

การเชื่อมท่อพลาสติกกลมด้วยอัลตราโซนิก

Welding of Round Plastic Tube by Ultrasonic Welding

อดิศักดิ์ บุตรวงษ์^{1*} สุรสิงห์ อารยางกูร¹ สุริยา โชคสวัสดิ์² และ ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

โทร 0-4535-3381 โทรสาร 0-4535-3380 *อีเมลล์ 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

แม้ว่าการเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกจะเป็นเทคนิคการเชื่อมที่เพิ่งได้รับการพัฒนาให้สามารถใช้งานได้จริงเมื่อไม่นานมานี้ แต่กำลังได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในแวดวงอุตสาหกรรมหลายแขนง เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมชิ้นส่วนพลาสติก ทั้งนี้เนื่องจากการเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกใช้เวลาในการทำงานสั้น คุณภาพรอยเชื่อมดี และสามารถเชื่อมวัสดุหลายชนิดที่วิธีการเชื่อมแบบอื่นๆ ทำไม่ได้ เช่น เซรามิกส์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกยังคงมีข้อจำกัดบางประการ เช่น รอยเชื่อมที่ได้ยังมีขนาดเล็ก และต้องการระบบควบคุมที่ซับซ้อน ซึ่งข้อด้อยเหล่านี้กำลังได้รับการศึกษาเพื่อปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

ในการใช้งานการเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกนั้นมักนิยมใช้การเชื่อมในแนวแกนเป็นหลัก จึงเป็นข้อจำกัดต่อรูปทรงชิ้นงานที่ต้องมีลักษณะแบนราบเท่านั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้พยายามศึกษาหาแนวทางการพัฒนาการเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกให้สามารถใช้งานกับโครงสร้างที่มีส่วนโค้ง เช่น ท่อกลม โดยได้ทำการออกแบบชุดจับชิ้นงานให้หมุนรอบตัวเองได้ และทำการเชื่อมในแนวแกนแบบทั่วไป จากนั้นได้ทำการทดลองเชื่อมท่อพลาสติกกลมขนาด 35 มม. โดยใช้ความถี่ในการเชื่อมที่ 28 kHz ผลที่ได้ พบว่าการประยุกต์ใช้อัลตราโซนิกในการเชื่อมท่อพลาสติกกลมนั้นสามารถสร้างรอยเชื่อมได้ และที่ตำแหน่งจุดเชื่อมนั้นพลาสติกจะเกิดการหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าแรงกด และมุมปากของท่อที่มีผลต่อรอยเชื่อมอีกด้วย

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

การเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกมีข้อดีหลายประการเช่น สามารถเชื่อมวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันมากๆได้ ใช้เวลาในการเชื่อมน้อย ใช้พลังงานน้อย และสามารถเชื่อมวัสดุที่วิธีการเชื่อมแบบอื่นๆไม่สามารถเชื่อมได้เช่น เซรามิก [1-2] ไม่ว่าจะเป็นในการเชื่อมในแนวตั้งหรือแนวนอน [3] แต่วิธีการเชื่อมแบบนี้ยังจำกัดการเชื่อมในชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก ในทางวิศวกรรมการเชื่อมพลาสติกโดยใช้อัลตราโซนิกนั้นได้มีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [4-7] จนสามารถใช้ได้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท และได้มีการศึกษาพัฒนาในการเชื่อมพลาสติกให้มีขนาดรอยเชื่อมที่ใหญ่ขึ้นโดยใช้ความถี่หลายๆค่าในการเชื่อม [8] การเชื่อมโดยใช้อัลตราโซนิกได้มีการศึกษาวิจัยและใช้ในการเชื่อมกันอย่างแพร่หลาย สำหรับวัสดุที่มีลักษณะต่างๆ และได้มีการศึกษาเพื่อหาเงื่อนไขที่จะทำให้ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรงขึ้น [9-10]

