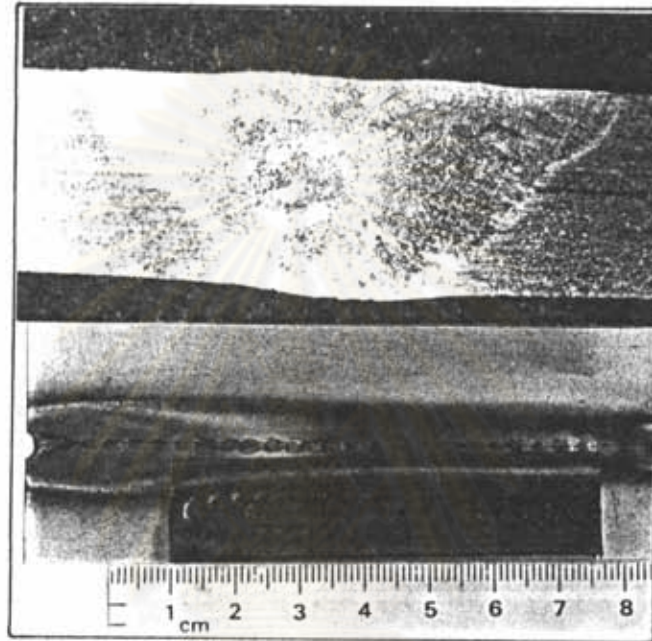
ค

รูปที่ 4.11 ภาพรอยเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมแนวราบ เมื่อผสมก๊าซไนโตรเจน 1% (ปริมาตร) ใน  
ก๊าซปกคลุมอาร์กอน

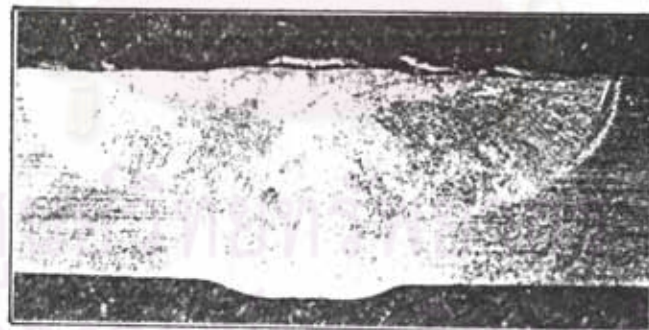
- ก. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 185 แอมแปร์
- ข. ผิวยรอยเชื่อม และภาพตัดรอยเชื่อมที่ใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 190 แอมแปร์
- ค. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์



ก



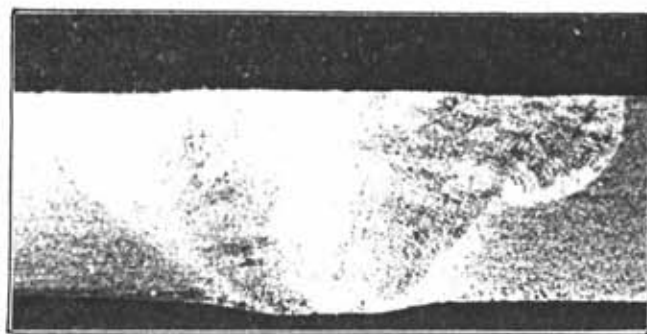
ข



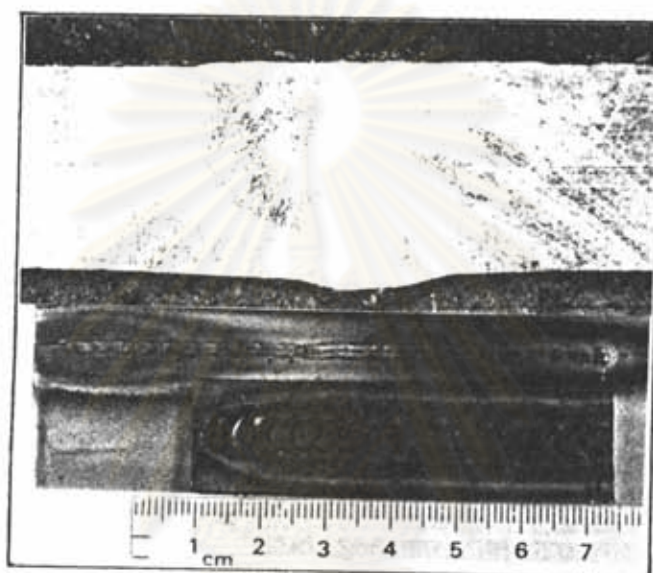
ค

รูปที่ 4.12 ภาพรอยเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมแนวราบ เมื่อผสมก๊าซไนโตรเจน 2% (ปริมาตร) ใน  
ก๊าซปกคลุมอาร์กอน

- ก. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 180 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าเบส 48 แอมแปร์
- ข. ภาพรอยเชื่อม และภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 185 แอมแปร์  
กระแสไฟฟ้าเบส 48 แอมแปร์
- ค. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 190 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าเบส 42 แอมแปร์



ก



ข



ค

รูปที่ 4.13 ภาพรอยเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมแนวราบ เมื่อผสมก๊าซไนโตรเจน 3% (ปริมาตร )

ในก๊าซปกคลุมอาร์กอน

- ก. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 185 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าเบส 48 แอมแปร์
- ข. ผีวรอยเชื่อม และภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 190 แอมแปร์  
กระแสไฟฟ้าเบส 48 แอมแปร์
- ค. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 195 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าเบส 42 แอมแปร์

จากผลการทดลองการเชื่อมแนวราบทั้งหมด ที่ความเร็วการเชื่อมเป็น 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที ส่วนผสมของก๊าซไนโตรเจน 1, 2 และ 3% โดยปริมาตรในก๊าซปกคลุมอาร์กอน ค่าตัวแปรในการเชื่อมสรุปได้ดังตารางที่ 4.5 สำหรับตารางที่ 4.6 แสดงค่าขนาดรอยเชื่อมของชิ้นงาน และสามารถสรุปผลแสดงอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมต่อขนาดรอยเชื่อมได้ดังรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่และค่าตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมในแนวราบ ที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านบน 16 ลิตรต่อนาที  
 ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านล่าง 8 ลิตรต่อนาที  
 เวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าพัลส์ 0.55 วินาที  
 เวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าเบส 0.45 วินาที  
 ความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที

หมายเลขชิ้นงาน	% N <sub>2</sub>	I <sub>p</sub> Amp.	I <sub>b</sub> Amp.	ลักษณะรอยเชื่อม
42	0	190	42	กระแสไฟฟ้าพัลส์น้อยเกินไป ระยะซิมลิกไม่เพียงพอ
44	0	203	42	ระยะซิมลิกมากเกินไป
45	0	200	42	ระยะซิมลิกพอดีตามต้องการ
51	1	200	42	รอยเชื่อมย่อย ระยะซิมลิกมากเกินไป
52	1	185	42	ระยะซิมลิกน้อย แต่ไม่ต่อเนื่อง
54	1	190	42	ระยะซิมลิกพอดีตามต้องการ
65	2	190	42	กระแสไฟฟ้าพัลส์สูงเกินไป รอยเชื่อมย่อย
66	2	185	48	ระยะซิมลิกพอดีตามต้องการ
67	2	180	48	ระยะซิมลิกน้อยเกินไป
76	3	195	42	ระยะซิมลิกมากเกินไป (อาร์กดับ)
77	3	185	48	ระยะซิมลิกน้อยเกินไป
78	3	190	48	ระยะซิมลิกพอดีตามต้องการ

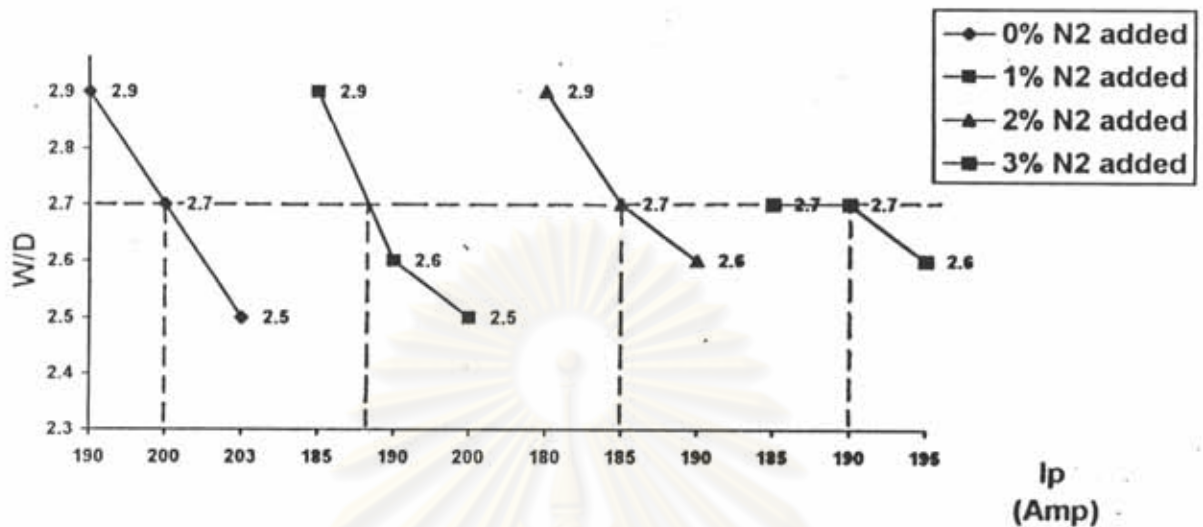
ตารางที่ 4.6 ขนาดของรอยเชื่อมจากชิ้นงานทดลองของการเชื่อมในแนวราบ ที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

หมายเลขชิ้นงาน	ตำแหน่งวัดที่ 1		ตำแหน่งวัดที่ 2		ตำแหน่งวัดที่ 3		ค่าเฉลี่ย		
	W	D	W	D	W	D	W	D	W/D
42	7.7	3.0	8.2	2.5	8.0	2.8	8.0	2.8	2.9
44	8.3	3.4	8.4	3.2	7.9	3.2	8.2	3.3	2.5
45	8.6	3.0	8.6	3.0	8.1	3.2	8.4	3.1	2.7
51	8.2	3.4	8.4	3.5	8.7	3.3	8.4	3.4	2.5
52	7.7	2.9	8.0	2.3	7.9	2.9	7.9	2.7	2.9
54	8.1	3.2	7.9	3.0	8.3	3.1	8.0	3.1	2.6
65	8.0	3.2	8.3	3.2	8.4	3.2	8.3	3.2	2.6
66	8.03	2.9	8.4	2.9	7.6	3.1	8.0	3.0	2.7
67	7.1	2.5	8.0	2.5	7.6	3.0	7.6	2.7	2.9
76	8.3	3.2	8.5	3.2	8.3	3.2	8.4	3.2	2.6
77	8.2	3.3	8.1	3.1	7.7	2.6	8.0	3.0	2.7
78	7.8	2.9	8.1	2.9	8.0	3.2	8.0	3.0	2.7

หน่วยมิลลิเมตร

จากตารางที่ 4.6 จะพบว่าชิ้นงานที่มีลักษณะรอยเชื่อมที่ดีตามต้องการมีค่า W/D เท่ากับ 2.7 และเมื่อนำชิ้นงานทั้ง 4 ชิ้น ไปตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธี Radiographic Test พบว่า รอยเชื่อมทั้ง 4 ชิ้น มีสภาพสมบูรณ์ ผลของการตรวจสอบแสดงในภาคผนวก ค





รูปที่ 4.14 กราฟการเปรียบเทียบระหว่าง W/D กระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ใช้ และผลกระทบของไนโตรเจนที่ผสมในก๊าซปกคลุมอาร์กอน ของการเชื่อมแนวราบที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

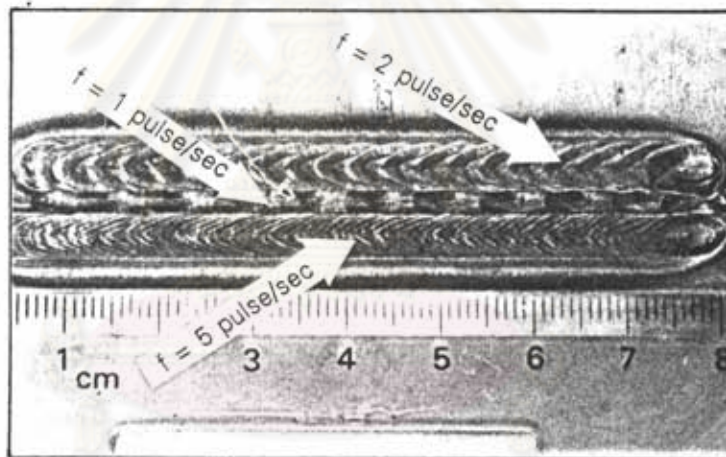
#### 4.1.2.2 ผลการเชื่อมที่ความเร็วการเชื่อม 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที

จากผลกระทบของความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปต่อรอยเชื่อม ดังได้ศึกษาไว้ในหัวข้อ 4.1.1 ทำให้ทราบว่า ก่อนการเพิ่มความเร็วการเชื่อม จะต้องหาความถี่พัลส์ที่เหมาะสมก่อนเพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่ต่อเนื่อง หลังจากนั้นจึงศึกษาถึงผลกระทบอื่น ๆ ต่อไป

รูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นผลของความถี่พัลส์ (1, 2 และ 5 พัลส์ต่อวินาที) ต่อผิวของรอยเชื่อม จากการพิจารณาความต่อเนื่องของผิวรอยเชื่อม จะเห็นว่าควรเริ่มต้นทดลองเชื่อมที่ความถี่พัลส์ 2 พัลส์ต่อวินาที

จากรูปที่ 4.15 ที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ ( $I_p$ ) 200 แอมแปร์ และกระแสไฟฟ้าเบส ( $I_b$ ) 52 แอมแปร์ ระยะซึมลึกที่ได้มีค่าน้อยเกินไป ตัวแปรที่สามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อเพิ่ม

ระยะซึ่มลึก คือ  $I_p$ ,  $I_b$  และ % On Time แต่การปรับค่า % On Time เพิ่มขึ้นไม่เป็นผลดีต่อ รอยเชื่อมเพราะจะทำให้ความกว้างของรอยเชื่อมเพิ่มมากขึ้น รอยเชื่อมที่ได้ไม่สม่ำเสมอ และเกิด แอ่งตรงกึ่งกลางรอยเชื่อม ดังนั้นในการทดลองจึงทำการปรับค่า  $I_p$  และ  $I_b$  ตัวอย่างข้อมูลการ ทดลองแสดงในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.15 ภาพรอยเชื่อมที่ความเร็วการเชื่อม 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที

ความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที  $I_p = 185$  แอมแปร์  $I_b = 52$  แอมแปร์

ความถี่พัลส์ 2 พัลส์ต่อวินาที  $I_p = 200$  แอมแปร์  $I_b = 52$  แอมแปร์

ความถี่พัลส์ 5 พัลส์ต่อวินาที  $I_p = 200$  แอมแปร์  $I_b = 52$  แอมแปร์

ตารางที่ 4.7 ค่าคงที่และค่าตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมแนวราบ ที่ความเร็วการเชื่อม 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที

ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านบน 16 ลิตรต่อนาที (100% อาร์กอน)

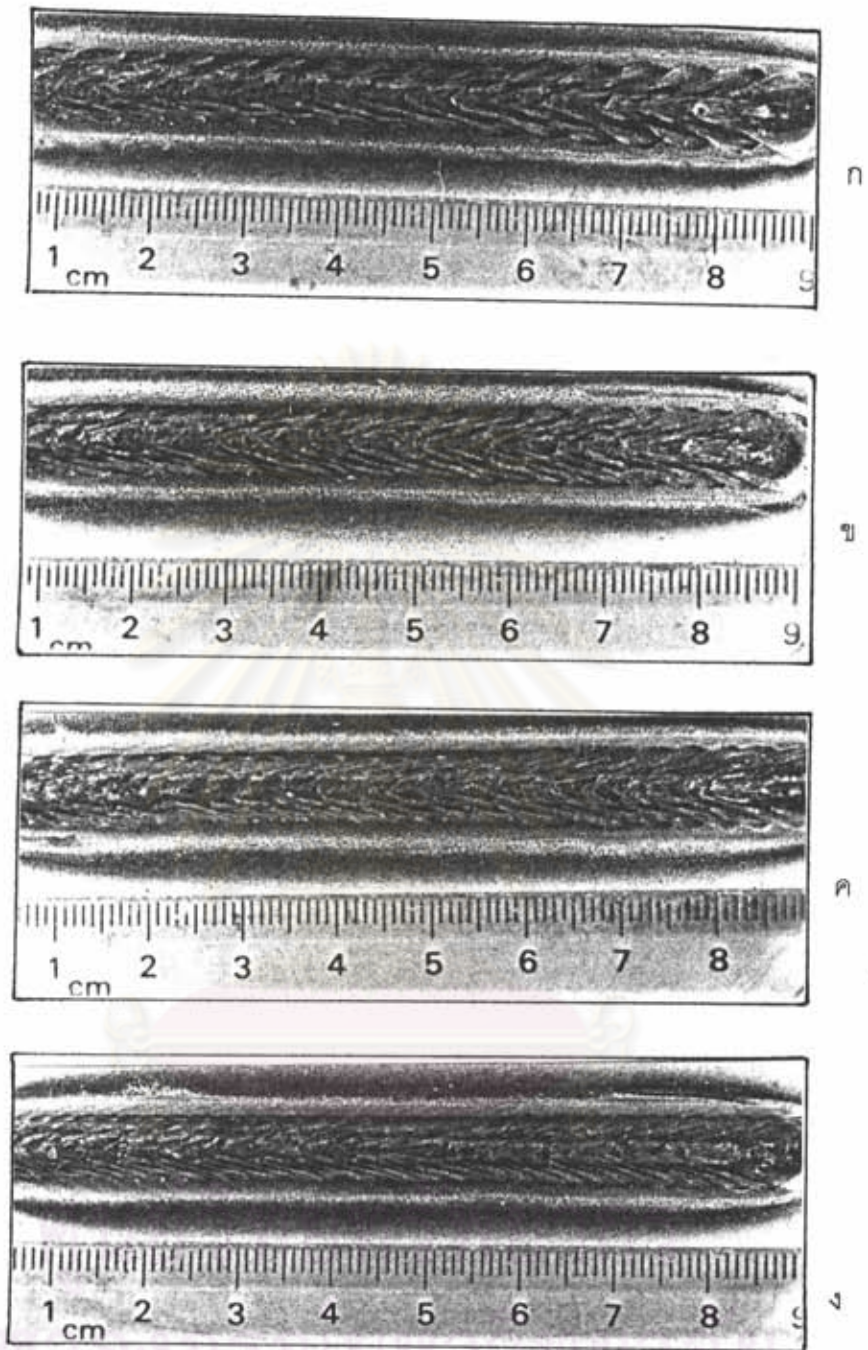
ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านล่าง 8 ลิตรต่อนาที (100% อาร์กอน)

55 % On Time

หมายเลข ชิ้นงาน	f pulse/sec	$I_p$ Amp.	$I_b$ Amp.	ลักษณะรอยเชื่อม
100	2	250	52	ระยะซีมล็กน้อยเกินไป
101	2	300	52	ระยะซีมล็กน้อยเกินไป และเกิดรอยกินล็กข้างรอยเชื่อม
102	2	250	70	ระยะซีมล็กน้อยเกินไป ขนาดรอยกินล็กข้างรอยเชื่อมน้อยลง
105	2	250	87	ระยะซีมล็กน้อยเกินไป เกิดรอยกินล็กข้างรอยเชื่อม
106	2	250	105	ระยะซีมล็กน้อยเกินไป เกิดรอยกินล็กข้างรอยเชื่อม
108	1.5	311	105	ระยะซีมล็กมากเกินไป เกิดรอยกินล็กข้างรอยเชื่อม
110	2	300	105	ระยะซีมล็กน้อยเกินไป เกิดรอยกินล็กข้างรอยเชื่อม
111	3	300	105	ระยะซีมล็กน้อยเกินไป เกิดรอยกินล็กข้างรอยเชื่อม
114	2	312	105	ระยะซีมล็กมากเกินไป เกิดรอยกินล็กข้างรอยเชื่อม
115	3	312	70	ระยะซีมล็กน้อยเกินไป เกิดรอยกินล็กข้างรอยเชื่อม
116	3	312	105	ทะเล

ผลการทดลองพบว่าการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าพัลส์ และกระแสไฟฟ้าเบสให้เหมาะสมกับความถี่พัลส์ที่ใช้ สามารถควบคุมระยะซีมล็กได้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อได้ระยะซีมล็กตามต้องการแล้ว ลักษณะของรอยเชื่อมจะเกิดรอยกินล็กด้านข้าง ทำให้ลักษณะรอยเชื่อมไม่ได้ตามมาตรฐานที่ต้องการ รูปที่ 4.16 แสดงตัวอย่างของรอยเชื่อม ที่ใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ กัน จะเห็นว่าเกิดรอยกินล็กด้านข้างรอยเชื่อมอย่างชัดเจน

สรุปได้ว่า ที่ความเร็วการเชื่อม 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที ไม่สามารถเชื่อมชิ้นงานในลักษณะการเชื่อมแนวราบให้ได้ลักษณะรอยเชื่อมตามมาตรฐานที่ต้องการได้



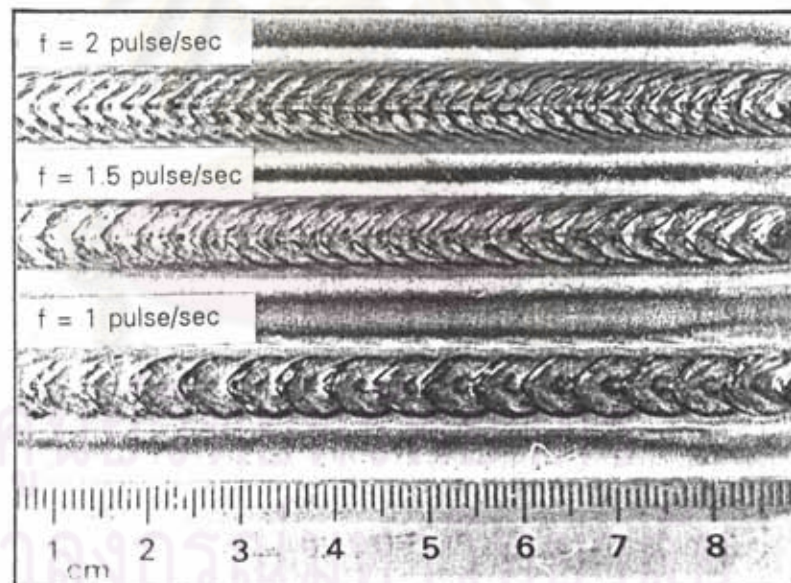
รูปที่ 4.16 รอยเชื่อมในลักษณะการเชื่อมแนวราบ ที่ความเร็วการเชื่อม 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที

- ก. ความถี่พัลส์ 1.5 พัลส์ต่อวินาที  $I_p = 311$  แอมแปร์  $I_b = 105$  แอมแปร์
- ข. ความถี่พัลส์ 2 พัลส์ต่อวินาที  $I_p = 300$  แอมแปร์  $I_b = 105$  แอมแปร์
- ค. ความถี่พัลส์ 2 พัลส์ต่อวินาที  $I_p = 312$  แอมแปร์  $I_b = 105$  แอมแปร์
- ง. ความถี่พัลส์ 3 พัลส์ต่อวินาที  $I_p = 312$  แอมแปร์  $I_b = 70$  แอมแปร์

#### 4.1.2.3 ผลการเชื่อมที่ความเร็วการเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที

การทดลองดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองเชื่อมที่ความเร็วการเชื่อม 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที รูปที่ 4.17 แสดงผลของความถี่พัลส์ ( 1, 1.5 และ 2 พัลส์ต่อวินาที ) ต่อรอยเชื่อม จากการพิจารณาความต่อเนื่องของรอยเชื่อม พบว่าที่ความถี่พัลส์ 1.5 พัลส์ต่อวินาที จะให้รอยเชื่อมที่ต่อเนื่อง แต่ระยะซิมลึกไม่เพียงพอ จำเป็นที่จะต้องปรับค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ ( $I_p$ ) และกระแสไฟฟ้าเบส ( $I_b$ ) เพื่อให้ได้ระยะซิมลึกมากขึ้น จนเพียงพอต่อความต้องการดังแสดงในตารางที่ 4.8

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าที่ความเร็วการเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที สามารถเชื่อมชิ้นงานในลักษณะการเชื่อมแนวราบได้ดีในระดับหนึ่ง แต่ยังคงมีรอยกินลึกด้านข้าง ทำให้รอยเชื่อมไม่ได้ตามมาตรฐานที่ต้องการ



รูปที่ 4.17 ภาพรอยเชื่อมที่ความเร็วการเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที

ความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที  $I_p = 200$  แอมแปร์  $I_b = 70$  แอมแปร์

ความถี่พัลส์ 1.5 พัลส์ต่อวินาที  $I_p = 200$  แอมแปร์  $I_b = 70$  แอมแปร์

ความถี่พัลส์ 2 พัลส์ต่อวินาที  $I_p = 200$  แอมแปร์  $I_b = 70$  แอมแปร์

ตารางที่ 4.8 ค่าคงที่และค่าตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมแนวราบ ที่ความเร็วการเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที

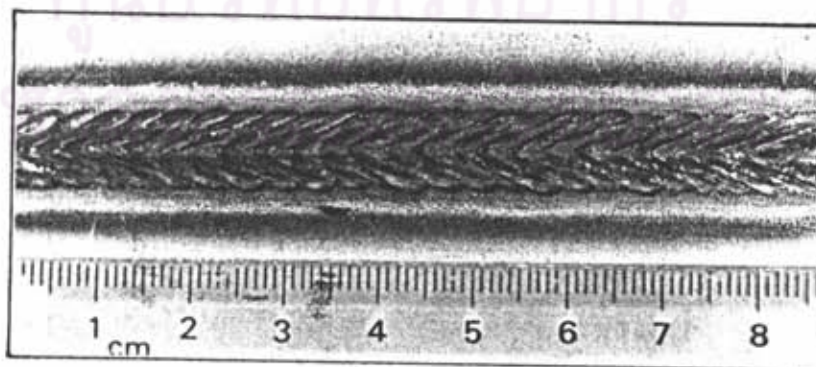
ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านบน 16 ลิตรต่อนาที (100% อาร์กอน)

ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านล่าง 8 ลิตรต่อนาที (100% อาร์กอน)

55 % On Time

หมายเลข ชิ้นงาน	f pulse/sec	$I_p$ Amp.	$I_b$ Amp.	ลักษณะรอยเชื่อม
121	1.5	215	70	ระยะซีมลึกไม่เพียงพอ
122	1.5	230	70	ระยะซีมลึกไม่เพียงพอ เริ่มเกิดรอยกินลึกข้างรอยเชื่อม
125	1.5	260	70	ระยะซีมลึกเพียงพอ รอยกินลึกด้านข้างมาก
126	1.5	270	70	รอยเชื่อมไม่สม่ำเสมอ รอยกินลึกด้านข้างมาก
127	1.5	240	105	รอยเชื่อมไม่สม่ำเสมอ รอยกินลึกด้านข้างมาก ระยะซีมลึกมาก
128	1.5	215	105	ระยะซีมลึกไม่เพียงพอ มีรอยกินลึกด้านข้าง
129	1.5	230	105	ระยะซีมลึกเพียงพอ มีรอยกินลึกด้านข้าง

จากการทดลองพบว่าที่ความถี่พัลส์ 1.5 พัลส์ต่อวินาที กระแสไฟฟ้าพัลส์ 230 แอมแปร์ และกระแสไฟฟ้าเบส 105 แอมแปร์ สามารถเชื่อมชิ้นงานในแนวราบรอยเชื่อมดีระดับหนึ่ง โดยที่รอยเชื่อมยังคงมีรอยกินลึกด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 รอยเชื่อมในลักษณะการเชื่อมแนวราบ ที่ความเร็วการเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที

$f = 1.5$  pulse/sec ,  $I_p = 230$  Amp. และ  $I_b = 105$  Amp.

