

# อิทธิพลของแรงดันและเวลาในการต่อชน ที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมวัสดุเหล็ก S45C และ SS400 จากการเชื่อมแบบแรงเสียดทาน

## INFLUENCE OF PRESSING FORCE AND TIME ON THE WELDING STRENGTH AND MATERIAL LOSS OF S45C AND SS400 BY FRICTION WELDING

ธีระพงษ์ ทับพร<sup>1</sup> สายันต์ เอี่ยมพรธนิต<sup>2</sup>

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธนบุรี<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์<sup>2</sup>

Teerapong Tubpond<sup>1</sup>, Sayan Iempornthanit<sup>2</sup>

Department Of Industrial Engineering, Thonburi University<sup>1</sup>, Department Of Industrial Engineering, Kasetsart University<sup>2</sup>

E-mail: teerapong\_meipt10@hotmail.com, aod\_sayan@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรในการต่อชนที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมแบบแรงเสียดทาน เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่ดี โดยสูญเสียเนื้อวัสดุในการเชื่อมน้อย กระบวนการเชื่อมแบบแรงเสียดทานมีตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อชิ้นงานในการเชื่อมคือ รอบการเสียดทาน, แรงดันการเสียดทาน, เวลาในการเสียดทาน, แรงดันในการต่อชน และเวลาในการต่อชน ซึ่งตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงในแนวเชื่อม และเป็นตัวกำหนดการสูญเสียเนื้อวัสดุของการเชื่อม วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาชิ้นงานหลังทำการเชื่อมให้ได้ความแข็งแรงที่ดีและสูญเสียเนื้อวัสดุในขั้นตอนการเชื่อมที่น้อยที่สุด โดย การทดลองปรับตัวแปร 2 ชนิดคือ แรงดันในการต่อชน และเวลาในการต่อชน จากนั้นนำชิ้นงานมาทดสอบแรงดึง, ทดสอบความแข็ง และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ซึ่งพบว่าปัจจัยทางด้านแรงดันในการต่อชนนั้นมีผลอย่างมากต่อความแข็งแรง และการสูญเสียเนื้อวัสดุของชิ้นงานเชื่อมแบบแรงเสียดทาน ส่วนเวลาในการต่อชนนั้นมีผลในช่วงก่อนที่ชิ้นงานจะเย็นตัวเท่านั้น ตัวแปรแรงดันและเวลาในการต่อชนที่ทำให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมแบบแรงเสียดทานดีที่สุดของการเชื่อมต่อเหล็ก S45C กับเหล็ก SS400 คือแรงดัน 35 ตัน ที่เวลา 6-8 วินาที โดยจะสูญเสียเนื้อวัสดุประมาณ 5 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: การเชื่อมแบบแรงเสียดทาน ความแข็งแรงของแนวเชื่อม การสูญเสียเนื้อวัสดุ

### Abstract

The research objective: study of variable pressure forging and time forging to affective the strength of joint and loss of material in friction welding. Variables in friction welding process affecting workpiece are friction cycle, friction pressure, friction time, forge pressure, and forge time. Welding strength and welding workpiece material loss are depend on these variables. Objective of research is to study affect of workpiece after welding by ultimate strength of workpiece , and minimizing workpiece material loss in welding process.

Experiment is to adjust 2 variables which are forge pressure and forge time. After adjustment, workpiece is tested in tensile strength, hardness and inspected in micro structure, the result is butt pressure variable has effect on strength and material loss of workpiece welded by friction welding so much, but forge time has effect workpiece only before cooling. Finally, This study provided the optimal processing parameters as the pressing force of 35 ton and time of 8 seconds material loss of 5 mm.

Keywords: Friction Welding, Welding Strength, Material Loss

## 1. บทนำ

รถยนต์และรถบรรทุกเป็นสินค้าที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนจำนวนมาก เมื่อมีการใช้งานชิ้นส่วนหลายชิ้นจะมีการสึกหรอหรือเสื่อมสภาพตามการใช้งาน ซึ่งปกติแล้วจะต้องทำการเปลี่ยนอะไหล่ตามระยะเวลาหรือเมื่อเกิดอุบัติเหตุ ดังนั้นอะไหล่ทดแทนจึงเข้ามามีบทบาทในตลาดอะไหล่รถยนต์ เพื่อสร้างโอกาสในการแข่งขัน ผู้ผลิตอะไหล่รถยนต์ทดแทนจึงต้องหาวิธีปรับปรุงพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เทียบเท่ากับอะไหล่ที่ผลิตมาจากผู้รับจ้างผลิตสินค้า โดยควบคุมต้นทุนการผลิตเพื่อเป็นตัวเลือกให้กับผู้บริโภค ลูกหมากรถยนต์ซึ่งถือว่าเป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่ต้องทำการแข่งขันสูงในตลาดอะไหล่ทดแทน ซึ่งคั่นส่งกลางเป็นชิ้นส่วนสำคัญในรถยนต์ กรณีที่ปัญหาเกิดขึ้นกับระบบบังคับเลี้ยวจะเป็นผลให้ผู้ขับขี่ได้รับอันตรายในทันที โดยคั่นส่งกลางจะมีลักษณะเป็นเพลยาวทำให้ชิ้นรูปทั้งชิ้นได้ลำบากและต้นทุนสูง ดังนั้นกระบวนการเชื่อมโลหะจึงเข้ามามีบทบาทในการขึ้นรูปชิ้นส่วนคั่นส่งกลาง โดยกระบวนการเชื่อมโลหะที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี และหนึ่งในนั้นคือวิธีเชื่อมแบบแรงเสียดทาน (Friction Welding) ที่ทำให้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความแข็งแรง และใช้เวลาการผลิตน้อยกว่าวิธีอื่น อย่างไรก็ตามความแข็งแรงที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยในการเชื่อมหลายอย่างที่ควรทำการควบคุมรวมถึงการสูญเสียเนื้อโลหะในกระบวนการซึ่งเป็นต้นทุนอีกอย่างหนึ่ง ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงต้องการปรับปรุงความแข็งแรงของแนวเชื่อมการเสียดทาน โดยนำพารามิเตอร์แรงดันในการต่อชนกับเวลาในการต่อชนมาทำการทดลอง เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของชิ้นงานที่ดีและสูญเสียเนื้อวัสดุในกระบวนการน้อยที่สุด เพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์และช่วยในการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

