



การหาค่าพารามิเตอร์ของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ของการเชื่อมวัสดุต่างชนิด SS400-AI6063

Optimization of Friction Stir Welding Process Parameters to Achieve Maximum Tensile Strength of Dissimilar Materials SS400-AI6063

สิทธิพันธ์ บุญเลิศ* จารวยพร แสนทวีสุข* และ จริยาภรณ์ อุ๋นวงษ์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
E-mail: emilpom@windowslive.com*, charuayporn.s@ubu.ac.th*

Sitthithan Boonlerd* Charuayporn Santhaweesuk* and Jariyaporn Onwong
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon ratchathani University
E-mail: emilpom@windowslive.com*, charuayporn.s@ubu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาะดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6063 โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง ปัจจัยที่ศึกษา ประกอบด้วย 4 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วหมุนเชื่อม 4 ระดับ (450 500 550 และ 600 รอบต่อนาที) ความเร็วเดินเชื่อม 4 ระดับ (30 40 50 และ 60 มิลลิเมตรต่อนาที) รูปร่างหัวกวนและบ่า 4 รูปทรง (หัวกวนทรงกระบอกบ่าเว้า หัวกวน ทรงกระบอกบ่าตรง หัวกวนทรงกระบอกเกลียวบ่าเว้า และหัวกวนทรงกระบอกเกลียวบ่าตรง) และมุมเอียง 2 ระดับ (1 และ 3 องศา) จากผลการทดลอง พบว่า ปัจจัยที่ให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงสูงสุด 188 MPa คือ ความเร็วหมุนเชื่อม 550 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที รูปร่างหัวแบบทรงกระบอกเกลียวบ่าเว้า และมุมเอียง 3 องศา และจากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมประมวลผลทางสถิติ พบว่า ความเร็วหมุนเชื่อมเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงมากที่สุด และระดับปัจจัยในการเชื่อมที่เหมาะสม คือ ความเร็วหมุนเชื่อม 550 รอบต่อนาที ความเร็วเดิน เชื่อม 30 มิลลิเมตรต่อนาที รูปร่างหัวแบบทรงกระบอกบ่าเว้า และมุมเอียง 1 องศา การยืนยันผลระดับปัจจัยที่เหมาะสม พบค่าความต้านทานแรงดึง 190 MPa

คำหลัก การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, เหล็กกล้าคาร์บอน SS400, อลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6063, การออกแบบการทดลอง

Abstract

The objective of this research was to determine the optimal friction stir welding process parameters of dissimilar material between carbon steel grade SS400 and aluminum alloy grade 6063 using the design of experiment technique to maximize the tensile strength. The four welding parameters consisted of 4 levels of rotational speed (450 500 550 and 600 rpm), 4 levels of traverse speed (30 40 50 and 60 mm./min), 4 shapes of tool pin and shoulder (cylindrical smooth pin with curve surface shoulder, cylindrical smooth pin with flat surface shoulder, spiral pin with curve surface shoulder and spiral pin with flat surface shoulder) and 2 levels of tool tilt angle (1 and 3 degree). From the experimental results, the welding conditions yielding the average maximum tensile strength of 188 MPa were rotational speed 550 rpm, traverse speed 60 mm./min, spiral pin with curve surface shoulder and tool tilt angle 3 degree. In addition, the statistic analytical result indicated that the rotational speed was



the most significant factor and the predicted optimal conditions were rotational speed 550 rpm, traverse speed 30 mm./min, cylindrical smooth pin with curve surface shoulder and tool tilt angle 1 degree. The predicted optimal value of tensile strength was 190 MPa. The result was verified through confirmation experiments.

