

อิทธิพลของกระบวนการทางความร้อนต่อสมบัติทางกลของเหล็กกล้า AISI 1045 ที่ผ่านการเชื่อมด้วยความเสียดทาน สำหรับอุตสาหกรรมการเชื่อมเพลลา

Effect of Heat Treatment Process on the Mechanical Properties of the AISI 1045 Steel by Friction Welding for Shaft Welding Industries

สมศักดิ์ แก่นทอง¹, วิเชียร เลื่อนเครือวัลย์², ศิริชัย ต่อสกุล^{3*}

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
E-mail, sirichai.to@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิของการอบอ่อนเหล็กกล้า AISI 1045 ที่ผ่านการเชื่อมด้วยความเสียดทาน ที่มีผลต่อความแข็งแรงและความแข็งของรอยเชื่อม รวมถึงโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม การทดลองเชื่อมกระทำภายใต้เวลาเชื่อม และความดันเชื่อมที่แตกต่างกัน จากนั้นนำชิ้นงานมาผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 790, 870 และ 950 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองถูกนำมาทดสอบความต้านทานแรงดึง ความแข็งตามแนวเชื่อม โครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาค พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 790 องศาเซลเซียส มีความต้านทานแรงดึงและความแข็งบริเวณรอยเชื่อมสูงที่สุด และจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่าที่บริเวณรอยเชื่อมมีการเติบโตของเกรนน้อยกว่าทั้งสองอุณหภูมิอบอ่อน มีโครงสร้างเป็น เฟอร์ไรท์ (Ferrite) และเพิร์ลไลท์ (Pearlite) ในส่วนของชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 870, และ 950 องศาเซลเซียส มีความต้านทานแรงดึงและความแข็งบริเวณรอยเชื่อมไม่ต่างกันมาก โครงสร้างที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมเป็น เฟอร์ไรท์ และเพิร์ลไลท์ แต่มีขนาดเกรนที่โตกว่า อุณหภูมิ 790 องศาเซลเซียส เกิดจากออสเทนไนท์ (Austenite) ขยายตัวได้มากทำให้โครงสร้างสุดท้ายมีเกรนโตไปด้วย

คำสำคัญ: การอบอ่อน, การเชื่อมด้วยความเสียดทาน, เฟอร์ไรท์, เพิร์ลไลท์, ออสเทนไนท์

Abstract

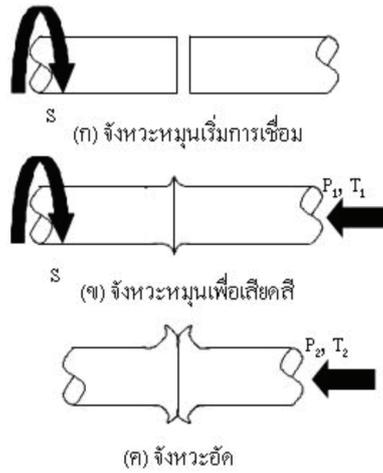
The purpose of this analysis is to investigate the effect of the annealing temperature of friction welded part made of AISI 1045 on strength and hardness of welding beads as well as its macrostructure and microstructure. The samples were generated under various conditions of process timing and welding pressure and then, were annealed at difference temperature range from 790 to 950°C. The experimental results revealed that the highest tensile strength and hardness belong to the sample annealed at the temperature of 790°C. This can be described by the microstructure itself that the structure consists of Ferrite and Pearlite as in the other range of annealed temperature, whereas the Grain size of the welding beads is quite smaller. Moreover, in case of annealed temperature of 890 and 950°C, there are slightly different in both tensile strength and hardness between themselves. It can be said that the bigger grain size in both range of annealed temperature may result from an extreme expansion of the Austenite.

Keywords: Annealing, Friction welding, Ferrite, Pearlite, Austenite

1. บทนำ

การเชื่อมด้วยความเสียดทานสามารถเชื่อมได้ทั้งโลหะและอโลหะ วัสดุทั้งสองเป็นแบบชนิดเดียวกันและแบบต่างชนิดกันก็ได้ โดยสามารถเชื่อมได้เต็มทั้งผิวหน้า แตกต่างจากวิธีอื่นโดยทั่วไปที่สามารถเชื่อมได้เฉพาะพื้นผิวรอบนอกเท่านั้น ความร้อนที่สูงขึ้นและเวลาที่สั้นระหว่างการเชื่อมจึงสามารถทำการเชื่อมได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น

