

กราฟช่วยออกแบบหัวเชื่อมอัลตราโซนิกแบบครึ่งวงกลม

A design chart for semi-circle ultrasonic resonator

อดิศักดิ์ บุตรวงษ์* ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

โทร 0-4535-3380 โทรสาร 0-4535-3333 *อีเมล: a_bootwong@yahoo.co.th

Adisak Bootwong * , Chawalit Thinwongpituk

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.co.th

บทคัดย่อ

การเชื่อมเป็นกระบวนการที่สำคัญในงานวิศวกรรม ซึ่งได้รับการศึกษาพัฒนาเป็นระยะเวลายาวนาน จนได้เทคนิคการเชื่อมแบบต่าง ๆ มากมาย เช่น การเชื่อมด้วยไฟฟ้า การเชื่อมด้วยแก๊ส การเชื่อมด้วยความเสียดทาน เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการประยุกต์หลักการทางอัลตราโซนิกมาใช้เพื่อการเชื่อมโดยมีการศึกษาอย่างกว้างขวางตลอดจนมีการพัฒนาจนกระทั่งใช้งานได้จริงในหลายๆอุตสาหกรรม การเชื่อมด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก นั้นมีข้อดีหลายข้อ เช่น ใช้เวลาในการเชื่อมน้อย สามารถเชื่อมวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันมากๆ ได้ตลอดจนสามารถเชื่อมวัสดุที่วิธีการเดิมอาจเชื่อมไม่ได้ เช่น เซรามิก เป็นต้น โดยทั่วไปการเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกนั้นมักเชื่อมด้วยการสั่นในทิศทางตามแนวแกนหรือตามแนวขวาง อย่างไรก็ตามได้มีความพยายามเชื่อมท่อพลาสติกกลมด้วยอัลตราโซนิก ซึ่งใช้การสั่นในแนวรัศมีเป็นตัวเชื่อม การเชื่อมแบบนี้จำเป็นต้องออกแบบลักษณะของหัวเชื่อม (resonator) ให้มีลักษณะครึ่งวงกลม เพื่อให้โค้งเข้ารูปและสัมผัสกับชิ้นงานที่นำมาเชื่อม แล้วกระตุ้นให้สั่นด้วยความถี่ และรูปแบบการสั่น (Mode) ต่างๆกัน โดยความหนาและรัศมีของหัวเชื่อมนั้นมีผลอย่างยิ่งต่อความถี่ที่ต้องใช้กระตุ้นและต่อรูปแบบการสั่น ดังนั้น การเลือกความหนาและรัศมีของหัวเชื่อมจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก บทความนี้ได้นำเสนอกราฟสำหรับช่วยในการออกแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม โดยกราฟนี้ได้จากการจำลองหัวเชื่อมขนาดต่างๆด้วยแบบจำลองทาง FEA โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ABAQUS กราฟนี้จะช่วยในการเลือกขนาดความหนาและรัศมีของหัวเชื่อมที่เหมาะสมกับความถี่และรูปแบบการสั่นตั้งแต่โหมดที่ 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 such as ceramics. 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 in mode 1-6.

1. บทนำ

อัลตราโซนิก (Ultrasonic) เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่อยู่ในช่วงที่หูมนุษย์ไม่สามารถได้ยิน เป็นคลื่นที่มีความถี่ประมาณ 20 KHZ และสามารถเพิ่มความถี่ได้มากกว่า 100 KHZ โดยไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ จึงมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ในอุตสาหกรรมทางการแพทย์ การทำความสะอาด การเชื่อม เป็นต้น แต่เครื่องเชื่อมที่ผลิตออกขายตามท้องตลาดทั่วไปที่ใช้วิธีเชื่อมแบบอัลตราโซนิก ส่วนมากจะเป็นลักษณะเครื่องเชื่อมเฉพาะทาง ที่ใช้เชื่อมชิ้นงานที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก

การเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกมีข้อดีหลายประการเช่น สามารถเชื่อมวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันมากๆ ได้ ใช้เวลาในการเชื่อมน้อย ใช้พลังงานน้อยและสามารถเชื่อมวัสดุที่วิธีการเชื่อมแบบอื่นๆไม่สามารถเชื่อมได้เช่น เซรามิก [1-2] ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมในแนวตั้งหรือแนวนอน [3] โดยใช้การสั่นที่แอมพลิจูดจุดต่ำๆ ความถี่สูง แต่วิธีการเชื่อมแบบนี้ยังจำกัดการเชื่อมในชิ้นงานขนาดเล็กหรือแผ่นฟิล์ม

