

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมเลเซอร์เทเลอร์แบบลิ่งค์ ต่อการยึดตัวของรอยต่อชนแผ่น เหล็กชุบสังกะสีเกรด SGACD 45/45 เป็นการออกแบบการทดลองที่มีตัวแปรศึกษาประกอบด้วย

- ความเร็วในการเชื่อม 3 ระดับ คือ 4000 5000 และ 6000 มิลลิเมตรต่อนาที
- ตำแหน่งหัวเชื่อม 3 ระดับ คือ + 0.45 + 0.50 + 0.55
- ระยะห่างชิ้นงานเชื่อม 3 ระดับ คือ 0.00 0.07 0.13 มิลลิเมตร

ซึ่งได้ผลการทดลองค่าการยึดตัวของแนวเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปชิ้นงานหลังการทดลองการยึดตัวดังแสดงในรูปที่ 4.5 สำหรับตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาในที่กล่าว มีอิทธิพลต่อการยึดตัว ซึ่งได้ทำการทดลองทำการศึกษามือตั้งมาแล้วดังแสดงในข้อ 4.1

4.1 การทดลองเบื้องต้น

ก่อนที่จะเลือกอันดับของปัจจัยตัวแปรทั้งสามที่กล่าวว่ามีอิทธิพลต่อการยึดตัวของรอยต่อชน ได้ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อที่จะได้ข้อมูลมาเป็นแนวทางในการเลือกอันดับของตัวแปรซึ่งการทดลองเบื้องต้นมีดังนี้

4.1.1 การทดลองครั้งที่ 1 ทดลองเพื่อหาค่าระยะตำแหน่งหัวเชื่อม จากตารางที่ 4.1 กำหนดเงื่อนไขการเชื่อมคือ ความเร็วการเชื่อมคงที่ 6000 มิลลิเมตรต่อนาที ตำแหน่งหัวเชื่อม 0 -0.1 -0.2 และ+ 0.1 +0.2 +0.3 +0.4 +0.5 +0.6 และ+ 0.7 มิลลิเมตร และระยะห่างแผ่นงานเชื่อม 0.0 0.1 0.2 และ 0.3 มิลลิเมตร และค่าผลการยึดตัวแนวเชื่อม ได้คือ ค่าการยึดตัวสูงสุดที่ 9.80 มิลลิเมตร ค่าการยึดตัวต่ำสุดที่ 7.50 มิลลิเมตร ที่เงื่อนไข ตำแหน่งหัวเชื่อม + 0.5 มิลลิเมตร ระยะห่างแผ่นงานเชื่อม 0 มิลลิเมตรและที่เงื่อนไข ตำแหน่งหัวเชื่อม + 0.4 มิลลิเมตร ระยะห่างแผ่นงานเชื่อม 0.1 มิลลิเมตรตามลำดับ และนำข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.1 มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม ระยะห่างระหว่างแผ่นกับค่าการยึดตัวแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.1

การวิเคราะห์ผลการทดลอง จากตารางที่ 4.1 ระยะห่างแผ่นงาน 0.0 0.1 0.2 0.3 มิลลิเมตร ตำแหน่งหัวเชื่อมไปด้านเหล็กบางคือ -0.1 -0.2 และที่ตำแหน่งหัวเชื่อม 0 มิลลิเมตร ระยะห่างแผ่นงาน 0.1 0.2 0.3 มิลลิเมตรและที่ตำแหน่งหัวเชื่อมไปทางเหล็กหนาคือ + 0.1 มิลลิเมตร ระยะห่างแผ่นงาน 0.2 0.3 มิลลิเมตรผลค่าการยึดตัวเป็น 0.00 มิลลิเมตร เพราะไม่มีน้ำเหล็กจากการเชื่อมที่นำไปเติมเต็มบริเวณรอยต่อชน สำหรับที่ระยะห่างแผ่นงานเชื่อม 0.00 มิลลิเมตรตำแหน่งหัวเชื่อม + 0.10 มิลลิเมตรค่าการยึดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 8.57 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเชื่อมเลเซอร์เทเลอร์แบบลิ่งค์ ความหนาต่างกันตำแหน่งหัวเชื่อมต้องกำหนดไปทางเหล็กหนา และรอยต่อชนของแผ่นงานเชื่อมไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร ที่กำหนดไว้ในบทที่ 2 และความสัมพันธ์ของกราฟในรูปที่ 4.1 ที่ระยะห่างแผ่นงาน 0.0 มิลลิเมตร ค่าการยึดตัวจะค่อยๆสูงขึ้นตามลำดับตามตำแหน่งจุดหัวเชื่อมที่

เคลื่อนที่เข้าหาแผ่นเหล็กที่หนากว่าและจะค่อยๆลดลงที่ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม +0.6 มิลลิเมตร ค่าการยืดตัวสูงสุดที่ 9.60 มิลลิเมตรตำแหน่งจุดหัวเชื่อม +0.5 มิลลิเมตร ค่าการยืดตัวต่ำสุดที่ 7.68 มิลลิเมตร ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม +0.7 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างแผ่นงาน 0.1 มิลลิเมตร ค่าการยืดตัวก็จะค่อยๆสูงขึ้นตามตำแหน่งจุดหัวเชื่อมที่เคลื่อนที่เข้าหาแผ่นเหล็กที่หนากว่าเช่นเดียวกัน และจะค่อยๆลดลงที่ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม +0.6 มิลลิเมตร ค่าการยืดตัวสูงสุดที่ 8.98 มิลลิเมตร ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม +0.2 มิลลิเมตร ค่าการยืดตัวต่ำสุดเท่ากับ 7.3 มิลลิเมตร ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม +0.7 มิลลิเมตร ขณะที่ระยะห่างแผ่นงาน 0.2 มิลลิเมตร ค่าการยืดตัวสูงขึ้นตามลำดับตามตำแหน่งจุดหัวเชื่อมที่เคลื่อนที่เข้าหาแผ่นเหล็กที่หนากว่า จะค่อยๆลดลงที่ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม +0.6 มิลลิเมตร ค่าการยืดตัวสูงสุดเท่ากับ 8.90 มิลลิเมตร ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม +0.3 มิลลิเมตร ค่าการยืดตัวต่ำสุดที่ 7.07 มิลลิเมตร ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม +0.7 มิลลิเมตร สำหรับที่ระยะห่างแผ่นงาน 0.3 มิลลิเมตร ค่าการยืดตัวก็สูงขึ้นตามลำดับตามตำแหน่งจุดหัวเชื่อมที่เคลื่อนที่เข้าหาแผ่นเหล็กที่หนากว่า และจะค่อยๆลดลงที่ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม +0.6 มิลลิเมตร ค่าการยืดตัวสูงสุดที่ 8.05 มิลลิเมตร ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม +0.4 มิลลิเมตร ค่าการยืดตัวต่ำสุดที่ 0.00 มิลลิเมตรตำแหน่งจุดหัวเชื่อม +0.7 มิลลิเมตร

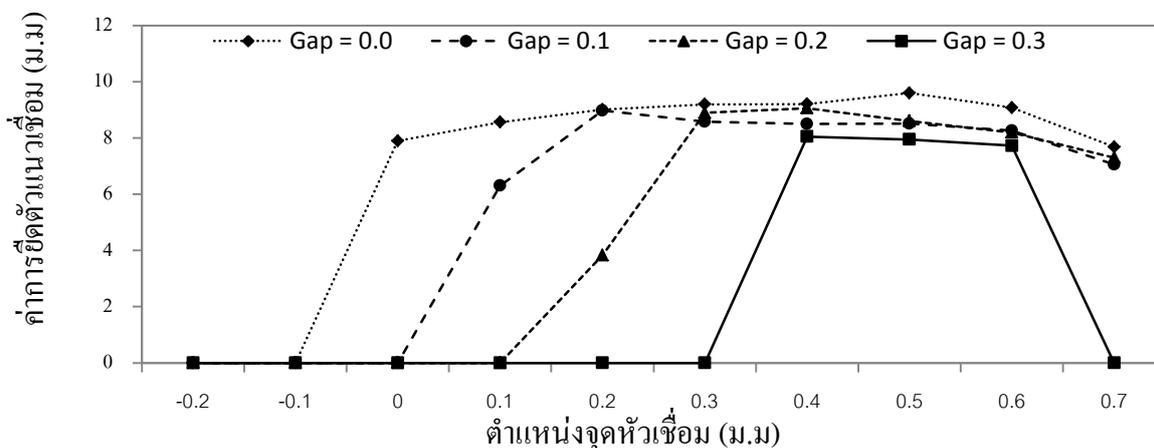
สรุปผลการทดลองเบื้องต้นครั้งที่ 1 ตำแหน่งหัวเชื่อมไปทางเหล็กบางค่าการยืดตัวเท่ากับ 0 มิลลิเมตรตำแหน่งหัวเชื่อมไปทางเหล็กหนาให้ค่าการยืดตัวสูงแต่เริ่มลดลงเมื่อตำแหน่งอยู่ที่ +0.6 มิลลิเมตร ทั้งนี้คาดว่าผลมาจากลำแสงเลเซอร์โตสุด 0.6 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการยืดตัวของแนวเชื่อม ที่ความเร็วการเชื่อม 6000 มิลลิเมตรต่อนาที

ระยะห่างระหว่างแผ่น (มม.)	ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม (มม.)									
	-0.2	-0.1	0	+0.1	+0.2	+0.3	+0.4	+0.5	+0.6	+0.7
0.00	0	0	7.90	8.60	9.30	9.55	8.90	9.80	9.50	9.30
	0	0	7.90	9.00	8.95	8.85	9.15	9.30	8.95	8.25
	0	0	7.90	8.10	8.80	9.20	9.60	9.70	8.80	5.50
0.1	0	0	0	6.50	9.30	8.90	9.50	8.30	8.10	6.50
	0	0	0	5.00	8.85	8.65	8.50	8.95	8.80	7.90
	0	0	0	7.40	8.80	8.20	7.50	8.30	7.90	6.80
0.2	0	0	0	0	0	9.10	9.25	8.95	7.80	0
	0	0	0	0	6.00	8.70	8.45	8.40	8.50	7.30
	0	0	0	0	5.50	8.90	9.50	8.50	8.30	0

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการยึดตัวของแนวเชื่อม ที่ความเร็วการเชื่อม 6000 มิลลิเมตรต่อนาที (ต่อ)

ระยะห่าง ระหว่างแผ่น (มม.)	ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม (มม.)									
	-0.2	-0.1	0	+0.1	+0.2	+0.3	+0.4	+0.5	+0.6	+0.7
0.3	0	0	0	0	0	0	8.05	7.70	7.50	0
	0	0	0	0	0	0	8.20	8.25	6.90	0
	0	0	0	0	0	0	7.90	7.90	8.80	0



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งจุดหัวเชื่อม กับระยะห่างแผ่นงานเชื่อมและค่าการยึดตัว

4.1.2 การทดลองครั้งที่ 2 ทดลองเพื่อหาค่าระยะห่างแผ่นงานเชื่อม หลังจากทราบผลการทดลองในครั้งที่ 1 แล้วนำผลการทดลองมาวิเคราะห์และปรับระดับตัวแปรใหม่โดยกำหนดเงื่อนไขการเชื่อมคือ ความเร็วการเชื่อมคงที่ 4000 มิลลิเมตรต่อนาที ตำแหน่งหัวเชื่อม + 0.45 + 0.50 + 0.55 มิลลิเมตร และระยะห่างแผ่นงานเชื่อม 0.00 0.03 0.05 0.07 0.09 0.11 0.13 และ 0.15 มิลลิเมตร ค่าผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ได้คือ ค่าการยึดตัวสูงสุดที่ 10.35 มิลลิเมตร ค่าการยึดตัวต่ำสุดที่ 8.05 มิลลิเมตร ที่เงื่อนไข ตำแหน่งหัวเชื่อม + 0.50 มิลลิเมตร ระยะห่างแผ่นงานเชื่อม 0 มิลลิเมตรและที่เงื่อนไข ตำแหน่งหัวเชื่อม + 0.55 มิลลิเมตร ระยะห่างแผ่นงานเชื่อม 0.13 มิลลิเมตรตามลำดับ

