



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนป้อนอลูมิเนียมเส้น กลม AA6063-T5 โดยวิธีการของทาคุชิ

Analysis of optimum condition for rotary friction welding aluminum round bar AA6063-T5 using taguchi method

ธนากร จันทรศรีชา*

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

Tanakorn Jantarasricha*

Department of Production Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University
Phitsanulok 65000

* Corresponding author.

E-mail: tanakorn.ja@psru.ac.th; Telephone: 0 5526 7124

วันที่รับบทความ 1 พฤศจิกายน 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 23 ธันวาคม 2563 ; วันที่ตอบรับบทความ 28 กุมภาพันธ์ 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างทางจุลภาค และสมบัติทางกลของรอยเชื่อมต่อชนที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนป้อนอลูมิเนียม AA6063-T5 โดยการประยุกต์ใช้เครื่องกลึงเชื่อมระหว่างชิ้นงานอลูมิเนียมเส้นกลม 2 ชิ้น แต่ละชิ้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 85 มิลลิเมตร ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ คือ ความเร็วรอบหมุนเชื่อม มี 3 ระดับ คือ 860 1,400 และ 2,000 รอบต่อนาที เวลาในการเชื่อม มี 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 วินาที และความดันในการเชื่อม มี 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 บาร์ โดยประยุกต์ใช้วิธีการของทาคุชิในการออกแบบการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยดังกล่าว และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนป้อน ผลการวิจัยพบว่าความดันเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อค่าความต้านแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานหลังเชื่อมเสียดทาน ในทางตรงกันข้ามความเร็วรอบหมุนเชื่อมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลน้อยที่สุดต่อค่าความต้านแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานหลังเชื่อมเสียดทาน ส่วนผลการพยากรณ์สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนป้อน คือ ความเร็วรอบหมุนเชื่อม 2,000 รอบต่อนาที เวลาในการเชื่อม 30 วินาที และความดันในการเชื่อม 30 บาร์ และที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการทดลองมีผลการทดสอบค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด 189.73 เมกะปาสคาล ซึ่งคลาดเคลื่อนจากค่าพยากรณ์ร้อยละ 0.81

คำสำคัญ

การเชื่อมเสียดทานแบบหมุนป้อน ความต้านแรงดึงสูงสุด อลูมิเนียมเส้นกลม วิธีการของทาคุชิ

Abstract

The objective of this research were study factors influencing microstructure and mechanical properties of lap joined using rotary friction welding for aluminum alloy AA6063- T5 by applying the lathe to the welding process between two pieces of aluminum round bar, the diameter of 12 mm, and a length of 85 mm. The researcher studied three factors in the experiment defined are the welding speed: 860, 1,400 and 2,000 rpm, The welding time: 10, 20 and 30 seconds and the pressure: 10, 20 and 30 bar. The rotary friction welding process parameters were optimized condition using the Taguchi L9 orthogonal design of experiments. As the result, it was found that pressure is the most dominant factor in deciding the

ultimate tensile strength of joints. Oppositely, the welding speed is the most inconspicuous factor in deciding the joint strength. The predicted optimal condition was the welding speed 2,000 rpm, welding time 30 seconds and pressure 30 bar. The optimal condition of the experiment gave an ultimate tensile strength of 189.73 MPa, which error from the prediction value of 0.81 percent.

Keywords

rotary friction welding; ultimate tensile strength; aluminum round bar; taguchi method

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการเชื่อมโลหะมีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ ของประเทศ เช่น อุตสาหกรรมการต่อเรือ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมด้านอากาศยาน เป็นต้น [1] ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้ได้มีการพัฒนากระบวนการเชื่อมมาโดยตลอด เริ่มจากการเชื่อมแบบอาร์คด้วยไฟฟ้า การเชื่อมแก๊ส รวมถึงการเชื่อมโดยใช้แก๊สพลาสมา [2] ในการเลือกใช้กระบวนการเชื่อมนั้นจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการผลิตในงานอุตสาหกรรมนั้น ๆ การเชื่อมที่ใช้ความร้อนจนชิ้นงานหลอมละลายหรือที่เรียกว่า การเชื่อมแบบหลอมละลาย ซึ่งการเชื่อมประเภทนี้เนื้อโลหะหลังการเชื่อมเมื่อแข็งตัวจะเกิดโครงสร้างใหม่ และอาจจะไม่เหมือนโครงสร้างของเนื้อโลหะเดิม [3] ซึ่งมีการวิจัยมาแล้วคือ การเชื่อมแบบหลอมละลายก่อให้เกิดข้อบกพร่องในการเชื่อม เช่น เกิดรูพรุน การแตกร้าวในแนวเชื่อมและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางโลหะวิทยาเกิดโครงสร้างแบบกิ่งไม้ (Dendritic) ซึ่งจะส่งผลทำให้แนวเชื่อมในเฟสหลอมเหลว [4] รวมถึงบริเวณอิทธิพลความร้อน (Heat Affected Zone; HAZ) อาจทำให้ชิ้นส่วนนั้น ๆ เสียหายหรือใช้งานได้ประสิทธิภาพต่ำ [5]

