



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>**การศึกษาคุณสมบัติรอยเชื่อมเหล็กกล้า AISI 4140 และ เหล็กเบอร์ AISI 1040 ที่เชื่อมด้วยวิธีเสียดทาน****The study on the properties of AISI 4140 and AISI 1040 steel rods welded by friction welding**ธานี ทูมประเสน^{*1)} ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์¹⁾ และ สุของค์ณา แดงกัณฐ์²⁾Thanee Toomprasen,^{*1)} Chawalit Thinvongpituk¹⁾ and Sukangkana Talangkun²⁾¹⁾ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Thailand, 34190.

²⁾ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand, 40002.

Received May 2013

Accepted November 2013

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของรอยเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI 4140 และเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1040 ที่เชื่อมด้วยวิธีเสียดทาน โดยจะเน้นศึกษาที่คุณสมบัติทางกลของรอยเชื่อมเป็นหลัก การศึกษาวิจัยนี้ดำเนินการโดยการนำเหล็กกลมชนิดเหล็กกล้าผสมต่ำ (AISI 4140) และเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (AISI 1040) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 mm. ยาวขึ้นละ 100 mm. มาทำการทดลองเชื่อมด้วยความเสียดทานภายใต้เงื่อนไขการเชื่อมคือ แรงดันในการเสียดทาน (Friction Pressure) ที่ 183 MPa เวลาในการเสียดทาน (Friction Time) ที่ 12 sec แรงดันในการเชื่อม (Upset Pressure) ที่ 428 MPa เวลาในการเชื่อม (Upset Time) ที่ 7 sec ความเร็วรอบในการหมุน (Rotational Speed) ที่ 1400 rpm จากนั้นนำชิ้นงานเชื่อมมาทำการตรวจสอบคุณสมบัติของรอยเชื่อม โดยตรวจสอบค่าความแข็ง และความแข็งแรง ผลที่ได้พบว่า ที่บริเวณรอยเชื่อมมีลักษณะของเกรนที่ละเอียดขึ้น อันเกิดมาจากแรงดันที่ใช้ในการอัดชิ้นงานให้ติดกัน ลักษณะเกรนที่ละเอียดขึ้นนี้ส่งผลให้รอยเชื่อมมีค่าความแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่าที่บริเวณรอยเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงของเฟส Ferrite และ Pearlite อันเป็นผลมาจากความร้อนในกระบวนการเชื่อมซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเฟสดังกล่าวส่งผลให้ชิ้นงานเชื่อมในส่วนของ AISI 4140 มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นในบริเวณใกล้รอยเชื่อม และค่อยๆลดลงที่ระยะห่างออกมา ในส่วนของ AISI 1040 พบว่ามีปริมาณของ Ferrite และ Pearlite ใกล้เคียงกัน ค่าความแข็งจึงเกือบคงที่

คำสำคัญ : การเชื่อมเสียดทาน เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เหล็กกล้าผสมต่ำ ความแข็งแรงของรอยเชื่อม**Abstract**

This paper is aimed to investigate the properties of joint between AISI 4140 and AISI 1040 welded by friction welding. The specimens were prepared in round shape of 13 mm diameter and 100 mm long. They were

^{*}Corresponding author. Tel.: 089-7705690; fax: 042-511484

Email address: thaneett@hotmail.com

welded by friction welding method under the following conditions; friction pressure of 183 MPa, friction time of 12 sec, upset pressure of 428 MPa, upset time of 7 sec. and rotational speed of 1400 rpm. The strength and hardness were tested on the welded area. The result showed finer grains. in the welded area. This is the result of friction pressure and upset pressure in the welding process. In addition, the observation result indicated some changes of Ferrite and Pearlite in welded zone. This phase change resulted in the increment of hardness in AISI 4140 at the contact area and adjacent. In part of AISI 1040, the portion of Pearlite and Ferrite are not significantly changed, therefore the value of hardness is almost constant.

Keywords : Friction welding, Medium carbon steel, Low alloy steel, Strength of joint

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีการเชื่อมด้วยความเสียดทานมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมอย่างหลากหลาย เนื่องจากการเชื่อมด้วยความเสียดทานสามารถเชื่อมชิ้นงานได้คุณภาพความแข็งแรงสูง การเชื่อมด้วยความเสียดทานมีข้อดีหลายประการเช่น ใช้เวลาในการเชื่อมสั้น ไม่จำเป็นต้องใช้ช่างฝีมือ ชิ้นงานที่เชื่อมมีการผสมผสานทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัดของแนวเชื่อม สามารถเชื่อมวัสดุต่างชนิดกันได้ ด้วยข้อได้เปรียบดังกล่าว จึงมีผู้ศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมด้วยความเสียดทานอย่างมากมาย โดยพบว่าเทคนิคการเชื่อมด้วยความเสียดทานนั้นสามารถใช้เชื่อมวัสดุต่างชนิดกันได้ค่อนข้างดี ประกอบกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรมมีมากขึ้น เช่นในภาคอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้น จึงมีผู้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเชื่อมด้วยวัสดุต่างชนิดกัน ได้แก่ Tomoyuki Uwada และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติรอยเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าโครงสร้างโครเมียม 9Cr กับ Oxide-Dispersion Strengthened-Steel (ODS) ที่เชื่อมต่อกับวัสดุที่มีเกรน Ferritic-Martensitic-Steel (PNC-FMS) ด้วยวิธีการเชื่อมด้วยความเสียดทาน ซึ่งศึกษาผลของเกรนที่เกิดขึ้นในบริเวณแนวเชื่อมต่อและพบว่าค่าความแข็งแรงและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ในการทดลองได้กำหนดช่วงเวลาการเย็นตัวของชิ้นงานเชื่อมมาเป็นตัวแปรด้วย นอกจากนี้ S.D. Meshram และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาศักยภาพการเชื่อมด้วยความเสียดทานกับวัสดุต่างชนิดกัน โดยทำการเชื่อมต่อเหล็ก (Fe) กับ ไทเทเนียม (Ti), ทองแดง (Cu) กับ ไทเทเนียม (Ti), เหล็ก (Fe) กับ ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe) กับ นิกเกิล (Ni) และทองแดง (Cu) กับ นิกเกิล (Ni) ซึ่งผลที่ได้จากการเชื่อมเมื่อนำมาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคพบว่าค่าความแข็งแรงและความแข็งแรงที่ได้ขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุและที่รอยเชื่อมของโครงสร้างมีการสร้างพันธะ