#### 4.1.2.4 สรุปผลการหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่ดีที่สุดในลักษณะการเชื่อมแนวราบ

จากการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมาพบว่าในการเชื่อมแนวราบนี้ ความเร็วการเชื่อมที่เหมาะสมที่สุดที่ได้ลักษณะรอยเชื่อมที่ดีตามมาตรฐาน คือที่ความเร็ว 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งจะมีค่าตัวแปรต่าง ๆ อยู่ในช่วงแคบ ๆ เท่านั้นที่สามารถเชื่อมชิ้นงานได้ตามมาตรฐาน ที่ความเร็วที่สูงกว่า คือ 5 มิลลิเมตรต่อวินาทีที่สามารถเชื่อมชิ้นงานได้ดีในระดับหนึ่ง และที่ความเร็ว 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที ไม่สามารถเชื่อมชิ้นงานให้ได้รอยเชื่อมที่ดีได้

### 4.2 การหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่ดีที่สุดสำหรับการเชื่อมแนวตั้ง

ข้อมูลจากหนังสือ Welding Technology<sup>(6)</sup> กล่าวถึงการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมไว้พอสรุปได้ว่า สามารถเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมได้ในทุก ๆ ตำแหน่ง การเชื่อมแนวตั้งและแนวเหนือหัวใช้กระแสไฟฟ้าประมาณ 80 - 90% ของค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมในแนวราบ ช่างเชื่อมควรจะฝึกหัดการเชื่อมตำแหน่งแนวตั้งและแนวเหนือหัว โดยลดปริมาณกระแสไฟฟ้าลง 10 - 20% จากกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในแนวราบ โดยปกติแล้วการเชื่อมในแนวตั้งจะเชื่อมจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน เพราะปัญหาจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่พยายามดึงให้น้ำโลหะหลอมเหลวในรอยเชื่อมไหลลงสู่ด้านล่าง ในการทดลองนี้จะใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ชุดเดียวกับที่ใช้ในการเชื่อมในหัวข้อ 4.1.1 มาเป็นข้อมูลเริ่มต้น โดยการทดลองจะเป็นการเชื่อมจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน

#### 4.2.1 ผลการทดลองเชื่อมชิ้นงานที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

##### ก. ผลการทดลองเชื่อมเมื่อไม่ผสมก๊าซในโตรเจนในอาร์กอน

จากข้อมูลการทดลองในหัวข้อ 4.1.1 ค่าตัวแปรเริ่มต้นที่ใช้ คือ

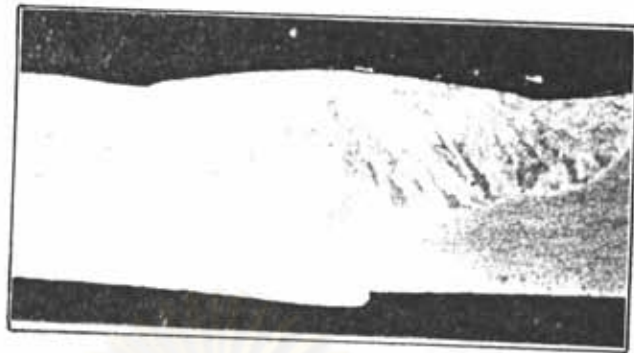
ความเร็วการเชื่อม	3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที
ความถี่พัลส์	1 พัลส์ต่อวินาที
กระแสไฟฟ้าพัลส์	200 แอมแปร์
กระแสไฟฟ้าเบส	42 แอมแปร์
% On Time	55

เมื่อใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนในการทดลองจากค่าที่กำหนด รอยเชื่อมที่ได้มี  
ระยะซีมลึกมากเกินไป และน้ำโลหะหลอมเหลวไหลลงด้านล่างทำให้เกิดรอยกินลึกด้านข้าง และ  
เมื่อปรับกระแสไฟฟ้าพัลส์จาก 200 แอมแปร์ เป็น 190 แอมแปร์ ระยะซีมลึกของรอยเชื่อมน้อย  
เกินไป แต่อย่างไรก็ตามที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 197 แอมแปร์ ลักษณะรอยเชื่อมที่ได้สมบูรณ์ตาม  
ต้องการ รูปที่ 4.19 แสดงภาพตัดและลักษณะรอยเชื่อมที่ได้จากการทดลอง

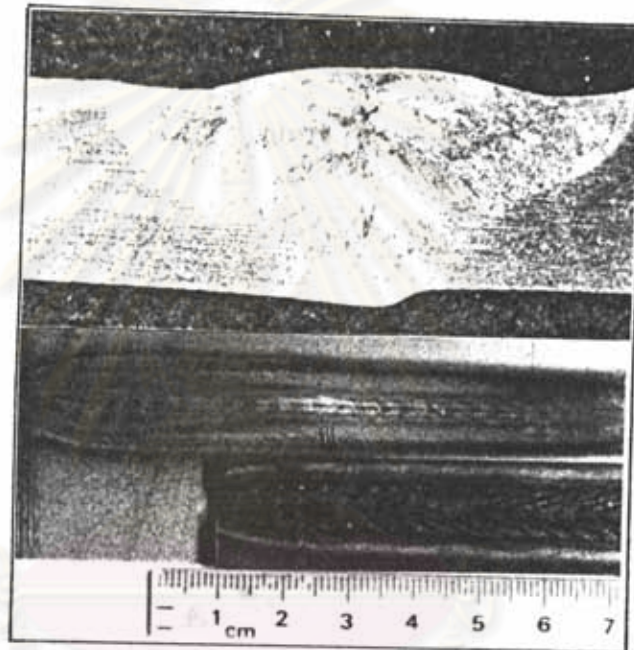


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ก



ข



ค

รูปที่ 4.19 รอยเชื่อมในลักษณะการเชื่อมแนวตั้ง เมื่อใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอน

ก. ภาพตัดรอยเชื่อมที่ใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 190 แอมแปร์

ข. ผีวรอยเชื่อม และภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 197 แอมแปร์

ค. ภาพตัดรอยเชื่อมที่ใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์

### ข. ผลการทดลองเชื่อมใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนผสมไนโตรเจน 1% โดยปริมาตร

นำค่าตัวแปรต่าง ๆ ของการทดลองที่ใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนมาเป็นจุดเริ่มต้นในการทดลองเชื่อม รูปที่ 4.20 แสดงรอยเชื่อมที่ได้และการเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 195 แอมแปร์ เป็นรอยเชื่อมที่มีลักษณะตามต้องการ ในขณะที่การเชื่อมที่ใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 185 แอมแปร์ มีระยะซึมลึกที่น้อยเกินไป สำหรับการทดลองเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 190 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าเบส 52 แอมแปร์ น้ำโลหะหลอมเหลวในรอยเชื่อมไหลย้อย จนทำให้เกิดรอยกินลึกด้านข้าง

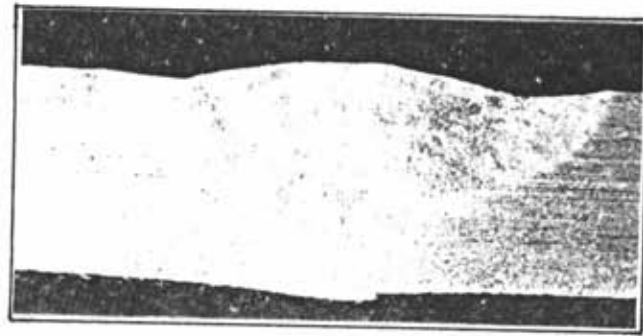
### ค. ผลการทดลองเชื่อมใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนผสมไนโตรเจน 2% โดยปริมาตร

ภาพรอยเชื่อมในรูปที่ 4.21 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของไนโตรเจนเข้าไปในก๊าซปกคลุมอาร์กอน จะมีผลกระทบต่อความเหนียวของน้ำโลหะหลอมเหลว โดยลักษณะของรอยเชื่อมจะเกิดการไหลย้อยของเนื้อโลหะจนทำให้เกิดรอยกินลึกด้านข้างถึงประมาณ 0.2 มิลลิเมตร จากการทดลองจะได้ค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ 195 แอมแปร์ และกระแสไฟฟ้าเบส 42 แอมแปร์ ที่ทำให้เกิดระยะซึมลึกพอดี และเกิดรอยกินลึกประมาณ 0.1 มิลลิเมตร

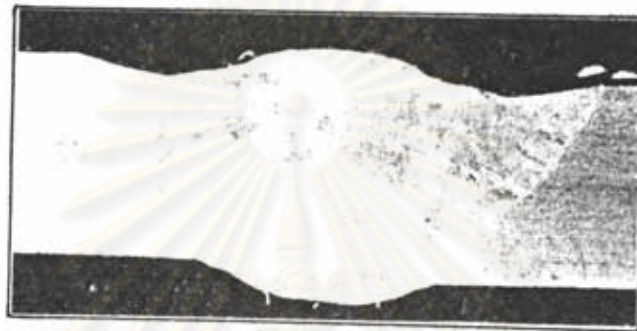
### ง. ผลการทดลองเชื่อมใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนผสมไนโตรเจน 3% โดยปริมาตร

เมื่อปริมาณของไนโตรเจนมากขึ้น ความสามารถในการไหลของน้ำโลหะหลอมยิ่งมากขึ้น ทำให้ระยะห่างของการอาร์ก (Arc Length) มีค่ามากขึ้น ผลที่ตามมาคืออาร์กดับระหว่างการเชื่อม จึงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าเบสเพื่อรักษาสภาพการอาร์กในช่วงเวลากระแสไฟฟ้าเบสไว้

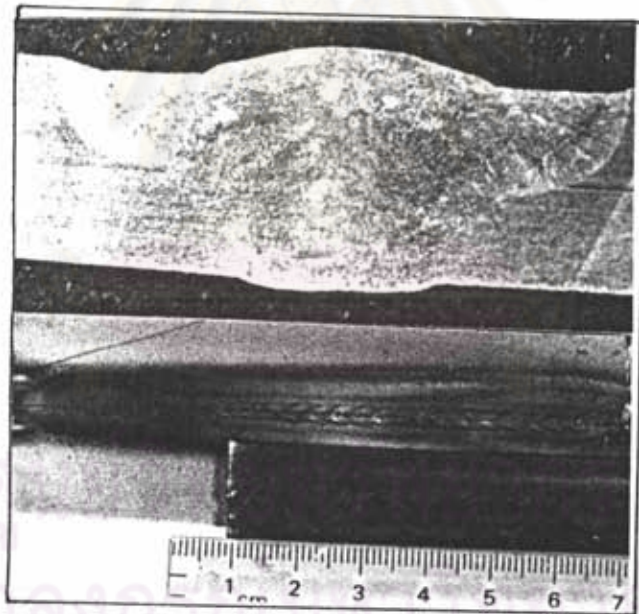
รูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดรอยกินลึกด้านข้างอย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 190 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าเบส 52 แอมแปร์ รอยเชื่อมที่ได้มีลักษณะที่ดี ถึงแม้จะเกิดรอยกินลึกประมาณ 0.1 มิลลิเมตร



ก



ข



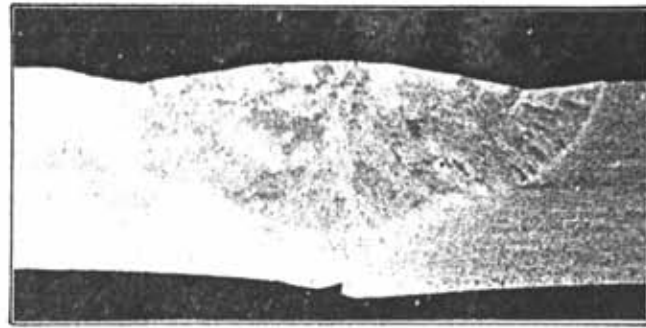
ค

รูปที่ 4.20 รอยเชื่อมในลักษณะการเชื่อมแนวตั้ง เมื่อผสมก๊าซไนโตรเจน 1% (ปริมาตร) ใน ก๊าซปกคลุมอาร์กอน