### 1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแรงดันและเวลา ในการต่อชนที่ส่งผลกับความแข็งแรงของแนวเชื่อมแบบแรงเสียดทาน

1.1.2 ออกแบบการปรับพารามิเตอร์เพื่อให้ได้แนวเชื่อมแบบแรงเสียดทานที่แข็งแรงโดยที่สูญเสียเนื้อวัสดุจากการเชื่อม น้อยที่สุด

### 1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

1.2.1 สามารถแสดงผลจากการปรับ แรงดันและเวลา ในการต่อชนเพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มของความแข็งแรงเมื่อเวลาและแรงดันเปลี่ยนไป โดยสูญเสียเนื้อวัสดุ น้อยที่สุด

1.2.2 การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองจะใช้ชิ้นงานที่เป็นผลิตภัณฑ์จริงในการทดลอง และจากนั้นจะใช้วิธีการทดสอบแรงดึง เพื่อหาค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) มาเปรียบเทียบกับในการปรับพารามิเตอร์ของการเชื่อมแบบแรงเสียดทาน

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การเชื่อมแบบแรงเสียดทาน (Friction Welding: FRW) [1]

การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานนั้นอาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานจลน์ในการเสียดทานเป็นพลังงานความร้อนทำให้ชิ้นงานหลอมตัวและเชื่อมติดกัน ปัจจัยที่ส่งผลต่อความร้อนที่เกิดจากการเสียดทาน คือ แรงบิดความเร็วรอบ ระยะเวลาในการเสียดสี แรงดันในขณะเสียดสีซึ่งพลังงานความร้อนและตัวแปรเหล่านี้มีความสัมพันธ์กัน ดังสมการต่อไปนี้

$$P = \omega\tau \quad (1)$$

โดยที่  $P$  คือกำลังความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อม (watt) หรือ (J/s)  $\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ (rad/s) และ  $\tau$  คือค่าแรงบิดที่เกิดขึ้นจากการต้านแรงเสียดทาน (N.m)

และจากสมการพลังงานความร้อน

$$Q = mC_p(T_2 - T_1) \quad (2)$$

โดยที่  $Q$  คือพลังงานความร้อน (J)  $C_p$  คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (J/K)  $m$  คือ มวลของวัสดุ (Kg)  $T$  คือ อุณหภูมิองศาเซลเซียส

$$P = \frac{FS}{t} = \frac{W}{t} \quad (3)$$

โดยที่

$$Pt = mC_p(T_2 - T_1) \quad (4)$$

โดยที่  $W$  คืองานที่กระทำ (J)  $t$  คือเวลาในระยะเวลาหนึ่ง (S)

จะได้ว่า

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Q}{t} \quad (5)$$

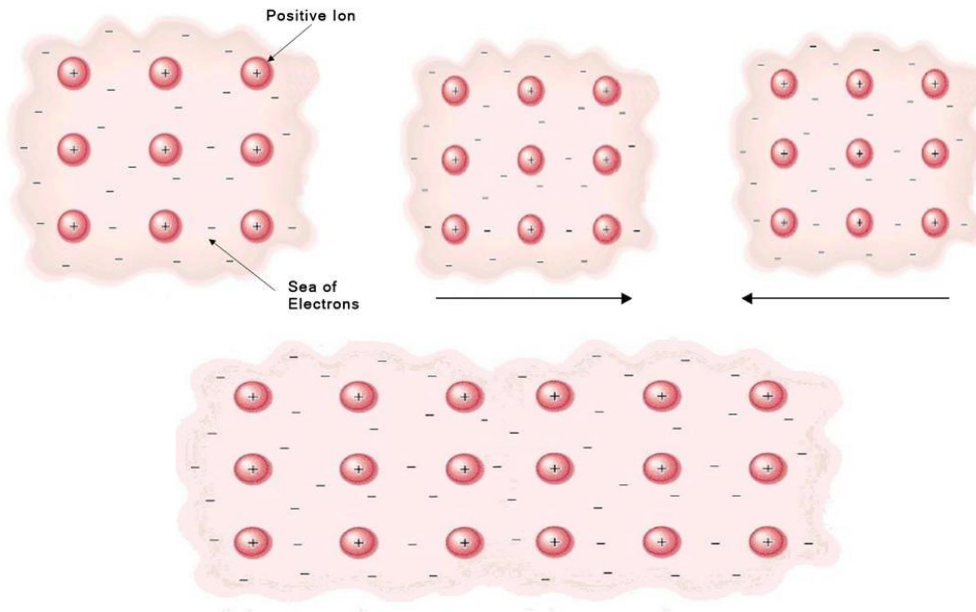
กำหนดให้ค่า  $K$  คือค่าคงที่

$$P = K\Delta T \quad (6)$$

สมการในข้างต้นทำให้เห็นว่า ค่ากำลังในระบบแปรผันตรงกับอุณหภูมิ ซึ่งหมายความว่า การเพิ่มแรงบิดการเพิ่มความเร็วย่อมส่งผลต่อกำลังในการเสียดสีและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของระบบการเชื่อมแบบเสียดทาน

