

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรพารามิเตอร์ต่อการเชื่อมความต้านทานแบบจุดเหล็กกล้าคาร์บอน
ต่ำเกรด AISI 1010กรณีศึกษาการเชื่อมแบบต่อเกย 3 ชั้น

A Study of Influenced of Resistance Spot Welding Parameters
on Properties of Carbon Steel AISI 1010 :Three Layers Overlap Joint.

มนตรี เวเศษสร้อย¹, สันติรัฐนันสะอาจ¹

Montri Wasedsoi¹, Santirat Nansa-arng¹

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรพารามิเตอร์ต่อการเชื่อมความต้านทานแบบจุดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด AISI 1010 กรณีศึกษาการเชื่อมแบบต่อเกย 3 ชั้นการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองแบบ Factorial Design ที่มีปัจจัยการเชื่อม ได้แก่ กระแสไฟฟ้าแรงกดขึ้นงาน และเวลาในการเชื่อม ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วยปัจจัยละ 3 ระดับ โดยทำการศึกษาทางด้านสมบัติทางกลและทางกายภาพ คือ ค่าแรงดึงเฉือนสูงสุด ความแข็งสูงสุด ขนาดนั้กเกิดและอัตราการหลอมละลายเล็ก ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างกระแสไฟฟ้า แรงกดขึ้นงาน และเวลาในการเชื่อมส่งผลต่อค่าแรงดึงเฉือนสูงสุด ความแข็งของรอยเชื่อมสูงสุด ขนาดนั้กเกิดและอัตราการหลอมละลายเล็ก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จาก การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่มีค่าแรงดึงเฉือนสูงสุด พบว่าบริเวณรอยเชื่อมมีรูปร่างและขนาดเกรนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของความร้อนและอัตราการเย็นตัวของโลหะ ซึ่งความร้อนและอัตราการเย็นตัวของรอยเชื่อมส่งผลต่อโครงสร้าง 3 ส่วน คือบริเวณรอยเชื่อม(Fusion Zone :FZ). บริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน(Heat Affect Zone :HAZ)โดยแบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงของเกรนหยาบ ช่วงของเกรนละเอียด ช่วงของโครงสร้างเกรนที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สมบูรณ์และสุดท้ายบริเวณโลหะงาน(Base MetalZone : BM)

คำสำคัญ : การเชื่อมความต้านทานแบบจุด / แรงดึงเฉือนสูงสุด / ความแข็งสูงสุด /ขนาดนั้กเกิด / อัตราการหลอมละลายเล็ก /โครงสร้างจุลภาค

Abstract

This research aimed to study of influenced of resistance spot welding parameters on properties of low carbon steel spec AISI 1010 three layers overlap joint. The research was in experimental at a factorial design, the factors including and consist the current, pressure, and cycle of the time. All factors were tested at three levels. The levels had repeat three time. To study of mechanical and physical properties was the ultimate tensile shear strength, ultimate hardness, nuggets size and depth of fusion. The result shown that all main factors current, pressure, and weld time are effectively to the ultimate tensile shear strength, ultimate hardness, nuggets size and depth of fusion had statistically significant level of 0.05 .As analysis structure of the microstructure of parts as testing with the ultimate tensile shear strength. Facing at the area of the grain shape and size vary out, Depending on the intensity of the heating and cooling rate of the metal material. Which of heating and cooling rate of welding make an affect tothreezone. According to fusion zone (FZ). The heat affect zone (HAZ) has divided intothree areas. There are the coarse grain areaheat affect zone,The fine grain areaheat affect zone, and the partiallygrain refining. Finally is base metal zone (BM).

Keywords: Resistance spot welding / Ultimate tensile shear strength / ultimate hardness / Nugget size / Microstructure

e-mail address : montri.was@hotmail.com

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Department of Production Technology, Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of technology Thonburi.