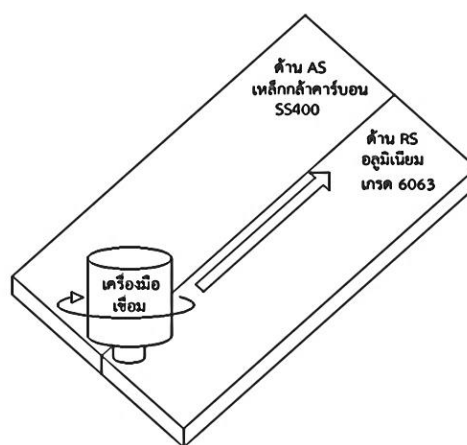
Keywords: Friction Stir Welding, SS400 Carbon Steel, Aluminum Alloy 6063, Design of Experiment

1. บทนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีพรมแดนติดกับประเทศใกล้เคียง การเดินทางระหว่างประเทศ การท่องเที่ยว การขนส่ง การคมนาคม และการติดต่อค้าขายจำเป็นต้องใช้เรือเป็นพาหนะในการเดินทาง การประกอบเรือที่ใช้ในลุ่มน้ำบริเวณเขตติดต่อดังกล่าวจะเป็นเรือขนาดเล็กซึ่งใช้อลูมิเนียมเป็นชิ้นส่วนในการประกอบ ขณะที่การประกอบเรือขนาดใหญ่จะใช้โลหะประเภทเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ซึ่งเป็นโลหะที่มีความแข็งแรงสูงแต่มิมีน้ำหนักสูงเช่นเดียวกัน เรือที่มีน้ำหนักสูงขณะขนส่งหรือขณะทำการบรรทุกสินค้าหรือผู้โดยสารจำนวนมาก ย่อมส่งผลให้เรือจำต้องแบกรับภาระมาก ระยะจมน้ำของเรือสูง ทำให้เรือเกิดการปะทะกับเศษหิน ดิน ทราย และสิ่งต่างๆ ใต้น้ำ จนเกิดการสึกกร่อนและผุพังของเรือ ส่งผลต่ออายุการใช้งานของเรือ ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะนำเอาวัสดุที่มีน้ำหนักเบา และยังคงรักษาความแข็งแรงใกล้เคียงกับวัสดุเดิมที่เป็นโลหะเหล็กมาประกอบกันเป็นโครงสร้างเรือขนาดใหญ่ วัสดุที่มีน้ำหนักเบาอย่างอลูมิเนียมจึงได้รับความสนใจเพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว โดยเฉพาะอลูมิเนียมเกรด 6063 ซึ่งมีคุณสมบัติทางกลที่ดี มีน้ำหนักเบา มีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนที่ดี มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูง และรับแรงกระแทกได้ดี อย่างไรก็ตามหากนำเอาอลูมิเนียมประกอบเข้ากับวัสดุเดิมที่เป็นเหล็ก ย่อมมีความจำเป็นต้องอาศัยหลักการในการเชื่อมประสานวัสดุทั้ง 2 ประเภทนี้เข้าด้วยกัน ซึ่งแนวเชื่อมประสานที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องมีความแข็งแรง ทนทาน และไม่เกิดปัญหาการแตกหักของวัสดุ ซึ่งในปัจจุบันการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ยังเป็นการเชื่อมแบบหลอมละลาย[1] โดยให้ความร้อนจนเกิดการหลอมละลาย ซึ่งอาจส่งผลต่อโครงสร้างของแนวเชื่อม และกระบวนการนี้ไม่สามารถเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ประสานเข้า

กับอลูมิเนียม 6063 ได้

การเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ถูกคิดค้นขึ้นโดยสถาบันด้านการเชื่อมของประเทศอังกฤษ (The welding Institute: TWI)[2] เป็นการเชื่อมประสานวัสดุในสถานะของแข็ง (Solid State) โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมจะต่ำกว่าจุดหลอมละลายของวัสดุที่นำมาเชื่อม จึงเหมาะในการเชื่อมวัสดุที่มีความยากในการเชื่อมอย่างอลูมิเนียมและสามารถใช้ในการเชื่อมวัสดุต่างชนิดได้ดี[3] หากสามารถนำอลูมิเนียมมาเชื่อมประสานเข้ากับโลหะกลุ่มเหล็กเพื่อประกอบกันเป็นโครงสร้างของเรือจะส่งผลต่อน้ำหนักของเรือที่ลดลง การลดลงของน้ำหนักเรือทำให้ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง[4] และระยะจมของเรือลดลงส่งผลให้เรือได้รับการชะลอการสึกกร่อนที่ลดลงเช่นกัน อย่างไรก็ตามการเชื่อมเสียดทานแบบกวนนั้น จำเป็นต้องศึกษาสมบัติของวัสดุ และความเป็นไปได้ในการเชื่อม นอกจากนี้จำเป็นต้องศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อม เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าสมบัติทางกลของแนวเชื่อมสูง และแนวเชื่อมประสานมีความแข็งแรงทนต่อภาระกรรมที่มากกระทำได้ดี[5]



