

อิทธิพลของการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนหลังการเชื่อมต่อสมบัติทางกล
ของโลหะเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็กกล้าคาร์บอน

Post Weld Heat Treatment affecting Mechanical Properties
of Hard-faced Weld Metal on Carbon Steel Surface

ไพบูลย์ แยมเพื่อน * วรญา วัฒนจิตสิริ และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 E-mail: paiboon.y@en.rmutt.ac.th* โทรศัพท์ 02-549-4416

Paiboon Yaemphuan * Voraya Wattanajitsiri and Kittipong Kimapong

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Klong-hok, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand.

E-mail: paiboon.y@en.rmutt.ac.th* Tel: 02-549-4416

บทคัดย่อ

การเชื่อมพอกแข็งเป็นหนึ่งในวิธีการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเกษตรที่มีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามการเชื่อมโลหะมักก่อให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของสมบัติทางกลระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐาน ด้วยเหตุนี้หากชิ้นงานเชื่อมถูกนำไปทำการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนอาจทำให้สมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อมเพิ่มขึ้นได้ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกลของแนวเชื่อมก่อนและหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนของโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสต่ำ 90 A ทำให้เกิดการแตกร้าวในโลหะเชื่อม การปรับปรุงด้วยความร้อนหลังการเชื่อมส่งผลทำให้ความแข็งแรงและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมพอกแข็งลดลง อัตราการสึกหรอของชิ้นงานปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนมีค่าต่ำกว่าชิ้นงานในสภาพเชื่อมและมีค่าประมาณ 0.71%

คำสำคัญ : การเชื่อมพอกแข็ง, การปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน, การสึกหรอ

Abstract

Hard-facing welding was one of the maintenance processes for improving the agricultural machine part. However, the welding always produced an identical mechanical property between a welded metal and a base metal. So, if the welded specimen was heat-treated, the mechanical property of the welded specimen might be

improved. This research aimed to comparative study of the specimen mechanical property of the pre- and post-weld heat treatment. The summarized results were as follows. The heat treatment of the weld metal that produced at low welding current of 90A produced a crack in the weld metal. The post weld heat treatment affected to decrease the hardness and the wear resistance of the hard-facing weld metal. Wear resistance of the heat treated specimen was lower than that of the as-welded specimen and was about 0.71%.

Keywords : hard-facing welding, heat treatment, wear

1. บทนำ

เครื่องจักรกลเกษตรเป็นเครื่องมือในการท่นแรงเกษตรกรในการทำการเกษตร และทำให้ระยะเวลาในการทำการเกษตรลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อเครื่องจักรกลเกษตรถูกใช้งานในพื้นที่เกษตรกรรมเป็นระยะเวลายาวนานขึ้น เครื่องจักรกลเกษตรมักเกิดการเสื่อมสภาพลง ชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องจักรกลเกษตรนั้นมักเกิดการชำรุด เช่น การเกิดการกัดกร่อนของชิ้นส่วนโลหะกับความชื้นในบรรยากาศ การกัดเซาะระหว่างชิ้นส่วนโลหะกับของไหล หรือการสึกหรอระหว่างชิ้นส่วนโลหะกับสิ่งแวดล้อม เป็นต้น การเสื่อมสภาพเหล่านี้ส่งผลทำให้เกิดการซ่อมบำรุงขึ้น [1] ในอดีตที่ผ่านมาการซ่อมบำรุงเพื่อให้ชิ้นส่วนมีประสิทธิภาพกลับมาใช้งานใหม่ได้หลายวิธีการ อย่างไรก็ตามการเชื่อมอาร์กคลวดหุ้มฟลักซ์ (Shielded metal arc welding: SMAW) เป็นวิธีการที่นิยมในการเพิ่มเนื้อโลหะบริเวณที่หลุดออกไปด้วยแรงทางกล วิธีการเชื่อมนี้มีการใช้งานอย่างกว้างขวางเนื่องจากเป็นวิธีการที่ประหยัด และสามารถจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ง่าย การเชื่อมซ่อมพอกผิวแข็งบนเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยวิธีการเชื่อมอาร์กคลวดหุ้มฟลักซ์นี้มีรายงานการศึกษาว่าสามารถทำการเชื่อมซ่อมเหล็กกล้าคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนดำโดยใช้ลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของตัวประสานภายในของคาร์โบไนไตรต์ที่แสดงให้เห็นว่าคาร์โบไนไตรต์มีผลต่อความแข็งแรงและความต้านทานการสึกหรอของผิวพอกแข็ง [2] หรือการพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนโดยการเชื่อมทับแนวรวม 4 ชั้น ที่พบว่าค่าความแข็งแรงสูงของผิวพอกแข็งสูงที่เกิดจากการเติมโบรอนลงในโลหะพอกผิวแข็งทำให้อัตราการสึกหรอของผิวพอกแข็งมีค่าต่ำ [3] หรือการเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็กกล้าคาร์บอน 1020 ด้วยลวดเชื่อมกลุ่มมีเหล็กเป็นหลัก 4 ชนิด ที่พบความแข็งแรงของผิวพอกแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเฟส Fe-Ti Fe-V Fe-Mo และกราฟไฟท์เพิ่มขึ้น [4] เป็นต้น