ใหม่ Ahmet Z. Sahin และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการเชื่อมด้วยความเสียดทานที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมของทองแดงและเหล็กกล้า โดยใช้ทองแดงในทางการค้า 98% H21 (DIN-30 W Cr V93) และเหล็กกล้า AISI1015 (DIN-1141) ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในหน้าผิวสัมผัสในแนวรัศมีและการแพร่กระจายของอุณหภูมิ มีผลต่อคุณภาพของรอยเชื่อม Kunihiro Tsuchiya และคณะ [4] ทำการศึกษาคูณสมบัติทางกลของทองแดง ไครเมียมผสมเซอร์คอน (Zr) และข้อต่อสแตนเลสสตีล (SS316) ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมที่เชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมด้วยความเสียดทาน ผลการศึกษาพบว่าเงื่อนไขในการเชื่อมที่มีความเหมาะสมได้แก่ความเร็วรอบ 2,200 rpm ความดันเสียดทาน 353 MPa เวลาเชื่อม 2.0 sec และผลจากการทดสอบแรงดึง มีข้อผิดพลาด 3% Sare Celik และคณะ [5] ยังได้ทำการศึกษาคูณสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเสียดทาน ระหว่าง AISI 4140 และ AISI 1050 ผลจากการศึกษาพบว่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมมีค่าสูงกว่าความแข็งแรงของเหล็กเดิม โดยค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นจะแตกต่างกันตามเงื่อนไขในการเชื่อม และยังพบอีกว่าการเพิ่มอุณหภูมิในครั้งแรกจะใช้เวลารวดเร็วที่โซนเชื่อมเงื่อนไขการเชื่อมที่เหมาะสม คือความเร็วรอบ 3,000 rpm ความดันเชื่อม 81 MPa เวลาเชื่อม 6 Sec M. Sahin และคณะ [6] มีการศึกษาตัวแปรเพียงบางตัวโดยไม่คำนึงถึงอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ เช่น การศึกษาการเชื่อมเหล็กเพลลาขาวที่มีคาร์บอนร้อยละ 0.17-0.23 โดยใช้วัสดุที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากันและต่างขนาดกัน การศึกษาดังกล่าวพบว่าการใช้ความดันในการเสียดทาน 30 bar และเวลาในการเสียดทาน 5 sec มีผลทำให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงมากที่สุด M. Sahin [7] ศึกษาวิจัยรอยเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างวัสดุในระดับจุลภาค

ของวัสดุ austenitic – stainless steels (AISI 304) พบว่าที่แรงดันในการเสียดทาน 60 MPa และเวลาเสียดทานที่ 9 sec ส่งผลให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงที่สุด N. Ozdemir และคณะ [8] ศึกษาความเร็วรอบในการหมุนขึ้นงานเชื่อมซึ่งมีผลกระทบต่อโครงสร้าง ความแข็ง และความแข็งแรงของรอยเชื่อม ของวัสดุต่างชนิดกัน ระหว่าง AISI 3042 กับ AISI 4340 พบว่าที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm มีผลกระทบต่อโครงสร้างน้อยที่สุด H. Ates และคณะ [9] ศึกษาความดันในการเสียดทานของขึ้นงานซึ่งมีผลกระทบต่อโครงสร้าง ความแข็ง และความแข็งแรงของรอยเชื่อม โดยใช้ MA 956 iron-based superalloy เป็นวัสดุในการศึกษาวิจัย H. E. Akata และคณะ [10] ศึกษาเพื่อหาผลของการเชื่อมโลหะ AISI 1040 ที่มีขนาดต่างกัน โดยการเชื่อมที่เงื่อนไข เวลาในการเสียดทาน 5 sec, ความดันในการเสียดทาน 30 MPa , เวลาในการอัด 20 sec และความดันในการอัด 110 MPa และทำการเชื่อมขึ้นงานที่มีขนาดต่างกัน โดยขึ้นงานขนาดเล็กที่สุดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm. โดยทำการเชื่อมที่สัดส่วนขนาดขึ้นงานใหญ่ต่อขึ้นงานเล็ก (D/d) เท่ากับ 1, 1.5, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ จากนั้นหาค่าความแข็งแรงดึงโดยใช้ Tensile Test พบว่าค่าความแข็งแรงดึงลดลงเมื่อ D/d เพิ่มขึ้น ทำการวัดความแข็ง (HV) โดยวัดค่าความแข็งในแนวตั้ง ในแนวรอยเชื่อม และแนวระดับรอบแนวรอยเชื่อม พบว่าในแนวตั้งบริเวณรอยเชื่อมโลหะมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่อค่า D/d มากขึ้นค่าความแข็งแรงจะมีแนวโน้มมากขึ้น A. Hascalik และคณะ [11] ศึกษาในกรณีของอัลลอยด์ที่ทดลองผสม Al_2O_3 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและผสมกับอลูมิเนียมอัลลอยด์เบอร์ 6160 จากนั้นนำมาเชื่อมกับเหล็ก AISI 1020 ด้วยวิธีการเชื่อมเสียดทาน โดยกำหนดตัวแปรในการเชื่อมคือ ความดันในการเสียดทาน 10 MPa เวลาในการเสียดทาน 8 sec ความดันในการเชื่อม 5 MPa เวลาในการเชื่อม 4 sec และความเร็วรอบการหมุนของขึ้นงานที่ 2,500 rpm ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าบริเวณรอยเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมวัสดุต่างชนิดกันนี้ทำให้ได้รอยเชื่อมที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สุรสิงห์ อารยางกูร และคณะ [12] ได้ศึกษาคุณสมบัติของรอยเชื่อมของเหล็กกล้า เบอ AISI1015 ที่เชื่อมด้วยแรงเสียดทาน ซึ่งให้ผลการทดลองที่ ความดันเสียดทาน 10 bar เวลาเสียดทาน 9 sec. ความดันอัด 60 bar เวลาอัด 3 sec. และความเร็วรอบเสียดทาน 1200 rpm ขึ้นงานที่