รูปที่ 1 การเชื่อมเสียดทานระหว่างเหล็กกับอลูมิเนียม



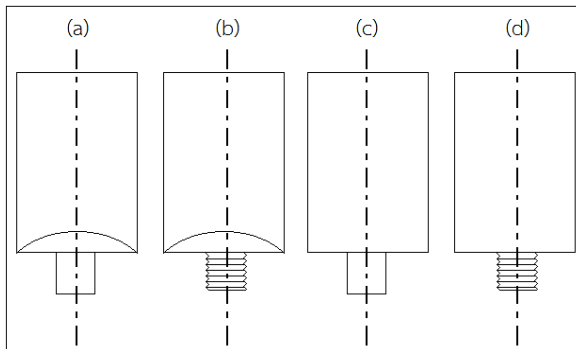
2. วิธีการทดลอง

2.1 ขั้นตอนการทดลอง

เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และอลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร และความหนา 6 มิลลิเมตร ถูกนำมาใช้ในการเชื่อมเสียดทานแบบกวน และถูกวางอยู่ในด้าน AS (Advancing Side) และด้าน RS (Retreating Side) ตามลำดับ ดังรูปที่ 1

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

เครื่องมือเชื่อมทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด SKH 57 ทั้งหมด 4 รูปทรง ดังรูปที่ 2 ได้แก่ (a) หัวกวนทรงกระบอกปาด (b) หัวกวนทรงกระบอกเกลียวปาด (c) หัวกวนทรงกระบอกปาดตรง (d) หัวกวนทรงกระบอกเกลียวปาดตรง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปากเครื่องมือ 20 มิลลิเมตร ตัวกวนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ความยาว 5.8 มิลลิเมตร ทำการเชื่อมโดยเครื่องจักรกลแบบอัตโนมัติ (Computerized Numerical Control; CNC) Litz รุ่น CV-1200a



รูปที่ 2 รูปทรงเครื่องมือเชื่อม

2.3 ตัวแปรในการทดลอง

การเชื่อมเสียดทานแบบกวนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับอลูมิเนียมผสมเกรด 6063 กำหนดให้มีระยะสอดของเครื่องมือเชื่อมจากด้าน RS สู่ด้าน AS ระยะ 0.1 มิลลิเมตร โดยมีตัวแปรในการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรและระดับในการทดลอง

ตัวแปรในการเชื่อม	หน่วย	ระดับ			
		1	2	3	4
ความเร็วหมุนเชื่อม	รอบต่อนาที	450	500	550	600
ความเร็วเดินเชื่อม	มิลลิเมตรต่อนาที	30	40	50	60
รูปทรงเครื่องมือเชื่อม	-	กระบอกปาด	กระบอกเกลียวปาด	กระบอกปาดตรง	กระบอกเกลียวปาดตรง
มุมเอียง	องศา	1	3	-	-

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองโดยวิธีการทางทฤษฎีจำนวน 16 การทดลอง (Taguchi Array L16)