การเชื่อมท่อพลาสติกกลมในปัจจุบัน มักนิยมใช้การเชื่อมโดยใช้กาวหรือตัวประสาน การใช้ความร้อน หรือการใช้หนีต เป็นต้น

ซึ่งแต่ละวิธีต้องใช้เครื่องมือ และเวลาในการเตรียมชิ้นงาน ตลอดจนต้องใช้ทักษะของผู้ทำงาน ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีแนวคิดนำการเชื่อมด้วยอัลตราโซนิก ที่สามารถเชื่อมพลาสติกได้เป็นอย่างดี มาประยุกต์ใช้ในการเชื่อมต่อ โดยใช้หลักการหมุนของชิ้นงาน เพื่อให้เกิดการเชื่อมโดยรอบ หากวิธีการดังกล่าว สามารถทำให้เกิดแนวเชื่อมได้ ก็อาจจะทำให้ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรงใกล้เคียงกับวิธีการอื่นๆ ลักษณะของรอยเชื่อมพลาสติกที่เกิดจากการเชื่อมโดยใช้อัลตราโซนิกนั้น ตรงจุดเชื่อมจะหลอมละลายเข้าด้วยกันคล้ายกับการเชื่อมเหล็กด้วยไฟฟ้า โดยไม่ต้องใช้ลวดเชื่อม อย่างไรก็ตามกลไกการละลายของพลาสติกนั้นยังไม่เป็นที่ทราบชัดเจน และกำลังได้รับการศึกษาอยู่ [11-12] การเชื่อมโดยใช้อัลตราโซนิกจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการเชื่อมต่อพลาสติกกลม หากวิธีการนี้สามารถเชื่อมต่อพลาสติกกลมได้ ก็อาจจะเชื่อมต่อชนิดอื่นได้ ในอนาคตต่อไป

การออกแบบและการทำงานของชุดหัวเชื่อม

การเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกนั้นสามารถที่จะเชื่อมพลาสติกได้เป็นอย่างดี จึงได้นำเหตุผลนี้มาเป็นตัวตั้งในการออกแบบ ซึ่งลักษณะของชิ้นงานที่เป็นพลาสติกกลมนั้นมีลักษณะที่โค้ง หัวเชื่อมปกติจึงไม่สามารถที่จะเชื่อมได้โดยรอบ งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้การหมุนชิ้นงานรอบตัวเองแทน โดยให้หัวเชื่อมอยู่กับที่ และมีแรงกดจากด้านข้าง ในแนวแกนของท่อ โดยที่ยังคงใช้งานกับหัวเชื่อมแบบเดิมทุกๆ ไปได้

ชุดหัวเชื่อมที่ออกแบบประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ

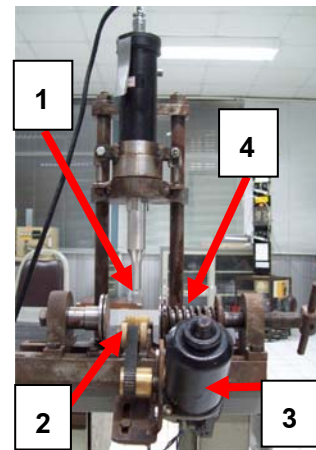
1. หัวเชื่อม ทำหน้าที่ส่งผ่านคลื่นอัลตราโซนิกเพื่อเชื่อมชิ้นงาน
2. ลูกกลิ้ง ทำหน้าที่หมุนท่อให้รอบแกนเพื่อให้หัวเชื่อมสัมผัสโดยรอบท่อ

3. มอเตอร์ ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังให้ลูกกลิ้งหมุน