ระบบการเชื่อมด้วยความเสียดทานนั้นทำได้โดยการหมุนชิ้นงานหนึ่งด้วยความเร็ว ดังรูปที่ 1 (ก) จากนั้นสร้างแรงดันให้ชิ้นงานหนึ่งไปสัมผัสและหมุนเสียดสีกับชิ้นงานอีกชิ้นหนึ่งที่หมุนอยู่กับที่ แล้วตั้งเวลาในการเสียดทานให้เกิดการเสียดสีกันจนเกิดความร้อนหลอมให้หน้าสัมผัสทั้งสองเข้าสู่สภาวะหนืดดังรูปที่ 1 (ข) จึงให้แรงดันอัดภายในเวลาอันรวดเร็วเพื่ออัดชิ้นงานให้ติดกันดังรูปที่ 1 (ค) โดยพลังงานความร้อนที่ชิ้นงานทั้งสอง



รูปที่ 1 การเชื่อมด้วยการหมุนเสียดทานในแนวระนาบให้แรงดันอัดด้านเดียว [2]

ได้รับนั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว ได้แก่ แรงบิด ความเร็วรอบ ระยะเวลาในการให้แรงในแนวแกน แรงดันในแนวแกนในแต่ละช่วงของการเชื่อม เป็นต้น [1]

อย่างไรก็ตามยังคงมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของรอยเชื่อม หรือสมบัติทางกลของชิ้นงาน จากการศึกษาของ Sahin, M. [3] ที่ทำการศึกษารองรอยเชื่อมด้วยความเสียดทานระหว่างเหล็กกล้าเครื่องมือ กับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1040 ซึ่งพบว่าปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มความแข็งแรง คือ เวลาในการเชื่อม และความดัน Paventhan, R. et al. [4] ได้ศึกษารองรอยเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1040 กับสแตนเลส AISI 304 ด้วยการเชื่อมด้วยความเสียดทาน พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมมากที่สุดคือ เวลาในการเสียดทาน รองลงมาคือ แรงดันในการเสียดทาน, แรงดันในการอัด และ เวลาในการอัด ช่วงชัย ชูปวา และชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ [5] ได้ศึกษาเวลาในการเสียดทานที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมเหล็กกล้า AISI 1015 พบว่าเวลาที่ใช้ในการเสียดทานเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของรอยเชื่อมจะมีแนวโน้มลดลง Heat-affected Zone สูง จักรินทร์ คงสิบ และคณะ [6] ได้ศึกษาลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของเหล็กคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ที่ผ่านการอบอ่อน และการเชื่อมด้วยความเสียดทาน พบว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบอ่อนก่อนการเชื่อมมีความต้านทานแรงดึงสูงกว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนแต่ความแข็งแรงของรอยเชื่อมมีค่าน้อยกว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนซึ่งบริเวณรอยเชื่อมชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนมีเกรนที่ละเอียดมากกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบอ่อน จึงส่งผลทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากกว่า

สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาอุณหภูมิของกระบวนการทางความร้อนที่มีผลต่อสมบัติทางกลหลังการเชื่อมเสียดทาน เพื่อให้

ทราบถึงปัจจัยของระดับอุณหภูมิการอบชุบชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานภายใต้เงื่อนไขเวลาและแรงดันในการเชื่อมที่ต่างกัน โดยใช้วัสดุเหล็กกล้า AISI 1045 ที่นิยมใช้ในประเทศไทยมาทำการศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาอุณหภูมิในการอบอ่อน สำหรับอุตสาหกรรมการเชื่อมเพลลา

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การออกแบบเครื่องมือ

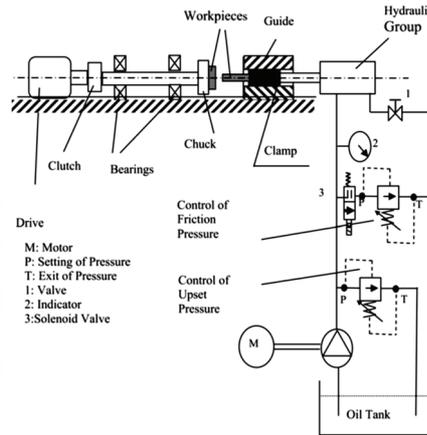
ในการศึกษาทดลองนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องกลึงขั้นสูงเป็นเครื่องเชื่อมเสียดทาน โดยทำการออกแบบหัวจับชิ้นงานและระบบเพิ่มแรงดันในการอัดชิ้นงานฝั่งที่ไม่หมุนด้วยชุดไฮดรอลิคเพื่อช่วยเพิ่มแรงดันในการเสียดทานและแรงดันในการอัด การนำเครื่องกลึงขั้นสูงมาประยุกต์ใช้ในการเชื่อมด้วยความเสียดทานดังรูปที่ 2 นอกจากจะสามารถกำหนดความเร็วรอบในการหมุนได้แล้ว การหยุดชิ้นงานในทันทีทันใดก็มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต้องอาศัยเครื่องกลึงที่ใช้มอเตอร์ชนิดมีเบรคแบบระบบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Brakes Motor) ทำให้หยุดหัวจับได้โดยทันที หากไม่ทำการหยุดหัวจับโดยทันทีแรงเฉื่อยของหัวจับจะทำให้ชิ้นงานที่ผสมเชื่อมติดกันแล้วนั้นบิดหรือหลุดออกจากกันมากที่สุด

