

การศึกษาสมบัติเชิงกลในกระบวนการชุบแข็งของการเชื่อมเหล็กกล้า
AISI 1045 ด้วยแรงเสียดทานสำหรับอุตสาหกรรมการเชื่อมเพลลา
A STUDY OF HARDENING PROCESS EFFECT ON THE AISI 1045 STEEL
BY FRICTION WELDING FOR SHAFT WELDING INDUSTRIES

พุทสายัน นราพินิจ¹ สมหมาย สารมาท¹ และ ศิริชัย ต่อสกุล²

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
 128 ถนนห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก (คลองหก) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Puttasayan Narapinij¹ Sommai Saramath¹ and Sirichai Torsakul²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University
 of Technology Lanna, 128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi.
 39 Rangsit-Nakhonnayok Road. (Klong 6), Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand 12110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของกระบวนการทางความร้อนที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า AISI 1045 หลังการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน ทำการทดลองโดยนำวัสดุเหล็กกล้า AISI 1045 ไปผ่านกรรมวิธีอบชุบแบบ Full Annealing, Hardening, และ Hardening & Tempering ทำการเชื่อมภายใต้เวลา และแรงดันในการเชื่อมที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่าชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบแบบ Hardening, และ Hardening & Tempering ก่อนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานมีค่าความต้านทานแรงดึงแตกต่างกันเพียง 6 เปอร์เซ็นต์ แต่กรรมวิธีการอบชุบแบบ Full Annealing ก่อนการเชื่อมจะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมลดลง 36 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการทดสอบความแข็งบริเวณรอยเชื่อม พบว่าการนำชิ้นงานไปผ่านกรรมวิธีการอบชุบ ทั้งสามวิธีส่งผลให้ความแข็งบริเวณรอยเชื่อมสูงขึ้น 42 – 67 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ

คำสำคัญ: กระบวนการทางความร้อน, การเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน, ความต้านทานแรงดึง

ABSTRACT

The purpose of this analysis is to study the effect of heat treatment process on steel AISI 1045 properties after friction welding. Steel AISI 1045 has gone through heat treatment by way of Full Annealing, Hardening, and Hardening & Tempering. It is welded under limited time and with variety of welding pressures. The test shows that heat treatment by way of Hardening and Hardening & Tempering before friction welding have only 6% difference in tensile strength. However, heat treatment by way of Full Annealing before friction welding reduces tensile strength of welded area by 36%. In testing the hardness of welded area, the 3 methods of heat treatment result in increase in hardness of welded area by 42-67% approximately.