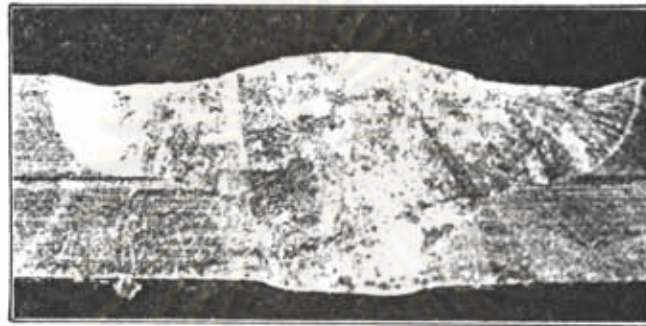
ก.  $I_p = 185$  แอมแปร์  $I_b = 42$  แอมแปร์

ข.  $I_p = 190$  แอมแปร์  $I_b = 52$  แอมแปร์

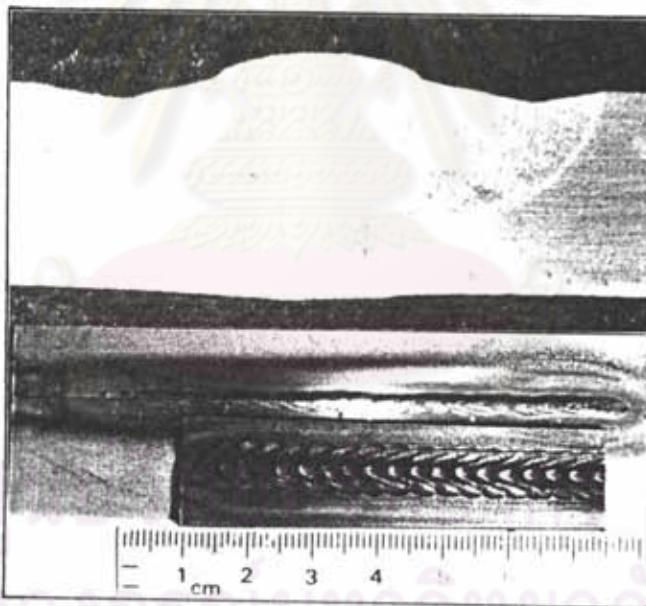
ค.  $I_p = 195$  แอมแปร์  $I_b = 42$  แอมแปร์



ก



ข



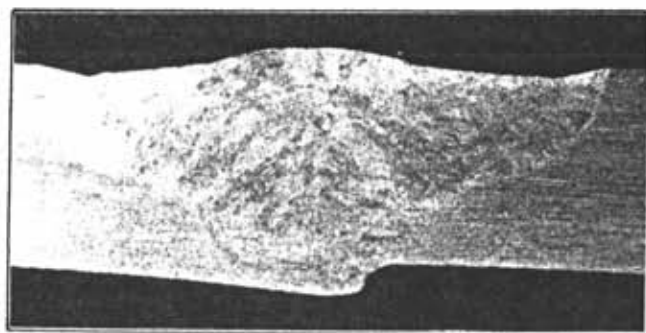
ค

รูปที่ 4.21 รอยเชื่อมในลักษณะการเชื่อมแนวตั้ง เมื่อผสมก๊าซไนโตรเจน 2% (ปริมาตร) ใน ก๊าซปกคลุมอาร์กอน

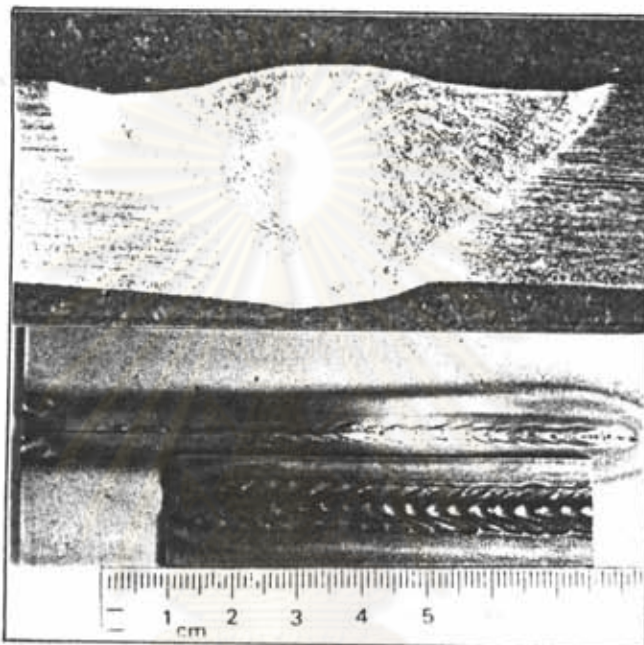
ก.  $I_p = 187$  แอมแปร์  $I_b = 52$  แอมแปร์

ข.  $I_p = 193$  แอมแปร์  $I_b = 48$  แอมแปร์

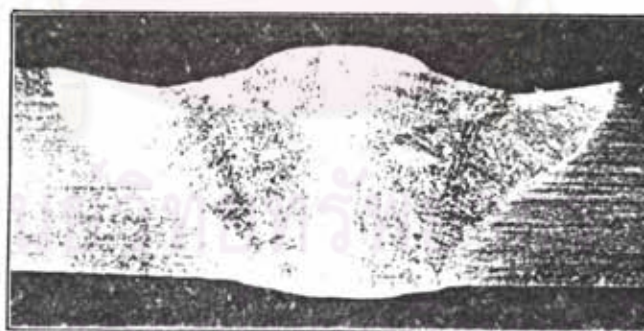
ค.  $I_p = 195$  แอมแปร์  $I_b = 42$  แอมแปร์



ก



ข



ค

รูปที่ 4.22 รอยเชื่อมในลักษณะการเชื่อมแนวตั้ง เมื่อผสมก๊าซไนโตรเจน 3% (ปริมาตร) ใน ก๊าซปกคลุมอาร์กอน

ก.  $I_p = 187$  แอมแปร์  $I_b = 52$  แอมแปร์

ข.  $I_p = 190$  แอมแปร์  $I_b = 52$  แอมแปร์

ค.  $I_p = 195$  แอมแปร์  $I_b = 48$  แอมแปร์

จากการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.9 และขนาดของรอยเชื่อมแสดงในตารางที่ 4.10 จากการพิจารณาค่า W/D ของรอยเชื่อมที่ตีพบว่า ค่าดังกล่าวมีค่าอยู่ระหว่าง 2.6 - 3.0 จากการทดลองนี้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ที่สุด คือชิ้นงานจากการเชื่อมใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนเท่านั้น ซึ่ง ค่า W/D มีค่า 2.8

ตารางที่ 4.9 ค่าคงที่และค่าตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมแนวตั้ง ที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านบน	= 16 ลิตรต่อนาที
ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านล่าง	= 9 ลิตรต่อนาที
% On Time	= 55
ความถี่พัลส์	= 1 พัลส์ต่อวินาที

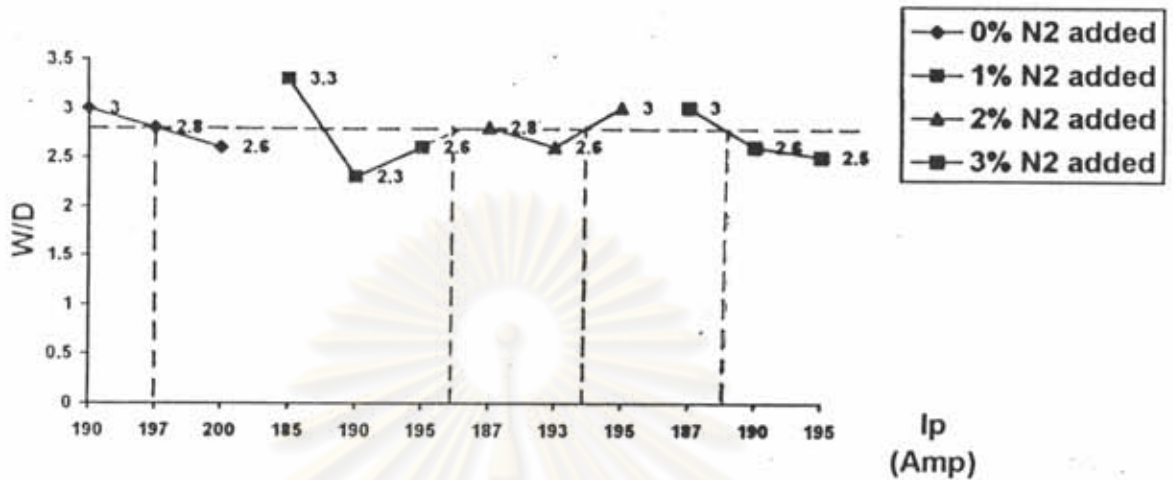
หมายเลขชิ้นงาน	% N <sub>2</sub> (v/v)	Ip Amp.	Ib Amp.	ลักษณะรอยเชื่อม
37	0	190	42	ระยะซีมเล็กไม่เพียงพอ
38	0	200	42	ระยะซีมเล็กมากเกินไป เกิดรอยกินลึก
40	0	197	42	ลักษณะรอยเชื่อมดีตามต้องการ
55	1	195	42	ระยะซีมเล็กพอดี ลักษณะรอยเชื่อมดี
56	1	185	42	ระยะซีมเล็กน้อยเกินไป
60	1	190	52	รอยเชื่อมย้อย และเกิดรอยกินลึก
68	2	195	42	ระยะซีมเล็กพอดี และเกิดรอยกินลึก
70	2	193	48	ระยะซีมเล็กมากเกินไป เกิดรอยกินลึก ประมาณ 0.1 มิลลิเมตร
72	2	187	52	ระยะซีมเล็กน้อยเกินไป เกิดรอยกินลึก
79	3	195	48	รอยเชื่อมย้อย, อาร์กดับ
80	3	190	52	ลักษณะรอยเชื่อมดี เกิดรอยกินลึก ประมาณ 0.1 มิลลิเมตร
81	3	187	52	การซีมเล็กน้อยเกินไป

ตารางที่ 4.10 ขนาดของรอยเชื่อมจากชิ้นงานทดลองของการเชื่อมในแนวตั้ง ที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

หมายเลขชิ้นงาน	ตำแหน่งวัดที่ 1		ตำแหน่งวัดที่ 2		ตำแหน่งวัดที่ 3		ค่าเฉลี่ย		
	W	D	W	D	W	D	W	D	W/D
	37	8.0	3.3	8.3	2.3	8.2	2.5	8.2	2.7
38	8.6	3.3	8.5	3.3	8.2	3.2	8.4	3.3	2.6
40	7.6	2.9	7.7	2.8	8.4	2.9	7.9	2.9	2.8
55	8.1	3.2	8.2	3.2	8.3	3.2	8.2	3.2	2.6
56	7.5	2.3	8.2	2.1	7.3	2.6	7.7	2.3	3.3
60	7.7	3.2	7.5	3.4	7.7	3.3	7.6	3.3	2.3
68	8.2	2.9	8.4	2.9	8.2	2.6	8.3	2.8	3.0
70	8.3	3.2	8.2	2.8	8.2	3.2	8.2	3.1	2.7
72	7.9	2.8	8.1	2.9	8.1	3.0	8.0	2.9	2.8
79	8.1	3.3	8.2	3.2	8.0	3.3	8.1	3.3	2.5
80	8.1	2.9	7.7	3.2	8.1	3.2	8.0	3.1	2.6
81	8.6	2.8	7.9	3.0	8.3	2.5	8.3	2.8	3.0

หน่วยมิลลิเมตร

และรูปที่ 4.23 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่าง W/D กระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ใช้ และผลของไนโตรเจนที่ผสมในก๊าซปกคลุมอาร์กอน ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อผสมก๊าซไนโตรเจนลงไป ในก๊าซปกคลุมอาร์กอน และผลของแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้การควบคุมน้ำโลหะในรอยเชื่อม ระหว่างการเชื่อมเป็นไปได้ยาก เนื่องจากความหนืดของน้ำโลหะหลอมเหลวลดลง



รูปที่ 4.23 กราฟการเปรียบเทียบระหว่าง W/D กระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ใช้ และผลของไนโตรเจนที่ผสมในก๊าซปกคลุมอาร์กอน ของการเชื่อมแนวตั้ง

#### 4.2.2 ผลการทดลองเชื่อมชิ้นงานที่ความเร็วการเชื่อม 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที

จากผลการทดลองเชื่อมในแนวราบที่ความเร็วการเชื่อมนี้เร็วเกินไปที่จะทำให้ได้ระยะซึมลึกตามต้องการเมื่อไม่ให้เกิดรอยกินลึกด้านข้างรอยเชื่อม ถ้าพิจารณาจากข้อมูลการเชื่อมเบื้องต้นแล้วพบว่า การที่จะให้ได้ระยะซึมลึกตามต้องการต้องปรับปริมาณกระแสไฟฟ้าพัลส์หรือกระแสไฟฟ้าเบสเพิ่มขึ้น การทดลองในที่นี้ได้ใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ คือ