4. สปริง ทำหน้าที่สร้างแรงกดในแนวแกนอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 1 แสดงชุดเชื่อมต่อพลาสติกกลมที่ออกแบบและสร้างเพื่อใช้ในการทดลอง หัวเชื่อม (หมายเลข 1) มีลักษณะกลม ตรงปลายหัวเชื่อมเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 6x10 มิลลิเมตร พื้นผิวเรียบ อยู่ในแนวตั้ง มีลูกกลิ้ง (หมายเลข 2) รองรับชิ้นงานด้านล่างสองข้าง ลูกกลิ้งทั้งสอง และหัวเชื่อมทำมุมกัน 120 องศา ชิ้นงานเป็นอิสระในแนวแกนเพื่อให้แรงกดจากด้านข้างสามารถที่จะกดชิ้นงานได้ หัวเชื่อม จะเป็นตัวบังคับให้ชิ้นงานติดกับลูกกลิ้งเพื่อให้เกิดการหมุนอย่างต่อเนื่อง ลูกกลิ้งจะทำงานพร้อมกับการสั่นของหัวเชื่อม โดยมีมอเตอร์ (หมายเลข 3) เป็นต้นกำลัง ในการเชื่อมนั้นจะมีเฉพาะแรงกดจากด้านข้าง โดยใช้สปริง (หมายเลข 4) ที่รู้ค่าคงที่ เพื่อวัดแรงกดในแนวแกน และให้เกิดการกดชิ้นงานอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการเชื่อม หัวเชื่อม ด้านบนจะสัมผัสกับผิวของชิ้นงานอย่างอิสระ จะมีแค่แรงกดจากน้ำหนักของชุดหัวเชื่อมเองเท่านั้นที่ทำหน้าที่กดหัวเชื่อมลงมา

นอกจากนี้ชิ้นส่วนอย่างอื่นก็เป็นตัวช่วยให้การเชื่อมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เช่น ตลับลูกปืน ที่ทำให้การหมุนสม่ำเสมออยู่ภายใต้แรงกด เป็นต้น

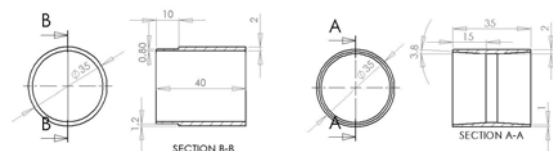


รูปที่ 1 แสดงชุดเชื่อมต่อพลาสติกกลมที่ออกแบบและสร้างเพื่อใช้ในการทดลอง

วิธีการทดลอง

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร โดยที่ปลายด้านหนึ่งทำการกลึงเพื่อสร้างความเรียบของปลายด้วยมุมต่างๆ เพื่อให้ท่อสวมกันได้ในขณะเชื่อม รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างลักษณะของท่อที่นำมาใช้ในการทดลอง

ในการทดลองจะนำชิ้นงานวางบนพื้นที่เชื่อมดังแสดงใน รูปที่ 3 ซึ่งแสดงลักษณะการวางชิ้นงานในการทดลอง จากนั้นวัดระยะกดของสปริงเพื่อคำนวณหาแรงกดในแนวแกน รูปที่ 4 แสดงการวัดการยืด-หดตัวของสปริง

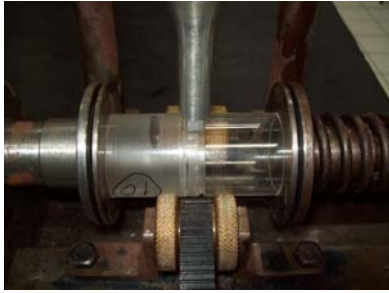


(a) แสดงตัวอย่างไดอะแกรมของชิ้นงานเชื่อม



(b) แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 2 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดลองเชื่อม



รูปที่ 3 แสดงลักษณะการวางชิ้นงาน



รูปที่ 4 การวัดการยืด-หดตัวของสปริง

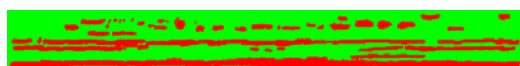
ในการทดลองใช้เงื่อนไขในการเชื่อมคือ ใช้ความถี่ 28 kHz กำลัง 500 w เวลาในการเชื่อมที่ 5-10 วินาที ความเร็วรอบในการหมุนของชิ้นงานคงที่ที่ 24 รอบ/ต่อนาที และเพิ่มแรงกดด้านข้างในแนวแกนของท่อขึ้นตามลำดับ

