

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรอยเชื่อมท่อพลาสติกกลมด้วยอัลตราโซนิก
The study on parameters affecting on weld of round plastic tubes welded by
ultrasonic welding

อดิศักดิ์ บุตรวงษ์^{1*}, ขวลิศ ถิ่นวงศ์พิทักษ์² และ Yuji Watanabe³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เลขที่ 64 ถนนทหาร ตำบลหมากแข้ง
อำเภอเมือง จ.อุดรธานี 41000

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 85 ถนนสกลมารัด ตำบลเมืองศรีไค
อำเภอวารินชำราบ จ. อุบลราชธานี 34190

³ Department of Electronics and Computer Systems, Faculty of Engineering, Takushoku University, 815-1,
Tatemachi Hachioji-Shi, Tokyo 193-0985, Japan

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 0-422-11040-59, โทรสาร: 0-4224-1418

E-mail: a_bootwong@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำระบบอัลตราโซนิกมาเชื่อมท่อพลาสติกกลม โดยได้พัฒนาเครื่องเชื่อมท่อด้วยอัลตราโซนิกกลมขึ้นมาเพื่อการทดลอง ในการศึกษาใช้ท่อพลาสติกกลม (PMMA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 mm หนา 2 mm มีมุมปากของท่อหลายขนาดได้แก่ 5.7°, 3.8°, 2.8° และ 0° เพื่อให้สามารถสวมเข้ากันได้ ใช้ความถี่ในการเชื่อมที่ 28 kHz ที่ความเร็วรอบ 100 rpm, 67 rpm, 45rpm และ 25 rpm โดยมีแรงกดด้านข้างช่วยเสริมให้เกิดแนวเชื่อม ผลที่ได้ พบว่าการประยุกต์ใช้อัลตราโซนิกในการเชื่อมท่อพลาสติกกลมนั้นสามารถสร้างรอยเชื่อมได้ และที่ตำแหน่งจุดเชื่อมนั้นพลาสติกจะเกิดการหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าแรงกดด้านข้าง ความเร็วรอบ และมุมปากของท่อก็มีผลต่อรอยเชื่อมอีกด้วย

คำหลัก: การเชื่อมอัลตราโซนิก, ท่อพลาสติกกลม

Abstract

This study is aimed to search for a new method to join round plastic tube by use sing ultrasonic. The specimens used in this study were round plastic tubes (PMMA) with diameter of 35 mm and 2 mm thickness. End of each tube was machined to have inclined angle of 5.7°, 3.8°, 2.8° and 0° degree in order to create the contact faces. The specimens were welded with frequency of 28 kHz and tube rotational speed of 100 rpm, 67 rpm, 45 rpm and 25 rpm. The axial force was applied to the tube in order to enhance the quality of joint. It was revealed that the modified ultrasonic machine can generate the welding surface around the circumference of tube. It was observed that plastic tube is melted and bond at

the welding area. In addition, it was found that the axial force rotational speed and end incline angle perform effect on the quality of joint.

Keywords: Plastic Tube, Ultrasonic Welding

1. บทนำ

การเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกมีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถเชื่อมวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันมาก ๆ ได้ ใช้เวลาในการเชื่อมน้อย ใช้พลังงานน้อย และสามารถเชื่อมวัสดุที่วิธีการเชื่อมแบบอื่น ๆ ไม่สามารถเชื่อมได้เช่น เซรามิก [1-2] ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมในแนวตั้งหรือแนวนอน [3] แต่วิธีการเชื่อมแบบนี้ยังจำกัดการเชื่อมในชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก ในทางวิศวกรรมการเชื่อมพลาสติกโดยใช้อัลตราโซนิกนั้นได้มีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [4-7] จนสามารถใช้ได้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท และได้มีการศึกษาพัฒนาในการเชื่อมพลาสติกให้มีขนาดรอยเชื่อมที่ใหญ่ขึ้นโดยใช้ความถี่หลายๆค่าในการเชื่อม [8] การเชื่อมโดยใช้อัลตราโซนิกได้มีการศึกษาวิจัยและใช้ในการเชื่อมกันอย่างแพร่หลาย สำหรับวัสดุที่มีลักษณะต่างๆ และได้มีการศึกษาเพื่อหาเงื่อนไขที่จะทำให้ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรงขึ้น [9-10]

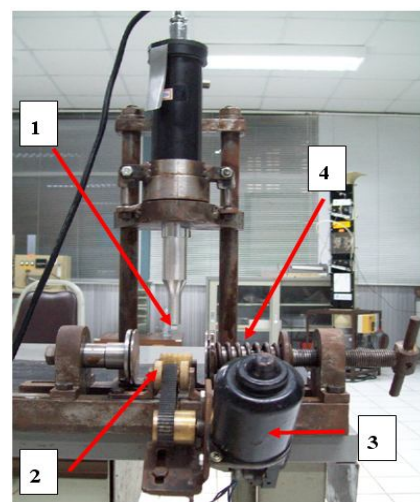
การเชื่อมต่อท่อพลาสติกกลมในปัจจุบัน มักนิยมใช้การเชื่อมโดยใช้กาหรือตัวประสาน การใช้ความร้อน หรือการใช้เนื้อ เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีต้องใช้เครื่องมือ และเวลาในการเตรียมชิ้นงาน ตลอดจนต้องใช้ทักษะของผู้ทำงาน ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีแนวคิดนำการเชื่อมด้วยอัลตราโซนิก ที่สามารถเชื่อมพลาสติกได้เป็นอย่างดี มาประยุกต์ใช้ในการเชื่อมต่อ โดยใช้หลักการหมุนของชิ้นงาน เพื่อให้เกิดการเชื่อมโดยรอบ หากวิธีการดังกล่าว สามารถทำให้เกิดแนวเชื่อมได้ ก็อาจจะทำให้ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรงใกล้เคียงกับวิธีการอื่นๆ ลักษณะของรอยเชื่อมพลาสติกที่เกิดจากการเชื่อมโดยใช้อัลตราโซนิกนั้น ตรงจุดเชื่อมจะหลอมละลายเข้าด้วยกันคล้ายกับการเชื่อมเหล็กด้วยไฟฟ้า โดยไม่ต้องใช้ลวดเชื่อม อย่างไรก็ตามกลไกการละลายของพลาสติกนั้นยังไม่เป็นที่ทราบชัดเจน และกำลังได้รับการศึกษาอยู่ [11-12] การเชื่อมโดยใช้อัลตราโซนิก

จึงเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการเชื่อมต่อพลาสติกกลม หากวิธีการนี้สามารถเชื่อมต่อพลาสติกกลมได้ ก็อาจจะเชื่อมต่อชนิดอื่นได้ ในอนาคตต่อไป

2 วิธีทดลอง

2.1 เครื่องเชื่อม

สำหรับเครื่องเชื่อมต่อพลาสติกกลมที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักได้แก่ หัวเชื่อม (หมายเลข 1) มีลักษณะกลม ตรงปลายหัวเชื่อมเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 6mmx10 mm พื้นผิวเรียบจัดวางอยู่ในแนวตั้ง มีลูกกลิ้ง (หมายเลข 2) รองรับชิ้นงานด้านล่างสองข้าง ลูกกลิ้งทั้งสอง และหัวเชื่อมทำมุมกัน 120° ชิ้นงานเป็นอิสระในแนวแกน เพื่อให้แรงกดจากด้านข้างสามารถที่จะกดชิ้นงานได้ หัวเชื่อม จะเป็นตัวบังคับให้ชิ้นงานติดกับลูกกลิ้ง เพื่อให้เกิดการหมุนอย่างต่อเนื่อง ลูกกลิ้งจะทำงานพร้อมกับการสั่นของหัวเชื่อม โดยมีมอเตอร์ (หมายเลข 3)

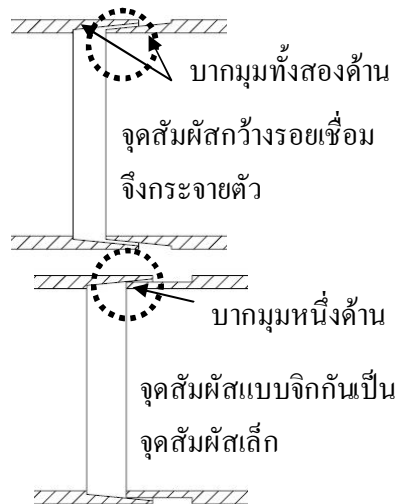


รูปที่ 1 เครื่องเชื่อมท่อพลาสติกกลมที่ออกแบบ และสร้างเพื่อใช้ในการทดลอง

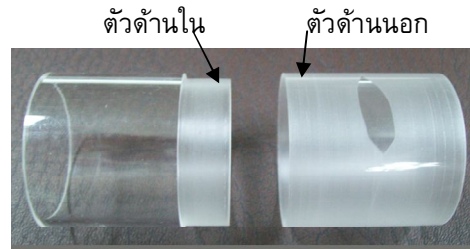
เป็นต้นกำลัง ในการเชื่อมนั้นจะมีเฉพาะแรงกดจากด้านข้าง โดยใช้สปริง (หมายเลข 4) ที่รู้ค่าคงที่ เพื่อวัดแรงกดในแนวแกน และให้เกิดการกดขึ้นงานอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการเชื่อมหัวเชื่อมด้านบนจะสัมผัสกับผิวของชิ้นงานอย่างอิสระ จะมีแค่แรงกดจากน้ำหนักของชุดหัวเชื่อมเองเท่านั้นที่ทำหน้าที่กดหัวเชื่อมลงมา นอกจากนี้ชิ้นส่วนอย่างอื่นก็เป็นตัวช่วยให้การเชื่อมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เช่น แบร์ริง ที่ทำให้การหมุนสม่ำเสมอเมื่ออยู่ภายใต้แรงกด เป็นต้น

2.2 ชิ้นงานในการทดลอง

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร โดยที่ปลายด้านหนึ่งทำการกลึงเพื่อสร้างความเรียบของปลายด้วยมุมต่างๆ เพื่อให้ทดสอบกันได้ในขณะที่เชื่อมรูปที่ 2 แสดงตัวอย่างลักษณะของท่อที่นำมาใช้ในการทดลอง



(a) แสดงตัวอย่างไดอะแกรมของชิ้นงานเชื่อม



(b) แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 2 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดลองเชื่อม

2.3 เงื่อนไขการทดลอง

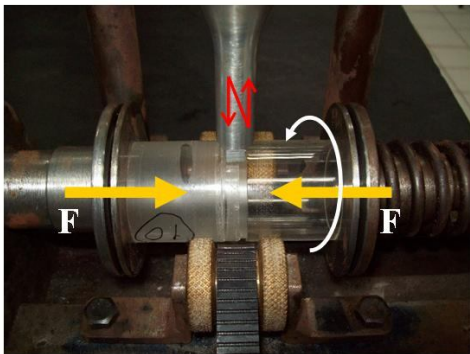
เงื่อนไขและกรณีการทดลองทั้งหมดของหัวเชื่อมในแนวแกนในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลอง

กรณี	ชิ้นงาน มุมด้าน ใน (องศา)	ชิ้นงาน มุม ด้าน นอก (องศา)	ความเร็ว รอบ (rpm)	แรงกด ด้านข้าง (N)
ปาก มูมทั้ง สอง ด้าน	2.8	2.8	25, 45, 67, 100	20-180
	3.8	3.8	25, 45, 67, 100	20-180
	5.7	5.7	25, 45, 67, 100	20-180
ปาก มูม หนึ่ง ด้าน	2.8	0	25, 45, 67, 100	20-180
	3.8	0	25, 45, 67, 100	20-180
	5.7	0	25, 45, 67, 100	20-180

2.4 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองจะนำชิ้นงานวางบนพื้นที่เชื่อม ดังแสดงใน รูปที่ 3 ซึ่งแสดงลักษณะการวางชิ้นงานในการทดลอง จากนั้นวัดระยะกุดของสปริงเพื่อ คำนวณหาแรงกุดในแนวแกน



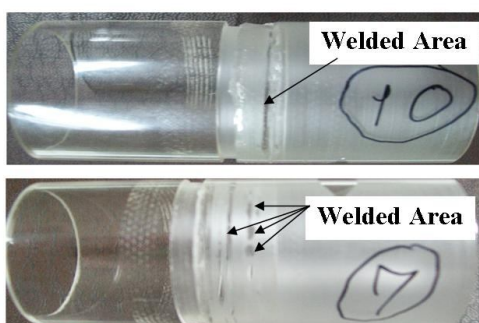
รูปที่ 3 แสดงลักษณะการวางชิ้นงาน

โดยการทดลองใช้เงื่อนไขในการเชื่อมคือ ใช้ ความถี่ 28 kHz กำลัง 500 w เวลาในการเชื่อมที่ 5-10 วินาที ความเร็วรอบในการหมุนของชิ้นงานคงที่ที่ 24 รอบ/ต่อนาที และเพิ่มแรงกดด้านข้างในแนวแกนของท่อขึ้นตามลำดับ

3 ผลการทดลอง

3.1 รอยเชื่อมที่ได้

ผลที่ได้จากการเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกน ดังแสดงในตัวอย่างของชิ้นงานรูปที่ 4 จากภาพจะสังเกตเห็นพื้นที่ที่พลาสติกเชื่อมติดกัน ซึ่งจะมีลักษณะใส และเป็นเส้นกระจายตัวไปโดยรอบท่อ

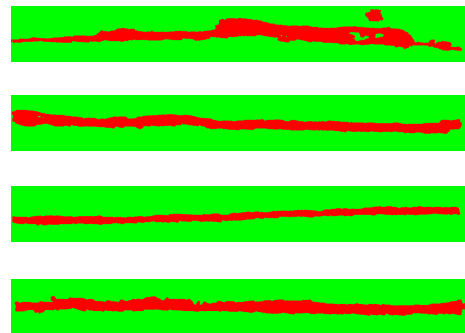


รูปที่ 4 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้น

เพื่อให้เห็นลักษณะของรอยเชื่อมได้ดีขึ้น จึงได้ทำการคัดลอกรอยเชื่อม เพื่อทำเป็นแผ่นคลี่ ซึ่งจะ ทำให้มองเห็นการเกิดขึ้นของแนวรอยเชื่อมได้โดยรอบท่ออย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 5-6



รูปที่ 5 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกนโดยรอบท่อมุม 3.8° กับ 3.8° ที่ความเร็วรอบต่างกัน



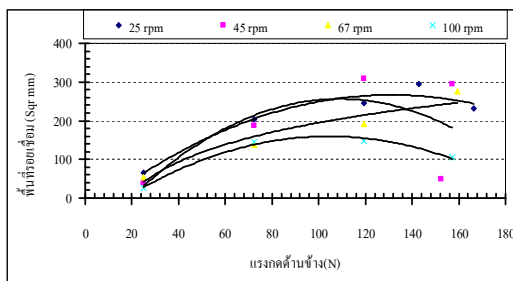
รูปที่ 6 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกนโดยรอบท่อมุม 3.8° กับ 0° ที่ความเร็วรอบต่างกัน

รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นดังแสดง ในรูปที่ 5 นี้เกิดจากหน้าสัมผัสของท่อที่เชื่อมมีการบากให้มุมเท่ากัน จึงสัมผัสกันในพื้นที่กว้าง เมื่อทำการเชื่อมจึงเกิดการสั่นกระจายในแนวกว้างด้วยจึงสร้างรอยเชื่อมที่กระจายตัวไปได้ดี รอยเชื่อมแบบนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ท่อมีการบากมุมทั้งสองด้าน (มุม 2.8° - 2.8° มุม 3.8° - 3.8° และมุม 5.7° - 5.7°) เท่านั้นอย่างไรก็ตาม รอยเชื่อมแบบนี้มีความต่อเนื่องน้อยซึ่งอาจเกิดจาก

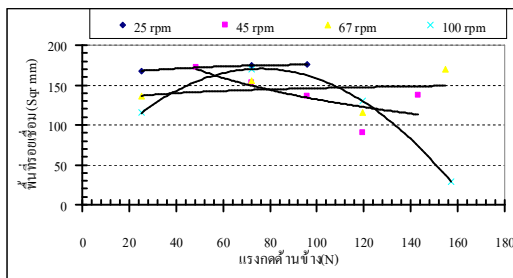
ลักษณะผิวกลิ้งของท่อที่ไม่สม่ำเสมอ เมื่อมีหน้าสัมผัสกว้าง ในบางพื้นที่จึงอาจไม่เกิดการเสียดสีสร้างรอยเชื่อมได้ รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นจึงมีลักษณะเป็นจุดไม่ต่อเนื่อง

รอยเชื่อมอีกลักษณะที่พบเป็นรอยเชื่อมที่มีลักษณะเป็นเส้นเดี่ยวชัดเจน และมีความหนาแสดงในรูปที่ 6 รอยเชื่อมแบบนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่มีการบากเพียงด้านเดียว (มุม $2.8^\circ - 0^\circ$ มุม $3.8^\circ - 0^\circ$ และมุม $5.7^\circ - 0^\circ$) เท่านั้น ซึ่งสาเหตุของการเกิดรอยเชื่อมในลักษณะนี้อาจเกิดจากการบากท่อเพียงด้านเดียว จุดสัมผัสระหว่างผิวท่อจะสัมผัสกันในลักษณะจิกกันตลอดเส้นรอบวง (ดังแสดงในรูปที่ 1a) ดังนั้นเมื่อเกิดการสั่นจุดสัมผัสนี้จะสร้างรอยเชื่อมได้ดีและต่อเนื่องจึงเกิดรอยเชื่อมที่ใหญ่และต่อเนื่องรอบวง

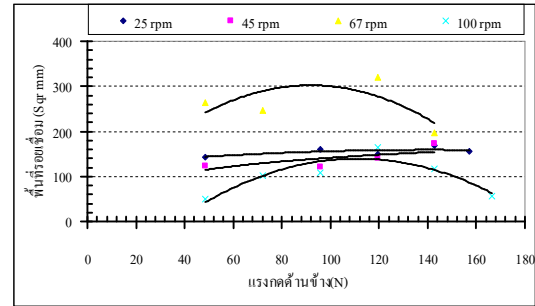
เพื่อทำการวิเคราะห์หาพื้นที่รอยเชื่อม จึงนำรอยเชื่อมที่คัดลอกไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Dewinter Material Plus 4.1 ภายใต้มาตรฐาน ASTM E562&E1245 ผลการทดสอบพบความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รอยเชื่อมกับ ขนาดของแรงกดด้านข้าง และมุมของชิ้นงาน มีความสัมพันธ์ ดังแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 7 ซึ่งสามารถแยกพิจารณาเป็นอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังจะอธิบายต่อไปนี้



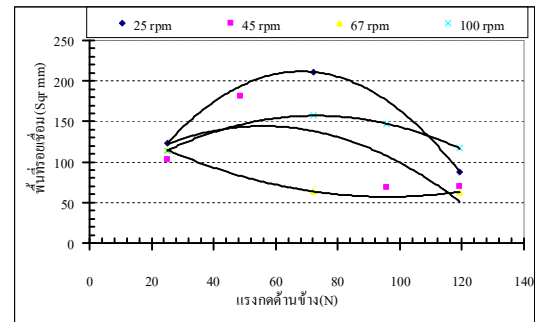
2.8° - 2.8°



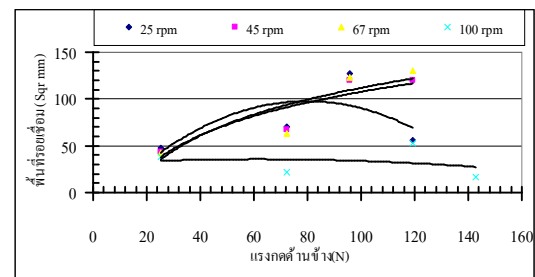
2.8° - 0°



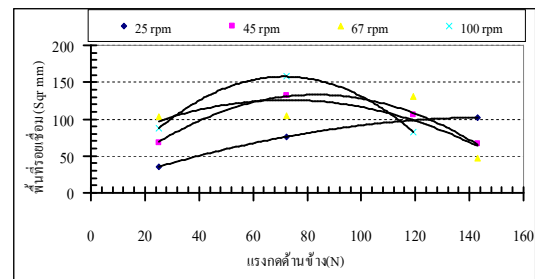
3.8° - 3.8°



3.8° - 0°



5.7° - 5.7°



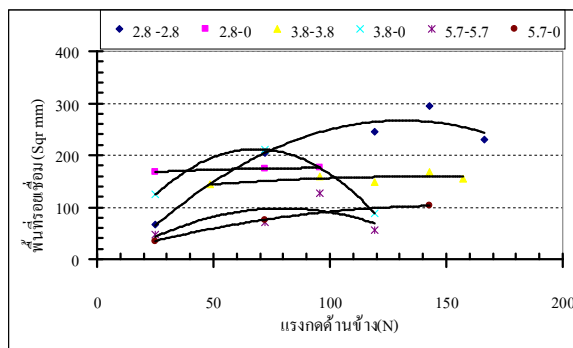
5.7° - 0°

รูปที่ 7 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง ความเร็วรอบ และมุมบากต่าง ๆ

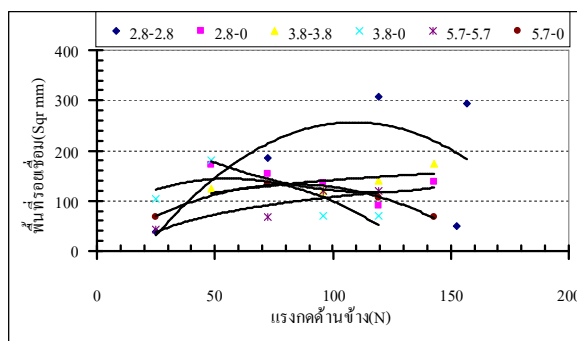
3.2 อิทธิพลของแรงกดด้านข้าง

เมื่อพิจารณาลักษณะกราฟในรูปที่ 7 จะสังเกตเห็นว่า โดยทั่วไปแล้วความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รอยเชื่อมกับแรงกดด้านข้างนั้นจะมีลักษณะเป็น

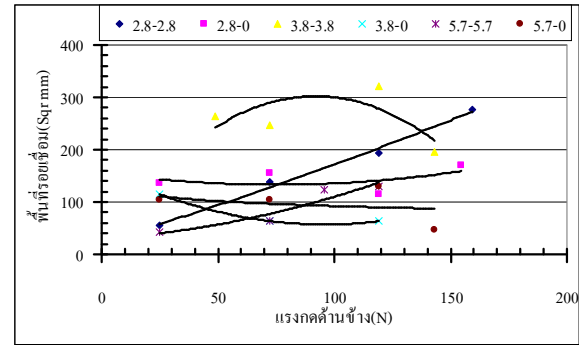
เส้นโค้งแบบพาราโบลา โดยเมื่อแรงกดด้านข้างมีขนาดเล็กเกินไปพื้นที่รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นจะมีจำนวนน้อยซึ่งอาจจะเกิดจากแรงกดน้อยส่งผลให้การเสียดสีระหว่างรอยเชื่อมทำได้ไม่ดีพอ ชิ้นงานจึงไม่สามารถเชื่อมติดกันได้ ในทางตรงกันข้าม เมื่อแรงกดด้านข้างมีขนาดมากเกินไป พื้นที่รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นก็น้อยเช่นเดียวกัน ซึ่งสาเหตุของปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากเมื่อแรงกดด้านข้างมากเกินไป แรงกดดังกล่าวจะไปกดลิดไม่ให้ชิ้นงานเคลื่อนที่จึงเกิดการสั่น เสียดสีกันน้อย ส่งผลให้พื้นที่ รอยเชื่อมเกิดเพียงเล็กน้อย ดังนั้นในการกำหนดแรงกดด้านข้างจึงควรกำหนดให้มีขนาดไม่มากไม่น้อย เพื่อให้ได้รอยเชื่อมมีพื้นที่มากที่สุด ในกรณีที่ศึกษาพบว่าโดยส่วนใหญ่แรงกดด้านข้างระหว่าง 60-120 N จะให้รอยเชื่อมที่มีพื้นที่มาก



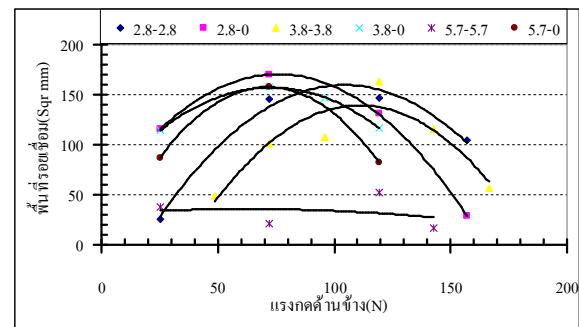
25 rpm



45 rpm



67 rpm



100 rpm

รูปที่ 8 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง และความเร็วรอบ 25 45 67 และ 100 rpm

3.3 อิทธิพลของมุมปากของท่อเชื่อม

ในการพิจารณาอิทธิพลของมุมปาก เมื่อพิจารณาในแง่ของพื้นที่รอยเชื่อม หากพิจารณาเฉพาะช่วงของแรงกดที่สร้างรอยเชื่อมสูงจะพบว่า โดยทั่วไปกรณีที่ใช้มุมปากเท่ากันทั้งสองด้าน ($2.8^\circ-2.8^\circ$, $3.8^\circ-3.8^\circ$ และ $5.7^\circ-5.7^\circ$ บางกรณี) นั้นจะให้พื้นที่รอยเชื่อมที่มากกว่ากรณีที่ใช้มุมปากด้านเดียว ($2.8^\circ-0^\circ$, $3.8^\circ-0^\circ$ และ $5.7^\circ-0^\circ$ บางกรณี) ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นเกิดการกระจายในแนวกว้าง เนื่องจากพื้นที่สัมผัสของท่อมีมากได้อธิบายมาแล้ว อย่างไรก็ตามเพื่อให้เห็นคุณภาพของรอยเชื่อมในอีกแง่มุมหนึ่งคือ เมื่อพิจารณาในแง่ความต่อเนื่องของรอยเชื่อม โดยความต่อเนื่องของรอยเชื่อม หมายถึง ลักษณะรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเส้นต่อเนื่องไม่มีรอยขาด ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 6 ความไม่ต่อเนื่องของรอยเชื่อมคือ รอยเชื่อมมีรอยขาด ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 5 เพื่อให้เห็นว่าอิทธิพลของ

มุมบากมีผลต่อลักษณะของรอยเชื่อมอย่างไร จึงได้ทำการแยกจำนวนของรอยเชื่อมที่ต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง กรณีเชื่อมด้วยมุมบากต่าง ๆ กัน ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าเมื่อเชื่อมท่อโดยทำการบากมุมเพียงด้านเดียวนั้น มีแนวโน้มที่จะให้รอยเชื่อมที่ต่อเนื่องได้มากกว่า เนื่องจากการบากมุมเพียงด้านเดียวนั้น ท่อจะสัมผัสกันในบริเวณหน้าตัดของท่อที่มีมุม 0° เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2(a) ทำให้บริเวณสัมผัสมีลักษณะแคบ และแน่น สร้างรอยเชื่อมได้ดี รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นเป็นเส้นไม่กระจายตัว ดังได้อธิบายมาแล้ว

ตารางที่ 2 จำนวนรอยเชื่อมทั้งแบบที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องเมื่อเชื่อมด้วยมุมต่าง ๆ

ชนิด	มุมของ ชิ้นงาน (θ)	รอยเชื่อม ต่อเนื่อง (%)	รอยเชื่อมไม่ ต่อเนื่อง (%)
มุมบาก ท่อทั้ง สอง ด้าน	2.8° - 2.8°	37.50	62.50
	3.8° - 3.8°	38.46	61.54
	5.7° - 5.7°	9.30	90.70
มุมบาก ท่อหนึ่ง ด้าน	2.8° - 0°	65.62	34.38
	3.8° - 0°	48.28	51.72
	5.7° - 0°	25.00	75.00