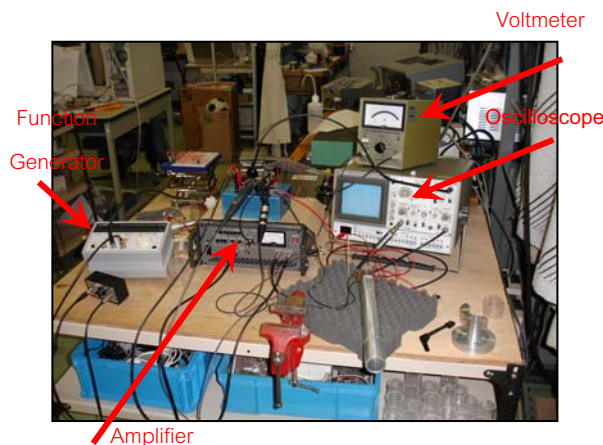
AMM023

ที่มีขนาดบางๆ ในทางวิศวกรรมการเชื่อมพลาสติกโดยใช้อุลตราโซนิก นั้นได้มีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [4-7] จนสามารถใช้ได้ ในอุตสาหกรรมหลายประเภท และได้มีการศึกษาพัฒนาในการเชื่อม พลาสติกให้มีขนาดรอยเชื่อมที่ใหญ่ขึ้นโดยใช้ความถี่หลายๆค่าในการ เชื่อม [8]

การต่อท่อพลาสติกกลมในปัจจุบัน มักนิยมใช้การเชื่อมโดยใช้กาว หรือตัวประสาน การใช้ความร้อน หรือการใช้หนีต เป็นต้น วิธีการ ดังกล่าวอาจทำให้คุณสมบัติของท่อพลาสติกตรงรอยต่อเปลี่ยนไป หรือ ตัวประสานจำพวกกาวเสื่อม การแตกหักอันเนื่องมาจากการใช้หนีต หรือ การคลายตัวของหนีตเมื่อเวลาผ่านไปนานๆ การเชื่อมด้วยอุลตรา โซนิก เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้เชื่อมท่อพลาสติก โดย วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้กาว หนีต หรือใช้ความร้อน และอาจจะทำให้ ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรงใกล้เคียงกัน ลักษณะของรอยเชื่อมพลาสติกที่ เกิดจากการเชื่อมโดยใช้อุลตราโซนิกนั้นตรงจุดเชื่อมจะหลอมละลาย เข้าด้วยกันคล้ายกับการเชื่อมเหล็กด้วยไฟฟ้า อย่างไรก็ตามกลไกการ ละลายของพลาสติกนั้นยังไม่เป็นที่ทราบชัดเจน [9-10] การเชื่อมโดยใช้ อุลตราโซนิกได้มีการศึกษาวิจัยและใช้ในการเชื่อมกันอย่างแพร่หลาย สำหรับวัสดุที่มีลักษณะต่างๆ และได้มีการศึกษาเพื่อหาเงื่อนไขที่จะทำ ให้ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรงขึ้น [11-12]

การเชื่อมโดยใช้อุลตราโซนิกจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่สามารถนำมา ประยุกต์ใช้สำหรับการเชื่อมท่อพลาสติกกลม ในลักษณะการเชื่อมของ วิธีการนี้ต้องให้หัวเชื่อมแนบสนิทกับผิวของท่อตรงแนวที่ต้องการจะ เชื่อม หัวเชื่อมถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นครึ่งวงแหวนและขนาดของ หัวเชื่อมจะเปลี่ยนไปตามขนาดของท่อที่นำมาเชื่อม ในงานวิจัยนี้จึงได้ ทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความหนาและความถี่กับรัศมี เพื่อเป็นตัวช่วยให้การออกแบบหัวเชื่อมให้มีขนาดเหมาะสมก่อนจะทำ การสร้างและทดลองต่อไป