ความถี่พัลส์ 2 พัลส์ต่อวินาที

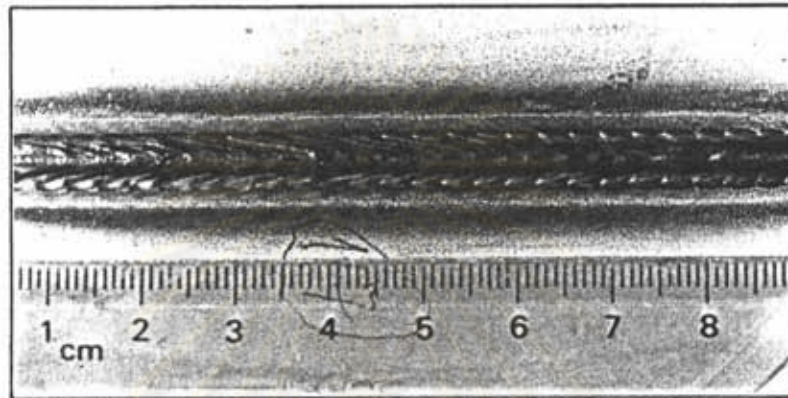
กระแสไฟฟ้าพัลส์ 250 แอมแปร์

กระแสไฟฟ้าเบส 70 แอมแปร์

ผลที่ได้พบว่ารอยเชื่อมที่ได้มีรอยกินลึกด้านข้างลึก 0.8 มิลลิเมตร ในขณะที่ระยะซึมลึกยังไม่เพียงพอตามความต้องการ ลักษณะรอยเชื่อมดังกล่าว แสดงในรูปที่ 4.24



สรุปได้ว่า ที่ความเร็วการเชื่อม 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที ไม่สามารถเชื่อมชิ้นงาน ให้ได้ลักษณะรอยเชื่อมตามต้องการได้



รูปที่ 4.24 ภาพรอยเชื่อมจากการเชื่อมในแนวตั้ง ที่ความเร็วการเชื่อม 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที

#### 4.2.3 ผลการทดลองเชื่อมที่ความเร็วการเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที

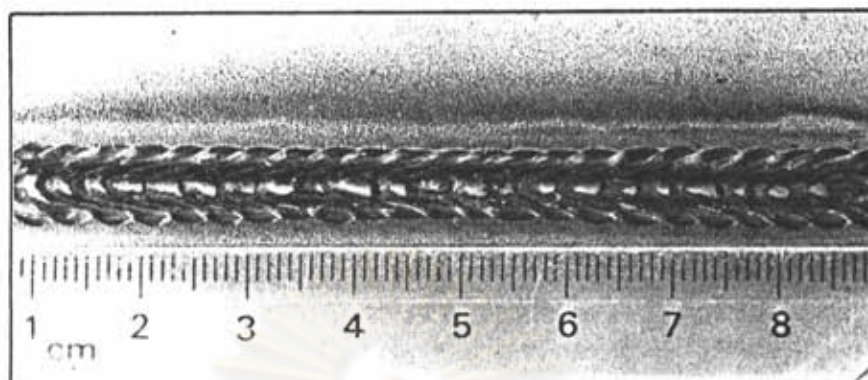
จากการนำค่าตัวแปรการเชื่อมในแนวราบที่ความเร็วการเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ให้ระยะชิมลึกของรอยเชื่อมที่เพียงพอมาเชื่อมในแนวตั้ง ผลที่ได้พบว่าการไหลย่อยของน้ำโลหะทำให้รอยเชื่อมขาดออกจากกัน (ชิ้นงานทะเล) ค่าตัวแปรที่ใช้ คือ

ความถี่พัลส์ 1.5 พัลส์ต่อวินาที

กระแสไฟฟ้าพัลส์ 230 แอมแปร์

กระแสไฟฟ้าเบส 105 แอมแปร์

และเมื่อลดปริมาณกระแสไฟฟ้าเบสลงมาที่ 70 แอมแปร์ รอยเชื่อมมีระยะชิมลึกเพียงพอ ในขณะที่เกิดรอยกินลึกด้านข้าง 0.4 มิลลิเมตร ลักษณะรอยเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 รอยเชื่อมจากการเชื่อมในแนวตั้ง ที่ความเร็วการเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความถี่พัลส์ 1.5 พัลส์ต่อวินาที  $I_p = 230$  แอมแปร์  $I_b = 70$  แอมแปร์

#### 4.2.4 สรุปผลการหาตัวแปรการเชื่อมที่ดีที่สุดสำหรับการเชื่อมแนวตั้ง

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมาพบว่าการเชื่อมในแนวตั้งนี้แรงโน้มถ่วงของโลกมีผลต่อลักษณะรอยเชื่อม ทำให้เกิดขีดจำกัดของการเชื่อม นั่นคือเมื่อต้องการระยะซึมลึกที่มากขึ้น จำเป็นต้องสูญเสียลักษณะรอยเชื่อมที่ดีไป อันเกิดจากการไหลย้อนของน้ำโลหะเหลวขณะเชื่อม จนทำให้เกิดรอยกินลึกด้านข้างรอยเชื่อม

ถึงแม้ว่าที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาทีจะได้รอยเชื่อมที่ดีตามต้องการ แต่ก็เฉพาะในกรณีที่ใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนไม่มีไนโตรเจนผสม ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจนเข้าไปในก๊าซปกคลุมแล้ว การไหลย้อนของน้ำโลหะในรอยเชื่อมจะง่ายขึ้นทำให้ควบคุมได้ยาก ในขณะที่ที่ความเร็วการเชื่อม 5 และ 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาทีไม่สามารถรักษารอยเชื่อมได้ดีตามที่ต้องการ ถึงแม้จะใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนที่ไม่มีไนโตรเจนผสมอยู่ก็ตาม

ผลการตรวจสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมที่ใช้ความเร็ว 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้วยวิธี Radiographic Test (แสดงในภาคผนวก ค) แสดงให้เห็นว่ารอยเชื่อมมีความสมบูรณ์

### 4.3 การหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่ดีที่สุดสำหรับการเชื่อมแนวเหนือหัว

ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการเชื่อมแนวตั้งว่า ในการเชื่อมแนวตั้งและแนวเหนือหัว ผลของแรงโน้มถ่วงจะมีต่อลักษณะของรอยเชื่อมนอกเหนือไปจากผลกระทบจากตัวแปรอื่น ๆ ที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1.1 แต่ผลจากแรงโน้มถ่วงที่เกิดในการเชื่อมแนวเหนือหัวนี้จะมีผลแตกต่างไปจากการเชื่อมในแนวตั้ง คือระยะอาร์ก ( Arc Length ) ของการเชื่อมแนวเหนือหัวจะสั้นลง เพราะน้ำโลหะหลอมเหลวจะไหลย่อยเข้าหาอิเลกโทรดในขณะที่เชื่อม แต่อย่างไรก็ตามการปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ ก็สามารถควบคุมน้ำโลหะหลอมเหลวได้

การทดลองเริ่มต้นจากการใช้ค่าตัวแปรที่ได้จากการทดลองการเชื่อมในหัวข้อ 4.1.1 โดยทดลองเชื่อมที่ความเร็ว 3.4, 5 และ 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที และเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของก๊าซไนโตรเจนในก๊าซปกคลุมอาร์กอนเป็น 1, 2 และ 3% โดยปริมาตร

#### 4.3.1 ผลการทดลองเชื่อมขึ้นงานที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

จากข้อมูลการทดลองในหัวข้อ 4.1.1 ค่าตัวแปรที่ใช้ คือ

ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

ความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที

กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์

กระแสไฟฟ้าเบส 42 แอมแปร์

% On Time 55

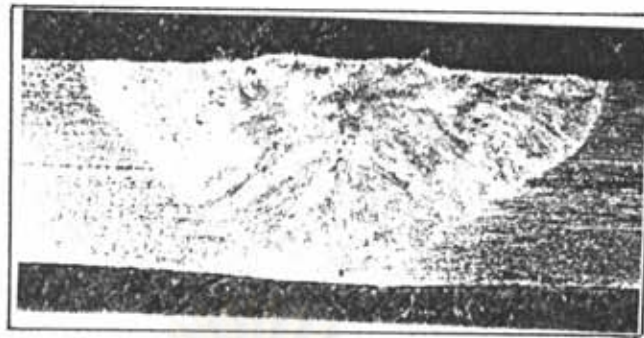
#### ก. ผลการทดลองเชื่อมเมื่อไม่ผสมก๊าซไนโตรเจนในอาร์กอน

การทดลองด้วยค่าตัวแปรดังกล่าว รอยเชื่อมที่ได้เกิดการยุบตัวหรือเว้าที่ฐานของรอยเชื่อม (Root Concavity) ซึ่งไม่อนุญาตให้เกิดได้เมื่อเทียบกับมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงปรับลดค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ลงมาที่ 187 แอมแปร์ ปรากฏว่าระยะซิมลิกของรอยเชื่อมน้อยเกินไป ถึงแม้ว่าผิวของรอยเชื่อมจะสมบูรณ์ก็ตาม แต่หลังจากปรับค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์มาที่ 197 แอมแปร์

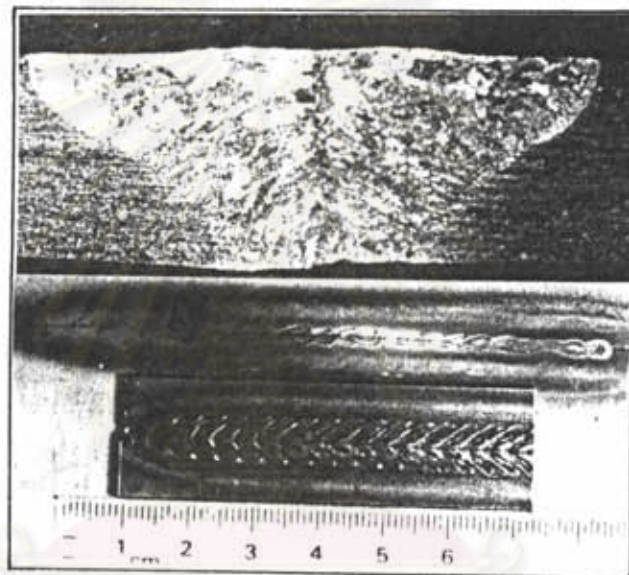
รอยเชื่อมที่ได้มีความสมบูรณ์ แม้ว่าจะมีการยุบตัวเล็กน้อยบริเวณฐานของรอยเชื่อม รูปที่ 4.26  
แสดงภาพรอยเชื่อมที่ได้จากการทดลอง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก



ข



ค

- รูปที่ 4.26 ภาพรอยเชื่อมในลักษณะการเชื่อมแนวเหนือหัว เมื่อใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอน
- ก. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 185 แอมแปร์
  - ข. ผิวรอยเชื่อม และภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 197 แอมแปร์
  - ค. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์

### ข. ผลการทดลองเชื่อมใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนผสมไนโตรเจน 1% (ปริมาตร)

นำค่าตัวแปรจากการเชื่อมในหัวข้อ ก มาเป็นจุดเริ่มต้นของการทดลอง พบว่าการเชื่อมด้วยค่าดังกล่าวทำให้เกิดการยุบตัวของฐานรอยเชื่อมมากขึ้น เนื่องจากผลของก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับการเชื่อมแนวตั้ง คือไนโตรเจนช่วยทำให้การไหลของน้ำโลหะดีขึ้น ผลของการปรับค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์จนทำให้ได้รอยเชื่อมที่ดี คือได้ค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ 190 แอมแปร์ ลักษณะของรอยเชื่อมแสดงดังรูปที่ 4.27

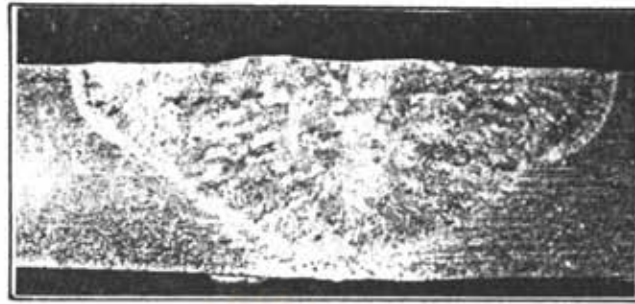
### ค. ผลการทดลองเชื่อมใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนผสมไนโตรเจน 2% (ปริมาตร)

จากการทดลองเชื่อมปรากฏว่าค่าตัวแปรการเชื่อมไม่เปลี่ยนแปลง ค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ใช้เชื่อมเพื่อให้ได้ลักษณะรอยเชื่อมที่ดียังคงอยู่ที่ 190 แอมแปร์ แต่เพื่อความมั่นใจจึงทดลองปรับค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ไปที่ 185 และ 197 แอมแปร์ ผลที่ได้คือรอยเชื่อมที่ได้ไม่ดีตามต้องการ คือการซึมลึกน้อยที่ 185 แอมแปร์ และเกิดการยุบตัวบริเวณฐานรอยเชื่อมที่ 197 แอมแปร์ พิจารณาได้จากรูปที่ 4.28

