

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการเชื่อมประสานด้วยความ ต้านทานที่มีต่อความแข็งแรงของรอยต่อระหว่างแผ่น เหล็กกล้าไร้สนิม 316L

A Study on Influence of Resistance Brazing Parameters on Joint Strength Between 316L Stainless Steel Plates

ภูเมศวร์ แสงระยับ กำธร สุขพิมาย กรรณชัย กัลยาศิริ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการเชื่อมประสานด้วยความต้านทานที่มีต่อความแข็งแรงของรอยต่อระหว่างแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 316L โดยใช้โลหะเติมชนิด Sil CD1050-5M ในลักษณะการต่อแบบต่อเกย โดยทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2^4 ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง และมีตัวแปรที่ศึกษาคือ กระแสไฟฟ้า เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า ความดันจากอิเล็กโทรด และเวลาในการกดแช่ชิ้นงานหลังการเชื่อม ผลจากการทดลองพบว่าตัวแปรหลัก กระแสไฟฟ้า เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า ความดันจากอิเล็กโทรด และตัวแปรร่วมระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความดันจากอิเล็กโทรด มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อที่ระดับ $\alpha = 0.05$ และรอยต่อที่ใช้กระแสไฟฟ้า 4,000 A เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า 2 s และความดันจากอิเล็กโทรด 0.3 MPa สามารถรับแรงดึงเฉือนได้สูงสุด

คำสำคัญ : การเชื่อมประสานด้วยความต้านทาน/ ความแข็งแรงดึงเฉือน / การออกแบบการทดลอง

Abstract

This research aims to study on influence of resistance brazing parameters on brazed joint between 316L stainless steel plates. Sil CD1050-5M filler metal was used in joining form lap joint. The experimental design of 2^4 full factorial design with 2 replicates was employed, and the factors of interest included welding current, welding time, electrode pressure and holding time. Results showed that the main effects were welding current, welding time, electrode pressure and 2-way interactions between welding current and electrode pressure significantly affect to the shear strength of brazed joint at $\alpha = 0.05$. In addition, the brazed joint with welding current of 4,000 A, welding time of 2 s and electrode pressure of 0.3 MPa provided the maximum shear strength.

Keywords: Resistance brazing/ Shear strength /Design of experiments

1. บทนำ

ปัจจุบันกระบวนการแผ่นประสานเป็นกระบวนการหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการเชื่อมต่อวัสดุ เนื่องจากสามารถใช้เชื่อมต่อวัสดุได้หลากหลายชนิด หรือมีลักษณะรอยต่อที่มีรูปร่างซับซ้อน และความสามารถที่เด่นชัดของกระบวนการแผ่นประสาน คือ สามารถเชื่อมต่อวัสดุที่มีหน้าตัดขนาดใหญ่ให้ติดกันได้เต็มทั้งหน้าตัดของรอยต่อ [1] แต่ในการแผ่นประสานวัสดุที่มีความสามารถในการกัดกร่อนได้ดี เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม หรือไทเทเนียม นั้นจะทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากวัสดุจำพวกนี้เมื่อมีอุณหภูมิสูงจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดออกไซด์บนผิวของชิ้นงาน ทำให้รอยต่อของชิ้นงานเกิดการแพร่ได้น้อย มีผลให้ค่าความแข็งแรงลดลง [2] เพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์ในการแผ่นประสาน วิธีการที่ยอมรับประยุกต์ใช้ในการประสานวัสดุที่มีความสามารถในการกัดกร่อนได้ดี คือ การแผ่นประสานในเตาสุญญากาศ หรือการควบคุมบรรยากาศภายในเตาโดยใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซอาร์กอน (Ar) และใช้ฟลักซ์ช่วยกำจัดหรือป้องกันการเกิดออกไซด์หรือสารเคมีอื่นๆ ที่ไม่ต้องการที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการแผ่นประสาน [3-4] วิธีการที่กล่าวนี้เป็นวิธีการที่ซับซ้อนและใช้ระยะเวลาในการดำเนินงาน จึงได้มีการนำเทคนิคการแผ่นประสานด้วยความต้านทาน (Resistance brazing) มาศึกษาและประยุกต์ใช้ เพื่อลดระยะเวลาและความซับซ้อนในการดำเนินงาน