ในการนำผิวพอกแข็งที่ได้จากการเชื่อมไปใช้งานทันที ความไม่สม่ำเสมอของสมบัติทางกลของโลหะเชื่อมและโลหะฐาน เช่น ความแข็ง และความเค้นสูงกว่าบริเวณโลหะหลัก (Base metal) ด้วยเหตุนี้หากมีการปรับปรุงสมบัติทางกลให้มีความสม่ำเสมออาจสามารถทำให้ชิ้นส่วนเครื่องจักรเกษตรที่ผ่านการเชื่อมซ่อมมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นได้ ที่ผ่านมานี้เชื่อมต่างๆ ถูกนำไปทำการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนทำให้ได้ชิ้นงานที่สมบัติทางกลถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น เช่น การอบชุบหลังการเชื่อมไททานเนียมผสมด้วยและให้เย็นตัวในอากาศทำให้ปรับปรุงความเหนียว (Ductility) ดีขึ้น การปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนทำให้เกิดโครงสร้างเข็มละเอียดและกลม

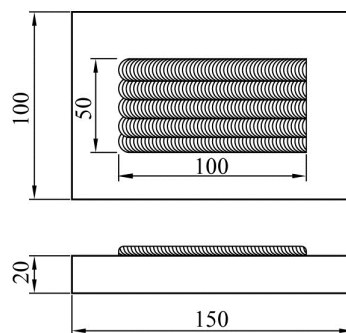
มน (fine equiaxed structure) ในพื้นที่การเชื่อม และมีแนวโน้มที่ทำให้เกิดโครงสร้างที่สามารถกำจัดความเค้นทำให้เกิดการเพิ่มความเหนียวได้ รูปแบบการพังทลายเกิดการเปลี่ยนแปลงจากแบบเหนียว-เปราะเป็นแบบเหนียวในที่สุด [5] หรือเหล็กกล้าแรงรถไฟ UIC860 S49 [6] ล้วนแต่ทำให้เกิดการปรับปรุงสมบัติทางกล เช่น ความแข็งแรง ความแข็งแรงคราก ความแข็งแรงสูงสุด ความต้านทานการกัดกร่อน มีค่าสูงขึ้น การอบชุบหลังการเชื่อมทำให้ได้โครงสร้างที่มีความละเอียดกลมมน และส่งผลให้โลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของการพังทลายเป็นแบบเหนียว

ข้อมูลงานวิจัยข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการอบชุบหลังการเชื่อมโลหะเชื่อมพอกแข็งบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน JIS-S50C โดยการอบชุบที่ประกอบด้วย การอบอ่อน การชุบแข็ง และการอบคืนไฟ เพื่อจุดประสงค์หลักในการปรับปรุงสมบัติทางกลของโลหะเชื่อมพอกแข็งให้ดีขึ้น และทำให้เกิดความสม่ำเสมอบนชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน JIS-S50C โลหะเชื่อมพอกแข็งที่ได้ถูกนำไปทำการตรวจสอบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค และนำไปทำการเปรียบเทียบกับชิ้นทดสอบในสภาพเชื่อมก่อนการอบชุบ ผลการทดลองที่ได้สามารถถูกใช้เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในประยุกต์ใช้ในอนาคตได้