การทดลอง	ความเร็วหมุนเชื่อม (รอบต่อนาที)	ความเร็วเดินเชื่อม (มิลลิเมตรต่อนาที)	รูปทรงเครื่องมือเชื่อม	มุมเอียง (องศา)
1	450	30	a	1
2	450	40	b	1
3	450	50	c	3
4	450	60	d	3
5	500	30	b	3
6	500	40	a	3
7	500	50	d	1
8	500	60	c	1
9	550	30	c	1
10	550	40	d	1
11	550	50	a	3
12	550	60	b	3
13	600	30	d	3
14	600	40	c	3
15	600	50	b	1
16	600	60	a	1

2.4 การออกแบบการทดลอง

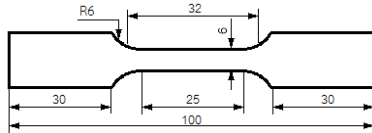
การออกแบบการทดลองจากตัวแปรที่กำหนด โดยใช้วิธีการทางทฤษฎี (Taguchi Method) โดยทำการเชื่อมทั้งหมด 16 การทดลอง ทำการทดลองซ้ำการทดลองละ 2 แนวเชื่อม โดยตารางที่ 2 แสดงผลการออกแบบการทดลอง

2.5 การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง

เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับอลูมิเนียมผสมเกรด



6063 ที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ตามเงื่อนไขในตารางที่ 2 ถูกนำมาตัดด้วยเครื่องตัด Wire Cut ให้เป็นรูปทรงตามมาตรฐานการทดสอบแรงดึง ASTM-E8 ดังรูปที่ 3 แล้วนำไปทดสอบแรงดึงโดยเครื่องทดสอบ GOTECH รุ่น GT-7001



รูปที่ 3 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM-E8 (หน่วย: มิลลิเมตร)

2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลจากตัวแปรในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับอลูมิเนียมผสมเกรด 6063 โดยการออกแบบการทดลองโดยวิธีการทางทฤษฎี และวิเคราะห์ผลอย่างเป็นระบบโดยใช้โปรแกรมทางสถิติมินิแทป 16 (Minitab version 16) ในการวิเคราะห์ผลและเงื่อนไขตัวแปรการเชื่อมเพื่อให้ได้ค่าการทดสอบแรงดึงที่เหมาะสม (Response Parameter)

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง

หลังจากทำการเชื่อมตามตัวแปรจากการออกแบบการทดลอง ชิ้นงานจะถูกนำมาทำการทดสอบสมบัติทางกลโดยการทดสอบแรงดึง 16 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองทำการทดสอบแรงดึง 3 ชิ้น แล้วจึงนำผลการทดลองที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยพร้อมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลจากการทดสอบแรงดึง

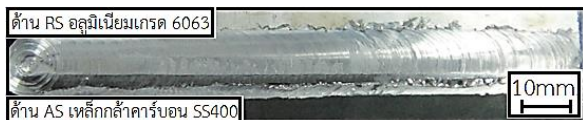
การทดลอง	ค่าเฉลี่ยแรงดึง (MPa)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	การทดลอง	ค่าเฉลี่ยแรงดึง (MPa)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	168	4.81	9	179	5.24
2	161	2.68	10	177	2.84
3	139	4.49	11	181	1.70
4	161	1.47	12	188	4.10
5	180	4.60	13	175	2.85
6	181	4.17	14	178	3.73
7	187	3.68	15	177	3.23
8	171	4.49	16	176	3.49