### 2.1.1 วิธีการเชื่อมแบบแรงเสียดทาน

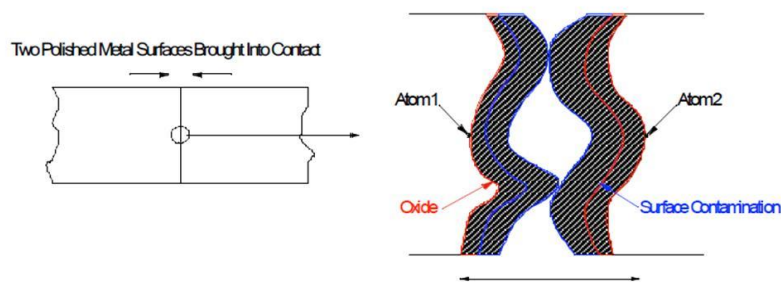
การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานจะเป็นขบวนการเชื่อมวิธีหนึ่งซึ่งความร้อนสำหรับการเชื่อมจะเกิดขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงในรูปของพลังงานกลไปเป็นพลังงานความร้อนที่ผิวของโลหะชิ้นงาน โดยไม่มีพลังงานหรือพลังงานรูปอื่น ๆ มาเกี่ยวข้อง การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นตรงหน้าของชิ้นงานที่สัมผัสกัน โดยเกิดจากการเสียดสีกันชิ้นงานหนึ่งจะถูกยึดให้อยู่กับที่ ส่วนอีกชิ้นหนึ่งจะเป็นชิ้นที่หมุนในแรงดันที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนผิวสัมผัสเกิดความร้อนจนถึงจุดวิกฤตจึงจะหยุดหมุน และขบวนการเชื่อมก็จะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานจะเกิดที่ผิวสัมผัสของชิ้นงานอย่างรวดเร็วจะทำให้ชิ้นงานทั้งสองมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากมายในระยะทางที่สั้น ๆ การเชื่อมนี้จะเกิดจากอิทธิพลของความดันที่ให้โดยอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลาย และขอบเขตของความร้อนจะอยู่ใน Plastic temperature range การเสียดสีจะอยู่ในโมเมนต์ที่เหมาะสม แล้วชิ้นงานก็จะหยุดหมุน ซึ่งจะทำให้การเชื่อมยุติลง การเชื่อมแบบแรงเสียดทานสามารถแบ่งขบวนการเชื่อมออกได้ดังนี้คือ ขบวนการเชื่อมแบบ Solid-state ซึ่งเป็นกระบวนการเชื่อมที่โลหะชิ้นงานเกิดการเชื่อมติดกันที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลายของโลหะชิ้นงาน วิธีที่สองเป็นขบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานของโลหะที่ต่างชนิดกัน เหล็กที่มีจุดหลอมละลายต่ำกว่าเมื่อนำมาเชื่อมกับโลหะ ที่มีจุดหลอมละลายสูงกว่าจะทำให้เกิดรอยย่นตรงขอบของรอยต่อมากกว่าเมื่อเชื่อมโลหะที่เหมือนกัน หรือชนิดเดียวกันจะทำให้เกิดรอยย่นตรงขอบของรอยต่อเท่ากันทั้งสองชิ้น [2]



รูปที่ 1 การเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ของโลหะสองชนิด

ที่มา : ([www.thompson-friction-welding.com](http://www.thompson-friction-welding.com))

การเชื่อมผสานให้เนื้อโลหะเป็นเนื้อเดียวกัน โดยการทำให้ประจุ + (Positive Ion) และ ประจุ - (Sea of Electron) ของโลหะสองชนิดรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ ดังภาพที่ 1 แต่ในทางปฏิบัติการเชื่อมต่อกันระหว่างอะตอมมักไม่เป็นเช่นนั้น เนื่องจากผิวโลหะที่ต้องการเชื่อมต้องมึลักษณะเรียบ ไม่มีสนิมและสารปนเปื้อนอื่นๆที่เป็นอุปสรรค ซึ่งในการเชื่อมแบบแรงเสียดทานนั้น เมื่อโลหะถูกหมุนให้เกิดการเสียดสีภายใต้แรงดันจะทำให้ ชั้นผิวโลหะที่มีสนิมและสารปนเปื้อนให้ไหม้ออกไป จากนั้นโลหะที่เกิดการเสียดสีสามารถสัมผัสกันได้ทั้งหมดทำให้พันธะอะตอมระหว่างโมเลกุลของชิ้นงานอยู่ใกล้กันจนต่อกันสนิทนั่นเอง [3]



รูปที่ 2 ลักษณะการต่อกันของการเชื่อมแบบแรงเสียดทาน

ที่มา : (Ali. Moarrefzadeh. 2012) [4]

### 3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์

##### 3.1.1 เครื่องเชื่อมแบบแรงเสียดทานรุ่น AGF-70



รูปที่ 3 แสดงเครื่องเชื่อมแบบแรงเสียดทาน รุ่น AGF-70

1. เครื่อง Universal Testing รุ่น HT-9501 A
2. เครื่องตัดชิ้นงาน (Cutting Machine)
3. เครื่องขัดหยาบ-ละเอียด (POLISHING MACHINE)
4. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (OPTICAL MICROSCOPE)

#### 3.2 วัสดุ [5]

##### 3.2.1 เหล็ก SS400 เหล็กรีดร้อนสำหรับงานโครงสร้างทั่วไป

เหล็กเกรด SS400 คือเหล็กเหนียวธรรมดา คุณสมบัติสามารถต่อเชื่อมได้ดี เหมาะสำหรับเชื่อมและเป็นโครงสร้างได้ เหล็กเหนียวจะมีความยืดหยุ่น ไม่แตกหักง่าย

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเชิงกลเหล็ก SS400

ส่วนประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์	ความหนาแน่น (Kg/m <sup>3</sup> )	7,700-8,030
C	0.13-0.18	โมดูลัสความยืดหยุ่น (Gpa)	365
Si	0.15-0.35	ความทนต่อแรงดึง (MPa)	480
Mn	0.5-0.7	ความแข็ง ณ จุดคราก	245
P	0.05	ความแข็ง (สภาพอ่อน) (HB)	116-152
S	0.05		