จากประการดังกล่าวมีการพัฒนากระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่น ซึ่งเป็นการเชื่อมแบบไม่หลอมละลายหรือเป็นการเชื่อมในสถานะของแข็ง (Solid state welding) โดยที่อุณหภูมิขณะเชื่อมต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของชิ้นงาน ความร้อนที่เกิดขึ้นได้มาจากการเสียดทานระหว่างชิ้นงานด้วยกันเอง การเชื่อมประเภทนี้สามารถเชื่อมวัสดุชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ โดยเฉพาะวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมแบบหลอมละลายทั่วไป เช่น ทองแดง ทองเหลือง อลูมิเนียมผสมเกรดต่าง ๆ โครงสร้างที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่นจะมีลักษณะของเกรนที่เล็กละเอียด สามารถรับแรงดึงได้สูง โดยความต้านแรงดึงตรง

กลางของแนวเชื่อมในอลูมิเนียมบางชนิดสูงกว่าขอบแนวเชื่อม แต่ในบางกรณีความต้านแรงดึงตรงกลางของแนวเชื่อมต่ำกว่าขอบแนวเชื่อม โดยทั้งสองกรณีส่งผลต่อความไม่สม่ำเสมอของคุณสมบัติของชิ้นงานภายหลังผ่านการเชื่อม แต่หากทำการเชื่อมที่สภาวะที่เหมาะสมแล้ว ชิ้นงานเชื่อมจากกระบวนการเชื่อมเสียดทานจะลดปัญหาจากความเค้นตกค้างหรือความไม่สม่ำเสมอของคุณสมบัติทางกลจากการเชื่อมได้ ซึ่งการเชื่อมแบบหลอมละลายไม่สามารถทำได้ [6-7]

จากข้อดีข้างต้นจึงมีงานวิจัยที่ศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่นเพิ่มขึ้น เช่น การศึกษาโครงสร้างแนวเชื่อมภายหลังการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่น โดยสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อโครงสร้างแนวเชื่อมได้แก่ ความเร็วรอบในการหมุน ชิ้นงานอลูมิเนียม เวลาในการเชื่อม และระยะในการเชื่อม เป็นต้น [8-9] ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกล (ความต้านแรงดึง) ของแนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่นอลูมิเนียมผสมเส้นกลม AA6063-T5 โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่น คือ ความเร็วรอบหมุนเชื่อม เวลาในการเชื่อม และความดันในการเชื่อม

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมวัสดุและคุณสมบัติของวัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นอลูมิเนียมผสมเส้นกลม AA6063-T5 โดยมีส่วนประกอบทางเคมีและความต้านแรงดึงสูงสุดดังแสดงในตารางที่ 1 [10] เนื่องจากเป็นอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการเชื่อมประเภทแบบเสียดทานแล้วจะได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดี และทำการเตรียมชิ้นงานทรงกระบอกสำหรับการเชื่อมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร และยาว 85 มิลลิเมตร