3.2 ผลการวิเคราะห์ผิวหน้าแนวเชื่อม

การวิเคราะห์ผิวหน้าแนวเชื่อมโดยการสังเกตผิวหน้าเชิงมหภาค เพื่อดูจุดบกพร่องและลักษณะของผิวหน้า พบว่า การเชื่อมโดยใช้หัวกวนทรงกระบอกบิดตรง ความเร็วหมุนเชื่อม 450 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที และมุมเอียง 3 องศา ซึ่งเป็นตัวแปรการเชื่อมที่ให้ผลจากการทดสอบแรงดึงเฉลี่ยต่ำที่สุดที่ระดับค่าเฉลี่ย 139 MPa พบจุดบกพร่องบนผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นรูโพรงขนาดเล็ก การเกลี่ยผิวหน้าไม่สม่ำเสมอ เกิดครีบบริเวณขอบแนวเชื่อมเล็กน้อย และการเกลี่ยอลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ไปยังด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4 ซึ่งอาจเกิดจากความเร็วหมุนเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมที่ไม่สัมพันธ์กัน ขณะที่การเชื่อมโดยใช้หัวกวนทรงกระบอกเกลียวบิดว่า ความเร็วหมุนเชื่อม 550 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที และมุมเอียง 3 องศา ซึ่งเป็นเงื่อนไขการเชื่อมที่ให้ผลการทดสอบแรงดึงเฉลี่ยสูงที่สุดที่ระดับ 188 MPa พบว่าผิวหน้าของแนวเชื่อมมีความเรียบสม่ำเสมอ ไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้น มีครีบบริเวณขอบแนวเชื่อมเล็กน้อย การเกลี่ยอลูมิเนียมผสมเกรด 6063 เข้าสู่ด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ดังรูปที่ 5 ซึ่งอาจเกิดจากความเร็วหมุนเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมมีความสัมพันธ์กัน นอกจากนี้เกลียวของตัวกวนสามารถทำหน้าที่ในการดึงเศษอลูมิเนียมมายังด้านเหล็กได้ดี หัวกวนที่มีเกลียวนี้มีความเหมาะสมในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกับอลูมิเนียม [6] ในขณะที่ปาดตัวกวนที่มีลักษณะเป็นทรงเว้าจะส่งผลให้เกิดการคลายเศษของอลูมิเนียมที่ดี เนื่องจากอลูมิเนียมมีความอ่อนตัวสูงกว่าเหล็ก จึงทำให้อลูมิเนียมมีการเคลื่อนตัวตามช่องของปาดเว้ามายังด้านของเหล็กกล้าได้ดี ทำให้เกิดการประสานและรวมตัวของวัสดุทั้ง 2 ด้านได้ดี [7]



รูปที่ 4 การเชื่อมโดยใช้หัวกวนทรงกระบอกบิดตรง ความเร็วหมุนเชื่อม 450 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที และมุมเอียง 3 องศา



รูปที่ 5 การเชื่อมโดยใช้หัวกวนทรงกระบอกเกลียวว่าว ความเร็วหมุนเชื่อม 550 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที และมุมเอียง 3 องศา

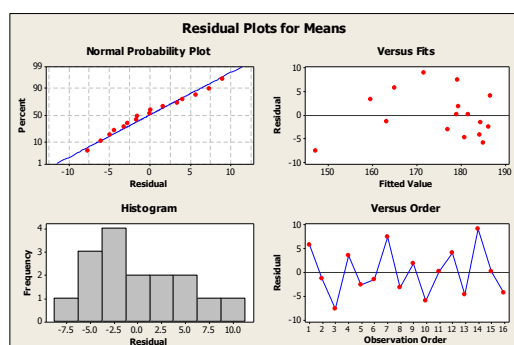
3.3 การตรวจสอบตัวแบบจำลอง

การตรวจสอบตัวแบบจำลองมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมข้อมูลจากการทดลองก่อนทำการวิเคราะห์ผล หลังจากตรวจสอบตัวแบบจำลองแล้ว จากนั้นจึงนำไปทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้น [8] ดังรูปที่ 6

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

Source	DF	Seg SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Rotating Speed	3	1575.28	1575.28	525.09	7.28	0.028
Travelling Speed	3	87.24	87.24	29.08	0.40	0.758
Tools Geometry	3	271.65	271.65	90.55	1.25	0.384
Tilt Angle	1	12.29	12.29	12.29	0.17	0.697
Error	5	360.88	360.88	72.18		
Total	15	2307.34				