##### 3.2.2 เหล็ก S45C เหล็กคาร์บอน

เหล็กเกรด S45C โดย S หมายถึง Steel และ C หมายถึง Carbon ดังนั้นเกรด S45C จะหมายถึงเหล็กที่มีส่วนประกอบของธาตุ Carbon 0.45% และถ้ามีส่วนผสมของคาร์บอนในปริมาณที่สูงก็จะทำให้ความสามารถในการชุบแข็งสูงขึ้นตามไปด้วย กรณีที่นำมาขัดเงาที่ผิวจะได้ผิวที่มันวาว โดยมาตรฐานเหล็กที่ใกล้เคียงกับเกรดนี้ได้แก่ AISI 1045

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็ก S45C

ส่วนประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์	ความหนาแน่น (Kg/m <sup>3</sup> )	7,700-8,030
C	0.42-0.48	โมดูลัสความยืดหยุ่น (Gpa)	190-210
Si	0.15-0.35	ความทนต่อแรงดึง (MPa)	569
Mn	0.6-0.9	ความแข็ง ณ จุดคราก	343
P	0.03	ความแข็ง(สภาพอ่อน)(HB)	167-229
S	0.03	ความแข็ง(ชุบแข็ง)(HB)	201-269
Cr	≤0.2		
Ni	≤0.2		
Cu	≤0.3		

### 3.3 วิธีการ

#### 3.3.1 พารามิเตอร์ของการทดลอง

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวแปร เวลาในการต่อชน และแรงดันในการต่อชน หลังจากที่ยุติการเสียตทานแล้วเพื่อให้ทราบว่า เมื่อเวลาในการต่อชนและแรงดันในการต่อชนเปลี่ยนไปแล้วนั้นจะส่งผลอย่างไรกับความแข็งแรงในการเชื่อมต่อนั้นงาน ดังนั้นจึงมีการกำหนดตัวแปรคงที่ในการทดลองที่อยู่ในช่วงของการเสียตทานชิ้นงาน โดยอ้างอิงจากผลการทดลองจากรายงานเรื่องการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของวัสดุกับบริเวณผลกระทบร้อนจากการเชื่อมแบบแรงเสียตทาน ที่ทำการทดลองโดยเชื่อมต่อนั้นงานวัสดุ SS400 กับ S45C ที่มีการปรับพารามิเตอร์ของรอบในการเสียตทานกับแรงดันในการเสียตทาน จากนั้นนำชิ้นงานมาทดสอบแรงดึงเพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป โดยผลการทดลองระบุว่าเมื่อทำการดึงเหล็กเพลลา SS400 Ø12.5 มม. จะได้แรงดึงสูงสุดเฉลี่ย 7648 Kgf. และ S45C Ø12.5 มม. แรงดึงสูงสุดเฉลี่ย 9109 Kgf. และเมื่อทำการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแบบแรงเสียตทานแล้วนั้นชิ้นงานที่มีความแข็งแรงใกล้เคียงกับวัสดุเหล็ก SS400 มากที่สุดมีความแข็งแรงเฉลี่ยอยู่ที่ 7264 Kgf. ซึ่งชิ้นงานเสียหายที่วัสดุ SS400 ลักษณะการเกิดบริเวณวัสดุเหล็ก SS400 เสียหายเป็นแบบ Cup Cone ซึ่งอยู่นอกเหนือบริเวณผลกระทบร้อนจากการเชื่อม ที่ยังคงคุณสมบัติของความเหนียวไว้ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมแบบแรงเสียตทานคือ รอบในการเสียตทาน 1200 รอบต่อนาที แรงดันในการเสียตทาน 10 ตัน เวลาในการเสียตทาน 6 วินาที แรงดันในการต่อชน 35 ตัน เวลาในการต่อชน 8 วินาที ซึ่งสูญเสียเนื้อวัสดุเฉลี่ยอยู่ที่ 5.4 มม. จากการเชื่อม



รูปที่ 4 ลักษณะการเสียหายของชิ้นทดสอบ

จากผลการทดลองดังกล่าวจึงได้กำหนดตัวแปรคงที่ในการทดลองดังนี้

- |                        |   |      |            |
|------------------------|---|------|------------|
| 1. รอบในการเสียดทาน    | = | 1200 | รอบต่อนาที |
| 2. แรงดันในการเสียดทาน | = | 10   | ตัน        |
| 3. เวลาในการเสียดทาน   | = | 6    | วินาที     |

ตัวแปรที่ทำการทดลอง

1. แรงดันในการต่อชนในการทดลองคือ 15 20 25 30 และ 35 ตัน
2. เวลาในการต่อชนคือ 8 6 และ 4 วินาที

### 3.3.2 วิธีกรทดลอง

เตรียมชิ้นงานเพลลาวัสดุ SS400 และชิ้นงานหัวคั่นส่งวัสดุ S45C ผ่านการฟอร์จขึ้นรูป เตรียมผิวชิ้นงานบริเวณรอยต่อให้เรียบโดยผ่านการกลึงล้างผิวหน้าออก จำนวนที่ใช้ต่อ 1 การทดลองคือ 15 คู่ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ทำการวัดความยาวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมแบบแรงเสียดทานและบันทึกผลเก็บไว้เตรียม Jig จับยึดชิ้นงาน



รูปที่ 5 Jig จับยึดชิ้นงานในการเชื่อมแบบแรงเสียดทาน

จากนั้นนำชิ้นงานมาจับคู่เพื่อทำการเชื่อมแบบแรงเสียดทานตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ โดยจับชิ้นงานให้มีระยะที่จะเชื่อมต่อไม่เกิน 30 มิลลิเมตร ทำการเชื่อมต่อชิ้นงานทั้งหมดโดยแบ่งการเชื่อมตาม ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการปรับเวลากับแรงดันในการต่อชนเพื่อทดลอง

เวลา 8 วินาที	เวลา 6 วินาที	เวลา 4 วินาที
แรงดัน 15 Ton	แรงดัน 15 Ton	แรงดัน 15 Ton
แรงดัน 20 Ton	แรงดัน 20 Ton	แรงดัน 20 Ton
แรงดัน 25 Ton	แรงดัน 25 Ton	แรงดัน 25 Ton
แรงดัน 30 Ton	แรงดัน 30 Ton	แรงดัน 30 Ton
แรงดัน 35 Ton	แรงดัน 35 Ton	แรงดัน 35 Ton