KEYWORDS: Heat Treatment Process, Friction welding, Tensile strength

1. บทนำ

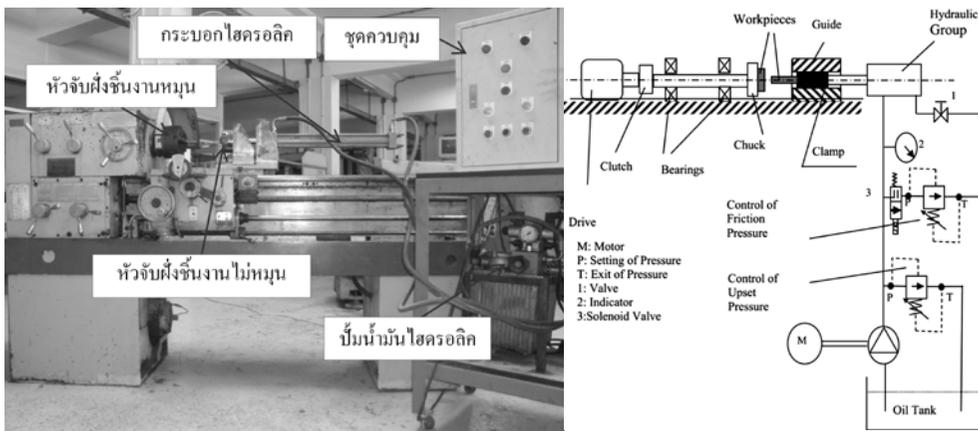
การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อน โดยนำชิ้นงาน 2 ชิ้นมาเสียดสีกัน ความฝืดระหว่างผิวหน้าของชิ้นงานจะทำให้เกิดความร้อนเพียงพอที่จะทำให้บริเวณผิวหน้าทั้งสองอ่อนตัว จากนั้นใช้แรงกดให้ชิ้นงานทั้งสองติดกัน [1] อย่างไรก็ตามยังคงมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลต่อคุณภาพของรอยเชื่อม หรือคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน จากการศึกษาของ ช่วงชัย ชูปวา และชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ [2] ที่ศึกษาเวลาในการเสียดทานที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมเหล็กกล้า AISI 1015 พบว่าเวลาที่ใช้ในการเสียดทานเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของรอยเชื่อมจะมีแนวโน้มลดลง Sahin, A.Z. และคณะ [3] ได้ทำการศึกษากลไกการถ่ายเทความร้อนของการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานโดยทดลองเชื่อมวัสดุแท่งทองแดงกับเหล็กที่สภาวะความเร็ว และเวลาการเชื่อมแตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าตัวแปรต่าง ๆ มีอิทธิพลต่อกัน และอุณหภูมิระหว่างการเชื่อมสูงทำให้เกิด Heat-affected Zone สูง Sahin, M., [4] ได้ทำการศึกษารอยเชื่อมด้วยแรงเสียดทานกับวัสดุเครื่องมือ กับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1040 เพื่อศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อมวัสดุนี้ โดยเปรียบเทียบจากการทดสอบแรงดึง ความล้า การทดสอบแรงกระแทกและความแข็ง ซึ่งตัวแปรที่สำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงและความล้า คือ เวลาในการเชื่อม และแรงดัน จักรินทร์ คงสิบ และคณะ [5] ได้ศึกษาลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของเหล็กคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ที่ผ่านการอบอ่อน และการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน ภายใต้เงื่อนไขแรงดันในการอัดที่ 20, 30, และ 40 บาร์ เวลาในการอัดที่ 2, 3, และ 4 วินาที อุณหภูมิในการอบอ่อน 790, 850, และ 970 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อ นาที จากการทดลองพบว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบอ่อนก่อนการเชื่อมมีความต้านทานแรงดึงสูงกว่า

ชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน แต่พบว่าความแข็งของรอยเชื่อมมีค่าน้อยกว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน และพบว่าโครงสร้างจุลภาคของเหล็กที่บริเวณรอยเชื่อมชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนมีเกรนที่ละเอียดมากกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบอ่อน จึงส่งผลทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากกว่า Song, K.H. & Nakata, K. [6] ได้ทำการทดลองเชื่อม Inconel 718 ด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน และนำชิ้นงานไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังการเชื่อม ส่งผลให้มีคุณสมบัติทางกลดีขึ้น ทั้งความแข็งและความต้านทานแรงดึง เพิ่มขึ้น 50% และ 40% ตามลำดับ

แนวคิดของงานวิจัยนี้มีความสนใจศึกษาการนำวัสดุเหล็กกล้า AISI 1045 ไปผ่านกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างด้วยกรรมวิธีอบชุบแบบ การอบอ่อนสมบูรณ์ (Full Annealing) การชุบแข็ง (Hardening) การชุบแข็งและอบคืนตัว (Hardening & Tempering) เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของกระบวนการทางความร้อนที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า AISI 1045 หลังการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

2. การออกแบบเครื่องมือ

ในการศึกษาทดลองนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องกลึงยืนศูนย์เป็นเครื่องเชื่อมเสียดทาน โดยทำการออกแบบหัวจับชิ้นงานและระบบเพิ่มแรงดันในการอัดชิ้นงานด้านที่ไม่หมุนด้วยชุดไฮดรอลิค เพื่อช่วยเพิ่มแรงดันในการเสียดทานและแรงดันในการอัด การนำเครื่องกลึงยืนศูนย์มาประยุกต์ใช้ในการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานดังรูปที่ 1 นอกจากจะสามารถกำหนดความเร็วรอบในการหมุนได้แล้ว การหยุดชิ้นงานในทันทีทันใดก็มีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง ต้องอาศัยเครื่องกลึงที่ใช้มอเตอร์ชนิดมีเบรคแบบระบบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Brakes Motor) ทำให้หยุดหัวจับได้โดยทันที หากไม่ทำการหยุดหัวจับโดยทันทีแรงเฉื่อยของหัวจับจะทำให้ชิ้นงานที่ผสานเชื่อมติดกันแล้วนั้นบิดหรือหลุดออกจากกันมากที่สุด