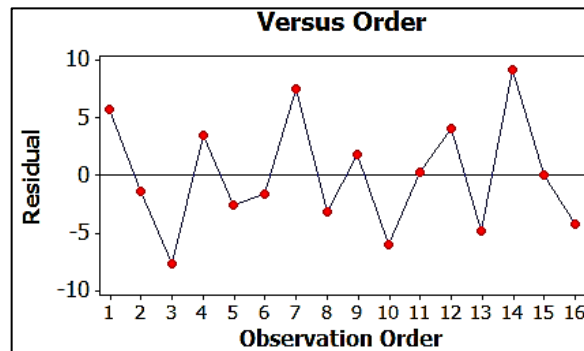
S = 8.496 R-Sq = 84.4% R-Sq (adj) = 53.1%



รูปที่ 6 แสดงการตรวจสอบค่าความถูกต้อง

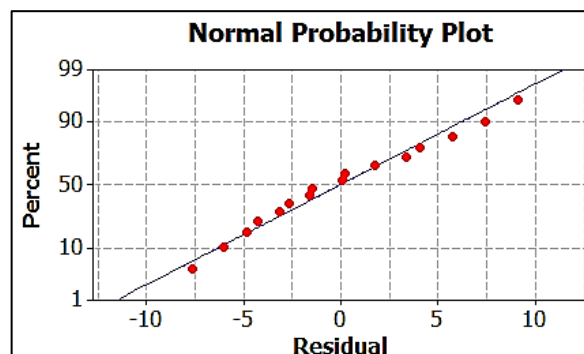
การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent of Data) โดยการพิจารณาจากกราฟที่

เกิดขึ้นพบว่า กราฟของข้อมูลมีการกระจายตัวในลักษณะที่ไม่สามารถคาดเดาหรือทำนายแนวโน้มได้ ข้อมูลมีการกระจายแบบอิสระต่อกัน ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูล

การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล โดยการตรวจสอบ Normal Probability Plot จากกราฟที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 8 แสดงถึงข้อมูลจากการวิเคราะห์มีความปกติ



รูปที่ 8 กราฟ Normal Probability Plot

สมการถดถอย (สมการที่ 1) ที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้อง โดยสามารถพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Determination; R^2) จากข้อมูลตารางที่ 4 โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 84.4% แสดงถึงอัตราการทดลอง 100 หน่วย เป็นความผันแปรจากเงื่อนไขการเชื่อมทั้งหมด 4 ตัวแปร 84.4 หน่วย และเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ 15.6 หน่วย พิจารณาค่า R^2_{adj} เท่ากับ 53.1% มีค่าแตกต่างจากค่า R^2 ระดับหนึ่ง แสดงถึงจำนวนข้อมูลทั้ง 16 การทดลองที่นำมาใช้มีความสัมพันธ์กันระดับหนึ่ง ซึ่งสมการนี้มีขอบเขตในการทดลองที่ ความเร็วหมุนเชื่อม (450 500 550 และ 600



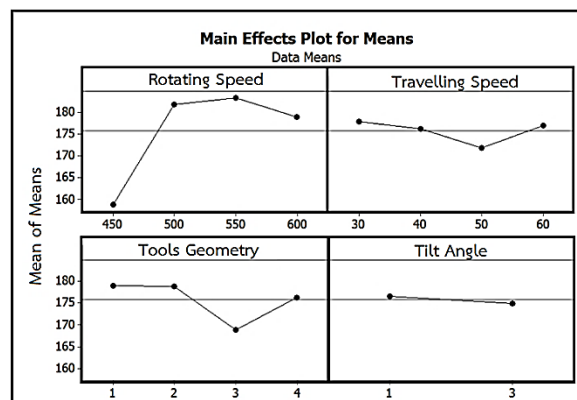
รอบต่อนาที) ความเร็วเดินเชื่อม (30 40 50 และ 60 มิลลิเมตรต่อนาที) รูปทรงหัวกวน 4 รูปทรง (หัวกวนทรงกระบอกปาดหัว หัวกวนทรงกระบอกเกลียวปาดหัว หัวกวนทรงกระบอกปาดตรง และหัวกวนทรงกระบอกเกลียวปาดตรง) และมุมเอียง 2 ระดับ (1 และ 3 องศา) เท่านั้น

$$UTS \text{ (MPa)} = 120.602 + 0.123911 (A) - 0.076926 (B) - 0.909244 (C) \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ (A) คือ ความเร็วหมุนเชื่อม (B) คือ ความเร็วเดินเชื่อม และ (C) คือ มุมเอียง