2.2 การเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่น

การเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่นเป็นประเภทการเชื่อมแบบไม่หลอมละลาย ซึ่งชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมประเภทนี้จะยังคงคุณสมบัติทางกลของโครงสร้างโลหะเดิม เหมาะกับงานเชื่อมเฉพาะที่ไม่ต้องการให้ชิ้นงานเปลี่ยนโครงสร้างอันเนื่องมาจากความร้อน หลักการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่นคือ ให้ชิ้นงานโลหะชิ้นที่ 1 หมุน ส่วนชิ้นงานชิ้นที่ 2 หยุดนิ่ง เมื่อความเร็วในการหมุนของชิ้นที่ 1 เหมาะสมแล้ว จึงเลื่อนชิ้นงานชิ้นที่ 2 เข้าสัมผัสกับชิ้นที่ 1 เมื่อทั้งสองชิ้นงานเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนปกคลุม เนื้อโลหะทั้งสองจะถูกปั่นและแลกเปลี่ยนสัมผัสซึ่งกันและกัน รวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นปล่อยให้เย็นตัว แรงกดจะถูกรักษาไว้บนชิ้นงานทั้งสองจนถูกหลอมเชื่อมติดกันเป็นชิ้นเดียวและปลดชิ้นงาน จะได้ชิ้นงานเชื่อมที่เป็นชิ้นเดียวกัน เนื้อโลหะบริเวณที่เกิดการเชื่อมต่อจะเป็นโลหะเดิมของทั้งสองชิ้นงาน ลักษณะการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่นอะลูมิเนียมแสดงในรูปที่ 1

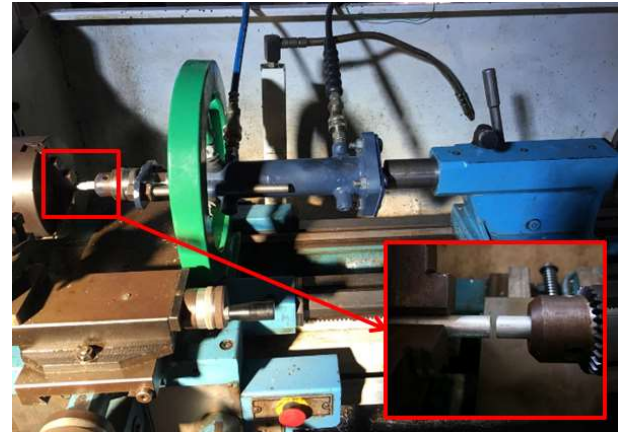
ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีและความต้านแรงดึงอะลูมิเนียมผสมเส้นกลม AA6063-T5 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัสดุ AA6063-T5	ส่วนประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
Al	97.5
Cr	0.1
Cu	0.1
Fe	0.35
Mg	0.45-0.9
Mn	0.1
Si	0.2-0.6
Ti	0.1
Zn	0.1
อื่น ๆ	0.15
ความต้านแรงดึงสูงสุด	186-240 MPa

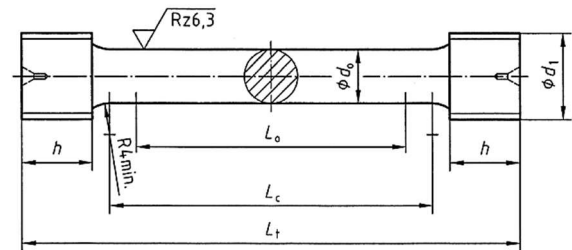
2.3 การทดสอบความต้านแรงดึงของรอยเชื่อม

ชิ้นงานจากการเชื่อมเสียดทานตามรูปแบบการทดลองของวิธีการของทางทฤษฎีแล้ว หลังเชื่อมจะถูกตัดตามแนวตั้งฉากกับแนวเชื่อม และรอยเชื่อมจะอยู่ตรงกลางของชิ้นทดสอบ จากนั้นจึงให้เป็นเพลากลม โดยให้ได้ความละเอียดและขนาด

ตามมาตรฐานการทดสอบ DIN 50125 แบบ B [11] ดังแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นชิ้นงานจะต้องทำการรีดเกลียวด้วยขนาด M12 สำหรับพื้นที่ของชิ้นงานที่ถูกจับยึดในการดึงทดสอบ



รูปที่ 1 การติดตั้งการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่น



d_0 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางชิ้นทดสอบ
 d_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวเมตริก ISO
 h คือ ความยาวของปลายด้ามจับ
 L_0 คือ ความยาวเกจเริ่มต้น ($L_0 = 5d_0$)
 L_c คือ ความยาวขนาน ($L_c = L_0 + d_0$)
 L_t คือ ความยาวรวมของชิ้นทดสอบ

รูปที่ 2 ขนาดชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน DIN 50125 แบบ B



รูปที่ 3 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบเนกประสงค์ และอุปกรณ์สำหรับบันทึกผล