เชื่อมมีความแข็งแรงมากกว่าวัสดุเดิม ประมาณร้อยละ 17.09 % ช่วงชัย ชูปวา และคณะ [13] ได้ศึกษาอิทธิพลของเวลาในการเสียดทานและแรงดันในการอัดที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมของเหล็กกล้า เบอ AISI1015 ที่เชื่อมด้วยความเสียดทาน ซึ่งผลที่ได้พบว่า เมื่อเวลาในการเสียดทานเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของรอยเชื่อมจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สุรสิงห์ อารยางกูร และคณะ [14] ได้ศึกษาการเชื่อมเหล็กกล้าด้วยความเสียดทาน โดยใช้ขึ้นงานเป็นเหล็กเบอ AISI 1015 พบว่า ค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมต่อมีค่าความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นกว่าขึ้นงานเดิม ในส่วนของการวิเคราะห์ความแข็งแรงของขึ้นงานที่เชื่อมด้วยความเสียดทานนั้นพบว่าความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อมต่อมีค่าความแข็งแรงลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมทำให้เปอร์เซ็นต์ของ pearlite ลดลง ในส่วนของความแข็งแรงที่เพิ่มมากขึ้นนั้น จากการวิเคราะห์โครงสร้างของเกรนเหล็กด้วย Microphotograph พบว่าบริเวณแนวเชื่อมต่อมีเกรนของเหล็กที่ละเอียดมากกว่าบริเวณอื่นที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการเชื่อม ส่งผลให้บริเวณแนวเชื่อมมีความแข็งแรงมากขึ้น สุรสิงห์ อารยางกูร และคณะ [15] ได้ศึกษาอิทธิพลของแรงดันเสียดทานต่อคุณสมบัติของเหล็กที่เชื่อมด้วยความเสียดทาน โดยใช้แรงดันในการเสียดทาน (Friction Pressure) ที่ 10 bar เวลาในการเสียดทาน (Friction Time) ที่ 9 sec. แรงดันในการเชื่อม (Upset Pressure) ที่ 60 bar เวลาในการเชื่อม (Upset Time) ที่ 3 secความเร็วรอบในการหมุน (Rotation Speed) ที่ 1200 rpm ให้ผลในการเชื่อมที่ดีที่สุด โดยรอยเชื่อมมีความแข็งแรงสูงมากกว่าขึ้นงานเดิม 17.09 %

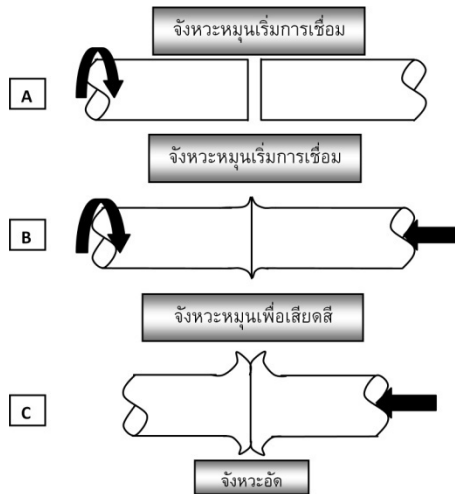
บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารอยเชื่อมของเหล็กผสม (AISI 4140) และ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (AISI 1040) ที่เชื่อมด้วยความเสียดทานโดยการศึกษาได้เน้นไปที่การวิเคราะห์ความแข็งแรงและความแข็งแรงของรอยเชื่อมเป็นหลัก

2. เครื่องเชื่อมเสียดทานและวิธีการศึกษา

2.1 หลักการทำงานของเครื่องเชื่อมเสียดทาน

ระบบการเชื่อมด้วยความเสียดทานนั้น อาศัยหลักการเปลี่ยนแรงเสียดทานเป็นพลังงานความร้อนในการ

เชื่อมชิ้นงานให้ติดกัน ในการเชื่อมนั้นทำได้โดยการหมุนชิ้นงานหนึ่งด้วยความเร็ว และแรงบิดค่าหนึ่งดังรูปที่ 1 A

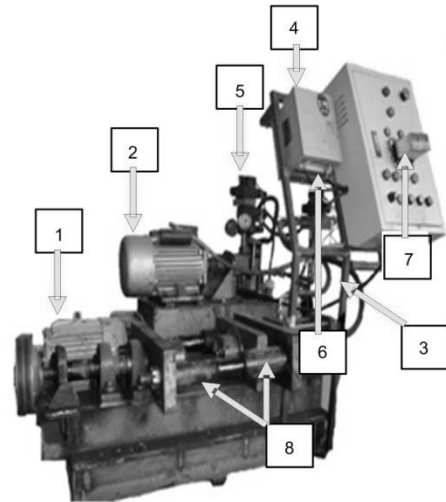


รูปที่ 1 การเชื่อมด้วยการหมุนเสียดทานในแนวระนาบให้แรงดันอัดด้านเดียว

จากนั้นสร้างแรงดันๆให้ชิ้นงานนั้นไปสัมผัสและหมุนเสียดสีกับชิ้นงานอีกชิ้นหนึ่งที่ยึดติดกับที่แล้ว กำหนดเวลาในการเสียดทานให้เกิดการเสียดสีกันจนเกิดความร้อนหลอมให้หน้าสัมผัสทั้งสองเข้าสู่สภาวะหนึ่งดังรูปที่ 1 B จึงให้แรงดันอัดภายในเวลาอันรวดเร็วเพื่ออัดชิ้นงานให้ติดกันดังรูปที่ 1 C โดยพลังงานความร้อนที่ชิ้นงานทั้งสองได้รับนั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว ได้แก่ แรงบิด ความเร็วรอบ ระยะเวลาในการให้แรงในแนวแกน ค่าของแรงดันในแนวแกนในแต่ละช่วงของการเชื่อม เป็นต้น