คำนำ

กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Resistance Spot Welding : RSW) ถือว่าเป็นวิธีการหนึ่งที่น่านิยมกันมากในวงการอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ โดยเฉลี่ยแล้วมีรอยเชื่อมต้านทานแบบจุด มีมากกว่า 80 เปอร์เซนต์ของโครงสร้างรถยนต์หรือประมาณ 10,000 จุด มีทั้งการเชื่อมความต้านทานแบบจุด ทั้งแบบต่อเกย 2 ชั้น และ 3 ชั้น ซึ่งปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์มีแนวโน้มยอดการขายที่เพิ่มขึ้นและตลาดการแข่งขันที่สูงขึ้น ดังนั้นทางผู้ผลิตรถยนต์จึงได้มีการออกแบบรถยนต์ให้มีรูปลักษณะที่สวยงาม มีความแข็งแรงและต้องสอดคล้องกับหลักทางพลศาสตร์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า นักออกแบบรถยนต์จึงมีการออกแบบให้มีโครงสร้างและรูปทรงรถยนต์ที่สวยงามและโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้นตามไปด้วยทำให้โครงสร้างรถยนต์มีการเชื่อมแบบต่อเกยกันมากกว่า 2 ชั้น (Multi-collapse layer) การเชื่อมความต้านทานแบบจุดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1010 แบบต่อเกยในโครงสร้างรถยนต์มักจะมีปัญหาว่ามีรอยแตกร้าว (Cracks) เช่น ปัญหาการแตกร้าวร้อน (Hot Cracking) และการแตกร้าวเย็น (Cold Cracking) เนื่องจากการใช้กระแสไฟที่ไม่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบจุด จากปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อของโครงสร้างรอยเชื่อม (Welded Structures) และมีอิทธิพลต่อค่าของแรงดึงเฉือนขนาดนักเก็ต อัตราการหลอมละลายลึกและความแข็งของรอย

เชื่อมที่ไม่ผ่านตามค่ามาตรฐานของลูกค้ำและต้องเสียค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการซ่อมแซมชิ้นงานที่ผลิตออกมาแล้วเกิดการแตกร้าวในรอยเชื่อม

ตัวอย่างของรถยนต์ Subaru รุ่น Legacy Wagon GT Spot ในประเทศไต้หวันได้เกิดเสียงจากภายนอกเข้ามาภายในตัวรถยนต์ทางด้านซุ้มล้อทางด้านขวาของตัวรถยนต์ ซึ่งปัญหานี้เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของรอยเชื่อมเพราะเกิดการแตกร้าวบริเวณรอยเชื่อม (Crack welding) จากการเชื่อมความต้านทานแบบจุดแบบต่อเกย 3 ชั้น ทำให้ต้องเสียเวลาในการซ่อมแซมรอยเชื่อมนั้นใหม่และที่สำคัญกว่านั้นคือการที่ลูกค้ำขาดความเชื่อถือในตัวสินค้า

จากปัญหาที่เกิดขึ้นต้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรพารามิเตอร์ในการเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Resistance Spot Welding) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1010 กรณีศึกษาการเชื่อมแบบต่อเกย 3 ชั้นเพื่อศึกษาอิทธิพลของค่าพารามิเตอร์การเชื่อมความต้านทานแบบจุดโดยใช้องค์ประกอบหลักเป็นตัวแปรต้นคือ กระแสไฟฟ้า แรงกด เวลาที่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบจุด โดยทำการทดสอบคุณภาพของรอยเชื่อมจากทดลองด้านสมบัติทางกลและด้านโลหะวิทยาเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบจุด กรณีการเชื่อมแบบต่อเกย 3 ชั้น พร้อมแก้ปัญหาความไม่สมบูรณ์ของรอยเชื่อมที่เกิดการแตกร้าวและประสิทธิภาพในการรับแรงดึงเฉือนเพื่อที่จะนำปัจจัยจากการเชื่อมที่ได้ไปใช้งานและสามารถประยุกต์ในอุตสาหกรรมการเชื่อมโลหะให้มีคุณภาพและประสิทธิภาพสูงสุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาอิทธิพลของค่าพารามิเตอร์การเชื่อมความต้านทานแบบจุดที่มีต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด AISI 1010 กรณีศึกษา การเชื่อมแบบต่อเกย 3 ชั้น

อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุด ยี่ห้อ UTO รุ่น S1-6-355T
2. หัวอิเล็กโทรดที่พตามมาตรฐาน JIS C 9304:1986 ชนิด Dome Radius Type (DR) Diameter 16 มิลลิเมตร Contact Tip 6 มิลลิเมตร [4]
3. เครื่องทดสอบแรงดึงเฉือน ยี่ห้อ Zwick / Roell รุ่น 1002-1 (1991-01)
4. เครื่องทดสอบความแข็ง Vickers Testing ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น MMT-X
5. เครื่องขัดชิ้นงาน ยี่ห้อ Jeanwiriz รุ่น PHOENIX BETA สามารถปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 50 – 450 รอบ/นาที
6. เครื่องวัดโครงสร้างมหภาค ยี่ห้อ ROI Instrument ใช้ในการวิเคราะห์ค่าขนาดของน้กเกิดและอัตราค่าการหลอมละลายลึก ของชิ้นงาน มีกำลังขยาย 10 เท่า
7. กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ Zeiss รุ่น Axiolap ใช้โปรแกรม Leica Analysis Structure Microsystems ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้ใช้ชิ้นงานทดลองโดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (AISI 1010) กับมีขนาด 30x100x1.2 มิลลิเมตร และขนาด 30x60x2.0 มิลลิเมตร ที่ผ่านกระบวนการรีดเย็น

การออกแบบการทดลอง

การทดลองเบื้องต้น

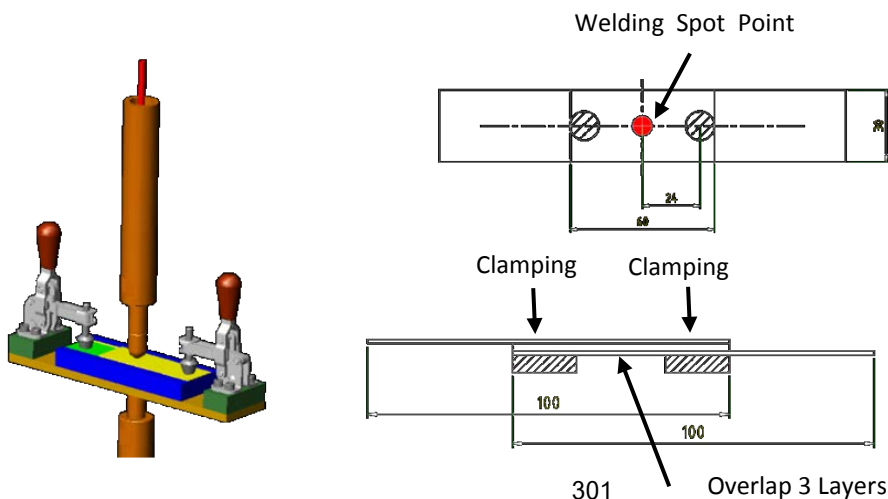
ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีการดำเนินการทดลองเพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมเป็นบรรทัดฐานการทดลองมีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือจึงได้มีปฏิบัติการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) เพื่อหาระดับปัจจัยในการเชื่อมที่เหมาะสมเช่นกระแสไฟฟ้า แรงกดขึ้นงาน เวลาในการเชื่อมซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษาประกอบด้วยปัจจัยร่วมในการศึกษาตามชนิดและระดับดังนี้

1. กระแสไฟฟ้า ที่ใช้ในการทดลองมี 3 ระดับ คือ 9000 Amp, 10000 Amp และ 11000 Amp
2. แรงกดขึ้นงาน กำหนดไว้ 3 ระดับ คือ 0.1 MPa, 0.2 MPa และ 0.3 MPa
3. เวลาในการเชื่อม กำหนดไว้ 3 ระดับ คือ 9 Cycle, 11 Cycle และ 13 Cycle

หลังจากทดลองปฏิบัติการเชื่อมได้ระดับของปัจจัยการเชื่อมที่เหมาะสมและสัมพันธ์กันเกิดรอยเชื่อมที่ความสมบูรณ์โดยไม่มีจุดบกพร่องจึงทำการเชื่อมตามที่ได้ออกแบบการทดลองในขั้นตอนนี้ต่อไป