2.2 วิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้า AISI 1045 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร นำมาตัดให้ได้ความยาว 100 มิลลิเมตร เงื่อนไขในการทดลองถูกกำหนดไว้ ดังตารางที่ 1

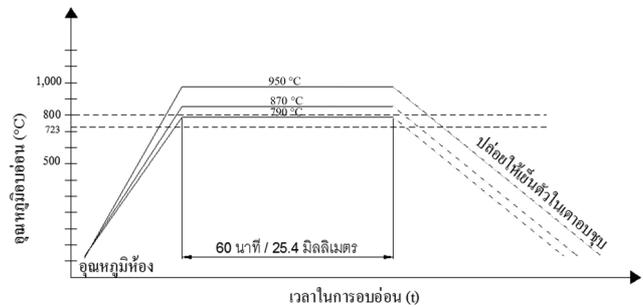
ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลอง

รายการ	ค่าเงื่อนไข
ความเร็วรอบ	1,800 rpm
แรงดันในการเสียดทาน	1.4 MPa
เวลาในการเสียดทาน	4 sec
เวลาในการอัด	2, 3 และ 4 sec
แรงดันในการอัด	2, 3 และ 4 MPa
อุณหภูมิในการอบอ่อน	790 °C , 870 °C และ 950 °C

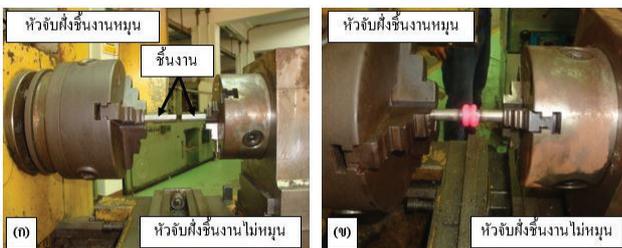


รูปที่ 2 เครื่องเชื่อมเสียดทานที่ใช้ในการทดลอง และวงจรการทำงาน [7]

ทำการเชื่อมโดยการจับยึดชิ้นงานไว้บนหัวจับ ดังรูปที่ 3 (ก) จากนั้นทำการเชื่อมเสียดทานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3 (ข) ปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในอากาศ และทำการวัดความกว้างรอยเชื่อม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อมด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมตามเงื่อนไขที่กำหนดไปทำการอบอ่อน โดยกำหนดระยะเวลาในการอบแช่ชิ้นงาน 30 นาที หลังจากนั้นปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในเตาอบตามไดอะแกรมความสัมพันธ์เวลาและอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4



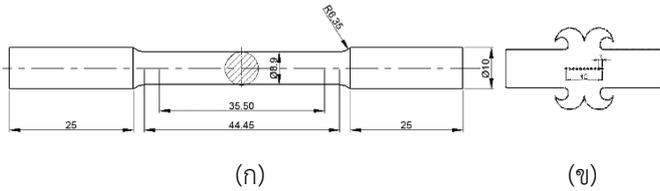
รูปที่ 4 ไดอะแกรมความสัมพันธ์เวลาและอุณหภูมิในการอบอ่อน



รูปที่ 3 การเชื่อมเสียดทาน

2.3 การทดสอบ

เมื่อได้ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแล้ว จากนั้นทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 - 04 [8] ดังรูปที่ 5 (ก) และทดสอบความแข็งบริเวณรอยเชื่อมตามตำแหน่งที่กำหนดดังรูปที่ 5 (ข) รวมทั้งการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค บริเวณรอยเชื่อม



รูปที่ 5 การเตรียมชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึง (ก) และความแข็ง (ข) [1]

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

จากการทดลองที่ได้เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลพบว่าผลที่ได้มีความแตกต่างกันไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