ในรูปที่ 3 แสดงชิ้นงานเชื่อมเสียดทานสำหรับทดสอบแรงดึงก่อนผ่านการรีดเกลียว และหลังผ่านการรีดเกลียว เพื่อเตรียมในขั้นตอนการทดสอบแรงดึงต่อไป สำหรับการทดสอบความต้านแรงดึงใช้อัตราเร็วในการดึง 0.6 มิลลิเมตรต่อนาที โดยการทดสอบนี้กระทำบนเครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ดังแสดงในรูปที่ 4

3. ปัจจัยที่เหมาะสมและการทดลองตามวิธีการของทากูชิ

3.1 ปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่น

จากงานวิจัยที่ศึกษาพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อชิ้นงานในการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่นมีหลายปัจจัย แต่มีปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพแนวเชื่อม คือ ความเร็วรอบหมุนเชื่อม เวลาในการเชื่อม และความดันในการเชื่อม [8] ผู้วิจัยจึงทำการกำหนดปัจจัยและระดับในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2 ผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยและระดับในการทดลอง โดยปัจจัยในการทดลองประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบหมุนเชื่อม (Rotation Speed) มี 3 ระดับ คือ 860 1,400 และ 2,000 รอบต่อนาที เวลาในการเชื่อม (Time) มี 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 วินาที และความดันในการเชื่อม (Pressure) มี 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 บาร์ ซึ่งสอดคล้องกับการใช้เครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองที่สามารถปรับตั้งระดับของปัจจัยได้ครอบคลุมทุกระดับในการทดลอง

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ		
	1	2	3
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	860	1400	2000
เวลา (วินาที)	10	20	30
ความดัน (บาร์)	10	20	30

3.2 การทดสอบตามวิธีการของทากูชิ

วิธีการของทากูชิสามารถเลือกการออกแบบจากปัจจัย ซึ่งจะมุ่งเน้นไปที่สิ่งที่ปัจจัยส่งผลกระทบมากที่สุดในการบวนการต่อผลิตภัณฑ์และเพื่อให้มีคุณภาพเป้าหมายตามที่กำหนดของผลิตภัณฑ์ และคุณภาพจะที่ดีที่สุดได้ควรที่ออกแบบการทดลองเพื่อที่จะป้องกันปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้เพื่อลดค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมาย ปัจจัยคุณภาพจะวัดจากส่วนเบี่ยงเบนไปจากมาตรฐานและการสูญเสียจะวัดทั้งระบบ สำหรับลักษณะการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงาน ตามอัตราส่วนของ Signal to Noise (SN ratio) โดยจะดำเนินการทดลองตาม Orthogonal Arrays เพื่อที่จะรวบรวมข้อมูลที่สามารถส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณจากค่า SN (Larger is better) จากสมการที่ 1 เพื่อหาผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ และวิเคราะห์ค่าที่มีอิทธิพลสูงสุด และยิ่งไปกว่านั้นวิธีการของทากูชิยังสามารถพยากรณ์ผลการทดลองตามจำนวนของปัจจัย และจำนวนระดับของปัจจัยทั้งหมด (27 การทดลอง) ได้จากสมการที่ 2

$$SN_i = -10 \log \left[\frac{1}{N_i} \sum_{u=1}^{N_i} \frac{1}{y_u^2} \right] \quad (1)$$

$$UTS_{predict(i,j,k)} = \overline{UTS} + (UTS_{p1i} - \overline{UTS}) + (UTS_{p2j} - \overline{UTS}) + (UTS_{p3k} - \overline{UTS}) \quad (2)$$

โดยที่ $UTS_{predict(i,j,k)}$ คือ ค่าพยากรณ์ความต้านแรงดึงสูงสุด
 ณ ความเร็วรอบ i เวลาในการเชื่อม j
 และความดัน k

$\overline{UTS}$

UTS_{p1i}

คือ ค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึงสูงสุด

คือ ค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึงสูงสุดของ

ความเร็วรอบ ระดับที่ i

UTS_{P2j} คือ ค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึงสูงสุดของ
เวลาในการเชื่อม ระดับที่ j
 UTS_{P3k} คือ ค่าเฉลี่ยความต้านแรงดึงสูงสุดของ
ความดัน ระดับที่ k

จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยเลือกใช้ Orthogonal array แบบ $L_9 (3^3)$ ดังนั้นจะได้การทดลองทั้งหมด 9 การทดลอง ในการทดลองนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านแรงดึงของรอยเชื่อมเสียดทาน ซึ่งมีทั้งหมด 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ซึ่งภาพรวมของ Orthogonal $L_9 (3^3)$ Array ที่ใช้ในการวิจัยแสดงในตารางที่ 3 และเมื่อประยุกต์ใช้กับกรณีงานวิจัยนี้จะได้ตารางสำหรับการทดลองในการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่น ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 Orthogonal Array แบบ L_9 จากวิธีการของทากูชิ [12]

Experiments	Factor			
	P1	P2	P3	P4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

ตารางที่ 4 รูปแบบการทดลองที่วิจัยออกแบบโดยวิธีการของทากูชิ

การทดลอง	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	เวลา (วินาที)	ความดัน (บาร์)
1	860	10	10
2	860	20	20
3	860	30	30
4	1400	10	20
5	1400	20	30
6	1400	30	10
7	2000	10	30
8	2000	20	10
9	2000	30	20

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด

ค่าความต้านแรงดึงสูงสุดเป็นปริมาณที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการรับแรงดึงต่อพื้นที่สำหรับวัสดุนั้น ๆ ในกรณีการวิจัยนี้หากชิ้นงานจากการเชื่อมมีค่าความต้านแรงดึงสูงยิ่งมากสามารถสรุปได้ว่าชิ้นงานนั้นยังมีความแข็งแรงมากในการรับแรง จากผลการทดลองการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่นอลูมิเนียม โดยการประยุกต์ใช้เครื่องกลึงในการเชื่อมพบว่าคุณสมบัติของแนวเชื่อมจะเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยความเร็วรอบหมุนเชื่อม เวลาในการเชื่อม และความดันในการเชื่อม ที่ปรับเปลี่ยนในกระบวนการเชื่อมตามการออกแบบโดยวิธีการของทากูชิ ดังแสดงในตารางที่ 5

การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยในการเชื่อมจากค่าอัตราส่วน SN แสดงในตารางที่ 6 ซึ่งจะพบว่าปัจจัยความดันมีช่วงความต่างของค่าอัตราส่วน SN มากที่สุด คือ 2.82 และปัจจัยความเร็วรอบมีช่วงความต่างของค่าอัตราส่วน SN น้อยที่สุด คือ 1.46 จากข้อมูลดังกล่าวสามารถบอกได้ว่า ความดันเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านแรงดึงของรอยเชื่อมเสียดทานมากที่สุด

ตารางที่ 5 ผลการทดลองตามการออกแบบโดยวิธีการของทากูชิ

การทดลอง	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	เวลา (วินาที)	ความดัน (บาร์)	ความต้านแรงดึงสูงสุด (MPa)	SN
1	860	10	10	93.11	39.38
2	860	20	20	130.88	42.34
3	860	30	30	168.98	44.56
4	1400	10	20	119.57	41.55
5	1400	20	30	180.70	45.14
6	1400	30	10	121.95	41.72
7	2000	10	30	136.87	42.73
8	2000	20	10	139.18	42.87
9	2000	30	20	178.92	45.05

ตารางที่ 6 อิทธิพลของพารามิเตอร์จากค่า SN

ระดับ	ความเร็วรอบ	เวลา	ความดัน
1	42.09	41.22	41.33
2	42.81	43.45	42.98
3	43.55	43.78	44.14
ช่วงความต่าง	1.46	2.56	2.82
ลำดับ	3	2	1

4.2 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากวิธีการของทาгуชิ

การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่นอลูมิเนียมผสมสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วน SN จากตารางที่ 6 ด้วยการพยากรณ์สมการที่ (2) จะได้ค่าพยากรณ์ความต้านแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานเชื่อมเสียดทานทั้งหมด 27 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 7 ผลจากการพยากรณ์พบว่า กรณีที่ 27 (ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที เวลาในการเชื่อม 30 วินาที และความดันในการเชื่อม 30 บาร์) ให้ค่าความต้านแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานเชื่อมเสียดทานสูงสุด คือ 188.20 เมกะปาสกาล

4.3 ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์และประสิทธิภาพรอยเชื่อม