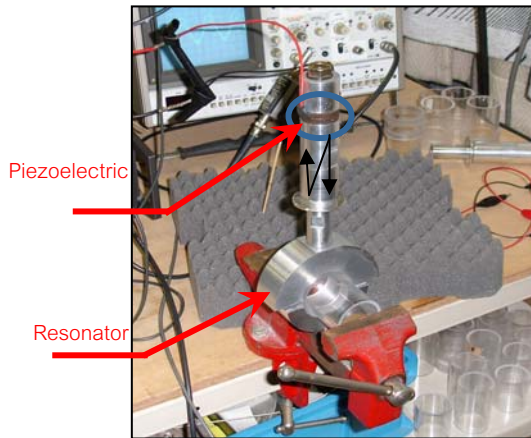
2. เครื่องมือทดลองการเชื่อมท่อพลาสติกกลม



รูปที่ 1 ชุดทดลองการเชื่อมท่อพลาสติกกลมโดยใช้อุลตราโซนิก

เครื่องมือหลักๆในการทดลองคือ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ เป็นตัว กำหนดความถี่ที่จะจ่ายให้กับเพียโซอิเล็กทริก และชุดหัวเชื่อม ส่วน เครื่องมือวัดอื่นๆเช่น ออสซิลอสโคป แอมป์ไฟเออร์ โวลต์มิเตอร์ จะ

เป็นส่วนเสริมเพื่อจะวัดค่าทางไฟฟ้าหรือตัวขยายสัญญาณ ดังแสดงใน รูปที่ 1



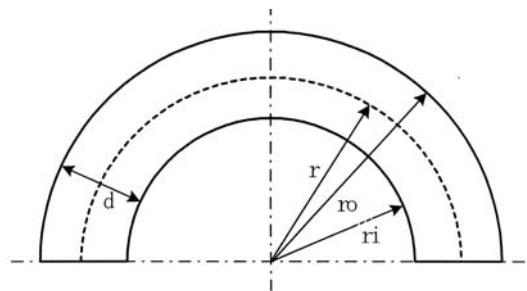
รูปที่ 2 ชุดหัวเชื่อมท่อพลาสติกกลมโดยใช้อุลตราโซนิก

ชุดหัวเชื่อมประกอบด้วย เพียโซอิเล็กทริก ทรานส์ดิวเซอร์ และ หัวเชื่อม ซึ่งเพียโซอิเล็กทริกจะสั่นเมื่อได้รับสัญญาณความถี่จากตัว กำหนดความถี่ (Function Generator) และส่งผ่านมายัง ทรานส์ดิวเซอร์ ในลักษณะการสั่นขึ้นลงตามทิศทางการส่งของเพียโซอิเล็กทริกมายังหัว เชื่อม และหัวเชื่อมจะเกิดการสั่นในแนวรัศมีเพื่อให้ชิ้นงานเชื่อมติดกัน ต่อไป ดังแสดงในรูปที่2 ในบทความนี้จึงให้ความสำคัญกับการหาความ เหมาะสมของหัวเชื่อมเป็นหลักก่อนจะทำการทดลองต่อไป

3. การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

การสั่นของหัวเชื่อมแบบครึ่งวงกลมเป็นการสั่นในแนวรัศมี ใช้ ความถี่และรูปร่างการสั่น (mode) ต่างๆกัน โดยความหนาและรัศมีของ หัวเชื่อมนั้นมีผลอย่างยิ่งต่อความถี่ที่ต้องใช้กระตุ้น และต่อรูปแบบการ สั่น ดังนั้นการออกแบบความหนาและรัศมีของหัวเชื่อมจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของท่อที่จะนำมาเชื่อม การศึกษานี้จึงมี วัตถุประสงค์ เพื่อสร้างกราฟช่วยออกแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลมสำหรับ การเชื่อมท่อพลาสติกกลม

หัวเชื่อมที่ใช้มีลักษณะวงแหวนครึ่งวงกลมดังแสดงในรูปที่ 3 การศึกษานี้กำหนดให้วัสดุเป็นอลูมิเนียมอัลลอยมีคุณสมบัติต่างๆดังนี้ คือ มีความหนาแน่น $2.77 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Yong Modulus) 74.5 GPa และมีอัตราส่วนปัวซอง 0.35