2.2 เครื่องเชื่อมเสียดทาน

เครื่องเชื่อมเสียดทานที่ใช้ในการศึกษานี้สร้างขึ้นตามหลักการทำงานดังได้อธิบายในข้างต้นแล้ว และประกอบด้วยอุปกรณ์แสดงในรูปที่ 2 โดยมีส่วนประกอบหลักดังนี้



รูปที่ 2 เครื่องเชื่อมเสียดทานที่ใช้ในการศึกษา

- 1) มอเตอร์ขนาด 5 HP เป็นต้นกำลังในการหมุน
- 2) มอเตอร์ขนาด 3 HP ใช้ในการขับปั๊มไฮดรอลิกส์ขนาดความดัน 100 bar
- 3) กระบอกไฮดรอลิกส์ขนาดลูกสูบ 4 นิ้ว ใช้ความดันให้หัวจับเคลื่อนที่อัดชิ้นงานเชื่อม
- 4) Inverter ขนาด 7.5 HP ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบในการทำงานของมอเตอร์ขนาด 5 HP
- 5) ระบบ Manual Relief Valves ใช้ในการปรับค่าความดันของเครื่องเชื่อมเสียดทาน
- 6) ระบบ Electric Solenoid Valve ควบคุมการปล่อยความดันในช่วงต่างๆ
- 7) Timer ใช้ควบคุมเวลาในช่วงต่างๆของกระบวนการเชื่อม
- 8) หัวจับเชื่อมด้านหมุน และด้านอัดโดยไฮดรอลิกส์

2.3 วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ใช้วัสดุต่างชนิดในการศึกษา โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (AISI 1040) หรือเหล็กเพลาดแข็งเชื่อมกับ เหล็กกล้าผสมต่ำ (AISI 4140) หรือเหล็กเพลาลำ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 mm. มีความยาว 100 mm. ก่อนการเชื่อมได้นำชิ้นงานมาทดสอบหาคูณสมบัติเชิงกล โดยได้ทำการทดสอบ 3 ชิ้นงานตัวอย่าง พบเหล็กเบอร์ AISI 4140 มีความแข็งแรงเฉลี่ย 950.46 MPa ส่วนเหล็กเบอร์ AISI 1040 พบว่ามีความแข็งแรงเฉลี่ย 700.56 MPa ส่วนรายละเอียดความแข็งแรงของชิ้นงานแต่ละชิ้นดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงของชิ้นงานก่อนการเชื่อม

วัสดุ	ความแข็งแรงดึง (MPa)			
	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เหล็กเบอร์ AISI 4140	950.15	950.67	950.57	950.46
เหล็กเบอร์ AISI 1040	700.44	700.67	700.57	700.56

ในการทดสอบค่าความแข็งแรง ได้ทำการทดสอบโดยวิธี Vicker Hardness และทำการทดสอบ 3 ชิ้นงานตัวอย่าง พบที่เหล็กเบอร์ AISI 4140 มีค่าความแข็งแรงเฉลี่ย 249.48 HV ส่วนเหล็กเบอร์ AISI 1040 พบว่ามีค่าความแข็งแรงเฉลี่ย 242.88 HV รายละเอียดค่าความแข็งแรงของชิ้นงานแต่ละชิ้นดังแสดงในตารางที่ 2 และได้นำชิ้นงานไปทดสอบหาส่วนประกอบทางเคมี เทียบกับมาตรฐานของระบบ AISI (American Iron and Steel Institute) จากการตรวจสอบพบว่าชิ้นงานมีส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 3 และที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับค่ามาตรฐานของเหล็กแต่ละเบอร์

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของชิ้นงานก่อนการเชื่อม

วัสดุ	ค่าความแข็งแรง (HV)			
	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เหล็กเบอร์ AISI 4140	242.07	257.90	248.47	249.48
เหล็กเบอร์ AISI 1040	238.46	241.70	248.46	242.88

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบส่วนประกอบเหล็กเบอร์ AISI 1040

ส่วนผสมทางเคมี	%C	%P	%S	%Mn	%Si	%Cr
ค่ามาตรฐาน	0.37-0.44	≤0.04	≤0.05	0.60-0.90	0.1-0.2	0.08
วัสดุทดลอง	0.49	0.005	0.001	0.65	0.48	0.08

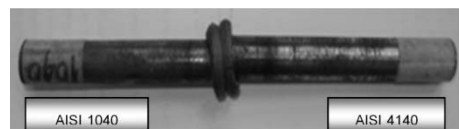
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบส่วนประกอบเหล็กเบอร์ AISI 4140

ส่วนผสมทางเคมี	%C	%P	%S	%Mn	%Si	%Cr
ค่ามาตรฐาน	0.38-0.43	≤0.035	≤0.040	0.75-1.0	0.15-0.35	0.8-1.10
วัสดุทดลอง	0.42	0.03	0.01	0.62	0.58	0.99

2.4 วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ จะใช้เครื่องเชื่อมด้วยความเสียดทานดังที่แสดงในรูปที่ 2 ทำการเชื่อมชิ้นงาน ให้ติดกันโดยอาศัยหลักการเชื่อมดังที่ได้อธิบายมาแล้ว โดยกำหนดเงื่อนไขการเชื่อมดังต่อไปนี้ ให้แรงดันในการเสียดทาน (Friction Pressure) 183 MPa เวลาในการเสียดทาน (Friction Time) 12 sec แรงดันในการเชื่อม (Upset Pressure) 428 MPa เวลาในการเชื่อม (Upset Time) 7 sec ความเร็วรอบในการหมุน (Rotation Speed) 1400 rpm เป็นเงื่อนไขคงที่ในการทดลอง โดยเงื่อนไขการทดลองดังกล่าวเป็นเงื่อนไขที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นและพบว่าเป็นเงื่อนไขที่สามารถเชื่อมชิ้นงานได้ดี จากนั้นนำชิ้นงานที่เชื่อมเสร็จแล้วไปทดสอบ เพื่อหาค่าความแข็งแรงและค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมและส่วนอื่นๆของชิ้นงานที่ได้ผลกระทบจากการเชื่อม โดยใช้เครื่อง Micro Hardness Test และเครื่อง Tensile Test