การทดลองจริง

1. เตรียมชิ้นงานและทำความสะอาดด้วยน้ำยาอะซิโตน เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกเช่นคราบน้ำมัน
2. วางชิ้นงานทดสอบลงบนชุดอุปกรณ์จับยึด (Jig Spot Welding)
3. ปฏิบัติการเชื่อมเชื่อมความต้านทานแบบจุดจำนวน 162 ชิ้น โดยเลือกชิ้นงานตามตารางสุ่มและเปลี่ยนตัวแปรการเชื่อมใหม่ทุกครั้ง
4. ทดสอบค่าแรงดึงเฉือนจำนวน 81 ชิ้นเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง
5. ตัดชิ้นงานจำนวน 81 ชิ้นด้วยเครื่องเลื่อยกลและนำไปเตรียมหล่อเรซิน ชัดผิวชิ้นงานแล้วทำการกัดด้วยกรดไนตริก
6. ทดสอบทางด้านโลหะวิทยาจำนวน 81 ชิ้น เพื่อหาค่าขนาดนิกเกต อัตราการหลอมละลายลึกลับ ความแข็งของรอยเชื่อม
7. ทดสอบโครงสร้างจุลภาค 3 บริเวณ คือบริเวณรอยเชื่อมบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน และบริเวณเนื้อโลหะ ของชิ้นงานที่มีค่าแรงดึงเฉือนสูงสุด เก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง



รูปที่ 1. ลักษณะการจับยึดชิ้นงานการเชื่อมความต้านทานแบบจุด

ผลการทดลองและการอภิปราย

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล(ANOVA)

พิจารณาค่าจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA ของข้อมูลการทดสอบหาค่าด้านสมบัติทางกล ด้านแรงดึงเฉือน (หน่วย:KN/mm²)ด้านโลหะวิทยาโครงสร้างมหภาคขนาดนักเกต (หน่วย:mm.) อัตราการหลอมละลายลึก (หน่วย:mm.)ความแข็ง (หน่วยVickers :HV) โครงสร้างจุลภาคในบริเวณรอยเชื่อมบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อนและบริเวณเนื้อโลหะงานของการเชื่อมความต้านทานแบบจุด กรณีต่อเกย 3 ชั้น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำAISI 1010พบว่าปัจจัยร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสไฟฟ้าแรงกดชิ้นงาน เวลาในการเชื่อมมีผลต่อค่าด้านสมบัติด้านแรงดึงเฉือน ขนาดนักเกต อัตราการหลอมละลายลึก ความแข็งมีระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 1 ,ตารางที่ 2,ตารางที่3และปัจจัยร่วม (Interaction)

พิจารณาค่าความสำคัญของข้อมูลที่ได้จากตารางการวิเคราะห์

$$\text{ค่า } (f_{0.05}, 2, 54) = 3.349$$

$$\text{ค่า } (f_{0.05}, 4, 54) = 2.746$$

$$\text{ค่า } (f_{0.05}, 8, 54) = 2.236$$

*f*คำนวณ มากกว่า *f*ตาราง แสดงว่าอิทธิพลของตัวแปรพารามิเตอร์ต่อการเชื่อมความต้านทานแบบจุดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด AISI 1010 กรณีศึกษาการเชื่อมแบบต่อเกย 3 ชั้นโดยปัจจัย 3 ชนิด คือ กระแสไฟฟ้า (Current) ที่ 9,000 Amp, 10000 Amp. และ 10,000 Amp. แรงกดชิ้นงาน(Pressure) ที่ 0.1 MPa, 0.2 MPa, และ0.2 MPa. เวลาในการเชื่อม (Time) ที่ 9 Cycle, 11 Cycle, และ 13 Cycle, (1 Cycle =0.02 s) พบว่าอิทธิพลของตัวแปรพารามิเตอร์ทุกระดับ มีความค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 แต่อิทธิพลร่วมกันระหว่างเวลาในการเชื่อมกับแรงกดชิ้นงาน (Time * Pressure) ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน

Table 1 ANOVA Table of Tensile shear strength at the significance level of 0.05

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	f-Value	Sig.
Time	12.443	2	6.221	46.322**	.000
Pressure	1.321	2	.660	4.916**	.011
Current	20.643	2	10.322	76.852**	.000
Time * Pressure	.154	4	.038	.286	.886
Time * Current	1.757	4	.439	3.271	.018
Pressure * Current	2.175	4	.544	4.048	.006
Time * Pressure * Current	4.446	8	.556	4.138	.001
Error	7.253	54	.134		
Total	4240.883	81			

Table 2 ANOVA Table of Nugget size at the significance level of 0.05

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	f-Value	Sig.
Time	9.872	2	4.936	45.728**	.000
Pressure	1.861	2	.931	8.621**	.001
Current	6.875	2	3.438	31.847**	.000
Time * Pressure	.741	4	.185	1.717	.160
Time * Current	1.845	4	.461	4.274	.004
Pressure * Current	1.140	4	.285	2.641	.044
Time * Pressure * Current	2.032	8	.254	2.353	.030
Error	5.829	54	.108		
Total	3280.082	81			

Table 3 ANOVA Table of Depth of fusion at the significance level of 0.05

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	f-Value	Sig.
Time	.263	2	.132	3.758**	.030
Pressure	.516	2	.258	7.365**	.001
Current	1.378	2	.689	19.672**	.000
Time * Pressure	.079	4	.020	.566	.688
Time * Current	.732	4	.183	5.224	.001
Pressure * Current	.365	4	.091	2.604	.046
Time * Pressure * Current	1.014	8	.127	3.621	.002
Error	1.891	54	.035		
Total	1207.016	81			

Table 4 ANOVA Table of Hardness at the significance level of 0.05

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	f-Value	Sig.
Time	14550.798	2	7275.399	46.608**	.000
Pressure	1553.129	2	776.565	4.975**	.010
Current	23983.900	2	11991.950	76.823**	.000
Time * Pressure	170.938	4	42.735	.274	.894
Time * Current	2011.919	4	502.980	3.222	.019
Pressure * Current	2497.892	4	624.473	4.001	.006
Time * Pressure * Current	5129.820	8	641.228	4.108	.001
Error	8429.300	54	156.098		
Total	5033408.380	81			

การวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของตัวแปรหลัก

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลเฉลี่ยของผลการทดลองต่อการเชื่อมความต้านทานแบบจุด

ด้านสมบัติทางกล และทางกายภาพ			ปัจจัยหลักในการเชื่อม		
	ผลการทดลอง		กระแสไฟฟ้า (Amp)	เวลา (Cycle)	แรงกดขึ้นงาน (MPa)
ค่าแรงดึงเฉือน(KN/ mm ²)	สูงสุด	9.10	10000	13	0.1
	ต่ำสุด	6.10	9000	9	0.3
ขนาดน้กเกิด (mm.)	สูงสุด	7.5	10000	11	0.2
	ต่ำสุด	5.3	9000	9	0.1
อัตราการหลอมละลายลึก (%)	สูงสุด	82.5	11000	9	0.2
	ต่ำสุด	-	9000	9	0.2
ความแข็งของรอยเชื่อม (HV)	สูงสุด	270	9000	9	0.3
	ต่ำสุด	185	10000	11	0.1

ปัจจัยที่ให้ค่าแรงดึงเฉือนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 9.10 KN/ mm² คือกระแสไฟฟ้าที่ 10000Amp เวลาในการเชื่อมที่ 13Cycle แรงกดขึ้นงานที่ 0.1MPa และปัจจัยที่ให้ค่าแรงดึงเฉือนเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 6.10KN/ mm² คือกระแสไฟฟ้าที่ 9000Amp เวลาในการเชื่อมที่ 9 Cycle แรงกดขึ้นงานที่ 0.3MPa

ปัจจัยที่ให้ค่าขนาดน้กเกิดเฉลี่ยโตสุดเท่ากับ 7.5mm คือกระแสไฟฟ้าที่ 10000Amp เวลาในการเชื่อมที่ 11 Cycle แรงกดขึ้นงานที่ 0.2 MPa และปัจจัยที่ให้ค่าขนาดน้กเกิดเฉลี่ยเล็กสุดเท่ากับ 5.3 mm คือกระแสไฟฟ้าที่ 9000Amp เวลาในการเชื่อมที่ 9 Cycle แรงกดขึ้นงานที่ 0.1 MPa

