

การตรวจสอบความสมบูรณ์ของการเชื่อมความต้านทานชนิดจุด แบบไฟฟ้ากระแสสลับด้วยอะคูสติกอิมิชชัน Alternating Current Resistance Spot Welding Inspection by using Acoustic Emission

ประจักษ์ อ่างบุญตา^{1*} อาษา ประทีปเสน²

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด กรุงเทพฯ 10140

*E-mail: a_prajak@hotmail.com

Prajak Angboonta^{1*} Asa Prateepasen²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani, 12110

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140

*E-mail: a_prajak@hotmail.com

บทคัดย่อ

การเชื่อมแบบความต้านทานชนิดจุด เหมาะกับการเชื่อมโลหะแผ่นบาง การเชื่อมอาศัยหลักการ การต้านทานการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าที่ขึ้นงาน ทำให้เกิดความร้อนจนหลอมละลายติดกัน ภายใต้แรงกดของอิเล็กโทรด งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตรวจสอบความสมบูรณ์ของการเชื่อมแบบความต้านทานชนิดจุด ด้วยวิธีอะคูสติกอิมิชชัน โดยศึกษากับเหล็กเหนียวที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ใช้เครื่องเชื่อมชนิดใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ อิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ใช้หัวตรวจสอบอะคูสติกรุ่น WD เพื่อทำการตรวจจับสัญญาณขณะทำการเชื่อม โดยสัญญาณที่ตรวจจับได้ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเทคนิคเวฟเลทแล้ว หลังจากนั้นนำมาหาค่าตัวแปรทางอะคูสติกอิมิชชัน ซึ่งได้แก่ ค่าของพลังงานเฉลี่ย (AE-RMS) ค่าของเค้านท์ (Count) และค่าของแอมพลิจูด (Amplitude) เพื่อหาจุดตัดสินใจที่ทำการเชื่อมแล้วชิ้นงานมีความสมบูรณ์ จากผลการทดลองพบว่าตัวแปรทางอะคูสติกอิมิชชัน ในส่วนของค่าพลังงานเฉลี่ยในโดเมนเวลาสามารถนำมากำหนดช่วงของการเชื่อม เพื่อใช้บ่งชี้คุณภาพของการเชื่อมได้ โดยเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงดึงเฉือน และขนาดของนั๊กเกต ทำให้สามารถแยกชิ้นงานเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ออกได้ในขณะที่ทำการเชื่อม

คำสำคัญ : การเชื่อมแบบความต้านทานชนิดจุด, อะคูสติกอิมิชชัน, นั๊กเกต

Abstract

The resistance spot welding is suitable for sheet metal works. The welding process performs by using electric current run through workpieces which are melted due to the resistance property of the workpiece material. The melted workpieces are pressed by force through the electrodes. This research aims to study the quality of resistance spot welding by using Acoustic Emission (AE) technique. The study is carried out by using sheet metal steel of 1 mm in thickness and AC spot welding machine which has 6 mm of diameter of the electrode tips. A wide band AE sensor (WD sensor) is used to collect the AE signals during the welding operation. The collected AE signals are eliminated noise by using Wavelet technique. After that the signals are analyzed to find the AE parameters such as AE-RMS, counts and amplitude. These AE parameters are correlated to the quality of the welding joints. The results of this research showed that AE parameters in time domain can be correlated to the quality of the welding joints. The quality of welding joints is classified by comparing to the shear strength and nugget size.