ก่อนการทดลองนั้นได้นำชิ้นงานมาทำการกลึงปาดหน้า และลบมุมของผิวหน้าที่จะทำการเชื่อม แล้วจึงนำชิ้นงานมาเชื่อมตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น จะได้ชิ้นงานที่มีรอยเชื่อมที่นูนออกมา ดังแสดงในรูปที่ 3

**รูปที่ 3** ลักษณะรอยเชื่อมของชิ้นงาน

2.5 การทดสอบหาค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อม

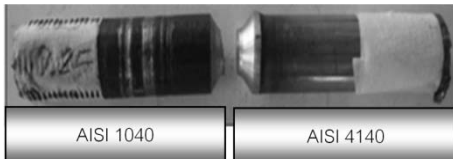
หลังจากที่เชื่อมชิ้นงานติดกันแล้วได้ทำการนำชิ้นงานไปกลึงปาดเอียงเฉพาะโลหะที่ถูกดันออกมาจากกระบวนการเชื่อม และได้ทำการกลึงบากกำหนดจุดขาดเพื่อบังคับให้

ชิ้นงานเสียหายตรงรอยเชื่อมพอดี โดยใช้มีดกลึงที่มีรัศมีความโค้งเท่ากับ 5 mm. และให้ชิ้นงานเหลือเส้นผ่าศูนย์กลางตรงรอยบากเท่ากับ 8 mm. ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นนำชิ้นงานมาดัดทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง Tensile Test



รูปที่ 4 ลักษณะรอยบากของชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการกลึงเพื่อกำหนดจุดขาด

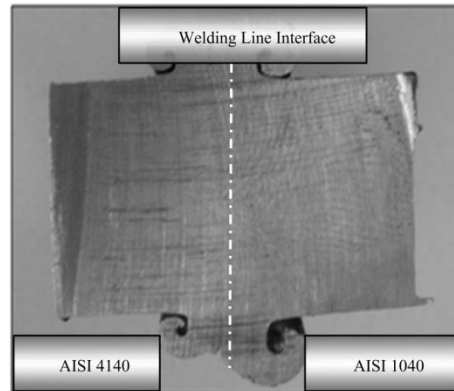
ในการศึกษานี้ ได้ทำการทดสอบชิ้นงานจำนวน 3 ชิ้นงาน ต่อ 1 เงื่อนไขเพื่อลดข้อผิดพลาดจากการทดลอง ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการดัด ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างของชิ้นงานที่ผ่านการดัดขาดที่จุดรอยเชื่อมแล้ว

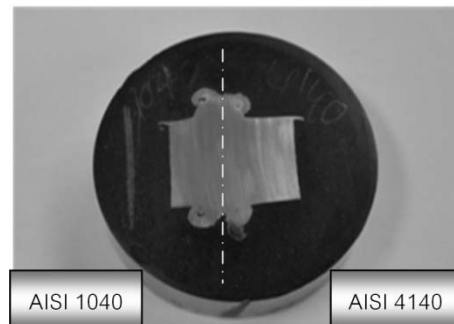
2.6 การทดสอบหาค่าความแข็ง

ในการทดสอบค่าความแข็ง ชิ้นงานจะถูกตัดมาเฉพาะส่วนที่เชื่อมติดกันยาวประมาณ 15 mm จากแนวรอยเชื่อมในแต่ละด้าน แล้วนำมาผ่าตามแนวแกนเพื่อให้เห็นรอยเชื่อมตลอดหน้าตัดแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงชิ้นงานเชื่อมที่ผ่าเพื่อทดสอบความแข็ง

เมื่อผ่าชิ้นงานที่จะทดสอบเสร็จแล้ว ต้องนำชิ้นงานไปทำเร็นนัมเพื่อความสะดวกในการเตรียมพื้นผิว รวมทั้งการวัดค่าความแข็งของชิ้นงาน โดยเร็นนัมจะมีความหนา มากกว่าความหนาของชิ้นทดสอบเล็กน้อย เพื่อที่จะสามารถยึดชิ้นงานได้ดี จากนั้นจะนำชิ้นงานไปขัดเตรียมพื้นผิวแล้ว โดยชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทำเร็นนัมและขัดผิวแล้วจะมีลักษณะดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงชิ้นงานที่ผ่านการทำเร็นนัมแล้ว

เมื่อผ่านกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว จึงนำชิ้นงานไปวัดค่าความแข็ง โดยใช้เครื่อง Micro Hardness ดังรูปที่ 8 ซึ่งในการวัดค่าความแข็งนั้นจะทำการวัดในแนวแกน ที่ระยะทุกๆ 0.5 mm. จากแนวรอยเชื่อม (Welding Line Interface) ถึงระยะ 8.0 mm. ตามระยะแนวเส้นที่วัด ดังแสดงในรูปที่ 6

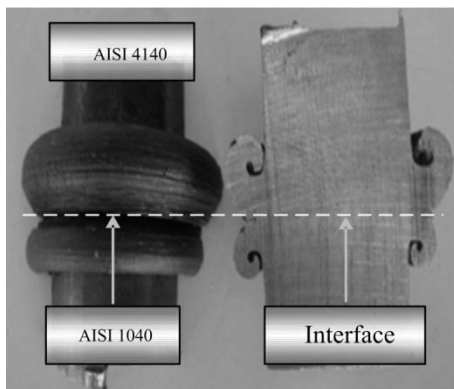


รูปที่ 8 แสดงเครื่องวัดความแข็ง ของ Multitoyo รุ่น MVK-H1 Micro Hardness Test

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ลักษณะของรอยเชื่อม

หลังจากที่นำชิ้นงานเชื่อมไปตัดตามยาวเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมภายในด้วยตาเปล่า พบว่ารอยเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าผสมต่ำ และเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง รอยเชื่อมมีการผสมกันได้ดี บริเวณผิวสัมผัสของวัสดุทั้งสอง ไม่มีรอยแยกโพรงอากาศและรูพรุน ได้ผลดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ตัวอย่างชิ้นงานเชื่อมที่ตัดตามยาวเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม

3.2 ความแข็งแรงของรอยเชื่อม

เมื่อนำชิ้นงานที่เชื่อมมาทำการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อม จำนวน 3 ชิ้นงาน พบที่รอยเชื่อมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นสูงกว่าวัสดุเดิม จากการวิเคราะห์โครงสร้าง

จุลภาคของรอยเชื่อมยังพบว่าที่บริเวณกลางรอยเชื่อมเกิดจากการที่เกรนของเหล็กที่บริเวณรอยเชื่อมมีความละเอียดมากกว่าเกรนเดิมของเหล็กก่อนการเชื่อมจึงส่งผลให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลทดสอบความแข็งแรงดึงของชิ้นงานหลังการเชื่อม เปรียบเทียบกับชิ้นงานก่อนเชื่อม

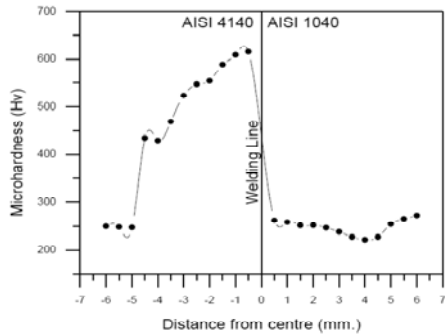
ชิ้นงาน	ความแข็งแรงดึงของชิ้นงาน (MPa)				S.D.
	ชิ้นที่1	ชิ้นที่2	ชิ้นที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
ชิ้นงานที่เชื่อมแล้ว	1023.64	980.67	984.57	996.29	23.76
AISI4140+AISI1040					
ชิ้นงานก่อนเชื่อม	950.15	950.67	950.57	950.46	0.30
เบอร์ AISI 4140					
ชิ้นงานก่อนเชื่อม	700.44	700.67	700.57	700.56	0.11
เบอร์ AISI 1040					

จากผลการทดสอบความแข็งแรงที่แสดงในตารางที่ 5 จะเห็นว่าภายใต้เงื่อนไขการเชื่อมที่ระบุนั้น รอยเชื่อมที่ได้จะมีค่าความแข็งแรงเฉลี่ย ประมาณ 996.29 MPa ซึ่งพบว่าเป็นความแข็งแรงที่สูงขึ้นกว่าชิ้นงานเดิม ทั้งนี้เมื่อเทียบกับเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI 4140 ความแข็งแรงเดิม 950.46 MPa พบว่ารอยเชื่อมมีความแข็งแรงสูงขึ้นประมาณ 4.82 % และเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1040 ความแข็งแรงเดิม 700.56 MPa พบว่ามีความแข็งแรงสูงขึ้นประมาณ 42.21 % ตามลำดับ

อนึ่ง จากผลการทดลองในตารางที่ 5 จะเห็นว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D. ของชิ้นงานที่เชื่อมแล้ว มีค่าค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับค่า S.D. ของชิ้นงานก่อนการเชื่อม เนื่องจากชิ้นงานที่เชื่อมนั้นอาจมีอิทธิพลของปัจจัยแวดล้อมต่างๆมาเกี่ยวข้องมาก จึงทำให้เกิดการเบี่ยงเบนมาก แต่ไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้ เนื่องจากค่า S.D. ที่ได้มีค่าเพียงประมาณ 2.3 % ของค่าเฉลี่ยเท่านั้น

3.3 ค่าความแข็งที่ตำแหน่งต่างๆ ของรอยเชื่อม

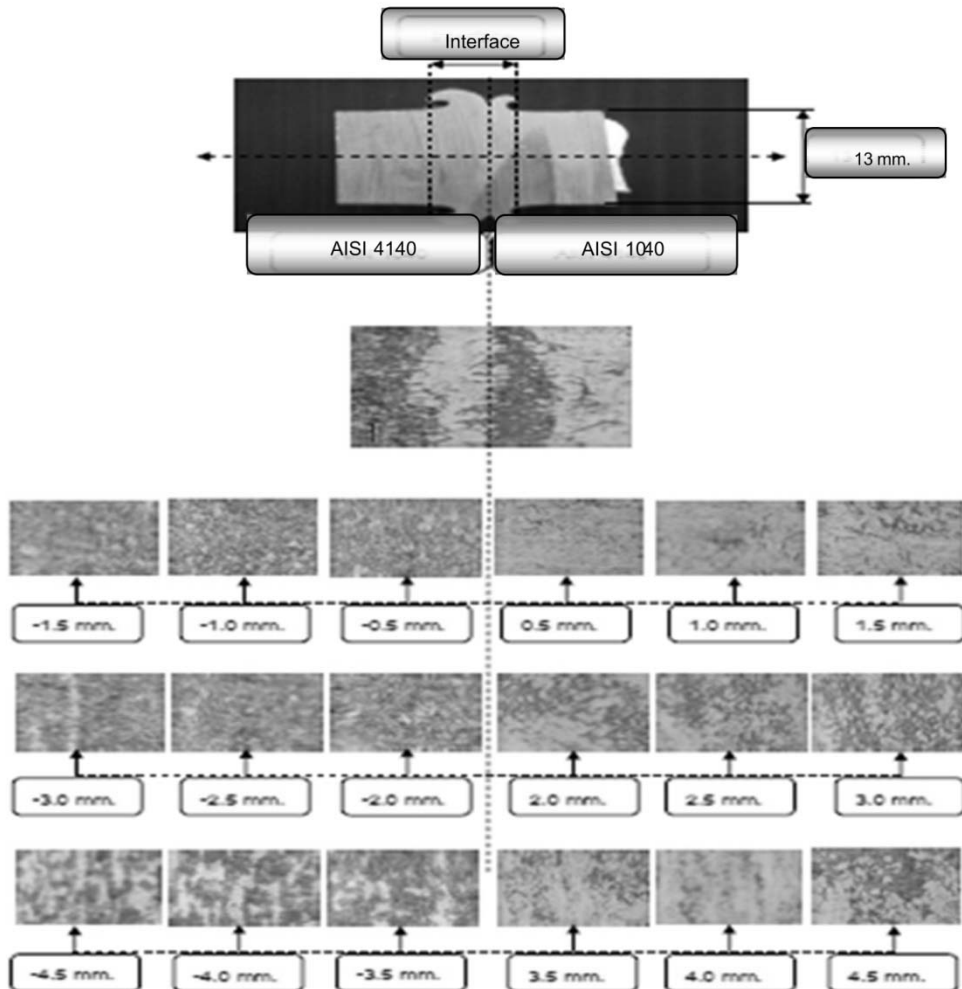
เมื่อทำการวัดค่าความแข็งของรอยเชื่อมทั้ง 3 แนวของการวัดแล้วนำมาทำการเฉลี่ยและได้ผลเป็นค่าความแข็งของแต่ละชิ้นงาน ซึ่งพบที่ชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 ชิ้น มีแนวโน้มค่าความแข็งเป็นไปในทางเดียวกัน และเมื่อนำค่าความแข็งแต่ละชิ้นมาเฉลี่ยจะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ค่าความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานที่ระยะต่างๆ