ในงานวิจัยของ โยธิน จันทร์ทอง และคณะ ได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของเหล็กกล้าชนิดแผ่นเคลือบโลหะสังกะสีแบบจุ่มร้อนและอบ SGCD1 ที่ผ่านการเชื่อมความต้านทานแบบจุด ซึ่งได้ทำการศึกษา 5 ปัจจัย คือ แรงกดจากอิเล็กโทรด เวลากดชิ้นงานสองชิ้นให้ติดกัน กระแสไฟฟ้า เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า และเวลากดแช่ชิ้นงานหลังการเชื่อม ผลจากการทดลองพบว่า ทุกปัจจัยมีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงดึงเฉือนที่ระดับ $\alpha = 0.05$ [5] Aslanlar และคณะ ได้ศึกษาอิทธิพลของเวลาในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดที่มีต่อค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยเชื่อมระหว่างแผ่นเหล็กชุบโครเมต หนา 1.2 mm โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ กระแสไฟฟ้า และเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า ซึ่งใน

การทดลองจะกำหนดแรงกดจากอิเล็กโทรดคงที่ 6 kN ผลจากการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุดของรอยเชื่อมเกิดขึ้นเมื่อ ใช้กระแสไฟฟ้าที่ 10 kA สำหรับเวลาในการเชื่อมที่ 12 cycle [6] และงานวิจัยของ Marashi ศึกษาความเสียหายของโครงสร้างจุลภาคโลหะ ด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุดระหว่างเหล็กแผ่นชุบสังกะสี หนา 1.1 mm กับเหล็กกล้าไร้สนิมมีความหนา 1.2 mm โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ กระแสไฟฟ้า เวลากดชิ้นงานสองชิ้นให้ติดกัน เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า แรงกดจากอิเล็กโทรด และเวลากดแช่ชิ้นงานหลังการเชื่อม ผลจากการทดลองพบว่า ที่กระแสไฟฟ้า 13,000 A เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า 11 cycle และแรงกดจากอิเล็กโทรด 4 bar ทำให้ได้รอยเชื่อมที่สามารถรับแรงดึงเฉือนได้สูงสุด [7] ซึ่งจากการศึกษา และรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยของ โยธิน จันทร์ทอง, Aslanlar และ Marashi สามารถกำหนดตัวแปรหลักที่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงของรอยต่อ คือ กระแสไฟฟ้า เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า ความดันจากอิเล็กโทรด และเวลาในการกดแช่ชิ้นงานหลังการเชื่อม

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการแผ่นประสานด้วยความต้านทานที่มีต่อค่าความแข็งแรงของรอยต่อระหว่างแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 316L โดยใช้โลหะเติมชนิด Sil CD1050-5M ในลักษณะการต่อแบบต่อเกย (Lap joint) โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ กระแสไฟฟ้า เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า แรงกดจากอิเล็กโทรด และเวลาในการกดแช่ชิ้นงานหลังการเชื่อม

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การออกแบบการทดลอง

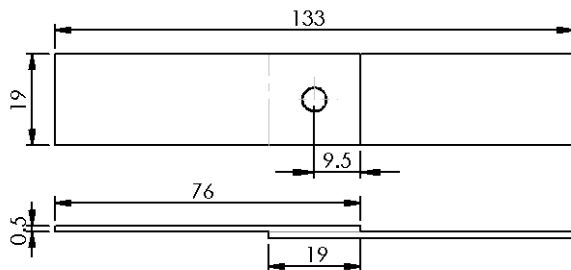
ในงานวิจัยนี้ทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^4 Full factorial design ทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมทั้งหมด 32 การทดลอง โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ A : กระแสไฟฟ้า, B : เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า, C : แรงกดจากอิเล็กโทรด, D : เวลากดแช่ชิ้นงานหลังการเชื่อม ซึ่งแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับในการทดลอง

ลำดับ	ปัจจัย	ระดับ	
		ต่ำ (-1)	สูง (1)
1	A (A)	2,000	4,000
2	B (Sec)	0.5	2.0
3	C (MPa)	0.3	0.5
4	D (Sec)	0	5