ปัจจัยที่ให้เปอร์เซ็นต์อัตราการหลอมละลายลึกสุดเท่ากับ 82.5 เปอร์เซ็นต์คือกระแสไฟฟ้าที่ 11000 แอมแปร์ เวลาในการเชื่อมที่ 9Cycle แรงกดขึ้นงานที่ 0.2 MPa คือค่าอัตราการหลอมละลายลึกที่เหมาะสมในการเชื่อม

ปัจจัยที่ให้ค่าความแข็งของรอยเชื่อมเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 270 HV คือกระแสไฟฟ้าที่ 9000Amp เวลาในการเชื่อมที่ 9 Cycle แรงกดขึ้นงานที่ 0.3 MPa และปัจจัยที่ให้ค่าความแข็งของรอยเชื่อมเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 185 HV คือกระแสไฟฟ้าที่ 10000Amp เวลาในการเชื่อมที่ 11Cycle แรงกดขึ้นงานที่ 0.1MPa

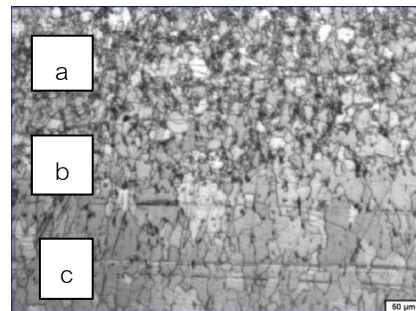
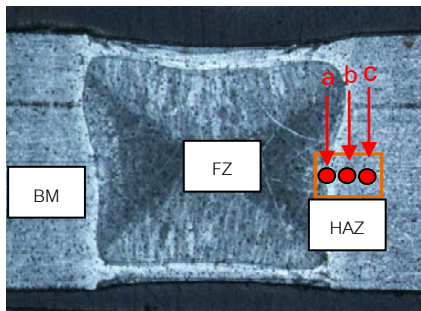
ผลต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่มีค่าแรงดึงเฉือนสูงสุด

ผลต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมหรือบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion zone) ลักษณะของโครงสร้างประกอบด้วยโครงสร้างเฟอร์ไรท์ (Ferrite) พื้นสีขาวสลับกับพื้นสีเทา โครงสร้างเพอร์ไลต์ (Pearlite) (โครงสร้างยูเทคตอยด์ที่เกิดจากการเรียงตัวสลับกันของเฟส 2 เฟส คือเฟอร์ไรท์กับซีเมนไทต์) ในขณะที่ปล่อยให้

เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ด้วยการระบายความร้อนด้วยน้ำจนถึงอุณหภูมิห้อง จะเกิดเป็นลักษณะที่สลับกันเป็นแผ่นหรือแถบยาวๆ เกรนคอลัมน์นาร์ (Columnar Grain) ขยายตัวยื่นเข้าไปยังจุดศูนย์กลางของรอยเชื่อมในทิศทางตามลักษณะของการเย็นตัวโดยเริ่มต้นจากรอยต่อที่ติดกับบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนจนถึงกึ่งกลางของจุดหลอมละลาย โดยโครงสร้างเพอร์ไลต์ที่มีปริมาณเฟสประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์

ผลต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) พิจารณาบริเวณที่ติดกับรอยต่อ บริเวณจุดหลอมละลาย (Fusion Zone : FZ) ได้รับผลกระทบจากการใช้ความร้อนที่สูง และมีอัตราการเย็นตัวที่เร็วเร็ว มีทิศทางการเติบโตของเกรนในทุกทิศทาง ระหว่างเนื้อรอยเชื่อมกับโลหะงาน บริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat Affect Zone : HAZ) โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ (a) ช่วงของเกรนหยาบ โครงสร้างที่มีลักษณะเกรนหยาบ ส่งผลให้เกิดรอยฉีกขาดบริเวณตำแหน่งนี้เป็นจุดแรก (b) ช่วงของเกรนละเอียด และสุดท้ายคือ (c) ช่วงของโครงสร้างเกรนที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่สมบูรณ์จะอยู่ใกล้บริเวณโลหะ