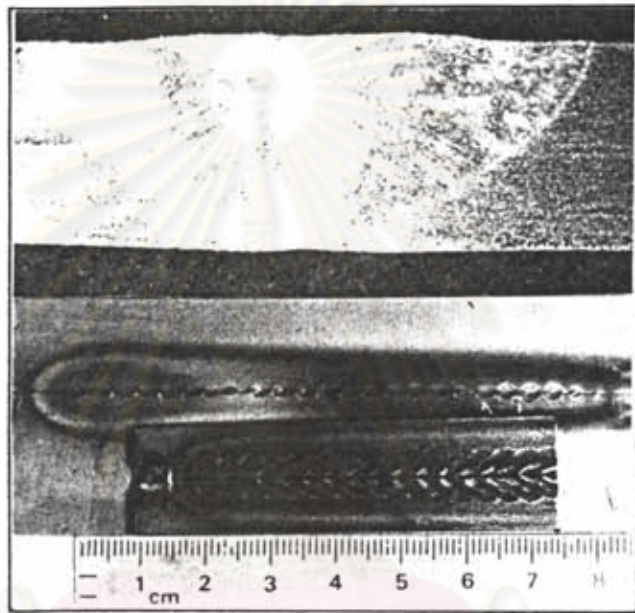
### ง. ผลการทดลองเชื่อมใช้ก๊าซปกคลุมอาร์กอนผสมไนโตรเจน 3% (ปริมาตร)

เริ่มต้นการทดลองด้วยค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ 190 ที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา ซึ่งรอยเชื่อมที่ได้เกิดการยุบตัวบริเวณฐานของรอยเชื่อม จำเป็นต้องปรับกระแสไฟฟ้าพัลส์ลงมาที่ 185 แอมแปร์ รอยเชื่อมที่ได้จึงมีลักษณะที่ดีตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4.29

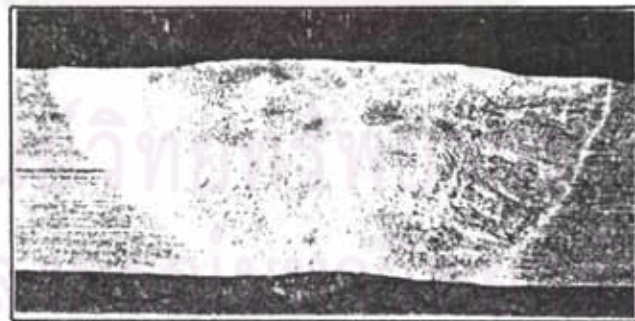
จากการทดลองทั้งหมดของการเชื่อมที่ความเร็ว 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที สำหรับการเชื่อมในแนวเหนือหัว ค่าตัวแปรต่าง ๆ สรุปไว้ในตารางที่ 4.11 ขนาดของรอยเชื่อมแสดงในตารางที่ 4.12 ซึ่งสามารถสรุปเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.30



ก



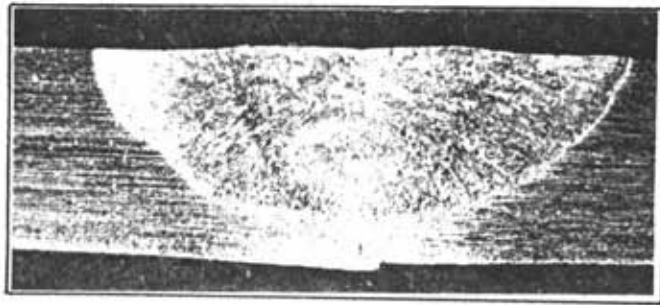
ข



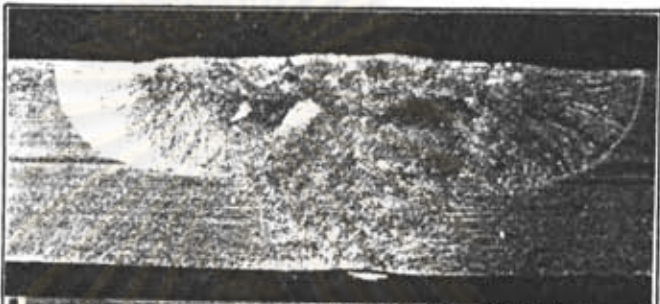
ค

รูปที่ 4.27 ภาพรอยเชื่อมในลักษณะการเชื่อมแนวเหนือหัว เมื่อผสมก๊าซไนโตรเจน 1% โดยปริมาตร ในก๊าซปกคลุมอาร์กอน

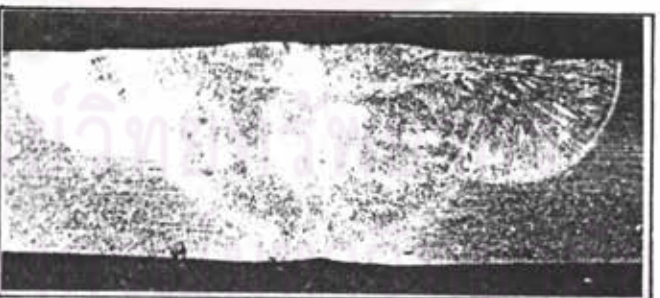
- ก. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 185 แอมแปร์
- ข. ผิวยรอยเชื่อม และภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 190 แอมแปร์
- ค. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 197 แอมแปร์



ก -



ข



ค

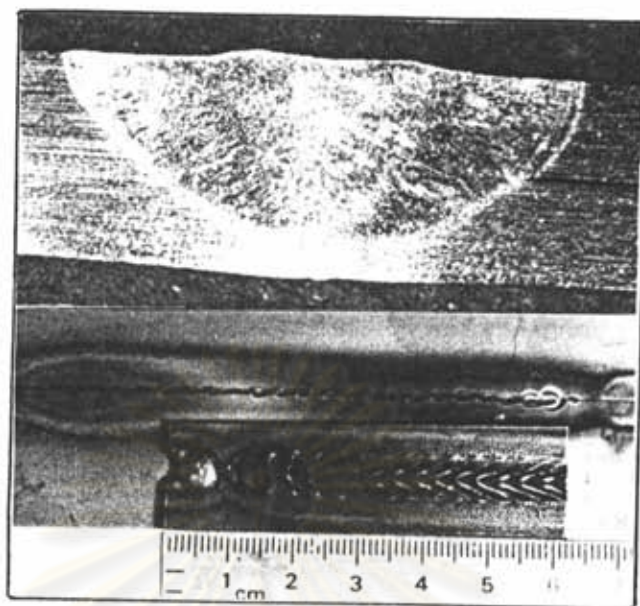
รูปที่ 4.28 ภาพรอยเชื่อมในลักษณะการเชื่อมแนวเหนือหัว เมื่อผสมก๊าซไนโตรเจน 2% โดยปริมาตร ในก๊าซปกคลุมอาร์กอน

ก. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 185 แอมแปร์

ข. ผีวรอยเชื่อม และภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 190 แอมแปร์

ค. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 197 แอมแปร์





ก



ข



ค

รูปที่ 4.29 ภาพรอยเชื่อมในลักษณะการเชื่อมแนวเหนือหัว เมื่อผสมก๊าซไนโตรเจน 3% โดยปริมาตร ในก๊าซปกคลุมอาร์กอน

- ก. ผิวยรอยเชื่อม และภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 185 แอมแปร์
- ข. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 190 แอมแปร์
- ค. ภาพตัดรอยเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 197 แอมแปร์

ตารางที่ 4.11 ค่าคงที่และค่าตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมแนวเหนือหัว ที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

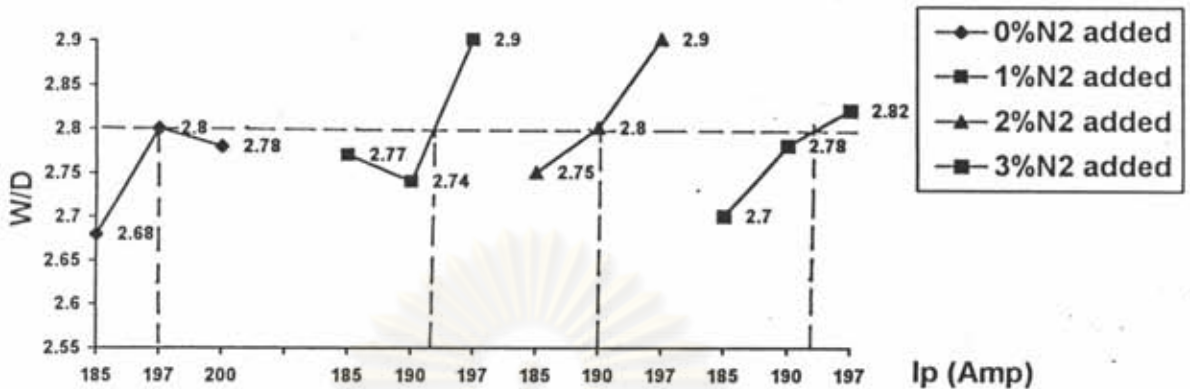
ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านบน 16 ลิตรต่อนาที  
 ปริมาณก๊าซปกคลุมด้านล่าง 8 ลิตรต่อนาที  
 เวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าพัลส์ 0.55 วินาที  
 เวลาในช่วงกระแสไฟฟ้าเบส 0.45 วินาที  
 ความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที

หมายเลขชิ้นงาน	% N <sub>2</sub> (v/v)	I <sub>p</sub> Amp.	I <sub>b</sub> Amp.	ลักษณะรอยเชื่อม
47	0	200	42	กระแสสูงเกินไป เกิดการยุบตัวบริเวณรอยต่อ
48	0	185	42	ระยะซึมลึกไม่พอ กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำ
49	0	197	42	ลักษณะรอยเชื่อมได้ตามต้องการ
62	1	197	42	กระแสสูงเกินไป เกิดการยุบตัวบริเวณรอยต่อ
63	1	185	42	กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำ ระยะซึมลึกไม่พอ
64	1	190	42	รอยเชื่อมดีตามต้องการ
73	2	190	42	สภาพรอยเชื่อมดีตามต้องการ
74	2	185	42	ระยะซึมลึกน้อยไป รอยเชื่อมไม่ต่อเนื่อง
75	2	197	42	กระแสสูงเกินไป เกิดการยุบตัวบริเวณรอยต่อ
83	3	190	42	ระยะซึมลึกมากเกินไป เกิดการยุบตัวบริเวณรอยต่อ
84	3	185	42	ลักษณะรอยเชื่อมดีตามต้องการ
85	3	197	42	ระยะซึมลึกมากเกินไป เกิดการยุบตัวบริเวณรอยต่อ

ตารางที่ 4.12 ขนาดของรอยเชื่อมจากชิ้นงานทดลองของการเชื่อมแนวเหนือหัว ที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

หมายเลขชิ้นงาน	ตำแหน่งวัดที่ 1		ตำแหน่งวัดที่ 2		ตำแหน่งวัดที่ 3		ค่าเฉลี่ย		
	W	D	W	D	W	D	W	D	W/D
47	8.2	2.9	8.1	2.9	8.0	2.9	8.1	2.9	2.8
48	8.1	3.0	7.9	3.0	7.6	2.9	7.9	3.0	2.7
49	8.8	3.0	8.0	3.0	8.5	3.0	8.4	3.0	2.8
62	8.7	2.9	8.5	3.0	7.9	2.9	8.4	2.9	2.9
63	8.1	2.8	7.7	2.8	8.4	3.0	8.1	2.9	2.8
64	7.9	2.6	8.0	3.2	8.0	3.0	8.0	2.9	2.7
73	8.6	3.0	8.5	3.0	7.7	3.0	8.3	3.0	2.8
74	7.7	2.7	7.5	2.8	7.9	2.8	7.7	2.8	2.8
75	8.9	3.0	8.7	3.0	8.4	3.0	8.7	3.0	2.9
83	7.9	3.0	8.4	3.0	8.2	2.9	8.2	3.0	2.8
84	7.6	2.9	7.7	2.9	7.4	2.8	7.6	2.9	2.7
85	8.5	3.0	8.8	3.3	8.9	3.0	8.7	3.1	2.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
หน่วยมิลลิเมตร



รูปที่ 4.30 กราฟการเปรียบเทียบระหว่าง W/D, กระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ใช้ และผลของไนโตรเจนที่ผสมในก๊าซปกคลุมอาร์กอนของการเชื่อมแนวเหนือหัว ที่ความเร็ว 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที

จากกราฟรูปที่ 4.30 จะเห็นว่าที่กระแสไฟฟ้าพัลส์สูงขึ้น ค่า W/D มีแนวโน้มสูงขึ้น อันเนื่องจากการยุบตัวบริเวณฐานของรอยเชื่อม (Root Concavity) ซึ่งจะทำให้รอยเชื่อมลึกมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าจากตารางที่ 4.12 สำหรับชิ้นงานที่มีลักษณะรอยเชื่อมที่ดีแล้วนั้น ค่า W/D ที่ได้จะมีค่า 2.7 และ 2.8

ผลจากการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วย Radiographic Test (ภาคผนวก ค) ปรากฏว่า ชิ้นงานหมายเลข 49 มีปัญหาคือ มีการยุบตัวบริเวณฐานของรอยเชื่อมเล็กน้อย ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยลดปริมาณกระแสไฟฟ้าพัลส์ลง 1 - 2 แอมแปร์

#### 4.3.2 ผลการทดลองเชื่อมชิ้นงานที่ความเร็วการเชื่อม 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที

จากการทดลองเชื่อมชิ้นงานจำนวน 2 ชิ้น ที่ความถี่พัลส์ 2 พัลส์ต่อวินาที ค่ากระแสไฟฟ้าเบส 70 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าพัลส์ 250 แอมแปร์และ 312 แอมแปร์ ตามลำดับ พบว่าที่กระแสไฟฟ้าพัลส์ 312 แอมแปร์ รอยเชื่อมมีระยะเชื่อมลึกที่ดี แต่เกิดรอยกินลึกด้านข้าง

อันเนื่องจากการไหลของน้ำโลหะหลอมเหลวขณะเชื่อม ซึ่งทำให้ไม่สามารถเชื่อมให้ได้รอยเชื่อมตามต้องการได้ ลักษณะรอยเชื่อมแสดงดังรูปที่ 4.31

#### 4.3.3 ผลการทดลองเชื่อมชิ้นงานที่ความเร็วการเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที

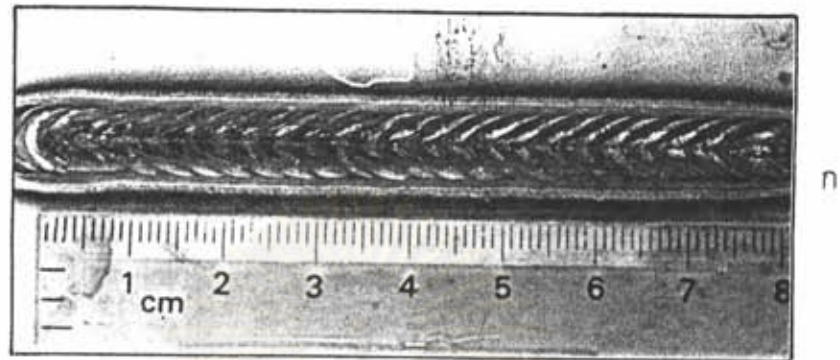
ผลที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกับการเชื่อมที่ความเร็ว 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที แต่ขนาดของรอยกินลึกด้านข้างมีขนาดเล็กกว่า ซึ่งรอยเชื่อมที่ได้ไม่ได้ตามมาตรฐานเช่นกัน ดังภาพในรูปที่ 4.32

#### 4.3.4 สรุปผลการหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่ดีที่สุดสำหรับการเชื่อมแนวเหนือหัว

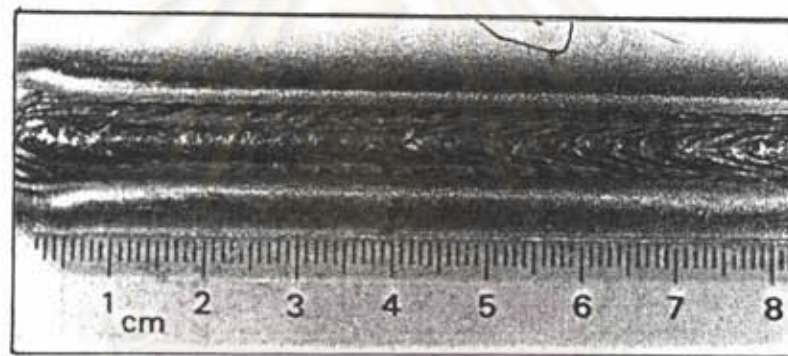
จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีต่อน้ำโลหะเหลว โดยเฉพาะเมื่อมีปริมาณก๊าซในโตรเจนผสมในก๊าซปกคลุมด้วยแล้ว การเกิดรอยกินลึกด้านข้างรอยเชื่อมจะเป็นไปได้ง่าย และยังทำให้เกิดการยุบตัวบริเวณฐานรอยเชื่อมอันจะทำให้รอยเชื่อมที่ได้ไม่ได้ตามมาตรฐานที่ต้องการ

สรุปได้ว่าที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที สามารถควบคุมลักษณะรอยเชื่อมให้ดีตามมาตรฐานได้ แต่ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้จะอยู่ในช่วงแคบ ๆ เท่านั้น และค่า W/D ของรอยเชื่อมจะอยู่ที่ 2.7 ถึง 2.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก

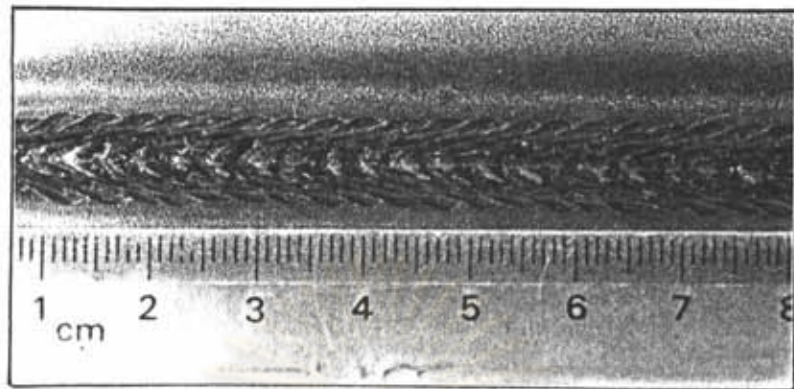


ข

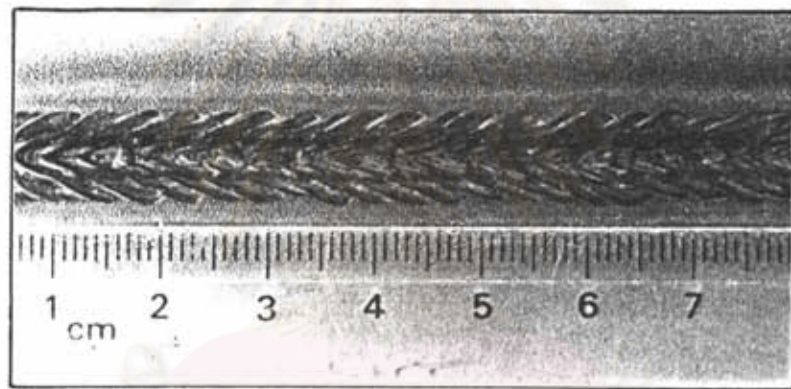
รูปที่ 4.31 ภาพรอยเชื่อมที่ความเร็วการเชื่อม 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที

ก.  $I_p = 250$  แอมแปร์

ข.  $I_p = 312$  แอมแปร์



ก



ข

รูปที่ 4.32 ภาพรอยเชื่อมที่ความเร็วการเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความถี่พัลส์ 1.5 พัลส์ต่อวินาที

ก.  $I_p = 230$  แอมแปร์  $I_b = 70$  แอมแปร์

ข.  $I_p = 270$  แอมแปร์  $I_b = 70$  แอมแปร์

#### 4.4 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อม

จากการทดลองเชื่อมชิ้นงานทั้งหมด นำชิ้นงานที่มีลักษณะรอยเชื่อมตามมาตรฐานไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เพื่อหาปริมาณของเดลต้าเฟอร์ไรท์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อม โดยใช้วิธีการวัดขนาดเฉลี่ยจากภาพถ่ายที่ได้จากเครื่อง Image Analyzer และคำนวณหาปริมาณเดลต้าเฟอร์ไรท์ดังแสดงในภาคผนวก ข

จำนวนชิ้นงานที่นำมาตรวจสอบทั้งหมดประกอบด้วย ชิ้นงานจากการเชื่อมในลักษณะการเชื่อมแนวราบ 4 ชิ้น การเชื่อมในแนวตั้ง 4 ชิ้น และการเชื่อมในแนวเหนือหัว 4 ชิ้น

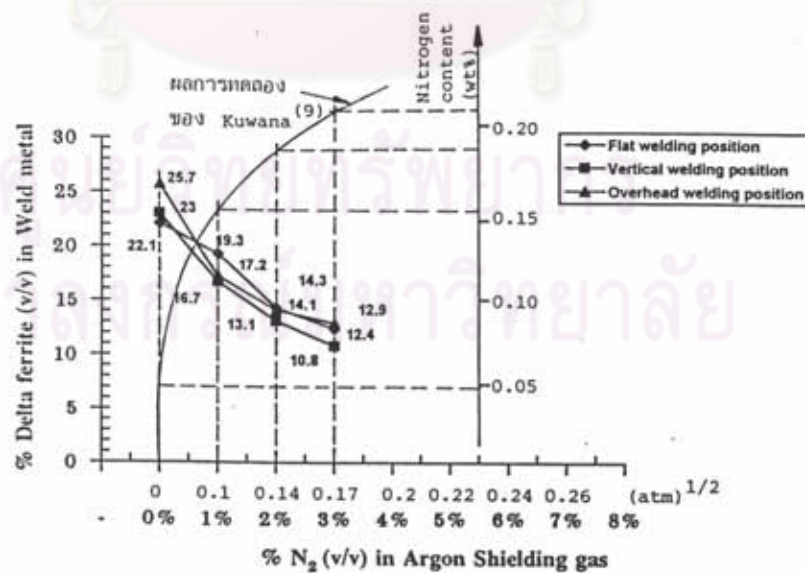
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค แสดงในตารางที่ 4.13 และกราฟรูปที่ 4.33 จะเห็นว่าก๊าซไนโตรเจนที่เพิ่มเข้าไปในก๊าซปกคลุมอาร์กอน มีแนวโน้มทำให้ปริมาณ  $\delta$ -Ferrite ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมลดลง เพราะไนโตรเจนเป็นธาตุที่ทำให้โครงสร้างออสเตนไนท์มีเสถียรภาพ หากต่อเส้นกราฟออกไปจะเห็นว่าแนวโน้มของปริมาณ  $\delta$ -Ferrite จะคงที่ เพราะปริมาณไนโตรเจนที่ละลายในเนื้อโลหะรอยเชื่อมจะเพิ่มขึ้นตามความดันย่อยของก๊าซไนโตรเจนในก๊าซปกคลุมอาร์กอน และคงที่ที่ค่าการละลายประมาณ 0.26 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (ตามผลการทดลองของ Kuwana<sup>(9)</sup>) สำหรับรูปที่ 4.34 แสดงให้เห็นภาพถ่ายโครงสร้าง  $\delta$ -Ferrite ที่ได้จากการเชื่อมแนวตั้งที่ 0, 1, 2 และ 3% โดยปริมาตร

ปริมาณ  $\delta$ -Ferrite ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมที่ต้องการจะถูกจำกัดให้อยู่ในช่วง .4 - 12% โดยปริมาตร (จาก Welding Stainless Steel<sup>(10)</sup>) และจากการทดลองนี้ปริมาณไนโตรเจนต่ำสุดในก๊าซปกคลุมอาร์กอนที่ทำให้  $\delta$ -Ferrite มีค่าไม่เกิน 12% โดยปริมาตร คือไนโตรเจน 3% โดยปริมาตร

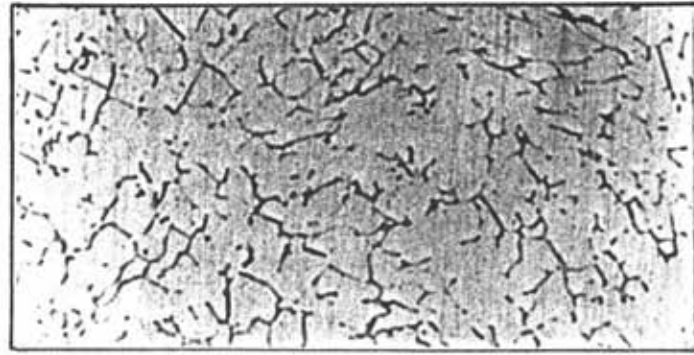


ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อม เพื่อหาปริมาณ เดลต้าเฟอร์ไรท์

ตำแหน่งการเชื่อม	ค่าตัวแปรการเชื่อม							% เดลต้าเฟอร์ไรท์ (v/v)
	Test No.	% N <sub>2</sub>	f pulse/sec	I <sub>p</sub> Amp	I <sub>b</sub> Amp	% On Time	V <sub>w</sub> mm/sec	
แนวราบ	45	0	1.0	200	42	55	3.4	22.1
	54	1	1.0	190	42	55	3.4	19.3
	66	2	1.0	185	48	55	3.4	14.3
	78	3	1.0	190	48	55	3.4	12.4
แนวตั้ง	40	0	1.0	197	42	55	3.4	23.0
	55	1	1.0	195	42	55	3.4	16.7
	68	2	1.0	195	42	55	3.4	13.1
	80	3	1.0	190	48	55	3.4	10.8
แนวเหนือหัว	49	0	1.0	197	42	55	3.4	25.7
	64	1	1.0	190	42	55	3.4	17.2
	73	2	1.0	190	42	55	3.4	14.1
	83	3	1.0	190	42	55	3.4	12.9



รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %  $\delta$ -Ferrite ในเนื้อโลหะรอยเชื่อม กับ % N<sub>2</sub> ที่ผสมใน ก๊าซปกคลุมอาร์กอน