ในส่วนการวิเคราะห์นี้ จะเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงสูงสุดที่ได้จากค่าพยากรณ์กับค่าความต้านแรงดึงสูงสุดที่ได้จากการทดลองเชื่อมชิ้นงานอลูมิเนียม ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที เวลาในการเชื่อม 30 วินาที และความดันในการเชื่อม 30 บาร์ เนื่องจากระดับของแต่ละปัจจัยดังกล่าวนี้เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการของทาгуชิ ข้อมูลการเปรียบเทียบนี้แสดงในตารางที่ 8 โดยผลจากการทดลองพบว่า ชิ้นงานทดลองเชื่อมเสียดทานที่สภาวะดังกล่าว ให้ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 189.73 เมกะปาสกาล ซึ่งมากกว่าค่าจากค่าพยากรณ์ 1.53 เมกะปาสกาล หรือค่าพยากรณ์คลาดเคลื่อนจากค่าจากการทดลอง คิดเป็นร้อยละ 0.81

ในส่วนของการประเมินประสิทธิภาพรอยเชื่อมวิเคราะห์จากค่าความต้านแรงดึงสูงสุดระหว่างชิ้นงานอลูมิเนียมเส้นกลมเดิมที่ไม่ผ่านการเชื่อมกับชิ้นงานจากการทดลองที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่สภาวะเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการของทาгуชิ พบว่าค่าความต้านแรงดึงจากชิ้นงานผ่านการเชื่อม (189.73 เม

กะปาสกาล) ใกล้เคียงกับค่าความต้านแรงดึงจากชิ้นงานอลูมิเนียมเส้นกลมที่ไม่ผ่านการเชื่อม (186 เมกะปาสกาล) เพียงเล็กน้อย ด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้ประโยชน์จากชิ้นงานที่ผ่านสภาวะการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่นที่เหมาะสมที่สุด โดยที่คุณสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงชิ้นงานอลูมิเนียมเส้นกลมเดิมได้

ตารางที่ 7 ค่าพยากรณ์จากวิธีวิธีการของทาгуชิ

การทดลอง	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	เวลา (วินาที)	ความดัน (บาร์)	ความต้านแรงดึงสูงสุด (MPa)
1	860	10	10	83.33
2	860	10	20	108.37
3	860	10	30	127.43
4	860	20	10	117.07
5	860	20	20	142.11
6	860	20	30	161.17
7	860	30	10	123.43
8	860	30	20	148.47
9	860	30	30	167.53
10	1400	10	10	93.08
11	1400	10	20	118.12
12	1400	10	30	137.18
13	1400	20	10	126.82
14	1400	20	20	151.86
15	1400	20	30	170.92
16	1400	30	10	133.18
17	1400	30	20	158.22
18	1400	30	30	177.28
19	2000	10	10	104.00
20	2000	10	20	129.04
21	2000	10	30	148.10
22	2000	20	10	137.73
23	2000	20	20	162.78
24	2000	20	30	181.84
25	2000	30	10	144.10
26	2000	30	20	169.14
27	2000	30	30	188.20

ตารางที่ 8 ค่าพยากรณ์จากวิธีวิธีการของทาภูเขา

วิธีการ	ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที)	เวลา (วินาที)	ความดัน (บาร์)	ความต้านแรงดึงสูงสุด (MPa)
พยากรณ์	2000	30	30	188.20
การทดลอง	2000	30	30	189.73
ร้อยละความคลาดเคลื่อน	-	-	-	0.81

5. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่น เพื่อให้รอยเชื่อมสามารถเชื่อมต่อจนวัสดุอูมิเนียมได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากข้อจำกัดของลักษณะทางกายภาพบริเวณแนวเชื่อมจะเป็นโครงสร้างที่เกิดขึ้นใหม่จากการรวมกันของชิ้นงานสองชิ้น ที่มีเนื้ออูมิเนียมที่ละเอียดและเล็กกว่าเนื้ออูมิเนียมเดิม จากผลการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่นที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านแรงดึงของแนวเชื่อมพบว่า

1. ความดันเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านแรงดึงของรอยเชื่อมเสียดทานมากที่สุด ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านแรงดึงของรอยเชื่อมเสียดทานน้อยที่สุดคือความเร็วรอบในการหมุนเชื่อม

2. ณ ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที เวลาในการเชื่อม 30 วินาที และความดันในการเชื่อม 30 บาร์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ค่าความต้านแรงดึงสูงสุดของรอยเชื่อมมีค่าสูงสุด เท่ากับ 189.73 เมกะปาสคาล โดยมีค่าจากการพยากรณ์จากวิธีการของทาภูเขาคลาดเคลื่อนไปจากการทดลองเพียงร้อยละ 0.81 ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่ยอมรับได้