Keywords: Resistance Spot Welding, Acoustic Emission, Nugget

1. บทนำ

การวัดค่าความสมบูรณ์ ของการเชื่อมแบบความต้านทานชนิดจุด แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การตรวจสอบแบบทำลาย ได้แก่ การทดสอบแรงดึงเฉือน (Shear Test) การทดสอบแรงดึง (Tension Test) การทดสอบแบบความล้า (Fatigue Test) การทดสอบทางโลหะวิทยา (Macro Test) การทดสอบด้วยสิ่ว (Chisel Test) การทดสอบแบบลอก (Peel Test) และการทดสอบแบบบิด (Twist Test) [1] รวมทั้งใช้การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งได้แก่ การตรวจพินิจ (Visual Inspection) การตรวจสอบด้วยอัลตราโซนิก (Ultrasonic Test) และการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอิมิชชัน (Acoustic Emission) การตรวจสอบแบบไม่ทำลายมีข้อดีคือ ถ้าชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบแล้วไม่มีสิ่งบกพร่องสามารถที่จะนำชิ้นงานไปใช้งานได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมา Jou [2] ได้ศึกษาการตรวจเผื่อระวังคุณภาพของการเชื่อมจุดแบบเวลาจริง โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ของการเปลี่ยนแปลง ที่เกิดจากเปอร์เซ็นต์ของความร้อนที่ใส่เข้าไป ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงและคุณภาพการเชื่อม เป็นการศึกษาวิจัยการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรดขณะเชื่อม ทำการเชื่อมเหล็กคาร์บอนที่มีความหนา 0.79 มิลลิเมตร โดยให้ความร้อนที่ 25-40% จากผลการทดลองสามารถใช้การเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรด มากำหนดช่วงความสมบูรณ์ของการเชื่อมได้ โดยเทียบกับขนาดของนักเกตที่เปอร์เซ็นต์การหลอมละลายเล็ก 0.6-0.7 เท่าของความหนาชิ้นงานรวมกัน และ ตรีพจน์ เกลียวสัมพันธ์ [3] ได้ศึกษาการตรวจสอบรอยเชื่อม ในกระบวนการเชื่อมแบบความต้านทานชนิดจุดด้วยอะคูสติกอิมิชชัน ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องเชื่อมชนิดไฟฟ้ากระแสตรง ใช้วัสดุชนิดเกิลเกรด 200 มีความหนา 0.125 มิลลิเมตร ใช้หัวตรวจสอบที่มีค่าความถี่ 150 กิโลเฮิรซ์ จากผลการทดลองพบว่าสามารถใช้ค่าตัวแปรทางอะคูสติก คือ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด ค่าของเค๊าท์และพลังงานเฉลี่ย กำหนดขอบเขตบน-ล่างของช่วงการเชื่อมที่สมบูรณ์ได้

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องเชื่อมชนิดกระแสสลับ และหาค่าตัวแปรทางอะคูสติกอิมิชชันที่มีความสัมพันธ์กันกับความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม เพื่อไปใช้ในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมแบบเวลาจริง (Real time) ต่อไป

2. การตรวจสอบด้วยอะคูสติกอิมิชชัน [4]

อะคูสติกอิมิชชันเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของวัสดุ เช่น การขยายตัวของรอยแตก และการเสียรูปถาวร เมื่อมีแรงกระทำกับชิ้นงานจนเกิดเป็นคลื่น คลื่นที่เกิดขึ้นจะขยายเป็นวงกว้างออกสู่ผิวงาน และไปกระตุ้นตัวรับสัญญาณที่เรียกว่าเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า สัญญาณที่ตรวจจับได้จะถูกขยายให้สูงขึ้นและกรองเอาสัญญาณที่ต้องการ และนำไปสู่การวัดและแปรผลต่อไป รูปที่ 1 แสดงพื้นฐานการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอิมิชชัน ส่วนค่าตัวแปรอะคูสติกที่นิยมใช้อยู่ทั่วไปได้แก่ เค๊าท์พลังงาน และแอมพลิจูด เป็นต้น ตัวแปรทางอะคูสติกแสดงในรูปที่ 2

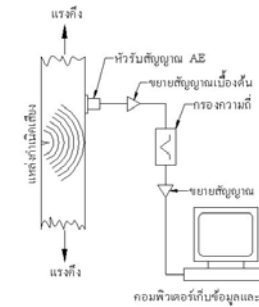
2.1 เค๊าท์

เป็นจำนวนครั้งของอะคูสติกอิมิชชันที่เกิดขึ้น ที่มีค่าสูงกว่าขีดกำหนด (Threshold) จำนวนครั้งของเค๊าท์ที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับความถี่ของ

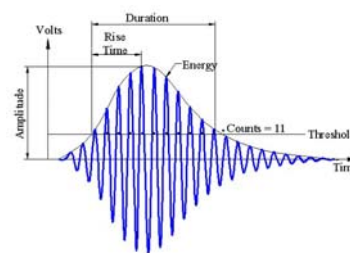
หัวตรวจสอบ ลักษณะการแต้มีพ์ของหัวตรวจสอบ และลักษณะการแต้มีพ์ของโครงสร้าง เค๊าท์หาได้จากสมการ

$$N = \frac{\omega}{2\pi B} \ln \frac{V_o}{V_i} \quad (1)$$

โดยที่ N คือจำนวนเค๊าท์ ω คือค่าความถี่เชิงมุม B คือค่าลดลงที่คงที่ (มากกว่า 0) V_o คือสัญญาณแอมพลิจูดตัวแรก และ V_i คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขีดกำหนดของเค๊าท์