รูปที่ 1 เครื่องเชื่อมเสียดทานที่ใช้ในการทดลอง และวงจรการทำงาน [7]

3. วิธีการทดลอง

เตรียมชิ้นงานทดลองเหล็กกล้า AISI 1045 ที่มีคุณสมบัติทางกลดังตารางที่ 1 และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร นำมาตัดให้ได้ความยาว 100 มิลลิเมตร ผิวด้านหน้าถูกทำให้เรียบด้วยการกลึงปาดหน้า การกำหนดเงื่อนไขในการทดลองถูกกำหนดไว้ 6 เงื่อนไข ดังตารางที่ 2

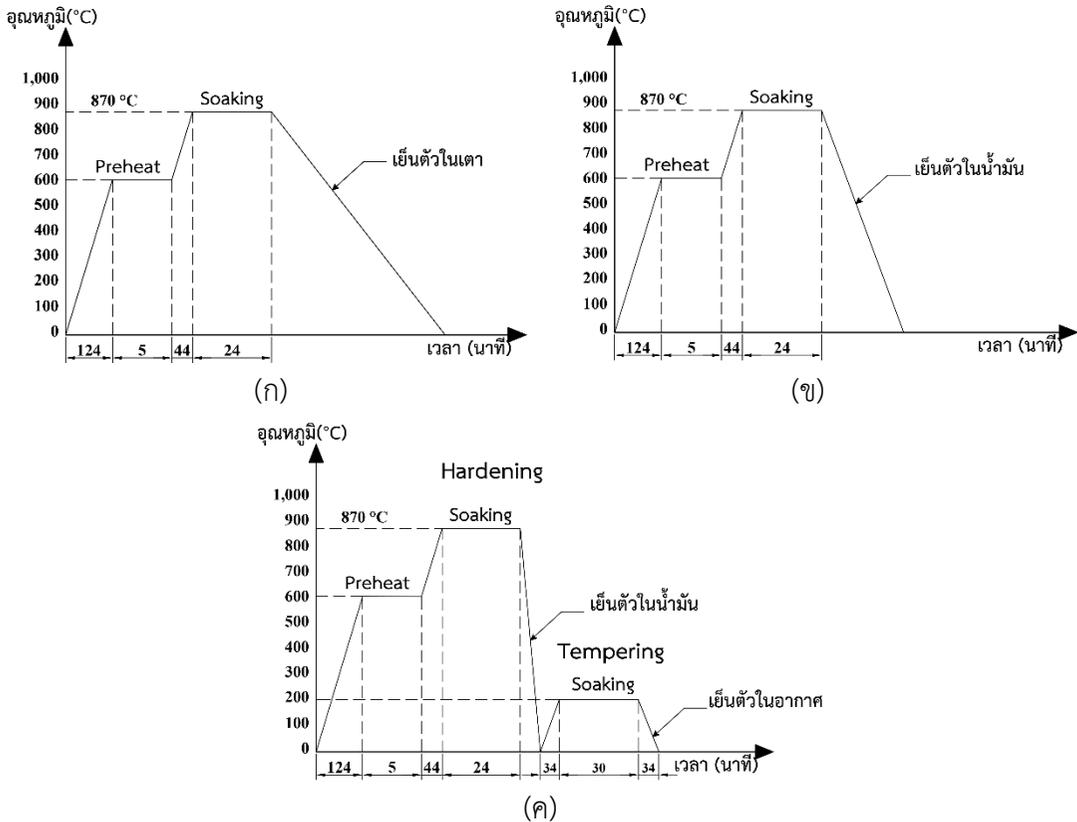
ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า AISI 1045

ทดสอบ	ก่อนการอบ
Hardness, Brinell	187
Hardness, Knoop	209
Hardness, Rockwell B	90
Hardness, Rockwell C	10.0
Hardness, Vickers	196
Tensile Strength, Ultimate	662.93 MPa
Tensile Strength, Yield	585 MPa
Elongation at Break	12.0 %
Reduction of Area	35.0 %
Modulus of Elasticity	200 GPa
Bulk Modulus	140 GPa
Machinability	56 %
Shear Modulus	80.0 GPa