เมื่อทำการเชื่อมแบบแรงเสียดทานชิ้นงานทั้งหมดแล้วจะต้องปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวในอากาศและวัดขนาดชิ้นงานที่สั้นลงหลังจากทำการเชื่อมแบบแรงเสียดทาน หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มากลึงเพื่อลดขนาดในการทดสอบเนื่องจากกรณีที่เป็นเพลลา  $\varnothing$  24.0 มม. เมื่อทำการทดสอบแล้วชิ้นงานจะเสียหายบริเวณ Jig จับชิ้นงานจึงไม่สามารถทราบถึงความแข็งแรงของรอยเชื่อมได้ ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานที่จะทดสอบแรงดึงคือ 12.5 มม. ตามลักษณะดังภาพที่ 6



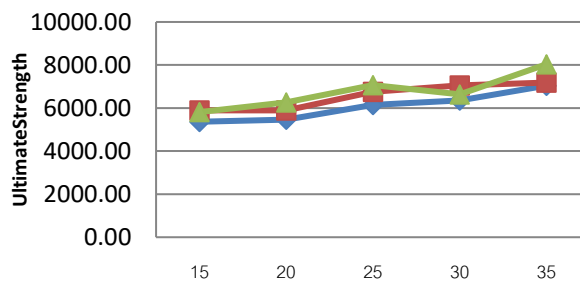
รูปที่ 6 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึง

เมื่อทำการเตรียมชิ้นงานทดสอบเสร็จแล้วจะทำการทดสอบแรงดึงชิ้นงาน เพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานแต่ละพารามิเตอร์ แล้วนำผลต่างๆการทดสอบทั้งหมดมาเปรียบเทียบ จากนั้นนำชิ้นงานมาตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ความแตกต่างของโครงสร้างที่มีผลต่อความแข็งแรงที่เกิดขึ้น และทำการทดสอบความแข็งแบบ Vickers เพื่อหาความแตกต่างของแต่ละตัวแปร จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาตัวแปรที่ดีที่สุดในการเชื่อมแบบแรงเสียดทานเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

#### 4. ผลการดำเนินงาน

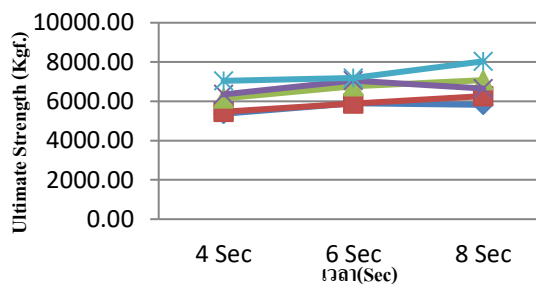
##### 4.1 ผลการทดสอบแรงดึง

ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นทดสอบเพลลา S45C และ SS400



รูปที่ 7 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแรงดันต่างๆเวลาในการต่อชน 4 6 และ 8 วินาที

จากผลการทดสอบแรงดึงเมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มแรงดันในการต่อชน ณ เวลา 4 6 และ 8 วินาที พบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันมากขึ้นชิ้นทดสอบมีแนวโน้มที่จะมีความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นด้วย โดยค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของชิ้นทดสอบเพลลาต้น SS400 มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด เฉลี่ยอยู่ที่ 7648 Kg. ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันในการต่อชนถึง 35 ตัน แล้วนั้นชิ้นทดสอบสามารถมี Ultimate Strength ได้สูงกว่า วัสดุเพลลาต้น SS400 ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าแรงดันในการต่อชนมีผลต่อความแข็งแรงของการเชื่อมแบบแรงเสียดทาน

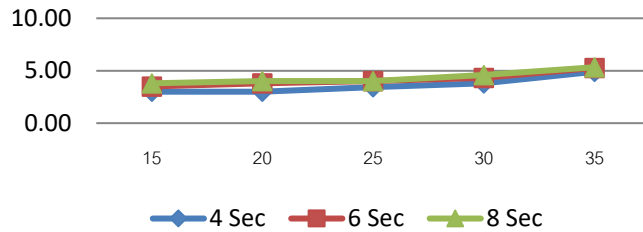


รูปที่ 8 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของเวลาต่างๆแรงดันในการต่อชน 15 20 25 30 และ 35 ตัน



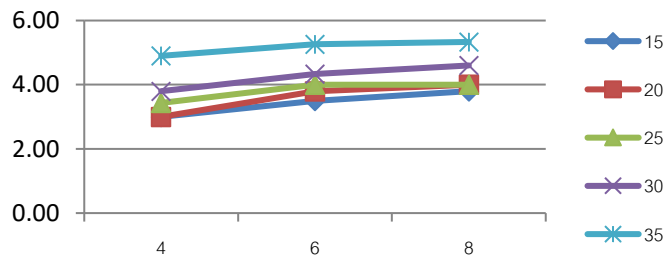
จากผลการทดสอบแรงดึงเมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มเวลาในการต่อชน ณ แรงดัน 15 20 25 30 35 ตัน นั้นพบว่าเวลาในการต่อชน ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความแข็งแรง โดยเมื่อเพิ่มเวลาการต่อชนแล้วนั้น Ultimate Strength มีแนวโน้มที่สูงขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง แต่ถ้าเพิ่มเวลาในการต่อชนเพิ่มขึ้นความแข็งแรงก็จะไม่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการเย็นตัวที่รวดเร็ว (เย็นตัวในอากาศ) ทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟสจากกิ่งของเหลวเป็นของแข็งดังนั้นการเชื่อมต่อไปจะไม่เพิ่มขึ้น