ดังนั้นวิธีการของทาภูเขาสามารถนำมาออกแบบการทดลองเพื่อลดจำนวนการทดลอง และหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่นอูมิเนียมเส้นกลม และสามารถนำสภาวะดังกล่าวไปใช้ในกระบวนการผลิตได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้การเลือกใช้งานระดับของปัจจัยที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับขีดจำกัดของลักษณะทางกายภาพชิ้นงานนั้น ๆ เช่น ความยาวของชิ้นงานหลังการเชื่อม ประสิทธิภาพเครื่องจักรที่ประยุกต์ใช้ในการเชื่อมเสียดทานแบบหมุนปั่น เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ บริษัท แสงไทยอุตสาหกรรม จำกัด สำหรับการสนับสนุนเครื่องทดสอบเนกประสงค์และอุปกรณ์ในการทดสอบแรงดึง สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ให้เวลาและสนับสนุนสิ่งอำนวยความสะดวกในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] มุhammad เต๊ะยอ. การเชื่อมเสียดทานแบบกวนระหว่าง SSM356-T6 กับ AA6061-T651. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*. 2559; 8(3): 76-88.
- [2] ธงชัย เครือผือ, ประกาศ เมืองจันทร์บุรี. การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติทางโลหะวิทยาของการเชื่อมในสภาวะกึ่งแข็งของอะลูมิเนียมผสม SSM 356. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 2557; 19(2): 223-232.
- [3] วรพงศ์ บุญช่วยแทน, ธเนศ รัตนวิไล, ประกาศ เมืองจันทร์บุรี, กนิษฐ์ ตะปะสา. การเชื่อมอะลูมิเนียมผสม 356 หล่อทิ้งของแข็งโดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนในสภาพของกระบวนการทางความร้อน T6. *วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 2554; 38(3): 219-232.
- [4] ศุภชัย ชัยณรงค์, ชัยยุทธ มิงาม, กุลยุทธ บุญเซ่ง. รายงานการวิจัย การเชื่อมแบบเพสของเหลวของอะลูมิเนียมผสมหล่อทิ้งของแข็ง เกรด SSM7075 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมโดย ก ร แ พ ร . เข้าถึงได้จาก: <http://ird.skru.ac.th/RMS/file/3925.pdf> [เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2563].
- [5] อับดุล บินระหีม. อิทธิพลทางความร้อน T6 ก่อนและหลังการเชื่อมต่อสมบัติทางกลอะลูมิเนียมหล่อทิ้งของแข็ง A356 โดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน. ใน: *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, 21-22 พฤษภาคม 2552*. 2552. หน้า 516-520.
- [6] Song YL, Liu YH, Zhu XY, Yu SR, Zhang YB. Strength distribution at interface of rotary-friction-welded aluminum to nodular cast iron. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2008; 18(1): 14-18.
- [7] Singh SK, Chattopadhyay K, Phanikumar G, Dutta P. Experimental and numerical studies on friction

welding of thixocast A356 aluminum alloy. *Acta Materialia*. 2014; 73: 177-185.

- [8] Meengam C, Chainarong S, Muangjunburee P. Friction Welding of Semi- Solid Metal 7075 Aluminum Alloy. In: Swadesh K- S (ed.) *5th International Conference of Materials Processing and Characterization (ICMPC 2016)*. Kidlington: Materials Today: Proceedings; 2017. p. 1303-1311.
- [9] มุHAMมัด เต๊ะยอ, ประภาศ เมืองจันทร์บุรี, อับดุล บินระหีม, สมชาย ชูโณม, นิสิตา อุตมารัตน์. ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมผสมต่างชนิด โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. ใน: *การประชุมวิชาการ ข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555, 17-19 ตุลาคม 2555, ชะอำ, เพชรบุรี*. 2555. หน้า 1392-1398.
- [10] ASM Aerospace Specification Metals Inc. *Aluminum 6063-T5*. Available from: <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6063T5> [Accessed 15th July 2020].
- [11] DIN N. *50125- Testing of metallic materials- Tensile test pieces*. Berlin; 2009.
- [12] Roy RK. *Design of experiments using the Taguchi approach*. New York: John Willey & Sons, Inc; 2001.