2.2 การเตรียมโลหะพื้นและโลหะเติม

ในส่วนนี้จะใช้วัสดุชนิดแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 316L หนา 0.5 mm มาต่อเข้าด้วยกัน โดยใช้โลหะเติมแบบแผ่น ชนิด Sil. CD1050-5M ตัดให้ได้ขนาด 19 X 19 X 0.15 mm ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของโลหะเติม แสดงดังตารางที่ 2 โดยออกแบบการต่อแบบต่อเกลย ตามมาตรฐานของการกำหนดขนาดชิ้นงานทดสอบสำหรับงานเชื่อมด้วยความต้านทาน (Resistance welding) AWS C3 [8] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปร่างและขนาดของชิ้นงานทดสอบ [8]

2.3 การเล่นประสาน

หลังจากเตรียมโลหะพื้นและโลหะเติมให้ได้ตามขนาดที่ต้องการแล้ว นำโลหะพื้นและโลหะเติมมาขัดด้วย

กระดาษทรายเบอร์ 320 และ 400 แล้วล้างทำความสะอาดด้วยอะซิโตน (Acetone) และเอทานอล (Ethanol) หลังจากนั้นนำโลหะพื้นมาจับยึดบนฟิกเจอร์ โดยการต่อแบบต่อเกลย ซึ่งจะสอดแผ่นโลหะเติมไว้ระหว่างรอยต่อของโลหะพื้น จากนั้นนำไปเล่นประสานด้วยความต้านทานด้วยเครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุด ยี่ห้อ Fan รุ่น ISO 25510522 โดยใช้อิเล็กโทรดทองแดง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm

2.4 ทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงเฉือน

ในขั้นตอนการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงเฉือน จะนำชิ้นงานมาทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงเฉือน โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AG - X ใช้ความเร็วในการทดสอบ 10 mm/min จากนั้นนำผลจากการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนมาวิเคราะห์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของรอยต่อ โดยใช้โปรแกรม Minitab V.16 ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลจากการทดลองนำมาวิเคราะห์ ANOVA และการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model adequacy checking) โดยใช้โปรแกรม Minitab V. 16 แสดงผลจากการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของโลหะเติมชนิด Sil. CD1050-5M [9]

Item	Chemical component (%)					Solidus (°C)	Liquidus (°C)	Brazing temperature (°C)
	Ag	Cu	Zn	Ni	Mn			
Sil. CD1050-5M	49	27.5	20.5	0.5	2.5	630	670	670 - 770

ตารางที่ 3 Analysis of variance for RB (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	13129.3	3282.32	79.40	< 0.001
A	1	6974.1	6974.10	168.70	< 0.001
B	1	2707.9	2707.93	65.50	< 0.001
C	1	3443.0	3443.05	83.28	< 0.001
D	1	4.2	4.21	0.10	0.732
A*B	1	106.8	106.84	2.58	0.132
A*C	1	836.9	836.92	20.24	< 0.001
A*D	1	5.0	4.98	0.12	0.733
B*C	1	71.9	71.85	1.74	0.206
B*D	1	4.5	4.51	0.11	0.746
C*D	1	151.0	150.99	3.65	0.074
Residual Error	16	661.5	41.34		
Pure Error	16	661.5	41.34		
Total	31	15096.9			
R-Sq = 95.63% R-Sq (adj) = 91.54%					

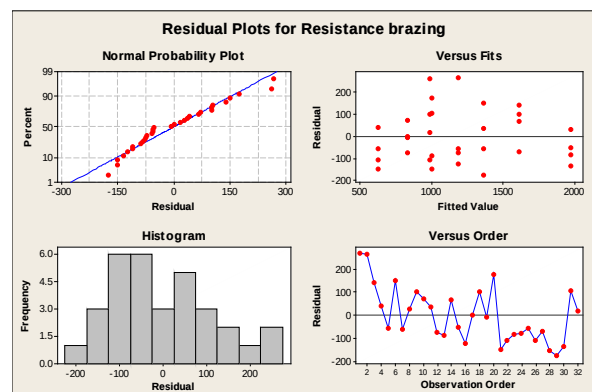
จากการวิเคราะห์ ANOVA จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรที่ไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของรอยต่อ จึงต้องวิเคราะห์ ANOVA อีกครั้ง โดยตัดตัวแปรที่ไม่มีผลกระทบออก ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 Reduced model