รูปที่ 3 แสดงลักษณะของหัวเชื่อมแบบครึ่งวงกลม โดยที่ d = ความ หนาของหัวเชื่อม, r = รัศมีเฉลี่ย, r₀ = รัศมีนอก, r₁ = รัศมีภายใน

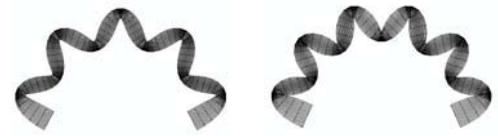
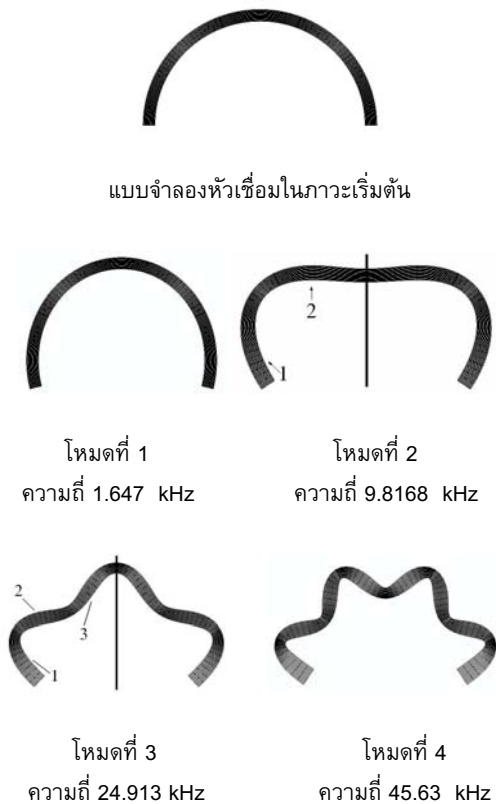
AMM023

ในการสร้างแบบจำลองจะสร้างในลักษณะ 2 มิติ โดยให้หัวเชื่อมมีความลึกสม่ำเสมอเท่ากับ 3 mm และจำลองให้มีขนาดของรัศมีเฉลี่ยต่อความหนา (r/d) เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง 350.50

ในการศึกษาที่ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทาง Finite element analysis (FEA) ชื่อ ABAQUS โดยเลือกใช้ Shell Element แบบ S4R5 เนื่องจากแบบจำลองหัวเชื่อมไม่มีความซับซ้อน และใช้เวลาในการคำนวณเพียงสั้นๆ ซึ่งการเลือก Shell element แบบนี้จะให้คำตอบที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับ Element แบบอื่นๆ ได้สั่งให้โปรแกรมคำนวณและแสดงผลโหมดของการสั่นที่ความถี่ธรรมชาติต่างๆ จำนวน 50 ค่า จากนั้นพิจารณาความถี่ของการสั่นที่ โหมด 1-6 เท่านั้น เนื่องจากการสั่นในโหมดที่สูงกว่านี้จะยากต่อการแยกแยะ ในลักษณะการสั่นของหัวเชื่อมนั้นจะเป็นการสั่นในแนวรัศมีเพียงอย่างเดียวดังลักษณะการสั่นของรูปที่ 4 และไม่มีการสั่นแนวแกน

4. ผลการศึกษา

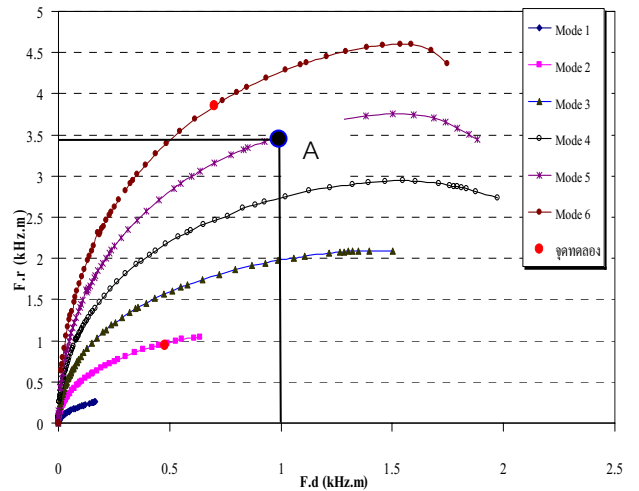
การระบุโหมดการสั่นของหัวเชื่อมนั้นทำได้โดย การแบ่งหัวเชื่อมเป็น 2 ส่วน ตามแนวเส้นดังรูปที่ 4 แล้วนับจำนวนขาของรูปการสั่นเพียงด้านใดด้านหนึ่ง ดังตัวอย่างการนับในรูปที่ 4 โหมดที่ 2 และ 3 เป็นต้น