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนที่ได้จากการทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พิจารณาจากค่า P-value พบว่า อิทธิพลของปัจจัยหลัก คือความเร็วหมุนเชื่อม มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึงที่บริเวณแนวเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 4

จากรูปที่ 9 พิจารณากราฟความเร็วหมุนเชื่อม พบว่า ที่ระดับความเร็วหมุนเชื่อม 450 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งแรงดึงที่ต่ำ หากเพิ่มระดับความเร็วหมุนเชื่อม 500 รอบต่อนาทีจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้น โดยระดับความเร็วหมุนเชื่อมที่ 550 รอบต่อนาที มีค่าความแข็งแรงดึงที่สูงที่สุด จากนั้นจะต่ำลงที่ระดับความเร็วหมุนเชื่อม 600 รอบต่อนาที ซึ่งความเร็วที่สูงเกินไป ส่งผลต่อความร้อนที่มาก [9] ขณะที่ความเร็วเดินเชื่อมที่ 30 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าการทดสอบแรงดึงที่ดีที่สุด หากเพิ่มความเร็วเดินเชื่อมจะส่งผลให้ค่าการทดสอบแรงดึงต่ำลงอาจเกิดจากค่าความเร็วเดินไม่สัมพันธ์กับความเร็วหมุนกวน อย่างไรก็ตามแรงดึงจะขยับสูงขึ้นเล็กน้อยที่ 60 มิลลิเมตรต่อนาที การเปลี่ยนแปลงหัวกวนก็ส่งผลต่อแรงดึงเช่นกัน [10-12] ขณะที่หัวกวนที่ให้ผลการทดสอบแรงดึงที่ดีที่สุดคือ หัวกวนทรงกระบอกปาดหัว หัวกวนทรงกระบอกเกลียวปาดหัว หัวกวนทรงกระบอกเกลียวปาดตรง และหัวกวนทรงกระบอกปาดตรงตามลำดับ อาจเกิดจากปาดที่มีความเว้าสามารถกวนวัสดุด้านอลูมิเนียมมายังด้านเหล็กกล้าได้ดี เนื่องจากปาดเว้ามีเนื้อที่หรือช่องว่างในการเคลื่อนที่และคายเศษของเนื้อวัสดุที่ดี ขณะที่มุมเอียงที่ระดับ 1 องศาให้ผลการทดสอบแรงดึงที่ดี หากเพิ่มองศาในการเชื่อมจะส่งผลให้ค่าการทดสอบแรงดึงต่ำลงเล็กน้อย



รูปที่ 9 อิทธิพลของปัจจัยหลัก

4. สรุปผลการทดลอง

การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนระหว่าง เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6063 สามารถเชื่อมติดกันได้และมีความแข็งแรงของแนวเชื่อม โดยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การเชื่อมโดยใช้หัวกวนทรงกระบอกเกลียวปาดหัว ความเร็วหมุนเชื่อม 550 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที และมุมเอียง 3 องศา ให้ค่าการทดสอบแรงดึงสูงที่สุดเฉลี่ย 188 MPa โดยคิดเป็น 78.33 เปอร์เซ็นต์ของอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6063 ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุหลักในการเชื่อม
2. ความเร็วหมุนเชื่อม เป็นปัจจัยหลักที่มีความสำคัญในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนระหว่าง เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม 6063 การเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วให้สูงขึ้นหรือต่ำลงจะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อม ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลรองลงมาคือรูปทรงของเครื่องมือเชื่อม ความเร็วเดินเชื่อม และมุมเอียงตามลำดับ
3. การเชื่อมเสียดทานแบบกวนมีความจำเป็นในการหาค่าที่เหมาะสมในการเชื่อม และยังจำเป็นต้องหาค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยหลักที่ใช้ในการเชื่อมด้วย เนื่องจากวัสดุที่นำมาทำการเชื่อมเสียดทานมีมากมายหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทจะมีค่าปัจจัยในการเชื่อมที่แตกต่างกัน
4. การใช้สมการถดถอยในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมประมวลผลทางสถิติพบว่า ระดับปัจจัยในการเชื่อมที่เหมาะสมคือ ความเร็วหมุนเชื่อม 550 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 30 มิลลิเมตรต่อนาที รูปร่างหัว