รูปที่ 1 พื้นฐานของการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอิมิชชัน



รูปที่ 2 แสดงตัวแปรทางอะคูสติก

2.2 พลังงาน (Acoustic Emission Event Energy)

เป็นพลังงานที่เกิดจากการปลดปล่อยออกมาชั่วขณะ ของวัสดุ พลังงานของอะคูสติกอิมิชชันที่ได้จากสัญญาณ มีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ปลดปล่อยออกมา หาได้จากสัดส่วนโดยตรงของพื้นที่ใต้สัญญาณอะคูสติกอิมิชชัน ดังสมการ

$$U = \frac{1}{R} \int_0^{\alpha} v^2(t) dt \quad (2)$$

โดยที่ U คือค่าพลังงานทางไฟฟ้า R คือค่าความต้านทานกระแสในวงจร และ V คือค่าแรงดันไฟฟ้า

2.3 แอมพลิจูด

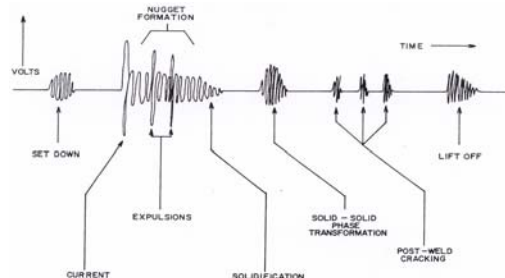
แอมพลิจูดสูงสุดมีความเกี่ยวข้องกับ ค่าความหนาแน่นของแหล่งกำเนิดพลังงานอะคูสติกอิมิชชัน การแพร่ของแอมพลิจูดมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของวัสดุที่ทำให้เกิดการเสียรูป การหาค่าแอมพลิจูดสูงสุดหาได้จากสมการ

$$N = \frac{pf\tau}{b} \quad (3)$$

โดยที่ N คือเค๊าท์ที่เพิ่มขึ้น P คือโอเวอร์ที่เพิ่มขึ้น F คือความถี่เรโซแนนซ์ของหัวตรวจสอบ τ คือเวลาในช่วงของโอเวอร์ และ b คือแอมพลิจูดพารามิเตอร์ที่ลดลง

2.4 สัญญาณอะคูสติกอิมิซันที่เกิดขึ้นจากการเชื่อม [5][6]

ในขั้นตอนของการเชื่อมแบบความต้านทานชนิดจุด จะทำให้เกิดสัญญาณขึ้น ซึ่งเกิดจากอิเล็กโทรดตัวบนเคลื่อนที่ลงมา กดชิ้นงานปล่อยกระแสเชื่อม กดอัด กดค้างไว้ และการปลดชิ้นงาน สัญญาณที่เกิดขึ้นมีขนาดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุหรือความหนา



รูปที่ 3 สัญญาณอะคูสติกอิมิซันในระหว่างการเชื่อม

จากรูปที่ 3 พบว่าสัญญาณที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อม มีค่าแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน สัญญาณที่เกิดจากการจ่ายกระแสเริ่มต้นและการเกิดประกายไฟจะมีค่าแอมพลิจูดสูงกว่าสัญญาณอื่น ในการวิเคราะห์สัญญาณเพื่อใช้บ่งชี้คุณภาพของการเชื่อม จะทำการเลือกเอาสัญญาณในช่วงที่เกี่ยวข้องกับการหลอมละลายติดกันของชิ้นงาน มาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับความแข็งแรงรอยเชื่อม

2.5 อะคูสติกอิมิซันในระหว่างการเกิดน้ำก่

ชิ้นงานที่อยู่ภายใต้แรงกดของอิเล็กโทรด ได้รับความร้อนทำให้เกิดการเสียรูปแบบพลาสติกจะเกิดสัญญาณอะคูสติกขึ้น แต่ไม่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการเชื่อม เมื่อความร้อนสูงจนเกิดการหลอมเหลวและเกิดเป็นน้ำก่ ในขณะที่เกิดน้ำก่และเกิดการขยายตัวของชิ้นงาน จะเกิดสัญญาณอะคูสติกขึ้น ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของรอยเชื่อม โดยการเลือกใช้ค่าแอมพลิจูด พลังงานเฉลี่ย หรือค่าที่ในระหว่างทำการวัดสัญญาณที่เกิดขึ้น เทียบกับความแข็งแรงหรือขนาดน้ำก่ สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการยอมรับคุณภาพการเชื่อมได้