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	13125.1	4375.03	104.08	< 0.001
A	1	6974.1	6974.10	165.91	< 0.001
B	1	2707.9	2707.93	64.42	< 0.001
C	1	3443.0	3443.05	81.91	< 0.001
A*C	1	836.9	836.92	19.91	< 0.001
Residual Error	27	1135.0	42.04		
Lack of Fit	3	180.8	60.25	1.52	0.236
Pure Error	24	954.2	39.76		
Total	31	15096.9			
R-Sq = 92.48% R-Sq (adj) = 91.37%					

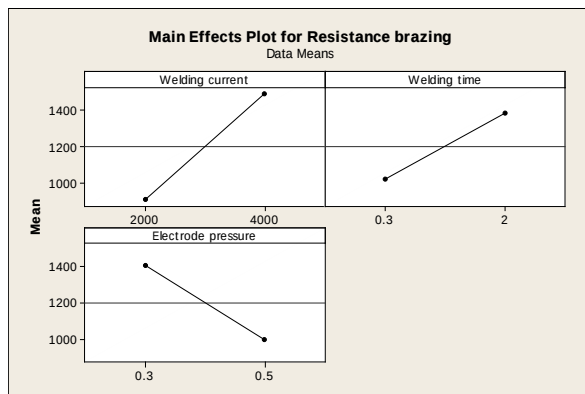
ผลจากการวิเคราะห์ ANOVA จะเห็นได้ว่าตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อในการแผ่นประสานด้วยความดันทาน คือ กระแสไฟฟ้า เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า และแรงกดจากอิเล็กโทรด รวมทั้งอันตรกิริยาของกระแสไฟฟ้าและแรงกดจากอิเล็กโทรด มีผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยประสานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนเวลาในการกดชิ้นงานหลังการเชื่อมไม่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงของรอยต่อ (P-value > 0.05) และผลจากการวิเคราะห์ ANOVA จากตารางที่ 4 สามารถนำมาเขียนเป็นสมการเส้นตรงสำหรับการทำนายค่าความแข็งแรงของรอยต่อได้ดังสมการที่ 1

$$Y = 61.0578 + 14.7628 A + 9.19906 C - 10.3728 C - 5.11406 A*C \quad (1)$$

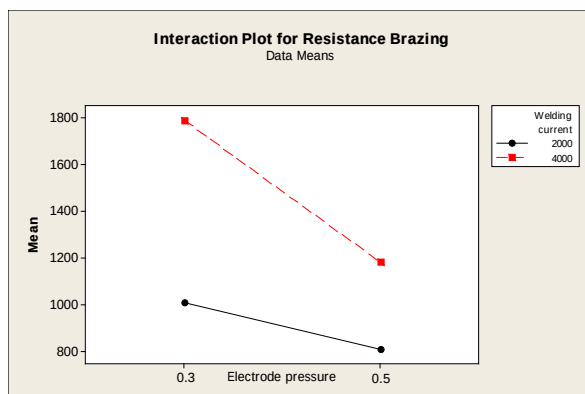


รูปที่ 2 กราฟแสดงส่วนตกค้างจากการทดลอง

จากกราฟ Normal probability plot และ Histogram ในรูปที่ 2 เห็นได้ว่าค่าส่วนตกค้างเกาะกลุ่มกันในลักษณะเส้นตรง มีลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ จากกราฟ Versus fits ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ และความถี่เป็นอิสระของส่วนตกค้างจากกราฟ Versus order ลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้าง ไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้มใดๆ จึงสรุปได้ว่าไม่พบสิ่งผิดปกติในระหว่างการทดลอง



รูปที่ 3 กราฟตัวแปรหลัก (Main effects) ของการทดลอง



รูปที่ 4 Interaction plots แสดงผลกระทบร่วม

จากการพิจารณากราฟ Main effects และ Interaction plots จะเห็นว่าตัวแปรและระดับที่มีผลกระทบให้ค่าความแข็งแรงเฉือนสูงสุดจากการทดลองในครั้งนี้ คือ กระแสไฟฟ้าที่ 4,000 A เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า 2 s และความดันจากอิเล็กโทรดที่ 0.3 MPa