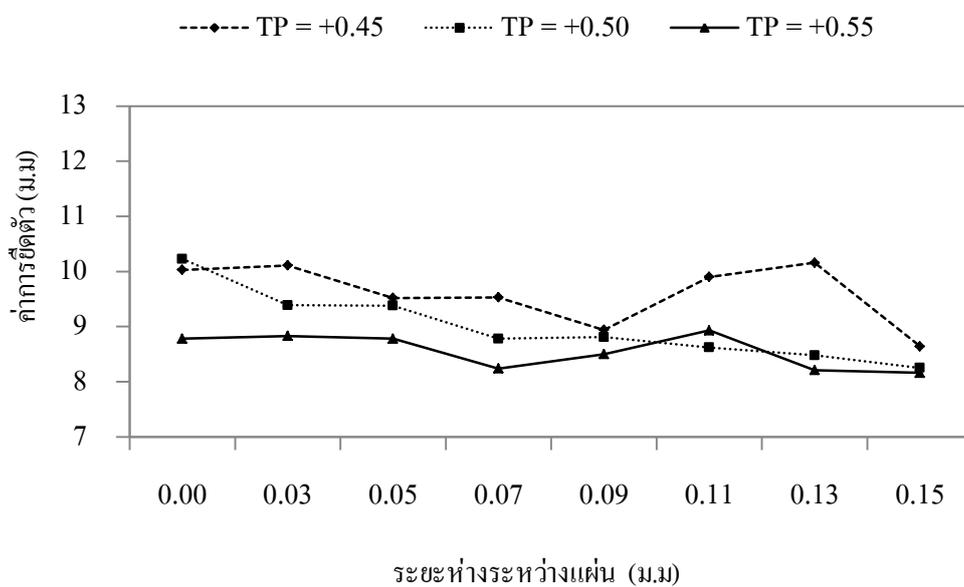
การวิเคราะห์ผลการทดลอง จากตารางที่ 4.2 การกำหนดเงื่อนไขตัวแปรการเชื่อม ของตำแหน่งหัวเชื่อมที่ + 0.45 + 0.50 + 0.55 มิลลิเมตร และระยะห่างของแผ่นงานเชื่อม 0.00 0.03 0.05 0.07 0.09 0.11 0.13 0.15 มิลลิเมตร ช่วงระยะห่าง 0.02-0.03 มิลลิเมตรนั้นได้ปรับลดลงจากการทดลองครั้งที่ 1 และนำข้อมูลค่าการยึดตัวจากตารางที่ 4.2 มาทำการสร้างกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างแผ่น จุดตำแหน่งหัวเชื่อมกับค่าการยึดตัว พบค่าการยึดตัวสูงสุดของการทดสอบมีค่าเท่ากับ 10.35 มิลลิเมตรที่ ระยะห่างระหว่างแผ่นงานเชื่อม 0.00 มิลลิเมตร ตำแหน่งหัวเชื่อมมีค่าเท่ากับ + 0.50 มิลลิเมตร และค่าการยึดตัวของแนวเชื่อมมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นชิ้นงานทั้งสองมีค่าเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการยึดตัวของแนวเชื่อม ครั้งที่ 2 ความเร็วการเชื่อม 4000 มิลลิเมตร/นาที

ระยะห่างระหว่างแผ่น (มม.)	ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม (มม.)		
	+0.45	+0.50	+0.55
0.00	9.78	10.40	8.80
	10.23	10.30	8.80
	10.10	10.00	8.75
0.03	10.00	10.00	9.10
	10.15	8.20	8.80
	10.18	9.98	8.60
0.05	10.00	10.05	9.40
	8.83	9.05	8.50
	9.75	9.05	8.45
0.07	9.60	10.10	8.15
	9.90	8.10	8.30
	9.10	8.15	8.28
0.09	8.95	8.45	7.65
	8.91	9.00	9.00
	8.98	9.00	8.85

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการขีดตัวของแนวเชื่อม ครั้งที่ 2 ความเร็วการเชื่อม 4000 มิลลิเมตร/นาที (ต่อ)

ระยะห่างระหว่างแผ่น (มม.)	ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม (มม.)		
	+0.45	+0.50	+0.55
0.11	10.00	8.42	7.50
	9.80	8.35	9.35
	9.90	9.10	9.95
0.13	10.60	8.45	8.05
	10.05	8.25	8.30
	9.85	8.75	8.30
0.15	8.90	8.05	8.35
	8.58	8.35	8.05
	8.45	8.35	8.10



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระยะห่างระหว่างแผ่น ตำแหน่งหัวเชื่อมกับค่าการขีดตัว

การลดลงของค่าการยึดตัวจากการทดสอบอริเซนตามตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 นี้คาดว่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติของรอยต่อต่างๆดังแสดงในรูปที่ 4.3 ทำให้ความสามารถในการรับแรงเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีวิธีการวัดค่าในรูปที่ 4.3 (จ) นั้น เป็นค่ามาตรฐานที่ยอมรับกันในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ [7] ที่ใช้วัดตรวจสอบรอยเชื่อมเลเซอร์ของแผ่นเทเลอร์แบลิ่งค์ โดยอักษรต่างๆ ที่แสดง คือ อักษร a แสดงอัตราการซึมลึก (Penetration) หรือความหนาของโลหะเชื่อมจากการเชื่อม อักษร b แสดงความกว้างด้านล่างของแนวเชื่อม (Width of back penetration) โดยต้องมีค่าที่สามารถยอมรับได้ที่ค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรอักษร c คือ อันเดอร์คัท (Undercut) ในการเชื่อมต่อชนเทเลอร์แบลิ่งค์ ไม่อนุญาตให้มีรอยอันเดอร์คัท อักษร d แสดงอันเดอร์ฟิล (Underfill) ในการเชื่อมต่อชนเทเลอร์แบลิ่งค์ ไม่อนุญาตให้มีรอยนี้เช่นเดียวกับอันเดอร์คัท และอักษร e แสดงคือความราบเรียบของแผ่นต่อชนที่ต้องมีความแตกต่างกันไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร เริ่มต้นในการตรวจสอบที่ระยะ e ก่อน พบว่า ค่าที่สามารถวัดได้นั้นทุกๆ สถานะการเชื่อมในการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่า 0.2 มิลลิเมตร คือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.000 – 0.113 มิลลิเมตร โดยค่าระยะที่มีค่ามากที่สุด คือ รอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยระยะ TP เท่ากับ +0.50 และ +0.55 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างแผ่นเท่ากับ 0.15 มิลลิเมตร ขณะที่รอยต่อที่มีระยะห่างระหว่างแผ่นต่ำ คือ 0.00 มิลลิเมตร นั้น ค่า e นี้มีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมด จึงเชื่อได้ว่าการเกิดระยะความเรียบของแผ่นหลังแนวเชื่อมนี้ อาจเกิดจากการโก่งตัวของชิ้นงานเชื่อม เมื่อได้รับความร้อน อย่างไรก็ตามค่าที่ได้นี้มีค่าเป็นที่ยอมรับในการนำไปใช้งานได้ ค่า d ซึ่งเป็นค่าอันเดอร์ฟิลของรอยเชื่อมเลเซอร์แผ่นเทเลอร์แบลิ่งค์ซึ่งเป็นค่าที่ไม่อนุญาตให้มี แต่แนวเชื่อมที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้ทุกๆแนวเชื่อมสามารถตรวจสอบพบได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์

พิจารณาค่าที่วัดได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นค่า d ของรอยเชื่อมที่มีค่า TP อยู่ที่ +0.45 มิลลิเมตร เป็นค่าที่แสดงการทดสอบอริเซนที่มีค่าสูงกว่าค่า TP อื่นๆ และพบว่าค่า d นี้มีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นการเกิดลักษณะนี้เนื่องจากโลหะที่บริเวณแผ่นด้านหนา ถูกทำให้หลอมละลายและต้องเกิดการถ่ายโอน เพื่อไปทดแทนตำแหน่งระยะห่างที่เพิ่มขึ้นและก่อให้เกิดรอยอันเดอร์ฟิลขึ้น รอยอันเดอร์ฟิลที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของรอยเชื่อมเนื่องจากเป็นบริเวณที่เป็นจุดรวมความเค้นของแนวเชื่อม เมื่อวัสดุถูกนำไปปรับแรงแล้วมักเป็นจุดกำเนิดของการพังทลาย [17] อย่างไรก็ตามค่าอันเดอร์ฟิลมีค่าต่ำที่ระยะห่างระหว่างแผ่น 0.13 มิลลิเมตร ซึ่งคาดว่าเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ค่าความยึดตัวของรอยเชื่อมมีค่าที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับรอยเชื่อมสถานะการเชื่อมอื่นๆ เนื่องจากการทดสอบการยึดตัวแบบอริเซนนี้เป็นการกดอัดจากด้านล่างของแนวเชื่อม และผิวหน้าด้านบนของแนวเชื่อมอยู่ที่ด้านบน ดังนั้นหากค่าอันเดอร์ฟิลมีค่ามากจะทำให้ความสามารถในการยึดตัวมีค่าต่ำ เพราะอาจเกิดการฉีกขาดของโลหะเชื่อม หรือโลหะงานที่บริเวณขอบของอันเดอร์ฟิลได้ ขณะที่ค่าอันเดอร์คัทที่แสดงด้วยอักษร c ในการทดลองทุกๆสถานะครั้งนี้ ไม่สามารถตรวจสอบเจอ คาดว่าสาเหตุเกิดจากระยะช่องว่างระหว่างแผ่นนี้มีความห่างค่อนข้างน้อย การเติมเติมน้ำโลหะที่ขอบด้านล่างของแนวเชื่อมทำได้ดี ค่าความกว้างด้านล่างของ

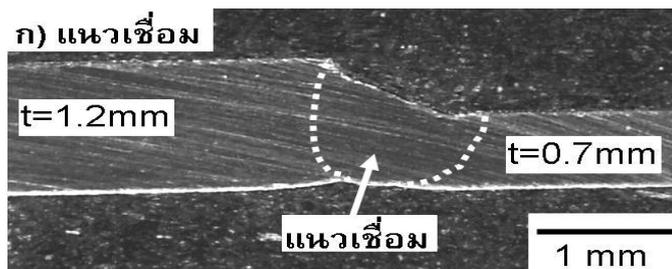
ชั้นงานเชื่อม หรือระยะ b ของชั้นงานมีความแตกต่างไม่มากนัก ค่าที่วัดได้ของระยะ TP=+0.45 มิลลิเมตรนั้น มีระยะอยู่ที่ประมาณ 0.788 ถึง 0.810 ซึ่งหากพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าการยึดตัวอิทธิพลแล้วพบว่า ความสัมพันธ์ที่เกิด ขึ้นระหว่างขนาดความกว้างระยะ b กับค่าการยึดตัวนี้ ไม่เกี่ยวข้องกัน

พิจารณาค่าอัตราการซึมลึกระยะ a หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นค่าความหนาของโลหะเชื่อมที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นโลหะ 2 แผ่น พบว่าค่าความหนาของวัสดุที่ตำแหน่งนี้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างแผ่นทั้งสอง เช่น ในกรณีของระยะ TP เท่ากับ +0.50 และ +0.55 มิลลิเมตรนั้น ค่าความหนาของระยะ a นี้ มีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยระยะ TP เท่ากับ +0.50 มิลลิเมตร มีค่าลดลงจาก 0.893 ถึง 0.810 มิลลิเมตร (เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นมีค่า 0.00 – 0.15 มิลลิเมตร) ระยะ TP เท่ากับ +0.55 มิลลิเมตร มีค่าลดลงจาก 0.842 ถึง 0.775 มิลลิเมตร (เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นมีค่า 0.00 – 0.15 มิลลิเมตร) พิจารณาค่า a ของระยะ TP=+0.45 ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าระยะ a มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับที่เกิดใน TP=+0.50 และ +0.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงค่าการยึดตัวในรูปที่ 4.3 พบว่าการลดลงของค่า a นี้สัมพันธ์กับการลดลงของค่าการยึดตัว อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าระยะห่างระหว่างแผ่นเท่ากับ 0.13 มิลลิเมตร พบว่าค่าการยึดตัวของโลหะมีค่าเพิ่มขึ้น และเป็นค่าที่แสดงการยึดตัวสูงสุดของรอยต่อในการทดลองครั้งนี้ สาเหตุคาดว่าเกิดจากความหนาระยะ a ที่มีค่าสูงทำให้โลหะมีความสามารถในการยึดตัวสูง