2.6 อะคูสติกอิมิซันจากประกายไฟ

ประกายไฟ (Expulsion) เกิดขึ้นหลังจากการเชื่อมเกิดขึ้นแล้ว ถ้าสภาพการเชื่อมที่ไม่ดี หรือเชื่อมชิ้นงานความหนาที่แตกต่างกันภายใต้พารามิเตอร์การเชื่อมเดิม การเกิดประกายไฟเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการเนื่องจากจะนำเอาโลหะหลอมเหลวออกจากพื้นที่ของน้ำก่ ทำให้ความแข็งแรงรอยเชื่อมลดลง ขณะที่เกิดการเป่าประกายไฟจะเกิดสัญญาณขึ้น และมีค่าแอมพลิจูดสูง อาจจะใช้ระบบอัตโนมัติเพื่อเก็บสัญญาณต่ำสุดที่เกิดจากประกายไฟ เพื่อสร้างเป็นข้อมูลป้อนกลับไปควบคุมกระบวนการเชื่อม ความแข็งแรงของการเชื่อมที่เหมาะสมที่วัดได้จากการเกิดประกายไฟ พิจารณาจากการยอมรับจากค่าสูงสุดของระดับอะคูสติกที่เกิดขึ้น เพื่อใช้แยกแยะชิ้นงานเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์

2.7 การกำจัดสัญญาณรบกวน [7]

เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่ไม่ต้องการออก ด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเลท (Wavelet Transform) ซึ่งเป็นคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ลักษณะของสัญญาณ สามารถวิเคราะห์สัญญาณได้เฉพาะช่วงเวลาและช่วงความถี่ที่สนใจได้ ลักษณะของ

เวฟเลทจะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้าน เวฟเลทประเภทนี้เรียกว่า Daubechies 20



รูปที่ 4 ลักษณะของเวฟเลทแม่ชนิด Daubechies 20

3. การดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุการทดลอง

เลือกใช้วัสดุเหล็กเหนียวที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ตัดชิ้นงานมีขนาดความกว้าง 30 มิลลิเมตร และความยาว 100 มิลลิเมตร รอยต่อเป็นแบบตอเกย มีระยะเกยเท่ากับ 30 มิลลิเมตร

3.2 เครื่องเชื่อม

เลือกใช้เครื่องเชื่อมแบบใช้กับกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ กดชิ้นงานด้วยระบบนิวแมติก ใช้ปลายอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร วัฏจักรการเชื่อมเริ่มตั้งแต่เวลากดชิ้นงาน 45 ไซเคิล เวลาเชื่อม 8 ไซเคิล และเวลากดค้างไว้ 50 ไซเคิล ทำการเชื่อมเริ่มต้นที่กระแสเชื่อม 6,000 - 13,000 แอมแปร์



รูปที่ 5 เครื่องเชื่อมจุดชนิดกระแสสลับ

3.3 การติดตั้งหัวตรวจสอบ

ในการทดลองเลือกใช้หัวตรวจสอบชนิดตอบสนองย่านความถี่กว้าง (WD Sensor) ติดตั้งที่แท่งอิเล็กโทรดตัวล่างเนื่องจากว่าไม่มีการเคลื่อนที่ ห่างจากปลายอิเล็กโทรดประมาณ 50 มิลลิเมตร ในการติดตั้งใช้สารช่วยสัมผัสเพื่อให้สัญญาณผ่านได้สะดวก



รูปที่ 6 การติดตั้งหัวตรวจสอบที่แท่งอิเล็กโทรด

3.4 ชุดเก็บสัญญาณ

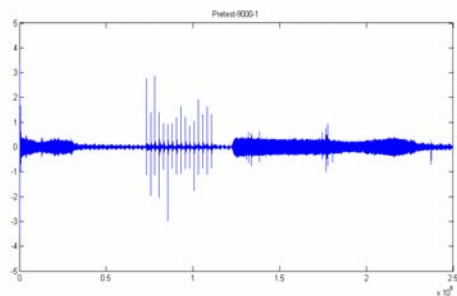
สัญญาณที่ตรวจจับได้จากหัวตรวจสอบ จะถูกขยายสัญญาณให้สูงขึ้นในเบื้องต้น โดยอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น (pre-amplifier) ขนาด 40 dB ซึ่งมีอุปกรณ์กรองสัญญาณในช่วง 100 - 1,000 KHz ออก สัญญาณจะถูกส่งไปที่อุปกรณ์รับสัญญาณ (Data acquisition) ซึ่งมีอัตราการสุ่ม (Sampling rate) 5 MHz หลังจากนั้นบันทึกผลและประมวลผลด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อหาตัวแปรอะคูสติกที่สัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของการเชื่อม