#### 4.2 การสูญเสียเนื้อโลหะในการเชื่อม (มิลลิเมตร)



รูปที่ 9 เนื้อชิ้นงานที่สูญเสียของแรงดันต่างๆเวลาในการต่อชน 4 6 และ 8 วินาที

จากผลการทดลองเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มแรงดันขึ้นเนื้อวัสดุชิ้นทดสอบจะสูญเสียมากขึ้น และจะแบ่งการสูญเสียเนื้อวัสดุเป็น 2 ช่วงของแรงดันคือ แรงตั้งแต่แรงดัน 15-25 ตัน จะสูญเสียเนื้อวัสดุใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มแรงดันจาก 25-35 ตัน การสูญเสียเนื้อวัสดุจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 10 เนื้อชิ้นงานที่สูญเสียของเวลาต่างๆในแรงดัน 15-35 ตัน

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเวลาในการต่อชนจาก 4-6 วินาทีเกิดการสูญเสียเนื้อวัสดุสูงขึ้นและเมื่อเพิ่มจาก 6-8 วินาที อัตราการสูญเสียเนื้อวัสดุลดลง หรือบางชิ้นทดสอบไม่มีการสูญเสียเนื้อวัสดุเพิ่ม ซึ่งเป็นผลมาจากการเย็นตัวของชิ้นงานโดยเมื่อชิ้นงานเย็นตัวลงแล้วถึงจะเพิ่มเวลาในการต่อชนขึ้นก็จะไม่ส่งผลกระทบต่อ

#### 4.3 การวิเคราะห์การเสียหายจากการทดสอบแรงดึงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

4.3.1 แตกลักษณะเปราะพันระการเชื่อมต่อไม่ครบ : ชิ้นงานจะมีการเสียหาย 2 ลักษณะคือ

1. มีพันธะเชื่อมติดกันบริเวณกึ่งกลางเท่านั้น โดยการเสียหายเช่นนี้จะเกิดที่ แรงต่อชน 15 ton และ เวลา 4 วินาที



รูปที่ 11 แสดงชิ้นทดสอบเสียหายแบบเปราะที่มีพันธะเชื่อมติดกันบริเวณตรงกลาง

2. มีการเชื่อมติดกันในส่วนใหญ่ของหน้าตัดชิ้นทดสอบชิ้นงานจะเสียหายบริเวณฝั่ง S45C ลักษณะการเสียหายนี้เกิดขึ้นที่แรงดัน 15 ton ที่เวลา 6 และ 8 วินาที และ 20-25 ตัน ในทุกช่วงเวลาของการต่อชน



รูปที่ 12 ชิ้นทดสอบเสียหายแบบเปราะที่มีพันธะเชื่อมติดกันส่วนใหญ่

4.3.2 แตกลักษณะเปราะพันธะการเชื่อมต่อครบ : ชิ้นงานจะเสียหายด้าน S45C มีลักษณะการเสียหายแบบเปราะ การเชื่อมต่อที่เกิดขึ้นสมบูรณ์ เกิดขึ้นที่แรงดัน 25-30 ตัน



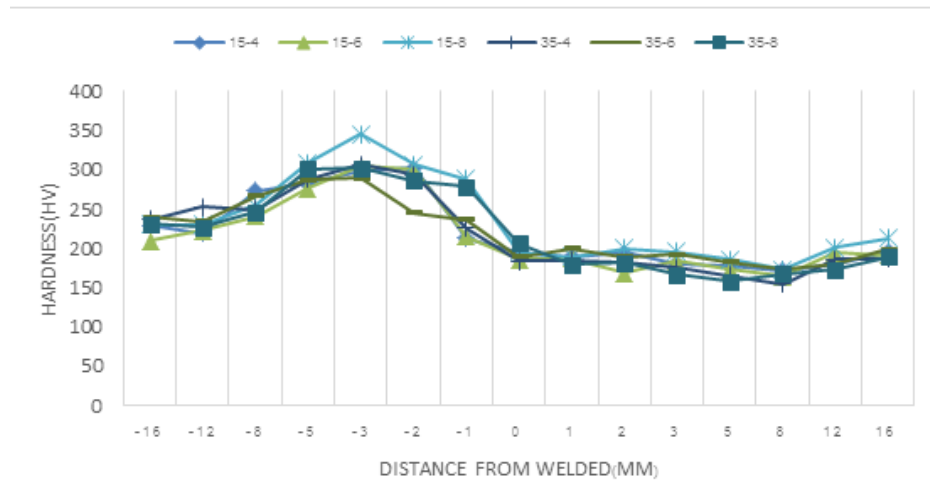
รูปที่ 13 ชิ้นทดสอบเสียหายแบบเปราะที่มีพันธะเชื่อมติดกันทั้งหมด

4.3.3 แตกลักษณะเหนียวพันธะการเชื่อมต่อครบ : ชิ้นทดสอบจะเสียหายด้าน SS400 ลักษณะการเสียหายแบบ CUP-CONE ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ได้จากการทดสอบใกล้เคียงกับชิ้นทดสอบเพลาดัน SS400 (เป็นลักษณะการเสียหายที่ต้องการให้เกิด) เริ่มเกิดที่แรงในการต่อชน 30 ตัน เวลา 6-8 วินาที และเกิดในทุกชิ้นทดสอบของแรง 35 ตัน