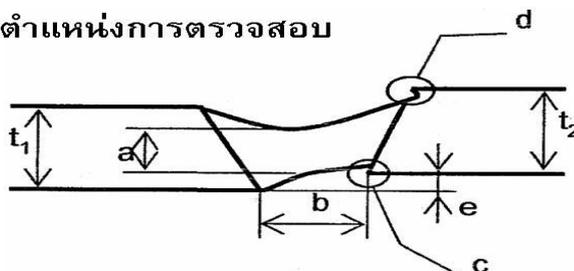
สรุปผลการทดลองเบื้องต้นครั้งที่ 2 การเพิ่มระยะห่างของแผ่นงานเชื่อมทำให้ค่าการยึดตัวของแนวเชื่อมลดลง สาเหตุเพราะอัตราการซึมลึกของโลหะมีน้อยทำให้พื้นที่ สำหรับรองรับแรงมากระทำน้อยลง และผลจากการทดลองเบื้องต้นทั้ง 2 ครั้งนี้นำไปกำหนดตัวแปรในการศึกษาการวิจัยในครั้งนี้

4.2 ผลการทดสอบอิทธิพลของตัวแปรในการเชื่อม

ค่าการยึดตัวของการทดลองของแต่ละตัวแปรแสดงในตารางที่ 4.4 และชั้นงานที่ผ่านการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.5



ข) ตำแหน่งการตรวจสอบ



- a คือ (อัตราการซึมลึก) Penetration = $\geq 80\%$
- b คือ (ความกว้าง) = ≥ 0.5 มม.
- c คือ Under Cut = ต้องไม่มี
- d คือ Under Fill = ต้องไม่มี
- e คือ (ความเรียบ) Flatness ≤ 0.2 มม.

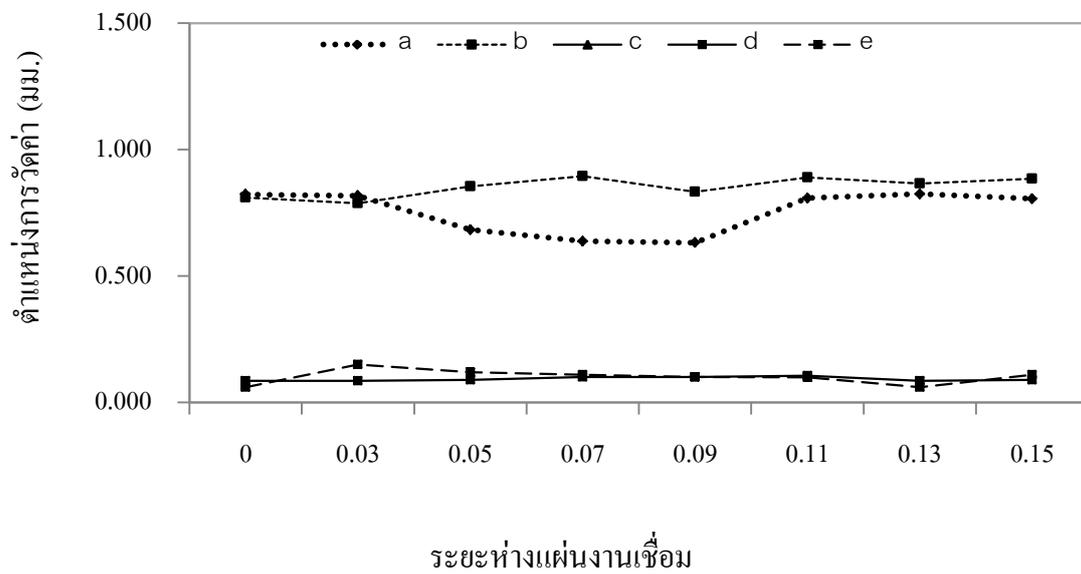
(ก) โครงสร้างมหภาคของรอยต่อ

(ข) ตำแหน่งการวัดค่า

รูปที่ 4.3 ขนาดมิติของรอยต่อต่างๆบริเวณแนวเชื่อม

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยการวัดมิติรอยเชื่อมเลเซอร์ ระยะตำแหน่งหัวเชื่อม +0.45 มิลลิเมตร

ระยะห่างแผ่นงานเชื่อม (มม.)	a	B	c	d	e
0.00	0.823	0.810	ไม่มี	0.086	0.061
0.03	0.818	0.788	ไม่มี	0.086	0.150
0.05	0.683	0.855	ไม่มี	0.090	0.120
0.07	0.638	0.895	ไม่มี	0.101	0.110
0.09	0.632	0.833	ไม่มี	0.101	0.101
0.11	0.808	0.890	ไม่มี	0.106	0.100
0.13	0.825	0.866	ไม่มี	0.086	0.060
0.15	0.806	0.885	ไม่มี	0.089	0.110



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างแผ่นงานเชื่อมกับตำแหน่งการวัดค่า

ตารางที่ 4.4 ค่าการยึดตัวจากการทดลอง

ระยะห่าง ระหว่าง แผ่น (mm.) (C)Gap	(A) ความเร็วการเชื่อม (mm./นาที)								
	4000 มม./นาที			5000 มม./นาที			6000 มม./นาที		
	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	0.45	0.50	0.55	0.45	+ 0.50	+ 0.55	0.45	0.50	0.55
0.00	9.98	9.90	9.80	9.45	9.40	9.20	9.30	9.00	8.90
	9.95	9.95	9.80	9.50	9.40	9.25	9.30	9.00	8.90
	9.85	9.90	9.75	9.50	9.35	9.20	9.20	9.15	8.95
	9.95	9.85	9.75	9.48	9.35	9.25	9.20	9.15	8.95

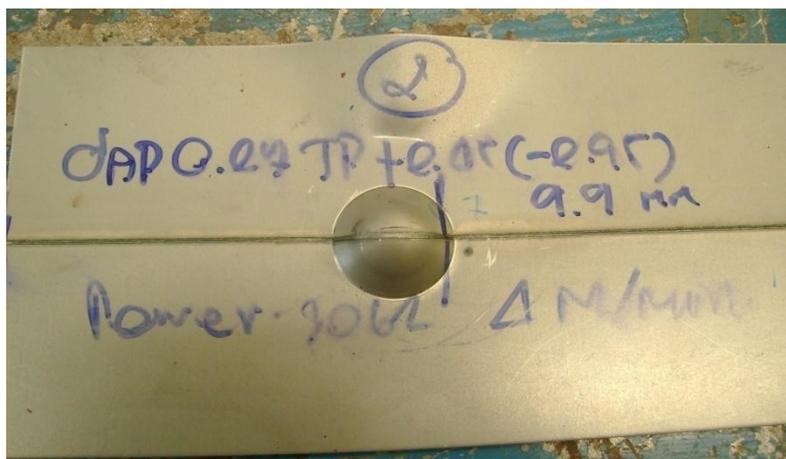
ตารางที่ 4.4 ค่าการยึดตัวจากการทดลอง (ต่อ)

ระยะห่าง ระหว่าง แผ่น (มม.) (C)Gap	(A) ความเร็วการเชื่อม (มม./นาที)								
	4000 มม./นาที			5000 มม./นาที			6000 มม./นาที		
	(B) ตำแหน่งจุดหัวเชื่อม								
	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	0.45	0.50	0.55	0.45	+ 0.50	+ 0.55	0.45	0.50	0.55
0.07	9.85	9.55	9.50	9.45	9.00	8.80	8.90	8.85	8.60
	9.80	9.50	9.50	9.40	8.95	8.90	8.85	8.85	8.60
	9.75	9.55	9.00	9.40	8.95	8.85	8.85	8.80	8.55
	9.80	9.65	9.45	9.45	9.00	8.95	8.90	8.80	8.55
0.13	9.50	9.25	9.00	8.90	8.80	8.45	8.50	8.55	8.40
	9.50	9.25	9.00	8.90	8.80	8.45	8.45	8.60	8.35
	9.45	9.30	8.95	8.85	8.80	8.40	8.50	8.65	8.35
	9.45	9.30	8.95	8.85	8.85	8.40	8.45	8.60	8.45

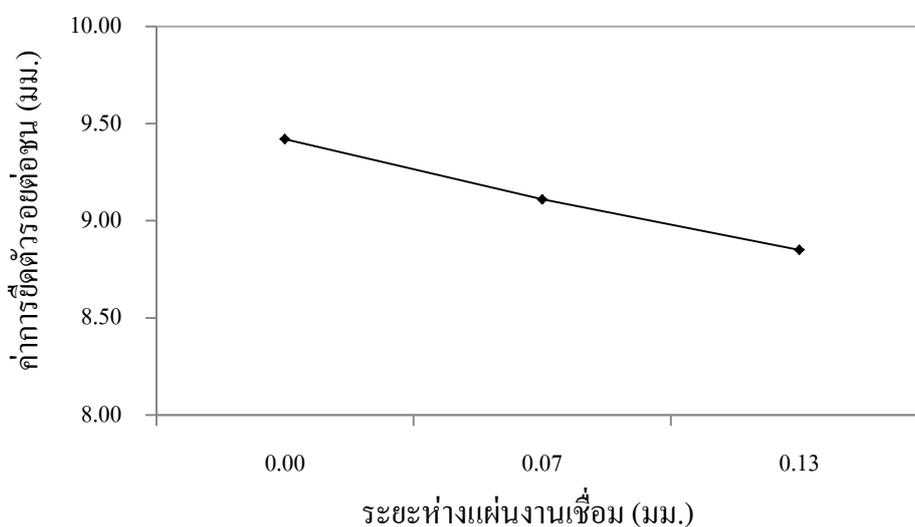
รูปที่ 4.5 แสดงชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการยึดตัวของแนวเชื่อม ด้วยการทดสอบอิริทเซน ผลการทดสอบการวัดความนูนของแนวเชื่อม พบว่าที่ค่าผลการทดสอบทุกๆ ตัวแปรการเชื่อมในตารางที่ 4.4 แนวเชื่อมทุกแนวมีความสามารถในการยึดตัว ในระดับที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน JISB7729 และ JIS-Z-2247 [2] สำหรับการขึ้นรูปแนวเชื่อมเทอร์เบตติ้งค์ ของอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ คือ ค่ารอยความลึกของรอยทดสอบมีค่าการยึดตัวที่ไม่ต่ำกว่า 7.00 มิลลิเมตร โดยไม่มีการแตกร้าวบริเวณแนวเชื่อมที่ทำการทดสอบการยึดตัว

4.2.1 ระยะห่างแผ่นงานเชื่อม

นำข้อมูลผลการทดลองของระยะห่างแผ่นงานเชื่อม จากตารางที่ 4.4 มาทำการสร้างกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.6