กวนทรงกระบอกบ่าเว้า และมุมเอียง 1 องศา สามารถให้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด และได้ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง 190 MPa

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ขอขอบพระคุณอาจารย์และผู้บริหารคณะในการสนับสนุนทุนวิจัย เครื่องมือ วัสดุ ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ วิทยาเขตสกลนคร ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องจักรกล และอุปกรณ์ต่างๆ และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนให้ใช้เครื่องทดสอบในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kazuhiro H. and Tatsuya T., 2015. "Development of Welding Consumables and Welding Process for Newly Developed Steel Plates" Metal Technical report, Vol. 110 : 90-96
- [2] Elatharasan, G. and Kumar S., 2013. "An Experimental Analysis and Optimization of Process Parameter on Friction Stir Welding of AA 6061 -T6 Aluminum Alloy using RSM" Procedia Engineering, Vol. 64 : 1227-1234
- [3] Celik S. and Cakir R., 2016. "Effect of Friction Stir Welding Parameters on the Mechanical and Microstructure Properties of the Al-Cu Butt Joint" Metal 2016, Vol. 6 : 113.
- [4] Bozorgzadeh M.A., 2015. "Friction Stir Welding" International Journal of Review in Life Sciences, Vol. 5(3) : 72-75.
- [5] Sedmak A., Kumar R., Chattopadhyaya S., Hloch S., Tadic S., Djurdjevic A., Cekovic I., and Doncev E., 2016. "Heat Input Effect of Friction Stir Welding on Aluminum Alloy 6061-T6 Welded Joint" Thermal Science, Vol. 20 : 637-641

- [6] ณัฐ แก้วสกุล, เรืองศักดิ์ ภูธรราช, กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. 2553. "การศึกษาอิทธิพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และระยะสอดของตัวกวนที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนรอยต่ออลูมิเนียม 6063 และเหล็กกล้าไร้สนิม 304" การประชุมวิชาการช่างงาน วิศวกรรมอุตสาหการ 2553, อุบลราชธานี, ประเทศไทย, 13-15 ตุลาคม 2553 : 146.
- [7] Hatamleh, O. and Wald A., 2009. "An Investigation of the Peening Effects on the Residual Stresses in Friction Stir Welded 2195 and 7075 Aluminum Alloy Joints" Journal of Materials Processing Technology, vol. 209 : 4822-4829.
- [8] Montgomery D.C., 2005. "Introduction of Statistical Quality Control" 5th edition, John Wiley & Sons Inc., USA.
- [9] Veljić D. M., Sedmak A. S., Rakin M. P., Bajić N. S., Meddj B. I., Bajić D. R., Vencislav K. and Grabulov V. K., 2014. "Experimental and Numerical Thermo-Mechanical Analysis of Friction Stir Welding of High Strength Aluminium Alloy" Thermal Science, Vol.1: 29-38
- [10] Milicic M., Gladovic P., Bojanic R., Savkovic T. and Stojic N., 2016. "Friction Stir Welding Process of Copper alloys" METABK, Vol. 55(1):107-110.
- [11] Bull C., Stacey K. and Calcraft R., 1998. "On line Weld Monitoring using Ultrasonic" J Non-destr Test, Vol. 35(2) : 57-64.
- [12] Tarng YS. and Yang WH., 1998. "Optimization of the Weld Bead Geometry in Gas Tungsten Arc Welding by the Taguchi Method" J Adv Manuf Technol, Vol. 14 : 49-54.