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการทดลอง

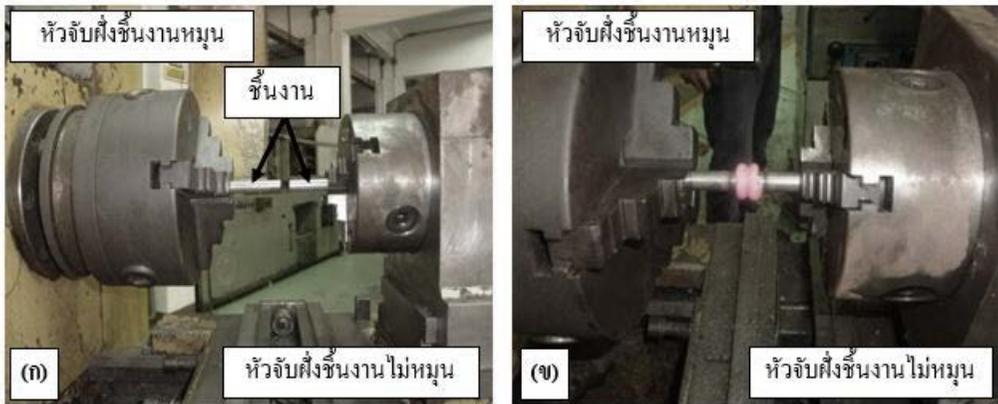
รายการ	เงื่อนไข
ความเร็วรอบ	1,800 rpm
แรงดันในการเสียดทาน	1.4 MPa
เวลาในการเสียดทาน	4 sec
เวลาในการอัด	2 , 3 และ 4 sec
แรงดันในการอัด	20, 30 และ 40 Bar
กระบวนการทางความร้อน	Full Annealing, Hardening, และ Hardening & Tempering

นำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปผ่านกระบวนการทางความร้อนตามอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกรรมวิธีอบชุบแบบ Full Annealing, Hardening, และ Hardening & Tempering ดังรูปที่ 2 (ก), (ข), (ค) ตามลำดับ จากนั้นทำการเชื่อมเสียดทานตามตัวแปรที่กำหนด โดยจับยึดชิ้นงานไว้บนหัวจับทั้งสองด้านบนเครื่องเชื่อมเสียดทาน ดังรูปที่ 3 (ก) จากนั้นทำการเชื่อมชิ้นงานเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3 (ข) เมื่อทำการเชื่อมเสร็จเรียบร้อยแล้วปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในอากาศ

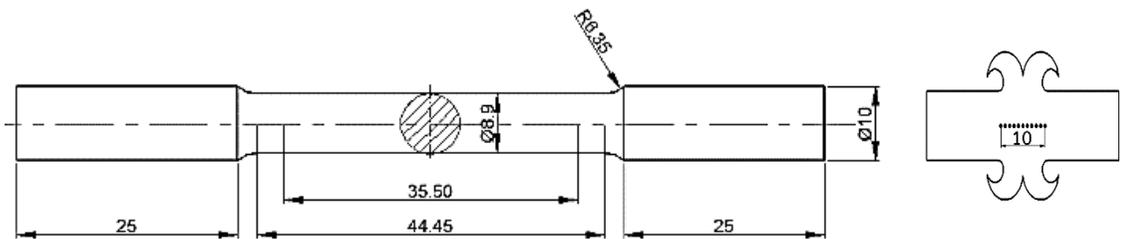


รูปที่ 2 โดอะแกรมความสัมพันธ์เวลาและอุณหภูมิในกรรมวิธีการอบชุบ (ก) แบบ Full Annealing, (ข) แบบ Hardening, (ค) แบบ Hardening & Tempering

เมื่อได้ชิ้นงานที่ทำการเชื่อมตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้ว ทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 - 04 [8] และเตรียมทดสอบความแข็งบริเวณรอยเชื่อมตามตำแหน่งที่กำหนดดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 การเชื่อมชิ้นงานด้วยเครื่องเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน



รูปที่ 4 การเตรียมชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึง และความแข็ง