ผลต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะงาน (Base metal: BM) โครงสร้างประกอบด้วยเฟอไรต์พื้นสีขาว สลับกับพื้นสีเทา โครงสร้างเพอร์ไลต์ ขนาดเกรนจะมีลักษณะแบนเรียบจากกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นมาก่อน กระจายอยู่ทั่วไปตามโครงสร้าง



รูปที่ 2 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (กำลังขยาย 50 เท่า) ตำแหน่ง

- (a) เกรนหยาบ
- (b) เกรนละเอียด
- (c) เกรนเปลี่ยนแปลงไม่สมบูรณ์

บทสรุป

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของค่าพารามิเตอร์การเชื่อมความต้านทานแบบจุดต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด AISI 1010 กรณีศึกษา การเชื่อมแบบต่อเถก 3 ชั้น จากการศึกษาพบว่าปัจจัยในการเชื่อม คือ กระแสไฟฟ้า แรงกดและระยะเวลาในการเชื่อม มีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. ปัจจัยที่ให้ค่าแรงดึงเฉือนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 9.10 KN/mm² คือ กระแสไฟฟ้าที่ 10000 แอมแปร์ เวลาในการเชื่อมที่ 13 Cycle แรงกดชิ้นงานที่ 0.1 MPa
2. ปัจจัยที่ให้ค่าขนาดนักเกตเฉลี่ยโตสุดเท่ากับ 7.5 mm คือ กระแสไฟฟ้าที่ 10000 แอมแปร์ เวลาในการเชื่อมที่ 11 Cycle แรงกดชิ้นงานที่ 0.2 MPa

3. ปัจจัยที่ให้เปอร์เซ็นต์การหลอมละลายลึกสุดเท่ากับ 82.5 เปอร์เซ็นต์คือกระแสไฟฟ้าที่ 11000 แอมแปร์ เวลาในการเชื่อมที่ 9Cycle แรงกดขึ้นงานที่ 0.2 MPa คือค่าอัตราการหลอมละลายลึกที่เหมาะสมในการเชื่อม
4. ปัจจัยที่ให้ค่าความแข็งของรอยเชื่อมเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 270 HV คือกระแสไฟฟ้าที่ 10000 แอมแปร์ เวลาในการเชื่อมที่ 13Cycle แรงกดขึ้นงานที่ 0.1MPa

จากผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์คือ กระแสไฟฟ้า แรงกดและระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมความต้านทานแบบจุด เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด AISI 1010 กรณีศึกษาการเชื่อมแบบต่อเกย 3 ชั้น มีผลต่อสมบัติทางกลในด้านค่าแรงดึงเฉือนสูงสุด พบว่าเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นและเวลาในการเชื่อมที่เพิ่มขึ้น(ในที่นี้ค่าความต้านทานคงที่) และค่าของแรงกดขึ้นงานที่มีค่าน้อยสุดที่ 0.1 MPa ทำให้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Current Density) มีค่าน้อย ความต้านทานบริเวณผิวสัมผัสขึ้นงาน(Contact Radius) มีมากขึ้น มีผลทำให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหลอมเหลวโลหะ ทำให้แผ่นโลหะละลายและเชื่อมติดกันเกิดเป็นน้กเกต(Nugget) และเมื่อพื้นที่การเกิดน้กเกตมีพื้นที่มาก ก็จะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนมีค่าสูงขึ้นแต่เมื่อลดกระแสไฟฟ้าและลดเวลาในการเชื่อมลง หรือเพิ่มแรงกดขึ้นงานให้เพิ่มขึ้นที่ 0.2,0.3MPaทำให้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า(Current Density) มีค่ามาก ความต้านทานบริเวณผิวสัมผัสขึ้นงาน(Contact Radius) มีค่าลดลงตามไปด้วย ส่งผลทำให้ความร้อนบริเวณหน้าสัมผัสของขึ้นงาน(Contact Radius) ลดลงตามด้วย รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการเชื่อมมีค่าน้อย จึงส่งผลทำให้การฟอร์มตัวเป็นผลึกของน้กเกตแบบไม่สมบูรณ์ หรือมีบางส่วนที่ละลายและเชื่อมติดกันเกิดเป็นน้กเกต(Nugget) แต่ก็ทำให้ค่าพื้นที่การเกิดน้กเกตมีพื้นที่น้อย ก็จะส่งผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนมีค่าที่ต่ำตามไปด้วย ซึ่งมีความเห็นสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณรัตน์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ ที่ศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญของกระบวนการเชื่อมแบบจุดจนทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ สำคัญ 3 พารามิเตอร์คือแรงกดกระแสไฟและเวลาที่ใช้ในการเชื่อมทั้งนี้ค่าที่เหมาะสมของแต่ละพารามิเตอร์ได้แตกต่างกันไปตามภาวะแวดล้อมที่ศึกษาเมื่อเทียบกับทฤษฎีการเกิดความร้อนของกระบวนการเชื่อมแบบใช้ความต้านทาน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่เกิดขึ้นกับค่ากระแสไฟความต้านทานและเวลาเป็นไปตามสมการที่