จากรูปที่ 10 จะเห็นว่าลักษณะค่าความแข็งที่วัดได้จากชิ้นงานทั้ง 3 ชิ้น มีลักษณะคล้ายกันมากซึ่งเมื่อนำค่าที่จุดต่างๆ มาเฉลี่ยกันจะได้ค่าความแข็งเฉลี่ยที่ระยะต่างๆ

ตามแนวนอน ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อพิจารณาวัสดุเหล็กกล้าผสมต่ำ (AISI 4140) จะพบว่าค่าความแข็งที่บริเวณใกล้รอยเชื่อมมีค่าสูง ประมาณ 615 HV และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อห่างจากรอยเชื่อมออกไป จนถึงระยะห่างประมาณ 4-5 mm พบว่าค่าความแข็งจะคงที่ในระยะ 6.5 mm ที่ประมาณ 269 HV ซึ่งเป็นความแข็งเดิมของชิ้นงาน และหากพิจารณาวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (AISI 1040) จะพบว่าค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่บริเวณใกล้รอยเชื่อมมีค่าลดลง คือประมาณ 263 HV และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะห่างจากรอยเชื่อมไป ค่าความแข็งของรอยเชื่อมจะคงที่ในระยะเท่ากัน ที่ประมาณ 227 HV ซึ่งเป็นค่าความแข็งเดิมของชิ้นงาน

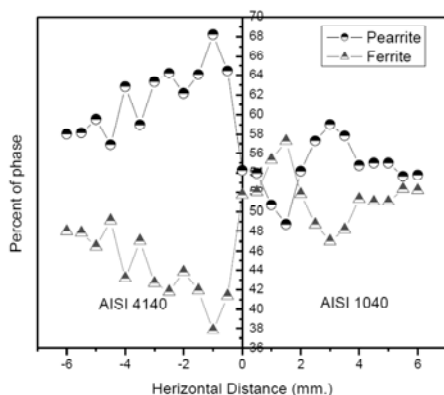


รูปที่ 11 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมที่ระยะต่างๆโดยภาพขยายขนาด 50 X

3.4 โครงสร้างจุลภาค

ในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมนั้นได้นำชิ้นงานเชื่อมไปทำการถ่ายภาพโครงสร้างที่ระยะต่างๆ ตั้งแต่ตำแหน่งผิวสัมผัสของวัสดุทั้งสอง (จุด 0) และถ่ายภาพออกไปตามแนวแกนของชิ้นงานทุกๆ ระยะ 0.5 mm. ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 11

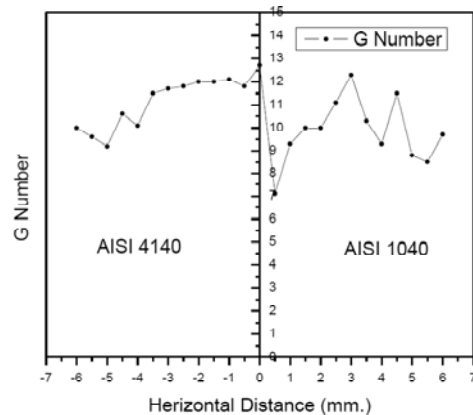
จากรูปที่ 11 จะเห็นว่าโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ตำแหน่งเชื่อมต่อนี้ของวัสดุ (จุด 0) มีลักษณะของเกรนที่ละเอียดขึ้น ในด้านวัสดุ AISI 4140 และจากรูปจะเห็นว่าชิ้นงานเชื่อมในแต่ละด้านมีการเปลี่ยนแปลงของเฟสโลหะในชิ้นงาน ดังนั้น จึงทำการนำภาพถ่ายที่ตำแหน่งต่างๆ ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเฟส พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของเฟส Ferrite และ Pearlite ในแต่ละด้าน ดังแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 12



รูปที่ 12 กราฟการเปลี่ยนแปลงของ เฟส Pearlite, Ferrite และ G number ที่จุดเชื่อมต่อและบริเวณส่วนที่ได้รับผลกระทบจากการเชื่อมระหว่างเหล็ก เบอร์ AISI 4140 และเบอร์ AISI 1040

อย่างไรก็ตาม ปริมาณของ Ferrite และ Pearlite ในชิ้นงานเชื่อมส่วนของ AISI 1040 มีสัดส่วนไม่ต่างกันมาก ค่าความแข็งของชิ้นงานส่วนนี้จึงไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมาก

ทั้งนี้สาเหตุที่ปริมาณ Pearlite ในเหล็ก AISI 4140 มีค่าสูงกว่า Pearlite ของเหล็ก AISI 1040 เนื่องจากเหล็ก AISI 4140 เป็นชิ้นงานที่หนุ่ในระหว่างการเชื่อม จึงเกิดการเย็นตัวเร็วกว่าชิ้นงาน AISI 1040 ซึ่งถูกยึดแน่นกับที่ จึงมีการระบายความร้อนได้น้อยกว่า อัตราการเย็นตัวจึงต่ำกว่า ส่งผลให้มี ปริมาณ Pearlite น้อยกว่า