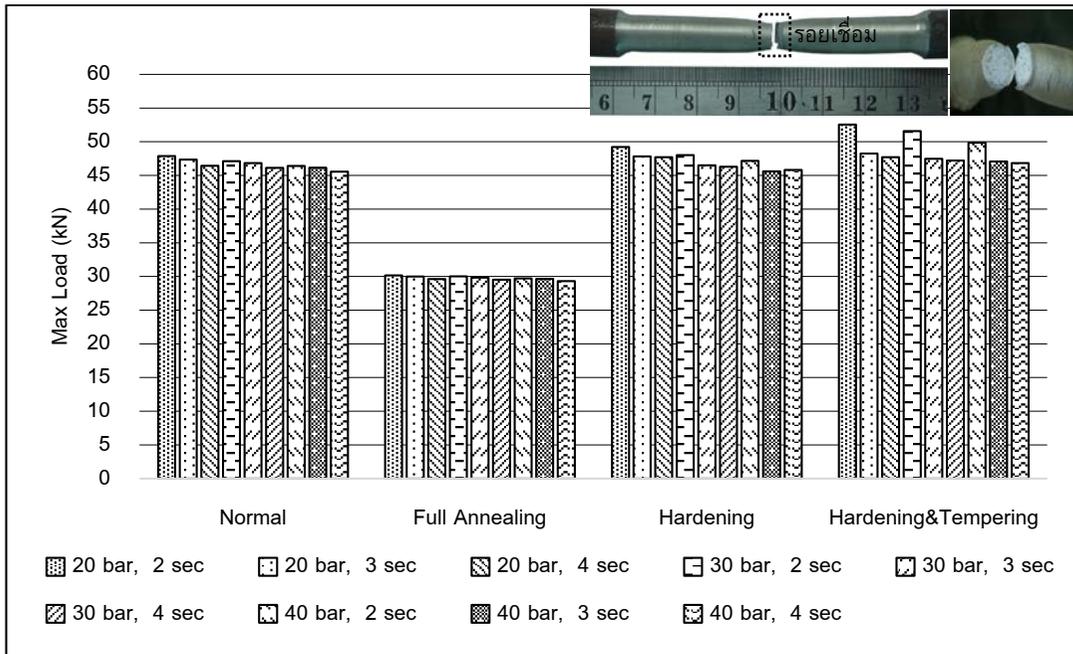
4. ผลการวิเคราะห์

จากการทดลองที่ได้เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผล พบว่าผลที่ได้มีความแตกต่างกันไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

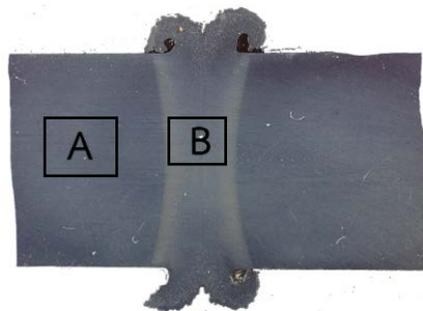
4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึง

จากการทดสอบแรงดึงเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของชิ้นงานนั้น พบว่าการแตกหักของชิ้นงานจะขาดบริเวณรอยเชื่อมทุกเงื่อนไขการทดลอง จากผลการทดสอบเห็นได้ชัดถึงคุณสมบัติทางกลของรอยเชื่อม โดยเฉพาะชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบแบบ Full Annealing ก่อนการเชื่อม ชิ้นงานมีค่าการทดสอบแรงดึง อยู่ระหว่าง 29.3 – 30.1 kN ต่ำกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบชุบประมาณ 36 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 5 แต่อย่างไรก็ดีชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบแบบ Hardening & Tempering ก่อนการเชื่อมนั้น มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด โดยเฉพาะที่แรงดัน 20 Bar และเวลาในการเชื่อม 2 วินาที มีค่าความต้านทานแรงดึง 52.56 kN ซึ่งสูงกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบชุบ 8.9 % จากการทดลองพบว่าการเพิ่มเวลาในการเชื่อมชิ้นงานส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานลดลง และจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ณ ตำแหน่ง A ที่เป็นบริเวณชิ้นงานเดิม