$$H = I^2 R x t$$

เมื่อ H คือค่าความร้อนที่ได้ (หน่วย : Joules), I คือค่ากระแสไฟฟ้า(หน่วย: amperes), Rคือค่าความต้านทาน (หน่วย: ohms) และ t คือเวลาที่กระแสไฟไหล (หน่วย: seconds) นั้นแสดงว่าเมื่อเราเพิ่มกระแสไฟฟ้าและเวลา (ในที่นี้ค่าความต้านทานคงที่) มีผลให้เกิดความร้อนจนจุดเชื่อมจนถึงจุดหลอมเหลวของโลหะจนทำให้แผ่นโลหะทั้งสองละลายและเชื่อมติดกันเกิดเป็นน้กเกต (Nugget) และน้กเกตนี้เองคือปัจจัยที่ส่งผลถึงค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อม

สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคตามหลักการและทฤษฎีทางด้านโลหะวิทยา พบว่าเมื่อโลหะงานได้รับพลังงานความร้อนเข้า (Heat Input) ในปริมาณสูงต่อหน่วยพื้นที่ จึงส่งผลต่อลักษณะการกระจายตัวของพลังงานความร้อน ในลักษณะที่กว้าง และโลหะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากตัวเองได้ดี ปล่อยให้เย็นอย่างรวดเร็ว จนถึงอุณหภูมิห้อง ทำให้เกิดกลไกเช่นเดียวกับการอบอ่อน จึงทำให้โครงสร้างบริเวณกระทบร้อน (HAZ) เกิดการเปลี่ยนแปลงของเกรนจากบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อนในช่วงบริเวณกระทบร้อนเกรน

หยาบ (Coarse Grain heat affected zone) ซึ่งติดกับบริเวณจุดหลอมเหลวโครงสร้างเกรนเฟอร์ไรต์ที่มีการขยายตัวของเกรนโตขึ้น(Grain Growth)โครงสร้างมีลักษณะเกรนหยาบส่งผลให้เกิดรอยฉีกขาดในขณะทำการทดสอบแรงดึงเฉือน

เอกสารอ้างอิง

[Online], Available: <http://www.legacygt.com/forums/showthread.php/2010-legacy-wagon-GT-Spot-welding-point-failure-132510.html?p=2857436> [March3,2010]

Japanese Industrial Standard 1995, Method of Macro Test for Section of Spot Welded Joint.

Japanese Standard Association, JIS Z 3139-1978, Japan, pp. 658-661.

Japanese Industrial Standard 1995, Method of Tension Shear Test for Spot Welded Joint.

Japanese Standard Association, JIS Z 3136-1978, Japan, pp. 637-639.

¹ NarunSirisuntisumrit , ² SupaousPansiripat , ^{3*} ChoosakPornsing , ³ ArnatWattanasangsuit

Industrial Engineering and Management Department, Faculty of Engineering and

Industrial Technology, Silpakorn University, Nakornpathom, 73000 p.1-5

Chang, B.H. and Zhou, Y. 2003. Numerical study on the effect of electrode force in small-scale resistance spot welding. Journal of Materials Processing Technology, 139: 635-641.