ผลการทดลอง

ตัวอย่างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยชุดหัวเชื่อมที่ออกแบบไว้ แสดงในรูปที่ 5(a) 6(a) และ 7(a) จากรูปจะสังเกตเห็นพื้นที่ที่พลาสติกเชื่อมติดกัน ซึ่งจะมีลักษณะใส และเป็นเส้นกระจายตัวกันไปโดยรอบท่อ ส่วนพื้นที่ที่ไม่เกิดรอยเชื่อม จะมีลักษณะขุ่น เนื่องจากเป็นลักษณะของท่อเดิมที่ผ่านการกลึงบากมา

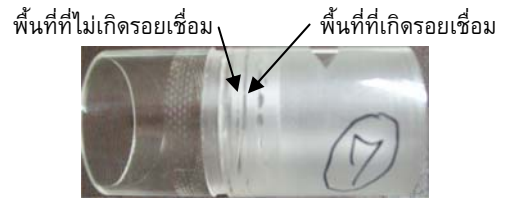


(a) แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม

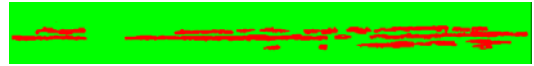


(b) แสดงลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นโดยรอบท่อ

รูปที่ 5 ลักษณะของรอยเชื่อม ของท่อที่มีมุม ตัวด้านใน 2.8 องศา ตัวด้านนอก 5.7 องศา



(a) แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม



(b) แสดงลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นโดยรอบท่อ

รูปที่ 6 ลักษณะรอยเชื่อมของท่อที่มีมุม ตัวด้านใน 3.8 องศา ตัวด้านนอก 2.8 องศา



(a) แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม



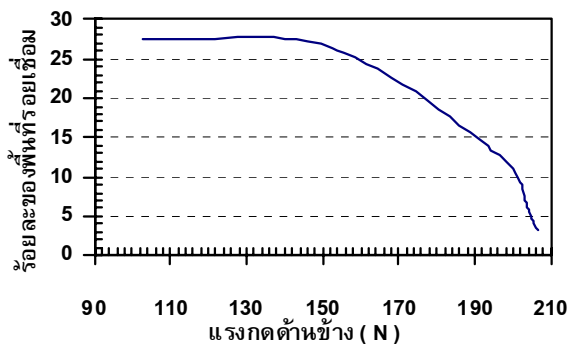
(b) แสดงลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นโดยรอบท่อ

รูปที่ 7 ลักษณะของรอยเชื่อม ของท่อที่มีมุม ตัวด้านใน 3.8 องศา ตัวด้านนอก 0 องศา

เพื่อให้เห็นลักษณะของรอยเชื่อมได้ชัดเจน จึงได้ทำการคัดลอกรอยเชื่อมลงบนแถบขาว ซึ่งจะช่วยให้มองเห็นแนวรอยเชื่อมได้โดยรอบท่อ ดังแสดงในรูปที่ 5(b) 6(b) และ 7(b)

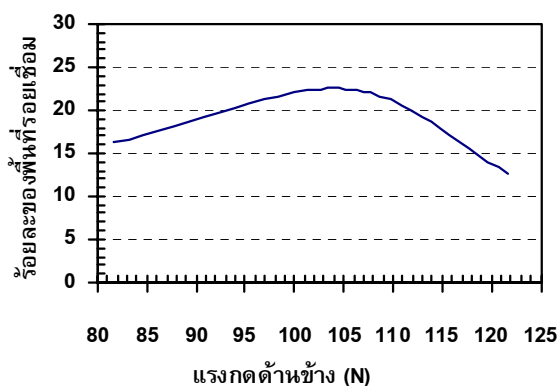
จากรูปที่ 5(b) 6(b) และ 7(b) จะเห็นว่าชุดหัวเชื่อมสามารถสร้างรอยเชื่อมได้โดยรอบท่อพลาสติก แต่รอยเชื่อมที่ได้เป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่องกัน มีบางกรณีที่รอยเชื่อมเกิดลักษณะเป็นเส้นแนวรอยเชื่อมหลายแนวซ้อนกัน เช่น รูปที่ 5(b) และ 6(b) แต่ในรูปที่ 7(b) เห็นรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นเป็นแนวเดียวอย่างค่อนข้างสมบูรณ์