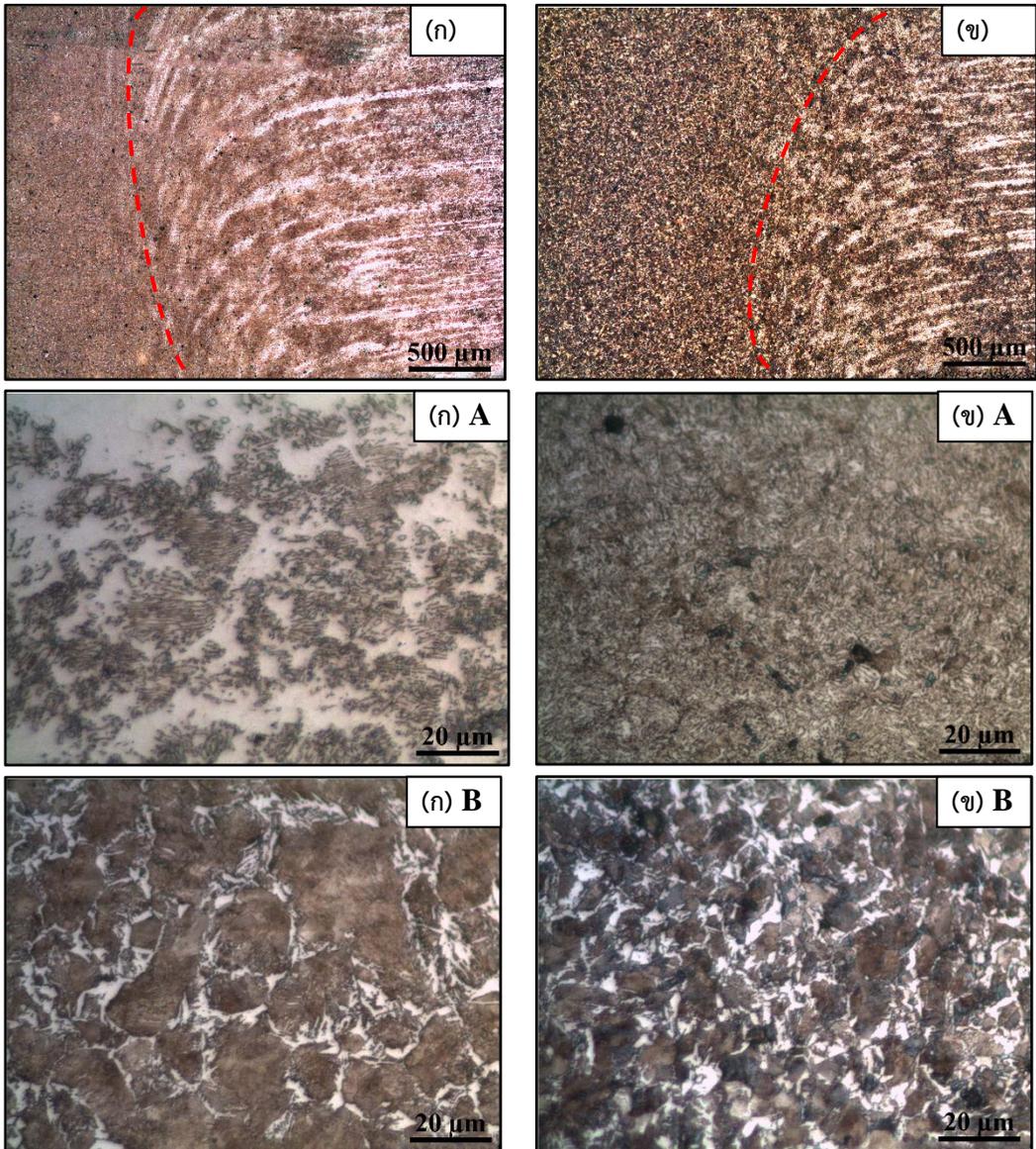
และตำแหน่ง B ที่เป็นบริเวณกระทบร้อนดังรูปที่ 6 ชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบแบบ Full Annealing ที่เป็นการทำให้เหล็กอ่อนลง โครงสร้างภายในก็จะกลับสู่สภาพใกล้เคียงสมดุล โครงสร้างที่เป็นอยู่เดิม หรือเป็นเฟอร์ไรท์ และเพอร์ไรท์ [9] และมีขนาดเกรนโตเมื่อเทียบกับ ชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบแบบ Hardening ก่อนการเชื่อม ดังรูปที่ 7