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่า กระแสไฟฟ้า และเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้าจะมีผลต่อความร้อนที่เกิดขึ้น การเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้า หรือเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า ทำให้ความร้อนในการเชื่อมสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมการตามทฤษฎี คือ

$$H = I^2 R t \quad (2)$$

เมื่อ H คือ ความร้อน I คือ กระแสไฟฟ้า R คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ t คือ ระยะเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า ซึ่งจากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า และเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้าจะทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Aslanlar [6] และ Marashi [7] และผลจากการทดลองที่ใช้ความดัน 0.3 MPa ให้ค่าความแข็งแรงมากกว่าที่ความดัน 0.5 MPa เนื่องจากความดัน 0.5 MPa ทำให้ผิวของชิ้นงานเกิดการเสียดสีมากกว่า หรือมีผิวสัมผัสมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่หน้าสัมผัสต่ำกว่าที่ใช้ความดัน 0.3 MPa ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าจึงน้อยกว่าที่ความดัน 0.3 MPa ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ โยธิน จันทร์ทอง [5] เมื่อใช้ความดันจากอิเล็กโทรด 0.15 MPa รอยต่อจะมีค่าความแข็งแรงมากกว่าใช้ความดันจากอิเล็กโทรด 0.25 MPa สำหรับเวลาทดแซ่ชิ้นงานในงานการทดลองครั้งนี้ ไม่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม เนื่องจากใช้วัสดุที่มีความหนา 0.5 mm ซึ่งมีความหนาน้อยมาก และเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้าเพียง 2 s มีผลให้รอยเชื่อมเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว เวลาทดแซ่ชิ้นงานหลังการเชื่อมจึงไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม

4. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการแผ่นประสานด้วยความต้านทานที่มีต่อความแข็งแรงของรอยต่อระหว่างแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 316L โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ กระแสไฟฟ้า เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า ความดันจากอิเล็กโทรด และเวลาทดแซ่ชิ้นงานหลังการเชื่อม จากการทดสอบค่าความแข็งแรงเฉือน และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติพบว่า ตัวแปรหลัก กระแสไฟฟ้า เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า ความดันจากอิเล็กโทรด และอันตรกิริยาร่วมระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความดันจากอิเล็กโทรดมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของรอยประสานที่ระดับ $\alpha = 0.05$ และรอยต่อที่ได้จากการแผ่นประสานด้วยความต้านทาน โดย

ใช้กระแสไฟฟ้า 4000 A เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า 2 s และความดันจากอิเล็กโทรด 0.3 MPa ให้ค่าความต้านทานแรงดึงเหนือนสูงสุด

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Kanlayasiri, "Manufacturing Processes," VJ. printing, Bangkok, 2008.
- [2] L. Yajiang, Z. Zengda, F. Tao and W. Xinghong, "Oxidation resistance and phase constituents in the brazing interface of WC-TiC-Co hard alloys," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 122, pp. 51–55, 2002.
- [3] A. Elrefaey and W. Tillmann, "Effect of brazing parameters on microstructure and mechanical properties of titanium joints," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, pp. 4842–4849, 2009.
- [4] A. Elrefaey and W. Tillmann, "Correlation between microstructure, mechanical properties, and brazing temperature of steel to titanium joint," Journal of Alloys and Compounds, Vol.487, pp. 639–645, 2009.
- [5] Y. Janthong, K. Kanlayasiri and S. Klongboonjit, "Study on influence of welding parameters of resistance spot welding on tensile shear load for hot-dipped zinc-coated steel sheets SGCD1," Kasetsart University Annual Conference Vol.343, No.50, pp.26-33, 2555.
- [6] S. Aslanlar a, A. Ogur b, U. Ozsarac and E. Ilhan, "Welding time effect on mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding," Materials and Design, Vol. 29, pp.1427–1431, 2008.
- [7] P. Marashi, "Microstructure and failure behavior of dissimilar resistance spot welds between low carbon galvanized and austenitic stainless steel," Materials Science and Engineering :A, Vol.480, pp.175–180, 2008.
- [8] AWS C3, "Establishment of a Standard Test for Brazed Joints," A committee Report, American Welding Society (AWS), pp. 1-63, 1963.
- [9] Neis, "Brazing filler metals," Amatanakorn Indutrial Estate 700/436 Moo7 Bangna-Trad Highway Km57, Donhuaroh, Muang District, Chonburi 20000 Thailand.