



การประเมินความสามารถในการขึ้นรูปได้ของเหล็กแผ่นกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 ผ่านกระบวนการเชื่อมพ่วงด้วยคุณสมบัติวัสดุแอนไอโซทรอปิกโดยกระบวนการเชื่อมพลาสมา

Formability Evaluation of SUS304 Stainless Steel Tailor Weld Blank Sheets (TWB) with Anisotropic Material Behavior by Plasma Welding Process

ซูไฮดี สนิ^{1*}, ยงยุทธ ดุลยกุล¹, เดช เหมือนขาว¹, สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์¹, จุฬาลักษณ์ โรจนานุกุล¹, ชัยยุทธ มีงาม², มุhammad เต๊ะยอ³
 Suhaidee Sani^{1*}, Yongyuth Dunyakul¹, Dech Maunkhaw¹, Surasit Rawangwong¹,
 Julaluk Rojananukul¹, Chaiyoot Meengam², Muhamad Tehyo³

(Received: June 3, 2019; Revised: July 25, 2019; Accepted: August 14, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการลากขึ้นรูปทรงถ้วยกลมของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 จากคุณสมบัติทางกลด้านการรับแรงดึงของแนวเชื่อมแผ่นเทเลอร์เวลด์แบบลงคโดยกำหนดตัวแปรการทดลอง คือ แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ความหนา 0.4, 0.5 และ 0.6 มม. มุมตามทิศทางการรีด 0, 45 และ 90 องศา แรงกดของแบบคไฮดรอลิกที่ 2500 กิโลกรัมแรง ความเร็วในการขึ้นรูปเท่ากับ 6 ครั้งต่อนาที ศึกษาคุณสมบัติทางกลด้านการรับแรงดึงและการยืดตัวหลังจากการขึ้นรูปของชิ้นงานผลการทดลองพบว่า การทดสอบแรงดึงของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่ผ่านกรรมวิธีการเชื่อมพลาสมาข้อสรุปได้ว่าค่าคุณสมบัติแอนไอโซทรอปิกที่ดีที่สุดคือมุม 45 องศา กับแนวทิศทางการรีด และกระบวนการลากขึ้นรูปของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่ผ่านกรรมวิธีการเชื่อมพลาสมา ที่ใช้แรงกดแบบคไฮดรอลิกที่ระดับ 2500 กิโลกรัมแรง ที่ระดับความหนา T1 0.4-T2 0.4 มีผลให้บริเวณรัศมีพื้นผิว มีความหนาลดลง 28.20% ของความหนาเดิม ซึ่งเป็นค่าที่ชิ้นงานทดสอบมีการยืดตัวออก แต่ยังไม่มีการฉีกขาดจึงเหมาะสมสำหรับการทดลอง

คำสำคัญ: สมบัติทางกล เทเลอร์เวลด์แบบลงค การเชื่อมพลาสมา เหล็กกล้าไร้สนิม

Abstract

The objective of this research was to study the factors that affect the cup deep drawing of the austenitic stainless-steel type 304 based on the mechanical properties of the tailor welded blank. The variables are a group of SUS-304 stainless steel with different thickness (0.4, 0.5 and 0.6 mm) and weld lines oriented at an angle of 0°, 45° and 90° with the blank holder force of 2500 kgf and the forming speed of 6 SPM. The mechanical properties of tensile strength and elongation after forming were investigated. According to the results of this experiment, tensile strength of SUS-304 stainless steel after the plasma welding showed that

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

² คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

² Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

³ Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

the best anisotropic property was at the angle of 45° to the direction of drawing process and that the plasma welded deep drawing process of SUS-304 stainless steel using 2500 kgf of blank holder forced at the thickness ratio of T1 0.4 – T2 0.4 caused 28.20% decrease in the punch radius which resulted in elongation of the test piece but no rupture found, so this condition is suitable for the study.