รูปที่ 5 ผลการทดสอบแรงดึง



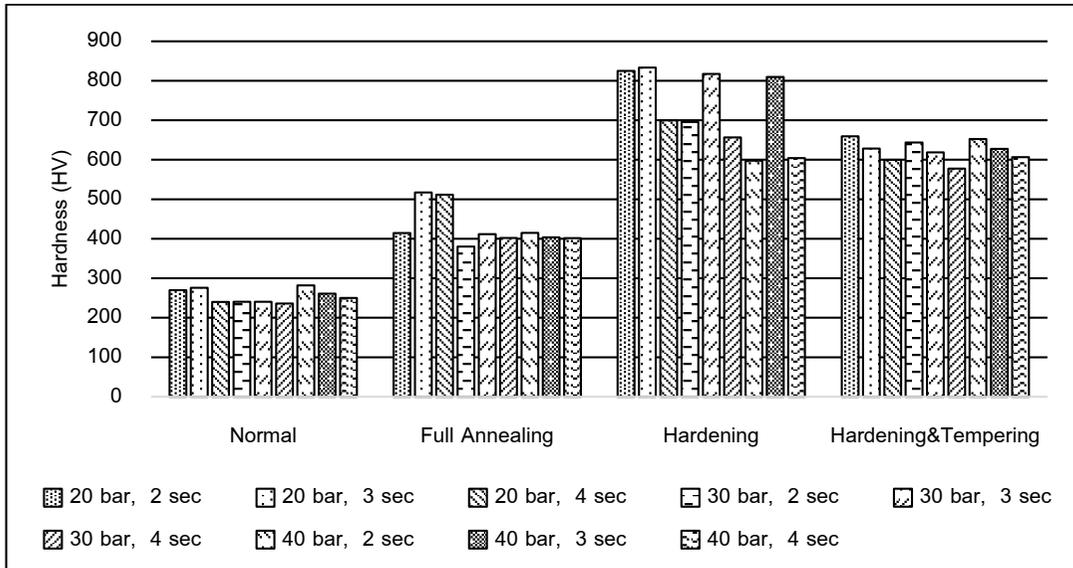
รูปที่ 6 ตำแหน่งตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค



รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานที่ผ่านการอบชุบ (ก) แบบ Full Annealing (ข) แบบ Hardening

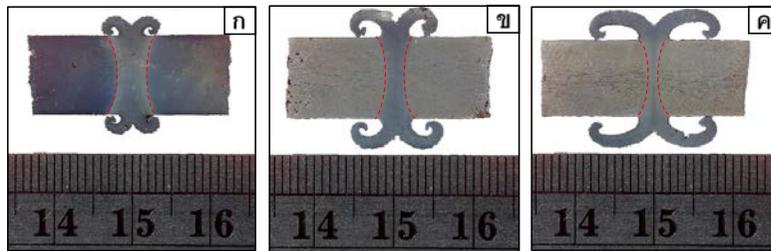
4.2 ผลการวิเคราะห์ความแข็ง

ความสัมพันธ์ของค่าความแข็งระหว่างแรงดันและเวลาที่อุณหภูมิปกติและผ่านกรรมวิธีการอบชุบ Full Annealing, Hardening และ Hardening & Tempering ที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็กกล้า AISI 1045 ด้วยแรงเสียดทาน สามารถนำเสนอเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลการทดสอบความแข็ง

ความแข็งบริเวณรอยเชื่อมของชิ้นงานที่อุณหภูมิปกติมีค่าน้อยกว่าชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีอบชุบแบบ Full Annealing, Hardening และ Hardening & Tempering อยู่ที่ 42 – 67 เปอรี่เซ็นต์ โดยประมาณ และจะเห็นได้ว่าชิ้นที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบแบบ Hardening ที่แรงดันต้น 20 บาร์ เวลา 3 วินาที มีค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมสูงสุด 833.5 HV เนื่องจากเหล็กกล้า AISI 1045 ที่ผ่านกรรมวิธีอบชุบแบบ Hardening จะทำให้ขนาดเกรนมีความละเอียดมากขึ้น ดังรูปที่ 7 (ข) A เมื่อนำไปเชื่อมที่แรงดันและเวลาที่เหมาะสมจะทำให้บริเวณรอยเชื่อมมีเกรนละเอียด ดังรูปที่ 7 (ข) B ทำให้มีค่าความแข็งสูง อย่างไรก็ตามค่าความแข็งจะลดลงเมื่อแรงดันและเวลาในการเชื่อมสูงขึ้น เนื่องจากความกว้างของรอยเชื่อมลดลงเมื่อเวลาและแรงดันในการอัดเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 9 เนื้อวัสดุที่กำลังอ่อนตัวจากความร้อนในขณะที่เสียดทาน เมื่อได้รับแรงดันในการอัดเนื้อวัสดุจะเคลื่อนที่ออกสู่พื้นที่ว่างรอบนอกบริเวณรอยต่อจนจนเกิดเป็นครีบริบของรอยเชื่อม ที่เวลาและแรงดันต่ำความกว้างบริเวณรอยเชื่อมจะมากและครีบริบน้อย ดังรูปที่ 9 (ก) เมื่อเวลาและแรงดันสูงขึ้นจะส่งผลให้ความกว้างบริเวณรอยเชื่อมลดลงและครีบริบสูงขึ้น ดังรูปที่ 9 (ข) และ (ค) ซึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความแข็งบริเวณรอยเชื่อมลดลง