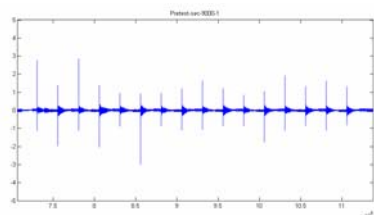
รูปที่ 7 ชุดเก็บสัญญาณ

4. ผลการทดลอง

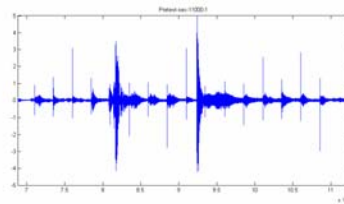
จากสัญญาณดิบ (Raw data) ในทางโดเมนเวลา ดังแสดงในรูปที่ 8 ได้ทำการศึกษาลักษณะของสัญญาณ และได้เลือกเฉพาะสัญญาณในช่วงที่เกิดจากการจ่ายกระแสไฟลงไปในชิ้นงาน เพื่อให้เกิดการหลอมละลายและแข็งตัวทำให้เกิดน้ำเกาะ ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งเป็นสัญญาณอะคูสติกโดยทั่วไปที่มีจุดสูงสุดอยู่จำนวน 16 ครั้ง เปรียบเทียบได้กับจำนวนรอบของไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้ชิ้นงาน ในขณะที่เชื่อมซึ่งเท่ากับจำนวน 8 รอบ (Cycle) และในกรณีที่เกิดประกายไฟ สัญญาณอะคูสติกจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 10 เมื่อสามารถแยกเอาเฉพาะช่วงของสัญญาณที่ทำให้เกิดน้ำเกาะได้แล้ว หลังจากนั้นนำไปหาค่าพารามิเตอร์อะคูสติกอิมพัลส์ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าความสมบูรณ์ของการเชื่อม



รูปที่ 8 สัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ในโดเมนเวลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการเชื่อมในเบื้องต้น



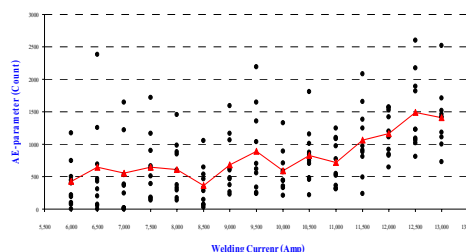
รูปที่ 9 สัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ในโดเมนเวลาเฉพาะช่วงของการจ่ายกระแสเชื่อมในเบื้องต้น



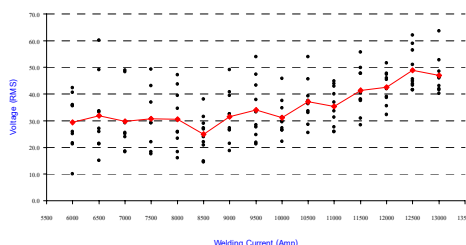
รูปที่ 10 สัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ในโดเมนเวลาเฉพาะช่วงของการจ่ายกระแสเชื่อมและเกิดประกายไฟในเบื้องต้น

4.1 ผลของพารามิเตอร์อะคูสติกอิมพัลส์ในโดเมนเวลา

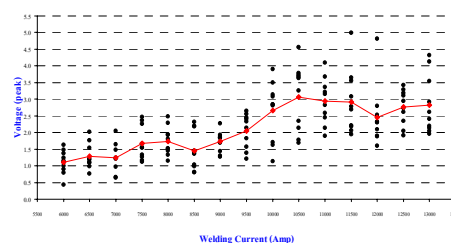
ผลการทดลองในขั้นต้นนำเอาค่าของพารามิเตอร์อะคูสติกอิมพัลส์ที่ได้เทียบกับกระแสไฟที่ใช้เชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 11, 12 และ 13 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวมาก ลักษณะของแนวโน้มไม่เป็นเส้นตรง ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้เพื่อแบ่งแยกการเชื่อมที่สมบูรณ์ได้ เนื่องจากว่าสัญญาณที่นำมาหาพารามิเตอร์ ยังมีสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วย จำเป็นต้องทำการกำจัดออกไปก่อนทำการวิเคราะห์