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



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกดและพื้นที่รอยเชื่อมมุมตัวด้านใน 2.8 องศา กับตัวด้านนอกมุม 5.7 องศา

จากรูปที่ 8 ได้แสดงความสัมพันธ์ของรอยละของพื้นที่รอยเชื่อมที่เกิดขึ้นกับขนาดของแรงกดสำหรับชิ้นงานที่มีมุมตัวด้านใน 2.8 องศา กับตัวด้านนอก 5.7 องศา พบว่า เมื่อแรงกดในแนวแกนมีขนาดสูงขึ้น พื้นที่ของรอยเชื่อมที่ได้จะมีจำนวนหรือมีสัดส่วนลดลง แต่ในกรณีของท่อที่มีมุมตัวด้านใน 0 องศา กับมุมตัวด้านนอก 3.8 องศา ซึ่งแสดงผลในรูปที่ 9 จะเห็นว่า เมื่อแรงกดในแนวแกนเพิ่มขึ้นในช่วงแรก (ระหว่าง 82-105N) นั้นจำนวนหรือสัดส่วนพื้นที่ของรอยเชื่อมจะเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อแรงกดมีขนาดสูงขึ้นไปอีก (แรงกดมากกว่า 105 N) กลับพบว่า พื้นที่ของรอยเชื่อมมีจำนวนลดลง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ขนาดของแรงกดในแนวแกนที่มากขึ้นมีส่วนทำให้พื้นที่ของรอยเชื่อมลดลง เนื่องจากแรงกดที่มีขนาดสูงเกินไปจะทำให้ชิ้นงานไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อีกในขณะทำการเชื่อม จึงไม่เกิดรอยเชื่อมขึ้น



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกดและพื้นที่รอยเชื่อมมุมตัวด้านใน 0 องศา กับตัวด้านนอก 3.8 องศา

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกสำหรับเชื่อมท่อพลาสติกกลม โดยอาศัยหลักการให้ท่อหมุนรอบตัวเอง และใช้งานกับหัวเชื่อมปกติ เครื่องเชื่อมดังกล่าวถูกนำไป

ทดสอบเชื่อมท่อพลาสติก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร โดยพบว่า สามารถเชื่อมท่อพลาสติกได้ในระดับที่น่าพอใจ โดยพบว่าสามารถสร้างรอยเชื่อมได้รอบท่อ แม้ว่ารอยเชื่อมที่ได้อาจจะไม่ต่อเนื่องก็ตาม

นอกจากนี้ยังพบว่า มุมของท่อ และแรงกดในแนวแกนมีผลต่อจำนวนพื้นที่รอยเชื่อมที่เกิดขึ้น โดยพบว่ามุมของท่อต้องทำให้ชิ้นงานสวมกันได้ และเคลื่อนที่ได้ ภายใต้แรงเสียดทานและแรงกดต้องไม่มากเกินไปและไม่น้อยเกินไปเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้เช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังต้องการการพัฒนาต่อไป เพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ขึ้น โดยอาศัยศึกษาผลของมุมของชิ้นงาน ลักษณะหัวเชื่อมแบบอื่นๆ ความเร็วรอบของการหมุนชิ้นงาน เวลาตลอดจนความถี่ที่ใช้ งาน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ในการให้ทุนสนับสนุนการศึกษานี้

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. 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.