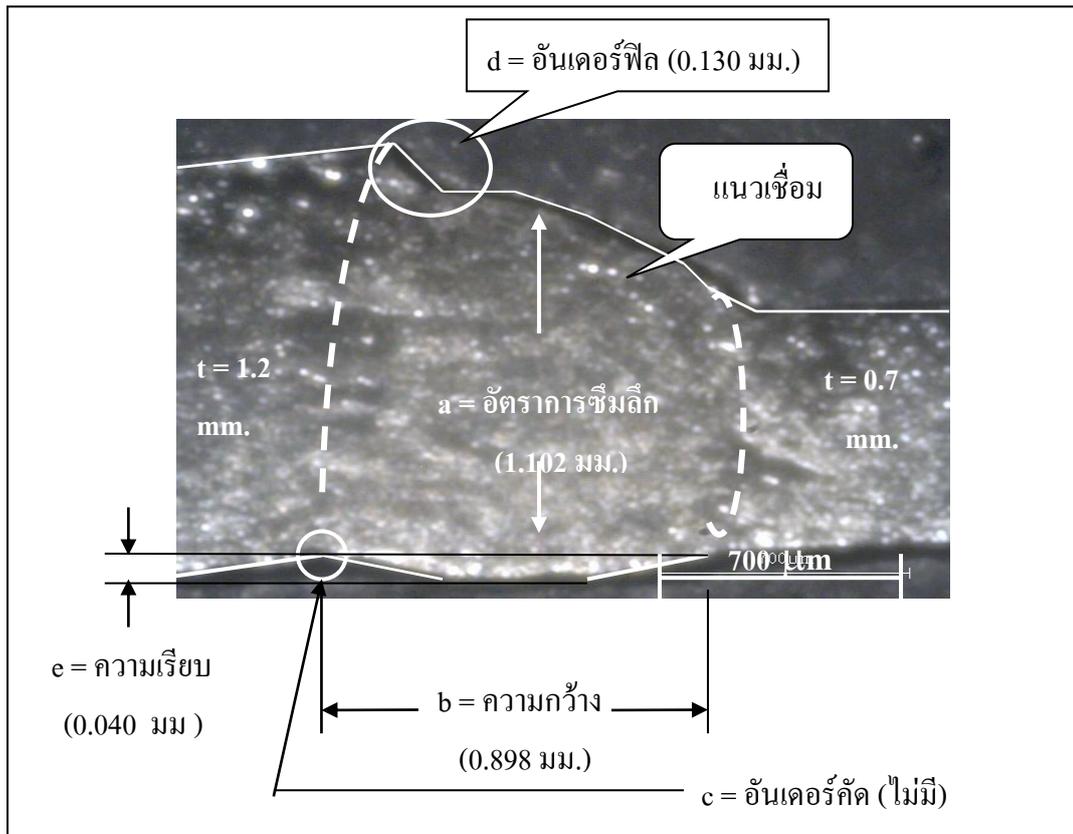


รูปที่ 4.5 ชิ้นงานหลังการทดสอบการยึดตัว

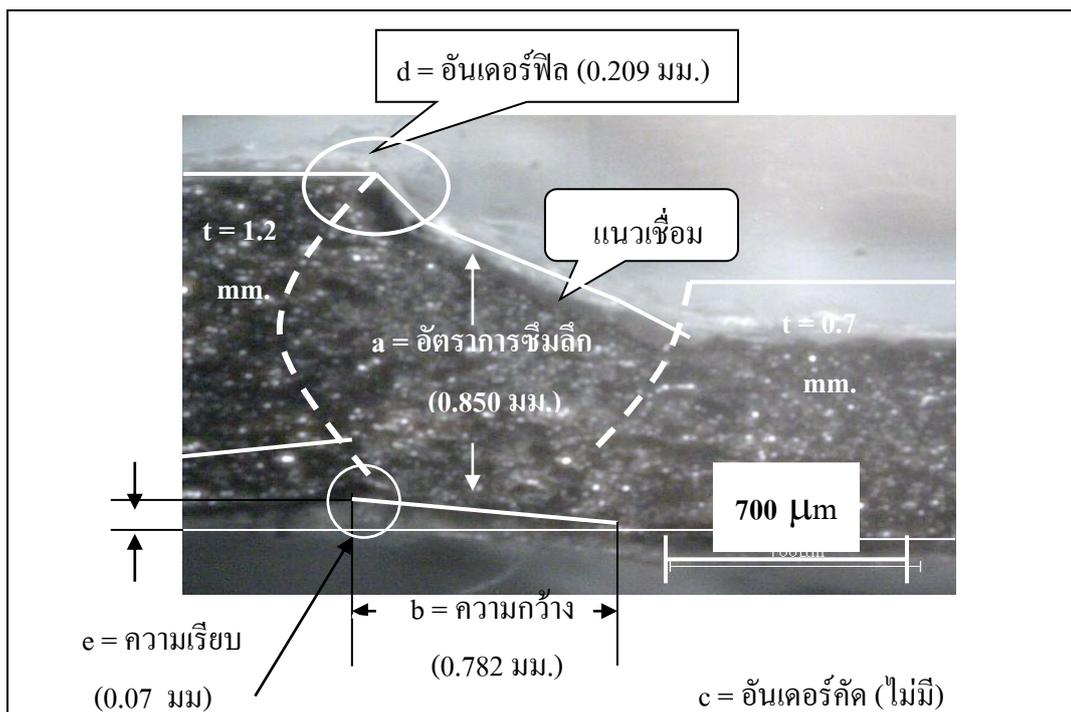


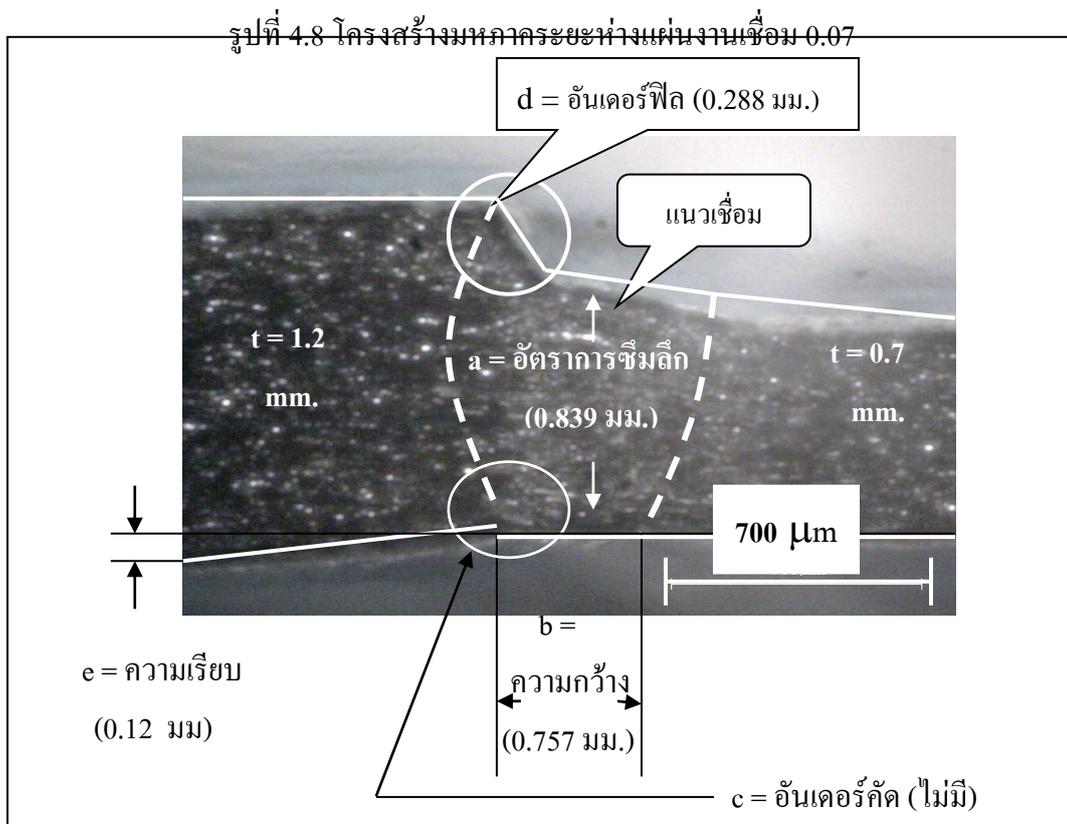
รูปที่ 4.6 ระยะห่างแผ่นงานเชื่อมกับค่าการยึดตัว

รูปที่ 4.6 เป็นค่าความสัมพันธ์ของระยะห่างแผ่นงานเชื่อมกับการยึดตัวของแนวเชื่อมหรือรอยต่อชน ที่ระยะห่างแผ่นงานเชื่อม 0.00 มิลลิเมตร ค่าการยึดตัวสูงสุดเท่ากับ 9.44 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างแผ่นงานเชื่อม 0.07 มิลลิเมตร ค่าการยึดตัวเท่ากับ 9.14 มิลลิเมตร และที่ระยะห่างแผ่นงานเชื่อม 0.13 มิลลิเมตร ค่าการยึดตัวเท่ากับ 8.81 มิลลิเมตร ซึ่งค่าการยึดตัวของแนวเชื่อมจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อระยะห่างของแผ่นงานเชื่อมเพิ่มขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากเมื่อระยะห่างแผ่นงานเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้การโอนถ่ายน้ำโลหะจากเหล็กหนากว่าไปสู่เหล็กที่บางกว่าเพื่อการเติมเต็มของช่องว่างรอยต่อชนที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีเนื้อโลหะหรืออัตราการซึมลึกมีน้อยลงทำให้การรับแรงจากการทดสอบค่าการยึดตัวมีค่าน้อย และการเกิดการซึมลึกของรอยเชื่อม ได้มาจากการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติของรอยต่อตามมิติการวัดดังแสดงในรูปที่ 4.3 และแสดงผลดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 โครงสร้างมหภาคระยะห่างแผ่นงานเชื่อม 0.00 มม.





รูปที่ 4.9 โครงสร้างมหภาคระยะห่างแผ่นงานเชื่อม 0.13 มม.

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยการวัดมิติรอยเชื่อมเลเซอร์ ระยะห่าง 0.00 0.07 และ 0.13 มิลลิเมตร

ระยะห่าง ระหว่างแผ่น (มม.)	a	b	c	d	e
0.00	1.102	0.898	ไม่มี	0.130	0.040
0.07	0.850	0.782	ไม่มี	0.209	0.070
0.13	0.839	0.757	ไม่มี	0.288	0.120

ผลในตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยการวัดมิติรอยเชื่อมเลเซอร์ และรูปที่ 4.7 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ระยะแผ่นงานเชื่อม 0.00 มิลลิเมตร 0.07 มิลลิเมตร 0.13 มิลลิเมตร ค่า a หรืออัตราการซึมลึก และลักษณะผิวชิ้นงานของรูปที่ 4.7 จะมีความแตกต่างกันกับในรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันถึง 0.252 มิลลิเมตร และ 0.263 มิลลิเมตร ตามลำดับส่วนผิวชิ้นงานของรูปที่ 4.7 นั้นจะมี

ลักษณะบ่าเอียงชันน้อยกว่ารูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ในขณะที่ค่า a และลักษณะผิวชิ้นงานของรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 มีความใกล้เคียงกัน โดยที่รูปที่ 4.8 มีค่า a มากกว่าเพียง 0.020 มิลลิเมตรและมีลักษณะบ่าเอียงใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามค่า a ทั้งสามรูปก็อยู่ในค่ามาตรฐานของการวัด คือ มากกว่า 80%

ค่า b หรือความกว้างด้านหลังของชิ้นงานเชื่อมของรูปที่ 4.7 จะมีค่าใกล้เคียงกันกับในรูปที่ 4.8 ซึ่งมีค่า b ใกล้เคียงกัน 0.116 มิลลิเมตร และเมื่อค่า b ใกล้เคียงกันรูปลักษณะของผิวงานเชื่อมโดยค่าความนูนของด้านหลังชิ้นงานเชื่อมก็ใกล้เคียงกัน