2. วิธีการวิจัย

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทดลอง

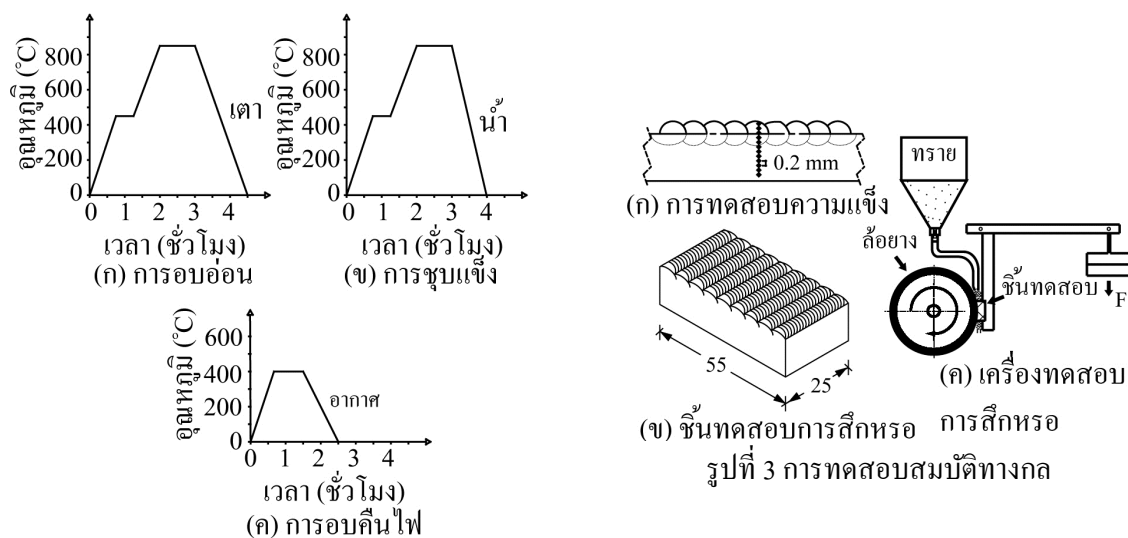
วัสดุ	ส่วนผสมทางเคมี (% น้ำหนัก)					
	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr
เหล็กกล้า	0.52	0.35	0.99	0.04	0.04	0.20
ลวดเชื่อม	0.45	0.50	1.15	0.60	-	5.00



รูปที่ 1 มิติชิ้นทดสอบ (หน่วย: mm.)

การศึกษาวิจัยนี้ใช้วัสดุในการทดลอง คือ เหล็กกล้าคาร์บอน JIS-S50C ที่มีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 ชิ้นงานมีขนาดกว้าง 100 mm ยาว 150 mm และหนา 20 mm ซึ่งเป็นชิ้นงานมาตรฐานสำหรับการทดสอบการเชื่อมพอกแข็งตามมาตรฐาน JIS Z3114 [7] และได้ถูกทำการเชื่อมลงบนผิวหน้าแผ่นเหล็กกล้าโดยขอบเขตของแนวเชื่อมกว้าง 50 mm และ 100 mm ดังรูปที่ 1 (ก) กรรมวิธีการเชื่อมที่ใช้ในการพอกผิวแข็งในการทดลองคือ การเชื่อมอาร์กโลหะหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding : SMAW) และกำหนดให้มีอุณหภูมิการอุ่นชิ้นงาน (Pre-heat temperature) ก่อนการเชื่อมที่ 150°C และอุณหภูมิระหว่างเที่ยวเชื่อม (Interpass temperature) ที่ 150°C ทิศทางการเชื่อมขนานกับด้านความยาวของแผ่นเหล็ก พื้นที่การเชื่อมกระทำในพื้นที่ 50×100 mm² ดังรูปที่ 1 ลวดหุ้มฟลักซ์ที่ใช้ คือ ลวดพอกผิวแข็ง (Hard-facing layer electrode) ที่มีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 และกำหนดกระแสเชื่อม 90 105 120 และ 135A โดยช่างเชื่อมที่ผ่านการสอบวัดฝีมือจากสถาบันพัฒนาฝีมือและแรงงาน

กระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคมในระดับที่ 1 ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มสภาพเชื่อม และกลุ่มที่ 2 คือการอบชุบด้วยความร้อน โดยกลุ่มที่ 2 ถูกนำไปทำการอบอ่อน (Annealing) การชุบแข็ง (Hardening) และการอบคืนไฟ (Tempering) ดังวิธีการดังรูปที่ 2