4 สรุป

ผลจากการเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกน ที่ความถี่ 28 kHz ความเร็วรอบ 25, 45, 67 และ 100 rpm ภายใต้ช่วงแรงกดด้านข้างที่ 20-180 N และมุมของชิ้นงานที่มีมุมบากทั้งสองข้าง (2.8° - 2.8° , 3.8° - 3.8° , 5.7° - 5.7°) และมุมบากด้านเดียว (2.8° - 0° , 3.8° - 0° , 5.7° - 0°) จะเห็นว่ารอยเชื่อมที่ได้อาจแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ รอยเชื่อมในลักษณะที่กระจายตัวกว้างออกไปเป็นหลายแถว (2-3 แถว) ไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งลักษณะของรอยเชื่อมแบบนี้จะพบในกรณีของชิ้นงานมีการบากมุมทั้งสองด้าน และรอยเชื่อมอีกลักษณะที่

พบเป็นรอยเชื่อมที่มีลักษณะเป็นเส้นเดี่ยวชัดเจน รอยเชื่อมแบบนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ท่อมีการบากเพียงด้านเดียว รวมถึงอิทธิพลของ แรงกด และความเร็วรอบต่างก็ส่งผลต่อรอยเชื่อมที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจจะมีตัวแปรอื่นๆ อีก เช่น ความถี่ที่ใช้ในการเชื่อม ที่จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม

5 เอกสารอ้างอิง

- [1]Shin-ichi Matsuoka,1998. Ultrasonic welding of ceramics/metals using inserts. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 75, pp. 259 - 265.
- [2] Mitsuo Iijima, and Yuji Watanabe ,2003. Joining process of ultrasonic ceramic joining. The japan society of applied physics, Vol. 42, No. 5B, pp. 2986 - 2989.
- [3]Jiromaru Tsujino, Tsutomu Sano, Hayato Ogata, Soichi Tanaka, Yoshiki Harada,2002. Complex vibration ultrasonic welding systems with large area welding tips. Ultrasonics, Vol. 40, pp. 361 - 364.
- [4]Jiromaru Tsujino, Misugi Hongoh, Ryoko Tanaka, Rie Onoguchi, Tetsugi Ueoka, 2002. Ultrasonic plastic welding using fundamental and higher resonance frequencies. Ultrasonics, Vol. 40, pp. 375 - 378.
- [5]Yuji Watanabe ,Yukihiro Shijo, 1999. Large-Scale ultrasonic joining tool for joining plastic sheets using a rectangular plate face vibrating in In-Plane-Mode. pn. J. Appl. Phys, vol. 38, pp. 5297 - 5300.
- [6] Shih-Fu Ling, Jingen Luan, Xiangchao Li, Wendy Lee Yong Ang, 2005. Input electrical impedance as signature for nondestructive evaluation of weld quality during ultrasonic welding of plastics. NDT&E International, pp. 1 - 6.

- [7] Jiromaru Tsujino, Tetsugi Ueoka, Koichi Hasegawa, Yuki Fujita, Toshiyuki Shiraki, Takaaki Okada, Toshiki Tamura, 1996. New methods of ultrasonic welding of metal and plastic materials. Ultrasonics, Vol. 34, pp. 177 - 185.
- [8] Jiromaru Tsujino, Misugi Hongoh, Masafumi Yoshikuni, Hidekazu Hashii, 2004. Welding characteristics of 27,40 and 67 kHz ultrasonic plastic welding systems using fundamental-and higher-resonance frequencies. Ultrasonic vol. 42, pp. 131 - 137.
- [9] Naoyuki Okamura, and Yuji Watanabe, 1999. Ultrasonic joining of Si_3N_4 plates at 19 kHz using Al, Cu and Ni plates as insert metal. Japan society of applied physics, Vol. 38, No. 10, pp. 6166 - 6169.
- [10] T. Matusinovic, S. Kurajica, J. Sipusic, 2004. The correlation between compressive strength and ultrasonic parameters of calcium aluminate cement materials. Cement and Concrete Research. Vol. 34, pp 1451 - 1457
- [11] A. Brodyanski, C. Born, M. Kopnarski, 2005. NM-scale resolution studies of the bond interface between ultrasonically welded Al-alloys by an analytical TEM: a path to comprehend bonding phenomena. Applied Surface Science.
- [12] Wojciech Wieleba, 2005. The role of internal friction in the process of energy dissipation during PTFE composite sliding against steel. Wear, Vol. 258, pp. 870 - 876.