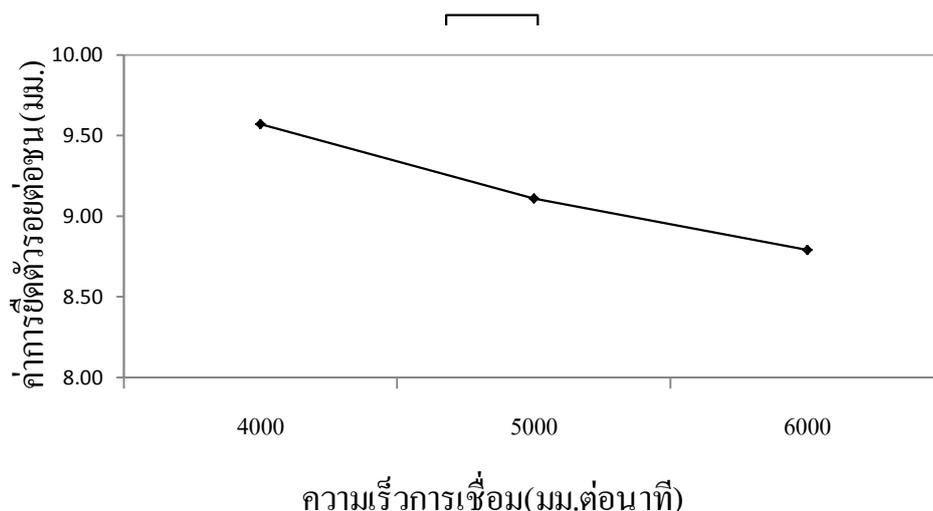
ค่า c หรืออันเดอร์คัททั้งสามรูปคือรูปที่ 4.7 รูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ตรวจสอบไม่พบค่าจากกล้องจุลทรรศน์และในมาตรฐานการวัดค่าที่กำหนดให้ต้องไม่มีค่า c

ค่า d หรืออันเดอร์ฟิลของรอยเชื่อม เปรียบเทียบระหว่างในรูปที่ 4.7 รูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 นั้นค่า d ในรูปที่ 4.7 มีค่าต่ำกว่าทั้งสองรูปคือ มีค่าเท่ากับ 0.079 มิลลิเมตร และ 0.158 มิลลิเมตร ตามลำดับและเช่นเดียวกัน ลักษณะผิวแนวเชื่อมรูปที่ 4.7 ก็มีบ่าความชันน้อยกว่าซึ่งเกิดจากการโอนถ่ายน้ำเหล็กจากโลหะหนากว่าไปยังโลหะบางกว่า และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 นั้นจะมีค่า d และลักษณะผิวบ่าความชันการไหลของน้ำเหล็กใกล้เคียงกันซึ่งค่า d ของรูปที่ 4.8 ต่ำกว่าเท่ากับ 0.079 มิลลิเมตร

ค่า e หรือค่าความเรียบของแผ่นหลังแนวเชื่อมทั้งสามรูปคือรูปที่ 4.7 รูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 นั้นค่า e และลักษณะผิวชิ้นงานเชื่อมของรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 จะใกล้เคียงกันซึ่งค่า e ของรูปที่ 4.7 มีค่าต่ำกว่าค่า e รูปที่ 4.8 เท่ากับ 0.03 มิลลิเมตร และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างรูปที่ 4.7 กับรูปที่ 4.9 ค่า e และลักษณะผิวชิ้นงานเชื่อมนั้นจะมีความแตกต่างกันโดยที่ค่า e ของรูปที่ 4.9 จะมีค่าสูงกว่ารูปที่ 4.7 เท่ากับ 0.08 มิลลิเมตร แต่ค่าที่วัดได้ก็อยู่ในมาตรฐานคือเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.2 มิลลิเมตร

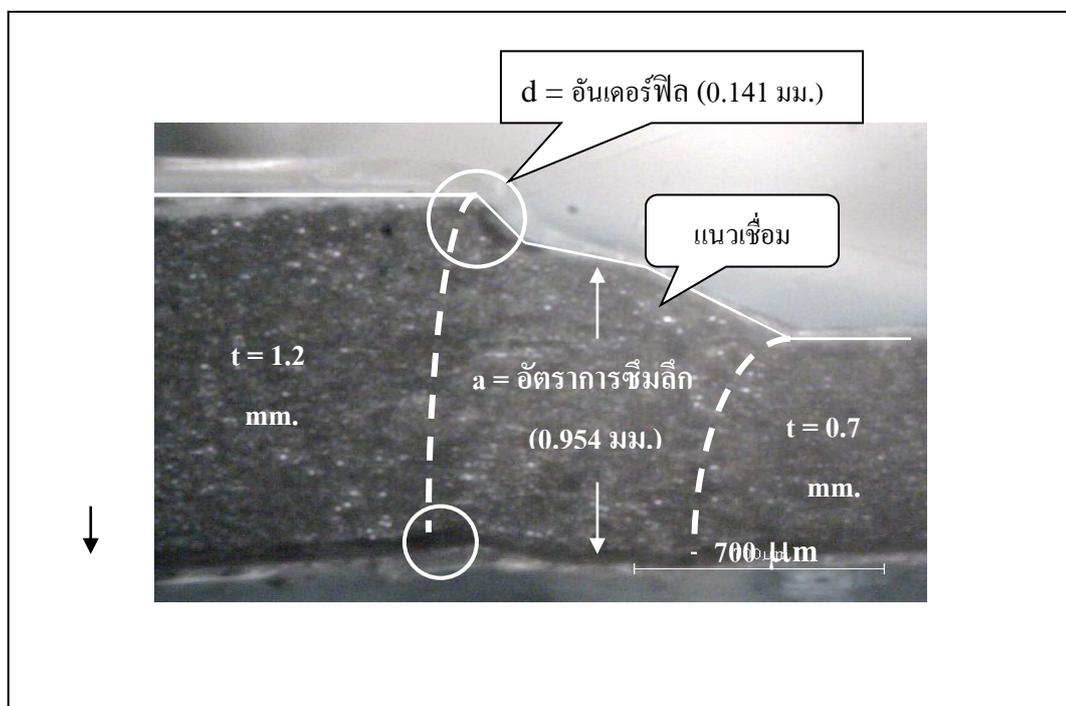
4.2.2 ความเร็วการเชื่อม

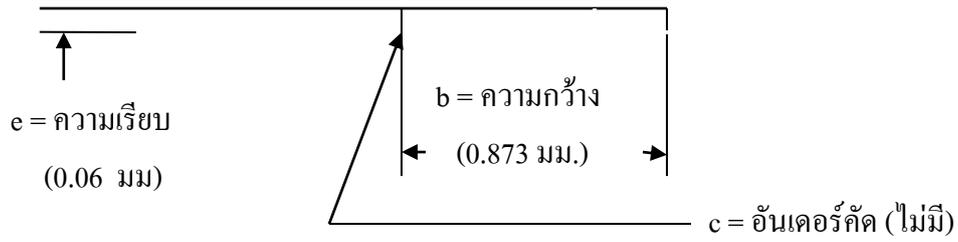
นำข้อมูลผลการทดลองของความเร็วการเชื่อม จากตารางที่ 4.4 มาทำการสร้างกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.10



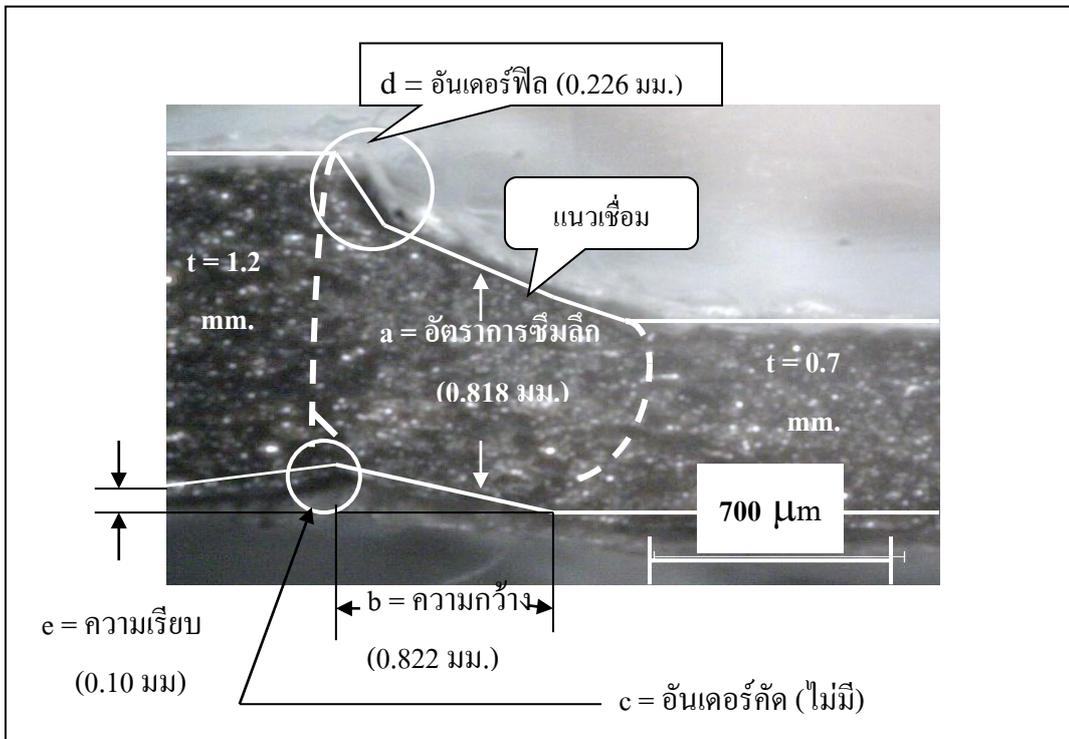
รูปที่ 4.10 ความเร็วการเชื่อมกับค่าการยึดตัว

รูปที่ 4.10 เป็นค่าความสัมพันธ์ของความเร็วการเชื่อมกับการยึดตัวของแนวเชื่อมหรือรอยต่อชน ที่ความเร็วการเชื่อม 4000 มิลลิเมตรต่อนาทีค่าการยึดตัวสูงสุดเท่ากับ 9.56 มิลลิเมตรที่ความเร็วการเชื่อม 5000 มิลลิเมตรต่อนาทีค่าการยึดตัวเท่ากับ 9.05 มิลลิเมตรและที่ความเร็วการเชื่อม 6000 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าการยึดตัวเท่ากับ 8.78 มิลลิเมตรซึ่งค่าการยึดตัวของแนวเชื่อมจะค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อความเร็วการเชื่อมเพิ่มขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากเมื่อความเร็วการเชื่อมสูงขึ้นการหลอมละลายและการโอนถ่ายของน้ำเหล็กจากเหล็กหนาไปยังเหล็กบางไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดค่าอันเดอร์ฟิลขึ้น และรอยอันเดอร์ฟิลที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของรอยเชื่อมเนื่องจากเป็นบริเวณที่เป็นจุดรวมความเค้นของแนวเชื่อมเมื่อวัสดุถูกนำไปรับแรงแล้วมักเป็นจุดกำเนิดของการพังทลาย [18] ซึ่งการเกิดค่าอันเดอร์ฟิลขึ้นของรอยเชื่อมได้มาจากการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติของรอยต่อตามมิติการวัด ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และแสดงผลดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.11-4.13

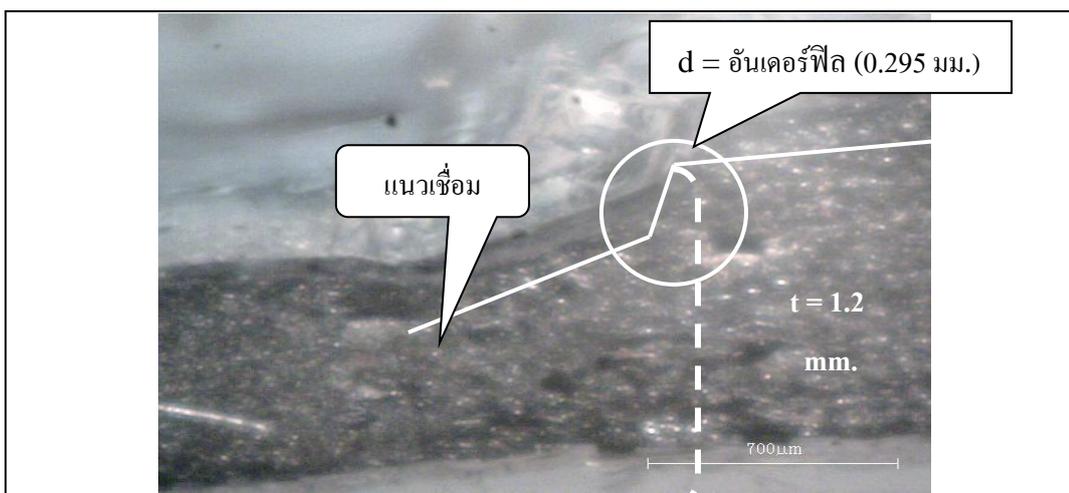


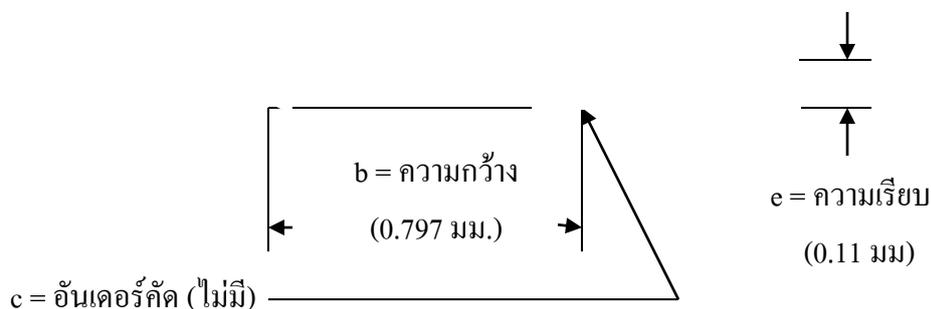


รูปที่ 4.11 โครงสร้างมหภาคความเร็วกการเชื่อม 4000 มม. ต่อนาที



รูปที่ 4.12 โครงสร้างมหภาคความเร็วกการเชื่อม 5000 มม.ต่อนาที





รูปที่ 4.13 โครงสร้างมหภาคความเร็วการเชื่อม 6000 มม.ต่อนาที
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยการวัดมิติรอยเชื่อมเลเซอร์ ที่ความเร็ว 4000-5000-6000 มิลลิเมตรต่อนาที