รูปที่ 13 กราฟการเปลี่ยนแปลงของ G number ที่จุดเชื่อมต่อและบริเวณส่วนที่ได้รับผลกระทบจากการเชื่อมระหว่างเหล็ก เบอร์ AISI 4140 และเบอร์ AISI 1040

ในรูปที่ 13 แสดงปริมาณของเกรนของรอยเชื่อมที่ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าที่ตำแหน่งเชื่อม (จุด 0) โดยเฉพาะด้านของ AISI 4140 นั้น มีลักษณะของเกรนที่ละเอียดขึ้นมาก และจะค่อยๆ ลดลงที่ระยะห่างออกไป จึงส่งผลให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงถึงสูงขึ้น ทั้งนี้เกรนที่ละเอียดดังกล่าวเกิดจากแรงดันที่ใช้ในระหว่างการอัดให้ชิ้นงานติดกัน

4. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติรอยเชื่อมด้วยวิธีความเสียดทานของวัสดุที่แตกต่างกัน คือ เหล็กกล้าผสมต่ำ (AISI 4140) และเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (AISI 1040) ซึ่งพบว่ารอยเชื่อมที่ได้มีความแข็งแรงสูงขึ้นประมาณ 4.82 % เมื่อเทียบกับเหล็กกล้าผสมต่ำ เบอร์ AISI 4140 และ สูงขึ้นประมาณ 42.21 % เมื่อเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เบอร์ AISI 1040 นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแข็งของรอยเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่าค่าความแข็งของเหล็กกล้าผสมต่ำจะมีค่าสูงขึ้นที่บริเวณรอยเชื่อม และในส่วนของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางพบว่า ค่าความแข็งจะลดลงบริเวณรอยเชื่อม ซึ่งเกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงของเฟส Ferrite และ Pearlite ที่บริเวณรอยเชื่อมอันเนื่องมาจากความร้อนในกระบวนการเชื่อม ผลการศึกษานี้พบความสัมพันธ์อย่างชัดเจนระหว่างเฟสของโลหะดังกล่าวกับค่าความแข็งที่ระยะต่างๆ ของรอยเชื่อม นอกจากนี้ยังพบว่าที่บริเวณรอย

เชื่อมมีลักษณะเกรนที่ละเอียด ซึ่งเกิดจากแรงดันในระหว่างการเชื่อม และส่งผลให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงสูงขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรม เครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการศึกษาวิจัยนี้ ขอขอบคุณ ผศ.สุริยา ไชคสวัสดิ์ ผศ.ดร.สุธังคณา ลี อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการเครื่องมือ พร้อมด้วยอุปกรณ์ทำงานวิจัย และคำแนะนำต่องานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Uwaba T, Ukai S. "Properties of friction welds between 9Cr-ODS martensitic and ferrite-martensitic steels", Journal of Nuclear Materials, 2007; 367-370: 1213-1217.
- [2] Meshram S.D, T.Mohandas. G.Madhusudhan Reddy., "Friction welding of dissimilar pure metals", Journal of Materials Processing Technology, 2007; 184: 330-337.
- [3] Ahmet Z, Bekir S,Yibas M, Ahmed. J. "Analysis of the friction welding process in relation to the welding of copper and steel bars ", Journal of Materials Processing Technology, 1998; 82: 127-136.
- [4] Tsuchiya K, Kawamura H. "Mechanical properties of Cu-Cr-Zr alloy and SS316 joints fabricated by friction welding method", Journal of Nuclear Materials, 1996; 233-237: 913-917.
- [5] Celik S, Ersozlu I. "Investigation of the mechanical properties and microstructure of friction welding joints between AISI4140 and AISI1015 steel", Materials and Design, 2009; 30,pp: 970-976.
- [6] Sahin M. Akata H.E.. "Joining with friction welding of plastically deformed steel", Journal of Materials Processing Technology, 2003;142: 239-246.
- [7] Sahin M. "Evaluation of the joint-interface properties of austenitic-stainless steels (AISI304) joined by friction welding", Materials and Design, 2007;28: 2244-2250.
- [8] Ozdemir N, Sarsilmaz F, Hascalik A . "Effect of rotational speed on the interface properties of friction-welding AISI 3042 to 4340 steel", (Short communication) Materials and Design, 2007;28: 301-307.
- [9] Ates H, Turker M, Kurt A. "Effect of friction pressure on the friction-welded MA956 iron – based super alloy", Materials and Design, 2007;28: 948-953.
- [10] . Akata H. E., Sahin M. "An investigation on the effect of dimensional differences in friction welding of AISI 1040 specimens", Journal of Industrial Lubrication and Tribology, 2003;55: 223-232.
- [11] Hascalik A, Orhan N."Effect of particle size on friction welding of Al_2O_3 reinforced 6160 Al alloy composite and AISI 1020 steel", materials and design, 2007;28: 313-317.
- [12] Arrayanggool S, Bootvong A,. Thinvongpituk C. The study on the properties of steel rods welded by friction welding. Journal of Ubon Ratchathani University. 2009;1: 83-98.
- [13] Chuppava C, Thinvongpituk C.The influence of friction time and upset pressure on the strength of low carbon steel rods welded by friction welding. The 23rd conference of the mechanical engineering network of thailand, Chiang Mai University, 4-7 November 2009.

- [14] Arrayanggool S, Thinvongpituk C. Friction welding for round steel rods. The 22nd conference of the mechanical engineering network of thailand, Thammasat University Rangsit Bangkok, Thailand, 15-17 October 2008.
- [15] Arrayanggool S, Thinvongpituk C. Effect of friction pressure on the property of round steel joined by friction. The 2nd conference of Ubon Ratchthani University, Ubon Ratchthani, Thailand, 28-29 July 2008.