Keywords: Mechanical property, Tailor welded blank, Plasma welding, Stainless steel

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีนโยบายเกี่ยวกับการใช้พลังงานในงานอุตสาหกรรมการผลิตเนื่องด้วยต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นและปริมาณการใช้ภายในประเทศที่มีมากขึ้นด้วย โดยเฉพาะการใช้พลังงานเป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ จากสถิติพลังงานในปี พ.ศ. 2556 มีปริมาณนำเข้ามันดิบ 0.87 ล้านบาร์เรลต่อวัน โดยนำมากลับเป็นน้ำมันกลุ่มเบนซิน เหลือ 20.7 ล้านลิตรต่อวัน น้ำมันกลุ่มดีเซล 57.2 ล้านลิตรต่อวัน (Chueaprapha & Sriprapai, 2005) อุตสาหกรรมการขึ้นรูปชิ้นส่วน (Hassan, et al., 2012) ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนสามารถผลิตชิ้นส่วนที่มีความหลากหลาย ตลอดจนมีคุณภาพ และมาตรฐานการผลิตอยู่ในระดับที่ผู้ผลิตรถยนต์และรถจักรยานยนต์ (Zadpoor, et al., 2007) ทั้งนี้ความต้องการใช้ชิ้นส่วนยานยนต์ในกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตรถยนต์และรถจักรยานยนต์ (Patel & Raval, 2008) ตลาดชิ้นส่วนทดแทนหรืออะไหล่ทดแทน (Replacement Equipment Market: REM) เป็นตลาดชิ้นส่วนอะไหล่เพื่อการทดแทนชิ้นส่วนเดิมที่เสียดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ยอดจำหน่ายรถยนต์ทั้งในและต่างประเทศ ปี พ.ศ. 2553-2557

ปี	ยอดจำหน่ายรถยนต์ ในประเทศ (คัน)	อัตราการเติบโต รถยนต์ในประเทศ (%)	ยอดจำหน่ายรถยนต์ ต่างประเทศ (คัน)	อัตราการเติบโต รถยนต์ในต่างประเทศ (%)
2553	786,096	43.2%	896,065	67.3%
2554	796,123	1.3%	735,627	-17.9%
2555	1,436,144	80.4%	1,020,059	38.7%
2556	1,330,680	-7.3%	1,106,634	8.5%
2557	881,883	-33.7%	1,126,081	1.8%

Remark: Motor Vehicle Record, Thailand Automotive Institute (2002)

วัสดุจำพวกเหล็กกล้าไร้สนิมจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพราะเนื่องด้วยความแข็งแรง (Yanagimoto, et al., 2010) ความสามารถในการขึ้นรูป การเชื่อม และราคาถูก ที่สำคัญยังมีคุณสมบัติป้องกันสนิม จึงทำให้วัสดุจำพวกเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นทางเลือกหนึ่งในภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นวิธีการที่จะสามารถลดต้นทุนการผลิต จึงมีการนำกรรมวิธีการเชื่อมด้วยพลาสมาของวัสดุสองชนิดเข้าด้วยกันโดยที่ความหนาบางแตกต่างกันหรือคุณสมบัติต่างกัน นำมาเชื่อมและขึ้นรูป จึงเป็นทางเลือกที่ดีในงานขึ้นรูปโลหะ วัสดุนี้เรียกว่า Tailor Weld Blank (TWBs) (Ngamkham, 2007) แต่ปัญหาที่พบในการขึ้นรูป คือ ชิ้นงานไม่ได้ขนาดตามแบบ เนื่องจากการเกิดรอยย่น การเกิดคอคอด การฉีกขาด (Neto, et al., 2017) ปัญหาเหล่านี้ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาและต้นทุนที่จะต้องเพิ่มขึ้น

ดังนั้น จากปัญหาดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาถึงปัจจัยในกระบวนการเชื่อม พลาสมาที่มีผลต่อการขึ้นแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 (Vinoth kumar & Balasubramanian, 2014) และคุณสมบัติการทดสอบทางกลของวัสดุ เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ประโยชน์กับภาคอุตสาหกรรมการขึ้นแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ต่อไป



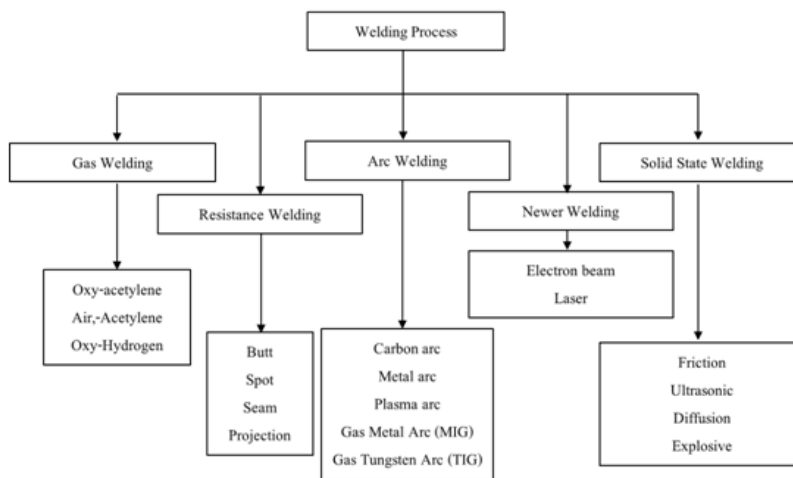
วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาสภาพการขึ้นภาพที่เหมาะสมของกระบวนการเชื่อมพลาสมาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304

ระเบียบวิธีวิจัย

1. เทคโนโลยีการเชื่อม (Welding Technology)

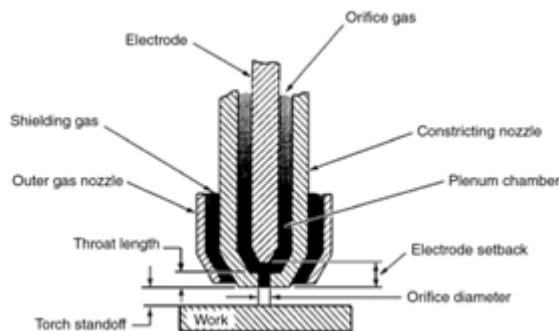
การเชื่อมโลหะ (Welding) คือ การทำให้โลหะหลอมละลายเข้าด้วยกันโดยใช้ความร้อน การเชื่อมมีหลายวิธีซึ่งแตกต่างกันตรงที่การเกิดความร้อนและวิธีการให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน โลหะหลายชนิดสามารถเชื่อมประสานกันได้โดยใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว เรียกว่า การเชื่อมหลอมละลาย โดยที่ไม่ต้องเติมวัสดุประสานหรือลวดเชื่อมก็ได้กรรมวิธีการเชื่อม (Welding Process) กรรมวิธีการเชื่อมมีหลายวิธีแบ่งออกดังแสดงภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การแบ่งประเภทกรรมวิธีการเชื่อมออกเป็นกลุ่มกรรมวิธีและกลุ่มย่อยกรรมวิธี (Phillips, 2016)

กระบวนการเชื่อมพลาสมา (Plasma Arc Welding)

กระบวนการเชื่อมพลาสมา (Plasma Arc Welding) คือ กระบวนการเชื่อมที่คล้ายกับ GTAW จะประกอบด้วยคุณสมบัติเพิ่มเติมที่เรียกว่า Constricting Nozzle ดังภาพที่ 2 Constricting Nozzle ทำให้เกิดการไหลผ่านของแก๊สผ่านช่องที่แคบระหว่างชิ้นงานโดยอาศัยข้ออืดเล็ดไทดทั้งสแตน Orifice Gas ถูกทำให้แตกตัวเป็นไอออนเพื่อสร้างกระแสไฟฟ้า



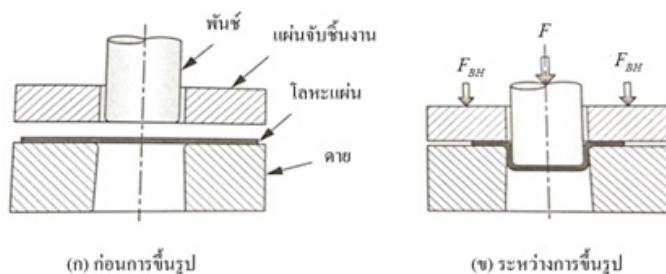
ภาพที่ 2 กระบวนการเชื่อมพลาสมา (Mayai, 2014)

2. การขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming)

การขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming) คือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างชิ้นงาน โดยการควบคุมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (Plastic Deformation) เพื่อให้ได้มาของรูปทรง คุณสมบัติวัสดุ และคุณสมบัติผิวโดยมวลและปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ

2.1 กรรมวิธีการขึ้นรูป (Drawing)

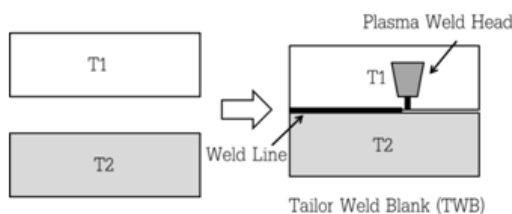
กรรมวิธีการขึ้นรูป (Drawing) คือ การลากขึ้นรูปโลหะแผ่นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานอย่างถาวร โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมวล ซึ่งประกอบด้วยพunch (Punch) ดาย (Die) และแผ่นจับยึดงาน (Blank Holder) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 องค์ประกอบหลักของแม่พิมพ์ลากขึ้นรูป (Chan, et al., 2000)

2.2 การเชื่อมพ่วง (Tailor Weld Blank)

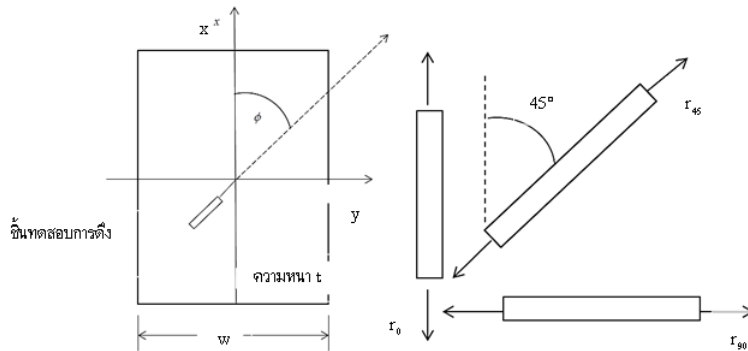
การเชื่อมพ่วง (Tailor Weld Blank: TWB) เป็นกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์โดยนำเหล็กแผ่นที่มีความหนาแตกต่างกัน T1 และ T2 มาเชื่อมต่อให้เป็นเหล็กแผ่นชิ้นเดียวกันก่อนที่จะนำไปทำการขึ้นรูป ดังแสดงภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ชิ้นงานการทดลอง TWB (Kinsey, Brad, Song, Nan & Jian Cao, 1999)

2.3 ตัวประกอบแอนไอโซทรอปิก (Anisotropic)

ตัวประกอบแอนไอโซทรอปิก (Anisotropic) คือ สมบัติเชิงพลาสติกของโลหะหลายผลึกเป็นผลมาจากแอนไอโซทรอปิกของโครงสร้างผลึกของวัสดุ ในกรณีของวัสดุหลายผลึก แอนไอโซทรอปิกเชิงโครงสร้างเด่นชัดมากกว่าเมื่อการจัดทิศทางของผลึก (เกรน) อยู่ในทิศทางของเนื้อ การวัดแอนไอโซทรอปิกของสมบัติเชิงพลาสติกของโลหะแผ่นโดยการทดสอบการดึงแล้วหาอัตราส่วนของความเครียดแนวกว้างกับความเครียดแนวความหนา ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผ่นโลหะที่ได้จากการรีด และตำแหน่งการดิ่งเพื่อหาตัวประกอบแอนไอโซทรอปี
(Marciniak, Duncan & Hu, 2002)

$$r_m = \frac{1}{4}(r_0 + r_{90} + 2r_{45}) \quad (1)$$

r_m คือ แอนไอโซทรอปีตั้งฉาก

r_0 คือ แอนไอโซทรอปีตามแนวทิศทางการรีด

r_{45} คือ แอนไอโซทรอปีทำมุม 45 องศา กับแนวทิศทางการรีด

r_{90} คือ แอนไอโซทรอปีทำมุม 90 องศา กับแนวทิศทางการรีด

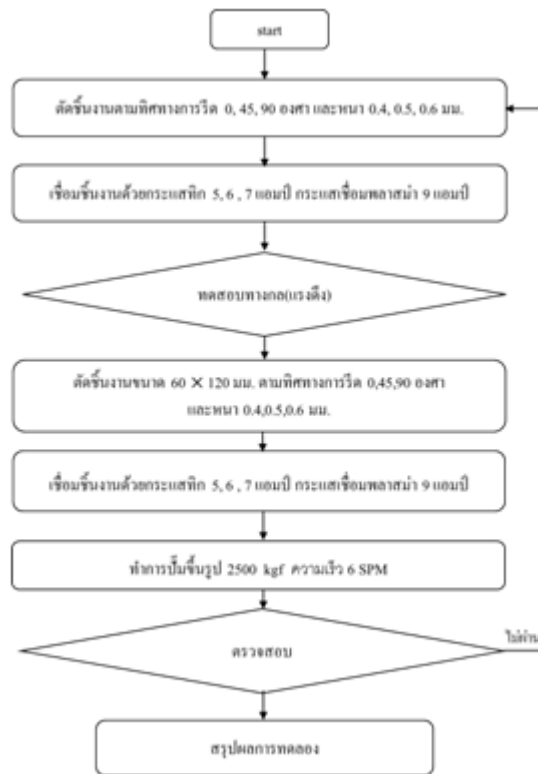
2.4 คุณสมบัติทางเคมีวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 ของแผ่นทดสอบ (Komsan Ngamkham, 2007)

C	Si	Mn	Ni	Cr	S	P	N
0.08%	0.75%	2.00%	10.5%	20.00%	0.03%	0.045%	0.10%

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

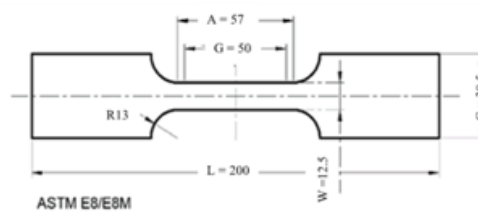
งานวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาปัจจัยสมบัติทางกลแอนไอโซทรอปีของการเชื่อมพลาสมาด้วย โดยกรรมวิธีทีเลเซอร์เวลด์แบบลงคีมที่มีผลต่อสภาพการขึ้นรูปเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ จึงได้วางแผนการดำเนินงาน ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

4. ชิ้นงานทดสอบแรงดึง

ชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่ตามข้อกำหนดเฉพาะของชิ้นงานมาตรฐาน ASTM E-8 แสดง ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM E-8

ตัวอย่างชิ้นงานหลังจากทดสอบแรงดึง ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ชิ้นงานหลังจากทดสอบแรงดึง



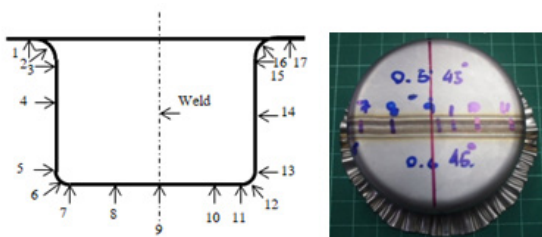
5. การขึ้นรูปและตำแหน่งการวัดความหนาชิ้นงาน

หลังจากที่นำชิ้นงานผ่านกระบวนการเชื่อมแล้วนั้น นำชิ้นงาน (Blank) วางบนแม่พิมพ์ปั๊มด้วย ดังภาพที่ 9 เพื่อทำการขึ้นรูปด้วยชิ้นมาตามเงื่อนไขที่กำหนด



ภาพที่ 9 แผ่นชิ้นงานวางบนแม่พิมพ์

ตำแหน่งการวัดความหนาชิ้นงานหลังจากการขึ้นรูปทำการเปรียบเทียบกับความหนาของชิ้นงานก่อนทำการขึ้นรูป โดยทำการวัดความหนา เป็นจำนวน 17 ตำแหน่งตามแนวการเชื่อมของชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ตำแหน่งของการวัดความหนาของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปตามขั้นตอนการทดลอง

ผลการวิจัย

สำหรับการศึกษาวิจัยถึงสมบัติทางกลของเทอร์เวลด์แบลงค์ที่มีผลต่อสภาพการขึ้นรูปทรงด้วยกลมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมพลาสมาของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304 ยังได้มีการนำเอาปัจจัยร่วมเพื่อประกอบการศึกษาในครั้งนี้คือ ทิศทางการรีด 0, 45 และ 90 องศา ดังต่อไปนี้

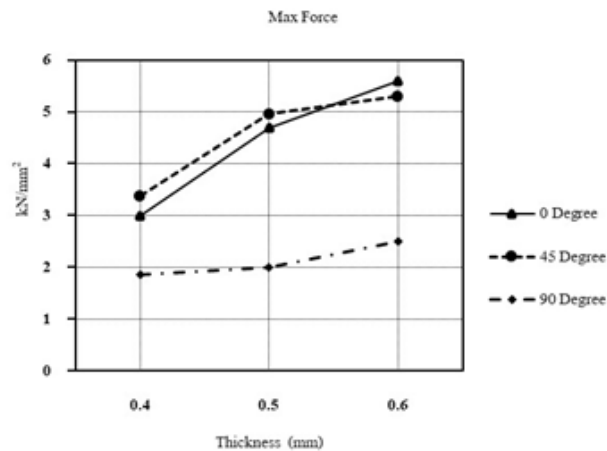
1. ผลการทดสอบแรงดึง

ผลการทดสอบแรงดึง เพื่อหาค่าแรงดึงสูงสุด (Max Force) โดยมีผลการดำเนินงานดังต่อไปนี้

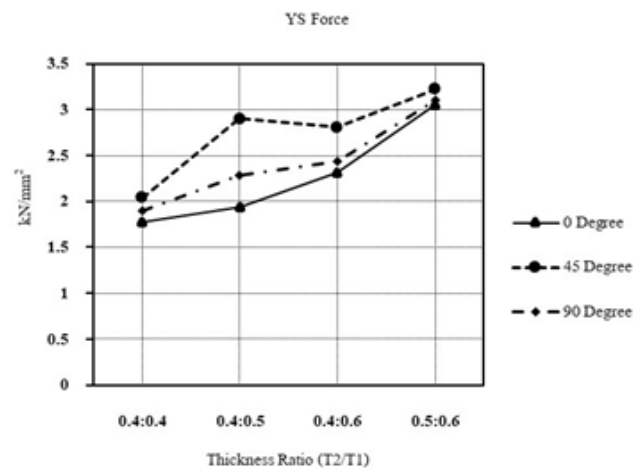
จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบแรงดึงก่อนการเชื่อมของชิ้นงานมีความหนา 0.4, 0.5 และ 0.6 มม. ตามทิศทางการรีด มุม 0, 45 และ 90 องศา โดยนำชิ้นงานทดสอบแรงดึงไปทำการทดสอบ พบว่าค่าแรงดึงสูงสุดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากชิ้นงานที่มีความหนามากขึ้น ทำให้ค่าแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Davies & Smith, 2000) โดยมุมที่มีค่าแรงดึงสูงสุดที่สุด คือ 45, 0 และ 90 องศา ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ที่ความหนา 0.6 มม. ทิศทางการรีด มุม 0, 45 องศา เนื่องจากการเรียงตัวของทิศทางการรีดขนาดและทำมุมเอียงกับทิศทางการดึง ส่งผลให้มีสมบัติทางด้านแรงดึงที่ดีขึ้น (Song, Song & Lin Hua, 2014) ดังแสดงในภาพที่ 11-12

ตารางที่ 3 ค่าแรงดึงสูงสุด(Max Force) ของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304

ลำดับที่	มุม (องศา)	ความหนา (มม.)	ชิ้นงานที่			ค่าเฉลี่ย (มม.)
			1	2	3	
1	0	0.4	2.86	2.48	3.60	2.98
2	0	0.5	5.01	4.52	4.54	4.69
3	0	0.6	6.05	5.21	5.53	5.60
4	45	0.4	3.56	3.19	3.35	3.37
5	45	0.5	5.28	4.00	5.60	4.96
6	45	0.6	5.27	5.46	5.18	5.30
7	90	0.4	3.94	3.60	2.84	3.46
8	90	0.5	5.20	4.76	5.00	4.99
9	90	0.6	5.38	5.29	5.77	5.48



ภาพที่ 11 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุดก่อนเชื่อม (MaxForce)



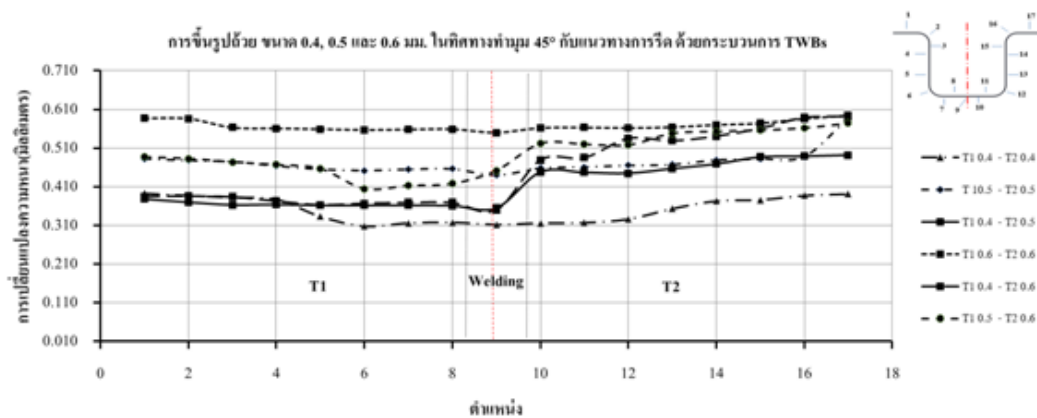
ภาพที่ 12 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุดหลังเชื่อม (MaxForce;kN)



2. ความหนาขึ้นงาน

ผลการทดลองการขึ้นรูปด้วยกระบวนการ TWBs ตามแนวขวางของขึ้นทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตำแหน่งที่	ความหนา (มม.)						
	T1	0.4	0.5	0.4	0.6	0.4	0.5
	T2	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
1		0.385	0.499	0.382	0.593	0.438	0.490
2		0.372	0.487	0.372	0.570	0.418	0.477
3		0.364	0.474	0.364	0.566	0.398	0.463
4		0.349	0.459	0.325	0.556	0.382	0.467
5		0.340	0.410	0.322	0.540	0.370	0.446
6		0.318	0.407	0.323	0.548	0.351	0.394
7		0.322	0.415	0.322	0.501	0.350	0.411
8		0.322	0.417	0.322	0.495	0.351	0.419
9		0.318	0.405	0.317	0.485	0.342	0.412
10		0.324	0.413	0.405	0.502	0.497	0.483
11		0.325	0.415	0.403	0.502	0.505	0.494
12		0.334	0.420	0.410	0.519	0.496	0.512
13		0.365	0.466	0.416	0.555	0.536	0.536
14		0.374	0.478	0.423	0.556	0.550	0.545
15		0.379	0.485	0.433	0.581	0.570	0.557
16		0.392	0.493	0.466	0.598	0.572	0.583
17		0.413	0.503	0.473	0.607	0.611	0.597



ภาพที่ 13 ค่าการเปลี่ยนแปลงความหนาตามแนวขวางของขึ้นทดสอบหลังการขึ้นรูปมุม 45 องศา

อภิปรายผล

จากการทดสอบแรงดึง โดยใช้ชิ้นงานที่ตัดตามทิศทางการรีดกับรอยต่อชนค่าแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานทดสอบที่ความหนา 0.4, 0.5 และ 0.6 มม. พบว่ามุมที่ 45 องศา มีค่าแรงดึงสูงสุด (MaxForce) สูงสุด ค่าแรงดึงสูงสุดที่มุม 45 องศา ของชิ้นงานหลังการเชื่อมมีค่าเท่ากับ 3.22 kN ส่วนค่าแรงดึงสูงสุดต่ำสุดที่มุม 0 องศา ของชิ้นงานหลังการเชื่อมมีค่าเท่ากับ 1.77 kN

หลังจากนำชิ้นงานผ่านขั้นตอนการเชื่อมแล้วนำมาทดลองสภาพการขึ้นได้ (Forming ability) โดยได้กำหนดตัวแปรคงที่ คือ แรงกดของเบลนคโฮลเดอร์ (Blank Holder Force: BHF) ที่ระดับ 2,500 kgf.

1) ผลการทดลองของชิ้นงานมุม 0 องศา มีผลให้บริเวณรีดมีพื้นที่ ที่ระดับความหนา T1 0.4-T2 0.5 ของชิ้นงานทดสอบ มีผลความหนาลดลงสูงสุด 42.86 % จากความหนาเดิมด้าน T1 0.4

2) ผลการทดลองชิ้นงานมุม 45 องศา บริเวณรีดมีพื้นที่ ที่ระดับความหนา T1 0.4-T2 0.4 ของชิ้นงานทดสอบ มีความหนาลดลง 28.20% ของความหนาเดิม

3) ผลการทดลองของชิ้นงานมุม 90 องศา บริเวณรีดมีพื้นที่ ที่ระดับความหนา T1 0.6-T2 0.6 ของชิ้นงานทดสอบ มีความหนาลดลง 34.83% ของความหนาเดิม

สรุป

จากผลการทดสอบแรงดึงจะเห็นว่าผลการวัดทางคุณสมบัติทางกลส่งผลมาจากการรีดวัสดุ เมื่อทดสอบวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ตามแนวทิศทางการรีด ตามมุม 0, 45 และ 90 องศา ตามแนวทิศทางการรีด พบว่ามุม 45 องศา ตามแนวทิศทางการรีดมีค่าการทดสอบสูงสุด ซึ่งทำให้การนำไปประยุกต์ (Application) ในงานการขึ้นรูปโลหะ เช่น การขึ้นรูป (Stamping) งานดัดขึ้นรูป (Bending) เพื่อให้นำไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมในอุตสาหกรรมขึ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมขึ้นรูปภาชนะอาหาร จากผลการทดลองวัดความหนาชิ้นงานสามารถ แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองมีค่าเปอร์เซ็นต์ของความหนาลดลงน้อยสุดอยู่ที่ 28.20% จากความหนาเดิม ตามมุมทิศทางการรีดที่ 45 องศา มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลค่าแรงดึงสูงสุด (Max Force) มีค่าสูงสุดเช่นกัน ซึ่งเป็นค่าที่ชิ้นงานทดสอบมีการยืดตัวออก แต่ยังไม่มีการฉีกขาดจึงเหมาะสมสำหรับนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้งานที่เหมาะสมต่อไป

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยควรมีการศึกษาผลกระทบจากมุมตามแนวทิศทางการรีดที่เพิ่มความละเอียดของมุมเพิ่มขึ้น เช่น มุม 15, 30 และ 75 องศา เพื่อหาข้อมูลวิจัยนำไปประยุกต์กับงานขึ้นรูปโลหะ ที่เหมาะสมต่อไป

รายการอ้างอิง (Reference)

- Chan, S.M., Chan, L.C. & Lee, T.C., (2000). *Tailor-welded blanks of different thickness ratio effects on forming limit diagrams*. The Hong Kong Polytechnic University.
- Chueaparakha, S., & Sriprapai, D., (2005). The Study for Springback of the of Tailor- Welded Strips in Draw-Bending Process. *The 20th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*. (in Thai)
- Davies, R.W., Smith, M.T., Oliver, H.R., Khaleel, M.A. & Pitman, S.G., (2000). Weld Metal Ductility in Aluminum Tailor Welded Blanks. *Metallurgical and Materials Transactions*, 2000-2755.



- Hassan, M.A., Saleh, M.A.E., Takakura, N., Ramesh, S., & Purbolaksono, J., (2012). Effect of bulge shape on wrinkling formation and strength of stainless steel thin sheet. *Materials and Design*, 42, 37-45.
- Kinsey, Brad, Song, Nan & Jian, C. (1999). An Analytical Model for Tailor Welded Blank Forming. *Transactions of the ASME*, 125, 344-351.
- Kumar M.V. & Balasubramanian, V., (2014). Microstructure and tensile properties of friction welded SUS304HCU austenitic stainless steel tubes. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 113, 25-31.
- Marciniak, Z, Duncan, J.L. & Hu, S.J. (2002). *Mechanics of Sheet Metal Forming*. House Jordan Hi Oxford, Butterworth-Heinemann, Second edition, 30-128.
- Mayai, A., (2014). *Gas Metal Arc Welding of SS400 Carbon Steel and SUS304 Stainless Steel Lap Joint*. Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Neto, D.M., Oliveira, M.C., Santos. A.D., Alves J.L., & Menezes, L.F., (2017). Influence of boundary conditions on the prediction of springback and wrinkling in sheet metal forming. *International Journal of Mechanical Sciences*, 122, 244-254.
- Ngamkham, K, (2007). *Alternative: Forming limit of austenitic grade stainless steels in various thicknesses*. Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University. (in Thai)
- Patel V.K. & Raval H.K., (2008). An Analytical Model to Predict Elongation of Tailor Welded Blanks (TWB). *Proceeding of the World Congress on Engineering and Computer Science WCECS 2008*.
- Phillips, D.H. (2016). *Welding Engineering. An Introduction*, 44-49.
- Song, Song & Lin Hua. (2014). *Influences of thickness ratio of base sheet on formability of tailor welded blanks*. Wuhuan University of technology.
- Thailand Automotive Institute. (2002). *Motor Vehicle Record*. Retrieved from <http://www.thaiauto.or.th/2012/th>
- Yanagimoto, J., Oya, T., Kawanishi, S., Tiesler, N., & Koseki, T., (2010). Enhancement of bending formability of sheet metal in multilayer metallic sheets. *CIRP-Manufacturing Technology*, 59, 287-290.
- Zadpoor, A.A., Sinke J. & Benedictus R., (2007). Mechanics of Tailor Welded Blanks: An Overview. *Key Engineering Materials*, 433, 373-382.