ความเร็วเชื่อม (มม.ต่อนาที)	a	b	c	d	e
4000	0.954	0.873	ไม่มี	0.141	0.060
5000	0.818	0.822	ไม่มี	0.226	0.101
6000	0.791	0.797	ไม่มี	0.295	0.110

ผลในตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยการวัดมิติรอยเชื่อมเลเซอร์ และรูปที่ 4.10 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ความเร็ว 4000 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็ว 5000 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็ว 6000 มิลลิเมตรต่อนาที ค่า a หรืออัตราการซึมลึกและลักษณะผิวความชันของชิ้นงานรูปที่ 4.11 จะมีความใกล้เคียงกันกับในรูปที่ 4.12 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันเพียง 0.136 มิลลิเมตร และเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.13 มีความแตกต่างกันทั้งค่า และลักษณะผิวความชันของชิ้นงานซึ่งค่า a แตกต่างกันถึง 0.163 มิลลิเมตร ส่วนผิวชิ้นงานของรูปที่ 4.11 นั้นจะมีลักษณะบ่าเอียงชันน้อยกว่ารูปที่ 4.13 และสำหรับรูปที่ 4.13 นั้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่า a และลักษณะผิวชิ้นงานกับรูปที่ 4.12 ค่า a และลักษณะผิวชิ้นงานของรูปที่ 4.12 มีค่า a มากกว่า 0.027 มิลลิเมตร และมีลักษณะความชันของบ่าน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามค่า a ทั้งสามรูปก็อยู่ในค่ามาตรฐานของการวัด คือ มากกว่า 80%

ค่า b หรือความกว้างด้านหลังของชิ้นงานเชื่อมของรูปที่ 4.11 รูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 มีค่า b รูปลักษณะของผิวงานเชื่อมโดยค่าความนูนของด้านหลังชิ้นงานเชื่อมก็ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า b แตกต่างกันเพียง 0.051 และ 0.076 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ค่า c หรืออันเดอร์คัตทั้งสามรูป คือ รูปที่ 4.11 รูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 ตรวจสอบไม่พบค่า

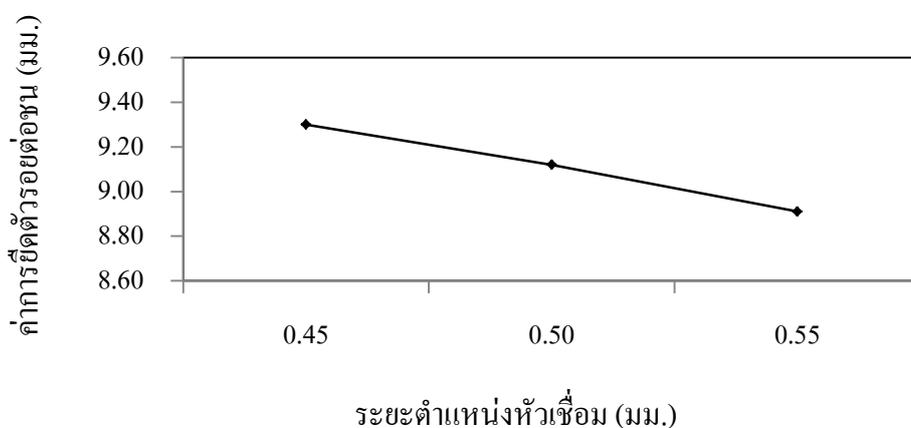
จากกล้องจุลทรรศน์ซึ่งในมาตรฐานการวัดค่าที่กำหนดให้ต้องไม่มีค่า c

ค่า d หรืออันเดอร์ฟิลของรอยเชื่อม เปรียบเทียบกันระหว่างในรูปที่ 4.11 รูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 นั้นค่า d ในรูปที่ 4.11 มีค่าต่ำกว่าทั้งสองรูปคือ มีค่าเท่ากับ 0.085 มิลลิเมตร และ 0.154 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเช่นเดียวกันลักษณะผิวแนวเชื่อมรูปที่ 4.11 ซึ่งเกิดจากการ โอนถ่ายน้ำเหล็กจากโลหะหนากว่าไปยังโลหะบางกว่า มีความใกล้เคียงกันกับรูปที่ 4.12 และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.12 กับรูปที่ 4.13 นั้นจะมีค่า d และลักษณะผิวว่าความชันการไหลของน้ำเหล็กแตกต่างกันซึ่งค่า d ของรูปที่ 4.12 ต่ำกว่าเท่ากับ 0.069 มิลลิเมตร

ค่า e หรือค่าความเรียบของแผ่นหลังแนวเชื่อมทั้งสามรูป คือ รูปที่ 4.11 รูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 นั้นค่า e และลักษณะผิวชิ้นงานเชื่อมจะใกล้เคียงกันซึ่งค่า e มีความแตกต่างกันเพียง 0.041 และ 0.05 มิลลิเมตร ตามลำดับ แต่ค่าที่วัดได้ก็อยู่ในมาตรฐานคือเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.2 มิลลิเมตร

4.2.3 ระยะตำแหน่งหัวเชื่อม

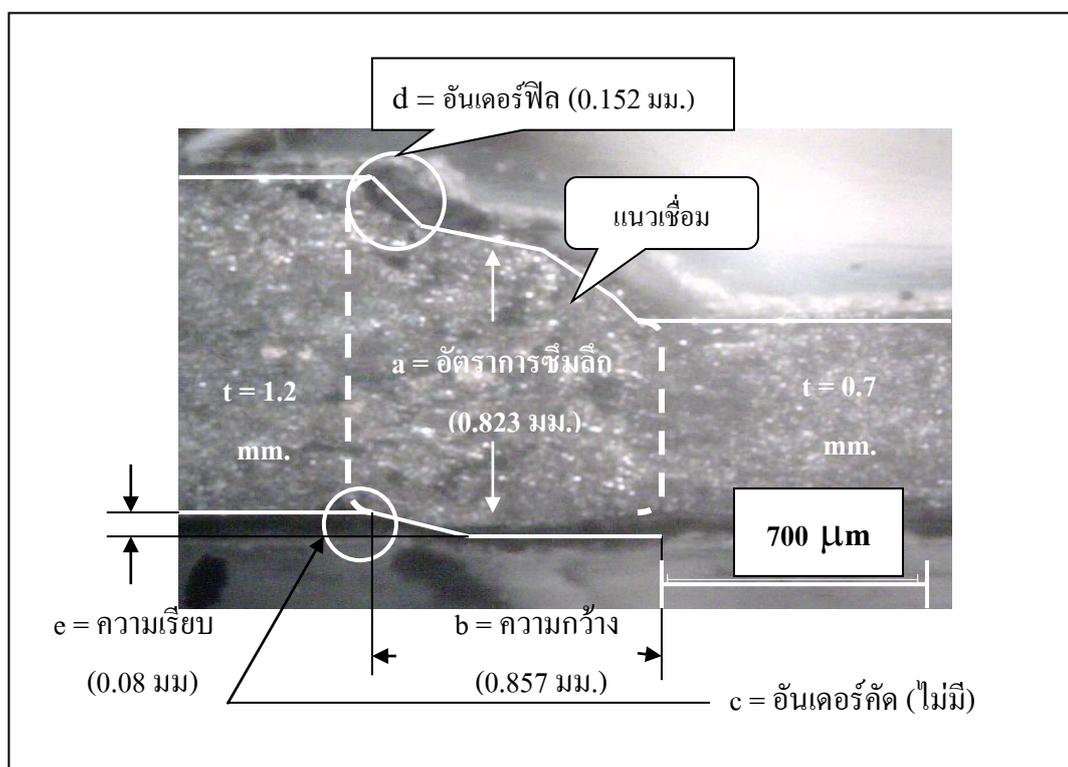
นำข้อมูลผลการทดลองของระยะตำแหน่งหัวเชื่อมจากรายที่ 4.4 มาทำการสร้างกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.10



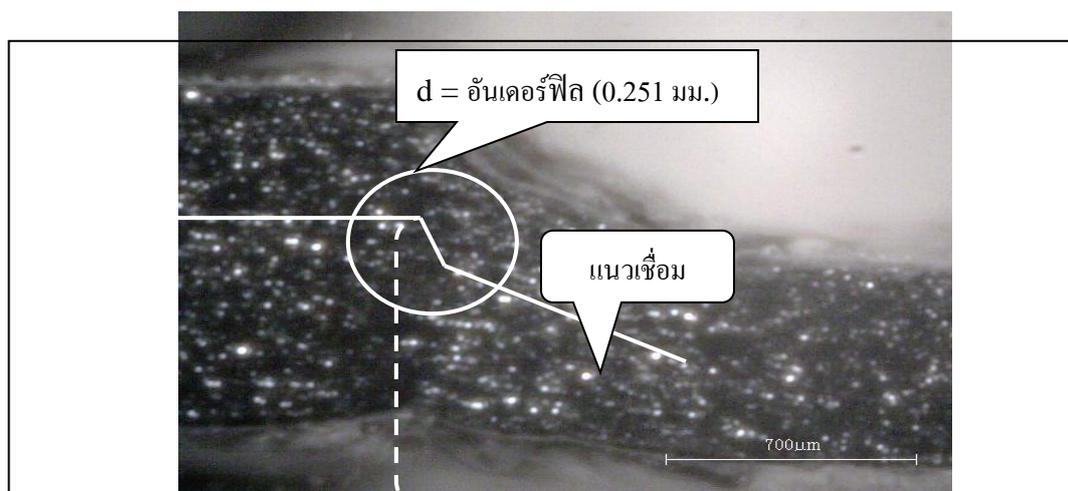
รูปที่ 4.14 ตำแหน่งหัวเชื่อมกับค่าการยึดตัว