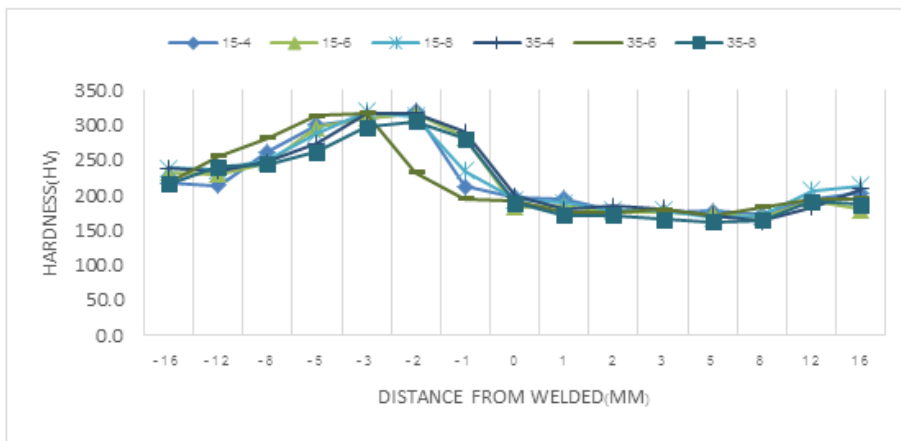


รูปที่ 14 ชิ้นทดสอบเสียหายแบบเหนียวมีพันธะเชื่อมติดกันทั้งหมด

#### 4.4 ผลการทดสอบความแข็ง VICKERS



รูปที่ 15 ผลการทดสอบความแข็ง Vickers ทั้งหมดโดยทดสอบบริเวณกึ่งกลางชิ้นทดสอบ



รูปที่ 16 ผลการทดสอบความแข็ง Vickers ทั้งหมดโดยทดสอบบริเวณขอบชิ้นทดสอบ

จากผลการทดสอบความแข็งแบบ Vickers พบว่าชิ้นทดสอบด้านวัสดุ SS400 นั้นค่าความแข็งที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน ทั้งบริเวณดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าความร้อนจากการเชื่อมแบบแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นไม่ได้ส่งผลกับวัสดุ SS400 แต่ทางฝั่งชิ้นทดสอบด้าน S45C นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดคือหลังจากแนวเชื่อมต่อมีความแข็งที่สูงขึ้นอยู่ระยะหนึ่งและจากนั้นความแข็งจะลดลงเรื่อยๆ อันเนื่องมาจากผลกระทบของการเชื่อม (Heat Affect Zone) ดังนั้นลักษณะของความแข็งที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการเสียหายแบบเปราะทางด้าน S45C ใกล้กับบริเวณรอยเชื่อม ทั้งแบบมีพันธะครบและไม่ครบ

แต่เมื่อทำการเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นการเสียหายกลับไปอยู่ทางฝั่ง SS400 และเกิดขึ้นที่เนื้อวัสดุบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนดังนั้นแรงดันที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ บริเวณผลกระทบร้อนเกิดการเปลี่ยนแปลงจนส่วนที่ใกล้กับแนวเชื่อมที่อ่อนแอเสียหายไป

#### 5. วิจัยณ์

ในการทดลองปรับค่าตัวแปรแรงดันและเวลาในการต่อชนที่ส่งผลต่อความแข็งแรงนั้น จากการทดสอบชิ้นงานพบว่าเกิดการเสียหาย 3 ลักษณะดังนี้

5.1 การเสียหายเปราะ(Brittle) แบบพันธะไม่ครบ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. การเสียหายที่มีพันธะเชื่อมติดกันบริเวณกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ เกิดในตัวแปรแรงดันในการต่อชน 15 ตัน และเวลาในการต่อชน 4 วินาที ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของการทดสอบแรงดึงนั้นเฉลี่ยที่ 5344 Kgf. ซึ่งน้อยที่สุด โครงสร้างที่ปรากฏเมื่อส่องกล้องดูด้วยกำลังขยาย 5x/0.10 พบว่ามีรอยแตก (Crack) บริเวณรอบนอกไปจนถึงเกือบกึ่งกลางของแนวการเชื่อมต่อ ดังนั้นแรงดันในการต่อชน 15 ตัน และเวลาในการต่อชน 4 วินาที ไม่เพียงพอที่ทำให้เกิดพันธะได้

2. การเสียหายที่มีพันธะเชื่อมติดกันในส่วนใหญ่ของพื้นที่การต่อชนแต่ยังไม่ทั้งหมด เกิดขึ้นที่ตัวแปร แรงดัน 15 ตัน เวลา 6 และ 8 วินาที จนถึง 25 ton เวลา 4 6 และ 8 วินาที ในบางชิ้นทดสอบ ซึ่งการเชื่อมต่อไปจะมีพันธะเพิ่มขึ้นจากแบบแรก เป็นผลมาจากการเพิ่มเวลาและแรงดัน ความต้านทานแรงดึงสูงสุดของการทดสอบแรงดึงนั้นอยู่ที่ 5773 ถึง 6735 Kgf. ลักษณะความเสียหายเกิดขึ้นที่ฝั่งชิ้นทดสอบ S45C บริเวณใกล้กับแนวเชื่อมและผลการทดสอบความแข็งแบบ Vickers พบว่า บริเวณใกล้กับแนวเชื่อมนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงของความแข็งอย่างมากเมื่อเทียบกับชิ้นทดสอบ SS400 ซึ่งเป็นที่มาของการแตกหักแบบเปราะนั่นเอง ดังนั้นแรงดันและเวลาดังกล่าวยังไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากเสียหายบริเวณผลกระทบร้อนที่ส่งผลให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงจนความแข็งแรงลดลง

5.2 การเสียหายแบบเปราะมีพันธะการเชื่อมต่อครบ ชิ้นทดสอบจะเสียหายบริเวณ S45C ใกล้กับแนวการเชื่อมต่อ เกิดขึ้นที่แรงดัน 25 ตัน เวลา 6 และ 8 วินาที จนถึง 30 ton เวลา 4 และ 6 วินาทีในบางชิ้นทดสอบ ผลการทดสอบความแข็งแบบ Vickers ที่แสดงว่าความแข็งที่เกิดขึ้นบริเวณผลกระทบร้อนนั้นสูงขึ้นแล้ว การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของฝั่งชิ้นทดสอบ S45C พบว่าโครงสร้างที่เกิดขึ้นนั้นประกอบด้วย Martensite และโครงสร้าง  $Fe_3C$  และเมื่อยิ่งเข้าใกล้บริเวณการเชื่อมต่อง่ายพบโครงสร้าง  $Fe_3C$  มากขึ้น แสดงว่าความร้อนที่เกิดขึ้นในการเสียดทานนั้นสามารถเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็น Austenite ได้ทั้งหมด(อุณหภูมิโดยประมาณสูงกว่า 723 องศาเซลเซียส) และจากอัตราการเย็นตัวที่รวดเร็ว(เย็นตัวในอากาศ) ทำให้โครงสร้าง Pearlite และ Ferrite ซึ่งเป็นโครงสร้างปกติของเหล็ก S45C เกิดขึ้นไม่ทัน ประกอบกับ % Carbon ที่มีอยู่ทำให้ได้โครงสร้างดังกล่าวที่มีคุณสมบัติแข็งและเปราะนั่นเอง และด้วยแรงดันกับเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้บริเวณพันธะการเชื่อมต่อแข็งแรงกว่าบริเวณผลกระทบร้อนของชิ้นทดสอบ S45C นั่นเอง ดังนั้นตัวแปรดังกล่าวยังไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจนทำให้ความแข็งแรงลดลง