รูปที่ 9 ความกว้างของรอยเชื่อมชิ้นงานที่เงื่อนไขการทดลองเวลาและแรงดันในการอัดต่าง ๆ (ก) 2 วินาที; 2 MPa, (ข) 3 วินาที; 3 MPa, (ค) 4 วินาที; 4 MPa

5. สรุปผลการดำเนินการ

การนำเหล็กกล้า AISI 1045 ไปผ่านกรรมวิธีการอบชุบแบบ Full Annealing ก่อนการเชื่อมจะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมลดลง 36 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามชิ้นงานที่ปกติและที่ผ่านกรรมวิธีอบชุบแบบ Hardening และ Hardening & Tempering มีค่าความต้านทานแรงดึงไม่ต่างกันมาก ชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีอบชุบแบบ Hardening & Tempering มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 52.56 kN ที่แรงดัน 20 Bar และเวลาในการเชื่อม 2 วินาที ซึ่งจุดขาดที่เกิดจากการทดสอบความต้านทานแรงดึงจะขาดที่บริเวณแนวเชื่อมทั้งหมด ในส่วนของการทดสอบความแข็งบริเวณรอยเชื่อม พบว่าการนำชิ้นงานไปผ่านกรรมวิธีการอบชุบส่งผลให้ความแข็งบริเวณรอยเชื่อมสูงขึ้น 42 – 67 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ ซึ่งชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีอบชุบแบบ Hardening มีค่าความแข็งสูงสุด 833.5 HV ที่ดัน 20 บาร์ และเวลา 3 วินาที

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มทร.ล้านนา งบประมาณประจำปี 2559 ขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

References

- [1] Mathurosemontri, C. et al. (2001). **Manufacturing processes**. Bangkok. Vocation Extension Center. (In Thai)
- [2] Choopava, C. and Thinongpituk, C. (2009). "The influence of friction time and upset pressure on the strength of low carbon steel rods welded by friction welding". **The**

- Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand.** 4-7 November 2009. Chiang Mai. Thailand. (In Thai)
- [3] Sahin,A.Z., Yibas, B.S., Ahmed, M., Nickel, J.,(1998). “Analysis of the friction welding process in relation to the welding of copper and steel bars”. **Journal of Materials Processing Technology.** No 82: pp.127–136.
- [4] Sahin, M. (2005). “Joining with friction welding of high-speed steel and medium-carbon steel”. **Journal of Materials Processing Technology.** No 168: pp.202-210.
- [5] Kongsib, J. Torsakul, S. (2012). “The influence of the annealing effect on the AISI 1045 steel by friction welding”. **9 th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference** 6-7 December 2012. Nakhon Pathom. Thailand. pp.291-297. (In Thai)
- [6] K.H. Song, K. Nakata, (2010). “Microstructural and mechanical properties of friction-stir-welded and post-heat-treated Inconel 718 alloy”. **Journal of Alloys and Compounds.** pp.144-150.
- [7] Mumin Sahin, (2007). “Evaluation of the joint - interface properties of austenitic - stainless steel (AISI 304) joined by friction welding” **Materials Characterization.** Vol. 28: pp. 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] Sathirachinda, M. (1997). **Iron & Steel Heat-Treatment Engineering.**The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King’s Patronage. Bangkok. Chulalongkorn University Publisher. No 6: pp.65-68. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



พุทธสายัน นราพินิจ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 128 ถนนห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300 โทรศัพท์: 08-7191-9764 E-Mail: put_narapinija@hotmail.com



สมหมาย สารมาท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 128 ถนนห้วยแก้ว อ.เมือง จ. เชียงใหม่ 50300 โทรศัพท์: 053-921444 E-Mail : saramath@rmutl.ac.th



ศิริชัย ต่อสกุล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก (คลองหก) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 08-1701-6136 E-Mail: sirichai.to@en.rmutt.ac.th