รูปที่ 11 ค่าของค่าที่กระแสเชื่อมต่างๆ



รูปที่ 12 ค่าของพลังงานเฉลี่ยที่กระแสเชื่อมต่างๆ

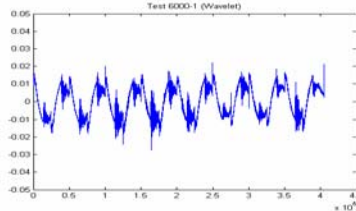


รูปที่ 13 ค่าของแอมพลิจูดสูงสุดที่กระแสเชื่อมต่างๆ

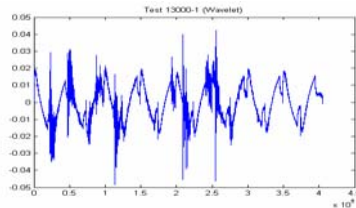
4.2 การกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเทคนิคเวฟเลต

นำเอาสัญญาณเฉพาะช่วงของการเชื่อมดังรูปที่ 9 และ 10 ไปผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้ Wavelet 1-D เลือกตระกูล

Daubechies (db) และนำสัญญาณที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนไปหาค่าพารามิเตอร์ทางอะคูสติกอีกมีชันอีกครั้งหนึ่ง



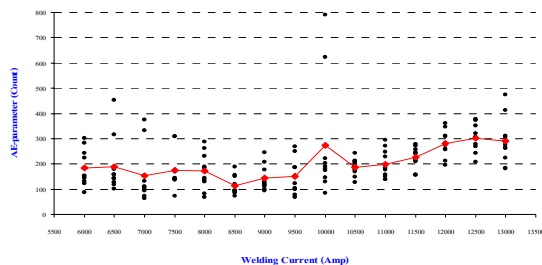
รูปที่ 14 สัญญาณอะคูสติกอีกมีชันในโดเมนเวลา ที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเวฟเลต



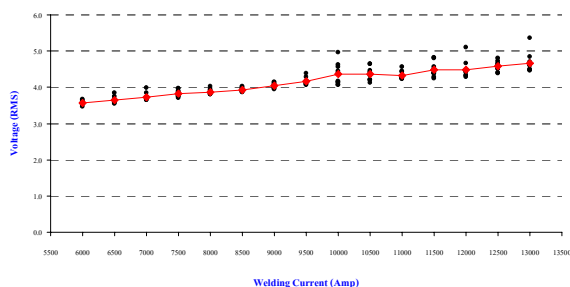
รูปที่ 15 สัญญาณอะคูสติกอีกมีชันในโดเมนเวลา และเกิดประกายไฟที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเวฟเลต

4.3 ผลของพารามิเตอร์อะคูสติกอีกมีชันที่ผ่านเทคนิคเวฟเลต

ทำการเปรียบเทียบผลของพารามิเตอร์อะคูสติกอีกมีชัน ที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเทคนิคเวฟเลตกับกระแสเชื่อม

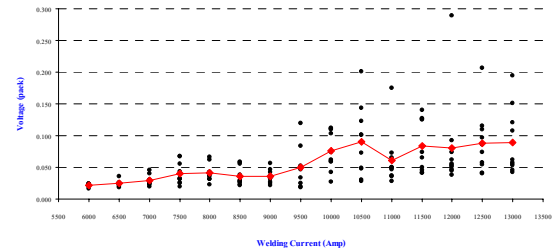


รูปที่ 16 ค่าของเค้าท์ที่กระแสเชื่อมต่างๆ



รูปที่ 17 ค่าของพลังงานเฉลี่ยที่กระแสเชื่อมต่างๆ

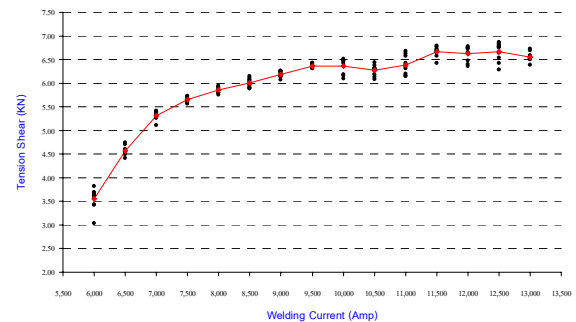
จากรูปที่ 17 พบว่าค่าพลังงานมีความสัมพันธ์ในลักษณะเป็นเส้นตรงกับค่ากระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้น และมีการกระจายตัวน้อย สามารถที่จะนำไปหาความสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของการเชื่อมได้