5.3 การเสียหายแบบเหนียว (Ductile) ที่มีพันธะการเชื่อมต่อครบ ลักษณะการเสียหายนี้จะเกิดที่ฝั่ง SS400 เป็นการเสียหายแบบ Cup-Cone เกิดขึ้นในแรงดัน 30 ตัน เวลา 6 และ 8 วินาที ในบางชิ้นทดสอบและเกิดที่แรงดัน 35 ตัน ของทุกช่วงเวลาในทุกชิ้นทดสอบ ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างของฝั่งชิ้นทดสอบ SS400 บริเวณผลกระทบร้อนที่มี Pearlite และ Ferrite เป็นโครงสร้างหลัก ที่มีเกรนไซด์ละเอียดกว่าโครงสร้างปกติของ SS400 ดังนั้นความแข็งแรงบริเวณผลกระทบร้อนของ SS400 ทำให้คุณสมบัติดีขึ้นนั่นเอง การเสียหายจึงเกิดบริเวณโครงสร้างปกติที่ไม่ได้รับความร้อนในการเชื่อมแบบแรงเสียดทาน และจากเวลากับแรงดันที่เพิ่มขึ้นทำให้พันธะการเชื่อมต่อเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ส่วนฝั่งชิ้นทดสอบด้าน S45C นั้นด้วยแรงดันที่เพิ่มขึ้นทำให้เนื้อชิ้นทดสอบที่ใกล้กับบริเวณแนวเชื่อมถูกดันออกมาจนกลายเป็นครีบริบรอบนอก โครงสร้าง  $Fe_3C$  ส่วนหนึ่งจึงถูกดันออกไปเหลือเป็นโครงสร้าง Martensite ส่วนใหญ่ ซึ่งความแข็งแรงของโครงสร้าง Martensite นั้นสามารถทนความแข็งแรงของโครงสร้างปกติของ SS400 ได้ ฉะนั้นตัวแปรที่ดีที่สุดที่ทำให้การเชื่อมแบบแรงเสียดทานวัสดุเหล็ก S45C เชื่อมต่อกับ วัสดุ SS400 คือแรงดันในการต่อชน 35 ตัน เวลาในการต่อชน 4 6 และ 8 วินาที

การปรับค่าตัวแปรแรงดันและเวลาที่ส่งผลต่อการสูญเสียเนื้อวัสดุ

1. แรงดันในการต่อชนมากขึ้นจะทำให้สูญเสียเนื้อวัสดุมากขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่เมื่อนำปัจจัยของความแข็งแรงมาพิจารณานั้นพบว่าแรงดันที่น้อยเกินไปจะทำให้แนวเชื่อมไม่แข็งแรง

2. การสูญเสียเนื้อวัสดุจากปัจจัยของการเพิ่มเวลาเกิดขึ้นเห็นได้ชัดในเวลา 4 วินาทีไป 6 วินาที แต่เมื่อเพิ่มจาก 6 ไป 8 วินาทีแนวโน้มการสูญเสียเนื้อวัสดุลดลง ซึ่งถ้าเพิ่มเวลาในการต่อชนขึ้นอีกมีแนวโน้มว่าจะไม่สูญเสียเนื้อวัสดุอีกต่อไป เนื่องจากวัสดุเกิดการเย็นตัวก่อน

## 6. สรุปผล

1 วิธีการในการปรับตัวแปรแรงดันและเวลาในการต่อชนที่ทำให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมแบบแรงเสียดทานดีที่สุดของการเชื่อมต่อเหล็ก S45C กับเหล็ก SS400 คือแรงดัน 35 ตัน ที่เวลา 6-8 วินาที โดยจะสูญเสียเนื้อวัสดุประมาณ 5 มิลลิเมตร

2 การออกแบบการปรับพารามิเตอร์เพื่อให้ได้แนวเชื่อมแบบแรงเสียดทานที่แข็งแรงโดยที่สูญเสียเนื้อวัสดุจากการเชื่อมน้อยที่สุดคือต้องทำการปรับแรงดันให้ไม่สูงเกินไปเนื่องจากจะสูญเสียเนื้อวัสดุในการเชื่อมมากขึ้น และการปรับเพิ่มตัวแปรเวลาให้สูงขึ้นก็ไม่สามารถทำให้แข็งแรงขึ้นได้เช่นกัน

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] องค์การ บุนนาค, ณฤพล อังคสุวรรณ. 2557. ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ แรงดันขณะเสียดทาน กับบริเวณ กระทบร้อนจากการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแรงเสียดทาน. ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [2] P. Shiva Shankar<sup>1</sup>, L. Suresh Kumar<sup>2</sup>, N. Ravinder Reddy<sup>3</sup>. 2013. EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND STATISTICAL ANALYSIS OF THE FRICTION WELDING PARAMETERS FOR THE COPPER ALLOY- CU Zn28 USING TAGUCHI METHOD
- [3] www.Thompson Friction Welding – Innovators in friction welding.com Hereward Rise. Halesowen. West Midland. United Kingdom.
- [4] Ali. Moarrefzadeh. 2012. Study of Heat Affected Zone (HAZ) in Friction Welding Process. Faculty member of Department of Mechanical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University , Mahshahr , Iran
- [5] สถาบันเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2554. มาตรฐานและสมบัติของเหล็กกล้าที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม