

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการประยุกต์ใช้อุลตร้าโซนิกในการเชื่อมท่อพลาสติกกลม (Ultrasonic Joining of Round Plastic Pipes)

คณะผู้วิจัย

สังกัด

ผศ.ดร.ชวัลิต ถินวงศ์พิทักษ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

โครงการนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ประจำปีงบประมาณ 2551

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยการให้ความร่วมมือ การสนับสนุน และความอนุเคราะห์จากบุคลากรหลายฝ่าย และหน่วยงานหลายองค์กร ซึ่งคณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ดังนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคลากรประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ให้ คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำงาน และร่วมแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ Professor Yuji Watanabe จาก Department of Electronics and Computer Systems, Faculty of Engineering, Takushoku University ประเทศญี่ปุ่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ เครื่องมือ และอนุญาตให้เข้าใช้อุปกรณ์ต่างๆ ที่ Watanabe Lab, Takushoku University เพื่อทำการ สอนเทียบเครื่องมือ ตลอดจนข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์อีกมาก

ขอขอบคุณผู้วิจัยทุกท่านที่ทุ่มเททำงานวิจัยอย่างเต็มที่ แม้ว่าบางท่านไม่ได้มีชื่อใน ข้อเสนอตาม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นายอดิศักดิ์ บุตรวงศ์ ที่ได้ทำงานในรายละเอียดจำนวนมาก และ ท้ายที่สุดขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ ทุนในการศึกษาวิจัยนี้

คณะผู้วิจัย

พฤษภาคม 2554

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาวิธีการนำระบบอุลตร้าโซนิกมาใช้ร่วมกับพลาสติกกลม โดยได้พัฒนาเครื่องซ่อนหัวที่ทำจากพลาสติกกลมด้วยอุลตร้าโซนิกขึ้นมาให้ใช้กับหัวซ่อนสองแบบ คือ แบบหัวซ่อนครึ่งวงกลมและแบบหัวซ่อนในแนวแกนเพื่อใช้ในการทดลองกับหัวพลาสติกกลม (PMMA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 mm หนา 2 mm มีนูนบากของหัวอย่างเดียว ได้แก่ 5.7° , 3.8° , 2.8° และ 0° เพื่อให้สามารถซ่อนหัวได้ ใช้ความถี่ในการซ่อนที่ 28 kHz สำหรับหัวซ่อนแบบครึ่งวงกลมใช้หัวซ่อนครึ่งวงกลมในโหมดการสั่นที่ 1-3 เวลาซ่อน 5-10 วินาที ส่วนหัวซ่อนในแนวแกน มีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านล่างเล็ก 12 mm เส้นผ่าศูนย์กลางด้านใหญ่ 25 mm ความยาว 98 mm ปลายหัวซ่อนเป็นสี่เหลี่ยมขนาดหน้าตัด $6 \times 10 \text{ mm}^2$ เซื่อมชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 25 rpm 45 rpm 67 rpm และ 100 rpm โดยการซ่อนทั้งสองแบบมีแรงกดด้านข้างช่วยเสริมให้เกิดแนวซ่อน ผลการศึกษาพบว่าการประยุกต์ใช้อุลตร้าโซนิกในการซ่อนหัวพลาสติกกลมนี้สามารถสร้างรอบหัวซ่อนได้ และที่ตำแหน่งจุดซ่อนนั้นพลาสติกจะเกิดการหลอมละลายเป็นเนื้อดีயวกัน

ผลการทดลองพบว่าในการซ่อนด้วยเครื่องซ่อนหัวซ่อนครึ่งวงกลม ส่วนใหญ่หัวพลาสติกสามารถซ่อนติดกันได้ ไม่ว่าจะมีนูนบากสองด้าน (2.8° - 2.8° , 3.8° - 3.8° , 5.7° - 5.7°) หรือมีนูนบากด้านเดียว (2.8° - 0° , 3.8° - 0° , 5.7° - 0°) ซึ่งรอยซ่อนที่เกิดขึ้นมีลักษณะใส และเป็นจุดกระจายตัวไปโดยรอบหัว หรือเป็นจุดตามโหมดการสั่นของหัวซ่อน ส่วนพื้นที่ที่ไม่เกิดรอยซ่อน จะมีลักษณะขุ่น เนื่องจากเป็นลักษณะเดิมของหัวที่ผ่านการกลึงบากมาก่อนการซ่อน นอกจากนี้การศึกษานี้ยังได้ทำการสร้างกราฟเพื่อช่วยออกแบบหัวซ่อนครึ่งวงกลม ซึ่งกราฟดังกล่าวสามารถใช้ออกแบบขนาดของหัวซ่อนตามโหมดการสั่นที่ต้องการ ตั้งแต่โหมดที่ 1-6 และตามขนาดของหัวที่ต้องการซ่อน โดยกราฟดังกล่าวได้รับการสอนเทียบความถูกต้องกับการทดลองที่โหมดการสั่นต่างๆ และความถี่ต่างๆ จากห้องปฏิบัติการของ Department of Electronics and Computer Systems, Faculty of Engineering, Takushoku University, Japan

ส่วนผลการศึกษาการซ่อนโดยใช้เครื่องซ่อนหัวซ่อนในแนวแกน พบว่าในกรณีของชิ้นงานที่มีนูนบากทั้งสองข้าง (2.8° - 2.8° , 3.8° - 3.8° , 5.7° - 5.7°) และนูนบากด้านเดียว (2.8° - 0° , 3.8° - 0° , 5.7° - 0°) จะสังเกตเห็นพื้นที่ที่พลาสติกซ่อนติดกัน ซึ่งจะมีลักษณะใส และเป็นเส้นกระเจยตัวไปโดยรอบหัว ส่วนพื้นที่ที่ไม่เกิดรอยซ่อน จะมีลักษณะขุ่น เนื่องจากเป็นลักษณะเดิมของหัวที่ผ่านการกลึงบากมาก่อนการซ่อน รอยซ่อนที่ได้อาจแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ รอยซ่อนในลักษณะที่กระจายตัวกว้างออกไปเป็นหลายแฉว ($2-3$ แฉว) ในแต่ละแฉวยังซ่อนนักเกิดในลักษณะเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งลักษณะของรอยซ่อนแบบนี้จะพบรูปในกรณีของชิ้นงานมีการบากนูนทั้งสองด้าน รอย

เชื่อมในลักษณะนี้เกิดจากหน้าสัมผัสของท่อที่เชื่อมมีการบากให้มุนเท่ากันจึงสัมผัสถันในพื้นที่กว้าง เมื่อทำการเชื่อมจึงเกิดการสั่นกระขายในแนวกว้างด้วยจึงสร้างรอยเชื่อมที่กระขายตัวไปได้ดี รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นจึงมีลักษณะเป็นจุดไม่ต่อเนื่อง ส่วนรอยเชื่อมอีกลักษณะที่พบเป็นรอยเชื่อมที่มีลักษณะเป็นเส้นเดียวชัดเจน รอยเชื่อมแบบนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ห้องมีการบากเพียงด้านเดียว ซึ่งสาเหตุของการเกิดรอยเชื่อมในลักษณะนี้อาจเกิดจากการณีการบากท่อเพียงด้านเดียวที่นั่น จุดสัมผัสระหว่างผิวท่อจะสัมผัสถันตลอดเส้นรอบวงของชิ้นงานที่ไม่ได้บากมุน ดังนั้นมือเกิดการสั่นจุดสัมผัสนี้จะสร้างรอยเชื่อมได้ดีและต่อเนื่องจึงเกิดรอยเชื่อมที่ใหญ่และต่อเนื่องรอบวง

นอกจากนี้มือพิจารณาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อรอยเชื่อมจะได้ผลดังนี้ อิทธิพลของแรงกดด้านข้าง ซึ่งผลการทดลองพบว่าช่วงแรงกดด้านข้างที่อยู่ในช่วงที่ชิ้นงานยังสามารถเคลื่อนที่ได้ คือไม่เกิน 150 N ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมุนของชิ้นงานด้วย โดยเมื่อพิจารณาอิทธิพลของมุนหากชิ้นงานพบว่ารอบรอยเชื่อมในกรณีมุนบางทั้งสองด้านเกิดรอยเชื่อมกระขายเป็นจุดรอบท่อ เนื่องมาจากหน้าสัมผัสดังของพื้นการเชื่อมมีมาก ส่วนกรณีมุนบางด้านเดียวหน้าสัมผัสดังของพื้นที่น้อยจึงเกิดรอยเชื่อมแบบเส้นเดียว แต่ต่อเนื่อง และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็วรอบในการเชื่อมโดยใช้กับหัวเชื่อมในแนวแกน และพิจารณาเฉพาะช่วงแรงกดที่สร้างพื้นที่รอบรอยเชื่อมได้มาก (ระหว่างประมาณ 60-120 N) จะพบว่าในกรณีมุนของท่อ $2.8^\circ - 2.8^\circ$, $3.8^\circ - 3.8^\circ$ และ $5.7^\circ - 5.7^\circ$ นั้นมีความเร็วรอบสูงขึ้น พื้นที่รอบรอยเชื่อมจะลดน้อยลงตามลำดับ แต่ในทางตรงกันข้าม ในกรณีของมุน $2.8^\circ - 0^\circ$, $3.8^\circ - 0^\circ$ และ $5.7^\circ - 0^\circ$ กลับพบว่าเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นพื้นที่ของรอบรอยเชื่อมก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

ABSTRACT

This study is aimed to investigate the application of ultrasonic welding to join round plastic pipes. Two types of ultrasonic welding machines were designed and built. One is to be used with semi-circular resonator and another one is to be used with conventional straight resonator. The machines were used to weld round plastic pipes (PMMA) with the diameter of 35 mm and 2 mm thick. The end-angles of tube were varied from 5.7° , 3.8° , 2.8° and 0° . The welding frequency was 28 kHz. For semi-circular resonator, it was designed to operate at vibration modes 1-3 and welding time between 5-10 seconds. For the straight resonator, it was designed to have small diameter of 12 mm, large diameter of 25 mm, 98 mm long and $6 \times 10 \text{ mm}^2$ rectangular end. Welding speeds were varied from 25 rpm, 45 rpm, 67 rpm, and 100 rpm. Both types of machine were designed to have axial force in order to enhance welding area. It was found that the ultrasonic welding machines are able to create the welding zone on plastic pipes. Considering the use of semi-circular resonator to weld round plastic pipes, the majority of pipes can be welded whether the pipes are two-ends angled (2.8° - 2.8° , 3.8° - 3.8° , 5.7° - 5.7°) or one-end angled (2.8° - 0° , 3.8° - 0° , 5.7° - 0°). The welded area was visibly clear and may spread around the pipes or spotted on some restricted area where the resonator vibrates. The un-welded area was unclear which was the original appearance of machined pipes before welded. In addition, the semi-circular resonator design chart was constructed. The chart was able to use for design the resonator with desired vibration mode (between mode 1-6) and desired size of tube. The chart was verified with a series of experimental results from Department of Electronics and Computer Systems, Faculty of Engineering, Takushoku University, Japan.

In case of the straight resonator, for both two-ends angled and one-end angled pipes, the welded area is found to spread around the pipes. In this case, the welding zone may be characterized into 2 types. First is the welding zone which spread widely around the pipes; the welding area may be formed in 2-3 rows discontinuously around the pipes. This type of welding zone was found for two-ends angled pipes. The explanation of this is because the contact angle of this kind of pipes is wide, therefore the welding zone can be spread widely and discontinuously. Another type of welding zone is formed in a thick line shape. This occurs in case of one-end angled pipes. This kind of pipes allow only small and narrow contact angle between the pipes.

Therefore, the welding zone is formed only in the small contact area around the pipes. Consequently, single-thick and continuous line welding zone is achieved.

In addition, some parameter that way influence the welding zone were also investigated. The results are as followed; considering the axial force, it was found that the appropriate axial force should not larger than 150 N, depending on end angle of pipes. It was also found that the two-ends angled usually provide multi-lines discontinuous welding zone. While the one-end angled provides single-line continuous welding zone. Considering the welding speed, in case of straight resonator and take the results from the optimum axial forces only (between 60-120 N), it was found that the welding area is decreased as the welding speed increases for the pipes with angles of $2.8^\circ - 2.8^\circ$, $3.8^\circ - 3.8^\circ$ and $5.7^\circ - 5.7^\circ$. In contrast for the pipes with $2.8^\circ - 0^\circ$, $3.8^\circ - 0^\circ$ and $5.7^\circ - 0^\circ$, it was found that as the welding speed increases, the welding area is also increased.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	ฉ

1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	3
1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักพื้นฐานและการประยุกต์ใช้อุลตร้าโซนิก	6
2.1.1 ความหมายของอุลตร้าโซนิก	6
2.1.2 การประยุกต์ใช้อุลตร้าโซนิก	6
2.2 การเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก	7
2.2.1 การสั่นในแนวแกน	7
2.2.2 การสั่นในแนวรัศมี	7
2.2.3 การสั่นแบบผสม	8
2.2.4 หลักการของการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก	9
2.2.5 ส่วนประกอบหลักของระบบ	9
2.2.5.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่	9
2.2.5.2 ตัวแปลงสัญญาณความถี่	10
2.3 โหมดของการสั่นของหัวเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม	12

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
2.4 การออกแบบหัวเชื่อม	13
2.4.1 หัวเชื่อมครึ่งวงกลม	13
2.4.1 หัวเชื่อมในแนวแกน	16
3 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
3.1 การศึกษาการเชื่อมวัสดุที่เป็นโลหะ	18
3.2 การศึกษาการเชื่อมวัสดุต่างชนิด	20
3.3 การศึกษาการเชื่อมเชรานิคและเกี้ยว	21
3.4 การศึกษาการเชื่อมพลาสติก	21
3.5 การศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาเทคนิคการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก	23
3.5.1 แบบการสั่นในแนวแกน	23
3.5.2 แบบการสั่นสองความถี่	26
3.5.3 การสั่นแบบเชิงซ้อน	26
3.6 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม	29
3.6.1 ความถี่และแอนปลิจูด	29
3.6.2 แรงคด	29
3.6.3 เวลา	30
3.6.4 อุณหภูมิ	30
4 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง	
4.1 แนวคิดจากการทบทวนวรรณกรรม	32
4.2 อุปกรณ์หลัก และหลักการทำงานของเครื่องเชื่อมท่อ	
คัวยอุลตร้าโซนิก	34
4.2.1 Ultrasonic Generator	34
4.2.2 Piezoelectric transducer	35
4.3 เครื่องเชื่อมคัวยอุลตร้าโซนิกที่ใช้ในการทดลอง	36
4.3.1 เครื่องเชื่อมแบบที่ใช้กับหัวเชื่อมครึ่งวงกลม	36
4.3.2 เครื่องเชื่อมแบบที่ใช้กับหัวเชื่อมในแนวแกน	39
4.4 เครื่องมือวัด	41

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
4.4.1 เครื่องวัดระยะ	41
4.4.2 เครื่องวัดความเร็วรอบ	42
4.4.3 การวัดพื้นที่ร่องเชื้อม	43
4.5 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง	43
4.6 วิธีการทดลองและเงื่อนไขในการทดลอง	45
4.6.1 หัวเชื่อมคริ่งวงกลม	45
4.6.2 การเชื่อมในแนวแกน	46
5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
5.1 ผลการคำนวณโดยมีการสั่นด้วย FEA	48
5.2 ผลการเชื่อมท่อพลาสติกกลมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมคริ่งวงกลม50	50
5.2.1 อิทธิพลของแรงกดค้านข้าง	52
5.2.2 อิทธิพลของโหมดการสั่น	52
5.2.3 อิทธิพลของเวลา	52
5.2.4 อิทธิพลของมุนนากรชิ้นงาน	52
5.3 ผลการทดลองเชื่อมท่อพลาสติกกลมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกน	53
5.3.1 อิทธิพลของแรงกดค้านข้าง	69
5.3.2 อิทธิพลของความเร็วรอบในการเชื่อม	69
5.3.3 อิทธิพลของมุนนากรของท่อเชื่อม	70
6 สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุป	72
6.1.1 การเชื่อมแบบหัวเชื่อมคริ่งวงกลม	72
6.1.2 การเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกน	73
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	75

สารบัญ (ต่อ)**หน้า****ภาคผนวก**

ก ข้อมูลในการออกแบบหัวเข็มในแนวแกน	80
ข ผลงานตีพิมพ์เนื่องจากงานวิจัยนี้ (ฉบับเต็ม)	84

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ขนาดและจำนวนชิ้นงานทดลองที่ใช้ทั้งหมด	45
4.2 เงื่อนไขและกรณีการทดลองของหัวเชื่อมครึ่งวงกลม	46
4.3 เงื่อนไขและกรณีการทดลองของหัวเชื่อมในแนวแกน	47
5.1 จำนวนรอยเชื่อมทั้งแบบที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องเมื่อเชื่อมด้วยบุนต่างๆ	71
ก.1 เวลาในการปรับให้ชิ้นงานหมุนครบ 1 รอบ	81
ก.2 ขนาดแย่มปลิจูดของการสั่นสำหรับวัสดุต่างๆ	81
ก.3 ประมาณค่าความเร็วสีบิ่งที่เกิดขึ้นในวัสดุชนิดต่างๆ	82

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 หลักการทำงานของหัวเชื่อมแบบการเชื่อมในแนวแกน และเชื่อมในแนวรัศมี	8
2.2 อุปกรณ์ และหลักการทำงานของการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก	9
2.3 การทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (Ultrasonic Generator)	10
2.4 ตัวแปลงสัญญาณ และตัวส่งผ่านการสั่น	10
2.5 หลักการทำงานของเพียงโซโนเล็กทริก	11
2.6 แสดงตัวอย่างการนับโหนดการสั่น	13
2.7 แสดงลักษณะของหัวเชื่อมแบบริ่งวงกลม โดยที่ d = ความหนาของหัวเชื่อม $r = \text{รัศมีเฉลี่ย}$, $r_i = \text{รัศมีนอก}$, $r_o = \text{รัศมีภายใน}$	14
2.8 ขั้นตอนทดสอบค่าคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ทำหัวเชื่อม	15
2.9 การทดสอบคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ทำหัวเชื่อม	15
2.10 หัวเชื่อมแบบ Step และ Conical	16
3.1 ภาพตัดแนวของรอยเชื่อม Al กับ SiO_2 โดยทองแดง (Cu) เป็นตัวประธาน	20
3.2 รอยเชื่อมพลาสติกที่เพิ่มความถี่หลายค่า	23
3.3 ลักษณะเครื่องเชื่อมที่ใช้การสั่นในแนวแกน	24
3.4 ลักษณะเครื่องเชื่อมที่ใช้การสั่นในแนวแกน	24
3.5 ลักษณะเครื่องเชื่อมที่ใช้การสั่นในแนวแกน	25
3.6 ลักษณะเครื่องเชื่อมที่ใช้การสั่นในแนวแกน	25
3.7 เครื่องเชื่อมแบบสองความถี่	26
3.8 ภาพส่วนประกอบของการสั่นแบบเชิงช้อน	27
3.9 ลักษณะของ Slit ในตัว Transducer	27
3.10 เครื่องเชื่อมแบบการสั่นเชิงช้อนหัวเชื่อมเป็นแผ่นกลม	28
3.11 รอยเชื่อมของการสั่นแบบเชิงช้อน	28
3.12 การเชื่อมแบบต่อชน	29
4.1 หัวเชื่อมริ่งวงกลมเพื่อเปลี่ยนการสั่นแนวแกนให้เป็นแนวรัศมี	32
4.2 หลักการทำงานของการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกแบบหัวเชื่อมริ่งวงกลม	33
4.3 หลักการทำงานของการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกแบบหัวเชื่อมในแนวแกน	34
4.4 Ultrasonic Generator	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.5 Piezoelectric Transducer	35
4.6 เครื่องที่ใช้กับหัวเชื่อมครึ่งวงกลม	36
4.7 ชุดทดลองที่ใช้กับหัวเชื่อมครึ่งวงกลม	37
4.8 ตัวอย่างหัวเชื่อมครึ่งวงกลมที่ใช้ในการเชื่อม	38
4.9 เครื่องเชื่อมที่ใช้กับหัวเชื่อมในแนวแกน	39
4.10 ชุดทดลองที่ใช้กับหัวเชื่อมในแนวแกน	39
4.11 เครื่องแปลงสัญญาณ	40
4.12 หัวเชื่อมในแนวแกน	41
4.13 เครื่องมือวัดระยะ (เวอร์เนีย)	42
4.14 เครื่องวัดความเร็วรอบ	42
4.15 ตัวอย่างรอยเชื่อมที่ลอกลายและสแกนก่อนการวิเคราะห์ กว้าง	43
4.16 ตัวอย่างแบบชิ้นงานที่มีมุมด้านนอกและมุมด้านในเท่ากัน	44
4.17 ตัวอย่างชิ้นงานมุมด้านใน 2.8° และมุมด้านนอก 0°	44
4.18 การวางแผนชิ้นงานกรณีเครื่องแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม	46
4.19 ลักษณะการวางแผนชิ้นงานกรณีเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกน	47
5.1 ตัวอย่างของการสั่นของหัวเชื่อมและค่าความถี่ในโหมดที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ของหัวเชื่อมที่มีขนาด $r = 26.7 \text{ mm}$ $r = 29.7 \text{ mm}$.	49
5.2 กราฟช่วงยอดแบบหัวเชื่อมอุตสาหะชนิดแบบครึ่งวงกลม	50
5.3 ตัวอย่างรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมครึ่งวงกลมและลักษณะรอยเชื่อม โดยรอบท่อของการเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม	51
5.4 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อม ในแนวแกนมุม 2.8° กับ 2.8° ที่ความเร็วรอบต่างกัน	54
5.5 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อม ในแนวแกนมุม 2.8° กับ 0° ที่ความเร็วรอบต่างกัน	55
5.6 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อม ในแนวแกนมุม 3.8° กับ 3.8° ที่ความเร็วรอบต่างกัน	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.7 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อม ในแนวแกนมุม 3.8° กับ 0° ที่ความเร็ว rob ต่างกัน	57
5.8 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อม ในแนวแกนมุม 5.7° กับ 5.7° ที่ความเร็ว rob ต่างกัน	58
5.9 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อม ในแนวแกนมุม 5.7° กับ 0° ที่ความเร็ว rob ต่างกัน	59
5.10 ลักษณะรอยสัมผัสของหัวเชื่อมกรณีหากหัวเพียงด้านเดียว และสองด้าน	60
5.11 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกน โดยรอบหัวมุม 2.8° กับ 2.8° ที่ความเร็ว rob ต่างกัน	61
5.12 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกน โดยรอบหัวมุม 2.8° กับ 0° ที่ความเร็ว rob ต่างกัน	61
5.13 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกน โดยรอบหัวมุม 3.8° กับ 3.8° ที่ความเร็ว rob ต่างกัน	62
5.14 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกน โดยรอบหัวมุม 3.8° กับ 0° ที่ความเร็ว rob ต่างกัน	62
5.15 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกน โดยรอบหัวมุม 5.7° กับ 5.7° ที่ความเร็ว rob ต่างกัน	63
5.16 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกน โดยรอบหัวมุม 5.7° กับ 0° ที่ความเร็ว rob ต่างกัน	63
5.17 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง และความเร็ว rob ต่างๆ กรณีของชิ้นงาน หากมุมหักสองด้านที่ $2.8^\circ - 2.8^\circ$	64
5.18 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง และความเร็ว rob ต่างๆ กรณีของชิ้นงาน หากมุมหักสองด้านที่ $2.8^\circ - 0^\circ$	65
5.19 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง และความเร็ว rob ต่างๆ กรณีของชิ้นงาน หากมุมหักสองด้านที่ $3.8^\circ - 3.8^\circ$	65
5.20 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง และความเร็ว rob ต่างๆ กรณีของชิ้นงาน หากมุมหักสองด้านที่ $3.8^\circ - 0^\circ$	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.21 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดค้านข้าง และความเร็วรอบต่างๆ กรณีของชิ้นงาน หากนูมทั้งสองด้านที่ $5.7^\circ - 5.7^\circ$	66
5.22 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดค้านข้าง และความเร็วรอบต่างๆ กรณีของชิ้นงาน หากนูมทั้งสองด้านที่ $5.7^\circ - 0^\circ$	67
5.23 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดค้านข้าง และความเร็วรอบ 25 rpm	67
5.24 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดค้านข้าง และความเร็วรอบ 45 rpm	68
5.25 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดค้านข้าง และความเร็วรอบ 67 rpm	68
5.26 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดค้านข้าง และความเร็วรอบ 100 rpm	69
ก.1 กราฟประมาณความยาวของหัวเชื่อมแบบ Step	82
ก.2 กราฟประมาณความยาวของหัวเชื่อมแบบ Conical	83

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ท่อพลาสติก ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานวิศวกรรม เช่น ระบบท่อส่งของเหลว น้ำ หรือแก๊ส โดยท่อที่นำมาใช้งานนั้น จำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อ เพื่อให้ได้ระบบทางตามที่ต้องการ ซึ่ง การเชื่อมต่อท่อพลาสติกในปัจจุบัน ทำได้หลายวิธี เช่น การเชื่อมต่อโดยใช้กาวหรือตัวประสาน การเชื่อมต่อโดยการใช้ความร้อน เป็นต้น

สำหรับเทคโนโลยีการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้ในการเชื่อมพลาสติกได้ โดยคุณลักษณะของการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกคือ ใช้เวลาและพลังงานในการเชื่อมน้อย ได้ร้อยเชื่อมที่มีคุณภาพสูง ไม่มีมลพิษและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ลักษณะของรอยเชื่อมพลาสติกที่เกิดจากการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกนั้น ตรงจุดเชื่อมจะหลอมละลายเข้าด้วยกันคล้ายกับการเชื่อมเหล็กด้วยไฟฟ้า จึงทำให้รอยเชื่อมมีคุณภาพดี เมื่อเทียบขนาดพื้นที่รอยเชื่อมต่อกว้างและเรียบ อย่างไรก็ตามกระบวนการเชื่อมอุลตร้าโซนิก ยังมีข้อจำกัดเรื่องขนาดของรอยเชื่อมที่มีขนาดเล็ก อุปกรณ์ที่ใช้มีราคาแพง ไม่สามารถเชื่อมชิ้นงานที่มีความหนามากได้ นอกจากนี้ ยังไม่พบว่าสามารถใช้ในการเชื่อมชิ้นงานโลหะได้

การศึกษาวิจัยนี้มุ่งทำการศึกษา และพัฒนาเทคนิคการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก โดยมีวัตถุประสงค์หลักให้สามารถนำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับการเชื่อมชิ้นงานที่มีลักษณะผิวโลหะ เช่น ท่อ หรือส่วนโลหะอื่น ๆ โดยในงานวิจัยนี้ แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ใช้การสั่นแนวรัศมี โดยชิ้นงานไม่มีการเคลื่อนที่ และการสั่นในแนวแกน โดยให้ชิ้นงานมีการเคลื่อนที่หมุนรอบแกนที่ตั้งจากกับแนวการสั่น ทั้งนี้ที่ผ่านมาได้มีการประยุกต์ใช้อุลตร้าโซนิกในการเชื่อมวัสดุอื่น ๆ มาแล้ว แต่ยังไม่มีการศึกษาการเชื่อมชิ้นงานที่มีผิวโลหะ หากมีการศึกษาพัฒนาวิธีการให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้ จะเป็นแนวทางการพัฒนาให้สามารถเชื่อมชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ และเป็นทางเลือกในการนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมบางประเภท หรืองานเชื่อมเฉพาะทางได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสร้างเครื่องเชื่อมห่อพลาสติกด้วยอุลตร้าโซนิก ต้นแบบ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเชื่อมห่อพลาสติกด้วยอุลตร้าโซนิก
- 1.2.3 เพื่อศึกษาคุณภาพรอยเชื่อมของห่อพลาสติกที่เชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อให้การทำงานวิจัยนี้สอดคล้องกับขอบเขตและบรร กรอบวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้ งานวิจัยนี้จึงแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การออกแบบและสร้างเครื่องเชื่อมห่อพลาสติกด้วยอุลตร้าโซนิก และส่วนที่ 2 คือการทดลอง โดยมีขอบเขตงานในแต่ละส่วนดังนี้

1.3.1 สร้างเครื่องเชื่อมห่อด้วยอุลตร้าโซนิกต้นแบบ ที่สามารถทำงานได้ทั้งการเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม และแบบหัวเชื่อมในแนวแกน

1.3.1.1 แบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม ใช้กับหัวเชื่อมครึ่งวงกลม ที่มีขนาดรัศมีความโค้ง เท่ากับรัศมีความโค้งของชิ้นงาน ขนาดของหัวเชื่อมครึ่งวงกลมนี้อยู่กับการออกแบบและการใช้งาน สามารถเปลี่ยนหัวเชื่อมได้เมื่อชิ้นงานมีขนาดที่เปลี่ยนไป โดยการออกแบบหัวเชื่อมใหม่ทุกครั้ง เครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม เชื่อมชิ้นงานโดยการวางหัวเชื่อมตรงบริเวณที่ต้องการเชื่อม ให้ผิวของหัวเชื่อมสัมผัสนับผิวของชิ้นงาน รอยเชื่อมจะเกิดโดยรอบผิวโถงที่หัวเชื่อมสัมผัส หรือโดยรอบห่อ

1.3.1.2 แบบหัวเชื่อมในแนวแกน เป็นลักษณะของหัวเชื่อมทั่วไป ซึ่งจะสร้างรอบหัวเชื่อมตรงบริเวณที่หัวเชื่อมสัมผัสนับชิ้นงานเข่นกัน แต่ชิ้นงานที่ใช้เป็นลักษณะผิวโถง หรือเป็นห่อพลาสติก จึงต้องมีตัวขับให้ชิ้นงานหมุนเพื่อให้เกิดรอบหัวเชื่อมรอบผิวโถง หรือห่อพลาสติกนั้น ๆ ตัวขับที่ใช้เป็นลูกกลิ้ง มีมอเตอร์เป็นตันกำลัง ทำให้สามารถเชื่อมห่อได้โดยรอบ

1.3.2 ใน การทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ หรือความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้การเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกในการเชื่อมชิ้นงานที่เป็นผิวโถง หรือห่อพลาสติกนั้น ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษา และตัวแปรต่าง ๆ มีข้อจำกัดดังนี้

1.3.2.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นห่อพลาสติกประเภท Acrylic (PMMA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 mm. หนา 2 mm. มีความโปร่งใส่ เพื่อให้สามารถสังเกตเห็นรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน

1.3.2.2 ความถี่ที่ใช้ในการทดลองทั้งกรณีแบบหัวเขื่อมครึ่งวงกลมและแบบหัวเขื่อมในแนวแกน ใช้งานที่ความถี่ 28 kHz เนื่องจากขีดความสามารถเครื่องกำเนิดความถี่กำเนิดความถี่ได้ค่าเพียงค่าเดียว

1.3.2.3 โหมดการสั่นของหัวเขื่อมแบบหัวเขื่อมครึ่งวงกลมที่ใช้ในการทดลองไม่เกินโหมดที่ 3 เนื่องจากเครื่องกำเนิดความถี่ไม่สามารถสร้างความถี่ได้นากขึ้น หากใช้โหมดการสั่นที่สูงขึ้นไปมากกว่านี้

ทั้งนี้ในกรณีเครื่องเขื่อมแบบหัวเขื่อมครึ่งวงกลมนิการทดสอบ และสอบเทียบการทำงานที่ความถี่ต่างๆ และโหมดการสั่นต่างๆ เพื่อสร้างกราฟในการช่วยออกแบบหัวเขื่อมในกรณีที่ท่อมีขนาดเปลี่ยนไป

1.3.2.4 ระยะเวลาในการเขื่อม

1) กรณีแบบหัวเขื่อมครึ่งวงกลม ระยะเวลาในการเขื่อมกรณีแบบหัวเขื่อมครึ่งวงกลมจะต้องให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดรอยเขื่อมได้นากที่สุด

2) กรณีแบบหัวเขื่อมในแนวแกน ระยะเวลาในการเขื่อมขึ้นอยู่ที่ความเร็ว รอบของการเขื่อมเป็นหลัก ต้องกำหนดเวลาให้ชิ้นงานหมุนครบหนึ่งรอบพอดี

1.3.2.5 แรงกดด้านข้างในการทดลองทั้งกรณีแบบหัวเขื่อมครึ่งวงกลมและแบบหัวเขื่อมในแนวแกน กำหนดให้มีค่าระหว่าง 20 N-180 N

1.3.2.6 หมุนบางของหัวทั้งกรณีแบบหัวเขื่อมครึ่งวงกลมและแบบหัวเขื่อมในแนวแกนที่ 0° , 2.8° , 3.8° และ 5.7° เพื่อให้ชิ้นงานสามารถส่วนกันได้ และมีหน้าสัมผัสบริเวณที่จะเกิดรอยเขื่อม

1.3.2.8 ความเร็วรอบของชิ้นงานในกรณีของการเขื่อมด้วยหัวเขื่อมในแนวแกน เพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดรอยเขื่อมได้ดีที่สุด โดยการศึกษานี้ใช้ความเร็วรอบที่ 25 rpm, 45 rpm, 67 rpm และ 100 rpm

1.3.2.8 ตัวชี้วัดที่ใช้เพื่อหาความเหมาะสมของตัวแปร

1) พื้นที่รอยเขื่อมที่เกิดขึ้นเป็นตารางมิลลิเมตร โดยรอบห่อ

2) ความต่อเนื่องของรอยเขื่อม สร้างจากรอยเขื่อมที่เกิดขึ้นเป็นเส้นต่อเนื่องโดยรอบห่อไม่มีการขาดช่วง

1.3.3 การคำนวณโดย FEA (Finite Element Analysis)

1.3.3.1 ทำการคำนวณหาความถี่ และโหมดการสั่นของหัวเขื่อมแบบหัวเขื่อมครึ่งวงกลม เพื่อสร้างกราฟช่วยออกแบบหัวเขื่อมครึ่งวงกลม ให้การออกแบบหัวเขื่อมเร็ว และง่ายขึ้น

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 การศึกษาวารสารทางวิชาการเพิ่มเติม

1.4.1.1 ทำการศึกษาวารสารทางวิชาการทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาข้อมูลเพิ่มเติม และศึกษาแนวคิดของนักวิจัยอื่น ๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

1.4.2 การออกแบบ และสร้างเครื่องชี้อ่อนไหวด้วยอุลตร้าโซนิกต้นแบบ

1.4.2.1 ออกแบบแนวคิด (Conceptual Design) ของเครื่องชี้อ่อนไหวด้วยอุลตร้าโซนิกต้นแบบ

1.4.2.2 ออกแบบรายละเอียดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น Transducer, Resonator อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดต่าง ๆ ในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการคำนวณ

1.4.2.3 สร้างและทดสอบเครื่องชี้อ่อนไหวด้วยอุลตร้าโซนิกต้นแบบ

1.4.3 การคำนวณโดยใช้โปรแกรม Abaqus

1.4.3.1 สร้างแบบจำลองหัวเชื่อม เพื่อศึกษาความถี่ และ荷ะการสั่น ให้เหมาะสม กับขนาดของหัวเชื่อม

1.4.4 การทดลอง

1.4.4.1 ทำการทดลองโดยศึกษาตัวแปรต่างๆ ตามที่เขียนไว้ในขอบเขตของงานวิจัยที่ข้อที่ 1.3 ทั้งนี้จะได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพของรอยเชื่อมที่ได้ด้วย

1.4.5 การวิเคราะห์ผล

1.4.5.1 ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ

1.4.6 การปรับปรุงเครื่องชี้อ่อนไหวด้วยอุลตร้าโซนิกต้นแบบ

1.4.6.1 หลังจากทำการทดลองไปแล้วระยะหนึ่ง จะนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนา ปรับปรุง เครื่องชี้อ่อนไหวด้วยอุลตร้าโซนิก เพื่อให้สามารถใช้งานได้ดีขึ้น

1.4.7 การเผยแพร่ผลการศึกษา ในรูปแบบการประชุมวิชาการ และการตีพิมพ์ในวารสาร ทางวิชาการ

1.4.8 เผยแพร่ผลงานฉบับสมบูรณ์

1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1.5.1 คอมพิวเตอร์ความเร็วสูง และโปรแกรมสำเร็จรูป (Abaqus) ใช้ช่วยออกแบบหัว เชื่อมท่อด้วยอุลตร้าโซนิก

1.5.2 เครื่องเชื่อมห่อด้วยอุลตร้าโซนิกตันแบบ

1.5.3 เครื่องมือวัดต่าง ๆ เช่นเครื่องวัดแรง เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า
อุปกรณ์สร้างความถี่ และอุปกรณ์วัดสัญญาณ เป็นต้น

1.5.4 เครื่องและโปรแกรมวิเคราะห์รูปภาพ (Image Analyzer)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถนำผลการวิจัยไปเผยแพร่ในวารสารวิชาการต่าง ๆ ได้

1.6.2 เป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ทางด้านการประยุกต์ใช้อุลตร้าโซนิก

1.6.3 ได้แนวทางการพัฒนาเครื่องเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกสำหรับการเชื่อมชิ้นงานที่เป็น

ผิวโคลง

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักพื้นฐานและการประยุกต์ใช้อุลตร้าโซนิก

การประยุกต์หลักการทางอุลตร้าโซนิกมาใช้เพื่อการเชื่อมโดยมีการศึกษาอย่างกว้างขวาง ตลอดจนมีการพัฒนาจนกระทิ้งใช้งานได้จริงในหลาย ๆ อุตสาหกรรม การเชื่อมด้วยเทคนิค อุลตร้าโซนิกนั้นมีข้อดีหลายข้อ เช่น ใช้เวลาในการเชื่อมน้อย สามารถเชื่อมวัสดุที่มีจุดหลอมเหลว ต่างกันมาก ๆ ได้ ตลอดจนสามารถเชื่อมวัสดุที่วิธีการเดิมอาจเชื่อมไม่ได้ เช่น เซรามิก แก้ว เป็นต้น โดยทั่วไปการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกนั้น มักเชื่อมด้วยการสั่นในทิศทางตามแนวแกนหรือตาม แนวขวาง และในการศึกษานี้ยังได้ศึกษาการสั่นในแนวรัศมี และหัวเชื่อมครึ่งวงกลมด้วย เพื่อเชื่อม ห่อกลมด้วยอุลตร้าโซนิก ซึ่งการสั่นในรัศมีและในแนวแกน จำเป็นต้องออกแบบลักษณะของหัว เชื่อม (Resonator) ให้มีลักษณะที่เหมาะสม รูปแบบการสั่น (Mode) ต่าง ๆ กัน อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ ใน การเชื่อม จะเป็นระบบที่สามารถใช้งานได้จริง จึงควรรู้ถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นของการ ออกแบบ รวมถึงหลักการปฏิบัติให้ได้งานที่มีคุณภาพ และปลอดภัย

2.1.1 ความหมายของอุลตร้าโซนิก

โดยปกติทุกคนทราบว่าฟังเสียงในช่วงความถี่ 20 Hz – 20 kHz เสียงที่มีความถี่ต่ำหรือ สูงกว่านี้จะไม่ได้ เราเรียกเสียงที่ความถี่สูงกว่า 20 kHz ว่า อุลตร้าโซนิก ซึ่งเป็นเสียงเงยบ และเรียกเสียงที่ความถี่ต่ำกว่า 20 Hz อินฟราโซนิก (Infrasonic) ซึ่งเป็นเสียงเงยบเช่นกัน อุลตร้าโซนิก จึงหมายถึง เสียงที่มีความถี่มากกว่า 20 kHz

2.1.2 การประยุกต์ใช้อุลตร้าโซนิก

ลักษณะพิเศษของคลื่นอุลตร้าโซนิก คือ การมีทิศทางที่แน่นอน ทึ้งนี้เนื่องมาจากการ แผ่คลื่นที่มีความถี่สูง การเลี้ยวเบนก็ยิ่งต่ำ ดังนั้นเราจึงสามารถใช้ อุลตร้าโซนิกส่งไปยังเป้าหมายที่เฉพาะเจาะจงได้ ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งานอุลตร้าโซนิกได้แก่ รีโนทิค กระบวนการคุณด้วยอุลตร้าโซนิก การทำความสะอาดด้วยอุลตร้าโซนิก (Ultrasonic Cleaning) การวัดระยะทางโดยจับเวลาที่ส่งคลื่นไปและกลับ เครื่องตรวจหาตำแหน่งอวบwaveguide ในร่างกาย ซึ่ง ความถี่ที่ใช้งานมากที่สุดคือ 50 kHz เพราะความถี่ที่สูงกว่านี้อากาศจะดูดคลื่นได้มาก เสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรง ของคลื่นเสียงที่ระบบห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ในทางการแพทย์ใช้ความถี่ที่ค่อนข้างสูง คือ

อยู่ในช่วง 1-10 MHz ซึ่งใช้กับตัวกลางที่ไม่ใช้อากาศ นอกจากนี้อุลตร้าโซโนนิกยังใช้กับงานอื่น ๆ เช่น Ultrasonic Cutting, Ultrasonic Machining, Ultrasonic Metal Forming, Ultrasonic Metal Welding, Ultrasonic Sieving, Ultrasonic Sintering Sonochemistry และ Ultrasonic Plastic Welding เป็นต้น

2.2 การเชื่อมด้วยอุลตร้าโซโนนิก

การเชื่อมด้วยอุลตร้าโซโนนิกในการศึกษานี้ใช้การสั่นได้หลายแบบ ที่นิยมใช้ และเห็นได้บ่อย ๆ คือ การสั่นในแนวแกน และการสั่นแบบผสม ในการศึกษานี้จะเพิ่มการสั่นในแนวรัศมี ซึ่งจะมีลักษณะที่เหมือน และข้อแตกต่างกัน

2.2.1 การสั่นในแนวแกน

ลักษณะการสั่นขึ้นลงในคัวทรานส์ดิวเซอร์ตามทิศทางของคัวกำเนิดการสั่น ไม่ว่าจะใช้ความถี่ไหน ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (โดยตัดส่วนของหัวเชื่อมครึ่งวงกลมออก) ลักษณะการสั่นที่ความถี่ต่างๆ นั้น เราจะเรียกว่า โหมดการสั่น การเชื่อมในแนวแกนส่วนมากจะได้ร้อยเชื่อมที่เป็นจุด หากชิ้นงานหรือหัวเชื่อมมีการเคลื่อนที่ก็จะได้ร้อยเชื่อมเป็นเส้น เพราะว่าที่ความถี่หรือโหมดการสั่นใดก็ตาม จะเป็นการยั่งคงที่จุดเชื่อมจุดเดิม ชิ้นงานที่นำมาเชื่อมนั้นจะมีลักษณะเป็นแผ่นเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเราเปลี่ยนชิ้นงานเป็นท่อกลม การเชื่อมแบบจุด หรือการสั่นในแนวแกนจึงไม่สามารถใช้ได้ จึงต้องให้ชิ้นงานมีการเคลื่อนที่

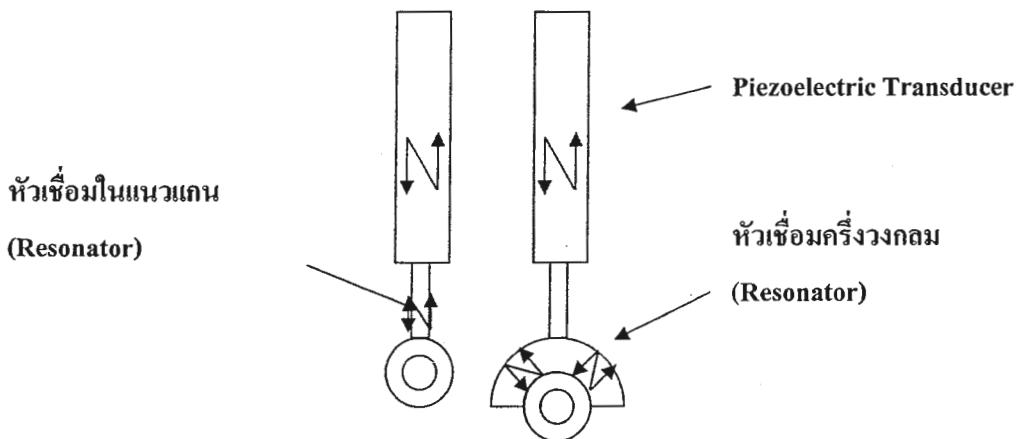
2.2.2 การสั่นในแนวรัศมี

การเชื่อมเพื่อที่จะให้เกิดรอยเชื่อมรอบๆ ท่อกลมนั้น จะต้องการสั่นหลายจุดเพื่อให้ได้ร้อยเชื่อมโดยรอบชิ้นงาน ซึ่งถ้าเป็นการสั่นในแนวแกนจะได้จุดเชื่อมแค่จุดเดียว ดังนั้นการสั่นในแนวรัศมีจึงสำคัญสำหรับการเชื่อมท่อกลม หัวเชื่อมจึงมีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมเพื่อเปลี่ยนการสั่นขึ้นลง เป็นการสั่นหลายๆ จุดรอบชิ้นงานที่เป็นท่อกลม ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (เมื่อเพิ่มส่วนของหัวเชื่อมครึ่งวงกลมเข้าไป) ที่ความถี่ต่างกัน การสั่นก็ต่างกันไป การออกแบบหัวเชื่อมต้องสอนคล้องกับความถี่ที่ใช้เพื่อให้เกิดการสั่นในโหมดที่ต้องการ ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

2.2.3 การสั่นแบบผสม

เป็นการสั่นที่มีมากกว่า 2 แบบ พร้อมกัน อย่างเช่น การสั่นในแนวแกน และการสั่นแบบบิด โดยอาศัยการออกแบบตัวส่งผ่านการสั่น (Transducer) ให้เกิดการสั่นแบบบิดด้วย เป็นต้น

การเชื่อมค่วยอุลตร้าโซนิกนั้นทำได้โดยอาศัยการสั่นของหัวเชื่อม (Resonator) ด้วยความถี่สูงๆ ที่ถูกส่งมาจากต้นกำเนิดการสั่น จะทำให้ผิวสัมผัสของวัสดุเกิดการเสียบสี ก่อให้เกิดความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทาน และเชื่อมติดกันในที่สุด โดยบางครั้งความร้อนอาจจะไม่ถึงจุดหลอมเหลวของชิ้นงานแต่ก็สามารถเชื่อมติดกันได้ ในการศึกษานี้จะใช้วิธีการเชื่อมชิ้นงานในแนวแกนและในแนวรัศมีดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 หลักการทำงานของหัวเชื่อมแบบการเชื่อมในแนวแกน และเชื่อมในแนวรัศมี

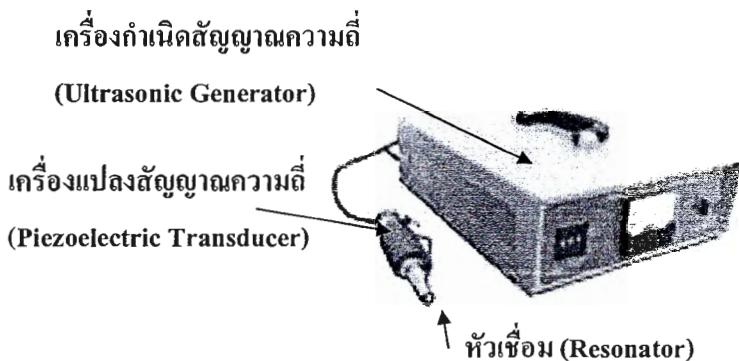
เนื่องจากชิ้นงานที่ใช้ในการเชื่อมเป็นท่อพลาสติกท่อกลม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนทิศทางการสั่นจากการสั่นในแนวแกนเป็นการสั่นในแนวรัศมีโดยอาศัยหัวเชื่อม (Resonator) ลักษณะครึ่งวงกลมดังแสดงในภาพที่ 2.1 ในกรณีของการเชื่อมในแนวแกนจะต้องมีอุปกรณ์เสริมเพื่อให้เกิดร่องเชื่อมโดยรอบ ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

เมื่อการสั่นในแนวแกนที่เกิดขึ้นใน Piezoelectric Transducer ถูกส่งผ่านมาบังหัวเชื่อมแบบครึ่งวงกลม การสั่นในแนวแกนจะถูกเปลี่ยนเป็นรูปการสั่นในแนวรัศมีด้วยหัวเชื่อมครึ่งวงกลมที่ผ่านการออกแบบให้เหมาะสมกับความถี่และโหมดการสั่นนั้น จึงจะสามารถนำไปใช้ในการเชื่อมท่อพลาสติกกลมได้ ส่วนการเชื่อมในแนวแกนก็เป็นการเชื่อมแบบทั่วไป แต่ชิ้นงานจะต้องเคลื่อนที่เพื่อให้เกิดรอยเชื่อมโดยรอบ

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการสั่นในแนวรัศมีนั้นมีโหมดการสั่นໄด້ຫລາຍແບບ ຈາກສິ່ງພລໄທ້ຮອຍເຊື່ອມຂອງແຕ່ລະ ໂພນຄມີລັກຢະໄມ່ເໜື້ອນກັນ ດັ່ງນັ້ນ ກາຣີກໝານີ້ຈຶ່ງເປັນຕົ້ນກີ່ກໍາມາດຫວາໂນດທີ່ໃຫ້ຮອຍເຊື່ອມທີ່ເໝາະສມແລະເປັນໄປໄດ້ນາກທີ່ສຸດດ້ວຍ

2.2.4 ພັດກາຣຂອງກາຣເຊື່ອມດ້ວຍອຸລຕ້າໂໂນດຒກ

ກາຣເຊື່ອມວັດດຸຕ່າງໆ ທີ່ດ້ວຍອຸລຕ້າໂໂນດຒກ ອາສີຍຫລັກກາຣເປີ່ນກາຣສັ້ນທາງກລເປັນຄວາມຮູ້ອນເນື່ອງຈາກແຮງເສີດທານ ໂດຍອຸປະກຳໃນກາຣເຊື່ອມ ຈຶ່ງມີຫວັງເຊື່ອມເປັນດ້ວຍສິ່ງຜ່ານກາຣສັ້ນໃນແນວແກນ ແລະໃນແນວຮົມ ສັນຜັກທີ່ຂຶ້ນງານຕຽບບະວິເວັນທີ່ຕ້ອງກາຣໃຫ້ເກີດພື້ນທີ່ຮອຍເຊື່ອມ ຈຶ່ງຈະມີແຮງດົດ ເວລາ ຄວາມທີ່ ຮ້ອຍດ້ວຍແປຣອຍ່າງອື່ນເປັນດ້ວຍຊ່ວຍໃຫ້ເກີດຮອຍເຊື່ອມດີຂຶ້ນ ດັ່ງກາພທີ່ 2.2 ຈຶ່ງແສດງເກົ່າງກຳນົດສັງຄູາມຄວາມທີ່ຕ່ອເຂົາກັນ ເກົ່າງແປ່ລັງສັງຄູາມຄວາມທີ່ເປັນກາຣສັ້ນ (Piezoelectric Transducer) ແລະຫວັງເຊື່ອມ



ກາພທີ່ 2.2 ອຸປະກຳ ແລະຫລັກກາຣທຳງານຂອງກາຣເຊື່ອມດ້ວຍອຸລຕ້າໂໂນດຒກ

2.2.5 ສ່ວນປະກອບຫລັກຂອງຮະບນ

ສ່ວນປະກອບຂອງເກົ່າງກຳນົດສັງຄູາມຄວາມທີ່ ໄປ ຈາກກາພທີ່ 2.2 ປະກອບດ້ວຍ ເກົ່າງກຳນົດສັງຄູາມຄວາມທີ່ (Ultrasonic Generator) ເກົ່າງແປ່ລັງສັງຄູາມຄວາມທີ່ (Piezoelectric Transducer) ແລະ ຫວັງເຊື່ອມ (Resonator) ມີຫລັກກາຣທຳງານດັ່ງນີ້

2.2.5.1 ເກົ່າງກຳນົດສັງຄູາມຄວາມທີ່ (Ultrasonic Generator)

ທຳນາທີ່ກຳນົດຄວາມທີ່ ແລະຂໍາຍສັງຄູາມຄວາມທີ່ ສ່ວນປະກອບຂອງກາຣເຊື່ອມໄປທີ່ເພີຍໂຊອີເລື້ກທີກ (Piezoelectric) ຈຶ່ງອູ້ໃນເກົ່າງແປ່ລັງສັງຄູາມຄວາມທີ່ (Piezoelectric Transducer) ໂດຍເກົ່າງກຳນົດສັງຄູາມຄວາມທີ່ມີກະບວນກາຣທຳງານດັ່ງກາພທີ່ 2.3

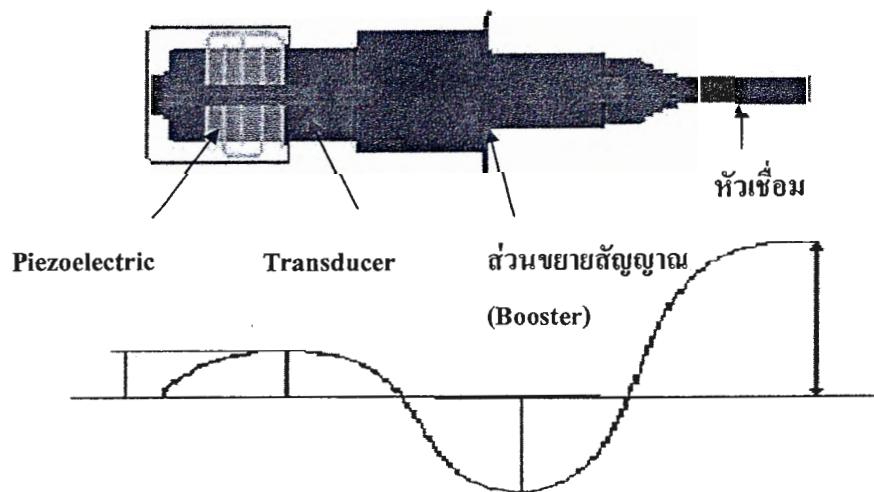


ภาพที่ 2.3 การทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (Ultrasonic Generator)

เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ แยกเป็น 2 ส่วน คือ เครื่องกำเนิดความถี่ (Function Generator) และเครื่องขยายสัญญาณ (Amplifier) ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้สามารถแยกกันได้ หรือ หากรวมอยู่ในชุดเดียวกัน ก็จะเรียกว่า เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (Ultrasonic Generator)

2.2.5.2 เครื่องแปลงสัญญาณความถี่ (Piezoelectric Transducer)

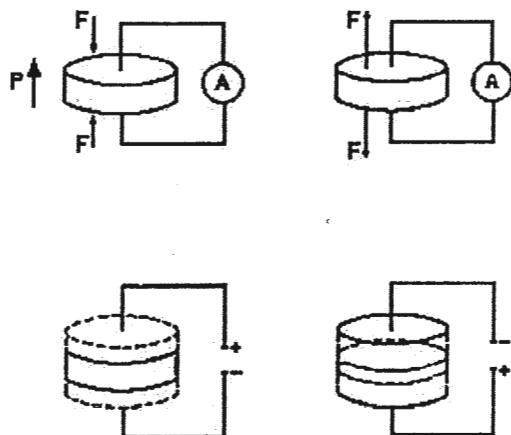
มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน เพียงใด้ลีกทริก (Piezoelectric) และเครื่องขยายสัญญาณดังแสดงในภาพที่ 2.4 เครื่องแปลงสัญญาณความถี่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณความถี่ให้เป็นการสั่น และเครื่องขยายสัญญาณจะขยายและปรับลิขุจดการสั่นให้แรงขึ้น โดยมีหลักการทำงานดังนี้



ภาพที่ 2.4 เครื่องแปลงสัญญาณ และชุดส่งผ่านการสั่น

1) เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric)

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเซรามิกส์ที่ใช้กันอยู่ย่างแพร่หลายสำหรับทำเครื่องมือในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ ทำมาจากสารประกอบ 2 หรือ 3 องค์ประกอบ (Binary and Ternary Systems) ของสารเซรามิกส์ ซึ่งมีตัวที่เป็นส่วนผสมที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งสารที่รู้จักกันดี คือ เลಡเซอร์โตกาโนต ไททาเนต (Lead Zirconate Titanate) หรือเรียกว่า PZT คือ ตัวอย่างของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้



ภาพที่ 2.5 หลักการทำงานของเพียโซอิเล็กทริก

หลักการทำงานของเพียโซอิเล็กทริก ดังแสดงในภาพที่ 2.5 คือ เมื่อวัสดุซึ่งมีหลาย ๆ หน่วยเซลลูกทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิ Curie ในสถานะที่มีสนามไฟฟ้า Dipoles ของ Domains ทั้งหมดจะเรียงตัวกันในทิศทางของสนามไฟฟ้าผลสูตรของ Dipole Moment ของวัสดุนี้จะเท่ากับผลรวมของ Dipole Moment ของแต่ละหน่วยเซลลูล่า�นี้ ทำให้แสดง Dipole Moment ต่อหน่วยปริมาตรที่มีความเข้มสูง และแสดงผลของเพียโซอิเล็กทริก วัสดุที่สามารถแสดงผลของเพียโซอิเล็กทริกจะมีการจัดเรียงตัวของ Dipoles ที่ค้านหนึ่งของวัสดุจะมีประจุบวกและอีกค้านหนึ่งจะมีประจุลบ เมื่อวัสดุถูกกดอัดด้วยแรง แรงกดอัดจะลดระยะห่างระหว่าง Dipoles ซึ่งจะมีผลทำให้ Dipole Moment ของวัสดุทั้งหมดลดลง การเปลี่ยนแปลง Dipole Moment ของวัสดุนี้จะมีผลทำให้ความหนาแน่นของประจุ และความแตกต่างของความต่างศักย์ที่ปลายทั้งสองค้าน เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางตรงกันข้าม ถ้ามีการใส่สนามไฟฟ้าเข้าไปในวัสดุ ความหนาแน่นของประจุที่

ปลายทั้งสองจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้น และมีผลทำให้ขนาดของวัสดุมีขนาดยืดหยุ่นมากขึ้น ตามทิศทางของสนาณไฟฟ้า ด้วยคุณสมบัตินี้เองเราจึงนำเอาเพียงอิเล็กทริกนาใช้ประโยชน์มากน้อย รวมไปถึงทำ Piezoelectric Transducer ที่ใช้ในการเชื่อมด้วย

2) ส่วนขยายสัญญาณ (Booster)

ขนาดของส่วนขยายสัญญาณด้านที่ต่อ กับเครื่องส่งผ่านการสั่นจะมีขนาดใหญ่ และมีขนาดเดียวกันในด้านที่ต่อ กับหัวเชื่อม เพื่อที่จะขยายให้แอนปลิจูดการสั่นแรงขึ้น ก่อนต่อ กับหัวเชื่อม ดังแสดงในภาพที่ 2.4

2.3 โหมดของการสั่นของหัวเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม

ปกติแล้วรอยเชื่อมจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่เกิดการสั่นตามโหมดการสั่นของหัวเชื่อม โดยจะเกิด ณ ตำแหน่งที่เกิดการสั่น หรือจำนวนจุดของการสั่นของหัวเชื่อม ก็คือโหมดของการสั่นนั้นเอง ในกรณีการเชื่อม โดยการสั่นในแนวแกนนั้น โหมดการสั่นไม่มีความสำคัญ เพราะไม่ว่าจะ เชื่อมที่โหมดใดรอยเชื่อมก็เป็นจุดเหมือนกัน รอยเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมในแนวแกนอาจจะมีขนาด ที่ต่างกันขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ แต่ในกรณีงานวิจัยนี้ซึ่งจะประยุกต์ใช้หัวเชื่อมที่เป็นแบบครึ่งวงกลม เพื่อเปลี่ยนการสั่นในแนวแกนให้เป็นการสั่นในแนวรัศมีนั้น โหมดการสั่นเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจาก จุดเชื่อมที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ท่อพลาสติกจะเป็นจุดเชื่อมที่เกิดจากตำแหน่งการสั่นของหัวเชื่อมซึ่ง สัมพันธ์กับโหมดของการสั่น ดังแสดงในภาพที่ 2.6 อนึ่งเนื่องจากโหมดการสั่นมีความสัมพันธ์กับ ความถี่ธรรมชาติ ดังนั้นการเลือกความถี่ธรรมชาติที่เหมาะสมก็จะได้โหมดการสั่นที่เหมาะสมด้วย



ภาพที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการนับโหมดการสั้น

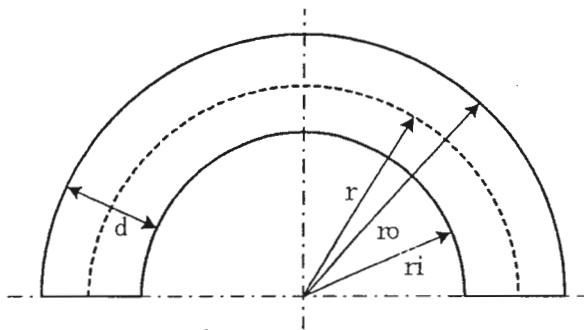
การระบุโหมดการสั้นของหัวเชื่อมนั้นทำได้โดย การแบ่งหัวเชื่อมเป็น 2 ส่วน ตามแนวเส้นดังแสดงในภาพที่ 2.6 แล้วนับจำนวนของลูปการสั้นเพียงด้านใดด้านหนึ่ง ดังตัวอย่างการนับ ในภาพที่ 2.6 โหมดที่ 2 และ 3 เป็นต้น ยิ่งหัวเชื่อมมีจุดสั้นมากก็จะได้ร้อยเชื่อมที่มากตามไปด้วย ดังนั้นจึงต้องออกแบบหัวเชื่อมให้เหมาะสมกับความถี่ที่ใช้เพื่อให้ได้การสั้นที่โหมดต่าง ๆ ตามต้องการ

2.4 การออกแบบหัวเชื่อม

2.4.1 หัวเชื่อมครึ่งวงกลม

การสั้นของหัวเชื่อมแบบครึ่งวงกลมเป็นการสั้นในแนวรัศมี ใช้ความถี่และรูปร่างการสั้น (Mode) ต่าง ๆ กัน โดยความหนาและรัศมีของหัวเชื่อมนั้นมีผลอย่างยิ่งต่อความถี่ที่ต้องใช้กระตุ้น และต่อรูปแบบการสั้น ดังนั้นการออกแบบความหนา และรัศมีของหัวเชื่อมจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของท่อที่จะนำมาเชื่อม การจำลองหัวเชื่อมทางคอมพิวเตอร์ในการศึกษานี้ จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างกราฟช่วยออกแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลมสำหรับการเชื่อมท่อพลาสติก กลม เพื่อให้การออกแบบหัวเชื่อมเป็นเรื่องที่ง่ายขึ้น เพราะว่าหัวเชื่อมจะเปลี่ยนขนาดตามรัศมีของท่อที่นำมาเชื่อม

หัวเขื่อนที่จะใช้นี้มีลักษณะครึ่งวงกลมดังแสดงในภาพที่ 2.7 การศึกษานี้กำหนดให้วัสดุเป็นอลูминียมอัลลอยมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ คือ มีความหนาแน่น 2.801759×10^3 kg/m³ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Yong Modulus) 4.0452 GPa และมีอัตราส่วนปัวร์โซง 0.42726



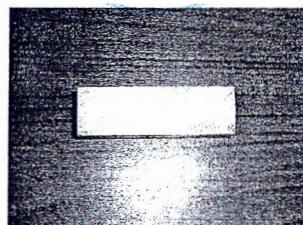
ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะของหัวเขื่อนแบบครึ่งวงกลม โดยที่ d = ความหนาของหัวเขื่อน, r = รัศมี
แนวีย, r_o = รัศมีนอก, r_i = รัศมีภายใน

ในการหาค่าคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทำหัวเขื่อนที่กล่าวมาข้างต้นทำได้โดยการ
วัดความเร็วของการสะท้อนคลับของคลื่นที่ผ่านวัสดุนั้นที่มุม 45° ชั้นทดสอบมีขนาด
 $16.85 \times 20 \times 55.5$ mm. ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ทดสอบด้วยเครื่อง Sonates รุ่น Sitescan 230 ดังแสดง
ในภาพที่ 2.9 แทนค่าความเร็วที่อ่านจากเครื่อง Sonates ในสมการ (2.1), (2.2) และ (2.3)

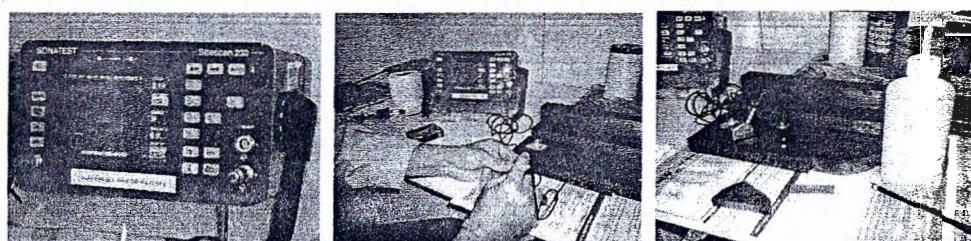
$$\text{Density} = \rho = \frac{m}{v} \quad (2.1)$$

$$\text{Poisson's Ratio} = \mu = \frac{\frac{1}{2} - \left(\frac{c_t}{c_l}\right)^2}{1 - \left(\frac{c_t}{c_l}\right)^2} \quad (2.2)$$

$$\text{Yong's Modulus} = E = 4\rho c_i^2 \left[\frac{\frac{3}{4} - \left(\frac{c_t}{c_l}\right)^2}{1 - \left(\frac{c_t}{c_l}\right)^2} \right] \quad (2.3)$$



ภาพที่ 2.8 ขั้นตอนทดสอบคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ทำหัวเชื่อม

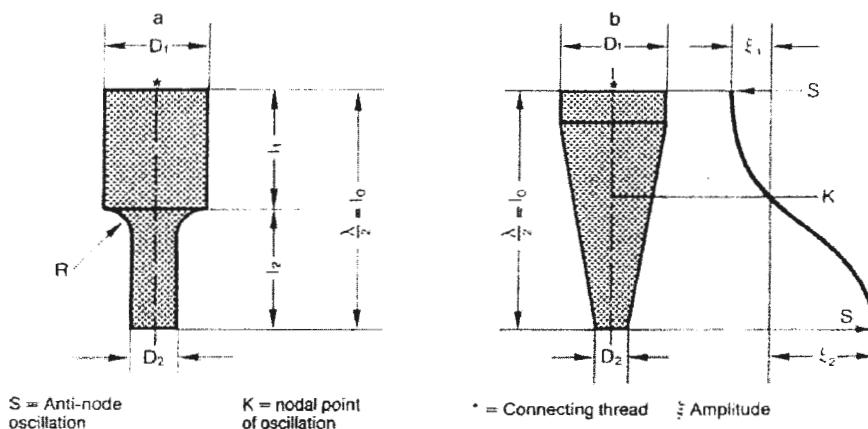


ภาพที่ 2.9 การทดสอบคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ทำหัวเชื่อม

ภาคที่ได้จากการ (2.1), (2.2) และ (2.3) จะได้นำไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาขนาดและความถี่ที่เหมาะสมต่อไป รวมถึงกราฟช่วงของแบบในกรณีหัวเชื่อมครึ่งวงกลมในการสร้างแบบจำลองจะสร้างในลักษณะ 2 มิติ ให้หัวเชื่อมมีความลึกสม่ำเสมอเมื่อออกจากกลุ่มที่ 2.7 นีองจากผลของการวัด จากการทดสอบใช้โปรแกรมที่รัศมีเท่ากันขนาดความหนาที่เท่ากันเปลี่ยนความลึกหดหายค่าต่าง ๆ กัน เมื่อเทียบกับโหมดการสั่นที่เหมือนกันของแต่ละขนาดที่ความลึกต่าง ๆ กันนี้จะให้ค่าความถี่ที่ใกล้กันมากๆ ในการจำลองในโปรแกรมจึงไม่นำมาคิด จะทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณลดลงไปด้วย โดยจำลองให้หัวเชื่อมมีขนาดของรัศมีเฉลี่ยต่อความหนา (r/d) เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง 350.50 ในการศึกษานี้ใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์รูปทรง Finite Element Analysis (FEA) ชื่อ Abaqus โดยเลือกใช้ Shell Element แบบ S4R5 เนื่องจากแบบจำลองหัวเชื่อมไม่มีความซับซ้อนและใช้เวลาในการคำนวณเพียงสักๆ ซึ่งการเลือก Shell Element แบบนี้จะให้คำตอบที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับ Element แบบอื่น ๆ และสั่งให้โปรแกรมคำนวณแสดงผลโหมดของการสั่นที่ความถี่ธรรมชาติต่าง ๆ จำนวน 50 ค่า จากนั้นพิจารณาความถี่ของโหมดการสั่นที่โหมด 1-6 เท่านั้น เนื่องจากการสั่นในโหมดที่สูงกว่านี้จะยากต่อการแยกแยะ อาจจะเป็นไปไม่ได้ในความเป็นจริง ในลักษณะการสั่นของหัวเชื่อมนั้นจะพิจารณาเฉพาะการสั่นในแนวรัศมีที่สมมาตรกันเพียงอย่างเดียว นั้นเป็นโหมดการสั่นหนึ่ง ๆ ใน การศึกษานี้

2.4.2 หัวเชื่อมในแนวแกน

หัวเชื่อม (Resonator) การเชื่อมในแนวแกนเป็นการส่งผ่านคลื่นการสั่นในแนวแกน โดยใช้ที่ป้ายหัวเชื่อมเป็นจุดเชื่อม หัวเชื่อมในแนวแกนแบบพื้นฐานทั่วไปมีหลายแบบ อย่างเช่น Step, Conical, Exponential, Hyperbolic, Fourier ในงานวิจัยนี้จะให้หัวเชื่อมแบบ Step โดยมีหลักการออกแบบพื้นฐานดังแสดงในภาพที่ 2.10 สำหรับหัวเชื่อมแบบ Step และ Conical



ภาพที่ 2.10 หัวเชื่อมแบบ Step และ Conical [1]

สมการที่ใช้เพื่อคำนวนขนาดของหัวเชื่อมในแนวแกนแบบ Step จะใช้ 3 สมการ คือสมการที่ (2.4), (2.5) ส่วนสมการที่ (2.6) จะเป็นการประมาณค่าความยาวของหัวเชื่อมแบบ Step และสมการของ Conical มี 1 สมการ คือ สมการที่ (2.7)

$$\beta = \frac{\xi_2}{\xi_1} \quad (2.4)$$

$$\beta = \frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \quad (2.5)$$

$$l_0 = k \cdot \frac{v}{2 \cdot f} \quad (2.6)$$

$$\beta = \frac{D_1}{D_2} = \frac{\xi_2}{\xi_1} \quad (2.7)$$

โดยที่

$$k = 1$$

β = อัตราส่วนแอนปลิจูด

ξ_2 = แอนปลิจูดที่ปลายของหัวเชื่อม

ξ_1 = แอนปลิจูดที่ปลาย booster (ไม่มีการสูญเสียที่รอยต่อ)

A_1 = พื้นที่ค้านต่อกับ booster

A_2 = พื้นที่ค้านปลายหัวเชื่อม

D_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางค้าน booster

D_2 = เส้นผ่าศูนย์กลางค้านปลายหัวเชื่อม booster

v = ความเร็วเตียง

f = ความถี่

ค่าความเร็วเตียง แอนปลิจูด จะประมาณค่าได้จากตารางที่ ก.2 และตารางที่ ก.3 ส่วนค่าความยาวของหัวเชื่อม (l_0) จะใช้กราฟในภาพที่ ก.1 ในการประมาณค่า โดยสามารถยอมให้คลาดเคลื่อนได้ ± 2 มิลลิเมตร ค่าความยาวของหัวเชื่อมแบบ Conical ใช้กราฟในภาพที่ ก.2 ในการประมาณค่า

ทฤษฎีข้างต้นเป็นพื้นฐานของการเชื่อมด้วยอุตสาหกรรม การออกแบบหัวเชื่อม ครึ่งวงกลม และหัวเชื่อมในแนวแกนที่เป็นส่วนสำคัญในงานวิจัยนี้ ส่วนเทคนิคการเชื่อม วิธีการ เชื่อม อุปกรณ์ที่ใช้งานเชื่อม และอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกับการเชื่อมด้วยอุตสาหกรรมนี้ ได้ศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อเป็นแนวทางในการทดลอง

บทที่ 3

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุลตร้าโซนิก (Ultrasonic) เป็นคลื่นเสียงที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ จึงมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ในอุตสาหกรรม ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ทางการแพทย์ [2] [3] ด้านเภสัชศาสตร์ [4] วิทยาศาสตร์ การทำความสะอาด ความงาม เครื่องมือวัดต่าง ๆ และการเชื่อม เป็นต้น

งานวิจัยที่ศึกษาจะเป็นการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกเป็นหลักเพื่อเป็นแนวแนวทางของงานวิจัย ซึ่งการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกได้มีการนำมาใช้เมื่อไม่นานมานี้ เนื่องจากกระบวนการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกนั้นมีข้อแตกต่างจากวิธีอื่นตรงที่สามารถเชื่อมวัสดุที่ต่างกันได้ หรือที่วิธีการอื่นทำไม่ได้ เช่นเชื่อมเซรามิก โลหะ แก้ว [5] และพลาสติก เป็นต้น และยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ด้วยข้อความสามารถของวิธีการเชื่อมเอง ที่ผ่านมาเราสามารถเชื่อมพลาสติกได้ด้วยวิธีการนี้ แต่ยังไม่ปรากฏว่ามีการนำเทคนิคนี้มาใช้ในการเชื่อมวัสดุที่มีผิวโกลง เช่นห่อหกเลย งานวิจัยนี้จึงพยายามที่จะพัฒนาให้สามารถเชื่อมห่อหกกลม เพื่อให้เป็นอีกหนทางหนึ่งของการเชื่อม หรืออาจจะประยุกต์ใช้กับงานอื่นได้ โดยงานวิจัยมีวิธีการศึกษาแตกต่างกันไป ซึ่งที่ผ่านมาก็มีด้วยกัน 3 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย ดังนี้

3.1 การศึกษาการเชื่อมวัสดุที่เป็นโลหะ

T. Jiromaru et al. [6] ได้ศึกษาการเชื่อมโลหะ อลูมิเนียม อลูมิเนียมอัลลอย ทองแดง และเหล็กที่มีความหนา 0.5 mm. ถึง 2 mm. และ กว้าง 100 mm. ถึง 200 mm. โดยใช้วิธีการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก แบบการสั่นส่องความถี่ คือที่ 15 kHz และ 27 kHz ทำมุกกัน ที่เวลาต่างกันในช่วง 0.1-3 Sec. และยังได้ศึกษาการเปลี่ยนการสั่นในแนวแกนให้เป็นการสั่นแบบบิดไปพร้อมกัน [7] [8] เรียกการสั่นแบบนี้ว่า การสั่นแบบเชิงช้อน โดยการจะซ่อนเล็ก ๆ ในด้ว trillion ศิวะเซอร์ชิ่งจะได้อธิบายและยกตัวอย่างต่อไป สำหรับการเชื่อมแบบส่องความถี่นั้นสามารถเชื่อมชิ้นงานได้ ทำให้เชื่อมชิ้นงานได้ดีขึ้น ใช้เวลาน้อยกว่าแบบเชื่อมความถี่เดียว ในกระบวนการเชื่อมโดยใช้ส่องความถี่ได้ไวด้วยเป็นกระบวนการเชื่อมแบบใหม่ ที่สามารถเชื่อมชิ้นงานที่มีความหนามากขึ้นได้ สำหรับชิ้นงานที่เป็นโลหะและพลาสติก [9] ซึ่งก็ได้มีการศึกษาเพิ่มเติมการสั่นแบบสองระบบ คือที่ความถี่ 20 kHz, 27 kHz และ 90 kHz อุณหภูมิที่ชิ้นงานสูงขึ้นมากกว่า 280°C ด้วยวิธีการเชื่อมแบบสั่น 2 ระบบทำให้สามารถเชื่อมชิ้นงานที่เป็นพลาสติกขนาดที่ใหญ่ขึ้นได้ [10]

T. Jiromaru et al. [11] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมโลหะด้วยอุลตร้าโซนิกที่มีการสั่นแบบเชิงซ้อน คือเปลี่ยนการสั่นในแนวแกนให้เป็นการสั่นแบบบิดไปด้วย ซึ่งทำให้หัวเชื่อมมีการเคลื่อนที่ในลักษณะวงรี (สำหรับการเปลี่ยนการสั่นในแนวแกนเป็นการสั่นแบบบิดจะอธิบายในหัวข้อถัดไป) ที่ความถี่ 27 kHz หัวเชื่อมมีลักษณะเป็นแผ่นกลม ผลที่ได้คือการเชื่อมแบบนี้จะได้รอยเชื่อมใหญ่ซึ่งมากกว่าการสั่นในแนวแกนและสามารถเชื่อมโลหะได้อย่างต่อเนื่อง เช่น แผงระบายความร้อน (heat sinks) และ fins ขนาดใหญ่ ซึ่งได้ทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้วยวิธีการดึงให้รอยเชื่อมขาดออกจากกัน ตรงที่เกิดการแตกหักไม่ใช่ที่จุดเชื่อมแต่เป็นส่วนอื่นของชิ้นงานจึงประ�มาณได้ว่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมดี

T. Jiromaru et al. [12] ได้ศึกษาการเชื่อมอุลูมิเนียนอัลลอยและ Stainless Steel ชิ้นงานหนา 6 mm. ใช้ความถี่ 15 kHz เวลา 1-3 Sec. แรงกด 70 MPa ภายใต้การสั่นที่แอนปลิจูด 25 μm โดยการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก ลักษณะของการศึกษาโดยการนำชิ้นงานมาต่อแบบชน (ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการต่อชิ้นงานจะเป็นการต่อเกยเป็นส่วนใหญ่หรือการวางชิ้นงานทับกัน) จากการศึกษาพบว่า ความแข็งแรงเมื่อทดสอบโดยการดึง มีความแข็งแรงเกือบเท่ากับความแข็งแรงของชิ้นงานเองและความแข็งแรงของรอยเชื่อมเพิ่มขึ้นจากความแข็งเดิม 20 % และลดลงในบริเวณที่ห่างจากการอยู่เชื่อม 2 mm.

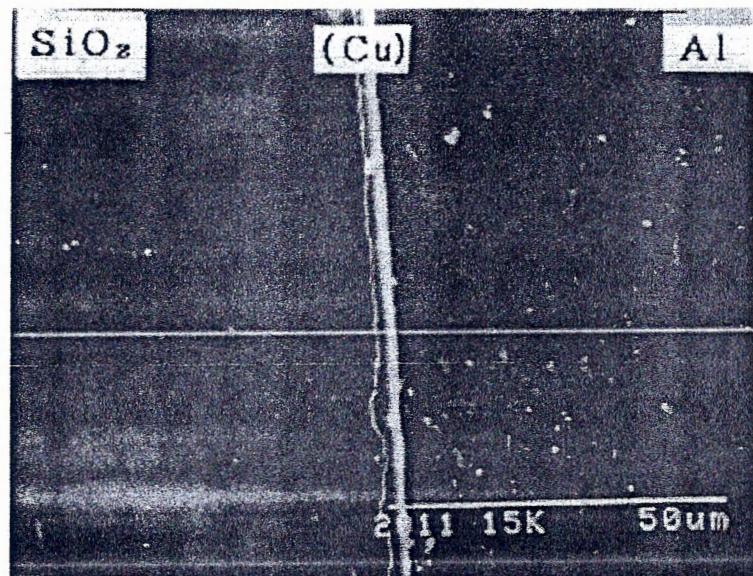
A. Brodyanski et al. [13] ได้วิเคราะห์บริเวณที่ถูกเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกของอุลูมิเนียนความถี่ 15 kHz ได้ที่น้ำอุปกรณ์ที่มีกำลังขยายสูงๆ เข้ามาร่วมกับการศึกษาปรากฏการที่เกิดขึ้นที่ผิวของโลหะระหว่างการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก เช่น ลักษณะทางกายภาพ การแตกกระจาย การวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อให้เห็นคุณลักษณะบริเวณของชิ้นที่ถูกปิด โครงสร้างที่เกิดใหม่ ที่ถูกเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก ด้วยเหตุนี้ลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีจะมีส่วนสำคัญสำหรับการเปลี่ยนรูปร่าง จากการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางเคมีทางกายภาพที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก อย่างชัดเจน

Ibrahim E. Gunduz et al. [14] ได้ศึกษาโดยทดลองเชื่อมแผ่นอลูมิเนียมบาง และสังกะสีที่ความถี่ 20 kHz แอนปลิจูด 10 μm ใช้เวลา 1 Sec. และวิเคราะห์ผลโดยเครื่อง SEM (Scanning electron microscopy) และ EDS (Energy-dispersive X-ray spectroscopy) เป็นเครื่องมือช่วยศึกษาอธิบายการกระจายตัวของโครงสร้าง การละลายบริเวณผิวที่ถูกเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกระหว่าง แผ่นอลูมิเนียมบาง และแผ่นสังกะสีที่ 513 K ได้มากขึ้น และได้แสดงให้เห็นคุณลักษณะของบริเวณที่เชื่อมติดกัน

3.2 การศึกษาการเชื่อมวัสดุต่างชนิด

Shin-ichi Matsuoka [15] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมเซรามิกและโลหะด้วยอุลตร้าโซนิก โดยใช้ตัวสอดตัวประสานระหว่างกล่างให้สามารถเขื่อมให้ติดกันได้ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ชิ้นงานที่เขื่อมคือ Al_2O_3 , Si_3N_4 , AlN, Si C, ยกตัวอย่างเช่น Si_3N_4 กับ Cu โดยมี Al เป็นตัวสอดตรงกลางสามารถเขื่อมให้ติดกันได้โดยใช้แอนปลิจูดของการสั่น 23 μm แรงกด 23 MPa เวลา 1 Sec. ซึ่งแม้ปัจจัยของเทคนิคการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกเป็นอิทธิพลที่สามารถเขื่อมเซรามิกกับโลหะได้โดยตรง แต่ผลที่ได้จากการศึกษามีเมื่อใช้โลหะสอดเข้าตรงกลางรอยเชื่อมที่ทำให้รอยเชื่อมมีคุณภาพดีขึ้น

ลักษณะของรอยเชื่อมระหว่าง Al กับ SiO_2 โดยมีตัวประสานตรงกลางคือทองแดง (Cu) ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ภาพตัดแนวของรอยเชื่อม Al กับ SiO_2 โดยทองแดง (Cu) เป็นตัวประสาน [15]

Mitsuo Iijima et al. [16] ได้แสดงผลการ X-ray ในส่วนของจุดที่เกิดการเชื่อม อธิบายการเปลี่ยนเป็นสารประกอบ การเปลี่ยนแปลงของรอยเชื่อมในขั้นตอนต่าง ๆ ผลที่ได้จากการเชื่อมระหว่างเซรามิกกับโลหะ ใน Si_3N_4 ได้ ของผสมโลหะเซรามิก (Metallic Silicon) เป็นผลจากความเสียดทานและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเพราการสั่นของคลื่นอุลตร้าโซนิก อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ 1,000°C แต่ปกติจุดหลอมเหลวของ Metallic Silicon เป็น 1,140°C จึงอาจสรุปได้ว่า Si_3N_4 เชื่อมติดโดย Metallic Silicon ในส่วนของ AL_2O_3 ที่เกิด Metallic Aluminum แต่ถูกแยกที่ 1,000°C เนื่องจากจุดหลอมเหลวของอะลูминียมประมาณ 600°C จึงอาจสรุปได้ว่า AL_2O_3 ถูกเชื่อมโดย Metallic Aluminum สรุปได้

ว่าวัสดุใหม่ เช่น Metallic Silicon หรือ Metallic Aluminum เป็นผลผลิตจากการสั่นของคลื่นอุลตร้าโซนิกเพื่อเชื่อม Si_3N_4 กับ AL_2O_3 ให้ติดกันได้

Mitsuo Iijima et al. [17] ได้ศึกษารอยเชื่อม เพื่ออธิบายกลไกของการเชื่อม ผลที่สังเกตได้จากการ X-ray สมมุติฐานที่คิดว่าจะเป็นไปได้ คือการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกสามารถที่จะเชื่อมวัสดุที่แตกต่างกันได้ และเพื่อเป็นการยืนยันจึงได้ทดลองเชื่อม Si_3N_4 กับ AL_2O_3 ผลจากการสังเกตรอยแตกของจุดที่เชื่อมกันจากกล้องกำลังขยายสูง ทำให้อธิบายขบวนการ ได้ชัดเจนขึ้น คือในกระบวนการเชื่อมตอนเริ่มต้นจะเกิดการสปาร์คและมีสารประกอบใหม่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นผงสีขาว ซึ่งคาดว่าเป็นตัวประสานที่ทำให้ชิ้นงานติดกัน จนสามารถเชื่อม Si_3N_4 กับ AL_2O_3 เข้าด้วยกันได้เป็นผลสำเร็จ

3.3 การศึกษาการเชื่อมเซรามิกและแก้ว

Naoyuki Okamura et al. [18] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมเซรามิก (Si_3N_4) โดยใช้แรงด้านข้าง (Lateral Force) ที่ความถี่ 19 kHz มีการสอดด้วยประสาน Al, Cu และ Ni ตรงกลางระหว่างรอยเชื่อม ออกแรงกดชิ้นงานในแนวตั้งและใส่ความถี่ในแนวอน ทำให้เกิดความร้อนมากพอที่จะเชื่อมได้ที่เวลา 2-3 Sec. ในกรณีใช้แผ่น Al สอดตรงกลางระหว่างรอยเชื่อม อุณหภูมิระหว่างการเชื่อมเพิ่มขึ้นมากพอที่จะทำให้ Al ละลาย และได้ร้อยเชื่อมที่แข็งแรงขึ้น โดยสังเกตจากภาพตัดของรอยเชื่อมจะเห็น Al สอดระหว่างกลางรอยเชื่อมละลายและแทรกตัวเข้าไปในผิวน้ำของ Si_3N_4

Mitsuo Iijima et al. [19] ได้พิพากษารอยเชื่อม Silicon Nitride (Si_3N_4) โดยไม่มีตัวประสานสอดระหว่างกลางรอยเชื่อมด้วยเทคนิคการเชื่อมแบบอุลตร้าโซนิก ผลการทดลองมีความเป็นไปได้และได้ความแข็งแรงของรอยเชื่อม 33 MPa (ทดสอบแบบดึงให้ร้อยเชื่อมขาดออกจากกัน) ใช้เวลา 10 Sec. ใช้ความถี่ 19 kHz ใน การเชื่อม

3.4 การศึกษาการเชื่อมพลาสติก

Yuji Watanabe et al. [20] [21] ได้ศึกษาการเชื่อมพลาสติกให้ได้ร้อยเชื่อมมีขนาดใหญ่ ชิ้นโดยแท่นที่รองชิ้นงานมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมต่อ กัน Transducers เพื่อให้เกิดการสั่น (ซึ่งโดยทั่วไปแล้วตัวที่สั่นจะเป็นหัวเชื่อม) วางชิ้นงานบนแผ่นรองที่มีการสั่นอุ่นแรงกดจากด้านบนพื้นที่ของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นจะเกิดตรงที่มีแรงกด ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนหัวเป็นแบบต่าง ๆ ก็จะได้ร้อยเชื่อมตามหัวกดนั้น ก็จะทำให้ได้ร้อยเชื่อมที่ใหญ่ขึ้น ได้เมื่อเปลี่ยนหัวกดที่ใหญ่ขึ้น ในการศึกษานี้ใช้

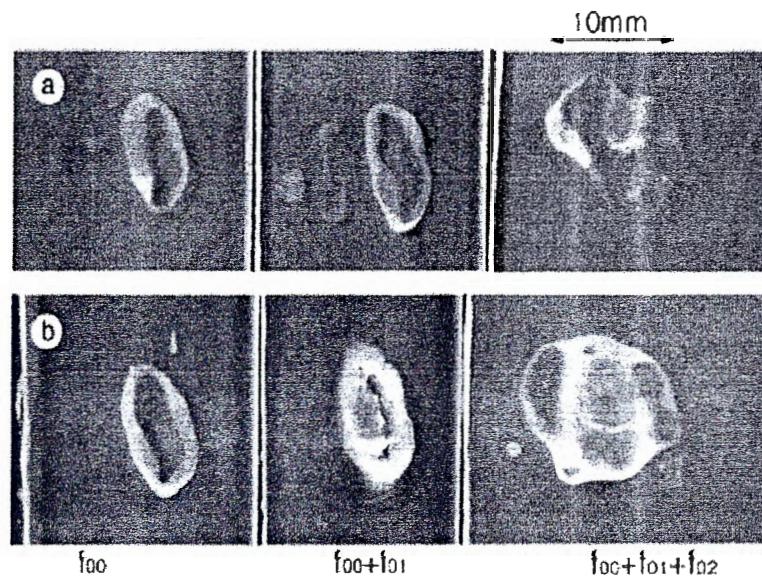
ความถี่ 19 kHz ชิ้นงานหนา 0.4-0.8 mm. และมีพื้นที่ 180 mm. x 130 mm. ถือเป็นเทคนิคการเชื่อมอุลตร้าโซนิกแบบใหม่

Jiromaru Tsujino et al. [22] ได้ศึกษาการเชื่อมอุลตร้าโซนิกแบบเชิงซ้อน (มีทั้งการสั่นในแนวแกนและการบิดไปด้วย) กระบวนการเชื่อมแบบนี้จะได้บริเวณรอยเชื่อมเป็นวงรี โดยศึกษาที่ความถี่ 27 kHz และ 40 kHz ใน การเชื่อมทั้งสองความถี่นั้นจะได้พื้นที่ของรอยเชื่อม 6-8 mm.² ที่ความหนาของชิ้นงาน 0.3-1 mm. ความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความแข็งแรงชิ้นงาน แม้แต่คลิชของความถี่ 40 kHz น้อยกว่าความถี่ที่ 27 kHz สามารถเชื่อมได้เป็นผลสำเร็จ

Jiromaru Tsujino et al. [23] ได้ทำการศึกษาการเชื่อมพลาสติก (Polypropylene) ด้วยอุลตร้าโซนิกที่เพิ่มน้ำดของรอยเชื่อมให้ใหญ่ขึ้น โดยการเชื่อมที่ความถี่มูลฐานที่ 26 kHz และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ประมาณ 3-4 ความถี่ไปจนถึง 95 kHz ภายใต้ความถี่ธรรมชาติ ชิ้นงานที่นำมาเชื่อมมีความหนาที่ 1 mm. ที่เวลาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไม่เกิน 10 Sec. ผลที่ได้จากการเชื่อมคือรอยเชื่อมจะมีขนาดโตขึ้นตามจำนวนความถี่ที่เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของรอยเชื่อมก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ในการศึกษาการเพิ่มความถี่ขึ้นเรื่อยๆ หลายค่า โดยความถี่ตั้งต้นมีค่ามากขึ้น จะสังเกตว่าจากการเพิ่มความถี่ที่เริ่มต้นที่ 15 kHz เป็น 27 kHz, 40 kHz และ 67 kHz เพื่อหาค่าความถี่เริ่มต้นที่จะทำให้ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรงและมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อความถี่เริ่มต้นที่ 67 kHz จะเห็นได้ว่าพลังงานที่ใส่เข้าไป ทำให้ได้พื้นที่รอยเชื่อม ความแข็งแรงของรอยเชื่อม ลดลงกว่าที่ความถี่ 40 kHz และ 27 kHz ดังนั้นจึงแนะนำว่าความถี่เริ่มต้นไม่ควรเกิน 67 kHz เนื่องจากจะเป็นการเสียพลังงานที่ใส่เข้าไปโดยไม่เกิดประโยชน์ [24]

ลักษณะรอยเชื่อมพลาสติกเมื่อใช้ความถี่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จำนวน 3 ความถี่ จะเห็นได้ว่า เมื่อเชื่อมชิ้นงานที่หลายๆ ความถี่จะได้รอยเชื่อมที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตั้งแต่เดือนในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 รอยเชื่อมพลาสติกที่เพิ่มความถี่หลายๆ ค่า [23]

Shih-Fu Ling et al. [25] ได้พัฒนาความคุณภาพการเชื่อมอุลตร้าโซนิกโดยการใส่สัญญาณความด้านหน้าไฟฟ้า เข้าไปในขณะที่กำลังเชื่อม และทำการแปลงสัญญาณอุกมาในลักษณะของรูปคลื่นเพื่อคุ้กคามะที่แตกต่างเพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพของการเชื่อมได้

3.5 การศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาเทคนิคเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก

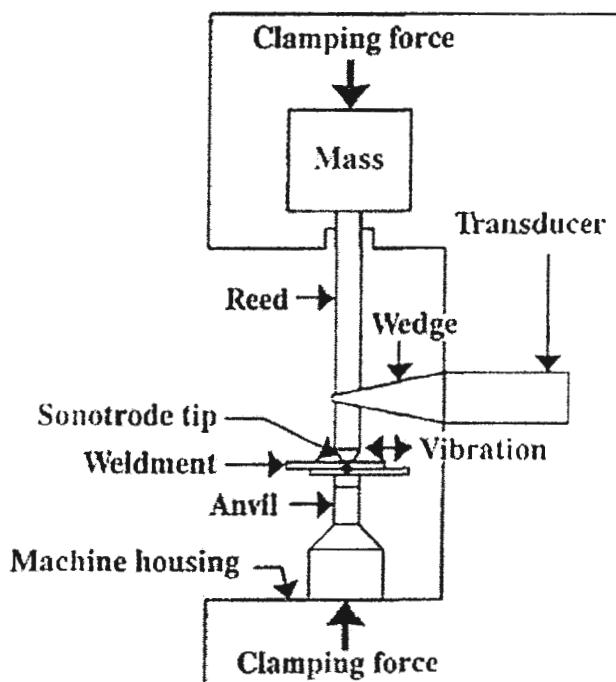
จากการวิจัยที่ผ่านมาสามารถแยกประเภทการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกจากลักษณะของเครื่องเชื่อมหรือชุดทดลองได้ดังต่อไปนี้

3.5.1 แบบการสั่นในแนวแกน

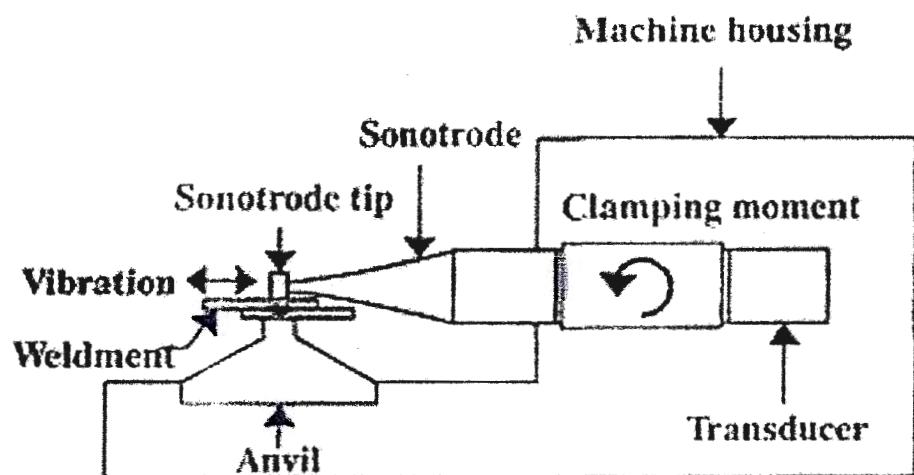
3.5.2 แบบการสั่นสองความถี่

3.5.3 แบบการสั่นเชิงช้อน

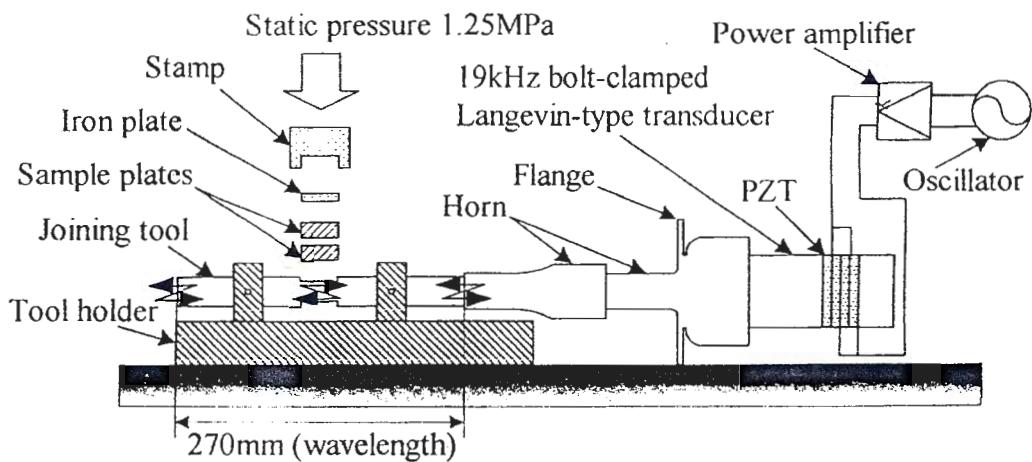
3.5.1 แบบการสั่นในแนวแกน จะเป็นวิธีการที่พบมากที่สุดเมื่อกล่าวถึงการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก เครื่องเชื่อมอาจจะมีลักษณะต่างกัน แต่หลักการทำงานเหมือนกัน การสั่นในแนวแกน คือการสั่นขึ้นลงในลักษณะการสั่นแบบอัดและขยายของสปริงในตัว Transducer ไปยังหัวเชื่อมที่แนบปลิวๆ และความถี่ต่างๆ ตามที่เลือกใช้ดังจะยกตัวอย่างต่อไป ซึ่งการสั่นในแนวแกนที่ดีนั้น กำหนดการสั่นอยู่ในแนวอน ออกแรงกดจากด้านบนดังแสดงในภาพที่ 3.3 และการสั่นในแนวแกนแบบอื่นๆ แสดงในภาพที่ 3.4-3.6



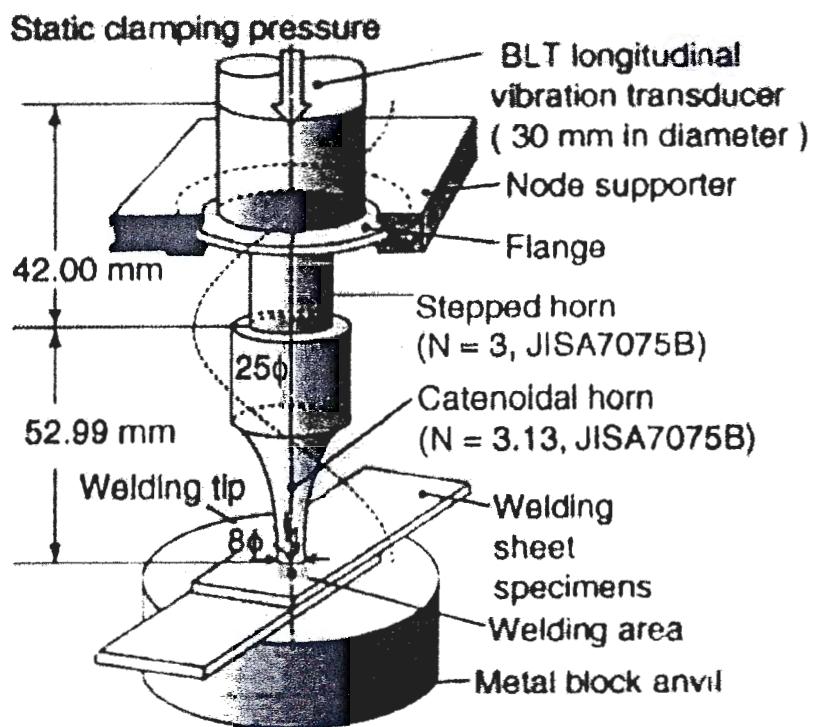
ภาพที่ 3.3 ลักษณะเครื่องเชื่อมที่ใช้การสั่นในแนวแกน [26]



ภาพที่ 3.4 ลักษณะเครื่องเชื่อมที่ใช้การสั่นในแนวแกน [26]



ภาพที่ 3.5 ลักษณะเครื่องเชื่อมที่ใช้การสั่นในแนวแกน [17]

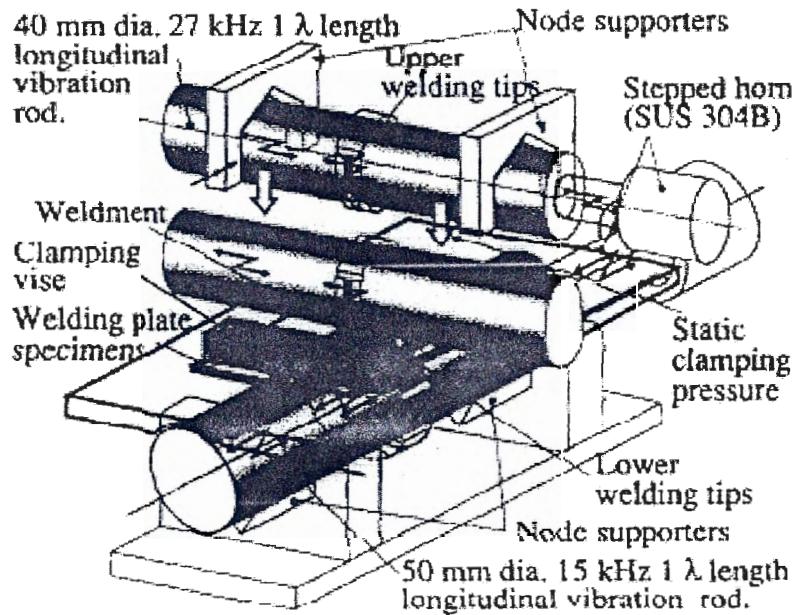


ภาพที่ 3.6 ลักษณะเครื่องเชื่อมที่ใช้การสั่นในแนวแกน [24]

หลักการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องเชื่อมแบบใช้การสั่นในแนวแกนคังແສດงในภาพที่ 3.3-3.6 ก็มีลักษณะคล้ายกัน คือ Transducer จะเป็นต้นกำเนิดการสั่น และจะถูกส่งมาที่ Reed ทำให้ Reed เกิดการสั่นตามทิศทางลูกรุข จุดที่เชื่อมคือ Sonotrode Tip โดยที่

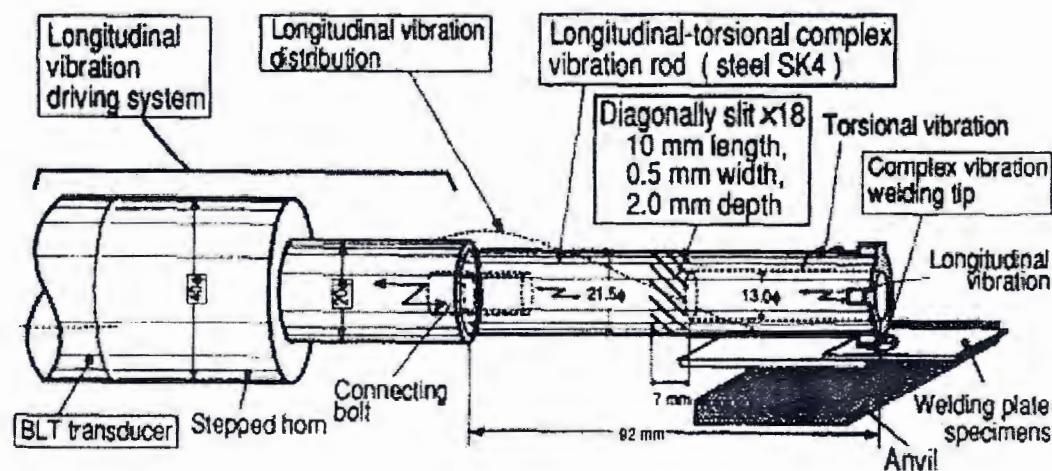
ชิ้นงานจะวางระหว่างแท่นรอง (Anvil) กับหัวเชื่อม หรือ Sonotrode tip มีแรงกดจากค้านบน (Clamping Force) จุดที่ถูกหัวเชื่อมกดจะเป็นจุดที่เชื่อมติดกัน ในรูปด้าวย่างอื่น ๆ อาจจะมี Horn เป็นส่วนประกอบซึ่งจะทำหน้าที่ขยายแอนปลิจูด การสั่นในแนวแกนที่ต้นกำเนิดการสั่นอยู่ในแนวอนออกแรงกดค้านบนดังแสดงในภาพที่ 3.4 และการสั่นในแนวแกนที่ต้นกำเนิดการสั่นอยู่ในแนวอนดังแสดงในภาพที่ 3.5 และการสั่นในแนวแกนดังแสดงในภาพที่ 3.6 ซึ่งแรงที่ใช้กด (Static Pressure) จะมีทิศทางเดียวกันกับทิศทางของการสั่น การเชื่อมในลักษณะนี้พบได้ทั่วไป

3.5.2 แบบการสั่นส่องความถี่ ดังแสดงในภาพที่ 3.7 จะใช้ส่องความถี่เชื่อมชิ้นงานเดียวกันพร้อมกันจากค้านบนและค้านล่าง ซึ่งทำมุมกันดังแสดงในภาพที่ 3.7 ที่มุน 90° หรือคือการใช้การสั่นในแนวแกนสองตัวมาร่วมกัน ลักษณะของเครื่องอาจจะไม่เหมือนกันก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ และใช้งาน

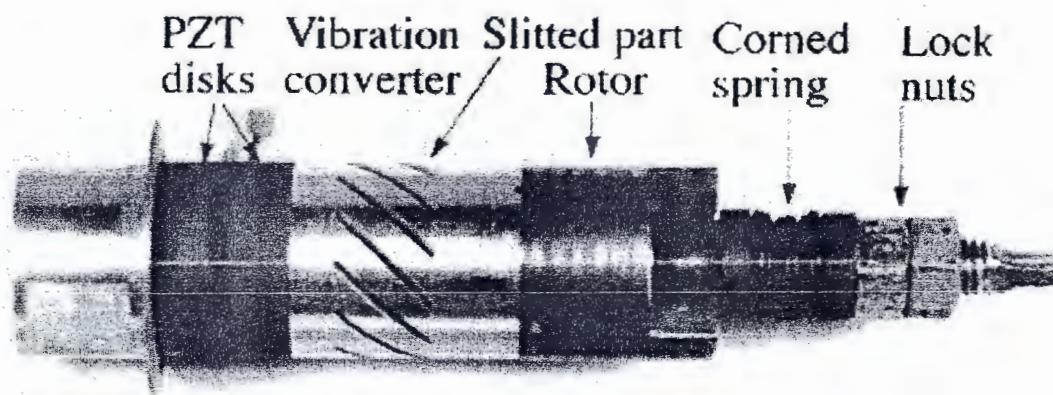


ภาพที่ 3.7 เครื่องเชื่อมแบบส่องความถี่ [19]

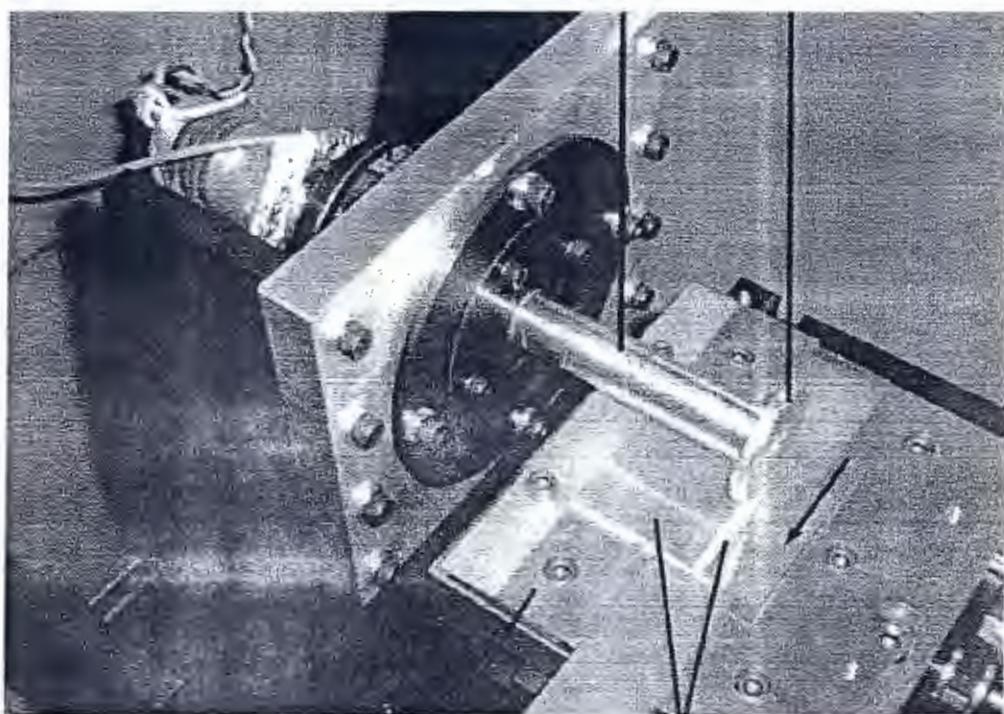
3.5.3 การสั่นแบบเชิงช้อน เกิดจากการสั่นในแนวแกนเป็นหลัก แต่จะมีซ่องเล็ก ๆ (Slitted Part Rotor) ดังแสดงในภาพที่ 3.9 เพื่อเปลี่ยนการสั่นในแนวแกนเป็นการสั่นแบบบิด ไปพร้อมกัน ดังแสดงในภาพที่ 3.8 และ ภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.8 ภาพส่วนประกอบของการสั่นแบบเจิงช้อน [7]

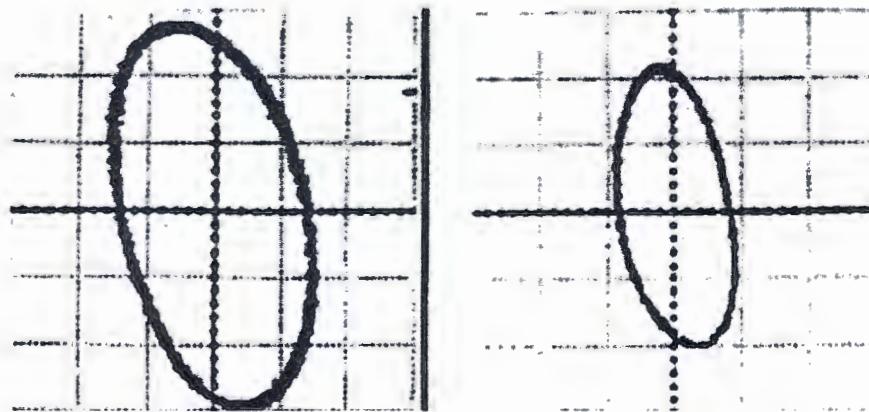


ภาพที่ 3.9 ลักษณะของ Slit ในตัว Transducer [7]



ภาพที่ 3.10 เครื่องเชื่อมแบบการสั่นเชิงช้อนหัวเชื่อมเป็นแผ่นกลม [11]

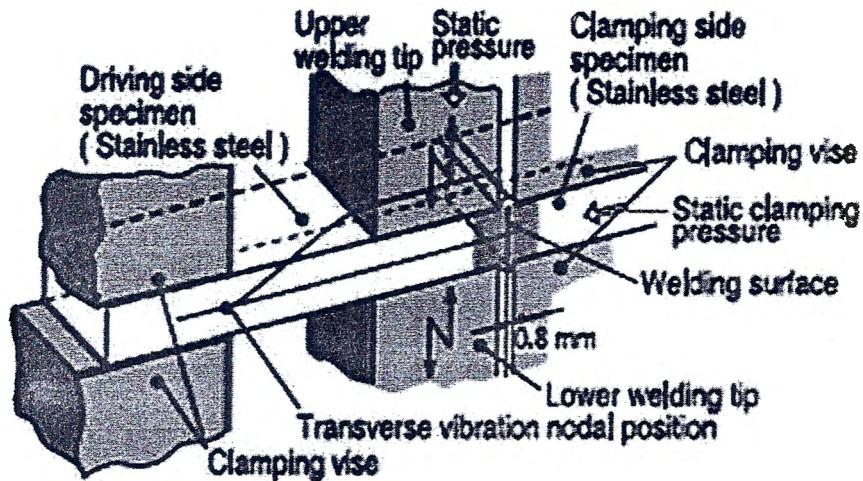
การเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกแบบสั่นเชิงช้อนสามารถเชื่อมชิ้นงานต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้นได้ แต่ร้อยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมแบบนี้จะมีลักษณะเป็นวงรีดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ร้อยเชื่อมของการสั่นแบบเชิงช้อน [7]

จากข้อมูลที่กล่าวมาเบื้องต้นจะเห็นว่าการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะวางชิ้นงานให้หันหรือเกยกัน อย่างไรก็ตาม ได้มีการทดลองร้อยเชื่อมต่อชน [12] โดยจาก

การศึกษาพบว่าการจัดวางแบบนี้จะทำให้สามารถเชื่อมชิ้นงานที่มีความหนามากขึ้น แต่ต้องการแรงกดมากกว่าการต่อแบบเกย การจัดวางชิ้นงานสำหรับการเชื่อมแบบนี้แสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 การเชื่อมแบบต่อชน [12]

ทิศทางการสั่นขึ้นลงตามลูกศร โดยมีการสั่นเพียงด้านเดียวอีกข้างของชิ้นงานจะอยู่นิ่ง วิธีการเชื่อมแบบนี้จะทำให้ได้หน้าสัมผัสมากขึ้น ทำให้สามารถเชื่อมชิ้นงานที่หนานามากขึ้นได้

3.6 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรอยเชื่อม

จากการศึกษางานวิจัยที่กล่าวมาแล้ว มีตัวแปรหลายตัวที่สำคัญที่มีผลกับการเชื่อม พื้นที่รอยเชื่อม และความแข็งแรงของรอยเชื่อม ซึ่งพอกจะสรุปได้หลัก ๆ ดังนี้

3.6.1 ความถี่และแอนบลิจูด ความถี่คือเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญเกี่ยวกับแนวเชื่อมโดยตรง การสั่นของหัวเชื่อมจะสั่นที่แอนบลิจูดสูงหรือที่แอนบลิจูดต่ำ ขึ้นอยู่กับความถี่ทั้งสิ้น ถ้าความถี่ต่ำก็จะได้แอนบลิจูดสูง หากความถี่สูงแอนบลิจูดก็ต่ำ เมื่อใช้ความถี่ต่ำ จะได้ความแข็งแรง และขนาดของรอยเชื่อมน้อยกว่าที่ใช้ความถี่สูง ๆ แต่หากที่ความถี่สูง ๆ จะมีแอนบลิจูดต่ำหมายถึงการสั่นจะลดลง จึงต้องมีการขยายแอนบลิจูดขึ้นที่ความถี่สูง ๆ ดังนั้นความสามารถเชื่อมได้ทุก ๆ ช่วงความถี่โดยอาศัยการขยายแอนบลิจูด หรือหากจะเพิ่มปัจจัยอื่นเพื่อทดสอบผลของความถี่ที่นั้น ๆ เช่น แอนบลิจูด เวลาในการเชื่อม และแรงที่ใช้ก็ เป็นต้น ซึ่งความสำคัญของแอนบลิจูดนั้น ที่แอนบลิจูดสูงก็จะทำให้ได้ความแข็งแรงของรอยเชื่อมสูงตามไปด้วย

3.6.2 แรงกด เป็นแรงกดที่ใช้เพื่อเพิ่มให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสรอบบริเวณที่เกิดรอยเชื่อม สังเกตได้ว่าเมื่อแรงกดมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้พื้นที่รอยเชื่อมและความแข็งแรงมากขึ้น

ด้วย แต่เมื่อแรงกดมากขึ้นแนวโน้มของพื้นที่รอยเขื่อมและความแข็งแรงจะเริ่มงอกที่และมีทิศทางลดลง ชิ้นงานที่มีความแข็งมากจะใช้แรงกดที่มากขึ้นตามไปด้วย เช่น เซรามิกหรือโลหะ จะใช้แรงกดค่อนข้างสูงกว่าชนิดอื่น ๆ ในส่วนแรงกดที่ใช้บนชิ้นงานที่เป็นพลาสติกจะใช้น้อยกว่าพลาสติกหรือโลหะ แต่ลักษณะที่เหมือนกันคือ เมื่อเพิ่มแรงกดบนชิ้นงานมากขึ้นก็จะได้ความแข็งแรงของรอยเขื่อมมากขึ้นตามไปด้วย สิ่งที่เป็นผลตามกันมาคือ เราต้องใส่พลังงานเพิ่มขึ้นตามกันไป คือกำลังขยายสัญญาณความถี่

3.6.3 เวลาในการเชื่อม จากการใช้เวลาในการเชื่อมเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้พื้นที่รอยเขื่อม และความแข็งแรงมากขึ้นตามไปด้วย สำหรับการเชื่อมพลาสติกเวลาที่ใช้ส่วนมากไม่เกิน 10 Sec ดังนั้นเวลาในการเชื่อมก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของจุดทดลอง และชิ้นงานที่ใช้ในการเชื่อมด้วย

3.6.4 อุณหภูมิที่รอยเขื่อม การเกิดอุณหภูมิที่รอยเขื่อมในระหว่างการเชื่อมจะเพิ่มขึ้นเมื่อแรงกดและเวลาในการเชื่อมเพิ่มขึ้น และเริ่มงอกที่เมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง ความแข็งแรงของรอยเขื่อมมีทิศทางเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยชิ้นงานที่เป็นเซรามิกหรือโลหะจะเกิดอุณหภูมิสูงกว่าชิ้นงานที่เป็นพลาสติก อุณหภูมิที่เกิดขึ้นอาจจะไม่ถึงจุดหลอมเหลวของชิ้นงานที่เป็นเซรามิกหรือโลหะ แต่ก็สามารถทำให้เชื่อมติดกันได้ ชิ้นงานที่เป็นพลาสติกอุณหภูมิที่เกิดอาจจะมากกว่าจุดหลอมชิ้นงานก็ได้ อาจเกิดความเสียหายได้เมื่อใช้เวลาหรือแรงกดนานเกินไป อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะอยู่ที่ชิ้นงาน และตัวแปรอื่นที่ใช้ในการเชื่อมเป็นหลัก

จากการวิจัยที่อ้างมาข้างต้นพอจะสรุปได้ว่า การประยุกต์ใช้อุลตร้าโซนิกในการเชื่อมวัสดุต่าง ๆ นั้น ได้เริ่มนิยมศึกษามือใหม่นานมานี้และกำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจาก การเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกมีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถเชื่อมวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันมาก ๆ ได้ ใช้เวลาในการเชื่อมน้อย ใช้พลังงานน้อย และสามารถเชื่อมวัสดุที่วิธีการเชื่อมแบบอื่น ๆ ไม่สามารถเชื่อมได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการเชื่อมแบบอื่น ๆ [28] เช่น มีการทดลองนำอุลตร้าโซนิกมาเชื่อมเซรามิกกับโลหะอื่น ๆ โดยการใช้วัสดุตัวกลางสอดเข้าไประหว่างรอยเชื่อม หรือการเชื่อมเซรามิกด้วยกันเอง โดยไม่อาศัยตัวกลางเลย นอกจากนี้ยังมีความพยายามศึกษาการเปลี่ยนทิศทางการสั่น จากการสั่นในแนวแกนเป็นการสั่นแบบหมุน ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานที่ต้องการการหมุนด้วยต่อไป

อย่างไรก็ตามการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกนั้นมักได้รอยเชื่อมที่เล็ก จึงได้มีความพยายามจะสร้างวิธีการเชื่อมที่ให้ได้รอยเชื่อมใหญ่ขึ้น โดยใช้การสั่นที่แอนปลิจูดต่าง ๆ และที่ความถี่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีการทดลองขยายรอยเชื่อมโดยการเชื่อมต่อเนื่องกันไปด้วยความถี่สูงขึ้นไปเรื่อย ๆ ทั้งนี้ นอกจากอิทธิพลของความถี่แล้ว ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพรอยเชื่อมก็ได้รับการศึกษาเช่นกัน เช่น แรงกด เวลา เป็นต้น แต่วิธีการเชื่อมแบบนี้ยังจำกัดการเชื่อมในชิ้นงานขนาด

เลือกหรือแผ่นฟิล์มที่มีขนาดบาง ๆ เท่านั้น สำหรับการเชื่อมพลาสติกโดยใช้อุลตร้าโซนิกนี้ได้มี การศึกษา และพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนสามารถใช้ได้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท อย่างไรก็ตาม กลไกการประสานตัวของรอยเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกนั้นยังไม่เป็นที่ทราบชัดเจน และยังคงอยู่ใน ระหว่างการศึกษาต่อไป

นอกจากการศึกษาการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกดังที่กล่าวมาแล้วข้างมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อีกมาก แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าทั้งหมดมีการใช้ชุดทดลองที่คล้ายกัน แต่ต่างกันที่ความถี่ เวลาในการ เชื่อม และแรงกดที่กระทำต่อรอยเชื่อม ซึ่งเปลี่ยนไปตามชนิดของชิ้นงาน แต่ลักษณะการสั่นของหัว เชื่อมล้วนเป็นการสั่นในแนวแกนทั้งสิ้น ซึ่งอาจจะมีการใช้วิธีการเชื่อมด้วยการสั่นแบบเชิงช้อนบ้าง และชิ้นงานที่เชื่อมโดยส่วนใหญ่ก็ขังคงเป็นการเชื่อมจุดเล็ก ๆ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยวิธีการเชื่อม ห่อพลาสติกด้วยอุลตร้าโซนิกนี้ จึงนับได้ว่าเป็นการพัฒนาวิธีการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกขึ้นไปอีก ขั้นหนึ่ง

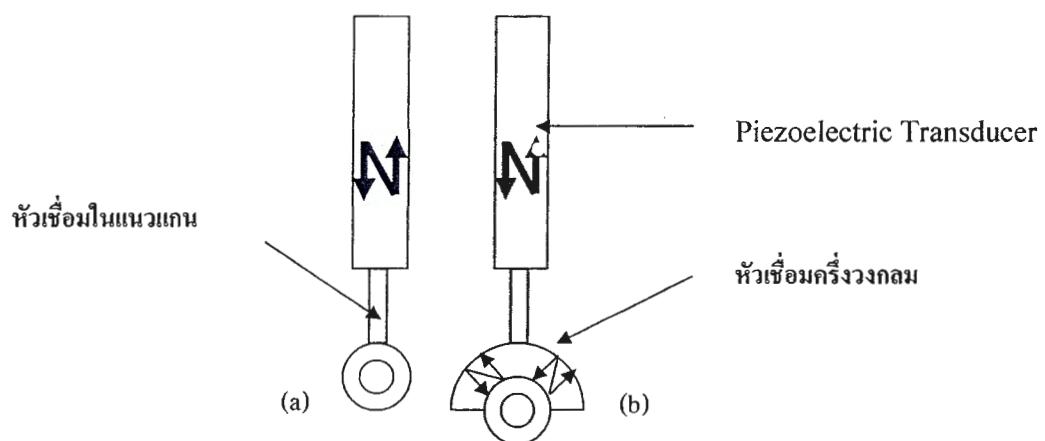
บทที่ 4

อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

การเขื่อนพลาสติกด้วยอุลตร้าโซนิก เป็นกระบวนการที่ทำให้พลาสติกหลอมละลายติดกัน ตรงบริเวณที่หัวเขื่อนสัมผัสกับผิวชิ้นงาน และบริเวณใกล้เคียง โดยอาศัยความร้อนจากการถูกชั้นพลังงานการสั่นของหัวเขื่อน และแรงเสียดทานเปลี่ยนเป็นความร้อน อุปกรณ์ในการเขื่อนด้วย อุลตร้าโซนิกอาจมีส่วนประกอบที่ซับซ้อนกว่าวิธีการเขื่อนแบบอื่น ๆ อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษานี้จึงประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังจะได้อธิบายต่อไป

4.1 แนวคิดจากการทบทวนวรรณกรรม

การเขื่อนด้วยอุลตร้าโซนิกนั้นทำได้โดยอาศัยการสั่นของหัวเขื่อน (Resonator) ด้วยความถี่สูง ๆ ที่ถูกส่งมาจากการดันกำเนิดการสั่น จะทำให้ผิวสัมผัสของวัสดุเกิดการเสียดสี ก่อให้เกิดความร้อน และเขื่อนติดกันในที่สุด โดยปกติชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นส่วนโถ้งจะไม่สามารถเขื่อนด้วยอุลตร้าโซนิกปกติได้ จึงต้องเปลี่ยนหัวเขื่อนให้เข้ากับชิ้นงาน ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้หัวเขื่อนเป็นครึ่งวงกลมดังแสดงในภาพที่ 4.1b โดยการเปลี่ยนการสั่นในแนวแกนเป็นการสั่นในแนวรัศมีด้วยคุณสมบัติของหัวเขื่อนรูปครึ่งวงกลมเอง



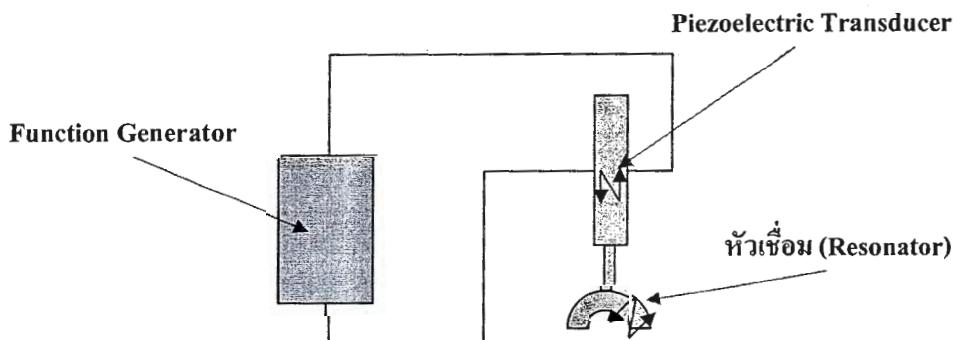
ภาพที่ 4.1 หัวเขื่อนครึ่งวงกลมเพื่อเปลี่ยนการสั่นแนวแกนให้เป็นแนวรัศมี

ในงานวิจัยนี้ต้องการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ร้าโโซนิก ในการเชื่อมท่อกลม ดังนั้นจึงเป็นต้องเปลี่ยนทิศทางการสั่นจากการสั่นในแนวแกนเป็นการสั่นในแนวรัศมีโดยอาศัยหัวเชื่อม (Resonator) ลักษณะครึ่งวงกลม เมื่อเกิดการสั่นในแนวแกนใน Transducer ถูกส่งผ่านมาซึ่งหัวเชื่อมแบบครึ่งวงกลม การสั่นในแนวแกนจะถูกเปลี่ยนเป็นรูปการสั่นในแนวรัศมี เมื่อความถี่ที่ใช้ตรงกับความถี่ธรรมชาติของหัวเชื่อมตามโหมดการสั่นที่ได้กำหนดไว้ จึงจะสามารถนำไปใช้ในการเชื่อมท่อพลาสติกกลมได้

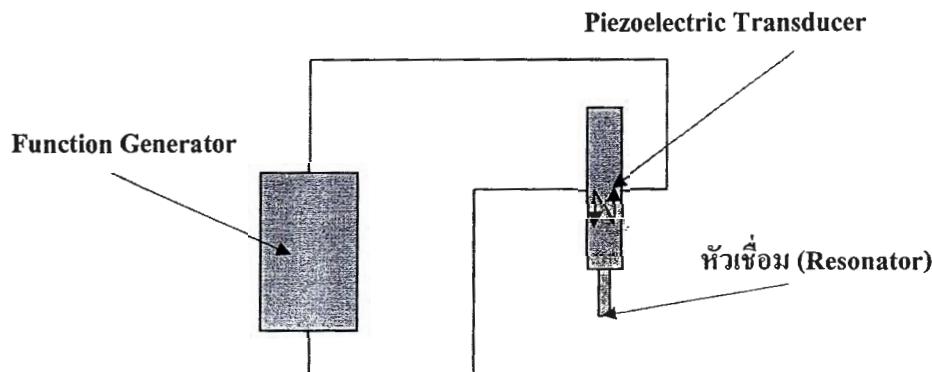
นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้ออกแบบการเชื่อม แบบหัวเชื่อมในแนวแกน โดยยังคงลักษณะหัวเชื่อมไว้แบบเดิม แต่จะใช้วิธีการหมุนชิ้นงานเพื่อให้เกิดรอยเชื่อมรอบห่อ โดยจะมีชุดขับให้ชิ้นงานหมุนเป็นตัวองรับชิ้นงาน หัวเชื่อมจะวางสัมผัสชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 4.1a ชุดขับให้ชิ้นงานหมุนจะเป็นถูกกลิ้งที่มีตันกำลังเบียนมอเตอร์ซึ่งจะได้อธิบายในเครื่องมือการทดลองต่อไป

หลักการทำงานของเครื่องเชื่อมจะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 อย่างคือ เครื่องกำเนิดคลื่น (Function Generator), Piezoelectric Transducer และ หัวเชื่อม (Resonator)

- (1) Function Generator หน้าที่กำเนิดความถี่ และจ่ายความถี่ไปที่ Piezoelectric
 - (2) Piezoelectric Transducer จะส่งคลื่นหรือการสั่นที่แอนปลิจูดต่างๆ ไปที่หัวเชื่อม
 - (3) หัวเชื่อม (Resonator) ที่หัวเชื่อมก็จะเกิดการสั่นเพื่อที่จะเชื่อมชุดที่ต้องการเชื่อม
- ภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 แสดงหลักการทำงานของเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม และแบบหัวเชื่อมในแนวแกนตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 หลักการทำงานของการเชื่อมด้วยอุปกรณ์ร้าโโซนิกแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม



ภาพที่ 4.3 หลักการทำงานของการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกแบบหัวเชื่อมในแนวแกน

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการสั่นในแนวรัศมีนั้นมีโน้มการสั่น ได้หลายแบบ อาจส่งผลให้ รอยเชื่อมของแต่ละโน้มมีลักษณะไม่เหมือนกัน ดังนั้น การศึกษานี้จึงจำเป็นต้องศึกษาหาโน้มที่ ให้รอยเชื่อมที่เหมาะสม และเป็นไปได้มากที่สุด ด้วยการคำนวณรูปแบบต่าง ๆ โดยโปรแกรม Abaqus

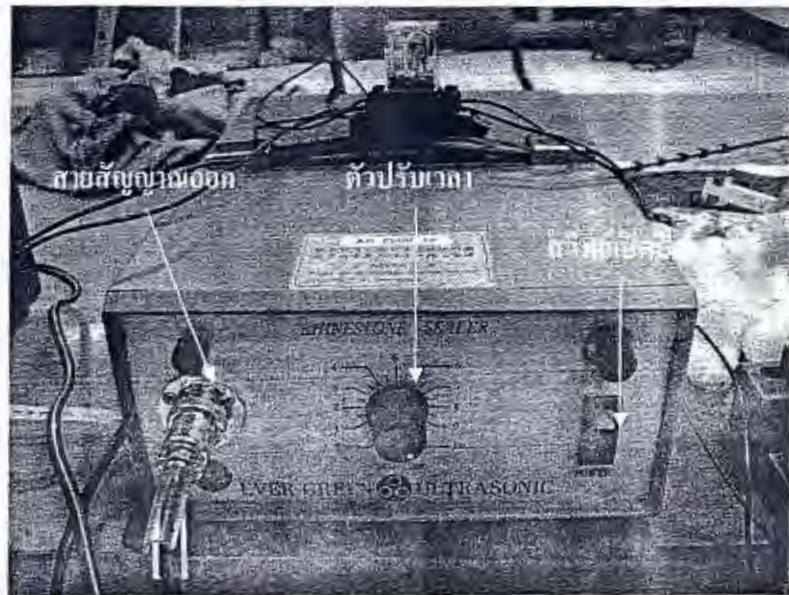
4.2 อุปกรณ์หลัก และหลักการทำงานของเครื่องเชื่อมหัวด้วยอุลตร้าโซนิก

ในงานเชื่อมพลาสติกที่ใช้อุลตร้าโซนิกทั่ว ๆ ไปกระบวนการเชื่อมจะประกอบด้วย อุปกรณ์ที่สำคัญอยู่ 3 ส่วนคือ เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่, เครื่องแปลงสัญญาณและเครื่องส่งผ่าน การสั่น และหัวเชื่อม หรืออาจจะมีส่วนประกอบที่แยกย่อยออกไปอีกขึ้นอยู่กับวิธีการเชื่อม โดยมี หลักการทำงานที่เหมือนกันดังแสดงในภาพที่ 4.2 และ 4.3

Ultrasonic Generator ทำหน้าที่กำเนิดความถี่ และส่งสัญญาณความถี่ไปที่ Piezoelectric แล้ว Piezoelectric ที่จะแปลงสัญญาณเป็นการสั่นถี่ที่ปลายหัวเชื่อม (Resonator) ที่หัวเชื่อมก็จะเกิด การสั่นที่ความถี่นั้นๆ เพื่อเชื่อมชิ้นงานต่อไป โดยแอนพลิชูดการสั่นอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการ ออกแบบหัวเชื่อม และคุณสมบัติของ Piezoelectric Transducer ด้วย รายละเอียดของอุปกรณ์หลักใน การเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกมีดังนี้

4.2.1 Ultrasonic Generator

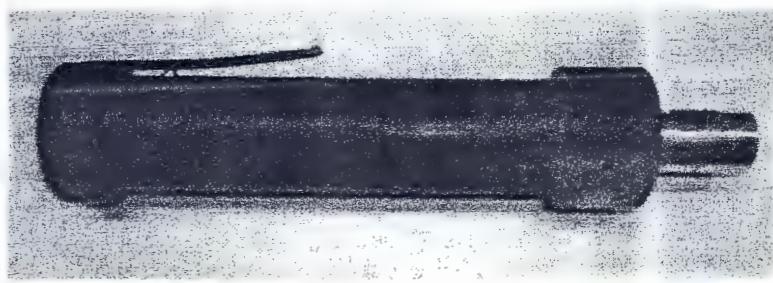
ประกอบด้วย อุปกรณ์กำเนิดความถี่ และอุปกรณ์ขยายสัญญาณความถี่ ทั้งนี้อาจ รวมเป็นเครื่องเดียวกันหรือ แยกกันก็ได้ ในการศึกษานี้เป็นเครื่องที่รวมอุปกรณ์ทั้งสองอย่างใน เครื่องเดียว มีขนาดของเครื่อง กว้าง 220 mm. สูง 150 mm. ยาว 350 mm. หนัก 6 kg โดยกำเนิด ความถี่ที่ 28 kHz ที่กำลัง 500 w. สามารถที่จะปรับเวลาในการเชื่อมໄได้ จาก 0–10 Sec. ดังแสดงใน ภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 Ultrasonic Generator

4.2.2 Piezoelectric transducer

Piezoelectric Transducer ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณความถี่เป็นการสั่น เพื่อส่งต่อไปยังหัวเชื่อม ประกอบด้วย Piezoelectric และ Booster ดังแสดงในภาพที่ 4.5 โดยปลอกศีร์ตามที่มีจำนวน และตัวล็อกชิ้นส่วนข้างใน สำหรับ Transducer ที่ใช้ในการศึกษานี้มีความถี่ที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ 28 kHz

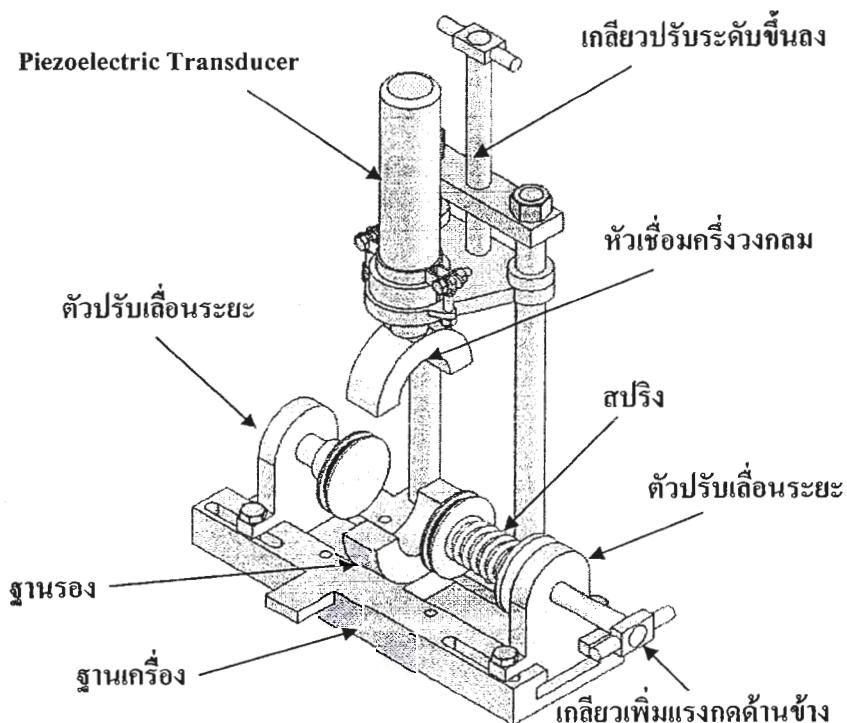


ภาพที่ 4.5 Piezoelectric Transducer

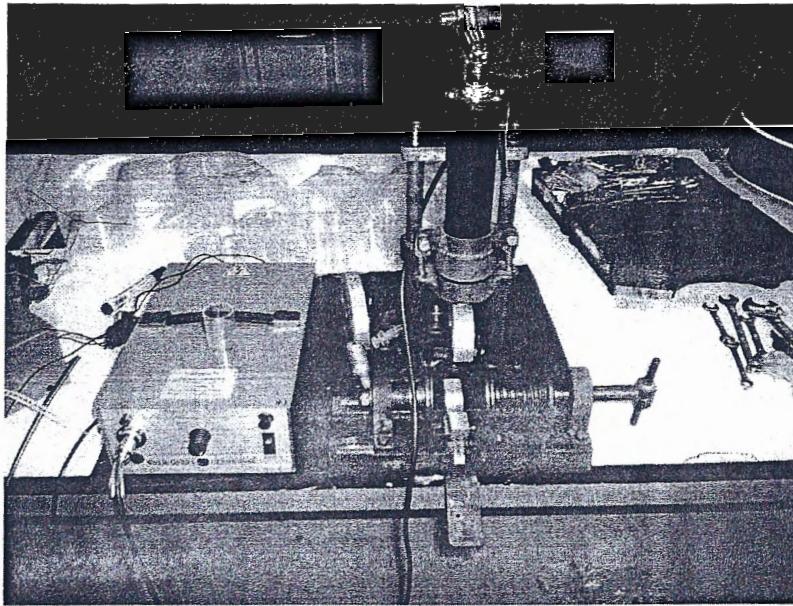
4.3 เครื่องเชื่อมด้วยอุตสาหกรรมที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องเชื่อมด้วยอุตสาหกรรมที่ใช้ในการศึกษานี้ ถูกสร้างขึ้นมาเป็น 2 แบบ คือ เครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม และเครื่องเชื่อมแบบเชื่อมในแนวแกน ทั้งนี้เครื่องเชื่อมทั้งสองแบบนี้ หลักการทำงานที่คล้ายกันแต่มีลักษณะของการเชื่อมต่างกัน ตามรูปแบบของหัวเชื่อม ซึ่งหลักการทำงาน และส่วนประกอบของเครื่องเชื่อมทั้งสองอธิบายได้ดังนี้

4.3.1 เครื่องเชื่อมแบบที่ใช้กับหัวเชื่อมครึ่งวงกลม



ภาพที่ 4.6 เครื่องที่ใช้กับหัวเชื่อมครึ่งวงกลม



ภาพที่ 4.7 ชุดทดลองที่ใช้กับหัวเชื่อมคริ่งกลม

ในการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมที่ใช้กับหัวเชื่อมคริ่งกลมดังแสดงภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7 มีส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ดัง ๆ กัน ซึ่งมีวิธีการเชื่อม โดยการวางชิ้นงานบนฐานรองชิ้นงาน แล้วเลื่อนหัวเชื่อมลงให้สัมผัสถักบชิ้นงานด้วยเกลียวปรับระดับขึ้นลง จากนั้นหมุนเกลียวเพิ่มแรงกดด้านข้าง และวัดระยะยูบตัวของสปริงเพื่อหาขนาดของแรงที่ใช้ในการกดชิ้นงาน ตั้งเวลาการเชื่อมที่เครื่อง Ultrasonic Generator แล้วกดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน หัวเชื่อมจะสั่นในแนววัสดุตามโหมดการสั่น รอyle เชื่อมที่ได้จะเกิด共振บริเวณที่หัวเชื่อมสั่นเป็นส่วนใหญ่ หรือบริเวณใกล้เคียง โดยมีส่วนประกอบของเครื่องเชื่อมที่ใช้กับหัวเชื่อมคริ่งกลมทำหน้าที่ดังนี้

4.3.1.1 เกลียวปรับระดับขึ้นลง

ทำหน้าที่เลื่อนชุด Piezoelectric Transducer และหัวเชื่อมขึ้นลง เพื่อให้หัวเชื่อมสัมผัสถักบชิ้นงานภายใต้แรงกดที่เหมาะสม และเลื่อนขึ้นเพื่อเปลี่ยนชิ้นงาน และหัวเชื่อมในการเชื่อมครั้งต่อไป

4.3.1.2 เกลียวเพิ่มแรงกดด้านข้าง

มีลักษณะเป็นเกลียวที่สามารถหมุนด้วยมือ ทำหน้าที่ในการสร้างแรงกดด้านข้างให้มีขนาดตามที่ต้องการหรือเหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงานเชื่อม

4.3.1.3 ฐานรอง

มีลักษณะโถงคริ่งกลม ที่รัศมีด้านในเท่ากับรัศมีด้านนอกของชิ้นงาน ทำหน้าที่ในการรองรับ และยึดจับท่อพลาสติกเพื่อให้หัวเชื่อมกดเขื่อมชิ้นงานได้สะตอบ

4.3.1.4 ตัวปรับเลื่อนระบบ

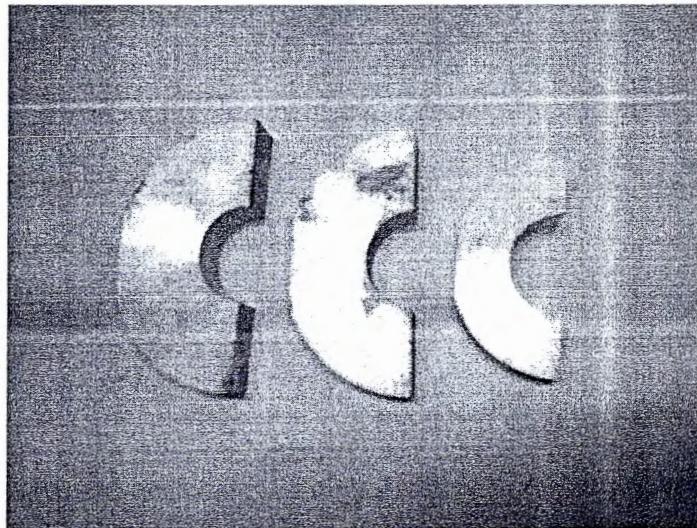
สามารถเลื่อนเข้าออกได้ เพื่อปรับเลื่อนให้เหมาะสมกับขนาดความยาวของชิ้นงานเมื่อชิ้นงานมีขนาดความยาวที่เปลี่ยนไปเพื่อให้จุดที่เชื่อมอยู่ในแนวตรงกลางหัวเชื่อมเสีย

4.3.1.5 สปริง

ใช้เพื่อสร้างแรงกดชิ้นงาน ให้ชิ้นงานมีการเคลื่อนตกลอดเวลาของการเชื่อมรวมถึงเป็นตัววัดแรงกดด้านข้าง ทั้งนี้สปริงที่ใช้ได้ผ่านการทดสอบหาค่าความแข็งของสปริงมาแล้ว

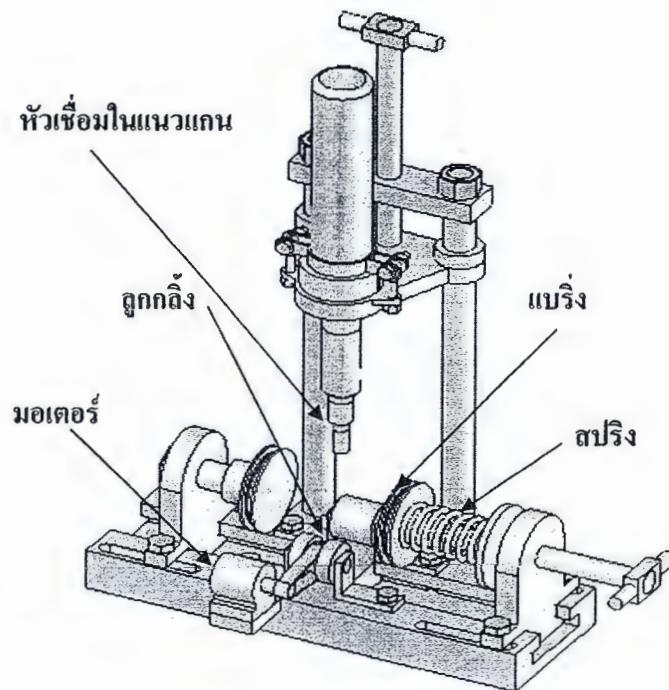
4.3.1.6 หัวเชื่อมครึ่งวงกลม (Resonator)

มีลักษณะครึ่งวงกลมหัวตัดเพื่อต่อ กับ Piezoelectric Transducer ดังแสดงในภาพ 4.8 ทำจากอลูมิเนียมอัลลอย มีความหนาแน่น $2.801759 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Yong Modulus) 4.0452 GPa และมีอัตราส่วนปัวซอง 0.42726 มีรัศมีภายในเท่ากันทั้งสามตัวคือ 17.5 mm. รัศมีภายนอกเรียงจากซ้ายไปขวา เท่ากับ 51.9 mm. 47.5 mm. และ 37.5 mm. มีความหนาเท่ากันที่ 20 mm. ตอบสนองที่ความถี่เดียวกันคือ 28 kHz ในโหมดการสั่นที่ต่างกัน

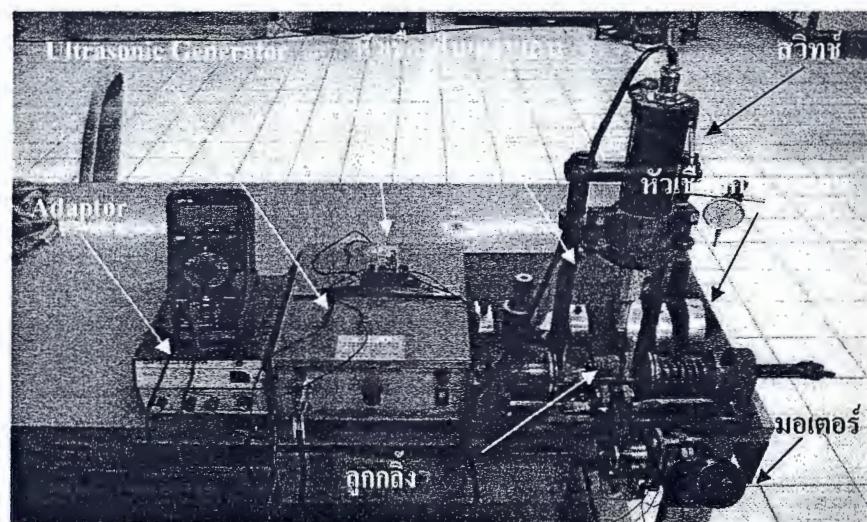


ภาพที่ 4.8 ตัวอย่างหัวเชื่อมครึ่งวงกลมที่ใช้ในการเชื่อม

4.3.2 เครื่องขีดแบบที่ใช้กับหัวขีดในแนวแกน



ภาพที่ 4.9 เครื่องขีดที่ใช้กับหัวขีดในแนวแกน



ภาพที่ 4.10 ชุดทดลองที่ใช้กับหัวขีดในแนวแกน

เครื่องเชื่อมแบบที่ใช้กับหัวเชื่อมในแนวแกนมีอุปกรณ์ส่วนใหญ่คล้ายกับ เครื่องเชื่อมแบบที่ใช้กับหัวเชื่อมครึ่งวงกลม ซึ่งได้อธิบายมาแล้ว ส่วนอุปกรณ์ที่แตกต่างจากเครื่องเชื่อมแบบที่ใช้หัวเชื่อมครึ่งวงกลม ได้แก่ ลูกกลิ้ง มอเตอร์ เครื่องแปลงสัญญาณดังแสดงในภาพที่ 4.9 และภาพที่ 4.10 ซึ่งมีหลักการทำงานและหน้าที่ดังนี้

4.3.2.1 ลูกกลิ้ง (ฐานรอง)

ในการพิมพ์เป็นการเชื่อมในแนวแกน ชิ้นงานต้องหมุน เพื่อให้เกิดแนวเชื่อมตามแนวเส้นรอบวง ลูกกลิ้งจึงเป็นทั้งตัวรองชิ้นงาน และขับให้ชิ้นงานให้หมุนรอบ โดยมีมอเตอร์เป็นต้นกำลังขนาด 12 V, 50 A. ขับลูกกลิ้งให้หมุนที่แรงบิดสูง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อจ่ายกระแส หรือแรงดันไฟฟ้าต่างกัน โดยใช้สายพานเป็นตัวส่งกำลัง ลูกกลิ้งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm.

4.3.2.2 เครื่องแปลงสัญญาณ

ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ที่ 4.5-12 V. กระแส 5 A. มี Relay ตัดสัญญาณไฟก่อนเข้ามอเตอร์เพื่อให้การทำงานของมอเตอร์ถูกควบคุมที่เวลาเดียวกันกับ Ultrasonic Generator ทำงานพร้อมกันภายใต้สวิตช์เดียว แสดงในภาพที่ 4.11



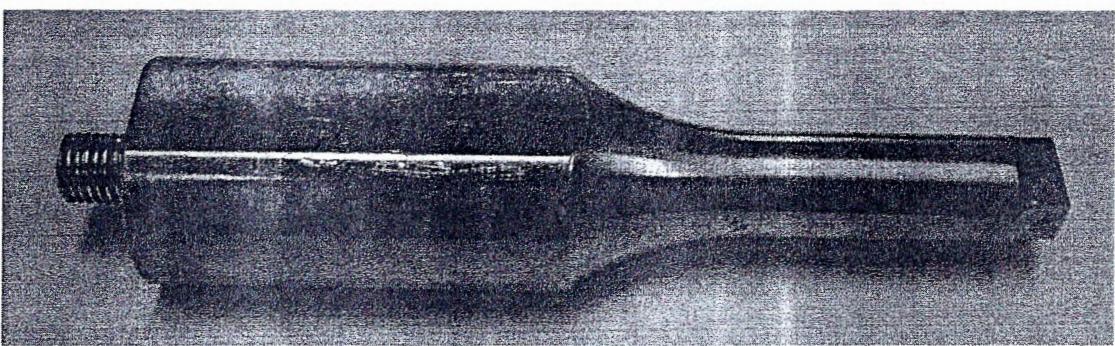
ภาพที่ 4.11 เครื่องแปลงสัญญาณ

4.3.2.3 แบรี่ง

เป็นส่วนประกอบที่ช่วยให้การหมุนของชิ้นงานสามารถอ่อนตัวได้ การเชื่อมที่มีแรงกดด้านข้าง โดยติดตั้งในตำแหน่งดังแสดงในภาพที่ 4.9

4.3.2.4 หัวเชื่อมในแนวแกน

เป็นหัวเชื่อมแบบ Step มีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านเล็ก 12 mm. เส้นผ่าศูนย์กลางด้านใหญ่ 25 mm. ความยาว 98 mm. ปลายหัวเชื่อมเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดหน้าตัด $6 \times 10 \text{ mm}^2$ ทำหน้าที่ส่งผ่านการสั่น และขยายแอมปลิจูดการสั่น ทำให้เกิดรอยเชื่อมเป็นจุดตรงบริเวณที่หัวเชื่อมสัมผัสลักษณะของหัวเชื่อมดังแสดงในภาพที่ 4.12



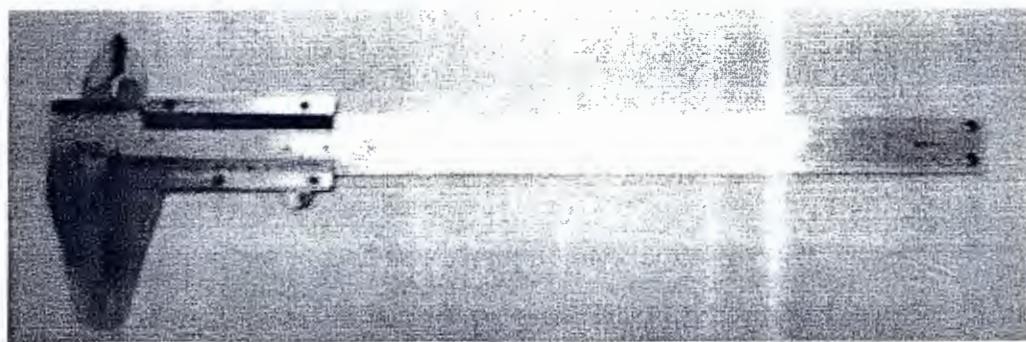
ภาพที่ 4.12 หัวเชื่อมในแนวแกน

4.4 เครื่องมือวัด

ในการศึกษานี้จำเป็นต้องวัดตัวแปรหลายตัวเพื่อประกอบการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเชื่อมดังนั้นในเครื่องเชื่อมแต่ละแบบจึงต้องใช้เครื่องวัดดังต่อไปนี้

4.4.1 เครื่องวัดระยะ

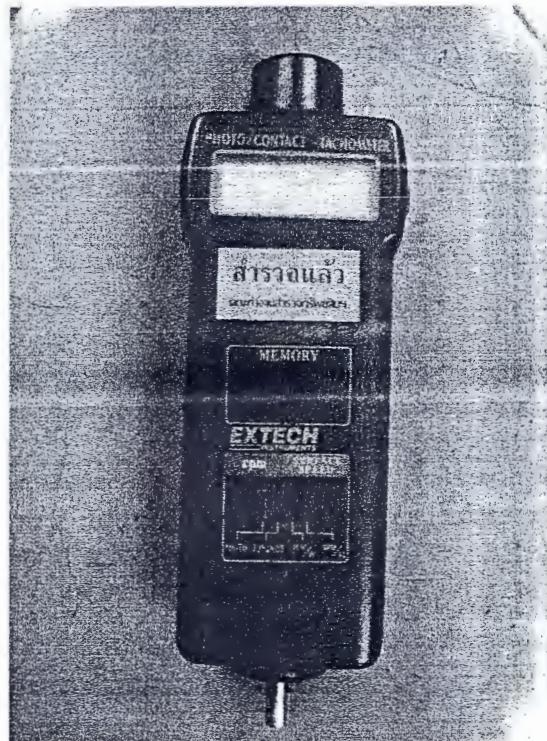
ใช้ในการวัดระยะการบุบตัวของสปริงเพื่อประกอบการคำนวณหาแรงกดที่กระทำต่อชิ้นงาน โดยเครื่องมือวัดที่ใช้เป็น เวอร์เนียมค่าความแม่นยำ สองจุดทศนิยมใช้วัดจำนวน 3 ครั้ง ต่อหนึ่งการทดลองเพื่อลดค่าความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 เครื่องมือวัดระยะ (เวอร์เนย)

4.4.2 เครื่องวัดความเร็วรอบ

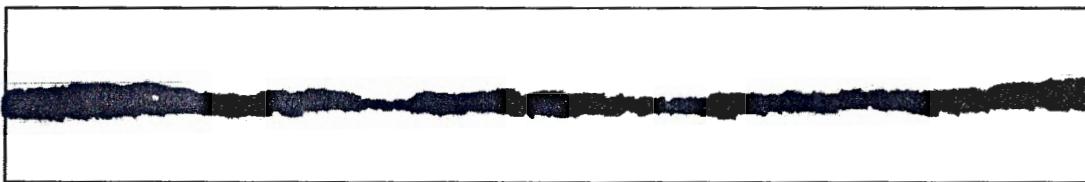
ใช้วัดความเร็วรอบของขึ้นจานในกรณีการซ่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกน เป็นเครื่องมือวัดความเร็วรอบแบบยิงแสง และมีแผ่นสะท้อนแสงกลับอ่านค่าความเร็วรอบเป็น rpm ชื่อเครื่อง Photo/Contact Tachometer ดังแสดงในภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 เครื่องวัดความเร็วรอบ

4.4.3 การวัดพื้นที่รอยเชื่อม

การวัดพื้นที่รอยเชื่อมจะใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางวัสดุศาสตร์ ชื่อโปรแกรม Dewinter Material Plus 4.1 ซึ่งสามารถแยกความแตกต่างของเพส โดยการใส่สีในส่วนของภาพที่นำมาวิเคราะห์ที่มีสีต่างกันให้ชัดเจนขึ้น และสามารถวัดอุณหภูมิเป็นหน่วยของพื้นที่ หรือเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับพื้นที่ของภาพทั้งหมด ซึ่งต้องมีการสอบเทียบขนาดของภาพก่อนเพื่อความถูกต้อง พื้นที่รอยเชื่อมที่นำมาวิเคราะห์นั้น ได้จากการลอกลายจากชิ้นงานเชื่อมตามแนวเส้นร่องวัว โดยกำหนดให้มีขนาด ความกว้าง 10 mm. และความยาวเท่ากับเส้นร่องของชิ้นงาน เพื่อให้ครอบคลุมทุกรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นจริง หลังจากนั้นก็ทำการสแกนภาพตามกรอบอ้างอิงที่กำหนดให้ทุกภาพมีขนาดเท่ากันดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 4.15 นำภาพที่สแกนเสร็จแล้วไปทำการวิเคราะห์หาพื้นที่รอยเชื่อมด้วยโปรแกรมต่อไป



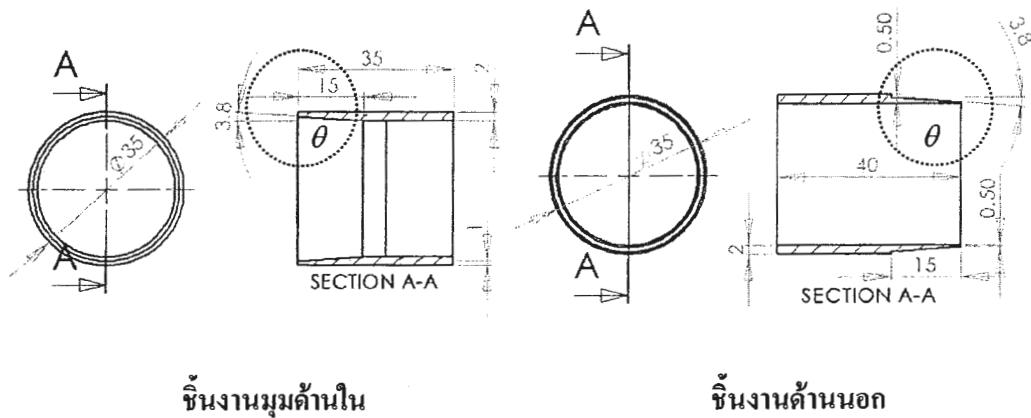
ภาพที่ 4.15 ตัวอย่างรอยเชื่อมที่ลอกลายและสแกนก่อนการวิเคราะห์

4.5 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นห่อพลาสติกกลมชนิด Polymethyl methacrylate (PMMA) มีลักษณะใส ไม่มีสี สามารถให้แสงส่องผ่านได้ถึง 92% มีความแข็งแกร่ง และทนทานต่อdin พี อากาศได้ดี มีความคงทนต่อความร้อนค่อนข้างมาก ส่วนสมบัติการเป็นอนุวนไฟฟ้าดีปานกลาง เนื่องจาก สมบัติเด่นของ PMMA คือ ความโปร่งใส เพื่อให้สามารถสังเกตเห็นแนวรอยเชื่อมได้ง่าย มีอัตราการ ดูดซับน้ำ 0.3% มีคุณสมบัติเชิงกลคือ มีการยืดตัว 48 % การทนแรงดึง 7,000 psi การทนแรงอัด 11,500 psi การทนแรงกด 10,500 psi ความทรงรูปในแนวแรงกด 310,000 psi และความแข็งที่ผิด 120 R มีคุณสมบัติค้านอุณหภูมิคือ มีอุณหภูมิที่เสียรูปที่แรงกดอัด 66 psi 187 °F และที่แรงกดอัด 264 psi 170 °F อุณหภูมิการใช้งานน้อยที่สุด -94 °F และมากที่สุด 176 °F มีจุดหลอมเหลว 212 °F

ชิ้นงานถูกขึ้นรูปให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางข้างนอก 35 mm. หนา 2 mm. ด้านปลายของ ท่อทำการกลึงบางให้มีมุมขนาดต่างกัน 4 ขนาด คือ 5.7° , 3.8° , 2.8° และ 0° ทั้งมุมด้านนอกและด้าน ใน เพื่อให้สามารถสวมกันได้ และมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่จะทำให้เกิดการเสียดทานมากขึ้น ภาพที่

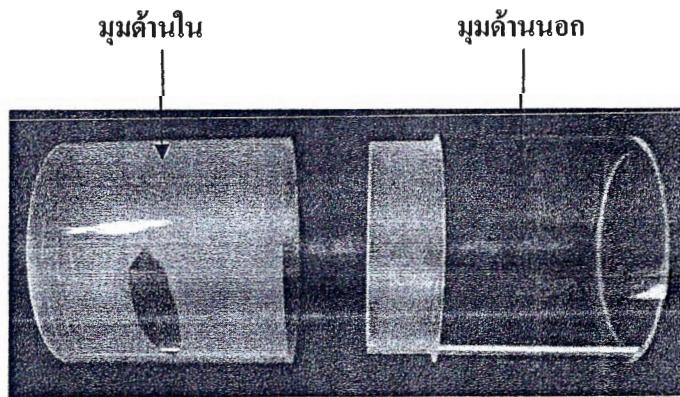
4.16 แสดงลักษณะของชิ้นงานเรื่องที่ใช้ในการทดสอบ ส่วนภาพที่ 4.17 แสดงตัวอย่างชิ้นงานจริงที่ใช้ในการทดสอบ และตารางที่ 4.1 แสดงขนาดและจำนวนชิ้นงานทดสอบที่ใช้ทั้งหมด



ชิ้นงานมุมด้านใน

ชิ้นงานด้านนอก

ภาพที่ 4.16 ตัวอย่างแบบชิ้นงานที่มีมุมด้านนอกและมุมด้านในเท่ากัน



ภาพที่ 4.17 ตัวอย่างชิ้นงานมุมด้านใน 2.8° และมุมด้านนอก 0°

ตารางที่ 4.1 ขนาดและจำนวนชิ้นงานทดสอบที่ใช้ทั้งหมด

ชนิด	รัศมีด้านนอก (mm.)	หนา (mm.)	มุมบาก (θ)	จำนวนท่อ (ชิ้น)
มุนด้านใน	17.5	2	5.7	110
	17.5	2	3.8	110
	17.5	2	2.8	110
มุนด้านนอก	17.5	2	5.7	60
	17.5	2	3.8	60
	17.5	2	2.8	60
	17.5	2	0	160

4.6 วิธีการทดสอบและเงื่อนไขในการทดสอบ

การวางแผนชิ้นงานทั้งการเชื่อมแบบหัวเขื่อมครึ่งวงกลมและเชื่อมแบบหัวเขื่อมในแนวแกน จะต้องวางแผนชิ้นงานมุนด้านในไว้ข้างที่ไม่มีการเคลื่อนที่ หรือด้านซ้ายมือตามภาพที่ 4.18 และภาพที่ 4.19 ให้ชิ้นงานมุนด้านนอกไว้ข้างที่มีการเคลื่อนที่ หรือด้านขวา มือ แล้วเลื่อนหัวเขื่อมลงให้สัมผัส กับชิ้นงาน ขอบของหัวเขื่อมด้านขวา มือ ของนา กับขอบของชิ้นงานมุนด้านในพอดี เนื่องจากเวลา เชื่อมชิ้นงานมุนด้านนอกจะมีการเคลื่อนที่เล็กน้อย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนของแนวเชื่อม และดำเนินการเชื่อมตามวิธีการ ดังจะอธิบายต่อไปนี้

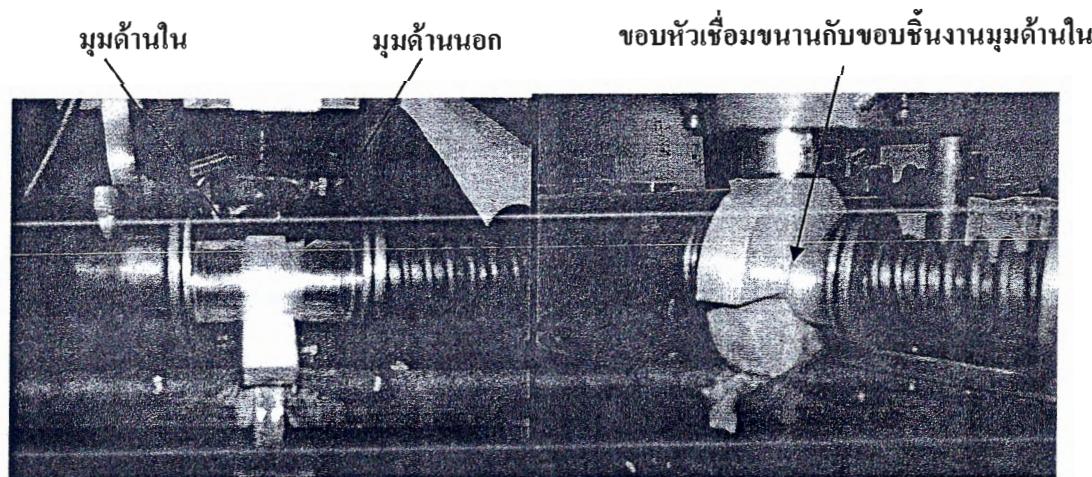
4.6.1 กรณีหัวเขื่อมครึ่งวงกลม

ในการเชื่อมด้วยหัวเขื่อมครึ่งวงกลม ต้องเปลี่ยนหัวเขื่อมและฐานรองชิ้นงานที่มี รัศมีด้านในเท่ากับรัศมีด้านนอกของชิ้นงาน แล้ววางชิ้นงานบนฐานรอง หลังจากนั้นเดื่อนชุด หัวเขื่อมประภกให้หัวเขื่อมสัมผัสที่ผู้ชิ้นงานดังภาพที่ 4.18 จากนั้นขันเกลียวเพิ่มแรงกดด้านซ้าย ให้ สปริงบุบตัวและวัดระยะบุบตัวไว้เพื่อกำหนดแรงกดด้านซ้าย กดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน

ในการทดสอบจะใช้หัวเขื่อมครึ่งวงกลม โหนดที่ 1-3 เนื่องจากข้อจำกัดของตัว กำหนดความถี่และเครื่องมือต่างๆ หากต้องการหัวเขื่อมที่โหนดสูงกว่านี้จะต้องเปลี่ยนความถี่ที่ สูงขึ้น สำหรับเงื่อนไขในการทดสอบกรณฑ์หัวเขื่อมครึ่งวงกลมมีตัวแปรในการทดสอบ ได้แก่ แรงกดด้านซ้าย โหนดการสั่น เวลา และมุมบากของชิ้นงาน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เสื่อนไชและกรณีการทดสอบของหัวเชื่อมครึ่งวงกลม

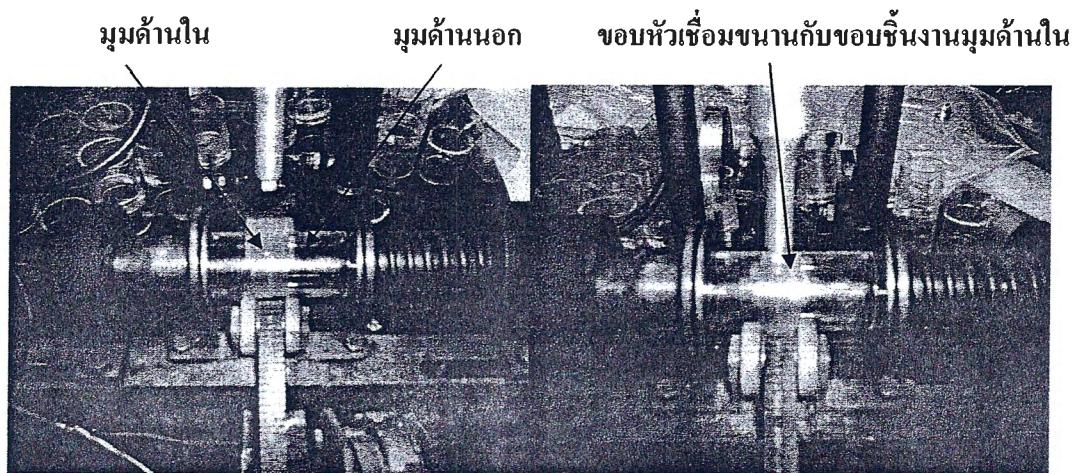
กรณี	ชิ้นงานมุนด้านใน (θ)	ชิ้นงานมุนด้านนอก (θ)	荷重การตัน	ช่วงแรงกดด้านข้าง (N)	ช่วงเวลา (s)
นำกมุนทั้งสองด้าน	2.8	2.8	1-3	20-180	0-10
	3.8	3.8	1-3	20-180	0-10
	5.7	5.7	1-3	20-180	0-10
นำกมุนหนึ่งด้าน	2.8	0	1-3	20-180	0-10
	3.8	0	1-3	20-180	0-10
	5.7	0	1-3	20-180	0-10



ภาพที่ 4.18 การวางแผนงานกรณีเครื่องแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม

4.6.2 การเชื่อมในแนวแกน

ในการเชื่อมในแนวแกนจะนำชิ้นงานวางบนอุกอกลัง และเลื่อนหัวเชื่อมลงมาสัมผัสกับชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 4.19 จากนั้นเกลี่ยวน้ำเพิ่มแรงกดด้านข้าง วัดระยะบุบตัวของสปริงก่อนและหลังการเชื่อม เพื่อคำนวนหาแรงกดด้านข้าง ตั้งเวลาตามความเร็วอบให้ชิ้นงานหมุนครบ 1 รอบพอดี กดสวิทช์ให้เครื่องทำงาน ในกรณีของการทดสอบการเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกน เสื่อนไชที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.19 ลักษณะการวางชิ้นงานกรณีเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกน

ตารางที่ 4.3 เงื่อนไขและการทดสอบของหัวเชื่อมในแนวแกน

กรณี	ชิ้นงานมุนด้านใน (θ)	ชิ้นงานมุนด้าน นอก (θ)	ความเร็วรอบ (rpm)	แรงกดด้านข้าง (N)
หากมุมทั้งสอง 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
หากมุมหนึ่งด้าน	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

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง คือค่าของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมท่อพลาสติกกลม ด้วยอุลตร้าโซนิก ได้แก่ แรงกด เวลา ความเร็วรอบ และมุมของชิ้นงาน อันส่งผลให้เกิดพื้นที่รอยเชื่อมที่แตกต่างกัน รวมถึงสิ่งที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลองในแต่ละกรณี ซึ่งจะได้นำมาอธิบาย และวิเคราะห์ในบทต่อไป ส่วนตัวชี้วัดหลักที่จะใช้เป็นตัววัดความสามารถในการเชื่อม คือ พื้นที่รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่ได้อธิบายไว้แล้ว

บทที่ 5

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

บทนี้จะอธิบายถึงผลการทดสอบ ตามการทดสอบที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยจะรวมไปถึงผลการทดสอบทางคอมพิวเตอร์ (FEA) และผลการทดสอบของเครื่องชี้อัมตั้งแบบดังต่อไปนี้

5.1 ผลการคำนวณโดยมุ่งการสั่นด้วย FEA

จากการวิเคราะห์ด้วย FEA จะสามารถแยกโหมดการสั่นของหัวเชื่อมครึ่งวงกลมได้หลายโหมด และในที่นี้จะเลือกสนใจเฉพาะโหมดการสั่นที่สมมาตร โหมดที่ 1-6 เท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 5.1 ทั้งนี้สำหรับหัวเชื่อมครึ่งวงกลมขนาดหนึ่ง ๆ จะเกิดการสั่นแบบต่าง ๆ ที่ความถี่เฉพาะของแต่ละโหมดการสั่นนั้น ๆ ไป ดังนั้นในการออกแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลมแต่ละตัวจึงต้องทำการคำนวณโหมดการสั่นและความถี่ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้รอยเชื่อมตามต้องการ ซึ่งในการคำนวณดังกล่าวอาจเกิดความผุ่งยาก ในการศึกษานี้จึงได้ทำการสร้างกราฟช่วยออกแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลมขึ้น โดยสร้างมาจาก การจำลองทางคอมพิวเตอร์ของหัวเชื่อมหลายขนาด และคำนวณโหมดการสั่น และความถี่ที่ตอบสนอง จากนั้นนำมาเขียนเป็นกราฟ ดังแสดงในภาพที่ 5.2 โดยกราฟดังกล่าวประกอบด้วยแกนนอนคือแกนของผลคูณของความถี่และความหนา ($F.d$) ส่วนแกนตั้งคือแกนของผลคูณของความถี่และรัศมีเฉลี่ย ($F.r$) ซึ่งความสัมพันธ์ของทั้งสองแกนสามารถใช้ในการช่วยออกแบบขนาดของหัวเชื่อมตามต้องการได้

จากราฟในรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของ $F.r$ และ $F.d$ นั้นมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยเส้นกราฟในโหมดสูงๆ จะอยู่เหนือเส้นกราฟของโหมดที่ต่ำกว่าเสมอ ผลการศึกษานี้ได้ทำการสอบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ต่างๆ และโหมดการสั่นต่างๆ ของหัวเชื่อมแบบครึ่งวงกลม ซึ่งการทดสอบดังกล่าวได้ทำที่ Watanabe Lab, Department of Electronics and Computer Systems, Faculty of Engineering, Takushoku University ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งพบว่าได้ผลใกล้เคียงกับการทดสอบ

จากราฟดังกล่าว สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการออกแบบขนาดของหัวเชื่อมแบบครึ่งวงกลมได้ โดยการกำหนดค่าที่ต้องการใช้งานแล้วเลือกความสัมพันธ์ระหว่างค่า $F.r$ และ $F.d$ แล้วใช้ความสัมพันธ์จากสมการที่ 5.1 และ 5.2 หาขนาดที่เหมาะสมดังแสดงเป็นตัวอย่างต่อไปนี้

สมมุติว่าต้องการเชื่อมห่อพลาสติกขนาดรัศมีภายนอกเท่ากับ 30 mm. ดังนั้น หัวเชื่อมที่ต้องการจะต้องมีขนาด $r_i = 30 \text{ mm}$. และหากต้องการใช้โหนดที่ 5 ในการเชื่อม เพื่อให้เกิดการสั่นกระเจยทั้งหัวเชื่อม เราอาจจะเลือกจุด A ในภาพที่ 5.2 เป็นจุดออกแบบ ซึ่งจากจุด A จะมีพิกัด F, r เท่ากับ 3.5 kHz.m และ F, d kHzm เท่ากับ 1

$$F.r = 3.5 \text{ kHz.m} = F \left(\frac{r_o + r_i}{2} \right) \quad (5.1)$$

$$F.d = 1.05 \text{ kHz.m} = F(r_o - r_i) \quad (5.2)$$

F ความถี่ (kHz)

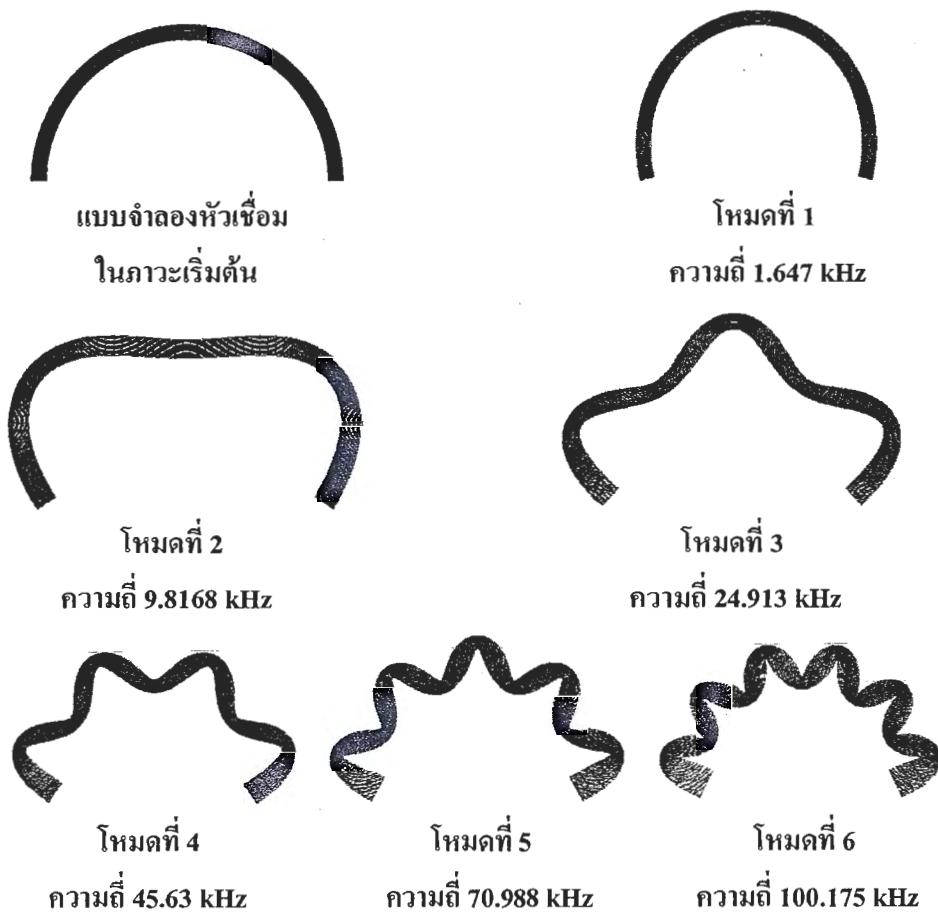
r รัศมีเฉลี่ย (mm.)

d ความหนา (mm.)

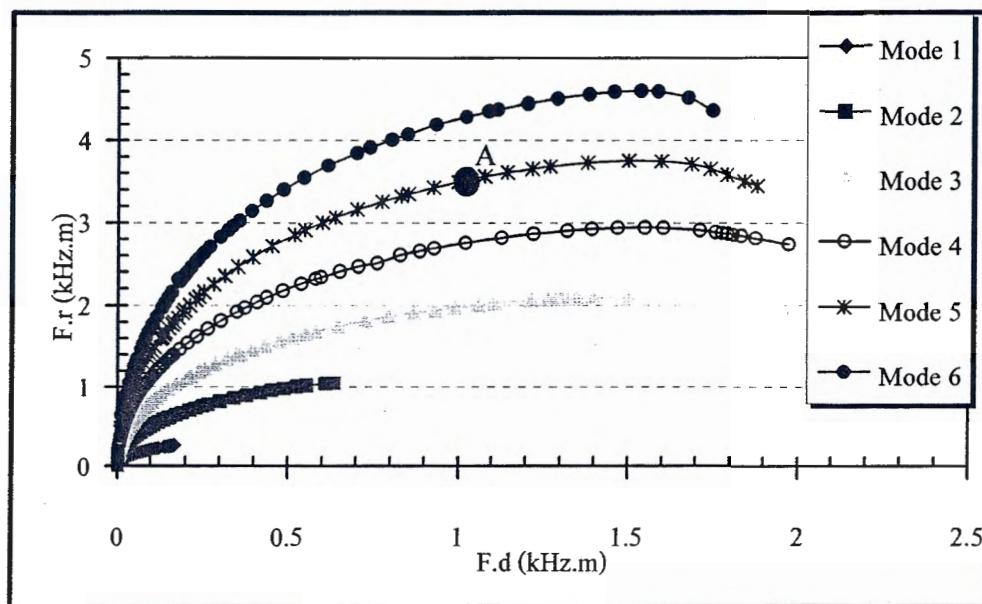
r_i รัศมีค้านในของหัวเชื่อม (mm.)

r_o รัศมีค้านนอกของหัวเชื่อม (mm.)

จากสมการที่ 5.1 และสมการที่ 5.2 เมื่อแทนค่า $r_i = 30 \text{ mm}$. จะสามารถแก้สมการหาค่า r_o และ F ได้ โดยสามารถแก้สมการได้ $r_o = 40.588 \text{ mm}$. และ $F = 99.166 \text{ kHz}$ ดังนั้นหัวเชื่อมที่สามารถใช้งานได้ควรมีขนาด $r_o = 30 \text{ mm}$. และมีขนาดความหนา $d = r_o - r_i = 10.588 \text{ mm}$. ใช้งานกับความถี่ $F = 99.166 \text{ kHz}$ จะได้รูปแบบการสั่นโหนดที่ 5



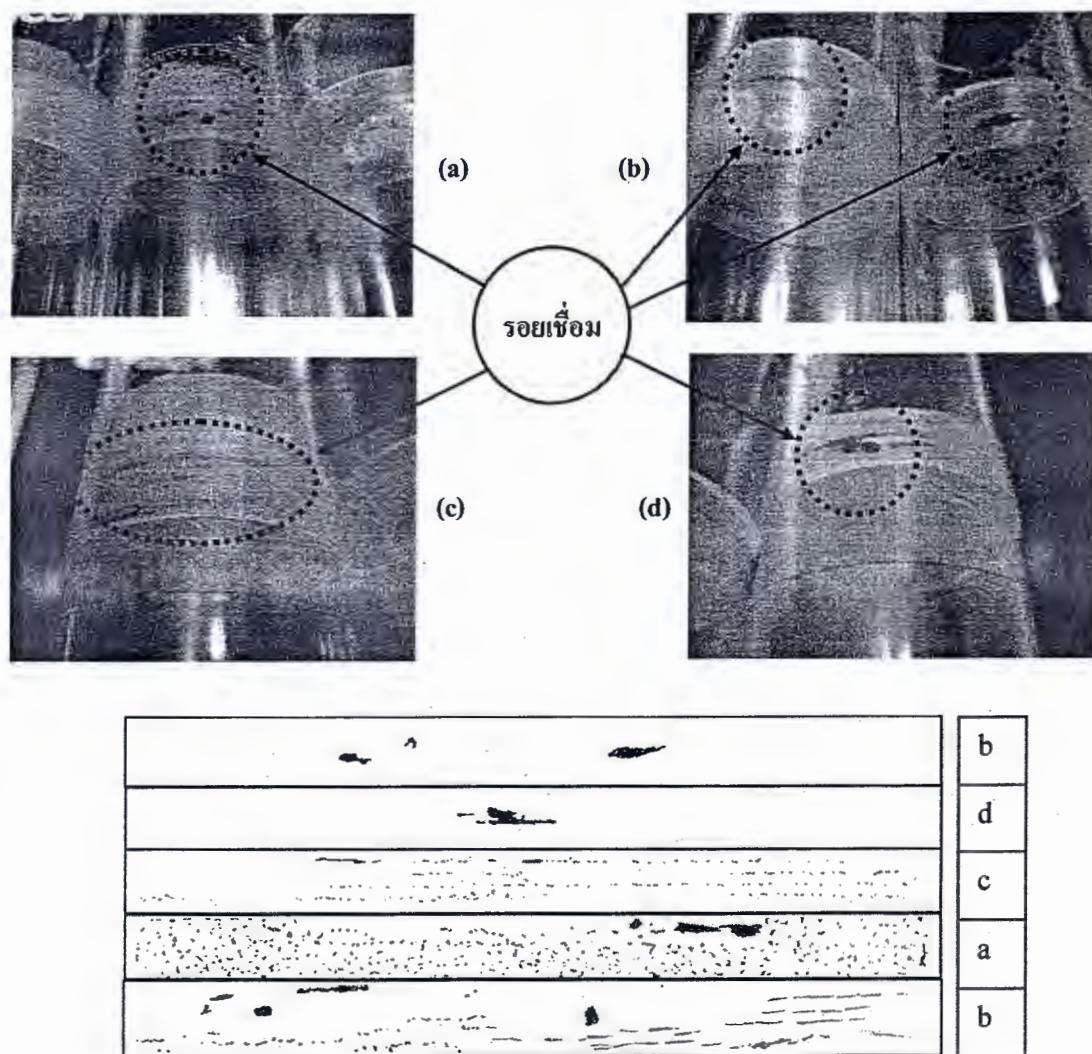
ภาพที่ 5.1 ตัวอย่างของการสั่นของหัวเชื่อมและค่าความถี่ในโหนดที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ของหัวเชื่อมที่มีขนาด $r_i = 26.7 \text{ mm}$ $r_o = 29.7 \text{ mm}$.



ภาพที่ 5.2 กราฟช่วยออกแบบหัวเชื่อมอุลดตร้าโซนิคแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม

5.2 ผลการเชื่อมห่อพลาสติกกลมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม

ในการทดลองเชื่อมชิ้นงานด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม ได้ทดลองเชื่อมชิ้นงานตามเงื่อนไขการทดลองในตารางที่ 4.2 พบว่ามีชิ้นงานที่เกิดรอยเชื่อม 5 ชิ้นงาน จากชิ้นงานที่ทดลองทั้งหมดประมาณ 20 ชิ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลมนั้นยังไม่สามารถทำงานได้ดีนัก กล่าวคือสามารถเชื่อมชิ้นงานได้เพียงประมาณ 25% ซึ่งอาจเกิดจากความไม่เสถียรของเครื่องมือ อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ได้นำร้อยเชื่อมที่สามารถเชื่อมได้มาทำการวิเคราะห์ผล โดยรอบเชื่อมที่เกิดขึ้นในกรณีนี้แสดงในภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 ตัวอย่างรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมคริ่งวัสดุและลักษณะรอยเชื่อมโดยรอบท่อของการเชื่อมแบบหัวเชื่อมคริ่งวัสดุ

ในการทดลองเชื่อมแบบหัวเชื่อมคริ่งวัสดุมีข้อจำกัดที่เครื่องกำเนิดความถี่ที่สามารถทำความถี่ได้ 28 kHz ทำให้ไม่สามารถใช้โหนดการสั่นที่สูง ๆ ได้ เพราะความถี่ที่ต้องการจะสูงขึ้นเกินความสามารถของเครื่อง Ultrasonic Generator โหนดการสั่นที่ใช้ได้อยู่ในช่วง โหนดที่ 1-3 เท่านั้น ดังนั้นการออกแบบหัวเชื่อมให้เข้ากับความถี่จึงทำได้ยาก ในการทดลองจึงใช้เพียงแค่โหนดการสั่นที่ 1

ผลจากการเชื่อมแบบหัวเชื่อมคริ่งวัสดุ ดังแสดงในตัวอย่างของชิ้นงานภาพที่ 5.3 จากภาพจะสังเกตเห็นพื้นที่ที่พลาสติกเชื่อมติดกัน ซึ่งจะมีลักษณะใส และเป็นจุดกระจายตัวไปโดยรอบ

ท่อ ส่วนพื้นที่ที่ไม่เกิดรอยเชื่อม จะมีลักษณะบุ่น เนื่องจากเป็นลักษณะเดิมของท่อที่ผ่านการกลึงมาก่อน การเชื่อม และมีบางครั้งที่ไม่เกิดรอยเชื่อมเลย เป็นผลมาจากการตัวแปรที่ใช้ในการทดลองดังนี้

5.2.1 อิทธิพลของแรงกดด้านข้าง

จากผลการทดลองพบว่าการกำหนดแรงกดด้านข้างที่ใช้งานเชื่อมจะต้องอยู่ในอุปทานที่ชึ้นงานยังสามารถเคลื่อนที่ได้ ทั้งนี้หากใช้แรงกดด้านข้างมากเกินไปชึ้นงานจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่หากใช้แรงกดด้านข้างน้อยเกินไปชึ้นงานจะสัมผัสกันไม่แน่นพอ สรุปให้การสัมผัสกันไม่ดี ก็จะไม่เกิดรอยเชื่อมเช่นกัน จากการทดลองพบว่าแรงกดด้านข้างที่ชึ้นงานยังสามารถเคลื่อนที่ได้และสามารถสร้างรอยเชื่อมได้ควรไม่เกิน 150 N ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับบุณฑุณของชิ้นงานด้วย

5.2.2 อิทธิพลของโหนดการสั่น

เนื่องจากการทดลองใช้โหนดการสั่นของหัวเชื่อมเพียงโหนดที่ 1 เท่านั้นจึงไม่สามารถรู้ได้ว่าหากเป็นโหนดการสั่นอื่นจะได้รอยเชื่อมลักษณะไหน แต่จากการทดลองหัวเชื่อมโหนดที่ 1 แสดงในภาพที่ 5.3 รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นมีทั้ง แบบกระจายตามเส้นรอบวง และแบบเป็นจุดซึ่งเกิดเนื่องจากบุณฑุณของชิ้นงานที่บากบุนหั่งสองด้านจะสามารถเคลื่อนที่ได้ทำให้มีหัวเชื่อมสั่นชิ้นงานเคลื่อนที่พร้อมกันทั้งหน้าตัดทำให้เกิดรอยเชื่อมกระจายรอบ ๆ ท่อ แสดงในภาพที่ 5.3 a และ 5.3 c ส่วนบุณฑุณของชิ้นงานน้ำกัดด้านเดียวการเคลื่อนที่ของชิ้นงานเวลาเชื่อมเคลื่อนที่ได้ไม่ดี รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นจึงเป็นจุดตามโหนดการสั่นที่ใช้ในการเชื่อมหรือบริเวณที่หัวเชื่อมสั่น ดังแสดงในภาพ 5.3 b และ 5.3 d

5.2.3 อิทธิพลของเวลา

เวลาที่ใช้ในการเชื่อมไม่เกิน 10 Sec คือเวลาที่เครื่อง Ultrasonic Generator สามารถตั้งเวลาได้ ในการทดลองเชื่อม ช่วงเวลาที่ทำให้เกิดรอยเชื่อมใช้เวลา 5 Sec. ขึ้นไป

5.2.4 อิทธิพลของบุณฑุณของชิ้นงาน

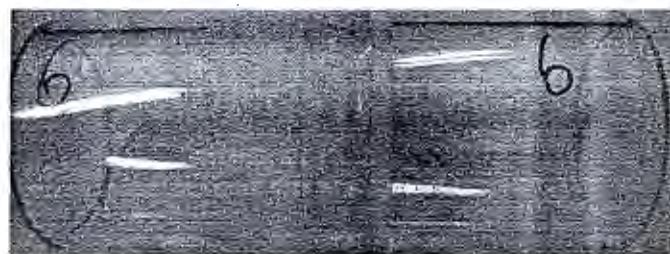
จะเห็นว่ารอยเชื่อมเกิดขึ้นทั้งสองกรณี คือ บากบุนหั่งสองด้าน และบากบุนด้านเดียว ถึงแม้ว่าจะไม่ได้ผลกระทบทุกกรณี แต่สามารถบอกได้ว่ากรณีบุณฑุณมากทั้งสองด้าน (2.8° - 2.8° และ 3.8° - 3.8°) ทำให้เกิดรอยเชื่อมกระจายเป็นจุดเล็ก ๆ รอบท่อ เนื่องมาจากหน้าตัดที่สัมผัสด้วยพื้นที่ที่เกิดรอยเชื่อมมีมาก ดังแสดงในภาพที่ 5.3 (a) และ 5.3 (c) ส่วนบุณฑุณ 5.7° - 5.7° นั้นไม่เกิดรอยเชื่อมเนื่องจากหน้าตัดที่สัมผัสด้วยพื้นที่ที่น้อยมาก ทำให้เกิดรอยเชื่อมที่หัวเชื่อม แต่หากบุณฑุณน้อยมาก แต่ต้องมีความกว้างมากกว่าบุณฑุณอื่น ๆ ส่วนกรณีบุณฑุณน้ำกัดด้านเดียวหน้าตัดที่สัมผัสด้วยพื้นที่ที่เกิดรอยเชื่อมมีน้อยมาก และการเคลื่อนที่ของชิ้นงานภายในหัวเชื่อมทำให้เกิดรอยเชื่อมที่หัวเชื่อมที่ไม่เป็นจุดตามโหนดการสั่นของหัวเชื่อมไม่เกิดรอยเชื่อมโดยรอบหัวเชื่อม กรณีที่เกิดรอยเชื่อม คือ บุณฑุณ 2.8° - 0°

และ $3.8^\circ - 0^\circ$ เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ภายในได้รับแรงกดด้านข้างได้บ้าง ส่วนมุม $5.7^\circ - 0^\circ$ การเคลื่อนที่น้อยมากจึงไม่เกิดรอยเชื่อม

อย่างไรก็ตามเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลมยังทำงานได้ไม่เสียร อาจเนื่องมาจากการออกแบบหัวเชื่อมให้มีความถี่ต่ำกว่าเครื่องกำเนิดความถี่ Ultrasonic Generator ทำได้ยาก ทำให้โหนดการสั่นไม่ตรงกับที่คำนวณได้ หากหัวเชื่อมที่ใช้ความถี่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นส่งผลต่อเครื่อง Ultrasonic Generator ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น หรือการสูญเสียการสั่นจากข้อต่อ ดังนี้ในการเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลมจะต้องตรวจสอบความถี่ของหัวเชื่อมแล้วทำการปรับความถี่ให้ตรงกับหัวเชื่อม โดย Ultrasonic Generator จะต้องสามารถปรับความถี่ให้ตรงกับความถี่ของหัวเชื่อมตามโหนดการสั่นนั้น จึงจะทำให้ได้โหนดการสั่นที่ใกล้เคียง จากปัญหาที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่าการเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลมนิความยุ่งยาก แต่ก็สามารถเชื่อมได้ เช่นกันแม้ว่ารอยเชื่อมที่ได้ยังไม่ดีพอ ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบชุดทดลองขึ้นมาใหม่ที่สามารถใช้งานกับหัวเชื่อมในแนวแกนทั่วไป และง่ายต่อการเชื่อม โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนขนาดหัวเชื่อม เมื่อขนาดของชิ้นงานเปลี่ยนไป โดยเมื่อนำเครื่องเชื่อมที่มีหัวเชื่อมในแนวแกนมาทดลองเชื่อมปรากฏว่าสามารถทำงานได้ดี ดังผลการทดลองต่อไปนี้

5.3 ผลการทดลองเชื่อมห่อพลาสติกกลมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกน

ผลจากการเชื่อมห่อพลาสติกกลมโดยใช้เครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกน ดังแสดงในตัวอย่างของชิ้นงานภาพที่ 5.4-5.9 จากภาพจะสังเกตเห็นพื้นที่ที่พลาสติกเชื่อมติดกัน ซึ่งจะมีลักษณะใส และเป็นเส้นกระหายตัวไปโดยรอบห่อ ส่วนพื้นที่ที่ไม่เกิดรอยเชื่อม จะมีลักษณะผุนเนื่องจากเป็นลักษณะเดิมของห่อที่ผ่านการกลึงบากมาก่อนการเชื่อม จากการรอยเชื่อมที่ได้จะเห็นว่า รอยเชื่อมที่ได้อาจแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ รอยเชื่อมในลักษณะที่กระหายตัวกว้างออกไปเป็นหลายแท่ง (2-3 แท่ง) ในแต่ละแฉวอยเชื่อมมักเกิดในลักษณะเป็นช่วง ๆ ไม่ต่อเนื่องกัน ดังแสดงในภาพที่ 5.4, 5.6 และ 5.8 ซึ่งลักษณะของรอยเชื่อมแบบนี้จะพบในกรณีการบากห่อทั้งตัวในและตัวนอก (มุม $2.8^\circ - 2.8^\circ$ มุม $3.8^\circ - 3.8^\circ$ และมุม $5.7^\circ - 5.7^\circ$)



ความเร็วรอบ 25 rpm



ความเร็วรอบ 45 rpm

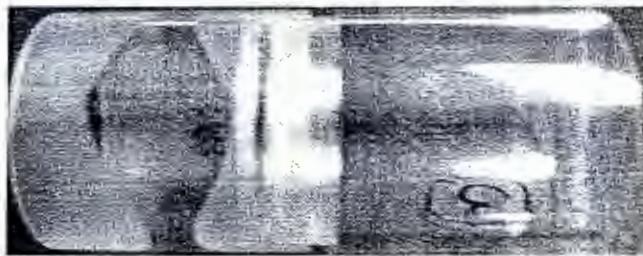


ความเร็วรอบ 67 rpm



ความเร็วรอบ 100 rpm

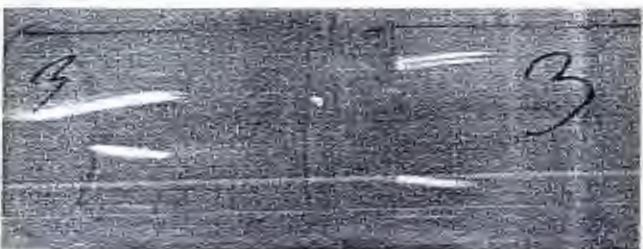
ภาพที่ 5.4 ตัวอย่างลักษณะของรอยเขื่อนที่เกิดจากการเขื่อนด้วยเครื่องเขื่อนแบบหัวเขื่อนในแนวแกนnum 2.8° กับ 2.8° ที่ความเร็วรอบต่างกัน



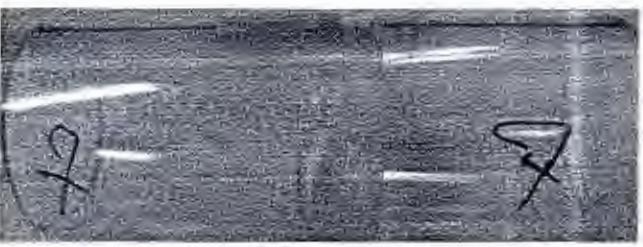
ความเร็วรอบ 25 rpm



ความเร็วรอบ 45 rpm

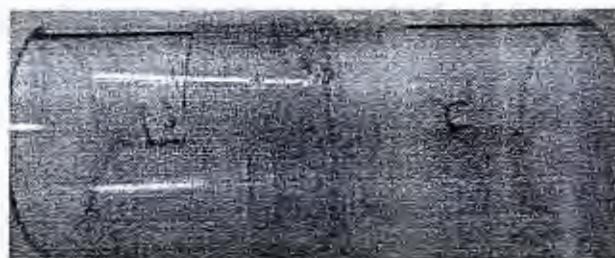


ความเร็วรอบ 67 rpm



ความเร็วรอบ 100 rpm

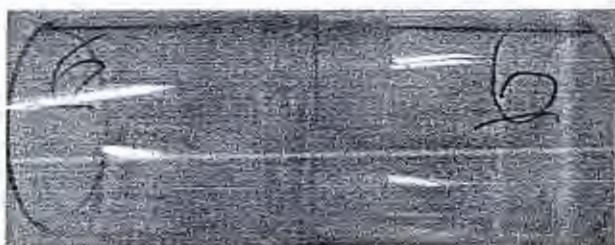
ภาพที่ 5.5 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกนนูน 2.8° กับ 0 ที่ความเร็วรอบต่างกัน



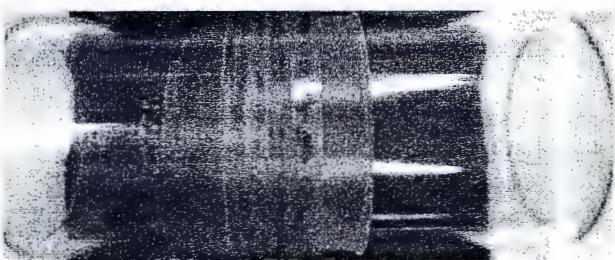
ความเร็วรอบ 25 rpm



ความเร็วรอบ 45 rpm

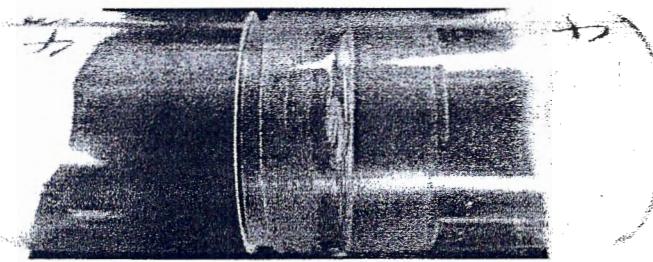


ความเร็วรอบ 67 rpm

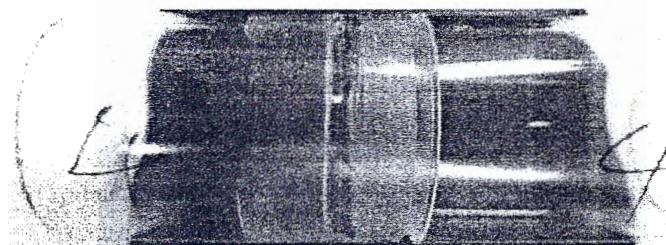


ความเร็วรอบ 100 rpm

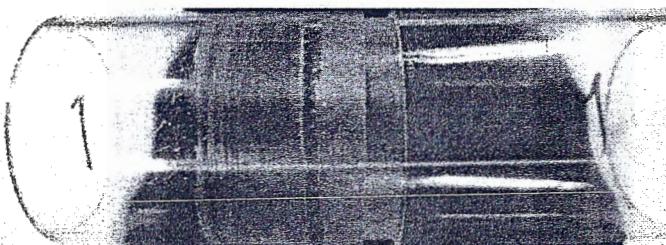
ภาพที่ 5.6 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกนnum 3.8° กับ 3.8° ที่ความเร็วอบต่างกัน



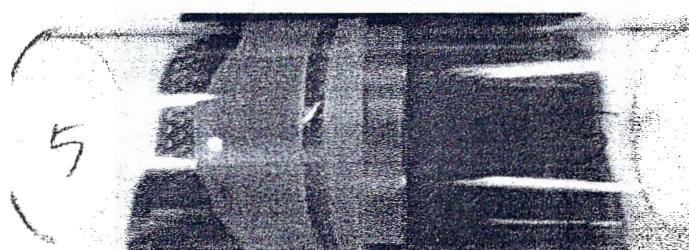
ความเร็วรอบ 25 rpm



ความเร็วรอบ 45 rpm

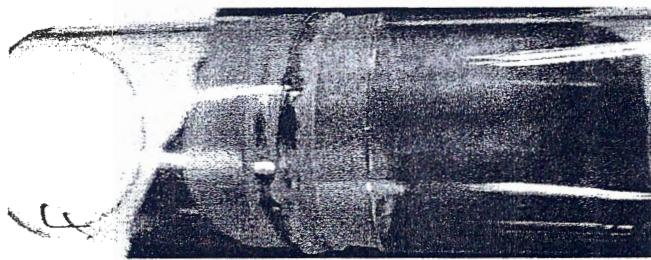


ความเร็วรอบ 67 rpm

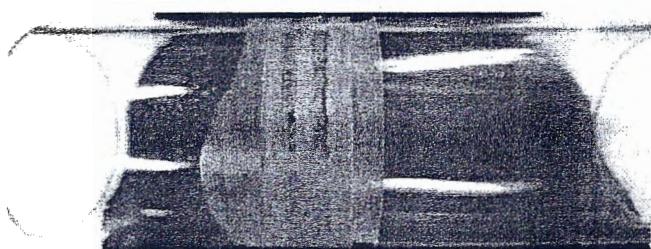


ความเร็วรอบ 100 rpm

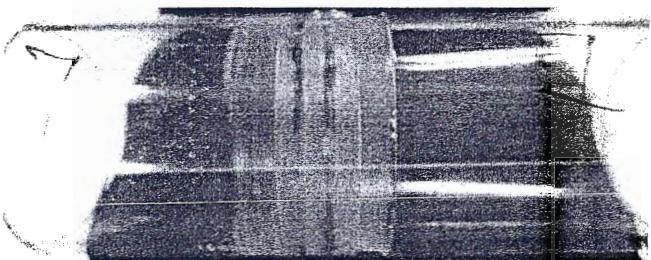
ภาพที่ 5.7 ตัวอย่างลักษณะของรอยเขื่อนที่เกิดจากการเชื่อมค้ำขึ้นเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมใน
แนวแกนnum 3.8° กับ 0° ที่ความเร็วรอบต่างกัน



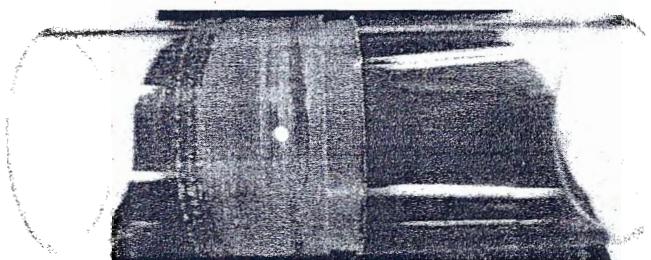
ความเร็วรอบ 25 rpm



ความเร็วรอบ 45 rpm

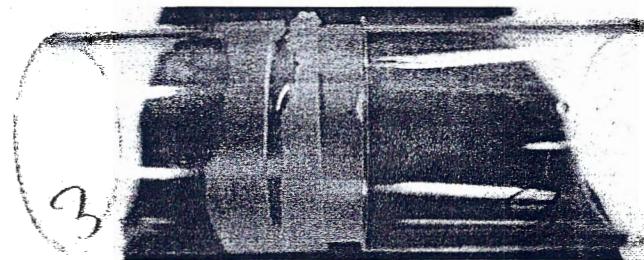


ความเร็วรอบ 67 rpm

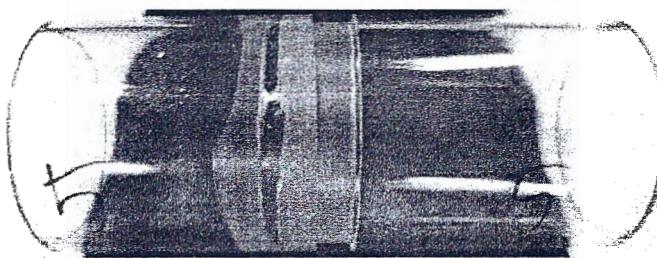


ความเร็วรอบ 100 rpm

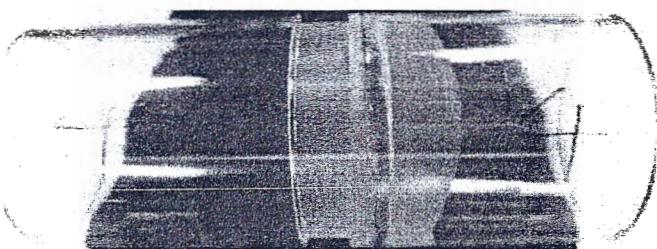
ภาพที่ 5.8 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกนnum 5.7° กับ 5.7° ที่ความเร็วรอบต่างกัน



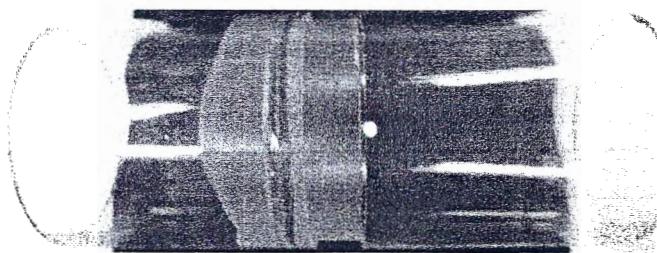
ความเร็วรอบ 25 rpm



ความเร็วรอบ 45 rpm



ความเร็วรอบ 67 rpm

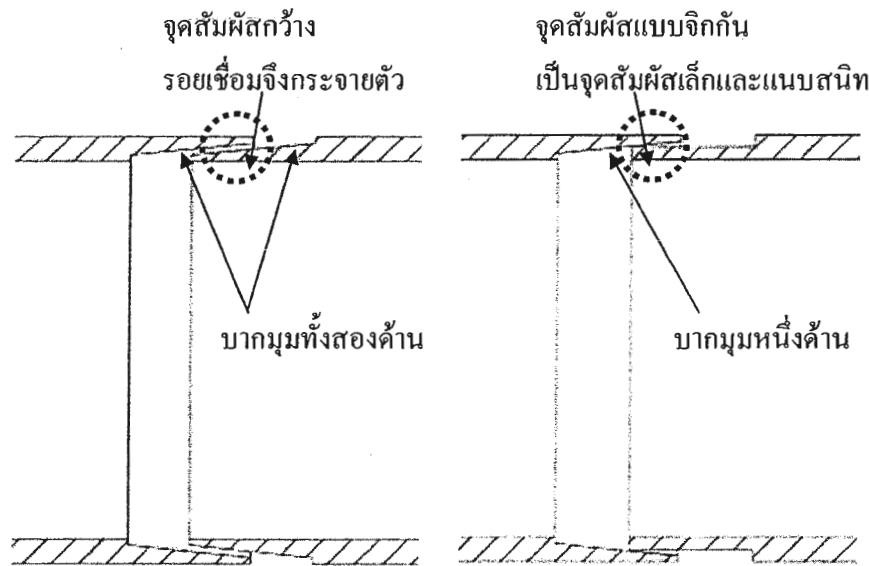


ความเร็วรอบ 100 rpm

ภาพที่ 5.9 ตัวอย่างลักษณะของรอยเขื่อนที่เกิดจากการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกนนูน 5.7° กับ 0° ที่ความเร็วรอบต่างกัน

สาเหตุของการเกิดการเชื่อมในลักษณะนี้เกิดจากหน้าสัมผัสของห่อที่เชื่อมมีการบากให้มุมเท่ากันจึงสัมผัสกันในพื้นที่กว้าง เมื่อทำการเชื่อมจึงเกิดการสั่นกระจายในแนวกว้างด้วย ส่งผลให้ได้รอยเชื่อมที่กระจายตัวไปได้ดี อย่างไรก็ตามรอยเชื่อมแบบนี้มีความต่อเนื่องน้อยซึ่งอาจเกิดจากลักษณะผิวกลึงของห่อที่ไม่สม่ำเสมอ และการกระจายของพลังงานไม่ต่อเนื่อง รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นจึงมีลักษณะเป็นจุดไม่ต่อเนื่องในบางพื้นที่

รอยเชื่อมอีกลักษณะที่พบเป็นรอยเชื่อมที่มีลักษณะเป็นเส้นเดียวชัดเจน และมีความหนาดังแสดงในภาพที่ 5.5, 5.7 และ 5.9 รอยเชื่อมแบบนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ห่อมีการบากเพียงด้านเดียว (มุม 2.8° - 0° มุม 3.8° - 0° และมุม 5.7° - 0°) เท่านั้น ซึ่งสาเหตุของการเกิดรอยเชื่อมในลักษณะนี้อาจเกิดจากกรณีบากห่อเพียงด้านเดียว จุดสัมผัสระหว่างผิวห่อจะสัมผัสกันในลักษณะจิกกันตลอดเส้นร่องวง (ดังแสดงในภาพที่ 5.10) ดังนั้นมือเกิดการสั่นจุดสัมผัสนี้จะสร้างรอยเชื่อมได้ดีและต่อเนื่อง จึงเกิดรอยเชื่อมที่ใหญ่และต่อเนื่องรอบวง



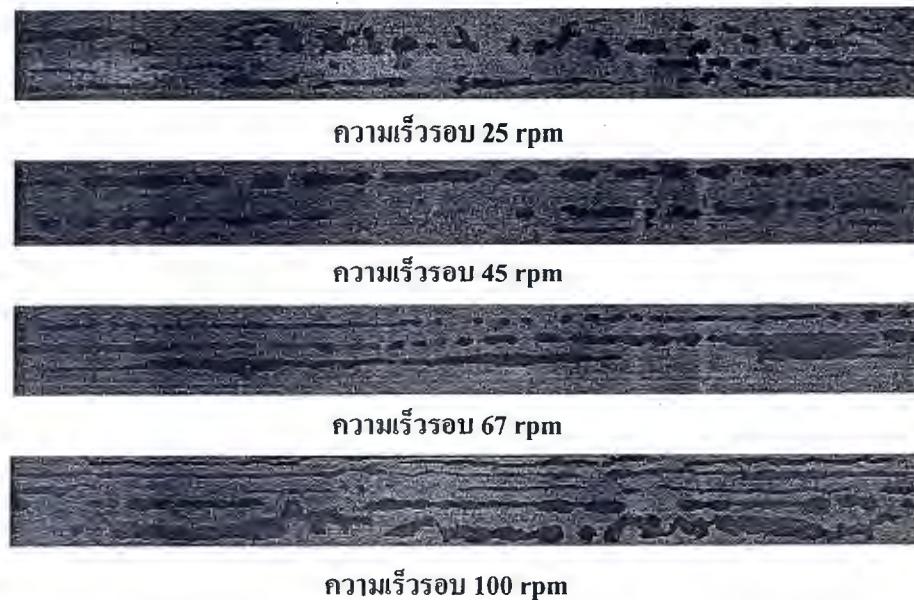
ภาพที่ 5.10 ลักษณะรอยสัมผัสของห่อที่เชื่อมกรณีบากห่อเพียงด้านเดียว และสองด้าน



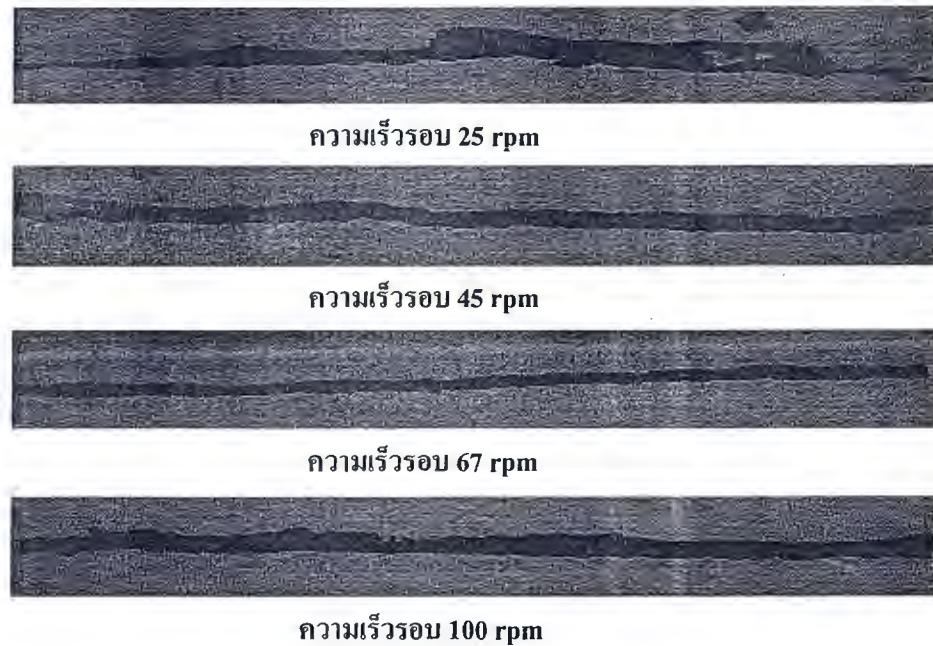
ภาพที่ 5.11 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกนโดยรอบท่อมน 2.8° กับ 2.8° ที่ความเร็วอบต่างกัน



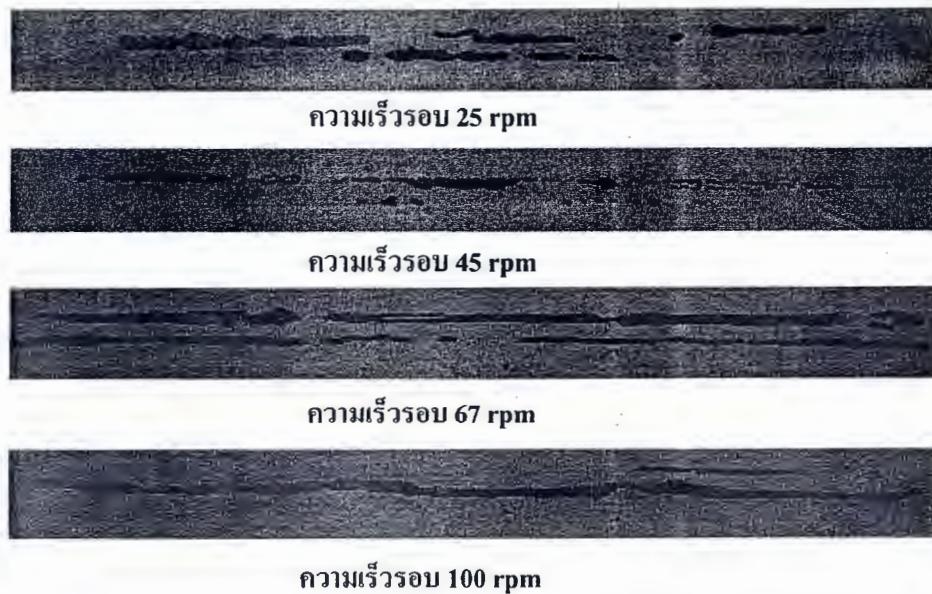
ภาพที่ 5.12 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกนโดยรอบท่อมน 2.8° กับ 0° ที่ความเร็วอบต่างกัน



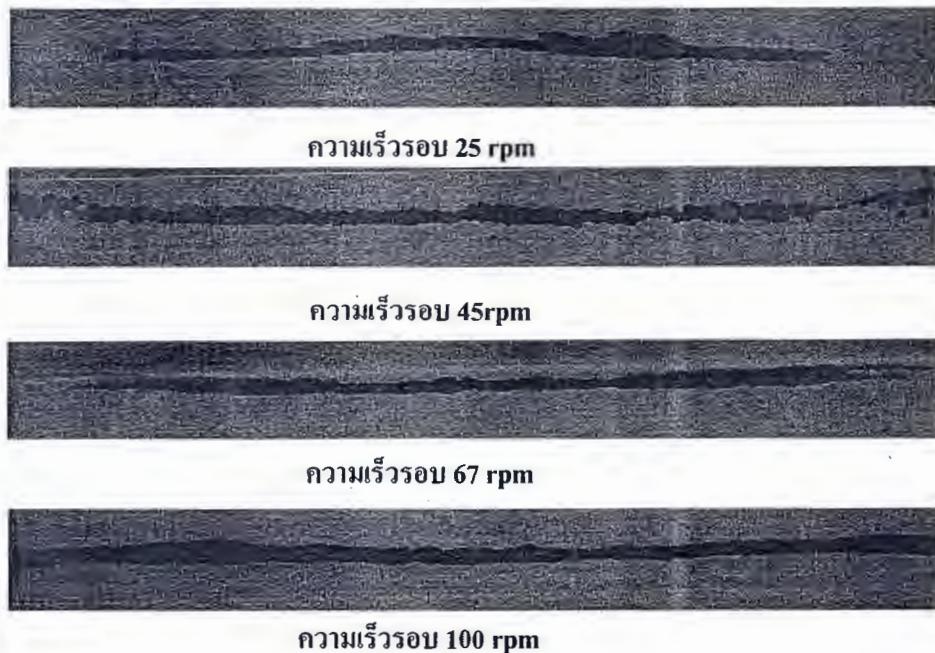
ภาพที่ 5.13 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกน โดยรอบท่อปูม 3.8° กับ 3.8° ที่ความเร็วรอบต่างกัน



ภาพที่ 5.14 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกน โดยรอบท่อปูม 3.8° กับ 0° ที่ความเร็วรอบต่างกัน



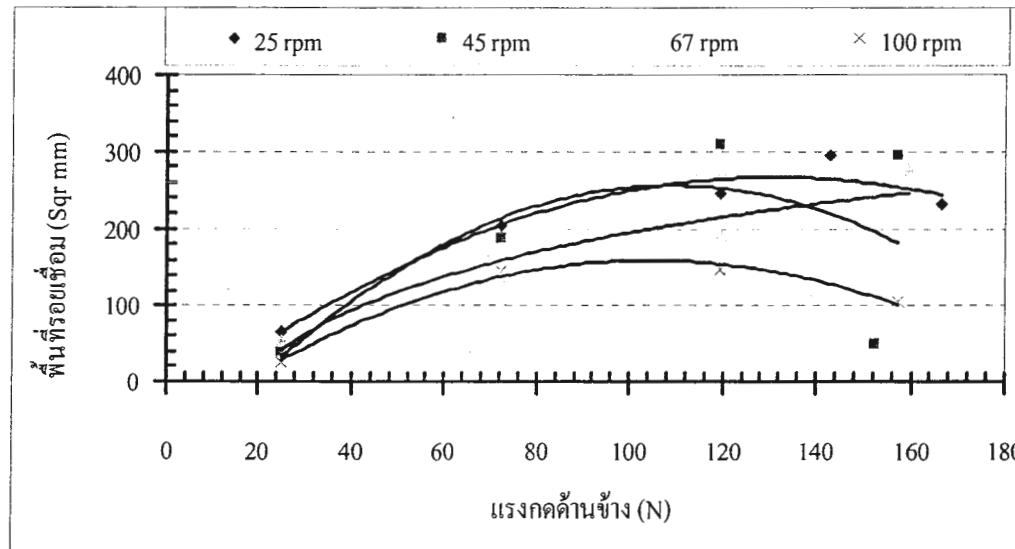
ภาพที่ 5.15 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกนโดยรอบท่อนูน 5.7° กับ 5.7° ที่ความเร็วรอบต่างกัน



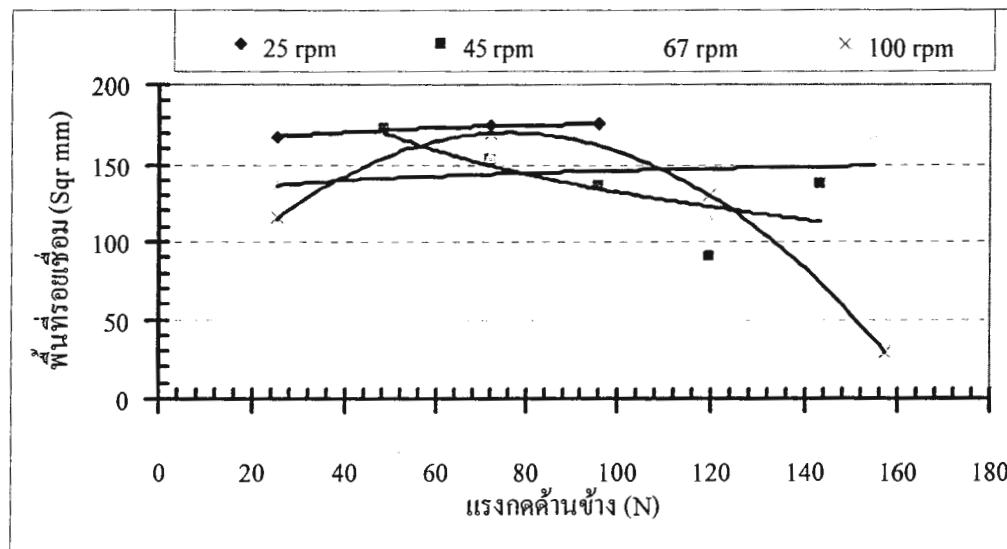
ภาพที่ 5.16 ตัวอย่างลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมด้วยหัวเชื่อมแบบในแนวแกนโดยรอบท่อนูน 5.7° กับ 0° ที่ความเร็วรอบต่างกัน

เพื่อให้เห็นลักษณะของรอยเชื่อมได้ดีขึ้น จึงได้ทำการคัดเลือกรอยเชื่อมลงบนแถบการเพื่อทำเป็นแผ่นคีตี้ชีฟ์ทำให้มองเห็นการเกิดขึ้นของแนวรอยเชื่อมได้โดยรอบท่ออย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 5.11-5.16

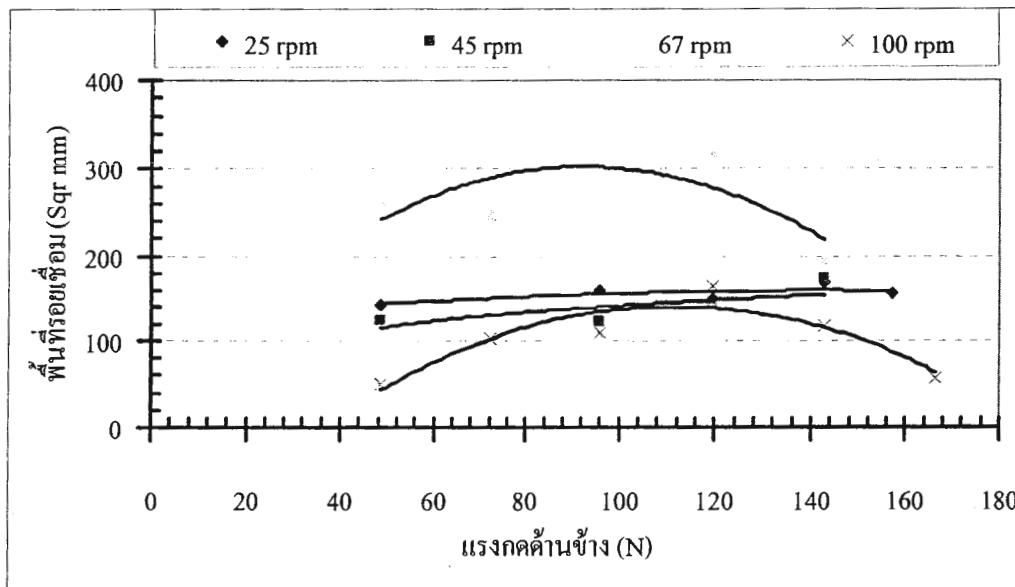
เพื่อทำการวิเคราะห์หาพื้นที่รอยเชื่อม จึงได้นำรอยเชื่อมที่คัดเลือกไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Dewinter Material Plus 4.1 ภายใต้มาตรฐาน ASTM E562&E1245 ผลการทดสอบพบความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รอยเชื่อมกับ ความเร็วรอบ ขนาดของแรงกดด้านข้าง และนูนของชิ้นงาน มีความสัมพันธ์ ดังแสดงเป็นกราฟในภาพที่ 5.17-5.26 ซึ่งสามารถแยกพิจารณาเป็นอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังจะอธิบายต่อไปนี้



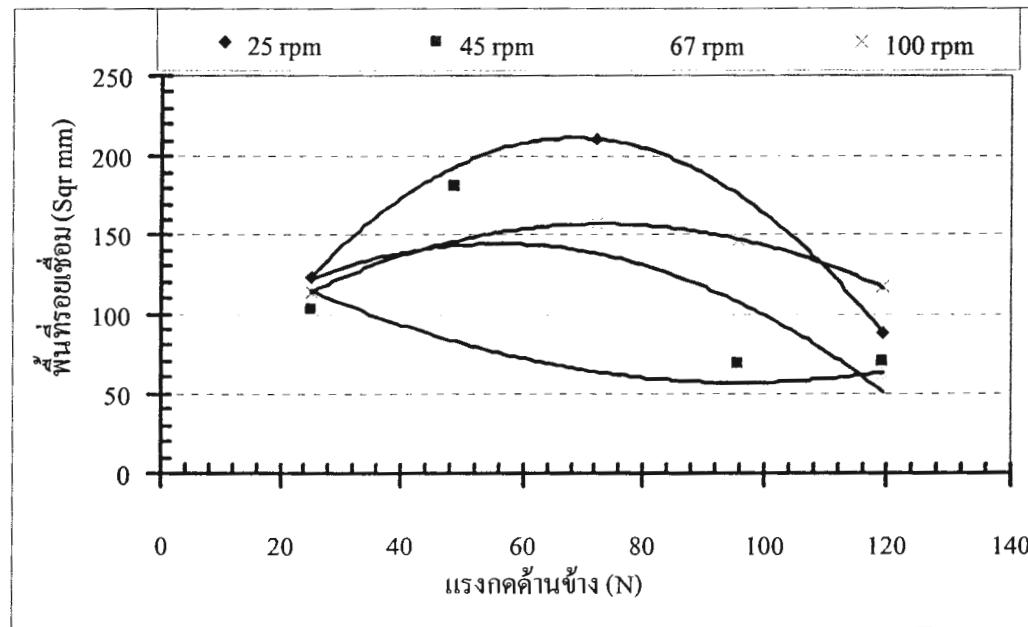
ภาพที่ 5.17 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง และความเร็วรอบต่าง ๆ กรณีของชิ้นงานบางนูนทั้งสองด้านที่ 2.8° - 2.8°



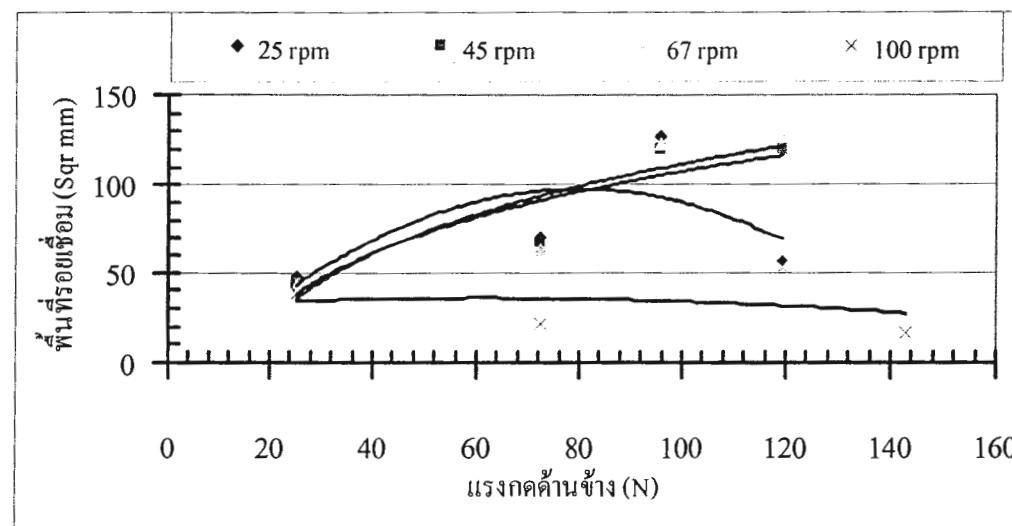
ภาพที่ 5.18 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง และความเร็วรอบต่างๆ กรณีของชิ้นงานนาภมุนหั้ง ส่องด้านที่ $2.8^\circ - 0^\circ$



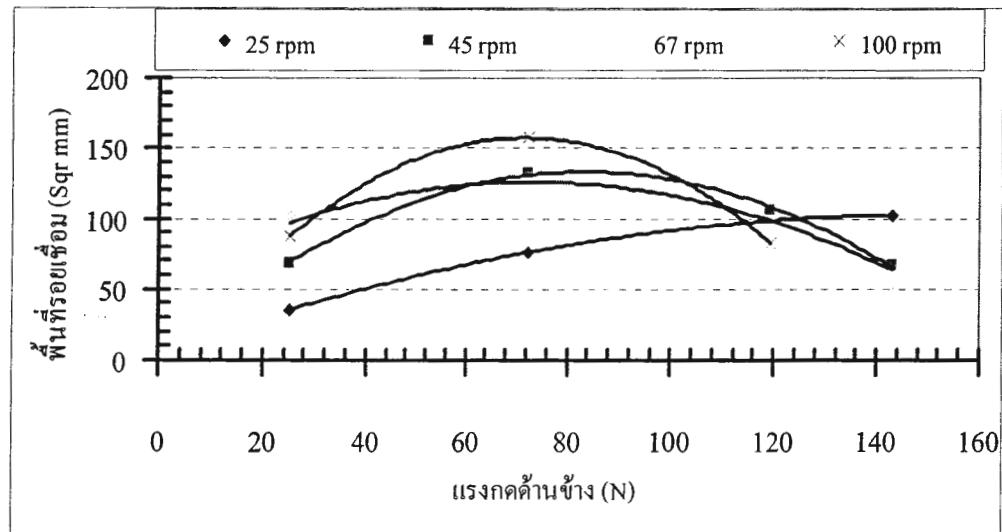
ภาพที่ 5.19 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง และความเร็วรอบต่างๆ กรณีของชิ้นงานนาภมุนหั้ง ส่องด้านที่ $3.8^\circ - 3.8^\circ$



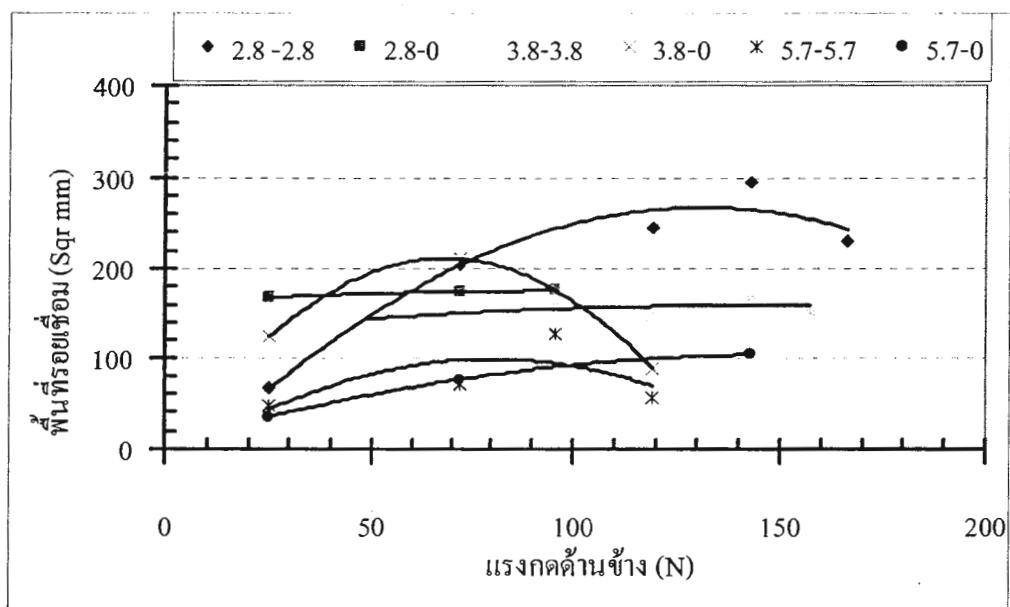
ภาพที่ 5.20 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แร้งก็อกด้านข้าง และความเร็วรอบต่างๆ กรณีของชิ้นงานบางมุ่นทั้งสองด้านที่ $3.8^\circ - 0^\circ$



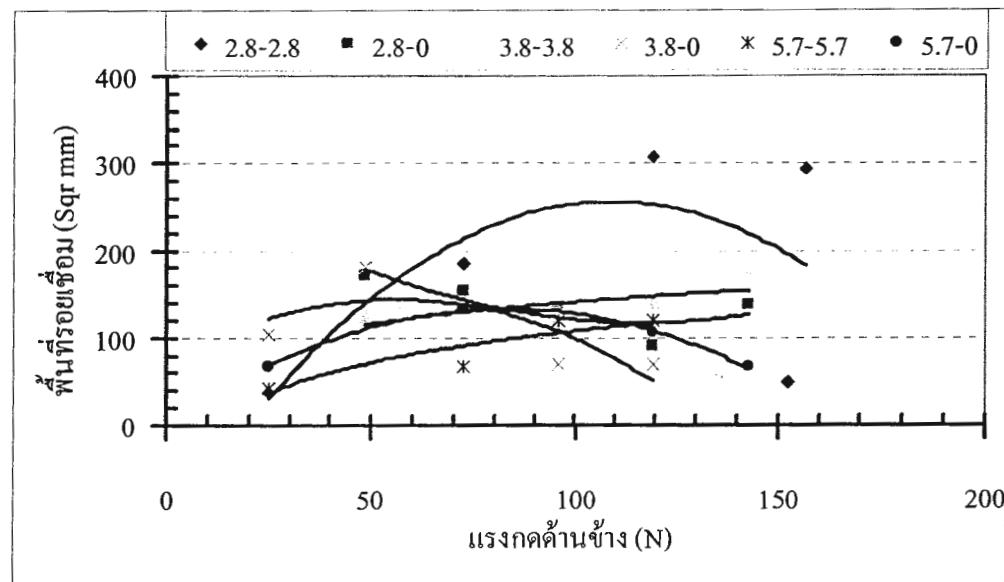
ภาพที่ 5.21 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แร้งก็อกด้านข้าง และความเร็วรอบต่างๆ กรณีของชิ้นงานบางมุ่นทั้งสองด้านที่ $5.7^\circ - 5.7^\circ$



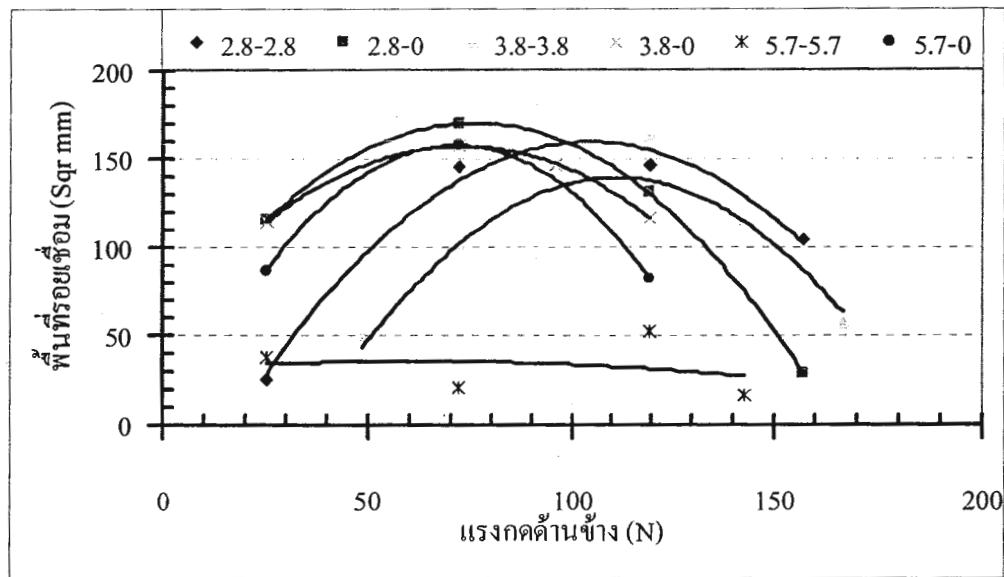
ภาพที่ 5.22 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง และความเร็วรอบต่างๆ กรณีของชิ้นงานบางกุมทั้งสองด้านที่ $5.7^\circ - 0^\circ$



ภาพที่ 5.23 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง และความเร็วรอบ 25 rpm



ภาพที่ 5.24 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง และความเร็วรอบ 45 rpm



ภาพที่ 5.25 พื้นที่ของรอยเชื่อมที่แรงกดด้านข้าง และความเร็วรอบ 67 rpm

2.8° - 2.8° , 3.8° - 3.8° และ 5.7° - 5.7° นั้นเมื่อความเร็วอบมากขึ้นพื้นที่รอยเชื่อมจะลดน้อยลงตามลำดับ แต่ในทางตรงกันข้าม ในกรณีของมนุ 2.8° - 0° , 3.8° - 0° และ 5.7° - 0° กลับพบว่า เมื่อความเร็วอบมากขึ้นพื้นที่ของรอยเชื่อมก็จะมากขึ้นตามไปด้วย จากผลการทดลองดังกล่าวทำให้ไม่สามารถสรุป อิทธิพลของความเร็วอบอย่างชัดเจนได้ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าช่วงความเร็วอบที่ใช้ในการทดลอง (25 - 100 rpm) เป็นช่วงความเร็วอบที่มีผลต่อพื้นที่รอยเชื่อมในระดับที่ใกล้เคียงกัน จึงถูกอิทธิพล ของแรงกดด้านข้าง และมนุของรอยนากระหบบจึงไม่อาจเห็นผลที่ชัดเจนได้ อย่างไรก็ตามจาก การทดลองเพิ่มเติมพบว่าหากความเร็วอบในการเชื่อมน้อยเกินไป ชิ้นงานที่เชื่อมอาจเกิดการ เสียหายได้ เนื่องจากเกิดการสั่นเสียดสีของชิ้นงานบริเวณใดบริเวณหนึ่งนานเกินไป ชิ้นงานจึงร้อน และบุบตัวเสียหาย และในทางตรงกันข้ามหากชิ้นงานหมุนด้วยความเร็วอบสูงเกินไป รอยเชื่อมที่ ได้ก็จะไม่เป็นรอยเชื่อมที่ต่อเนื่องสม่ำเสมอ เนื่องจากเวลาในการสั่นเสียดสีกันมีน้อยเกินไป ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาในประเด็นนี้เพิ่มเติมต่อไป

5.3.3 อิทธิพลของมนุมากของท่อเชื่อม

ในการพิจารณาอิทธิพลของมนุมาก เมื่อพิจารณาในแง่ของพื้นที่รอยเชื่อม หาก พิจารณาเฉพาะช่วงของแรงกดที่สร้างรอยเชื่อมสูงจะพบว่า โดยทั่วไปกรณีที่ใช้มนุมากเท่ากันทั้ง สองด้าน (2.8° - 2.8° , 3.8° - 3.8° และ 5.7° - 5.7° บางกรณี) นั้นจะให้พื้นที่รอยเชื่อมที่มากกว่ากรณีที่ใช้มนุ มากด้านเดียว (2.8° - 0° , 3.8° - 0° และ 5.7° - 0° บางกรณี) ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นเกิด กระบวนการขยายในแนวกว้าง เพราะพื้นที่สัมผัสของห้องมีมากดังได้อธิบายมาแล้ว อย่างไรก็ตามเพื่อให้ เห็นคุณภาพของรอยเชื่อมในอีกแง่มุมหนึ่งคือ เมื่อพิจารณาในแง่ความต่อเนื่องของรอยเชื่อม โดย ความต่อเนื่องของรอยเชื่อม หมายถึง ลักษณะรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเส้นต่อเนื่องไม่มี รอยขาด ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 5.16 ที่ความเร็วอบ 100 rpm และ 5.12 ที่ความเร็วอบ 67 rpm ส่วนบริเวณรอยเชื่อมที่มีความไม่ต่อเนื่องของรอยเชื่อมคือ รอยเชื่อมมีรอยขาด ดังตัวอย่างที่แสดงใน ภาพที่ 5.15 ที่ความเร็วอบ 25 rpm และ 45 rpm เป็นต้น โดยเมื่อรอยเชื่อมมีความต่อเนื่องท่อ ก็จะไม่ มีรอยร้าวเวลาดำเนินไปใช้งานจริง และเพื่อแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของมนุมากมีผลต่อลักษณะของรอย เชื่อมอย่างไร จึงได้ทำการแยกจำนวนของรอยเชื่อมที่ต่อเนื่อง และ ไม่ต่อเนื่อง กรณีเชื่อมด้วยมนุมาก ต่าง ๆ กันดังผลที่ได้แสดงในตารางที่ 5.1

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าเมื่อเชื่อมท่อโดยทำการนา้มุเพียงด้านเดียวนั้น มี แนวโน้มที่จะให้รอยเชื่อมที่ต่อเนื่องได้มากกว่า เนื่องจากการนา้มุเพียงด้านเดียวนั้น ท่อจะสัมผัส กันในบริเวณหน้าตัดของห่อที่มีมุม 0° เท่านั้น ทำให้บริเวณสัมผัสนี้มีลักษณะแคบ และแน่น สร้างรอย เชื่อมได้อย่างดีรอยเชื่อมที่เกิดจึงเป็นเส้นเดี่ยวชัดเจน ไม่กระจายตัว ดังได้อธิบายมาแล้ว

ตารางที่ 5.1 จำนวนรอยเชื่อมทั้งแบบที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องเมื่อเชื่อมด้วยมุมต่างๆ

ชนิด	มุมของชิ้นงาน (θ)	รอยเชื่อมต่อเนื่อง (%)	รอยเชื่อมไม่ต่อเนื่อง (%)
มุมนาคท่อทั้งสองด้าน	$2.8^\circ - 2.8^\circ$	37.50	62.50
	$3.8^\circ - 3.8^\circ$	38.46	61.54
	$5.7^\circ - 5.7^\circ$	9.30	90.70
มุมนาคท่อหนึ่งด้าน	$2.8^\circ - 0^\circ$	65.62	34.38
	$3.8^\circ - 0^\circ$	48.28	51.72
	$5.7^\circ - 0^\circ$	25.00	75.00

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องเชื่อมด้วยอุตสาหกรรมพลาสติก (PMMA) แบบหัวเชื่อมในแนวแกน และแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม สำหรับการเชื่อมในแนวแกนจะอาศัยหลักการให้หัวท่อมุนรอบตัวเอง และใช้งานกับหัวเชื่อมปกติ ส่วนเครื่องเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม จะอาศัยหัวเชื่อมครึ่งวงกลมในการเชื่อม เครื่องเชื่อมทั้งสองถูกนำไปทดสอบ เชื่อมท่อพลาสติกกลม (PMMA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 mm. หนา 2 mm. พบว่า สามารถเชื่อมหัวท่อพลาสติกได้ และสามารถสร้างรอยเชื่อมได้รอบหัว แม้ว่าบางกรณีรอยเชื่อมที่ได้ยังไม่สมบูรณ์ หรือไม่ต่อเนื่องก็ตาม

6.1.1 การเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม

ผลจากการเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม ที่ความถี่ 28 kHz การสั่นของหัวเชื่อมในโหนดที่ 1 ภายในได้ช่วงของแรงกดด้านข้างที่ 20-180 N เวลาในการเชื่อม 5-10 Sec. และมุมของชิ้นงานที่มีมุมบากทั้งสองข้าง (2.8° - 2.8° , 3.8° - 3.8° , 5.7° - 5.7°) และมุมบากด้านเดียว (2.8° - 0° , 3.8° - 0° , 5.7° - 0°) ห่อพลาสติกสามารถเชื่อมติดกันได้ เมื่อบางกรณีจะไม่เกิดรอยเชื่อม ซึ่งรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นมีลักษณะใส และเป็นจุดกระจายตัวไปโดยรอบหัว หรือเป็นจุดตามโหนดการสั่นของหัวเชื่อม ส่วนพื้นที่ที่ไม่เกิดรอยเชื่อม จะมีลักษณะรุ่น เนื่องจากเป็นลักษณะเดิมของหัวท่อที่ผ่านการกลึงบากมาก่อน การเชื่อม โดยลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นจะอยู่ที่โหนดการสั่นของหัวเชื่อม และมุมของชิ้นงาน เป็นหลัก มีแรงกดด้านข้างกับเวลาเป็นตัวช่วยให้เกิดรอยเชื่อม กรณีที่รอยเชื่อมมีลักษณะที่เป็นจุดกระจายรอบหัวเกิดจากอิทธิพลของมุมชิ้นงานที่มีมุมบากทั้งสองข้าง ทำให้พื้นที่สัมผัสถ่วง และการเคลื่อนที่ภายในได้แรงกดด้านข้างได้ดี รอยเชื่อมที่เป็นจุดเกิดจากโหนดการสั่นของหัวเชื่อม ตรงบริเวณที่หัวเชื่อมสั่น และส่วนกรณีชิ้นงานที่มีมุมบากด้านเดียว ซึ่งมีการสัมผัสถกันแน่นที่จุดสัมผัส ทำให้การเคลื่อนที่ภายในได้แรงกดด้านข้างได้ไม่ดี นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องเชื่อมแบบนี้ยังทำงานได้ไม่เสถียรนัก คือสามารถเชื่อมชิ้นงานได้เพียง 25% ของจำนวนการทดลองทั้งหมด

6.1.2 การเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกน

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°) จะสังเกตเห็นพื้นที่ที่พลาสติกเชื่อมติดกัน ซึ่งจะมีลักษณะใส และเป็นเส้นกระจายตัวไปโดยรอบท่อ ส่วนพื้นที่ที่ไม่เกิดรอยเชื่อม จะมีลักษณะบุ่น เนื่องจากเป็นลักษณะเดิมของท่อที่ผ่านการกลึงบากมาก่อนการเชื่อม และจะเห็นว่ารอยเชื่อมที่ได้อาจเบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ (1) รอยเชื่อมในลักษณะที่กระจายตัวกว้างออกไปเป็นหลายแฉ (2-3 แฉ) ในแต่ละแฉรอยเชื่อมมักเกิดในลักษณะเป็นช่วง ๆ ไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งลักษณะของรอยเชื่อมแบบนี้จะพบในกรณีของชิ้นงานมีการบากมุมทั้งสองด้าน รอยเชื่อมในลักษณะนี้ เกิดจากหน้าสัมผัสของท่อที่เชื่อมมีการบากให้มุมเท่ากัน จึงสัมผัสนกันในพื้นที่กว้าง เมื่อทำการเชื่อมจึงเกิดการสั่นกระจายในแนวกว้างด้วยจึงสร้างรอยเชื่อมที่กระจายตัวไปได้ดี รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นจึงมีลักษณะเป็นจุดไม่ต่อเนื่องในบางพื้นที่ และ (2) รอยเชื่อมที่มีลักษณะเป็นเส้นเดียวชัดเจน รอยเชื่อมแบบนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ท่อมีการบากเพียงด้านเดียว ซึ่งสาเหตุของการเกิดรอยเชื่อมในลักษณะนี้อาจเกิดจากการบากท่อเพียงด้านเดียวเท่านั้น จุดสัมผัสระหว่างผิวท่อจะสัมผัสนกันตลอดเส้นรอบวงของชิ้นงานที่ไม่ได้บากมุม ดังนั้นมีการสั่นจุดสัมผัสนี้จะสร้างรอยเชื่อมได้ดีและต่อเนื่อง จึงเกิดรอยเชื่อมที่ใหญ่และต่อเนื่องรอบวง

อนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นกรณีที่มีการบากมุมชิ้นงานทั้งสองด้านหรือบากมุมชิ้นงานด้านเดียวจะต้องใช้ความเร็วรอบที่เหมาะสม ภายใต้แรงกดด้านข้างในช่วง 60-120 N ซึ่งเป็นช่วงแรงกดที่พบว่าสร้างพื้นที่รอยเชื่อมสูง

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ในการเชื่อมแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลมต้องการความแม่นยำสูง เพื่อให้ได้ความถี่ไกด์เคิงกับการคำนวณ จึงจะได้荷物การสั่นตามที่ต้องการมากที่สุด หากขนาดของหัวเชื่อมคลาดเคลื่อนจากค่าที่คำนวณไปมาก จะทำให้แนบปริจุดการสั่นลดลง หรือไม่สั่นเลย ทำให้ลดประสิทธิภาพการเชื่อมลงด้วย ดังนั้น สำหรับหัวเชื่อมแบบครึ่งวงกลมจึงควรมีอุปกรณ์ควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เพิ่มเติม

6.2.2 ในการเชื่อมแบบหัวเชื่อมในแนวแกนถึงแม้จะได้รอยเชื่อมที่ดีกว่าแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม แต่ก็มีข้อจำกัดที่ชิ้นงานมีการเคลื่อนที่อาจจะไม่เหมาะสมกับการเชื่อมในบางกรณี หรืออาจมีการออกแบบให้หัวเชื่อมสามารถเคลื่อนที่รอบชิ้นงานก็สามารถแก้ปัญหาได้ เช่นกัน

6.2.3 งานวิจัยนี้ยังคงต้องได้รับการพัฒนาต่อไป เพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ขึ้น โดยอาจศึกษาผลของมุมของชิ้นงาน ลักษณะหัวเชื่อมแบบอื่น ๆ ความเร็วของกระบวนการหมุนชิ้นงาน เวลา ความถี่ที่ใช้งาน ตลอดจนกระบวนการเชื่อม และการพัฒนาเครื่องเชื่อม รวมทั้งต้องทำการทดลอง ในช่วงอื่น ๆ ของตัวแปรอีกด้วย

6.2.4 เครื่องเชื่อมนี้ยังอยู่ในระดับงานวิจัย ควรมีการพัฒนาให้สามารถใช้งานได้จริงในภาคสนาม โดยออกแบบให้หัวเชื่อมเคลื่อนที่ ตลอดจนออกแบบเพื่อเพิ่มความสามารถของเครื่อง เชื่อมให้ทำงานได้ 100%

6.2.5 ควรทดลองทำการเชื่อมพลาสติกชนิดอื่นๆ เพื่อขยายขอบเขตของเทคนิคการเชื่อม

ເອກສາຣ້ອງອີງ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chris, "ZVEI Handbook Horn / Sonotrode design and manufacture", Powerultrasonics.
<http://www.powerultrasonics.com/>. 24 March, 2008.
- [2] Alejandro Badia, MD and Alexis Jiménez, MD. "Arthroscopic Repair of Peripheral Triangular Fibro cartilage Complex Tears With Suture Welding: A Technical Report", The Journal of Hand Surgery. Vol. 31A: pp 1303-1307, 2006.
- [3] C.H. Xu, and et al. "Characteristics of bonds produced by full ceramic and composite ultrasonic transducers", Solid-State Electronics. Vol.48: pp 1531-1537; 26 April, 2004.
- [4] Shih-Jung Liu, and et al. "A novel solvent-free method for the manufacture of biodegradable antibiotic-capsules for a long-term drug release using compression sintering and ultrasonic welding techniques", Biomaterials. Vol. 26: pp 4662-4669; 13 January, 2005.
- [5] G. Wagner, and et al. "Glass/glass joints by ultrasonic welding", Glass Technology. Vol. 44: pp 152-155; 11 December, 2002.
- [6] Jiromaru Tsujino, and Tetsugi Ueoka. "Ultrasonic multi-spot continuous welding of metal platespecimens using a two-vibration-system welding equipment", Ultrasonics. Vol. 34: pp 229-233, 1996.
- [7] Jiromaru Tsujino, and et al. "One-dimensional longitudinal-torsional vibration converter with multiple diagonally slitted parts", Ultrasonics. Vol. 38: pp 72-76, 2000.
- [8] Seiji Kaneko, and et al. "Load characteristics of bolted Langevin torsional transducer II", Ultrasonics. Vol. 36: pp 111-113, 1998.
- [9] Jiromaru Tsujino, and et al. "New methods of ultrasonic welding of metal and plastic materials", Ultrasonics. Vol. 34: pp 177-185, 1996.
- [10] Jiromaru Tsujino, and et al. "Welding characteristics of ultrasonic plastic welding using two-vibrationsystem of 90 kHz and 27 or 20 kHz and complex vibration systems", Ultrasonics. Vol. 36: pp 67-74, 1998.
- [11] J. Tsujino, and et al. "Transverse and torsional complex vibration systems for ultrasonic seam welding of metal plates", Ultrasonics. Vol. 38: pp 67-71, 2000.

ເອກສາຣ້ອງອິນ (ຕ່ອ)

- [12] Jiromaru Tsujino, and et al. “Ultrasonic butt welding of aluminum, aluminum alloy and stainless steel plate specimens”, Ultrasonics. Vol. 40: pp 371-374, 2002.
- [13] A. Brodyanski, and C. Born, M. Kopnarski. “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. (In perssed), 2005.
- [14] Ibrahim E. Gunduz, and et al. “Enhanced diffusion and phase transformations during ultrasonic welding of zinc and aluminum”, Scripta Materialia. Vol. 52: pp 939-943; 26 January, 2005.
- [15] Shin-ichi Matsuoka. “Ultrasonic welding of ceramics/metals using inserts”, Journal of Materials Processing Technology. Vol. 75: pp 259-265; 22 January, 1998.
- [16] Mitsuo Iijima, Yuji Watanabe, and Kazutoku Kawakami. “X-ray photoelectron spectroscopic analysis of joined parts in ultrasonic joining of ceramic plates”, The Japan Society of Applied Physics. Vol. 41: pp 3232-3236; 5 May, 2002.
- [17] Mitsuo Iijima, and Yuji Watanabe. “Joining process of ultrasonic ceramic joining”, The Japan Society of Applied Physics. Vol. 42: pp 2986-2989; 5 May, 2003.
- [18] Naoyuki Okamura, and Yuji Watanabe. “Ultrasonic joining of Si_3N_4 plates at 19 kHz using Al, Cu and Ni plates as insert metal” Japanese Journal of Applied Physics. Vol. 38: pp 6166-6169; 10 October, 1999.
- [19] Mitsuo Iijima, and Yuji Watanabe. “Ultrasonic joining of silicon nitride plates without an adhesive material using a 19 kHz vibration system”, The Japan Society of Applied Physics. Vol. 40: pp 3789-3791; 10 May, 2001.
- [20] Yuji Watanabe, and Yukihiro Shijo, “Large-Scale ultrasonic joining tool for joining plastic sheets using a rectangular plate face vibrating in-plane-mode”, Japanese Journal of Applied Physics. Vol. 38: pp 5297-5300; 9 September, 1999.
- [21] Yuji Watanabe. “High power ultrasonics and its applications”, Private communication sheet, S. I.: n. d., 2003.
- [22] Jiromaru Tsujino, and et al. “Complex vibration ultrasonic welding systems with large area welding tips”, Ultrasonics. Vol. 40: pp 361-364, 2002.

ເອກສາຣ້າງອິງ (ຕ່ອ)

- [23] Jiromaru Tsujino, and et al. "Ultrasonic plastic welding using fundamental and higher resonance frequencies", Ultrasonics. Vol. 40: pp 375-378, 2002.
- [24] Jiromaru Tsujino, and et al. "Welding characteristics of 27,40 and 67 kHz ultrasonic plastic welding systems using fundamental-and higher-resonance frequencies", Ultrasonics. Vol. 40: pp 131-137, 2004.
- [25] Shih-Fu Ling, and et al. "Input electrical impedance as signature for nondestructive evaluation of weld quality during ultrasonic welding of plastics", NDT&International. Vol. xx: pp 1-6; 8 May, 2005.
- [26] Elizabeth Hetrick, and et al. "Ultrasonic spot welding: A new tool for aluminum joining", Welding Journal. Vol. 84: pp 26-30; 26 February, 2005.
- [27] M. Roopa Rani, K. Prakasan, and R. Rudramoorthy. "Designing joints for ultrasonic welding of plastics", Welding Journal. Vol. 84: pp 50-54; 9 September, 2005.
- [28] C. Ageorges, L. Ye, and M. Hou. "Advances in fusion bonding techniques for joining thermoplastic matrix composites: a review", Composites:Part A. Vol. 32: pp 839-857; 25 October, 2001.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลในการออกแบบหัวชื่อในแนวแกน

ตารางที่ ก.1 เวลาในการปรับให้ชิ้นงานหมุนครบ 1 รอบ

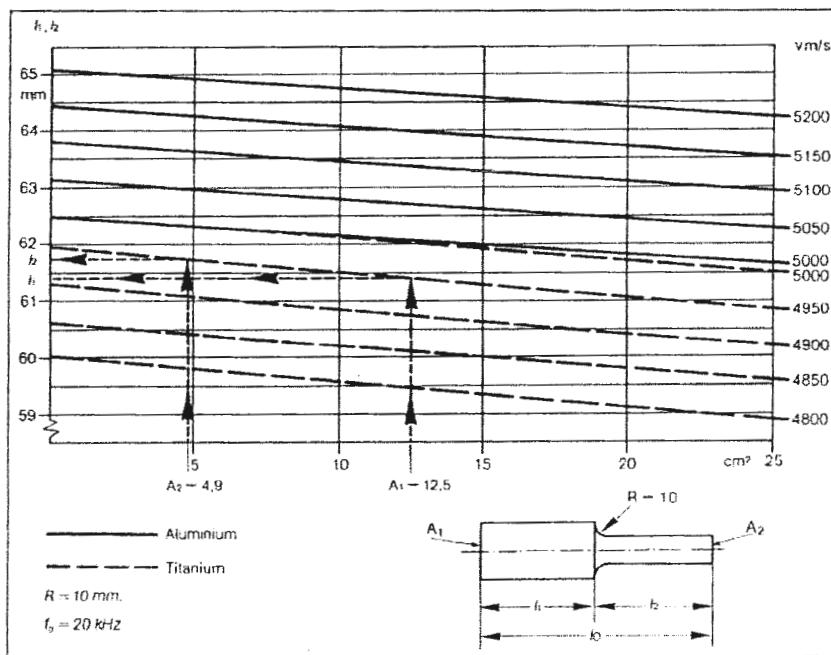
ปรับโวตต์ (V)	ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)	เวลา/รอบ (Sec)
6.0	25	2.40
7.5	45	1.58
9.0	67	1.13
12	100	0.80

ตารางที่ ก.2 ขนาดแอนปลิจูดของการสั่นสำหรับวัสดุต่างๆ [1]

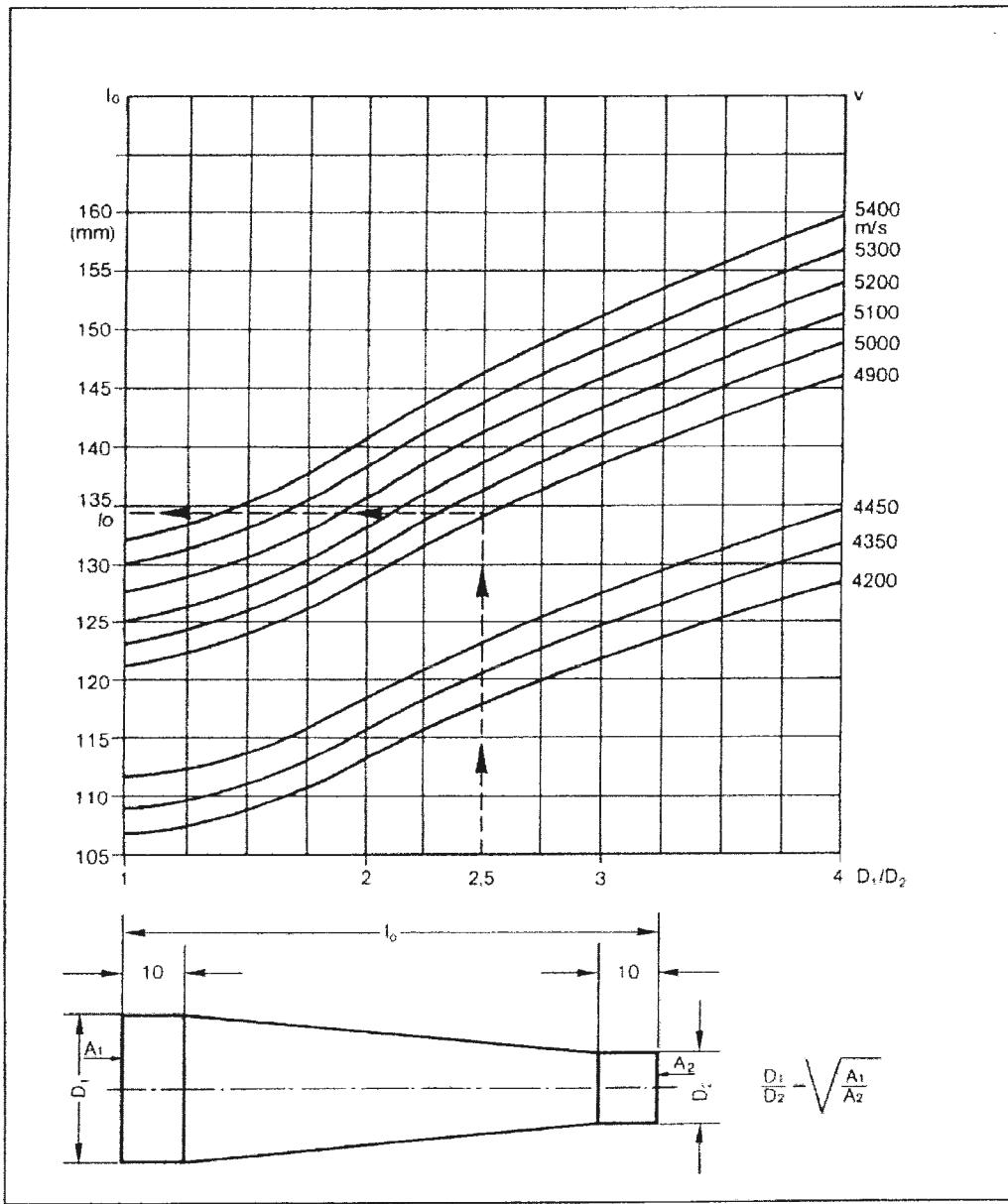
Material	Amplitude μ m values adopted in practice
Polystyrol (PS)	15 to 30
Polystyrol impact strong (SB)	20 to 35
Acryl, butadiene-styrol (ABS)	20 to 30
Stryol-acryl nitrile (SAN)	15-30
Polymethyl methacrylate (PMMA) injection mould	20 to 35
Modified (PPO)	25 to 40
Polycarbonate (PC)	25 to 40
Polyacetyl resin (POM)	40 to 50
Polyamide (PA)	35 to 55
Polyethyl enterephthalate (PETP)	45 to 55
Polynuthyl enterephthalate (PBTB)	40 to 50
Cellulose derivatives	25 to 35
PVC hard	20 to 40
PVC soft	25 to 40
Polyethylene (PE)	25 to 60
Polypropylene (PP)	30 to 60

ตารางที่ ก.3 ประมาณค่าความเร็วเสียงที่เกิดขึ้นในวัสดุชนิดต่างๆ [1]

Material	Sound velocity $v_0 \left(\frac{m}{s} \right)$	Variations $\left(\frac{m}{s} \right)$
Titanium alloy TiAlV64	4900	± 100
Aluminium alloys		
AlCuMg2	5100	± 100
AlCuMGPb	5000	± 100
Aluminium	5100	± 200
Monel annealed and quenched	4350	± 150
1550 steel (RT 11) tempered	5250	± 50
Ferrotitanite		
WFN hardened	6950	± 150



ภาพที่ ก.1 กราฟประมาณความยาวของหัวเข็มแบบ Step [1]



ภาพที่ ก.2 กราฟประมาณความเร็วของหัวเชื่อมแบบ Conical [1]

ภาคผนวก ฯ
บทความทางวิชาการที่เกิดจากการวิจัย (ฉบับเต็ม)

รายการผลงานตีพิมพ์เนื่องจากงานวิจัยนี้

- 1 อดิศักดิ์ บุตรวงศ์, สุรสิงห์ อารยางกูร และ ชวิติ ถินวงศ์พิทักษ์ “การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเขื่อนห่อพลาสติกกลมด้วยอุลตราโซนิก” วารสารวิชาการ ม. อบ. ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2552, หน้าที่ 86-97.
- 2 อดิศักดิ์ บุตรวงศ์, สุรสิงห์ อารยางกูร, สุริยา โชคสวัสดิ์ และ ชวิติ ถินวงศ์พิทักษ์ “การเขื่อนห่อพลาสติกกลมด้วยอุลตราโซนิก” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22, 15-17 ตุลาคม 2551, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, Paper no. AMM053.
- 3 อดิศักดิ์ บุตรวงศ์, ชวิติ ถินวงศ์พิทักษ์ “กราฟช่วยออกแบบหัวเขื่อนอุลตราโซนิกแบบครึ่งวงกลม” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, จังหวัดนราธิวาส, Paper no. AMM023.
- 4 C. Thinvongpituk, A. Bootwong and Y. Watanabe “The effect of axial force and contact angle on the welded area of plastic tube welded by ultrasonic welding”, Fourth International Conference on Experimental Mechanics, 18-20 November 2009, Singapore, Paper no. ICEMA 00213-00435.

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเชื่อมท่อพลาสติกกลมด้วยอุลตร้าโซนิก

The Study on some parameters affect to ultrasonic welding of round plastic tube

อดิศักดิ์ บุตรวงศ์ สุรเสิงห์ อารยางกูร และ ชาลิต ถินวงศ์พิทักษ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Adisak Bootwong Surasing arayangkul and chawalit Thinvongpituk
Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University.

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำระบบอุลตร้าโซนิกมาเชื่อมท่อพลาสติกกลม โดยได้พัฒนาเครื่องเชื่อมท่อด้วยอุลตร้าโซนิกกลมขึ้นมาเพื่อการทดลอง ใน การศึกษานี้ใช้ท่อพลาสติกกลม (PMMA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 mm หนา 2 mm มีมุนากของท่อ หลากหลายขนาด ได้แก่ 5.7° , 3.8° , 2.8° และ 0° เพื่อให้สามารถสวมเข้ากันได้ ใช้ความถี่ในการเชื่อมที่ 28 kHz ที่ความเร็วรอบ 100 rpm และ 25 rpm โดยมีแรงกดด้านข้างช่วยเสริมให้เกิดแนวเชื่อม ผลที่ได้ พบว่าการประยุกต์ใช้อุลตร้าโซนิกในการเชื่อมท่อพลาสติกกลมนั้นสามารถสร้างรอยเชื่อมได้ และที่ ตำแหน่งจุดเชื่อมนั้นพลาสติกจะเกิดการหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าแรงกดดัน ข้าง ความเร็วรอบ และมุนากของท่อ ก็มีผลต่อรอยเชื่อมอีกด้วย

คำสำคัญ การเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิก, ท่อพลาสติกกลม

Abstract

This study is aimed to search to a method to join round plastic tube with 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 0° , 2.8° , 3.8° and 5.7° degree in order to create the contact faces. The specimens were welded with frequency of 28 kHz and tube rotational speed of 25 rpm and 100 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 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

บทนำ

แม้ว่าการเชื่อมด้วยอุตตราโซนิกจะเป็นเทคนิคการเชื่อมที่เพิ่งได้รับการพัฒนาให้สามารถใช้งานได้จริงเมื่อไม่นานมานี้ แต่กำลังได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในแวดวงอุตสาหกรรมหลายแขนง เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิก และอุตสาหกรรมชิ้นส่วนพลาสติก ทั้งนี้เนื่องจากการเชื่อมด้วยอุตตราโซนิกใช้เวลาในการทำงานสั้น คุณภาพรอยเชื่อมดี และสามารถเชื่อมวัสดุหลายชนิดที่วิธีการเชื่อมแบบอื่นๆ ทำไม่ได้ เช่น เซรามิกส์ Matsuoka (1998) และ Iijima and Watanabe (2003) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเชื่อมด้วยอุตตราโซนิกยังคงมีข้อจำกัดบางประการ เช่น รอยเชื่อมที่ได้ขึ้นมาคาดเด็ก Okamura and Watanabe (1999) และ Matusinovic et al (2004) และต้องการระบุความคุณที่ซับซ้อน ซึ่งข้อด้อยเหล่านี้กำลังได้รับการศึกษาเพื่อปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในการใช้งาน Tsujino et al (2002) และ Tsujino et al (1996) การเชื่อมด้วยอุตตราโซนิกนี้ มักนิยมใช้การเชื่อมในแนวแกนเป็นหลัก Tsujino et al (2002) จึงเป็นข้อจำกัดต่อรูปทรงชิ้นงานที่ต้องมีลักษณะแบบรายเท่านั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้พยากรณ์คุณภาพและการพัฒนาการเชื่อมด้วยอุตตราโซนิกให้สามารถใช้งานกับโครงสร้างที่มีส่วนโค้ง เช่น ท่อกลม

การเชื่อมต่อท่อพลาสติกกลมในปัจจุบัน มักนิยมใช้การเชื่อมโดยใช้กาหรือตัวประสาน การใช้ความร้อน หรือการใช้นือต เป็นต้น ในการศึกษานี้จึงมีแนวคิดนำการเชื่อมด้วยอุตตราโซนิก ที่สามารถเชื่อมพลาสติกได้เป็นอย่างดี มาประยุกต์ใช้ในการเชื่อมท่อ โดยใช้หลักการหมุนของชิ้นงาน เพื่อให้เกิดการเชื่อมโดยรอบ หากวิธีการดังกล่าว สามารถทำให้เกิดแนวเชื่อมได้ ก็อาจจะทำให้ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรงใกล้เคียงกับวิธีการอื่นๆ ลักษณะของรอยเชื่อมพลาสติกที่เกิดจากการเชื่อมโดยใช้อุตตราโซนิกนี้ ตรงจุดเชื่อมจะหลอมละลายเข้าด้วยกันคล้ายกับการเชื่อมเหล็กด้วยไฟฟ้า โดยไม่ต้องใช้ความร้อน อย่างไรก็ตามกลไกการละลายของพลาสติกนั้นยังไม่เป็นที่ทราบชัดเจน และกำลังได้รับการศึกษาอยู่ Brodyanski et al (2005) และ Wieleba (2005) การเชื่อมโดยใช้อุตตราโซนิกจึงเป็น

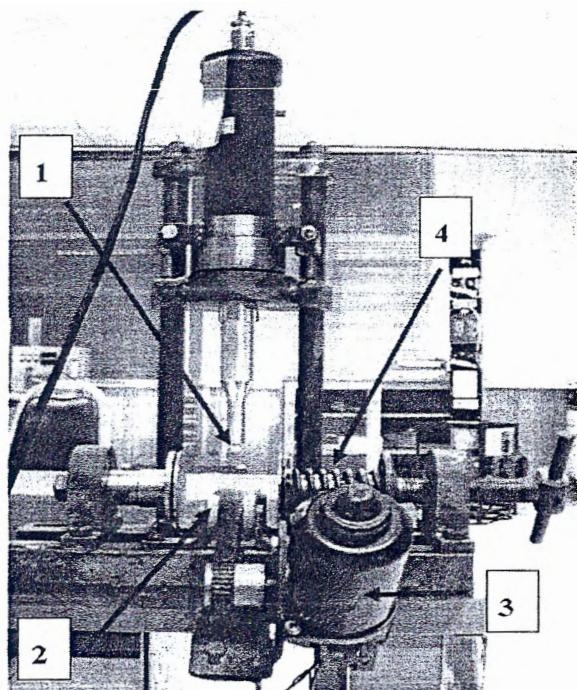
อีกหนึ่งวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการเชื่อมท่อพลาสติกกลม หากวิธีการนี้สามารถเชื่อมท่อพลาสติกกลมได้ ก็อาจจะเชื่อมท่อชนิดอื่นได้ ในอนาคตต่อไป

การอุบแบบและการทำงานของชุดหัวเชื่อม

โดยทั่วไปการเชื่อมด้วยอุตสาหกรรมนี้สามารถเชื่อมพลาสติกได้เป็นอย่างดี จึงได้นำมาทดลอง ขึ้นมาเป็นตัวตั้งในการอุบแบบ ซึ่งลักษณะของชิ้นงานที่เป็นพลาสติกกลมนั้นมีลักษณะที่โค้ง หัว เชื่อมปักดิจิจิ่งไม่สามารถที่จะเชื่อมได้โดยรอบ งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้การหมุนชิ้นงานรอบตัวเอง แทน โดยให้หัวเชื่อมอยู่กับที่ และมีแรงคลายจากด้านข้าง ในแนวแกนของท่อ โดยที่ยังคงใช้งานกับหัว เชื่อมแบบเดิมทั่วๆ ไปได้

เครื่องเชื่อมที่อุบแบบประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 1 ได้แก่

- 1) หัวเชื่อม ทำหน้าที่ส่งผ่านคลื่นอุตสาหกรรมเพื่อเชื่อมชิ้นงาน
- 2) ลูกกลิ้ง ทำหน้าที่หมุนท่อเพื่อให้หัวเชื่อมสัมผัสโดยรอบท่อ
- 3) มอเตอร์ ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังให้ลูกกลิ้งหมุน
- 4) สปริง ทำหน้าที่สร้างแรงคลายในแนวแกนอย่างต่อเนื่อง



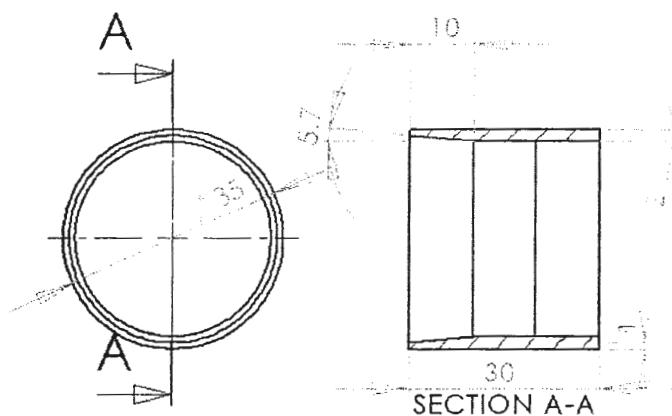
รูปที่ 1 เครื่องเชื่อมท่อพลาสติกกลมที่อุบแบบ และสร้างเพื่อใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 1 แสดงเครื่องเชื่อมหัวพลาสติกกลมที่ออกแบบและสร้างเพื่อใช้ในการทดลอง หัวเชื่อม(หมายเลข 1) มีลักษณะกลม ตรงปลายหัวเชื่อมเป็นสี่เหลี่ยมขนาด $6 \times 10 \text{ mm}$ พื้นผิวเรียบจัดวางอยู่ในแนวตั้ง มีลูกกลิ้ง (หมายเลข 2) รองรับชิ้นงานด้านล่างสองข้าง ลูกกลิ้งทั้งสอง และหัวเชื่อมทำมุมกัน 120° ชิ้นงานเป็นอิสระในแนวแกนเพื่อให้แรงกดจากด้านข้างสามารถที่จะกดชิ้นงานได้ หัวเชื่อม จะเป็นตัวบังคับให้ชิ้นงานติดกับลูกกลิ้งเพื่อให้เกิดการหมุนอย่างต่อเนื่อง ลูกกลิ้งจะทำงานพร้อมกับการสั่นของหัวเชื่อม โดยมีมอเตอร์ (หมายเลข 3) เป็นต้นกำลัง ในการเชื่อมนั้นจะมีเฉพาะแรงกดจากด้านข้าง โดยใช้สปริง (หมายเลข 4) ที่รู้ค่าคงที่ เพื่อวัดแรงกดในแนวแกน และให้เกิดการกดชิ้นงานอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการเชื่อมหัวเชื่อม ด้านบนจะสัมผัสกับผิวของชิ้นงานอย่างอิสระ จะมีแค่แรงกดจากน้ำหนักของชุดหัวเชื่อมเองเท่านั้นที่ทำหน้าที่กดหัวเชื่อมลงมา นอกจากนี้ชินส่วนอย่างอื่นก็เป็นตัวช่วยให้การเชื่อมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เช่น แบริง ที่ทำให้การหมุนสม่ำเสมอเมื่ออญญาติแรงกด เป็นต้น

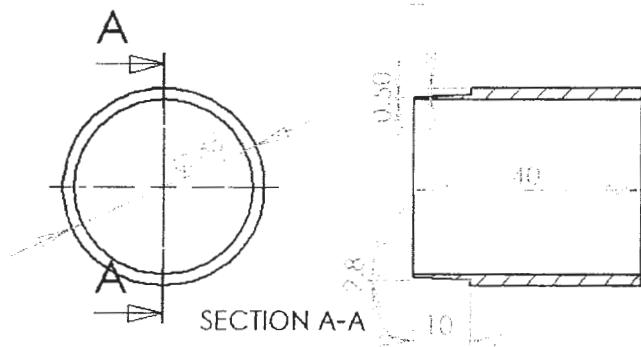
วิธีการทดลอง

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นหัวพลาสติกกลม (PMMA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 mm หนา 2 mm โดยที่ปลายด้านหนึ่งทำการกลึงเพื่อสร้างความเรียวของปลายด้วยมุนต่างๆ เพื่อให้ท่อส่วนกันได้ในขณะเชื่อม รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างลักษณะของหัวที่ใช้ในการทดลอง

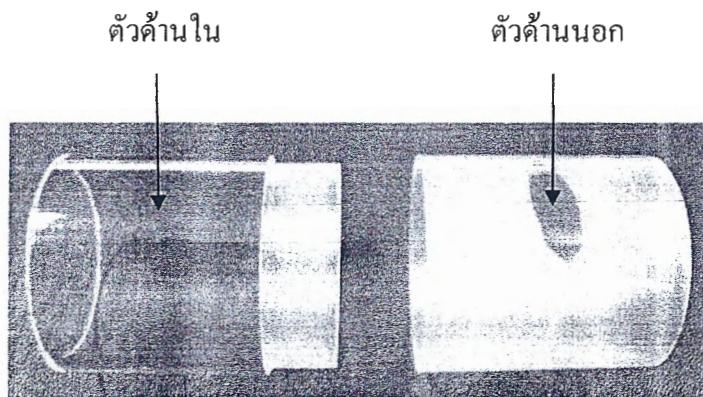
ในการทดลองจะนำชิ้นงานวางบนลูกกลิ้ง และเลื่อนหัวเชื่อมลงมาสัมผัสกับชิ้นงาน จากนั้นวัดระยะกดของสปริงเพื่อกำหนดหาแรงกดในแนวแกน รูปที่ 3 แสดงการวางแผนชิ้นงานและวัดระยะหูดตัวของสปริงเพื่อกำหนดแรงกดในแนวแกน



(a1)

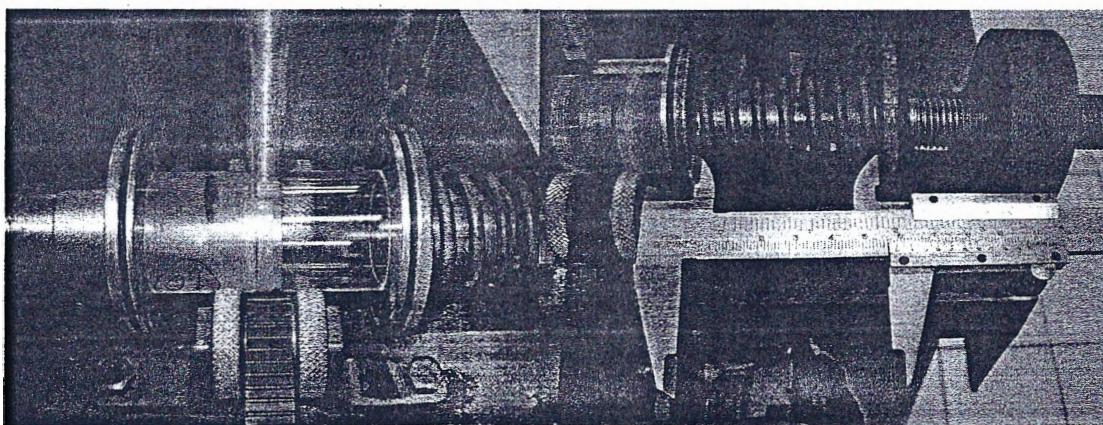


(a2)



(b)

รูปที่ 2 (a1) และ (a2) ไดอะแกรมของชิ้นงานเรื่อง (b) ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

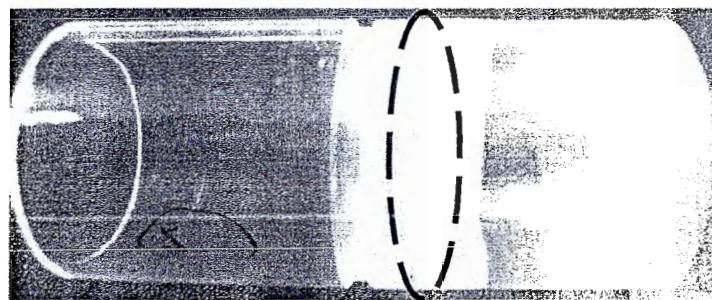


รูปที่ 3 ลักษณะการวางแผนชิ้นงานและวัดการยึด-หลุดคัวของสปริง

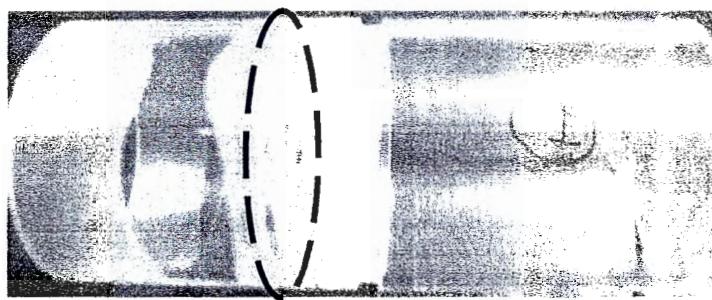
ในการทดลองใช้เครื่องเชื่อมอุตตราโซนิก ที่มีขยายน้ำด้วยความถี่ 28 kHz กำลัง 500 W ความเร็วอบในการหมุนท่อ 2 ความเร็ว คือ 25 rpm และ 45 rpm แรงกดด้านข้างเปลี่ยนแปลงจาก 20 N ถึง 220 N ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแล้วจะถูกนำมารักษาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นรอนเส้นรอบวงโดยการตัดลอกของเชื่อมลงบนแผ่นกระดาษ แล้วจึงนำลายที่ลอกໄไปทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Dewinter Material Plus 4.1 ภายใต้มาตรฐาน ASTM E562&E1245 เพื่อหาพื้นที่รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นเงื่อน

ผลการทดลอง

ตัวอย่างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยชุดเครื่องเชื่อมที่ออกแบบไว้แสดงในรูปที่ 4 จากซุปจะสังเกตุเห็นพื้นที่ที่พลาสติกเชื่อมติดกัน ซึ่งจะมีลักษณะใส และเป็นเส้นกระชาด้วยตัวกันไปโดยรอบท่อ ส่วนพื้นที่ที่ไม่เกิดรอยเชื่อม จะมีลักษณะซุ่ม เนื่องจากเป็นลักษณะเดิมของห่อที่ผ่านการกลึงมาก



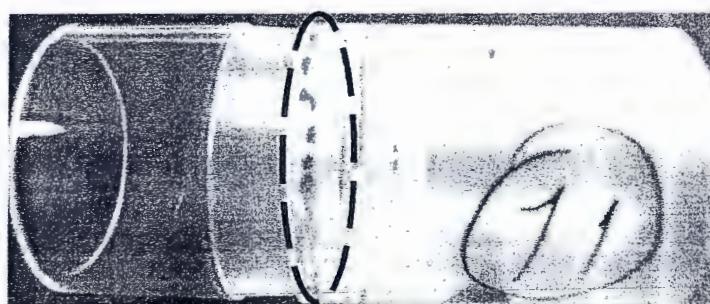
(a) นูน 2.8° กับ 5.7°



(b) นูน 3.8° กับ 0°



(c) มุน 3.8° กับ 0°



(d) มุน 3.8° กับ 3.8°

รูปที่ 4 ลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นของท่อที่มุนต่างๆ



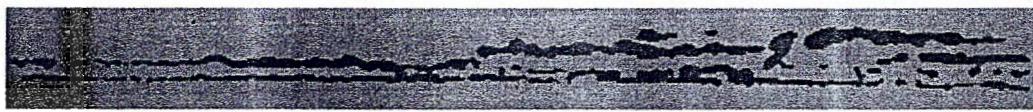
(a) มุน 2.8° กับ 5.7°



(b) มุน 3.8° กับ 0°



(c) มุน 3.8° กับ 0°

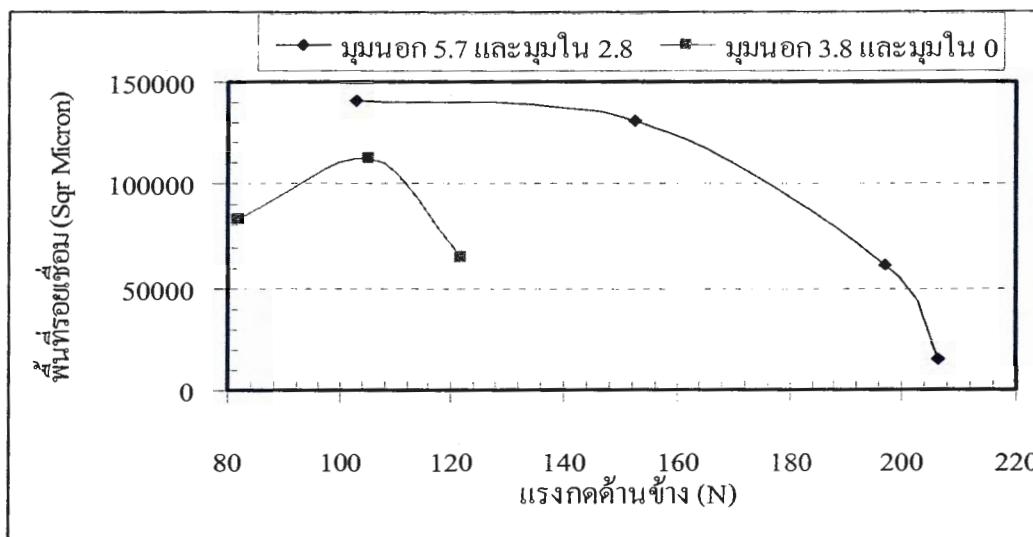


(d) มุน 3.8° กับ 3.8°

รูปที่ 5 ลักษณะของรอยเชื่อม โดยรอบห่อจากการลอกลาย ของห่อที่มุนต่างๆ

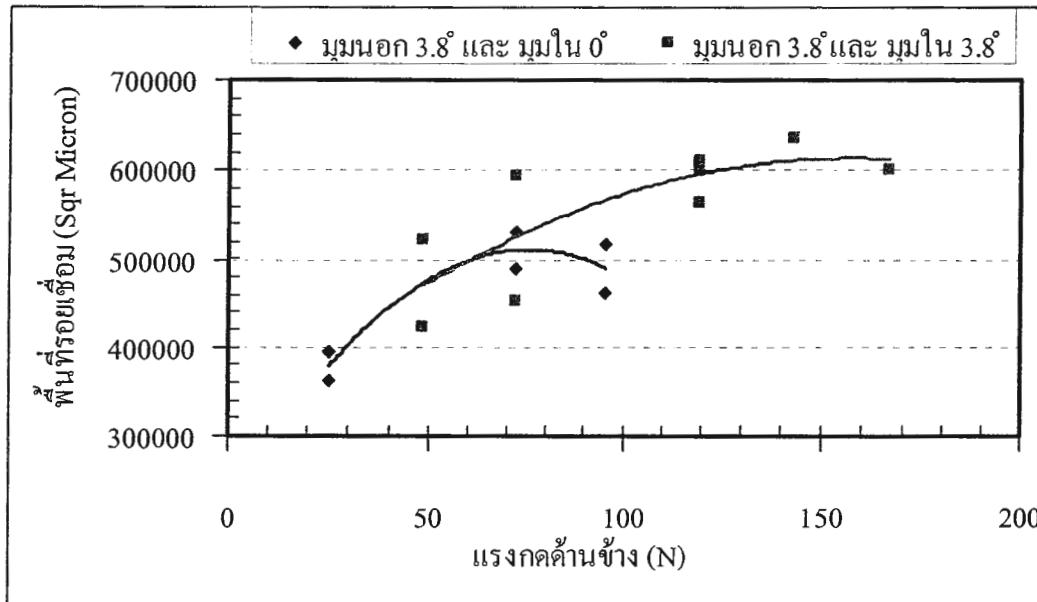
เพื่อให้เห็นลักษณะของรอยเชื่อมได้ดีขึ้น จึงได้ทำการคัดลอกรอยเชื่อมลงบนแบบการ ซึ่งจะทำให้มองเห็นแนวรอยเชื่อมได้โดยรอบห่อ ดังแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นว่าชุดหัวเชื่อมสามารถสร้างรอยเชื่อมได้โดยรอบห่อพลาสติก แต่รอยเชื่อมที่ได้บังเกิดเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่องกัน มีบางกรณีที่รอยเชื่อมเกิดลักษณะเป็นเส้นแนวรอยเชื่อมหลายแนวซ้อนกัน ดังรูปที่ 5(a) และ 5(d) แต่ในรูปที่ 5(c) รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นเป็นแนวเดียวกันอย่างสมบูรณ์

เพื่อทำการวิเคราะห์พื้นที่รอยเชื่อม จึงได้นำรอยเชื่อมที่คัดลอกแล้วไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Dewinter Material Plus 4.1 ภายใต้มาตรฐาน ASTM E562&E1245 ผลการทดสอบพบความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รอยเชื่อม กับ ขนาดของแรงกดด้านข้างซึ่งเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ในกรณีความเร็วรอบ 100 rpm และ 25 rpm ได้ดังรูปที่ 6-7 ตามลำดับ และรูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ ของแรงกดด้านข้าง และพื้นที่รอยเชื่อมเปรียบเทียบกันในกรณีความเร็วรอบ 100 rpm และ 25 rpm

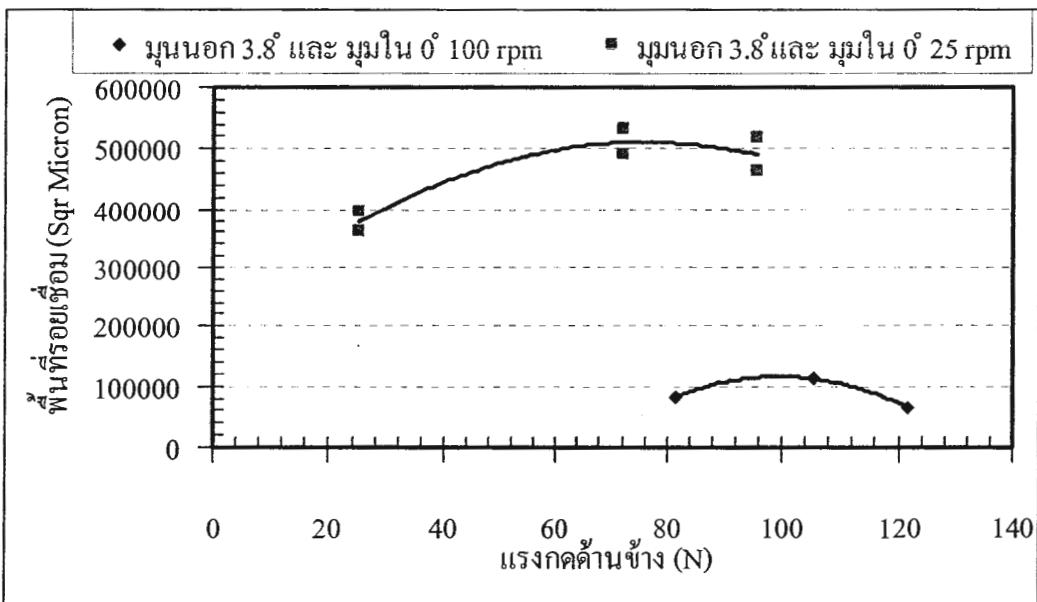


รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์แรงกดกับพื้นที่รอยเชื่อมของห่อที่มี มุนตัวด้านใน 2.8° กับตัวด้าน

นอก 5.7° และ มุมตัวค้านใน 0° กับตัวค้านนอก 3.8° ที่ความเร็วรอบ 100 rpm



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ของแรงกดกับพื้นที่ร้อยเชื่อมของห่อท่อที่มี มุมตัวค้านใน 0° กับตัวค้านนอก 3.8° และ มุมตัวค้านใน 3.8° กับตัวค้านนอก 3.8° ที่ความเร็วรอบ 25 rpm



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ของแรงกดและพื้นที่ร้อยเชื่อมของห่อท่อที่มี มุมตัวค้านใน 0° กับตัวค้านนอก 3.8° ที่ความเร็วรอบ 25 rpm และ 100 rpm

วิเคราะห์ผล

จากรูปที่ 6-7 และ 8 จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า มุมบางของห่อ แรงกด และความเร็วรอบต่างก็มีผลต่อพื้นที่รอยเชื่อมที่เกิดขึ้น โดยสามารถแยกอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1) อิทธิพลของแรงกดด้านข้าง จากรูปที่ 6-8 จะเห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ของแรงกด และพื้นที่รอยเชื่อม และพบว่า แรงกดด้านข้างนั้นมีผลกระทบต่อพื้นที่รอยเชื่อมที่เกิดขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงกดด้านข้าง จะส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของรอยเชื่อมมาระยะหนึ่ง แต่หากแรงกดด้านข้างมีขนาดสูงขึ้นมากเกินไป ก็จะส่งผลให้ขนาดพื้นที่รอยเชื่อมลดลง ดังนั้น ขนาดของแรงกดด้านข้างจึงควรใช้ในขนาดที่เหมาะสมเท่านั้น เช่น จากการทดลองพบว่า กรณีความเร็วรอบ 100 rpm แรงกดขนาดประมาณ 110 N เหมาะสมกับการเชื่อมท่อ มุมภายใน 5.7° กับ มุมภายนอก 2.8° และ มุมภายนอก 3.8° กับ มุมภายนอก 0° ในกรณีความเร็วรอบ 25 rpm พบร่วมๆ แรงกด 80 N เหมาะแก่การเชื่อมท่อที่มีมุมภายนอก 38° กับ มุมภายนอก 0° และแรงกดขนาด 150-160 N เหมาะกับการเชื่อมท่อ มุมภายนอก 3.8° และ มุมภายนอก 3.8°

2) อิทธิพลของความเร็วรอบ จากการศึกษาพบว่า ความเร็วรอบที่ใช้ในการเชื่อมก็มีผลต่อปริมาณรอยเชื่อมเช่นกัน จากรูปที่ 8 จะเห็นว่า ที่ความเร็วรอบ 25 rpm เครื่องเชื่อมจะสามารถสร้างรอยเชื่อมได้มากกว่าที่ความเร็วรอบ 100 rpm เสมอ เนื่องจากที่ความเร็วรอบต่ำ ชิ้นงานจะมีเวลาในการสร้างรอยเชื่อมได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้ใช้ช่วงความเร็วเพียง 2 ช่วงเท่านั้น ในอนาคตจึงควรศึกษาที่ความเร็วอื่นๆ ประกอบด้วย

3) อิทธิพลของมุมบางของห่อ จากการทดลองในรูปที่ 6-7 จะพบอีกว่า มุมบางที่เปลี่ยนไป จึงมีผลกระทบต่อพื้นที่รอยเชื่อมเช่นกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการทดลองปัจจุบันมีจำนวนน้อย จึงยังต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาแนวโน้มอิทธิพลของมุมบางต่อไป

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิกสำหรับเชื่อมห่อพลาสติกกลม (PMMA) โดยอาศัยหลักการให้ห่อหมุนรอบตัวเอง และใช้งานกับหัวเชื่อมปกติ เครื่องเชื่อมดังกล่าว ถูกนำไปทดสอบเชื่อมห่อพลาสติก (PMMA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 mm หนา 2 mm พบร่วมๆ สามารถเชื่อมห่อพลาสติกได้ และสามารถสร้างรอยเชื่อมได้รอบห่อ เมื่่วนางครั้งรอยเชื่อมที่ได้ยังไม่สมบูรณ์นักก็ตาม

นอกจากนี้ยังพบว่า นุ่มของท่อ แรงกดค้านข้าง และความเร็วรอบ มีผลต่อจำนวนพื้นที่รอยเชื่อมที่เกิดขึ้น โดยพบว่า นุ่มของท่อต้องทำให้ชิ้นงานสัมกันได้ และเคลื่อนที่ได้ ภายใต้แรงเสียดทาน และแรงกดค้านข้างต้องพอเหมาะสม ภายใต้ความเร็วรอบที่เหมาะสม

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังคงต้องการการพัฒนาต่อไป เพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ขึ้น โดยอาจศึกษาผลของนุ่มของชิ้นงาน ลักษณะหัวเชื่อมแบบอื่นๆ ความเร็วรอบของการหมุนชิ้นงาน เวลา ตลอดจน ความถี่ที่ใช้งาน เป็นต้น รวมทั้งต้องทำการทดลองในช่วงอื่นๆ ของตัวแปรอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ใน การให้ทุนสนับสนุนการศึกษานี้ รวมถึงมูลนิธิพระบรมราชานุสรณ์พระบาทสมเด็จพระปกาเกล้าเจ้าอยู่หัวและสมเด็จพระนางเจ้ารำไพพรรณี และภาควิชาชีวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สัญลักษณ์และความหมาย

สัญลักษณ์	ความหมาย
◦	องศา
N	นิวตัน
rpm	รอบต่อนาที
mm	มิลลิเมตร
kHz	กิโลไฮสต์
W	วัตต์

บรรณานุกรม

Shin-ichi Matsuoka, 1998. *Ultrasonic welding of ceramics/metals using inserts*. Journal of Materials Processing Technology. 75 : 259 - 265.

- Mitsuo Iijima, and Yuji Watanabe, 2003. *Joining process of ultrasonic ceramic joining*. The Japan society of applied physics. 42 No. 5B: 2986 - 2989.
- 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. 38, No. 10: 6166 - 6169.
- T. Matusinovic, S. Kurajica, J. Sipusic, 2004. *The correlation between compressive strength and ultrasonic parameters of calcium aluminate cement materials*. Cement and Concrete Research. 34 : 1451 – 1457.
- Jiromaru Tsujino, Misugi Hongoh, Ryoko Tanaka, Rie Onoguchi, Tetsugi Ueoka, 2002a. *Ultrasonic plastic welding using fundamental and higher resonance frequencies*. Ultrasonics. 40 : 375 - 378.
- 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. 38 : 5297 - 5300.
- 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. 1 - 6.
- 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. 34 : 177 - 185.
- Jiromaru Tsujino, Tsutomu Sano, Hayato Ogata, Soichi Tanaka, Yoshiki Harada,2002b. *Complex vibration ultrasonic welding systems with large area welding tips*. Ultrasonics. 40: 361 - 364.
- 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.
- Wojciech Wieleba, 2005. The role of internal friction in the process of energy dissipation during PTFE composite sliding against steel. Wear.258 : 870 - 876.

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิชากรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

การเชื่อมห่อพลาสติกกลมด้วยอุลตราโซนิก

Welding of Round Plastic Tube by Ultrasonic Welding

อดีตักดี้ บุตรวงษ์¹ สุรัsing ห์ อารยางกูร¹ สุริยา โชคสวัสดิ์² และ ชาลิต ถินวงศ์พิทักษ์¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

โทร 0-4535-3381 โทรสาร 0-4535-3380 *อีเมล a_bootwong@yahoo.co.th

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

โทร 0-4528-8400-3 0-4528-8376-8 โทรสาร 0-4528-8378

บทคัดย่อ

แม้ว่าการเชื่อมด้วยอุลตราโซนิกจะเป็นเทคนิคการเชื่อมที่เพิ่งได้รับการพัฒนาให้สามารถใช้งานได้จริงเมื่อไม่นานมานี้ แต่กำลังได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในแวดวงอุตสาหกรรมหลายแขนง เช่นอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมชิ้นส่วนพลาสติก ทั้งนี้เนื่องจากการเชื่อมด้วยอุลตราโซนิกใช้เวลาในการทำงานสั้น คุณภาพรอยเชื่อมดี และสามารถเชื่อมวัสดุหลายชนิดที่วิธีการเชื่อมแบบอื่นๆ ทำไม่ได้ เช่น เชรามิคส์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเชื่อมด้วยอุลตราโซนิกยังคงมีข้อจำกัดบางประการ เช่น รอยเชื่อมที่ได้ยังมีขนาดเล็ก และต้องการระบบควบคุมที่ตั้งช้อน ซึ่งข้อด้อยเหล่านี้ก่อตั้งได้รับการศึกษาเพื่อปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

ในการใช้งานการเชื่อมด้วยอุลตราโซนิกนั้นมักนิยมใช้การเชื่อมในแนวแกนเป็นหลัก จึงเป็นข้อจำกัดต่อรูปทรงชิ้นงานที่ต้องมีลักษณะแบบราบเท่านั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้พยายามศึกษาหาแนวทางการพัฒนาการเชื่อมด้วยอุลตราโซนิกให้สามารถใช้งานกับโครงสร้างที่มีส่วนโค้ง เช่น ห้องกลม โดยได้ทำการออกแบบชุดจับชิ้นงานให้หมุนรอบตัวเองได้ และทำการเชื่อมในแนวแกนแบบทั่วไป จากนั้นได้ทำการทดลองเชื่อมห่อพลาสติกกลมขนาด 35 มม. โดยใช้ความถี่ในการเชื่อมที่ 28 kHz ผลที่ได้พบว่าการประยุกต์ใช้อุลตราโซนิกในการเชื่อมห่อพลาสติกกลมนั้นสามารถสร้างรอยเชื่อมได้ และที่ตำแหน่งจุดเชื่อมนั้นพลาสติกจะเกิดการหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้ยังพนิชว่าแรงดัน และมุมbaugh ของห่อ ก็มีผลต่อรอยเชื่อมอีกด้วย

Abstract

Although ultrasonic welding is a newly developed technique, it has been widely used in many industries i.e. automotive parts, electronic parts and plastic industries. This is

due to its' advantages such as shorter welding time, high quality of joint and ability to join highly different property materials. However, ultrasonic welding, still, has some weak features such as small welding area and requires complicate control system. Therefore, research on this welding technique is still under focused.

Normally, ultrasonic welding is used in axial welding. As the result, only flat-shape specimen can be joined effectively.

This study was aimed to apply ultrasonic welding to weld curve-shape specimen such as round tube. The welding jig was designed and constructed to be able to rotate the specimen around. The jig was tested with a normal 28 kHz welding machine to weld round plastic tubes of 35 mm diameter. The round tube was welded with acceptable quality. It was observed that at the welded area, plastic is melted together. In addition, it was found that axial force and interface angle can affect the quality of joint.

บทนำ

การเชื่อมด้วยอุลตราโซนิกมีข้อด้อยประการเช่น สามารถเชื่อมวัสดุที่มีสีสันและลักษณะทางกายภาพต่างกันมากๆได้ ใช้เวลาในการเชื่อมน้อย ใช้พลังงานน้อย และสามารถเชื่อมวัสดุที่วิธีการเชื่อมแบบอื่นๆไม่สามารถเชื่อมได้ เช่น เชรามิค [1-2] ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมในแนวตั้ง หรือแนวนอน [3] และวิธีการเชื่อมแบบนี้ยังจำกัดการเชื่อมในชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก ในทางวิศวกรรมการเชื่อมพลาสติกโดยใช้อุลตราโซนิกนั้นได้มีการศึกษาและพัฒนามากอย่างต่อเนื่อง [4-7] จนสามารถใช้ได้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท และได้มีการศึกษาพัฒนาในการเชื่อมพลาสติกให้มีขนาดครอบเรื่องที่ใหญ่ขึ้นโดยใช้ความถี่หลายค่าในการเชื่อม [8] การเชื่อมโดยใช้อุลตราโซนิกได้มีการศึกษาวิจัยและใช้

ในการเชื่อมกันอย่างแพรวถ่าย สำหรับวัสดุที่มีลักษณะด่างๆ และได้มีการศึกษาเพื่อหาเงื่อนไขที่จะทำให้ได้ร้อยเชื่อมที่แข็งแรงขึ้น [9-10]

การเชื่อมต่อห่อพลาสติกกลมในปัจจุบัน มักนิยมใช้การเชื่อมโดยใช้กาวหรือด้าวประสาร การใช้ความร้อน หรือการใช้น็อต เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีต้องใช้เครื่องมือ และเวลาในการเตรียมชิ้นงาน ตลอดจนต้องใช้ทักษะของผู้ทํางาน ใน การศึกษานี้จึงมีแนวคิดในการเชื่อมด้วยอุลตราราดีนิก ที่สามารถเชื่อมพลาสติกได้เป็นอย่างดี มาประยุกต์ใช้ในการเชื่อมห่อ โดยใช้หลักการทムนของชิ้นงาน เพื่อให้เกิดการเชื่อมโดยรอบ หากวิธีการดังกล่าวสามารถทำให้เกิดแนวเชื่อมได้ ก็อาจจะทำให้ได้ร้อยเชื่อมที่แข็งแรงใกล้เคียงกับวิธีการอื่นๆ ลักษณะของรอยเชื่อมพลาสติกที่เกิดจากการเชื่อมโดยใช้อุลตราราดีนิกนั้น ตรงจุดเชื่อมจะหลอมละลายเข้าด้วยกันคล้ายกับการเชื่อมเหล็กด้วยไฟฟ้า โดยไม่ต้องใช้พลังเชื่อม อย่างไรก็ตามกลไกการละลายของพลาสติกนั้นยังไม่เป็นที่ทราบชัดเจน และกำลังได้รับการศึกษานี้อยู่ [11-12] การเชื่อมโดยใช้อุลตราราดีนิกจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการเชื่อมห่อพลาสติกกลม หากวิธีการนี้สามารถเชื่อมห่อพลาสติกกลมได้ ก็อาจจะเชื่อมห่อชนิดอื่นได้ ในอนาคตต่อไป

การออกแบบและการทำงานของชุดหัวเชื่อม

การเชื่อมด้วยอุลตราราดีนิกนั้นสามารถที่จะเชื่อมพลาสติกได้เป็นอย่างดี จึงได้นำเหตุผลข้อนี้มายืนยันว่าด้านในของการออกแบบ ซึ่งลักษณะของชิ้นงานที่เป็นพลาสติกกลมนั้นมีลักษณะที่โค้ง หัวเชื่อมปกติจึงไม่สามารถที่จะเชื่อมได้โดยรอบ งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้การหมุนชิ้นงานรอบด้านของแท่น โดยให้หัวเชื่อมอยู่กับที่ และมีแรงกดจากด้านข้าง ในแนวแกนของห่อ โดยที่บังคับใช้งานกับหัวเชื่อมแบบเดิมทั่วๆ ไปได้

ชุดหัวเชื่อมที่ออกแบบประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ

1. หัวเชื่อม ทำหน้าที่ส่งผ่านคลื่นอุลตราราดีนิกเพื่อเชื่อมชิ้นงาน
2. ลูกกลิ้ง ทำหน้าที่หมุนห่อให้รอบแกนเพื่อให้หัวเชื่อมสัมผัสด้วยรอบห่อ

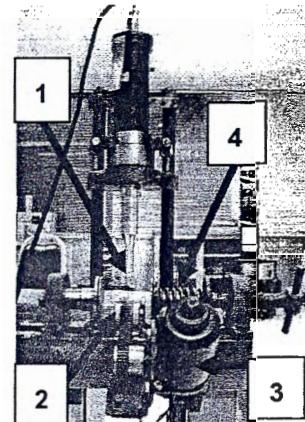
3. มอเตอร์ ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังให้ลูกกลิ้งหมุน

4. สปริง ทำหน้าที่สร้างแรงกดในแนวแกนอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 1 แสดงชุดเชื่อมห่อพลาสติกกลมที่ออกแบบและสร้างเพื่อใช้ในการทดสอบ หัวเชื่อม (หมายเหตุ 1) มีลักษณะกลม ตรงปลายหัวเชื่อมเป็นเส้นเรียบสี่เหลี่ยมขนาด 6×10 มิลลิเมตร พื้นผิวนิ่มเรียบ อยู่ในแนวตั้ง มีลูกกลิ้ง (หมายเหตุ 2) รองรับชิ้นงานด้านล่างสองสองข้าง ลูกกลิ้งหันสอง และหัวเชื่อมทำมุกกัน 120 องศา ชิ้นงานเป็นอิสระในแนวแกนเพื่อให้แรงกดจากด้านข้างสามารถที่จะกดชิ้นงานได้ หัวเชื่อม จะเป็นตัวบังคับให้ชิ้นงานติดกับลูกกลิ้งเพื่อให้เกิดการหมุนอย่างต่อเนื่อง ลูกกลิ้งจะทำงานพร้อมกับการสัมผัสด้วยหัวเชื่อม โดยมีมอเตอร์ (หมายเหตุ 3) เป็นต้นกำลัง ในการเชื่อมนั้นจะมีเฉพาะแรงกดจากด้านข้าง โดยใช้สปริง (หมายเหตุ 4) ที่รู้ค่าคงที่ เพื่อวัดแรงกดในแนวแกน และให้เกิดการกดชิ้นงานอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการเชื่อม หัวเชื่อม ด้านบนจะสัมผัสน้ำหนักผิวของชิ้นงาน

อย่างอิสระ จะมีแค่แรงกดจากน้ำหนักของชุดหัวเชื่อมเองเท่านั้น ที่ทำหน้าที่กดหัวเชื่อมลงมา

นอกจากนี้ชิ้นส่วนอย่างอื่นก็เป็นตัวช่วยให้การเชื่อมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เช่น คลับลูกปืน ที่ทำให้การหมุนสม่ำเสมอเมื่ออยู่ภายใต้แรงกด เป็นต้น

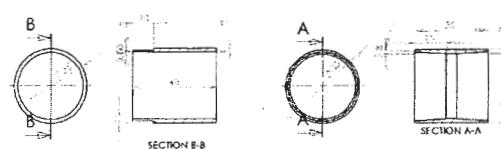


รูปที่ 1 แสดงชุดเชื่อมห่อพลาสติกกลมที่ออกแบบและสร้างเพื่อใช้ในการทดสอบ

วิธีการทดสอบ

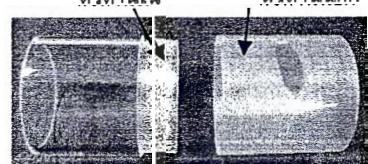
ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นห่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร โดยที่ปล่อยด้านหนึ่งทำการกลึงเพื่อสร้างความเรียวยของปลายด้วยมุมต่างๆ เพื่อให้ห่อสวมกันได้ในขณะเชื่อม รูปที่ 2 แสดงด้วยส่วนประกอบของห่อที่นำมาใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบจะนำชิ้นงานวางบนพื้นที่เชื่อมดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงลักษณะการวางชิ้นงานในการทดสอบ จากนั้นวัดระยะหกของสปริงเพื่อคำนวนหาแรงกดในแนวแกน รูปที่ 4 แสดงการวัดการยืด-หดด้วยของสปริง



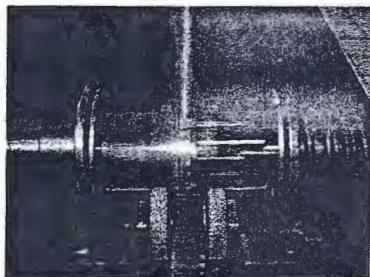
(a) แสดงด้วยร่างโครงสร้างของชิ้นงานเชื่อม

ตัวด้านใน ตัวด้านนอก

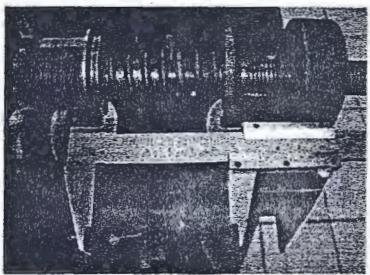


(b) แสดงด้วยร่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 2 ลักษณะชิ้นงานด้วยร่างที่นำมาทดสอบเชื่อม



รูปที่ 3 แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม

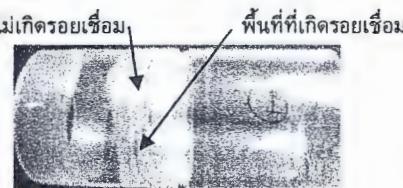


รูปที่ 4 การวัดการยิต-หดตัวของสปริง

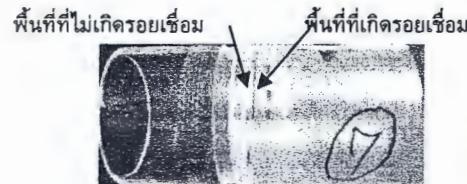
ในการทดลองใช้เงื่อนไขในการเชื่อมคือ ใช้ความถี่ 28 kHz กำลัง 500 W เวลาในการเชื่อมที่ 5-10 วินาที ความเร็วอ่อนในการหมุนของชิ้นงานคงที่ 24 รอบ/ต่อนาที และเพิ่มแรงกดด้านข้างในแนวแกนของห่อขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลอง

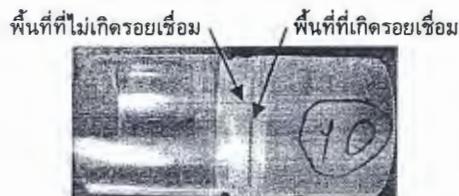
ด้วยย่างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยหดหัวเชื่อมที่ออกแบบไว้ แสดงในรูปที่ 5(a) 6(a) และ 7(a) จากรูปจะสังเกตุเห็นพื้นที่ที่พลาสติกเชื่อมติดกัน ซึ่งจะมีลักษณะใส และเป็นเส้นกระจาดตัวกันไปโดยรอบห่อ ส่วนพื้นที่ที่ไม่เกิดรอยเชื่อม จะมีลักษณะขุ่นเนื่องจากเป็นลักษณะของห่อเดิมที่ผ่านการกลึงบากมา



(a) แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม

(b) แสดงลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นโดยรอบห่อ
รูปที่ 5 ลักษณะของรอยเชื่อม ของห่อที่มีมูน ด้าด้านใน 2.8 องศา ด้าด้านนอก 5.7 องศา

(a) แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม

(b) แสดงลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นโดยรอบห่อ
รูปที่ 6 ลักษณะของรอยเชื่อมของห่อที่มีมูน ด้าด้านใน 3.8 องศา ด้าด้านนอก 2.8 องศา

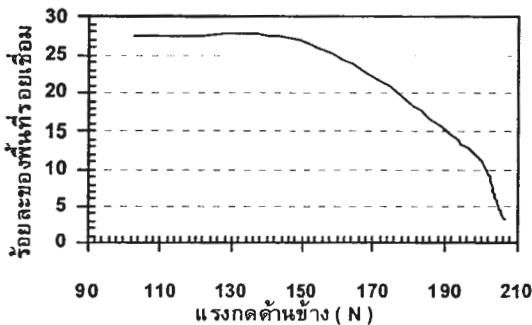
(a) แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม

(b) แสดงลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นโดยรอบห่อ
รูปที่ 7 ลักษณะของรอยเชื่อม ของห่อที่มีมูน ด้าด้านใน 3.8 องศา ด้าด้านนอก 0 องศา

เพื่อให้เห็นลักษณะของรอยเชื่อมได้ดีขึ้น จึงได้ทำการตัดออกรอยเชื่อมลงบนแผ่นการ์ด ซึ่งจะทำให้มองเห็นแนวรอยเชื่อมได้โดยรอบห่อ ดังแสดงในรูปที่ 5(b) 6(b) และ 7(b)

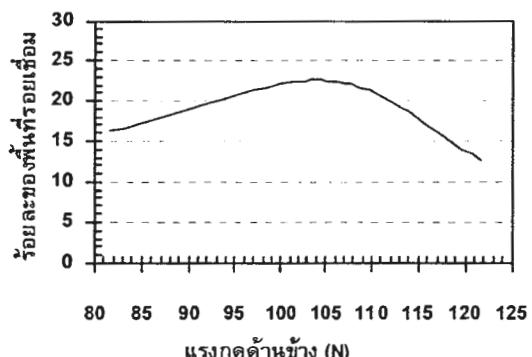
จากรูปที่ 5(b) 6(b) และ 7(b) จะเห็นว่าชุดหัวเชื่อมสามารถสร้างรอยเชื่อมได้โดยรอบห่อพลาสติก แต่รอยเชื่อมที่ได้เป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่องกัน มีบางกรณีที่รอยเชื่อมเกิดลักษณะเป็นเส้นแหวนรอยเชื่อมหลายแนวซ้อนกัน เช่น รูปที่ 5(b) และ 6(b) และในรูปที่ 7(b) เห็นรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นเป็นแนวเดียวย่างค่อนข้างสมบูรณ์

เพื่อทำการวิเคราะห์หารอยละของพื้นที่รอยเชื่อม จึงได้นำรอยเชื่อมที่คัดลอกแล้วไปวิเคราะห์ด้วย โปรแกรม Dewinter Material Plus 4.1 ภายใต้มาตรฐาน ASTM E562&E1245 ผลการทดสอบพบความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละของพื้นที่รอยเชื่อม กับ ขนาดของแรงกดด้านข้างซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ในรูปที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกดและพื้นที่รอยเชื่อมมุ่งตัวด้านใน 2.8 องศา กับตัวด้านนอกมุ่ง 5.7 องศา

จากรูปที่ 8 ได้แสดงความสัมพันธ์ของร้อยละของพื้นที่รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นกับขนาดของแรงกดสำหรับชิ้นงานที่มีมุ่งตัวด้านใน 2.8 องศา กับตัวด้านนอก 5.7 องศา พบร่วม เมื่อแรงกดในแนวแกนมีขนาดสูงขึ้น พื้นที่ของรอยเชื่อมที่ได้จะมีจำนวนหรือมีสัดส่วนลดลง แต่ในการนีองห่อท่อที่มีมุ่งตัวด้านใน 0 องศา กับมุ่งตัวด้านนอก 3.8 องศา ซึ่งแสดงผลในรูปที่ 9 จะเห็นว่า เมื่อแรงกดในแนวแกนเพิ่มขึ้นในช่วงแรก (ระหว่าง 82-105N) นั้นจำนวนหรือสัดส่วนพื้นที่ของรอยเชื่อมจะเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อแรงกดมีขนาดสูงขึ้นไปอีก (แรงกดมากกว่า 105 N) กลับพบว่า พื้นที่ของรอยเชื่อมมีจำนวนลดลง ดังนั้นจากผลลัพธ์ที่ได้มา ขนาดของแรงกดในแนวแกนที่มากขึ้นนี้ส่วนที่ทำให้พื้นที่ของรอยเชื่อมลดลง เนื่องจากแรงกดที่มีขนาดสูงเกินไปจะทำให้ชิ้นงานไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อีกในขณะที่ทำการเชื่อม จึงไม่เกิดรอยเชื่อมขึ้น



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกดและพื้นที่รอยเชื่อมมุ่งตัวด้านใน 0 องศา กับตัวด้านนอก 3.8 องศา

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องเชื่อมด้วยอุตสาหกรรมสำหรับเชื่อมห่อพลาสติก โดยอาศัยหลักการห่อหุ้นรอบตัวเอง และใช้งานกับหัวเชื่อมปกติ เครื่องเชื่อมดังกล่าวถูกนำไปทดสอบเชื่อมห่อพลาสติกขนาดสัมผัสคุณภาพ 35 มิลลิเมตร โดยพบร่วม สามารถเชื่อมห่อพลาสติกได้ในระดับที่น่าพอใจ โดยพบร่วม สามารถสร้างรอยเชื่อมได้รอบห่อ แม้ว่ารอยเชื่อมที่ได้อาจจะไม่ต่อเนื่องกัน

นอกจากนี้ยังพบร่วม ที่มุ่งของห่อ และแรงกดในแนวแกนมีผลต่อจำนวนพื้นที่รอยเชื่อมที่เกิด โดยพบร่วมที่มุ่งของห่อต้องทำให้ชิ้นงานรวมกันได้ และเคลื่อนที่ได้ ภายใต้แรงเสียดทานและแรงกดดังไม่มากเกินและไม่น้อยเกินเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้เรื่องกัน

ข้อเสนอแนะ

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังคงต้องการการพัฒนาต่อไป เพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ขึ้น โดยอาจศึกษาผลของมุ่งของชิ้นงาน ลักษณะหัวเชื่อมแบบนี้ๆ ความเร็วของ การหมุนชิ้นงาน เวลา ตลอดจนความถี่ที่ใช้งาน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ใน การให้ทุนสนับสนุนการศึกษานี้

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

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. Brodanski, 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.