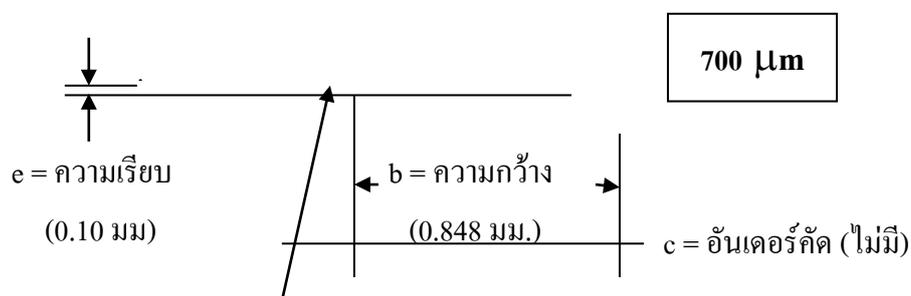
รูปที่ 4.14 เป็นค่าความสัมพันธ์ของตำแหน่งหัวเชื่อมกับการยึดตัวของแนวเชื่อมหรือรอยต่อชนที่ตำแหน่งหัวเชื่อม 0.45 มิลลิเมตร ค่าการยึดตัวสูงสุดเท่ากับ 9.29 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งหัวเชื่อม 0.50 มิลลิเมตร ค่าการยึดตัวเท่ากับ 9.16 มิลลิเมตร และที่ตำแหน่งหัวเชื่อม 0.55 มิลลิเมตร ค่าการยึดตัวเท่ากับ 8.95 มิลลิเมตร ซึ่งค่าการยึดตัวของแนวเชื่อมจะค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่อง สาเหตุเนื่องมาจากเมื่อตำแหน่งหัวเชื่อมสูงไปทางเหล็กหนาใกล้เคียงกับระยะ 0.60 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดเท่ากับความโตของลำแสงเลเซอร์ที่ใช้ในการหลอมละลายทำให้การหลอมละลายไม่สมบูรณ์และการโอนถ่ายของ

น้ำเหล็กจากเหล็กหนาไปยังเหล็กบางไม่ต่อเนื่องทำให้เกิดค่าอันเดอร์ฟิลขึ้น และรอยอันเดอร์ฟิลที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของรอยเชื่อม เนื่องจากเป็นบริเวณที่เป็นจุดรวมความเค้นของแนวเชื่อมเมื่อวัสดุถูกนำไปรับแรงแล้วมักเป็นจุดกำเนิดของการพังทลาย [17] ซึ่งการเกิดค่าอันเดอร์ฟิลขึ้นของรอยเชื่อมได้มาจากการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติของรอยต่อตามมิติการวัดดังแสดงในรูปที่ 4.3 และแสดงผลดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.15-4.17

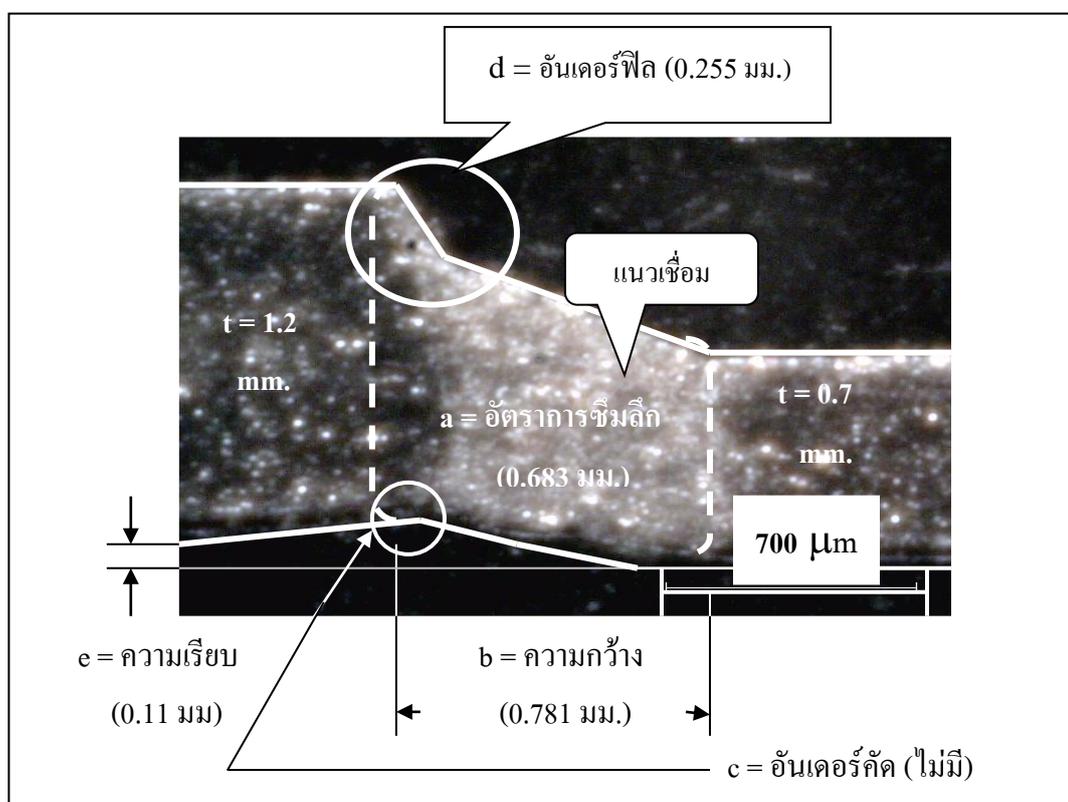


รูปที่ 4.15 โครงสร้างมหภาคตำแหน่งหัวเชื่อม + 0.45 มม.





รูปที่ 4.16 โครงสร้างมหภาค ตำแหน่งหัวเชื่อม + 0.50 มม.



รูปที่ 4.17 โครงสร้างมหภาค ตำแหน่งหัวเชื่อม + 0.55 มม.

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยการวัดมิติรอยเชื่อมเลเซอร์ ตำแหน่งหัวเชื่อมที่ +0.45 +0.50 +0.55 มิลลิเมตร

ตำแหน่งหัวเชื่อม (มม.)	a	b	c	d	e
0.45	0.823	0.857	ไม่มี	0.152	0.08

0.50	0.806	0.848	ไม่มี	0.251	0.10
0.55	0.683	0.781	ไม่มี	0.255	0.11

ผลในตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยการวัดมิติรอยเชื่อมเลเซอร์ และรูปที่ 4.14 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ระยะตำแหน่งหัวเชื่อม 0.45 มิลลิเมตร ระยะตำแหน่งหัวเชื่อม 0.50 มิลลิเมตร ค่า a หรืออัตราการใช้ซึมลึกและลักษณะผิวชิ้นงานของรูปที่ 4.15 จะมีความแตกต่างกันกับ ในรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันถึง 0.017 มิลลิเมตร และ 0.140 มิลลิเมตรตามลำดับส่วนผิวชิ้นงานของรูปที่ 4.15 นั้นจะมีลักษณะบ่าเอียงชันน้อยกว่ารูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 ในขณะที่ค่า a และลักษณะผิวชิ้นงานของรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 มีความใกล้เคียงกันโดยที่รูปที่ 4.16 มีค่า a มากกว่าเพียง 0.123 มิลลิเมตร และมีลักษณะลาดความชันของบ่าเอียงใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามค่า a ทั้งสามรูปก็อยู่ในค่ามาตรฐานของการวัด คือมากกว่า 80%

ค่า b หรือความกว้างด้านหลังของชิ้นงานเชื่อมของรูปที่ 4.15 มีความแตกต่างกันทั้งรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 คือมีค่าความแตกต่างกันเท่ากับ 0.009 และ 0.076 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเช่นเดียวกันลักษณะผิวงานเชื่อมค่าความความกว้างก็ต่างกันตามความแตกต่างของค่าที่วัดได้คือรูปที่ 4.15 จะมีความกว้างมากกว่า รูปที่ 4.16 รูปที่ 4.17 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณา รูปที่ 4.16 กับ รูปที่ 4.17 มีค่าใกล้เคียงกันทั้งค่า b และลักษณะผิวความกว้างด้านหลังของชิ้นงานเชื่อม ซึ่งมีค่า b แตกต่างกันเพียง 0.067 มิลลิเมตร

ค่า c หรืออันเดอร์คัตทั้งสามรูปคือรูปที่ 4.15 รูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 ตรวจสอบไม่พบค่าจากกล้องจุลทรรศน์และในมาตรฐานการวัดค่าที่กำหนดให้ต้องไม่มีค่า c

ค่า d หรืออันเดอร์ฟิลของรอยเชื่อม เปรียบเทียบระหว่างในรูปที่ 4.15 รูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 นั้นค่า d ในรูปที่ 4.15 มีค่าต่ำกว่าทั้งสองรูปคือ มีค่าเท่ากับ 0.099 มิลลิเมตร และ 0.103 มิลลิเมตรตามลำดับและเช่นเดียวกัน ลักษณะผิวแนวเชื่อมรูปที่ 4.15 ก็มีค่าความชันของบ่าน้อยกว่าซึ่งเกิดจากการโอนถ่ายน้ำเหล็กจากโลหะหนากว่าไปยังโลหะบางกว่า และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 นั้นจะมีค่า d และลักษณะผิวของความชันจากการไหลของน้ำเหล็กใกล้เคียงกันซึ่งค่า d ของรูปที่ 4.16 ต่ำกว่าเท่ากับ 0.004 มิลลิเมตร

ค่า e หรือค่าความเรียบของแผ่นหลังแนวเชื่อมทั้งสามรูปคือรูปที่ 4.15 รูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 นั้นค่า ลักษณะผิวชิ้นงานเชื่อมของรูปที่ 4.15 รูปที่ 4.16 จะใกล้เคียงกันซึ่งค่า e ของรูปที่ 4.15 มีค่าต่ำกว่าค่า e รูปที่ 4.16 เท่ากับ 0.02 มิลลิเมตร และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างรูปที่ 4.15 กับรูปที่ 4.17 ค่า e และลักษณะผิวชิ้นงานเชื่อมนั้นจะมีความแตกต่างกันโดยที่ค่า e ของรูปที่ 4.17 จะมีค่าสูงกว่ารูปที่ 4.15 เท่ากับ 0.03 มิลลิเมตร แต่ค่าที่วัดได้ก็อยู่ในมาตรฐานคือเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.2 มิลลิเมตร

4.3 การวิเคราะห์ตัวแปรการเชื่อมต่อกำการยึดตัวด้วย ANOVA

ผลจากการทดลองทางวิศวกรรมของตัวแปรการเชื่อมที่มีอิทธิพลต่อการยึดตัวของรอยต่อชนได้ ถูกยืนยันความเชื่อมั่นทางสถิติโดยโปรแกรมการทดสอบอะโนว่า แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ต่อค่าการยึดตัว

Analysis of Variance for Deep, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Sum of Squares	Mean Squares	F	P-Value
Blocks	3	0.02005	0.00668	1.82	0.151
Speed	2	11.72216	5.86108	1593.31	0.000
Target Position	2	1.74754	0.87377	237.53	0.000
Gap	2	8.10954	4.05477	1102.27	0.000
Speed*Target Position	4	0.06967	0.01742	4.74	0.002
Speed*Gap	4	0.21976	0.05494	14.93	0.000
Target Position*Gap	4	0.27077	0.06769	18.40	0.000
Speed*Target Position*Gap	8	0.36782	0.04598	12.50	0.000
Error	78	0.28693	0.00368		
Total	107	22.81423			

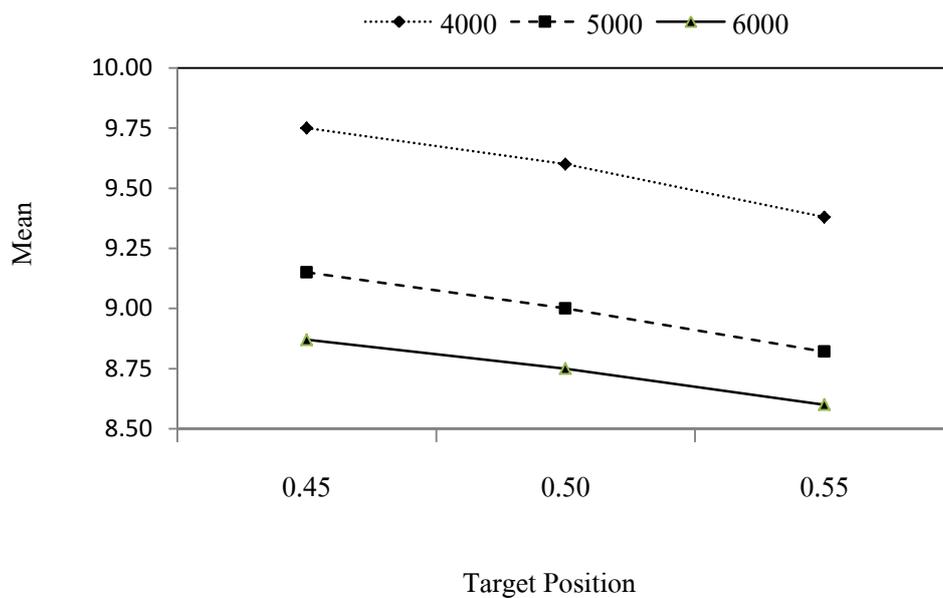
S = 0.0606511 R-Sq = 98.74% R-Sq (adj) = 98.27%

ผลในตารางที่ 4.8 สังเกตที่ค่า P-Value ของตัวแปร ระยะห่างชิ้นงานเชื่อม ความเร็วการเชื่อม และระยะตำแหน่งหัวเชื่อมที่ศึกษาคือ มีค่าต่ำกว่า 0.05 ซึ่งเป็นค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนดไว้ และค่า F สูง คือค่าความเร็วการเชื่อมมีค่า F = 1593.31 ระยะห่างแผ่นงานมีค่า F = 1102.27 และระยะตำแหน่งหัวเชื่อม F = 237.53 แสดงว่าปฏิเสชนมมติฐานหลักนั้นหมายถึงตัวแปรทั้ง 3 มีอิทธิพลต่อ

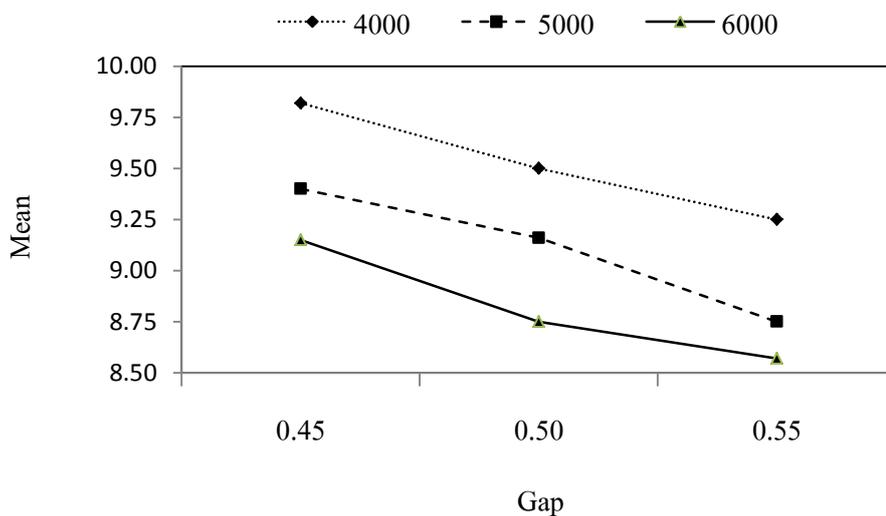
การยึดตัวของรอยต่อชนแนวเชื่อม และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์หรือผลกระทบร่วม (*Interaction) ของตัวแปร คือ ระยะตำแหน่งหัวเชื่อม*ระยะห่าง แผ่นงานเชื่อม ความการเชื่อม*ระยะห่าง แผ่นงานเชื่อม ความการเชื่อม*ระยะตำแหน่งหัวเชื่อม*ระยะห่างแผ่นงานเชื่อม และความเร็วการเชื่อม*ระยะห่างแผ่นงานเชื่อม นั่นคือตัวแปรทั้งสามก็มีความสัมพันธ์กัน และส่วน $R-Sq = 98.74\%$ คือตัวแปรที่ใช้ในการทดลองมีผลทำให้เกิดผลลัพธ์อีกใกล้ 100% แปลว่ามีผลร่วมกันอย่างแท้จริงและ $R-Sq (adj) = 98.27\%$ คือมีการปรับค่าลดลงตามความคลาดเคลื่อนแล้วก็ตามยัง คงมีผลร่วมกันค่อนข้างมาก และ $S = 0.0606511$ เป็นค่าเบี่ยงเบนในที่นี้แปลว่ามีความเบี่ยงเบนของผลลัพธ์น้อยแปลว่าได้ผลที่ดีมากด้วย [10,12]

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรการเชื่อมต่อค่าการยึดตัว พบว่าอิทธิพลหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงคือ ความเร็วในการเชื่อม ระยะห่างชิ้นงานเชื่อม และตำแหน่งหัวเชื่อม ส่วนอิทธิพลร่วมคือ 1) ความเร็ว*ตำแหน่งหัวเชื่อม 2) ความเร็ว*ระยะห่างชิ้นงาน 3) ตำแหน่งหัวเชื่อม*ระยะห่างชิ้นงานเชื่อม 4) ความเร็ว*ตำแหน่งหัวเชื่อม*ระยะห่างชิ้นงานเชื่อม ดังแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.18-4.20 ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดรวมกัน ต่างมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการยึดตัว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($F_{0.05,2,105} = 3.21, P < 0.05$)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.18 แสดงระดับความเร็วการเชื่อม และตำแหน่งหัวเชื่อม มีอิทธิพลร่วมกันต่อการยึดตัวจากความสัมพันธ์เมื่อนำมาวิเคราะห์ เพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของค่าการยึดตัวสูงสุด [10,11] แยกตามระดับของความเร็วการเชื่อม และตำแหน่งหัวเชื่อมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะพบว่าความเร็วในการเชื่อมที่ 4000 มิลลิเมตร ต่อนาที ตำแหน่งหัวเชื่อม +0.45 มิลลิเมตร จะให้ค่าการยึดตัวที่สูงที่สุดที่ 9.75 มิลลิเมตร และถ้าเพิ่มระยะตำแหน่งหัวเชื่อมสูงขึ้น ค่าการยึดตัวมีแนวโน้มลดลงส่วนที่ความเร็ว 5000 และ 6000 มิลลิเมตร ต่อนาที จะให้ค่าการยึดตัวลดลงที่ตำแหน่งหัวเชื่อม +0.45 มิลลิเมตร และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อ เพิ่มระยะตำแหน่งหัว เชื่อมสูงขึ้น



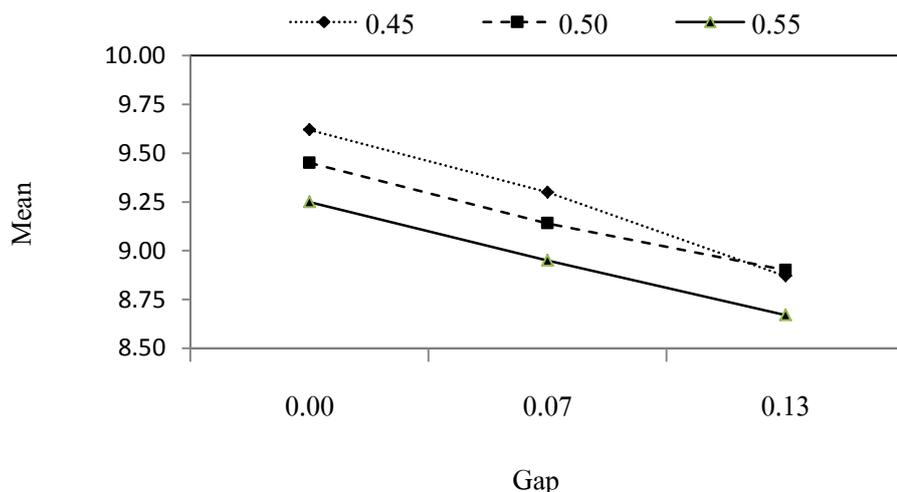
รูปที่ 4.18 อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วและตำแหน่งหัวเชื่อม



รูปที่ 4.19 อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วและระยะห่างแผ่นงานเชื่อม

พิจารณารูปที่ 4.19 แสดงระดับความเร็วการเชื่อม และระยะห่างแผ่นงานเชื่อมมีอิทธิพลร่วมกันต่อการยึดตัวจากความสัมพันธ์ เมื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของค่าการยึดตัว

สูงสุด [10,11] แยกตามระดับของความเร็ว การเชื่อมและระยะห่างของแผ่นงานเชื่อมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะพบว่าความเร็วในการเชื่อมที่ 4000 มิลลิเมตร ต่อหน้าที่ต่อระยะห่างของแผ่นงานเชื่อมที่ 0.00 มิลลิเมตร จะให้ค่าการยึดตัวที่สูงที่สุดที่ 9.80 มิลลิเมตร และถ้าเพิ่มระยะห่างของแผ่นงานเชื่อมสูงขึ้น ค่าการยึดตัวมีแนวโน้มลดลงส่วนที่ความเร็ว 5000 และ 6000 มิลลิเมตร ต่อหน้าที่จะให้ค่าการยึดตัวลดลงที่ระยะห่างของแผ่นงานเชื่อม 0.00 มิลลิเมตร และมีแนวโน้มลดลงต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มระยะห่างของแผ่นงานเชื่อม



รูปที่ 4.20 อิทธิพลร่วมระหว่างตำแหน่งหัวเชื่อมและระยะห่างแผ่นงานเชื่อม

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.20 แสดงระดับตำแหน่งหัวเชื่อม และระยะห่างแผ่นงานเชื่อมมีอิทธิพลร่วมกันต่อการยึดตัวจากความสัมพันธ์เมื่อนำมาวิเคราะห์ เพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของค่าการยึดตัวสูงสุด [10, 12] แยกตามระดับของตำแหน่งหัวเชื่อมและระยะห่างของแผ่นงานเชื่อม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะพบว่าตำแหน่งหัวเชื่อมที่ +0.45 มิลลิเมตร ต่อระยะห่างของแผ่นงานเชื่อมที่ 0.00 มิลลิเมตร จะให้ค่าการยึดตัวที่สูงที่สุดที่ 9.60 มิลลิเมตร และถ้าเพิ่มระยะห่างของแผ่นงานเชื่อมสูงขึ้น ค่าการยึดตัวมีแนวโน้มลดลงส่วนที่ตำแหน่งหัวเชื่อม + 0.50 และ + 0.55 มิลลิเมตร ให้ค่าการยึดตัวลดลงที่ระยะห่างของแผ่นงานเชื่อม 0.00 มิลลิเมตร และมีแนวโน้มลดลงต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มระยะห่างของแผ่นงานเชื่อม

พิจารณารูปที่ 4.18-4.20 จากความสัมพันธ์ของตัวแปรการเชื่อมแล้วนำมาวิเคราะห์ เพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของการยึดตัว [10] แยกตามระดับความเร็วการเชื่อม ตำแหน่งหัวเชื่อม และระยะห่างแผ่นงานเชื่อม พบว่าค่าเฉลี่ยการยึดตัวที่แยกตามระดับของความเร็วการเชื่อมและตำแหน่งหัวเชื่อม ที่ระดับความเร็วการเชื่อม 4000 มิลลิเมตร ต่อหน้าที่ ตำแหน่งหัวเชื่อม + 0.45 มิลลิเมตร ระยะห่างแผ่นงานเชื่อมที่ 0.00 มิลลิเมตร ได้ค่าความถี่จากการทดสอบของการยึดตัวสูงสุดที่ 9.98

มิลลิเมตร และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องถึงค่าต่ำสุดที่ 8.5 มิลลิเมตร และเมื่อความเร็วการเชื่อม ตำแหน่งหัวเชื่อม ระยะห่างแผ่นงานเชื่อมสูงขึ้น การยึดตัวก็มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน และค่าการยึดตัวขนาดกลางเท่ากับ 9.10 มิลลิเมตร ที่ระดับความเร็วการเชื่อม 5000 มิลลิเมตร ต่อหน้าที่ ตำแหน่งหัวเชื่อม + 0.50 มิลลิเมตร ระยะห่างแผ่นงานเชื่อมที่ 0.07 มิลลิเมตร

กล่าวได้ว่าการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมของตัวแปรการเชื่อมที่มีอิทธิพลต่อการยึดตัวของรอยต่อ ชนได้ถูกยืนยันความเชื่อมั่นทางสถิติโดยโปรแกรมการทดสอบอะโนว่าอย่างถูกต้อง