รูปที่ 18 ค่าของแอมพลิจูดสูงสุดที่กระแสเชื่อมต่างๆ

4.4 ผลของค่าแรงดึงเฉือน

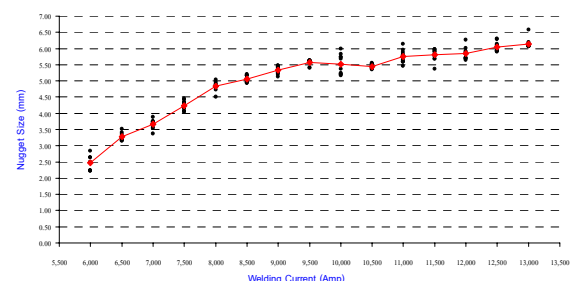
นำเอาชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมที่กระแสต่างๆ ไปทำการทดสอบหาค่าแรงดึงเฉือน โดยการดึงเฉือนที่อัตราคงที่ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของการเชื่อม ลักษณะการขาดของชิ้นงานพบว่าที่กระแสเชื่อมต่ำการขาดจะตัดผ่านรอยเชื่อม และที่กระแสเชื่อมสูงขึ้นไปการขาดจะเกิดรอบๆ บริเวณรอยเชื่อม



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมกับแรงดึงเฉือน

4.5 ผลของขนาดนั้กเกิด

นำชิ้นงานเชื่อมที่กระแสเชื่อมต่างๆ ไปหาขนาดของนั้กเกิด โดยการตัดให้ใกล้กับแนวศูนย์กลางรอยเชื่อม นำไปขัดด้วยกระดาษทรายจากหยาบจนถึงละเอียดและทำการขัดให้ผิวมันในขั้นสุดท้าย แล้วทำการกัดกรดเพื่อดูโครงสร้างมหภาค และทำการวัดขนาดของนั้กเกิดเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการบ่งบอกความสมบูรณ์ของการเชื่อม



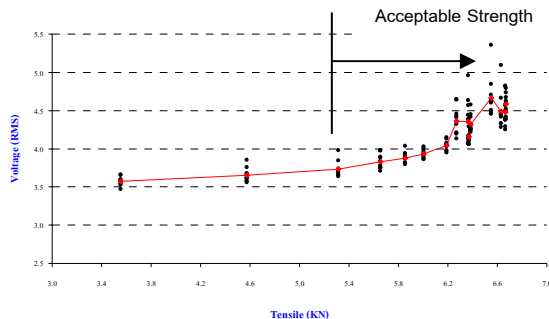
รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมกับขนาดนั้กเกิด

4.6 การวิเคราะห์ความสมบูรณ์กับพารามิเตอร์อะคูสติก

ในการวิเคราะห์ ความสมบูรณ์ของการเชื่อมแบบความต้านทานชนิดจุด ได้เลือกใช้ค่าแรงดึงเฉือนและขนาดของนั้กเกิดเป็นเกณฑ์ใน

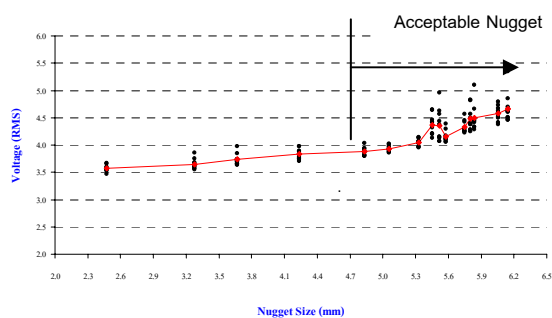
การแบ่งแยกชิ้นงานที่เชื่อมแล้วมีค่าแรงดึงเหนือและขนาดนักเกิดอยู่ในเกณฑ์หรือเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด

ในการทดลองได้ศึกษาเกณฑ์ และมาตรฐานในการยอมรับสำหรับวัสดุเหล็กเหนียวที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร และเลือกใช้ค่าแรงดึงเหนือเฉลี่ยที่ 4.9 กิโลนิวตัน เป็นค่าต่ำสุดในการยอมรับ [3]



รูปที่ 21 ค่าพลังงานเฉลี่ยในโดเมนเวลาเทียบกับแรงดึงเหนือ

การยอมรับค่าของนักเกิดก็เช่นเดียวกันกับค่าแรงดึงเหนือ โดยศึกษาเกณฑ์และมาตรฐานในการยอมรับ และเลือกใช้ค่าขนาดนักเกิดเฉลี่ยที่ 4.83 มิลลิเมตร เป็นค่าต่ำสุดในการยอมรับ



รูปที่ 22 ค่าพลังงานเฉลี่ยในโดเมนเวลาเทียบกับนักเกิด

จากผลการทดลอง เมื่อนำเอาสัญญาณเฉพาะช่วงของการเชื่อมทำให้เกิดนักเกิดไปผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวน ด้วยเทคนิคเวฟเลท แล้วนำมาหาค่าพารามิเตอร์ทางอะคูสติกอิมพัลส์ พบว่าในส่วนของค่าพลังงานเฉลี่ยในโดเมนเวลาจะมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.88 มิลลิโวลต์ขึ้นไป ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความแข็งแรงดึงเหนือเกินกว่า 4.9 กิโลนิวตัน และมีขนาดของนักเกิดเกินกว่า 4.83 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำสุดของการยอมรับ และที่ค่าพลังงานเฉลี่ยเกินกว่า 4.57 มิลลิโวลต์เป็นจุดที่เกิดประกายไฟ จากผลการทดลองที่ได้ถ้าใช้ค่าพลังงานเฉลี่ยเป็นจุดตัดสินใจ เพื่อแยกแยะความสมบูรณ์ของการเชื่อม เช่น ที่พลังงานเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.88 - 4.57 มิลลิโวลต์ แสดงถึงการเชื่อมที่สมบูรณ์ พบว่ามีความถูกต้องของการแยกแยะ 92% ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95%

5. สรุป

จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์สามารถใช้เป็นวิธีตรวจสอบ ความสมบูรณ์ของการเชื่อมแบบความต้านทานชนิดจุด แบบเวลาจริงได้ โดยใช้ค่าพลังงานเฉลี่ยซึ่งจะให้ผลความถูกต้อง 92% และถ้านำไปพัฒนาต่อ โดยนำสัญญาณอะคูสติกอิมพัลส์ป้อนเข้ากับระบบควบคุมกระแสไฟของเครื่องเชื่อมก็จะใช้เป็นระบบอัตโนมัติ ในการควบคุมความสมบูรณ์ของการเชื่อมได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายเชิดพงษ์ จอมเดช สำหรับความช่วยเหลือ และคำแนะนำด้านการเตรียมการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Japanese Standards Association, 2002, **JIS Welding Handbook**, Japan, pp 786-845
- [2] Jou, M., 2002, "Real Time Monitoring Weld Quality of Resistance Spot Welding for the Fabrication of Sheet Metal Assemblies", **Journal of Materials Processing Technology**, [Online], Available : <http://www.elsevier.com/locate/jmatprotec> [2004, February 26].
- [3] ดริฟท์น์ เกลิยวสัมพันธ์, 2546, การตรวจสอบรอยเชื่อมในกระบวนการเชื่อมแบบความต้านทานชนิดจุดด้วยอะคูสติกอิมพัลส์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการเชื่อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 48-93.
- [4] Pollock, A.A., 1996, "Acoustic Emission Inspection", **Nondestructive Evaluation and Quality Control**, Vol. 17, 4th ed., ASM International. pp. 278-286.
- [5] McIntire, p. and Miller, R. k., 1991, "Resistance Spot Weld Testing", **Nondestructive testing Handbook**, 2nd ed., Vol. 5, American Society for Nondestructive Testing, pp. 276-284.
- [6] American Society for Testing and Materials, 1997, "Standard Practice for Acoustic Emission Monitoring During Resistance Spot Welding", **Annual Book of ASTM Standards**, Vol. 03.03, pp. 348-353.
- [7] มนัส สังวรศิลป์ และวรรธน์ ภัทรอมรกุล, 2543, คู่มือการใช้งาน **MATLAB**, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ อินโฟเพรส, หน้า 307-326.