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20
18-20 ตุลาคม 2549 จังหวัดนครราชสีมา

กราฟช่วยออกแบบหัวเชื่อมอุลตร้าโซนิคแบบครึ่งวงกลม

A design chart for semi-circle ultrasonic resonator

อดิศักดิ์ บุดร่วงชัย* ชวัลิต ถินวงศ์พิทักษ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

โทร 0-4535-3380 โทรสาร 0-4535-3333 *อีเมล์: a_bootwong@yahoo.com

Adisak Bootwong*, Chawalit Thinvongpituk

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Ubon Ratchathani University, Warinchamrab, Ubon

Ratchathani, 34190, Thailand, Tel: 0-4535-3380, Fax: 0-4535-3300, * E-mail: a_bootwong@yahoo.com

บทคัดย่อ

การเชื่อมนับเป็นกระบวนการที่สำคัญในงานวิศวกรรม ซึ่งได้รับการศึกษาพัฒนามาเป็นระยะเวลาระยะหนึ่ง จนได้เกิดนวัตกรรม เช่น การเชื่อมด้วยไฟฟ้า การเชื่อมด้วยแก๊ส การเชื่อมด้วยความเย็นดักทาน เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการประยุกต์หลักการทางอุลตร้าโซนิคมาใช้เพื่อการเชื่อมโดยมีการศึกษาอย่างกว้างขวาง ตลอดจนมีการพัฒนาจนกระทั่งใช้งานได้จริงในหลายอุตสาหกรรม การเชื่อมด้วยเทคนิคอุลตร้าโซนิค นั้นมีข้อดีหลายข้อ เช่น ใช้เวลาในการเชื่อมน้อย สามารถเชื่อมวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันมากๆ ได้ ตลอดจนสามารถเชื่อมวัสดุที่วิธีการเดิมอาจเชื่อมไม่ได้ เช่น เซรามิก เป็นต้น โดยทั่วไปการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิคนั้นมักใช้เม็ดด้วยการสั่นในทิศทางตามแนวแกนหรือตามแนววางของ อย่างไรก็ตามได้มีความพยายามเชื่อมท่ออุลตร้าโซนิค ซึ่งใช้การสั่นในรัศมีเป็นตัวเชื่อม การเชื่อมแบบนี้จำเป็นต้องออกแบบลักษณะของหัวเชื่อม (resonator) ให้มีลักษณะครึ่งวงกลม แล้วกระตุ้นให้สั่นด้วยความถี่ และรูปแบบการสั่น (Mode) ต่างๆ กัน โดยความหนาและรัศมีของหัวเชื่อมนั้น มีผลอย่างยิ่งต่อความถี่ที่ต้องใช้กระตุ้นและต่อรูปแบบการสั่น ดังนั้น การเลือกความหนาและรัศมีของหัวเชื่อมจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก บทความนี้ได้นำเสนอกราฟสำหรับช่วยในการออกแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม โดยกราฟนี้ได้จากการจำลองหัวเชื่อมขนาดต่างๆ ด้วยแบบจำลองทาง FEA โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ABAQUS และสอน เทคนิคการทดลองบางจุด กราฟนี้จะช่วยในการเลือกขนาดความหนา และรัศมีของหัวเชื่อมที่เหมาะสมกับความถี่และรูปแบบการสั่นดังแต่ โหมดที่ 1-6

Abstract

Welding is an important process in engineering applications. There are many conventional welding techniques available such

as spark welding, gas welding and friction welding. Nowadays, ultrasonic welding is one of a popular technique used in many industries. Main advantages of ultrasonic welding are shorter welding time and able to join highly different melting point materials. Presently it has been an attempt to join circular plastic tubes with ultrasonic using a half ring resonator. In order to get the most suitable frequency and vibration mode, dimensions of the resonator has to be designed precisely. The main purpose of this paper is to present a design chart for a half circle resonator. The chart was constructed with a number of data received from FEA simulation using a commercial package (ABAQUS). The chart offers a quick reference and very helpful in the early step of design for half ring resonator.

1. บทนำ

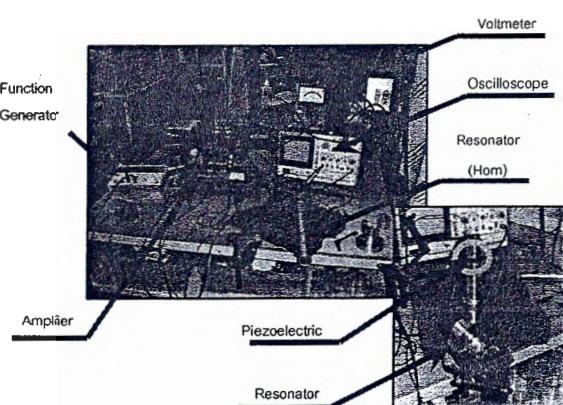
อุลตร้าโซนิค (Ultrasonic) เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่อยู่ในช่วงที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินเป็นคลื่นที่มีความถี่ประมาณ 20 KHz และสามารถเพิ่มความถี่ได้มากกว่า 100 KHz ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ จึงมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ในอุตสาหกรรมทางการแพทย์ การทำความสะอาด การเชื่อม เป็นต้น แต่เครื่องเชื่อมที่ผลิตออกขาย ตามท้องตลาดทั่วไปที่ใช้วิธีการเชื่อมแบบอุลตร้าโซนิค ส่วนมากจะเป็นลักษณะเครื่องเชื่อมเฉพาะทาง ที่ใช้เชื่อมชิ้นงานที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก การเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิค มีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถเชื่อมวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันมากๆ ได้ ใช้เวลาในการเชื่อมน้อย ใช้พลังงานน้อยและสามารถเชื่อมวัสดุที่วิธีการเชื่อมแบบอื่นๆ ไม่สามารถเชื่อมได้ เช่น เซรามิก [5-6] ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมในแนวตั้งหรือแนวอนุ [7] โดยใช้การสั่นที่มีรัศมีจุดต่ำๆ ความถี่สูง แต่วิธีการเชื่อมแบบนี้ยังจำกัดการเชื่อมในชิ้นงานขนาดเล็ก แผ่นพลาสติก ฯลฯ

มีนาคบางใหญ่ในทางวิศวกรรมการเชื่อมพลาสติกโดยใช้อุลต์ร็อกซ์นิคันน์ได้มีการศึกษาและพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง [1-4] จนสามารถใช้ได้ในอุสาหกรรมหลายประเภท ได้มีการศึกษาพัฒนาในการเชื่อมพลาสติกให้มีนาครอยเชื่อมที่ใหญ่ขึ้นโดยใช้หลักความดึงเพิ่มขึ้นหลักๆ ในการเชื่อม [8]

การต่อท่อพลาสติกกลมในปั๊มจุบัน มักนิยมใช้การเชื่อม ต่อโดยใช้ กาวหรือด้าวประสาร การใช้ความร้อน การใช้น็อต เป็นเด่น วิธีการ ดังกล่าวอาจทำให้คุณสมบัติของท่อพลาสติกตรงรอยต่อเปลี่ยนไป หรือ ด้าวประสารอาจทำให้เกิดการหักอันเนื่องมาจาก การขันน็อต คณี่น์ก็จะเกินไป หรือ การคลายด้าวของน็อตเมื่อเวลาผ่านไปนาน การ เชื่อมด้วยอุลตราระบอนิก จะเป็นการลดปัญหาขันตอนการเชื่อมท่อ พลาสติกโดยที่ไม่ต้องใช้กาว น็อต หรือใช้ความร้อน และจะทำให้ได้ รอยเชื่อมที่แข็งแรงใกล้เคียงกัน ลักษณะของรอยเชื่อมพลาสติกที่เกิด จากการเชื่อมโดยใช้อุลตราระบอนิกนั้นตรงจุดเชื่อมจะหลอมละลายเข้า ด้วยกันคล้ายกับการเชื่อมเหล็กด้วยไฟฟ้า อย่างไรก็ตามกลไกการ ละลายของพลาสติกนั้นยังไม่เป็นที่ทราบชัดเจน [11-12] การเชื่อมโดย ใช้อุลตราระบอนิกได้มีการศึกษาวิจัยและใช้ในการเชื่อมกันอย่างแพร่หลาย สำหรับวัสดุที่มีลักษณะด่างๆ และได้มีการศึกษาเพื่อหาเงื่อนไขที่จะทำ ให้ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรงนี้ [9-10]

การเข้มโดยใช้อุลตราโซนิกจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการเชื่อมห่อพลาสติกกลม ในลักษณะการเชื่อมของวิธีการนี้ต้องให้หัวเชื่อมแนบสนิทกับผิวของห่อตระแหนนที่ต้องการจะเชื่อม หัวเชื่อมถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นครึ่งวงแหวนและขนาดของหัวเชื่อมจะเปลี่ยนไปตามขนาดของห่อที่นำมาเชื่อม ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความหนาและความถี่กับรัศมีเพื่อเป็นตัวช่วยให้การออกแบบหัวเชื่อมให้มีขนาดเหมาะสมก่อนจะทำการ试验และทดลองต่อไป

2. ชุดทดลองการเชื่อมท่อพลาสติกกลม



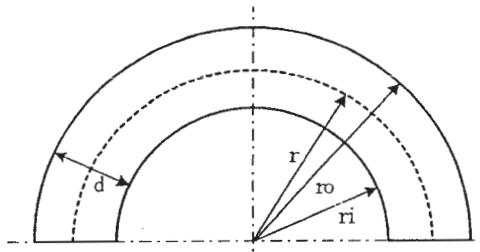
รูปที่ 1 ชุดทดลองการเชื่อมท่อพานิชิกกกลมโดยใช้อลตร้าโซนิค

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบของ การเชื่อมโดยใช้อุตสาหกรรมนั้น ประกอบด้วย Function Generator, Amplifier, Voltmeter, Oscilloscope, Resonator (Horn), Piezoelectric และ Resonator ดัง แสดงในรูปที่ 1 เนื่องด้วยเครื่องมือส่วนมากจะเป็นเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่สามารถหาได้ทั่วไป และส่วนที่สำคัญที่สุดของชุดทดสอบเชื่อมท่อ พลาสติกก็คือ หัวเชื่อม (Resonator) จึงต้องศึกษาคุณลักษณะต่างๆ เมื่อให้ความถี่ไปกระตุ้นหัวเชื่อม และออกแบบหัวเชื่อมให้เหมาะสม ก่อนที่จะนำมาติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบ

3. การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

การสั่นของหัวเขื่อมแบบนี้เป็นการสั่นในแนวรัศมี ใช้ความถี่และรูปร่างการสั่น (mode) ต่างๆกัน โดยความหนาแน่นรัศมีของหัวเขื่อมนั้น มีผลอย่างยิ่งต่อความถี่ที่ต้องใช้กระดุน และต่อรูปแบบการสั่น ดังนั้น การออกแบบความหนาแน่นรัศมีของหัวเขื่อมจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของหัวเขื่อม การศึกษาเรื่องมีวัสดุปูร่องค์ เพื่อสร้างกราฟช่วยออกแบบหัวเขื่อมคึ่งวงกลมสำหรับการเชื่อมท่อ พลาสติกกลม

หัวเชื่อม (Resonator) ที่จะใช้นี้มีลักษณะวงแหวนครึ่งวงกลมดัง
แสดงในรูปที่ 2 การศึกษานี้กำหนดให้วัสดุเป็นอลูมิเนียมอัลลอยมี
คุณสมบัติต่างๆดังนี้ คือ มีความหนาแน่น $2.77 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ค่าโมดูลัส
ความยืดหยุ่น (Yong Modulus) 74.5 GPa และมีอัตราส่วนปัวซอง
0.35



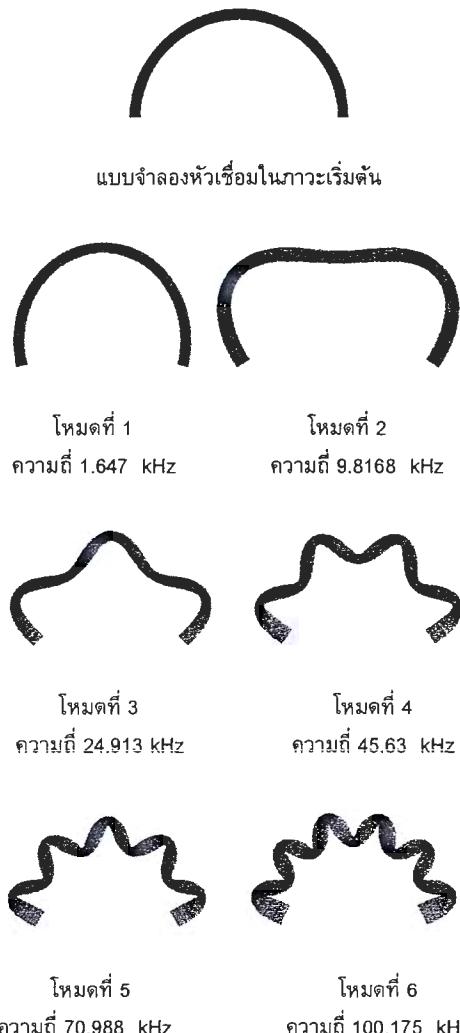
รูปที่ 2 แสดงลักษณะของหัวเชื่อมแบบครึ่งวงกลม โดยที่ d = ความ
หนาของหัวเชื่อม, $r =$ รัศมีเฉลี่ย, $r_0 =$ รัศมีนอก, $r_i =$ รัศมีภายใน

ในการสร้างแบบจำลองจะสร้างในลักษณะ 2 มิติ โดยให้หัวเขื่อมมีความสูงเท่ากับ 3 mm และจำลองให้มีขนาดของรัศมีเฉลี่ยต่อความหนา (H/d) เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง 350.50

ในการศึกษานี้ใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ Finite element analysis (FEA) ชื่อ ABAQUS โดยเลือกใช้ Shell Element แบบ S4R5 สั่งให้โปรแกรมคำนวณและแสดงผล荷重分布ของการสั่นที่ความถี่ธรรมชาติดีต่างๆ จำนวน 50 ค่า จากนั้นพิจารณาความถี่ของการสั่นที่ โหนด 1-6 เกินัน เนื่องจากการสั่นในโหนดที่สูงกว่านี้จะยากต่อการแยกและ

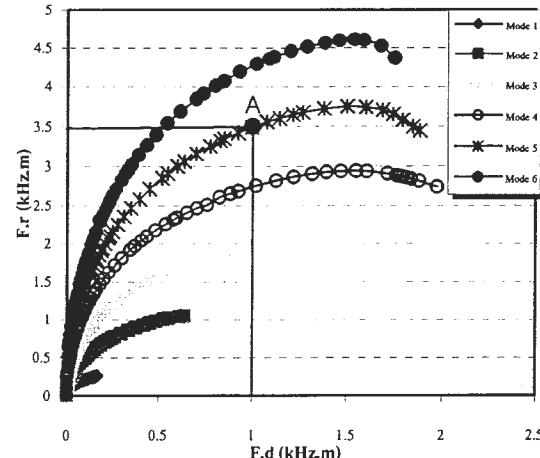
4. ผลการศึกษา

ลักษณะการสั่นที่ใหมดและความถี่ต่างๆ ซึ่งการแยกแยะใหมดการสั่นเพื่อที่จะหาค่าความถี่นั้น ทำได้โดยการแบ่งครึ่งหัวเข็มแนวแกน สามารถแล้วบัญญัติการสั่นเพียงข้างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงด้วยร่องของ การสั่นและค่าความถี่ในใหมดที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ของหัวเข็มที่มีขีดนาด $r_i = 26.7 \text{ mm}$ $r_o = 29.7 \text{ mm}$

จากการพิจารณาใหมด และความถี่ของการสั่นในใหมดอนั้นๆ แล้ว น้ำค่าความถี่ที่ได้มาคุณกับรัศมีเฉลี่ย (Fr) และความถี่คุณกับความหนา (Fd) นำมาเรียงลงในกราฟช่วยออกแบบ จะได้กราฟช่วยออกแบบดัง แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟช่วยออกแบบหัวเข็มโดยอุลตร้าโซนิก

จากการไฟจะเห็นว่าความสัมพันธ์ของ Fr และ Fd นั้นมีลักษณะ เป็นเส้นโค้ง โดยเส้นกราฟในใหมดสูงๆ จะอยู่เหนือเส้นกราฟในใหมดที่ ต่ำกว่าเสมอ ส่วนการนำกราฟไปใช้งานจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

5. ตัวอย่างการนำกราฟช่วยออกแบบไปใช้งาน

หัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการนำกราฟช่วยออกแบบไปใช้เลือกหัวเข็มอุลตร้าโซนิกแบบครึ่งวงกลมดังนี้

สมมติว่าต้องการซื้อหัวอพลาสติกขนาดรัศมีภายนอกเท่ากับ 30 mm ดังนั้น หัวเข็มที่ต้องการจะต้องมีขีดนาด $r_i = 30 \text{ mm}$ และต้องการใช้ใหมดที่ 5 ในการซื้อ เพื่อให้ได้ร้อยเชื่อมที่สนิท ดังนั้น เราอาจจะเลือกจุด A ในรูปที่ 3 เป็นจุดออกแบบได้ ดังนี้

ที่จุด A

$$Fr = 3.5 \text{ kHz.m} = F \left(\frac{r_o + r_i}{2} \right) \quad (1)$$

$$Fd = 1.05 \text{ kHz.m} = F(r_o - r_i) \quad (2)$$

จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2 เมื่อแทนค่า $r_i = 30 \text{ mm}$ จะได้ $r_o = 40.588 \text{ mm}$ และ ดังนั้นหัวเข็มที่สามารถใช้งานได้มีขีดนาด คือ $r_i = 30 \text{ mm}$ และมีขีดนาดความหนา $d = r_o - r_i = 10.588 \text{ mm}$ ใช้งานกับความถี่ $F = 99166.6667 \text{ Hz}$ จะได้ร้อยเชื่อมในใหมดที่ 5 ตามต้องการ

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ได้นำเสนอกราฟช่วยในการออกแบบหัวเข็มโดยใช้ อุลตร้าโซนิกแบบหัวเข็มครึ่งวงกลม โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fr และ Fd ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบหัวเข็มโดยใช้

อุลตร้าโซนิก โดยกราฟที่นำเสนอสามารถใช้ได้กับหัวเชื่อมที่มีขนาด r/d ตั้งแต่ 0 ถึง 350.50 และเลือกใหม่การสั่นได้ดังแค่ใหม่ที่ 1- 6 นอกจานี้ยังแสดงตัวอย่างการนำไปใช้งานอีกด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1]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.
- [2]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.
- [3] 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.
- [4]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.
- [5]Shin-ichi Matsuoka,1998. Ultrasonic welding of ceramics/metals using inserts. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 75, pp. 259 - 265.
- [6] 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.
- [7]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.
- [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.

The effect of axial force and contact angle on the welded area of plastic tube welded by ultrasonic welding

C. Thinvongpituk^{*}^a, A. Bootwong^b and Y. Watanabe^c

^a Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrab, Ubon Ratchathani, Thailand 34190

^b Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University, Muang, Udon Thani, Thailand, 41000

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

ABSTRACT

This study was aimed to apply the use of ultrasonic welding to weld round plastic tubes. The ultrasonic welding machine was designed to be able to work with a normal ultrasonic welding transducer by rotating the tube while it is being welded. 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 angle of 2.8, 3.8 and 5.7 degree in order to create contact angle at the interface. The specimens were welded with frequency of 28 kHz and tube rotational speeds of 25 rpm, 45 rpm and 100 rpm. The axial force was applied to the tube in order to enhance the quality of joint. The experimental result revealed that the modified ultrasonic welding machine can generate the welded area around the circumference of tube. It was found that the axial force and contact angle have some effect to the quality of joint. The contact angle of 2.8/2.8 provided highest welded area compared to 3.8/3.8 and 5.7/5.7 degree of contact angle. In addition, the axial force between 80 N - 120 N provided high value of welded area. The pattern of welded area is also presented and discussed in the paper.

Keywords: Plastic Tube, Ultrasonic Welding, Tube Welding

1. INTRODUCTION

Ultrasonic welding is a welding technique that is increasingly used in many engineering applications such as automobile part, electronics and plastic industries. This is due to the advantages of this technique such as it requires short welding time and can join very dissimilar materials. It is well-known that the ultrasonic welding can join various kinds of ceramic [1-4]. However, there are some weaknesses of ultrasonic welding such as it requires complicated control system. In addition, the welded area is mostly in a tiny spot-like shape and not spread widely on the whole surface. Therefore, many attempts have been made to increase the welded area of ultrasonic welding system. Tsujino et al [5-7] applied complex vibration systems to improve the quality of welded area. Some investigator used insertion technique to apply ultrasonic welding for ceramics [2, 3, 8]. Although the study on ultrasonic welding has been conducted extensively, most of them are based on welding of flat elements only. So far, there is no study focusing on the application of ultrasonic welding for curve surface, such as tube, yet.

This study was aimed to apply the ultrasonic welding to weld plastic tube which is a kind of curve surface. The study was based on experiment. The welding machine was designed to compatible with commercial longitudinal transducer. The experiment revealed that the tube contact angle, axial force and rotational speed can affect to the welding quality.

*

chawalit@rocketmail.com; phone (0066) 45 353309; fax (0066) 45 353308

2. WELDING MACHINE AND EXPERIMENTAL PROCEDURE

2.1 Welding machine

The machine was designed to be used with commercial longitudinal transducer. The transducer was assigned to make contact on outer surface of tube. The tube can be rotated about its axis while the vibration was being applied through the horn. The diagram of ultrasonic welding machine is shown in Figure 1 (a) and the machine is shown in Figure 1 (b). The transducer can be move vertically in order to allow space for changing tube and horn. The horn used in this study was circular horn with rectangular tip of 6 mm x 10 mm. In the welding process, the tip of horn was placed on the tube hence direct contact between welding tip and outer surface of tube was achieved. There were three rollers on the bottom of the machine to support plastic tube. The rollers were rotated using power transmitted by a belt from a motor. The spring was used to apply axial force to the tube while it was being welded.

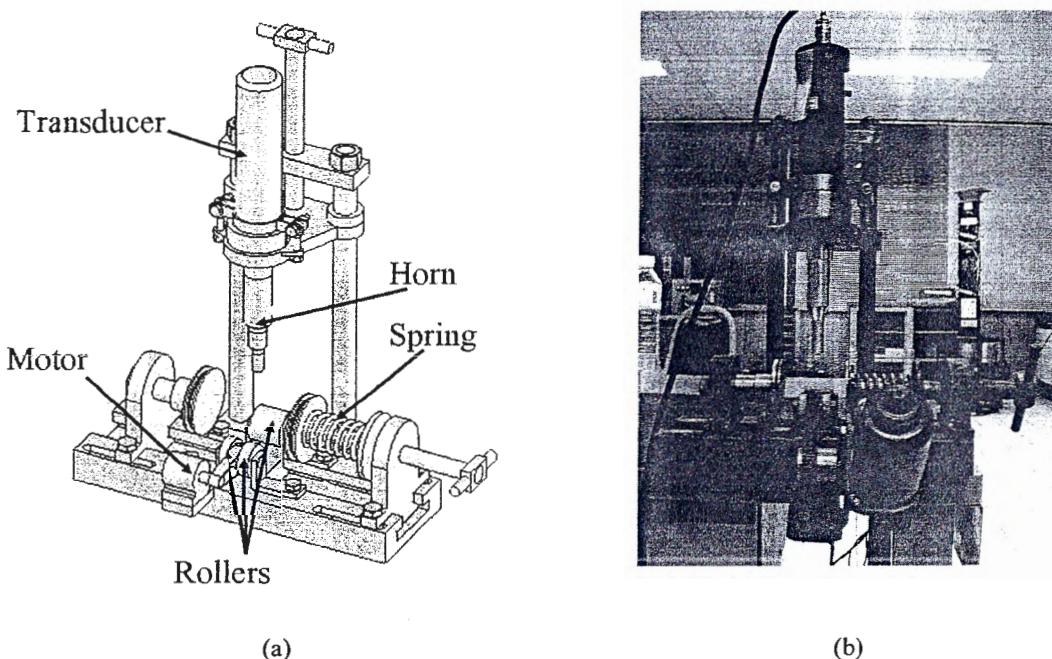


Figure 1 (a) Diagram of the ultrasonic welding machine designed for the experiment.
(b) the ultrasonic welding machine.

2.2 Specimens

The PMMA plastic tubes were used as specimens in this study. The diameter of tube was 35 mm and 2 mm thickness. Two pieces of tube were used to form one pair of welded tube, i.e. inner tube and outer tube. The diagrams and the geometric parameters of those tubes are illustrated in Figure 2.

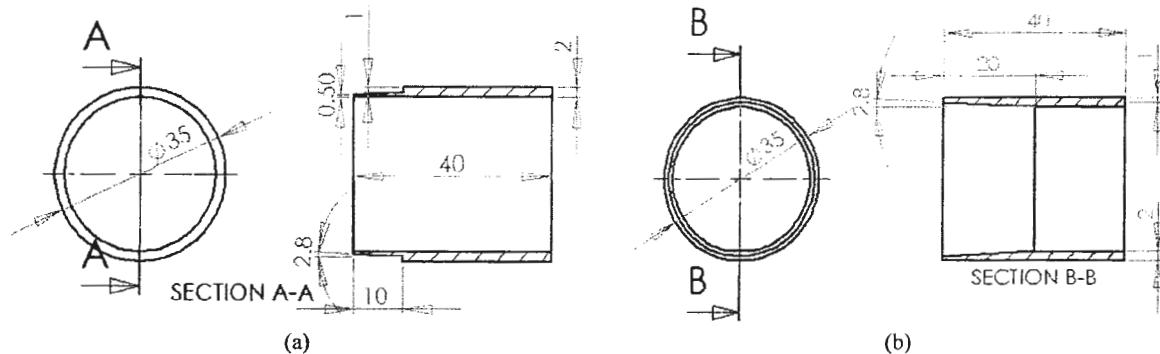


Figure 2 Diagram of the tubes used in this study. (a) inner tubes and (b) outer tube.

Outer surface at one end of the inner tube was machined to have incline angle, as shown in Figure 2 (a). Similarly, the inner surface of the outer tube was also machined to have inclined angle, as shown in Figure 2 (b). The incline angles of outer and inner tubes were the same, i.e. 2.8, 3.8 and 5.7 degree. The geometric parameters of tubes are summarized and tabulated in Table 1 and the typical tube is shown in Figure 3.

Table 1 Geometric parameter of the outer and inner tubes used in the study.

Type of tube	Outer radius (mm)	Thickness (mm)	Incline angle (θ)
Outer tube	17.5	2.0	5.7
	17.5	2.0	3.8
	17.5	2.0	2.8
Inner tube	17.5	2.0	5.7
	17.5	2.0	3.8
	17.5	2.0	2.8

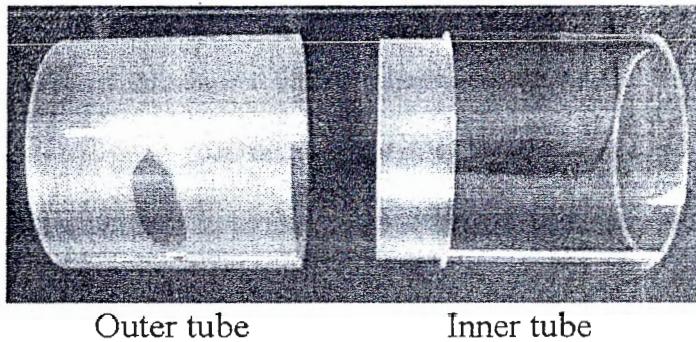


Figure 3 Typical outer and inner tubes used in this study.

2.3 Experimental procedure

The inner tube was attached to the outer tube by sliding their angled ends to fit each other, as shown in Figure 4. The same angles between inner and outer tubes were used to make contact at the interface. The specimen composed of 2.8

degree inner tube and 2.8 degree outer tube will be referred as 2.8/2.8 contact angle tube. This system will be similar when refer to other pairs of welded tubes.

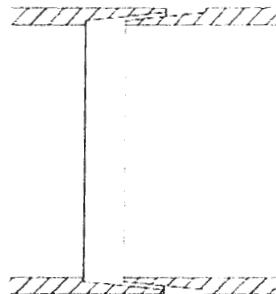


Figure 4 The configuration of tubes attachment before welding.

The attached tube was, then, placed on the machined and a certain axial force was applied to the tube using spring. The axial forces used in this study were between 20 N - 180 N. The tip of horn was placed in touch to the outer surface of outer tube with only its own weight. The pair of tube was rotated about axis while the transducer applied ultrasonic vibration on the surface. The rotational speeds of tube were 25, 45 and 100 rpm. Figure 5 illustrates the experimental setup of ultrasonic joining for round tubes.

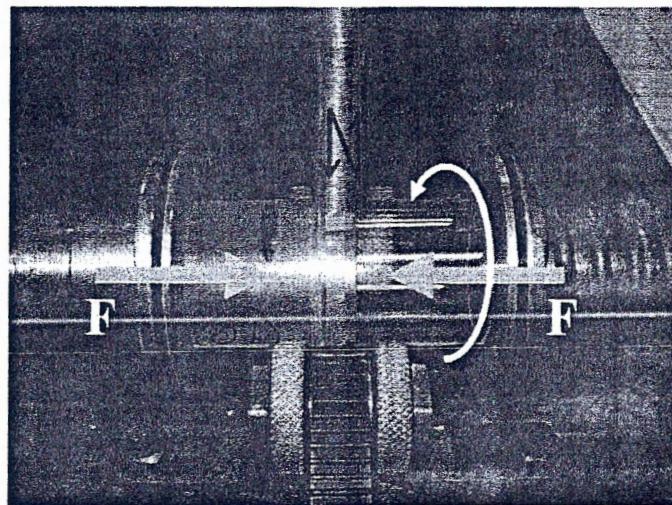


Figure 5 Experimental setup for joining of round plastic pipes with ultrasonic.

Each specimen was allowed to be welded with only one completed round of rotation. Therefore, only few seconds were used in the welding process. After welding, each welded tube was proceeded to investigate its welded area. The welded area was measure using scanning technique. The quality of weld such as the area, the continuity and the distribution were observed.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The experimental results revealed that the presented ultrasonic welding machine can generate welding area around the tubes. Some examples of welded specimens are shown in Figure 6. The transparent area is the area where the plastic is melted and welded together due to ultrasonic vibration, whilst the white area is the area where the welding is not occurred. The distribution of welded area around each tube was copied on tape and some examples are shown in Figures

7-9 for tubes with contact angle of 2.8/2.8, 3.8/3.8 and 5.7/5.7 degree. In general, it can be observed that the welding machine can generate welded area around the circumference of tubes. The pattern of welded area is in a combination of line-shape, dash-shape or spot-shape, all over the welded zone. Although almost of welded areas are not completely continuous, they are acceptable for the early stage of study. From Figure 7-9, it is clearly seen that the welded area of the tube with 2.8/2.8 contact angle provide more area of weld and seems to be quite continuous. The tubes with 3.8/3.8 and 5.7/5.7 contact angles give less welded area respectively. The welded area of each tube was taken to measure by using visualization technique. The measurement of each tube was compared to the contact area and the percentage of welded area was obtained. The percentages of welded area of tube with various contact angle and different axial forces are plotted in Figures 10 (a) –(c) for rotational speeds of 25 rpm, 45 rpm and 100 rpm respectively.

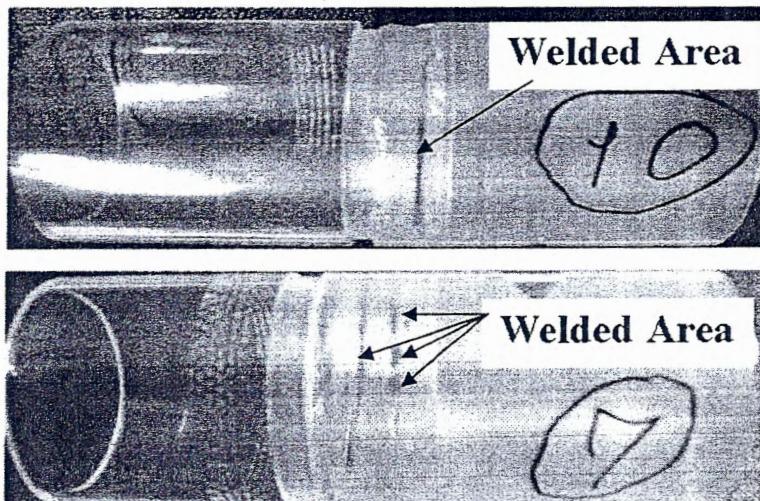


Figure 6 Example of the plastic tubes welded by ultrasonic welding.

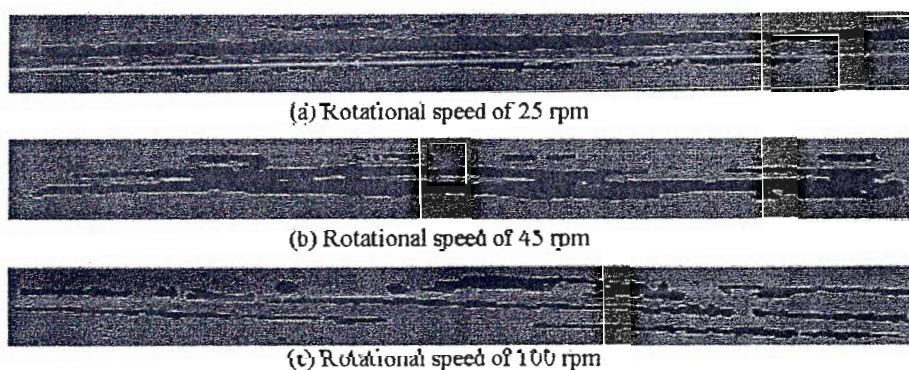


Figure 7 The distribution of welded area around the tubes with contact angle of 2.8/2.8 degree, with different rotational speeds, the red part denotes welded area.

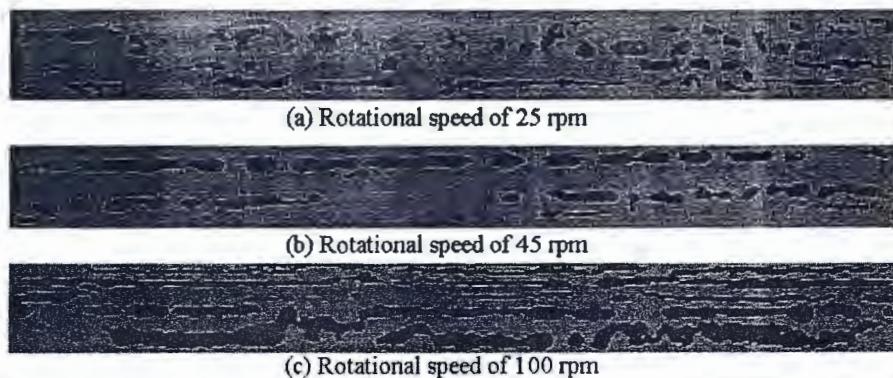


Figure 8 The distribution of welded area around the tubes with contact angle of 3.8/3.8 degree, with different rotational speeds, the red part denotes welded area.

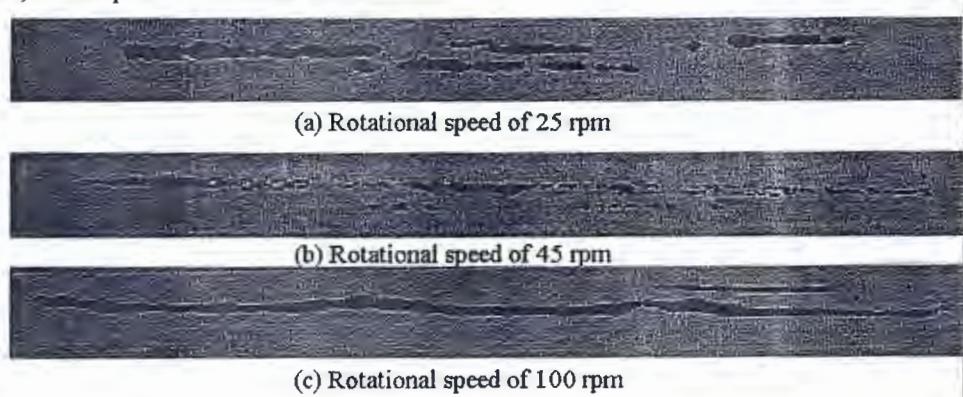
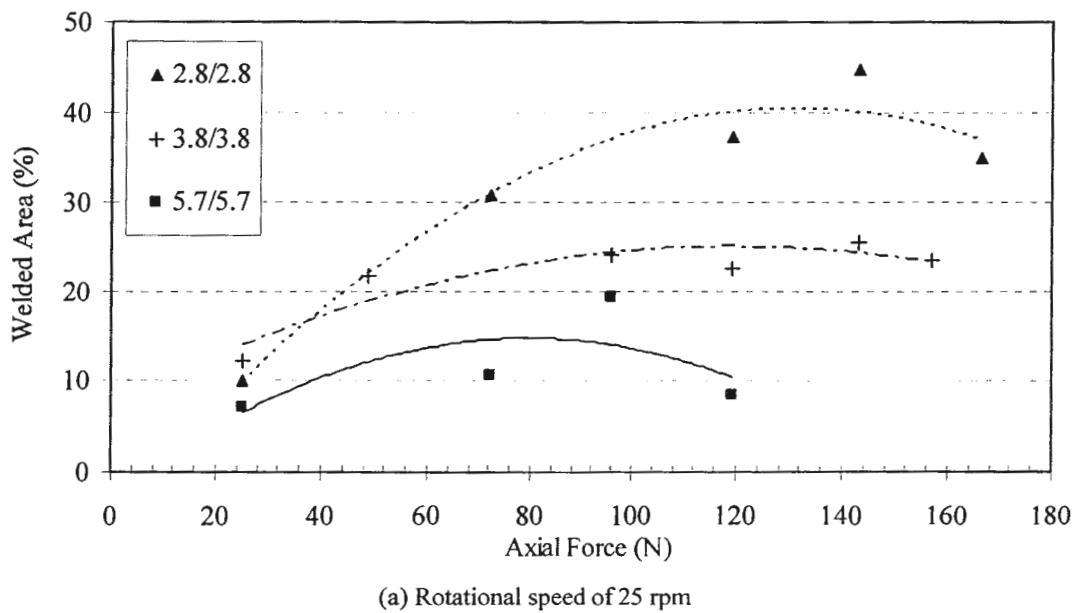
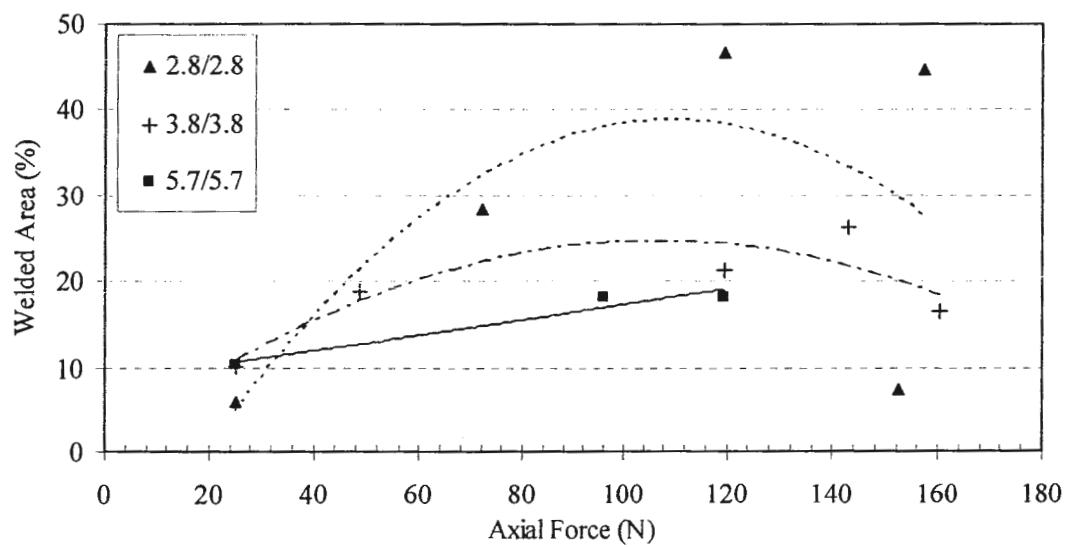


Figure 9 The distribution of welded area around the tubes with contact angle of 5.7/5.7 degree, with different rotational speeds, the red part denotes welded area.

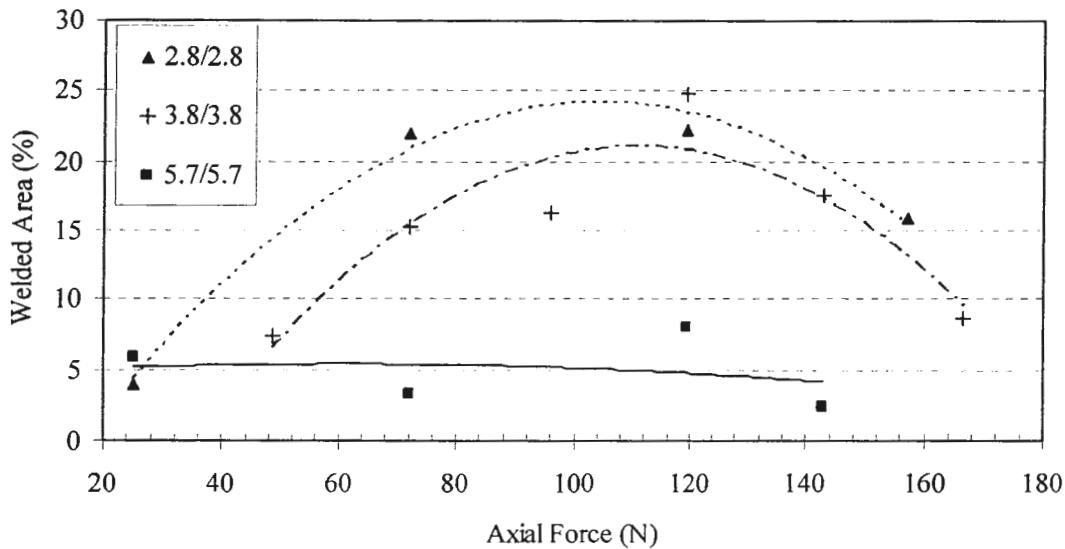


(a) Rotational speed of 25 rpm



(b) Rotational speed of 45 rpm

Figure 10 The relationship of welded area (%) and axial force of tubes welded under contact angles of 2.8/2.8, 3.8/3.8 and 5.7/5.7 degree with rotational speeds of (a) 25 rpm and (b) 45 rpm.



(c) Rotational speed of 100 rpm

Figure 10 (continue) The relationship of welded area (%) and axial force of tubes welded under contact angles of 2.8/2.8, 3.8/3.8 and 5.7/5.7 degree with rotational speeds of (c) 100 rpm.

It is observed from Figure 10 (a) – (c) that the percentage of welded areas is influenced by the contact angles and axial forces. Regarding to the curves in Figure 10 (a)-(c), it is clearly seen that the curves of tube with contact angle of 2.8/2.8 degree generally lies above the curves of the tubes with contact angles of 3.8/3.8 degree and 5.7/5.7 degree , respectively. This indicated that the contact angle of 2.8/2.8 degree provides higher welded area compared to the contact angle of 3.8/3.8 degree and 5.7/5.7 degree respectively.

Considering the influence of axial force on the welded area of tubes with contact angle of 2.8/2.8 and 3.8/3.8 degree, their relationships are in a parabola-like shape. In case of the tube with 5.7/5.7 degree of contact angle, the curves are also in a similar shape except for the welding speed of 45 rpm which some results were missed. It is also observed that the axial forces between 80 N -120 N provided high percentage of welded area. Furthermore, one may observe that the rotational speed may also have effect on the welded area. However, this is out of the present paper's scope and more detail based on this concern will be presented in the near future.

4. CONCLUSIONS AND REMARKS

This paper presented a technique to welded round plastic pipes using ultrasonic welding. The welding machine was modified so that it is able to operate with a normal ultrasonic welding transducer. The experimental result indicated that the machine can generate welded area around the tube with acceptable quality. It was also found that there are some parameters affecting to the percentage of welded area i.e. tube interface contact angles, axial force and rotational speed. The experimental results indicated that the contact angle of 2.8/2.8 degree provided highest welded area compared to the contact angles of 3.8/3.8 and 5.7/5.7 degree, respectively. This result seems to leads to a conclusion that the lower contact angle, the higher welded area is archived. However, more investigation should be done to prove this conclusion. In addition, the present study also found that the appropriated axial force should be applied to the tube during welding process to get high welded area. Based on the tested condition, it was found that the axial force between 80 N -120 N provide high percentage of welded area.

It should be mentioned here that there are other parameters that may affect to the quality of welded area of tube. Some examples of them are welding frequency, welding amplitude and rotational speed etc. Therefore, more study on these concerns as well as detailed investigation on other ranges of axial force and contact angle should be carried out.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors wish to thank the Office of National Research Council of Thailand (NRCT) to support this research.

REFERENCES

- [1] Matsuoka, S. "Ultrasonic welding of ceramics/metals using inserts," Journal of Materials Processing Technology. 75, 259–265 (1998).
- [2] Iijima, M., Watanabe, Y. "Joining process of ultrasonic ceramic joining," Japan society of applied physics. 42(5B), 2986–2989 (2003).
- [3] Okamura, N., Watanabe, Y. "Ultrasonic joining of Si₃N₄ plates at 19 kHz using Al, Cu and Ni plates as insert metal," Japan society of applied physics. 38(10), 6166–6169 (1999).
- [4] Matusinovic, T., Kurajica S., Sipusic J. "The correlation between compressive strength and ultrasonic parameters of calcium aluminates cement materials," Cement and Concrete Research. 34, 1451–1457 (2004).
- [5] Tsujino J., Ueoka T., Hasegawa K., Fujita Y., Shiraki T., Okada T., Tamura T. "New methods of ultrasonic welding of metal and plastic materials," Ultrasonics. 34, 177–185 (1996).
- [6] Tsujino J., Hongoh M., Tanaka R., Onoguchi R., Ueoka T. "Ultrasonic plastic welding using fundamental and higher resonance frequencies," Ultrasonics. 40: 375–378 (2002).
- [7] Tsujino J., Sano T., Ogata H., Tanaka S., Harada Y. "Complex vibration ultrasonic welding systems with large area welding tips," Ultrasonics. 40: 361–364 (2002).
- [8] Xu C.H., Chan H.L.W., Ng W.Y., Cheung K.Y.M., Liu P.C.K. "Characteristics of bonds produced by full ceramic and composite ultrasonic transducers," Solid-State Electronics. 48, 1531-1537 (2004).