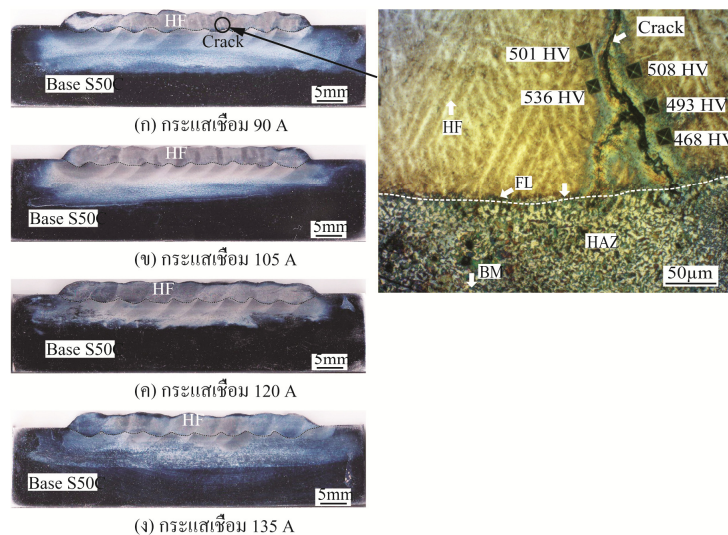
รูปที่ 2 แผนภูมิขั้นตอนการอบชุบด้วยความร้อน

ชิ้นงานที่ได้ทั้ง 2 กลุ่ม ถูกนำมาตัดที่กึ่งกลางด้านความยาวของชิ้นทดสอบในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเดินแนวเชื่อม ชิ้นงานที่ได้จากการตัดละเอียดแบบมีน้ำหล่อเย็นถูกนำมาทำการขัดชิ้นงานเพื่อการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาจนกระทั่งมีผิวมันวาวคล้ายกระจก และทำการกัดผิวหน้าด้วยสารละลาย 5% ไนตรัล เพื่อแสดงขอบเกรนและรายละเอียดเกรนบริเวณโลหะเชื่อม พื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone:HAZ) และโลหะฐาน (Base metal) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง หลังจากทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงานถูกนำมาทำการทดสอบความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์สด้วยแรงกด 1 kgf เวลาในการกดแช่ 10 วินาที และมีระยะห่างระหว่างจุดทดสอบความแข็ง 0.2 mm ดังรูปที่ 3 (ก) การทดสอบอัตราการสึกหรอทำได้โดยการเตรียมชิ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3 (ข) และทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G65 ดังรูปที่ 3 (ค) สถานะการทดสอบประกอบด้วยผงขัด คือ ทรายทะเลขนาด 200-300 ไมโครเมตร อัตราการไหลของผงขัด 390 กรัมต่อนาที ความเร็วรอบของล้อยาง 200 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการทดสอบ 30 นาที [8]

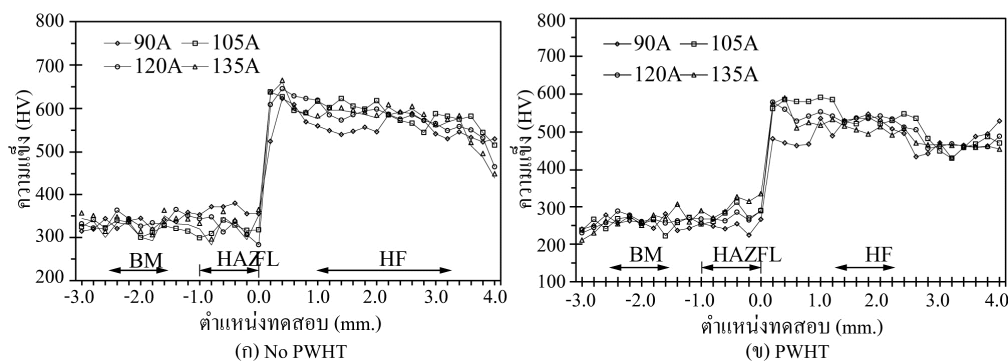
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

รูปที่ 4 แสดงการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 90-135A พบว่า ลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งมีความสมบูรณ์ไม่พบ

จุดบกพร่องใดๆ ที่กระแสเชื่อม 105-135A แต่พบจุดบกพร่องที่กระแสเชื่อม 90A แสดงดังลูกศรชี้ในรูปที่ 4 (ก) พบรอยแตกร้าวจากด้านบนผิวพอกแข็งยาวลงมาถึงบริเวณเส้นหลอมละลาย แสดงภาพขยายของรอยแตกร้าวและเมื่อสังเกตรอยแตกร้าวที่ผ่านการกัดกรดผิวหน้า พบว่ารอยแตกร้าวของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งเกิดขึ้น มีทิศทางตามแนวยาวตามขอบเขตรอยต่อของเกรนเดนไดรต์ [9] จากนั้นทำการทดสอบความแข็งใกล้เคียงกับบริเวณรอยแตกร้าวห่างจากเส้นหลอมละลายประมาณ 100-200 μm เพื่อดูค่าความแข็งเฉลี่ยของรอยแตกร้าว พบว่ามีค่าความแข็งเฉลี่ยของรอยแตกร้าวมีค่าความแข็งประมาณ 501 HV ขณะที่ทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งแบบมีชั้นรองพื้นที่กระแสเชื่อม 105-135A พบว่า ลักษณะของแนวเชื่อมและรอยต่อระหว่างชั้นพอกผิวแข็งมีความสมบูรณ์ไม่ปรากฏจุดบกพร่องใดๆ เกิดขึ้นบนแนวเชื่อมดังรูปที่ 4 (ข)-(ง)