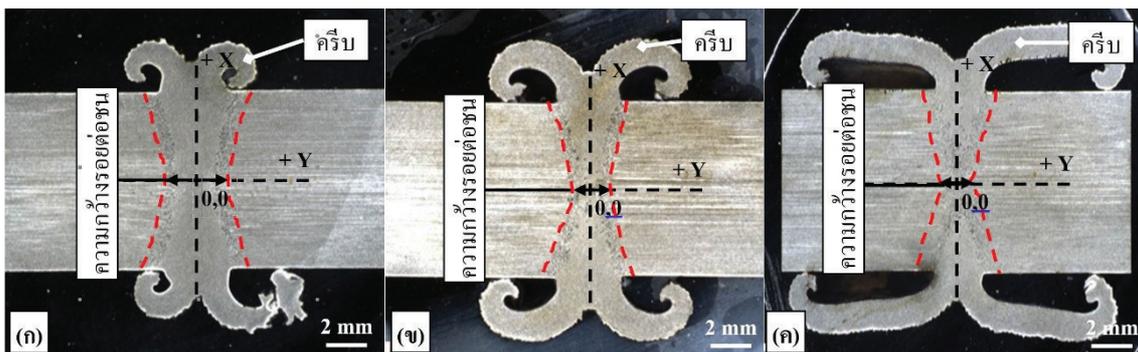
3.1 การตรวจสอบทางกายภาพ

จากการทดลองเชื่อมชิ้นงานตามเงื่อนไขที่กำหนด พบว่าเวลาและแรงดันในการอัดส่งผลต่อขนาดความกว้างของรอยเชื่อม ดังรูปที่ 6 ความกว้างของรอยเชื่อมเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาและแรงดันในการอัดเพิ่มขึ้น รูปที่ 6 (ก) และ (ข) ครีบริบของรอยเชื่อมมีลักษณะโค้งเป็นรัศมี ต่างจากชิ้นงานทดลองที่เวลาในการอัด 4 วินาที แรงดันในการอัด 4 MPa รูปที่ 6 (ค) ครีบริบของรอยเชื่อมมีลักษณะม้วนปลายและโค้งเหยียดออกคล้ายกับเส้นตรง จากการวัดขนาดความกว้างรอยเชื่อม (Flash Width) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยเชื่อม (Flash Diameter) พบว่าขนาดความกว้างรอยเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยเชื่อมมีลักษณะใหญ่ขึ้นและเล็กลงลักษณะกราฟคล้ายรูปประฆังคว่ำ ดังรูปที่ 7 อันเนื่องมาจากลักษณะการเกิดครีบริบของรอยเชื่อม เนื้อวัสดุที่กำลังอ่อนตัวจาก

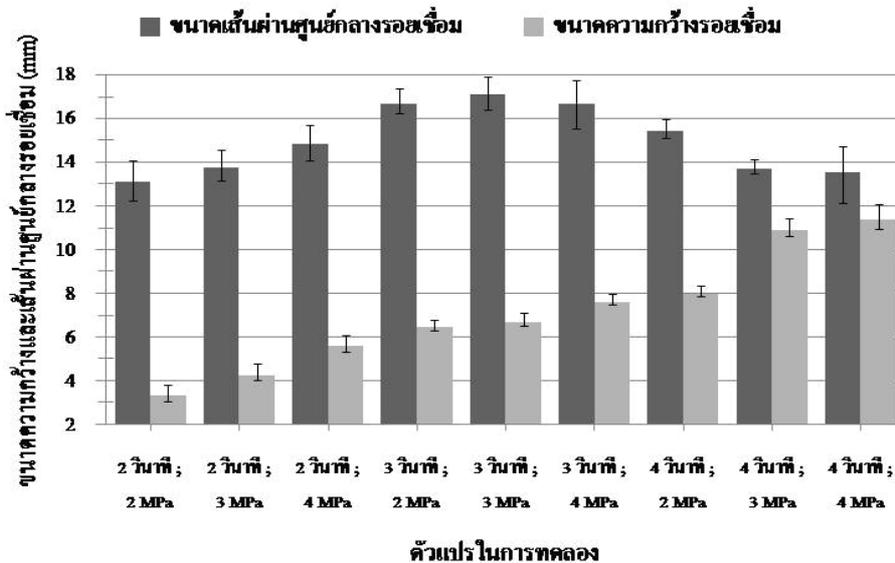
ความร้อนในขณะเสียดทาน เมื่อได้รับแรงดันในการอัดที่เพิ่มขึ้น เนื้อวัสดุจึงเคลื่อนที่ออกสู่พื้นที่ว่างรอบนอกบริเวณรอยต่อจนจนเกิดเป็นครีบริบของรอยเชื่อม เมื่อแรงดันในการอัดมากยิ่งขึ้นทำให้สามารถผลักเนื้อวัสดุที่กำลังอ่อนตัวอยู่ด้านในให้ออกมารอบนอกได้มากยิ่งขึ้นด้วย

3.2 การทดสอบแรงดึง

จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงดังรูปที่ 8 ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่เงื่อนไขการทดลองที่ต่างกัน เมื่อนำไปอบอ่อนพบว่ามีความต้านทานแรงดึงไม่ต่างกัน ภายใต้ตัวแปรเวลาและแรงดันในการเชื่อมส่งผลต่อสมบัติเชิงกล และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม อย่างไรก็ตามเมื่อนำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่เงื่อนไขการทดลองที่ต่างกันไปผ่านกระบวนการทางความร้อนทำให้โครงสร้างบริเวณรอยเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน ตามอุณหภูมิในการอบชุบ และเวลาในการเย็นตัว โดยที่อุณหภูมิอบอ่อน 790 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงชิ้นงานลดลงเมื่อเทียบกับชิ้นงานก่อนทำการทดลองคิดเป็น 6.9 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ที่อุณหภูมิ 870 และ 950 องศาเซลเซียส ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าอยู่ในระดับเดียวกันและมีค่าน้อยกว่าชิ้นงานก่อนทำการทดลอง 10.1 เปอร์เซ็นต์ อันเป็นผลมาจากอุณหภูมิการอบให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิเหนือเส้น A3 ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนไปเป็นออสเตนไนต์อย่างสมบูรณ์และเมื่อเย็นตัวลงมาถึงอุณหภูมิห้องอย่างช้าๆ ในเตาอบชุบ ทำให้โครงสร้างสุดท้ายมีขนาดของเกรนที่ใหญ่ขึ้นจากเดิม เมื่อเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงลดลงและมีความอ่อนเหนียวเพิ่มขึ้น



รูปที่ 6 ความกว้างรอยต่อชนของชิ้นงานที่เงื่อนไขการทดลอง เวลาในการอัด 2 วินาที ; แรงดันในการอัด 2 MPa (ก), เวลาในการอัด 3 วินาที ; แรงดันในการอัด 3 MPa (ข), เวลาในการอัด 4 วินาที ; แรงดันในการอัด 4 MPa (ค)



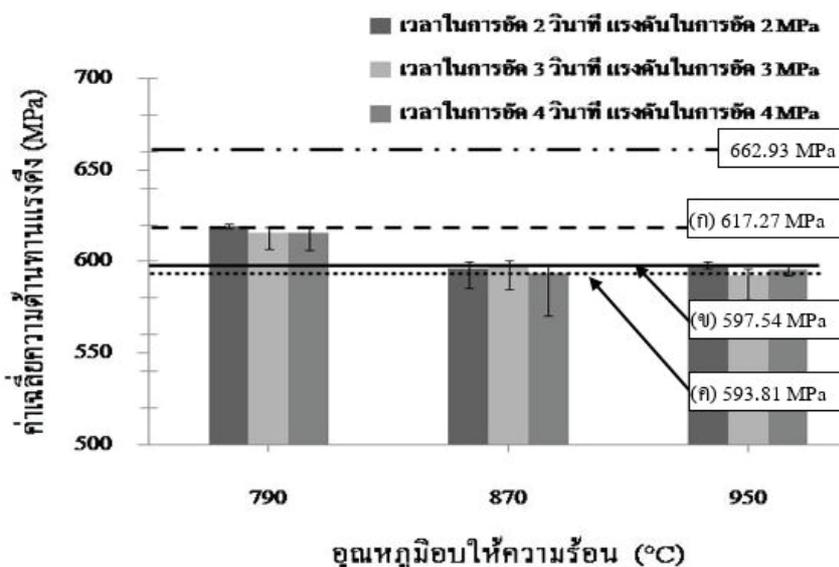
รูปที่ 7 ขนาดความกว้าง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อม

3.3 การทดสอบความแข็ง

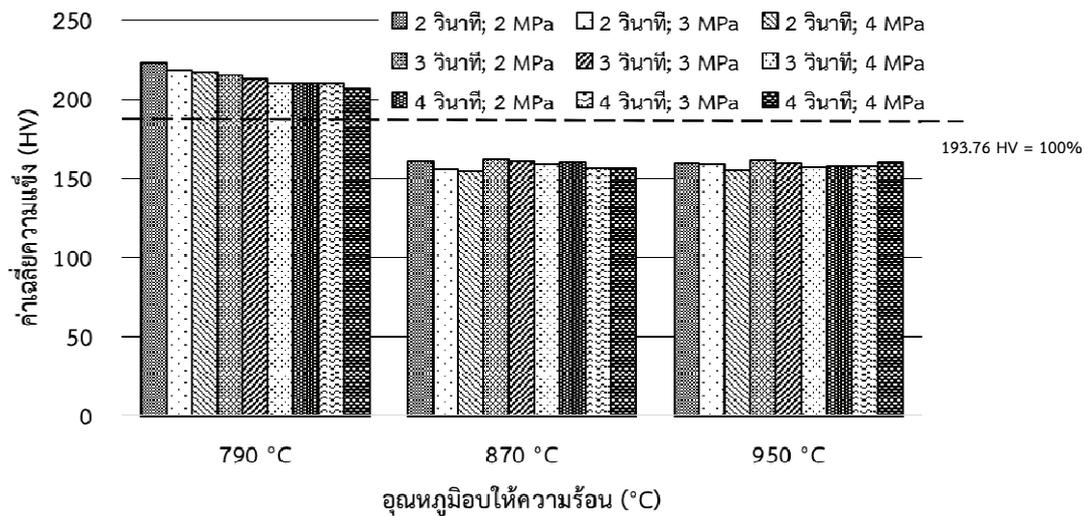
ผลการทดสอบความแข็งบริเวณรอยเชื่อมแสดงดังรูปที่ 9 ซึ่งงานที่ผ่านการเชื่อมเสียตทานที่เงื่อนไขการทดลองที่ต่างกันในแต่ละตัวแปรเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานก่อนทำการทดลองที่มีค่าความแข็ง 193.76 HV (ทำการทดสอบความแข็งที่อุณหภูมิปกติ) พบว่าที่อุณหภูมิอบอ่อน 790 องศาเซลเซียส ทุกตัวแปรมีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงกว่าค่าความแข็งชิ้นงานก่อนการทดลอง อันเนื่องมาจากแรงดันในการอัดน้อยส่งผลให้บริเวณกระทบร้อน (Heat Affect Zone : HAZ) มีความกว้างมากกว่าตัวแปรอื่นๆ ประกอบกับอุณหภูมิ 790 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่อยู่ใต้เส้น A3 โดยเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนผสมอยู่ 0.42- 0.50 เปอร์เซ็นต์มีอุณหภูมิที่เส้น A3 อยู่ที่ 800 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิแนะนำในการอบอ่อนเหล็กกล้า

คาร์บอนปานกลางอยู่ที่ 30 – 50 องศาเซลเซียส เนื้อเส้น A3 [9] ดังนั้นที่อุณหภูมิ 790 องศาเซลเซียส จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างจุลภาคน้อยมาก เกรนบริเวณรอยเชื่อมยังคงเป็นเกรนละเอียดเช่นเดิม

อย่างไรก็ตามชิ้นงานทดลองที่อุณหภูมิ 870 และ 950 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิเหนือเส้น A3 อยู่ 70 และ 150 องศาเซลเซียส เมื่อได้รับความร้อนระหว่างการอบแช่ทำให้โครงสร้างของเหล็กเปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์ สมบูรณ์ หากปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในเตาอบชุบอย่างช้าๆ โครงสร้างที่ได้จะเป็นโครงสร้างเพิร์ลไลท์ชนิดหยาบประกอบด้วยเฟสเพิร์ลไลท์ และเฟสเฟอร์ไรท์ [10] เมื่อโครงสร้างที่ได้เป็นชนิดหยาบจึงทำให้ชิ้นงานทดลองมีสมบัติอ่อนเหนียว มีค่าความแข็งเฉลี่ยใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มอยู่ในระดับเดียวกัน



รูปที่ 8 ความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 790 (ก), 850 (ข) และ 950 (ค) องศาเซลเซียส



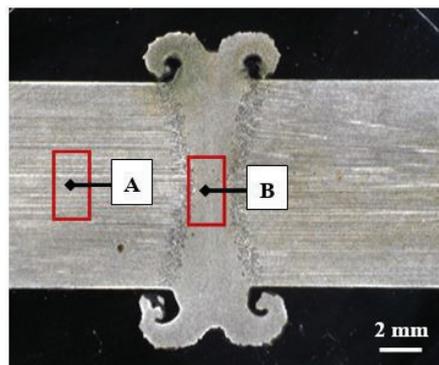
รูปที่ 9 ความแข็งของชิ้นทดสอบกับค่าความแข็งชิ้นงานก่อนการทดลอง

3.4 การตรวจสอบโครงสร้าง

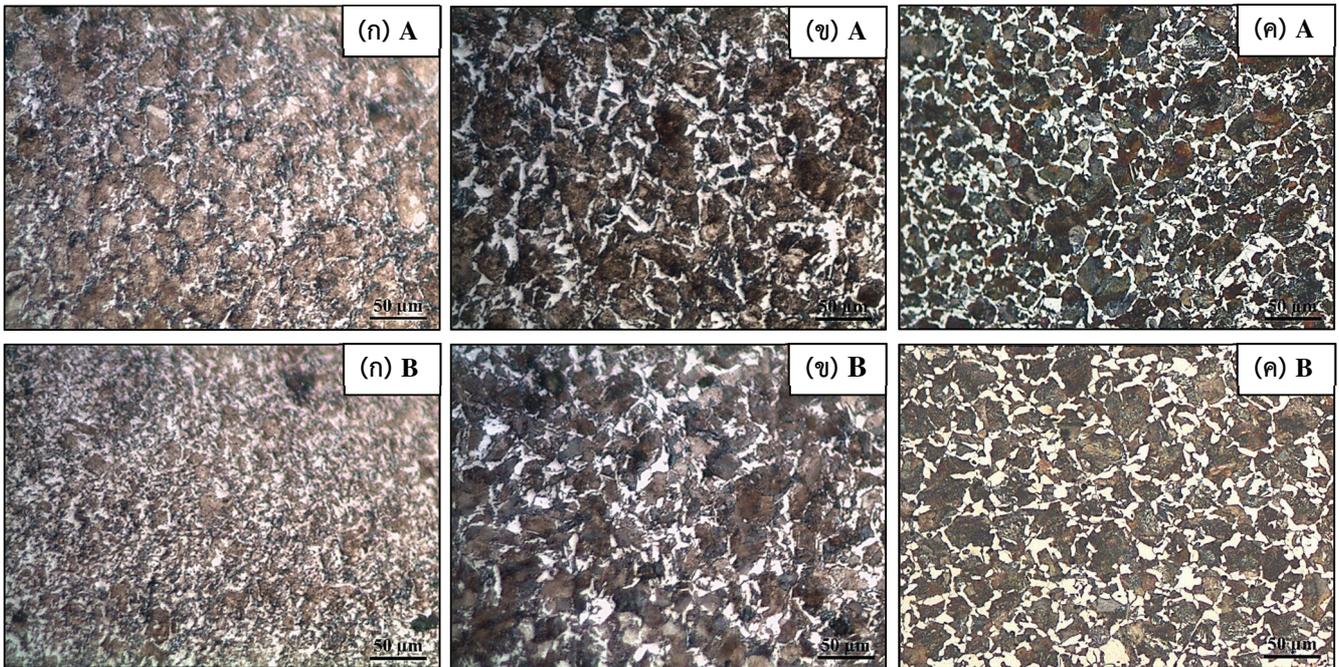
จากการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคชิ้นงานที่ผ่านการทดลองตามตัวแปรที่กำหนด พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการอัดและแรงดันในการอัด ความกว้างรอยต่อชนหรือบริเวณกระทบร้อนจะมีความกว้างลดลง ดังรูปที่ 6 และจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน ณ ตำแหน่ง A ที่เป็นบริเวณชิ้นงานเดิม และตำแหน่ง B ที่เป็นบริเวณกระทบร้อนดังรูปที่ 10 พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบให้ความร้อน 790 องศาเซลเซียส บริเวณกระทบร้อนหรือรอยต่อชน มีขนาดเกรนที่ละเอียดกว่าบริเวณชิ้นงานเดิม ที่ประกอบด้วยเฟสเฟอไรต์ และเฟสเพอร์ไรท์ ดังรูปที่ 11 (ก) โดยมีขนาดเกรนเท่ากับ 34.09 ไมโครเมตร หรือขนาดเกรนเบอร์ 6 ตามมาตรฐาน ASTM E1382 - 97

[11] ในส่วนของขนาดเกรนบริเวณชิ้นงานเดิมมีขนาดเท่ากับ 52.37 ไมโครเมตร หรือขนาดเกรนเบอร์ 4.5 เพราะที่อุณหภูมิ 790 องศาเซลเซียส เป็นการอบให้ความร้อนที่ยังไม่ถึงเส้น A3 ของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ที่มีอุณหภูมิที่เส้น A3 อยู่ที่ 800 องศาเซลเซียส [10] จึงทำให้ขนาดเกรนบริเวณรอยเชื่อมมีขนาดเกรนที่ละเอียดกว่าบริเวณชิ้นงานเดิม

แต่ชิ้นงานที่ทำการอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 870 และ 950 องศาเซลเซียส ขนาดเกรนบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณชิ้นงานเดิมมีขนาดเกรนใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 11 (ก) และ (ข) โดยมีขนาดเกรนบริเวณรอยเชื่อมอยู่ระหว่าง 69.47 - 72.11 ไมโครเมตร หรือขนาดเกรนเบอร์ 4 และบริเวณชิ้นงานเดิมมีขนาดเกรนอยู่ระหว่าง 73.51 - 76.32 ไมโครเมตร หรือขนาดเกรนเบอร์ 4 ซึ่งใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 10 ตำแหน่งตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค



รูปที่ 11 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ (ก) 790, (ข) 850 และ(ค) 950 องศาเซลเซียส

4. สรุปผล

จากการทดลอง เมื่อเพิ่มเวลาและแรงดันในการเชื่อมส่งผลให้บริเวณกระแทกร้อนหรือรอยต่อของชิ้นงานลดลง เนื้อวัสดุไหลตัวเกิดเป็นครีบจากการเชื่อมมากขึ้น และบริเวณกระแทกร้อนมีขนาดลดลง เมื่อนำชิ้นงานไปผ่านการอบอ่อนส่งผลให้ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเสียดทานที่เงื่อนไขการทดลองที่ต่างกัน มีความต้านทานแรงดึงและความแข็งบริเวณรอยเชื่อมไม่ต่างกันภายใต้อุณหภูมิอบชุบเดียวกัน

อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในการอบอ่อนส่งผลต่อความต้านทานแรงดึง และความแข็งบริเวณรอยเชื่อม ที่อุณหภูมิในการอบอ่อน 790 องศาเซลเซียส มีความต้านทานแรงดึงและความแข็งบริเวณรอยเชื่อมสูงที่สุด ที่อุณหภูมิในการอบอ่อน 870 และ 950 องศาเซลเซียส มีความต้านทานแรงดึงและความแข็งบริเวณรอยเชื่อมใกล้เคียงกันแต่น้อยกว่าอุณหภูมิ 790 องศาเซลเซียส

การอบอ่อนที่อุณหภูมิ 790 องศาเซลเซียส บริเวณกระแทกร้อนมีขนาดเกรนละเอียดกว่าบริเวณชิ้นงานที่ทำการอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 870 และ 950 องศาเซลเซียส

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก RMUTT annual government statement of expenditure in 2016 และภาคีวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Imshennik , K.P., Fomichev , N.I. (1974). Characteristic of the upset process in the friction welding of highspeed tool steel to structural steel. *Weld. Prod.* 21 (4), pp. 57-61.
- [2] สรวินัญ จันทร์มณี และชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์. (2556). อิทธิพลของอัตราป้อนต่อสมบัติเชิงกลของเหล็ก AISI4140 และ AISI304 ที่เชื่อมด้วยวิธีเสียดทาน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ประจำปี 2556 ครั้งที่ 27 พัทยา จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย. ชลบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [3] Sahin, M. (2005). Joining with friction welding of high-speed steel and medium-carbon steel. *Journal of Materials Processing Technology.* Vol. 168, pp. 202-210.
- [4] Paventhan, R., Lakshminarayanan, P., & Balasubramanian, V. (2012). Optimization of friction welding process parameters for joining carbon steel and stainless steel. *Journal of iron and steel research, international,* 19(1), 66-71.
- [5] ช่วงชัย ชูปวา, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์. (2552). การศึกษาอิทธิพลของเวลาในการเสียดทานและแรงดันในการอัดที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552 ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [6] จักรินทร์ คงสิบ และศรัชย์ ต่อสกุล. (2555). อิทธิพลของการอบอ่อนที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็ก AISI 1045 ด้วยแรงเสียดทาน. การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ประจำปี 2555 ครั้งที่ 9, หน้า 291-297. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [7] Sahin, M. (2007). Evaluation of the joint-interface properties of austenitic-stainless steels (AISI 304) joined by friction welding. *Materials & design,* 28(7), 2244-2250.

- [8] ASTM International. (1996.). Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials E8-04”, & Annual Book of ASTM Standard, Vol. 03.01, pp. 1-24,
- [9] มนัส สติรจินดา. (2540). *วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก = Iron & steel heat-treatment engineering* (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ :: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- [10] Avner, S. H. (1974). *Introduction to Physical Metallurgy*. 2nd ed. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha.
- [11] ASTM International. (1996). Standard Test Methods for Determining Average Grain Size E 112-96 and Standard Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis E 1382-97, & Annual Book of ASTM Standard, Vol. 03.01, pp. 1-26.