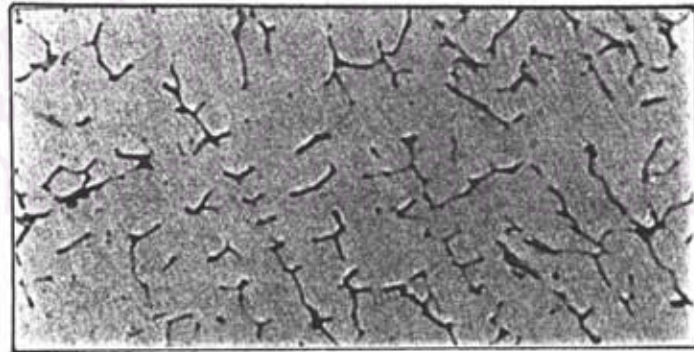
ก



ข



ค



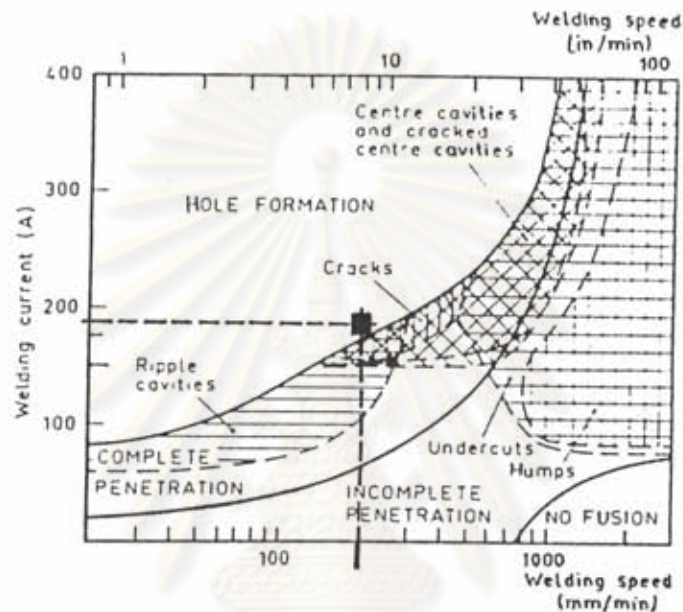
ง

รูปที่ 4.34 เดลต้าเฟอร์ไรท์ในโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อม ที่ %  $N_2$  ใน  
ก๊าซปกคลุมอาร์กอนต่าง ๆ (x200)

ก. 0%  $N_2$     ข. 1%  $N_2$     ค. 2%  $N_2$     ง. 3%  $N_2$

#### 4.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลงานที่มีการตีพิมพ์

เมื่อนำผลการทดลองหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่ได้เปรียบเทียบกับผลงานของ V.P. Kujanpaa<sup>(6)</sup> ซึ่งเป็นการทดลองเชื่อมแบบทิกในแนวราบ สามารถสรุปในแผนภูมิดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบผลการทดลองตัวแปรการเชื่อมพัลส์ทิกเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 304L ในลักษณะการเชื่อมแนวราบ แนวตั้ง และแนวเหนือหัว กับผลงานของ V.P. Kujanpaa<sup>(6)</sup>

จากรูปที่ 4.35 ซึ่งให้เห็นว่าตัวแปรการเชื่อมพัลส์ทิกจะอยู่ในบริเวณที่รอยเชื่อมเกิดโพรงอากาศภายใน ของแผนภูมิจากผลงานของ V. P. Kujanpaa<sup>(6)</sup> จากการตรวจสอบรอยเชื่อมที่ทดลองปรากฏว่าพบโพรงอากาศที่เกิดในบริเวณจุดเริ่มต้นของการเชื่อมเพียง 2 รอยเชื่อมเท่านั้น (ดูภาคผนวก ค) อาจสรุปได้ว่าการเชื่อมพัลส์ทิกนั้นสามารถลดข้อบกพร่องเรื่องการเกิดโพรงอากาศภายในได้ อาจเป็นเพราะอัตราการเย็นตัวของเนื้อโลหะรอยเชื่อมช้ากว่าอัตราการหนีออกไปของก๊าซที่ละลายอยู่

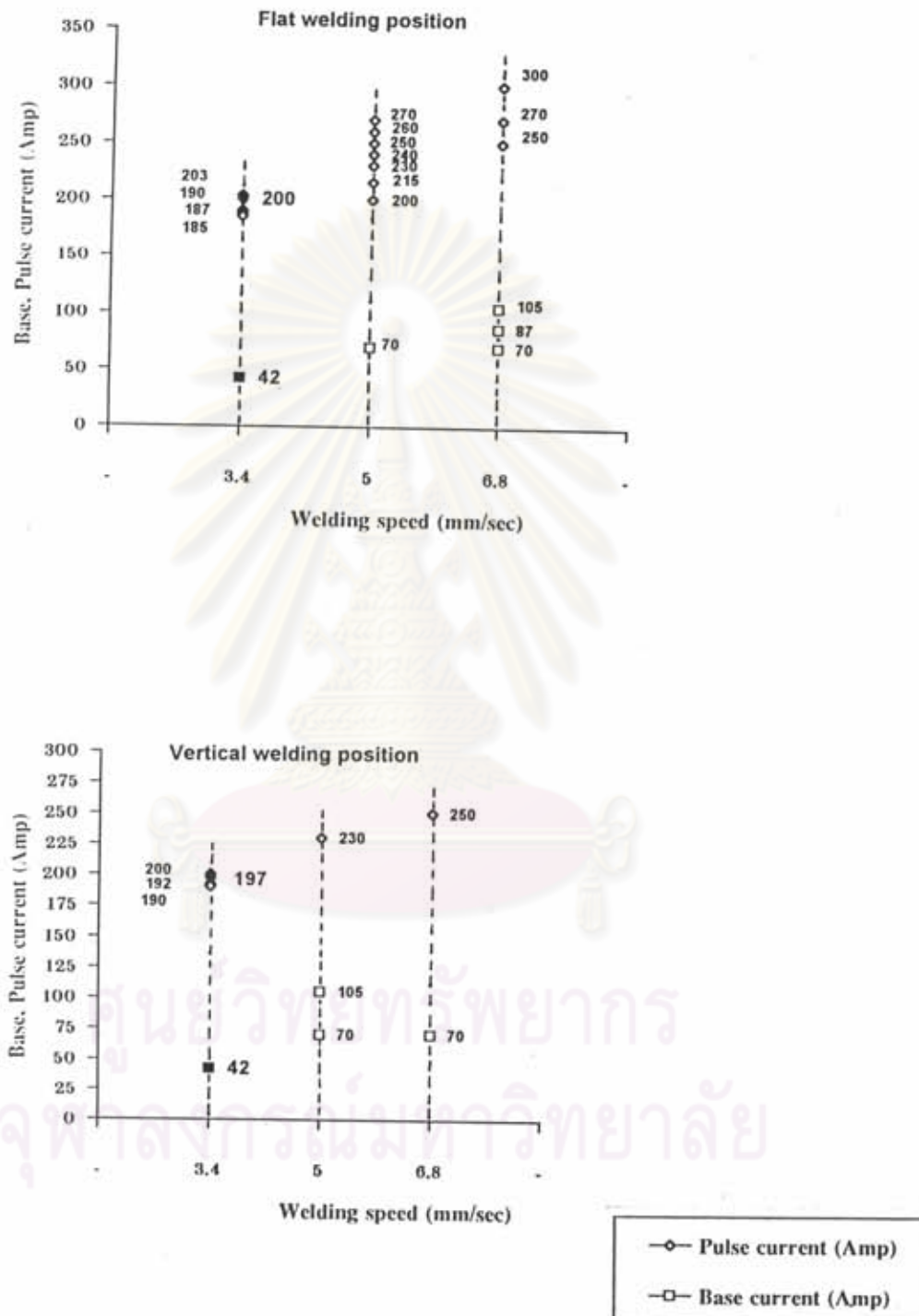
เปรียบเทียบผลการทดลองในที่นี้ กับผลการทดลองของ G. Huisman และ H. Hoffmeister<sup>(3)</sup> ซึ่งเป็นการเชื่อมท่อเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพ็กซ์ (AISI 329) สรุปผลได้ดังตารางที่ 4.14 จะเห็นว่าการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304L จะต้องใช้ความเร็วการเชื่อม กระแสไฟฟ้าพัลส์ และกระแสไฟฟ้าเบสน้อยกว่า เพราะว่าการเชื่อมโลหะต่างชนิดแม้ว่าจะใช้วิธีการเชื่อมเดียวกัน จะใช้ตัวแปรการเชื่อมต่างกัน

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบผลการทดลองเชื่อมพัลส์ทิกเหล็กกล้าไร้สนิม 304L กับ 329

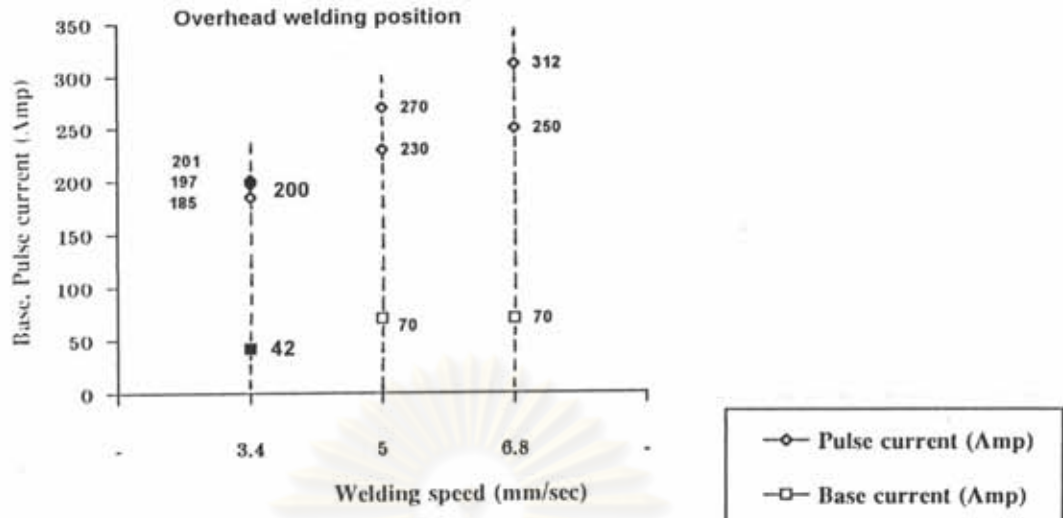
ตัวแปรการเชื่อม	ชนิดของเหล็กกล้าไร้สนิม	
	329	304L
กระแสไฟฟ้าพัลส์ (Amp.)	230	190
กระแสไฟฟ้าเบส (Amp.)	160	42
ความเร็วการเชื่อม	4	3.4
ก๊าซไนโตรเจนในอาร์กอน (% v/v)	3	3
ความถี่เชื่อม (pulse/sec)	1	1
ความหนาชิ้นงาน (mm)	5	3

#### 4.6 ความสัมพันธ์ของตัวแปรการเชื่อมที่ได้จากการทดลอง

รูปที่ 4.36 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ และกระแสไฟฟ้าเบสที่ความเร็วการเชื่อม 3.4, 5 และ 6.8 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ใช้ความถี่พัลส์ 1, 1.5 และ 2 พัลส์ต่อวินาทีตามลำดับ ในลักษณะการเชื่อมแนวราบ แนวตั้ง และแนวเหนือหัว โดยจุดที่ระบายทึบเป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ลักษณะรอยเชื่อมได้ตามมาตรฐาน จะเห็นว่าเมื่อความเร็วการเชื่อมเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมเพื่อต้องการระยะซึมลึกที่เพียงพอ แต่ผลที่ตามมาก็คือการเกิดรอยกินลึกข้างรอยเชื่อมทำให้รอยเชื่อมที่ได้ไม่ได้ตามมาตรฐานที่ต้องการ

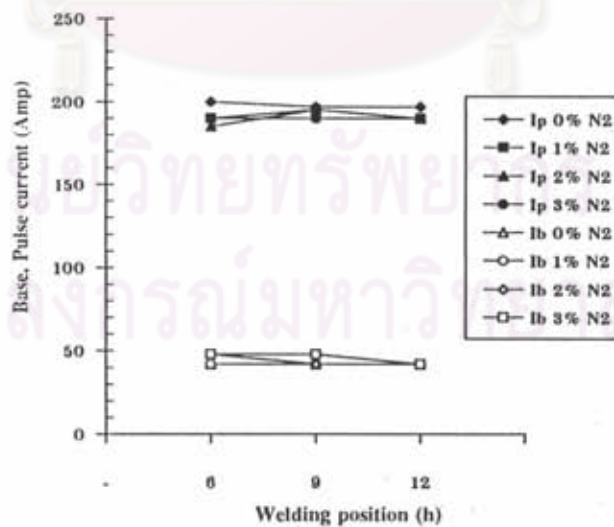


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม กับความเร็วการเชื่อม ในลักษณะการเชื่อมแนวราบ แนวตั้ง และแนวเหนือหัว



รูปที่ 4.36(ต่อ) กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม กับความเร็วการเชื่อม ในลักษณะการเชื่อมแนวราบ แนวตั้ง และแนวเหนือหัว

รูปที่ 4.37 เป็นกราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ และกระแสไฟฟ้าเบสสำหรับรอยเชื่อมที่ได้ตามมาตรฐานทั้งหมดในตำแหน่งการเชื่อมแนวราบ (6 นาฬิกา) การเชื่อมแนวตั้ง (9 นาฬิกา) และการเชื่อมแนวเหนือหัว (12 นาฬิกา) ที่ความเร็วการเชื่อม 3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที 55% On Time และความถี่พัลส์ 1 พัลส์ต่อวินาที



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าพัลส์ กระแสไฟฟ้าเบส กับลักษณะการเชื่อมต่าง ๆ