โหมดที่ 5 ความถี่ 70.988 kHz

โหมดที่ 6 ความถี่ 100.175 kHz

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



รูปที่ 5 กราฟช่วยออกแบบหัวเชื่อมมัลติรัศมีแบบครึ่งวงกลม จากการพิจารณาโหมด และความถี่ของการสั่นในโหมดนั้นๆ แล้วนำค่าความถี่ (F) ที่ได้มาคูณกับรัศมีเฉลี่ย (r) และความถี่ (F) คูณกับความหนา (d) นำมาเขียนกราฟ จะได้กราฟช่วยออกแบบดังแสดงในรูปที่ 5 โดยผลการศึกษาที่ได้เทียบเคียงกับผลการทดสอบหาค่าความถี่และโหมดการสั่นของชิ้นงานจริงบางจุด ซึ่งให้ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก การทดลองนี้ดำเนินการที่ Department of Electronics and Systems Faculty of Engineering Takushoku University, Hachioji – Shi, Tokyo Japan.

จากกราฟจะเห็นว่าความสัมพันธ์ของ $F \times r$ และ $F \times d$ นั้นมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยเส้นกราฟในโหมดสูงๆ จะอยู่เหนือเส้นกราฟในโหมดที่ต่ำกว่าเสมอ ส่วนการนำกราฟไปใช้งานจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

5. ตัวอย่างการนำกราฟช่วยออกแบบไปใช้งาน

หัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการนำกราฟช่วยออกแบบไปใช้เลือกหัวเชื่อมมัลติรัศมีแบบครึ่งวงกลมดังนี้

สมมุติว่าต้องการเชื่อมต่อพลาสติกขนาดรัศมีภายนอกเท่ากับ 30 mm ดังนั้น หัวเชื่อมที่ต้องการจะต้องมีขนาด $r_i = 30 \text{ mm}$ และต้องการใช้โหมดที่ 5 ในการเชื่อม เพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่สนิท ดังนั้น เราอาจจะเลือกจุด A ในรูปที่ 3 เป็นจุดออกแบบได้ ดังนี้

ที่จุด A

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

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

จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2 เมื่อแทนค่า $r_i = 30$ mm จะได้ $r_o = 40.588$ mm และ ดังนั้นหัวเชื่อมที่สามารถใช้งานได้มีขนาด คือ $r_i = 30$ mm และมีขนาดความหนา $d = r_o - r_i = 10.588$ mm ใช้งานกับความถี่ $F = 99.166$ kHz จะได้รูปแบบการสันโหมดที่ 5 สำหรับขนาดหัวเชื่อมนี้ๆตามต้องการ

เมื่อได้ขนาดของหัวเชื่อมแล้วเราสามารถที่จะตรวจสอบการสันของหัวเชื่อมที่มีความถี่นั้นๆ ว่าหัวเชื่อมสันในโหมดที่เราต้องการหรือไม่ ในที่นี้เราวัดโดยการฉีดยางของเหลวใส่หัวเชื่อม เมื่อหัวเชื่อมที่สันที่มีความถี่นั้นๆและสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของของเหลวแล้วนับจุดการสันตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4 หรือหากมีความชำนาญก็สามารถที่จะใช้มือสัมผัสจุดการสันได้เช่นกัน

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ได้นำเสนอกราฟช่วยในการออกแบบหัวเชื่อมโดยใช้อุลตราโซนิคแบบหัวเชื่อมครึ่งวงกลม โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fr และ Fd ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบหัวเชื่อมโดยใช้อุลตราโซนิค โดยกราฟที่นำเสนอสามารถใช้ได้กับหัวเชื่อมที่มีขนาด r/d ไม่เกิน 350.50 และเลือกโหมดการสันได้ตั้งแต่โหมดที่ 1- 6 นอกจากนี้ยังแสดงตัวอย่างการนำไปใช้งานอีกด้วย

7. 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]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.
- [10] 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.
- [11]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.
- [12] 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