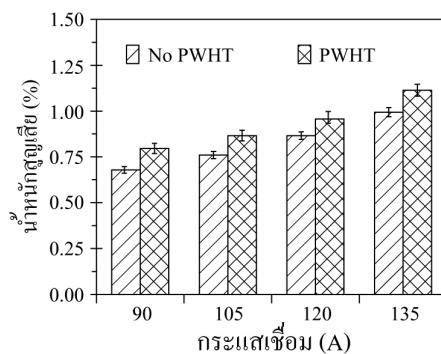


รูปที่ 4 โครงสร้างมหภาคโลหะเชื่อมพอกผิวแข็ง



รูปที่ 5 การทดสอบค่าความแข็ง

การเปรียบเทียบการทดสอบความแข็งของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่กระแสเชื่อม 90-135A ดังรูปที่ 5 พบว่าที่บริเวณโลหะฐาน (BM) มีค่าความแข็งประมาณ 250-300HV และเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณกระตบร้อน (HAZ) มีค่าความแข็งโดยรวมประมาณ 300-350 HV แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบแต่ละกระแสเชื่อมพบว่า ขณะที่ความแข็งบริเวณเส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย (FL) มีแนวโน้มของค่าความแข็งสูงขึ้น และเมื่อทำการทดสอบความแข็งที่ตำแหน่งเข้าใกล้บริเวณชั้นพอกผิวแข็ง (HF) พบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นดังรูปที่ 5 (ก) ที่ตำแหน่ง 0.2-1.2 mm มีค่าความแข็งประมาณ 600-650HV แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบที่กระแสเชื่อมต่างๆ พบว่า ที่กระแสเชื่อม 90A มีค่าความแข็งสูงกว่ากระแสเชื่อม 105-135A และเมื่อทำการทดสอบที่บริเวณชั้นพอกผิวแข็งจนถึงขอบผิวชั้นพอกผิวแข็งตำแหน่งสุดท้ายพบว่าค่าความแข็งทุกกระแสเชื่อมมีแนวโน้มลดลงจากเดิม 600 HV จนถึงค่าความแข็ง 500HV ดังรูปที่ 5 (ก) และการเปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน คือ การอบอ่อน การชุบแข็ง และการอบคืนไฟ ของการเชื่อมพอกผิวแข็ง พบว่าค่าความแข็งบริเวณโลหะชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแล้วนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนมีค่าความแข็งประมาณ 300 HV และเมื่อทำการทดสอบเข้าใกล้บริเวณกระตบร้อนพบว่ามีค่าความแข็งใกล้เคียงกับโลหะชิ้นงานแต่เมื่อทดสอบถึงบริเวณตำแหน่งเส้นแบ่งเขตการหลอมละลายพบว่าค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 135A มีค่าความแข็งต่ำกว่ากระแสเชื่อม 90 105 และ 120A และเมื่อทดสอบที่บริเวณเริ่มต้นของชั้นพอกผิวแข็งพบว่ามีค่าความแข็งสูงเพิ่มขึ้นมีค่าประมาณ 470-600A เมื่อเทียบกับค่าความแข็งของชิ้นงานที่ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนบริเวณโลหะเชื่อมมีค่าความแข็งสูงกว่าประมาณ 50 HV ดังรูปที่ 5 (ก) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดสอบเข้าบริเวณขอบชั้นพอกผิวแข็งจนถึงจุดสุดท้ายพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงทุกกระแสเชื่อมดังรูปที่ 5 (ข)



รูปที่ 6 การทดสอบอัตราการสึกกร่อน

ผลการทดสอบอัตราการสึกกร่อนเปรียบเทียบระหว่างการเชื่อมแบบพอกผิวแข็งที่กระแสเชื่อม 90-135 A ดังรูปที่ 6 พบว่า การทดสอบอัตราการสึกกร่อนของผิวพอกแข็งที่กระแสเชื่อมเริ่มต้น 90 A มีอัตราการสูญเสียมวลน้ำหนักของชิ้นทดสอบประมาณ 0.67 % ขณะที่ทำการทดสอบอัตราการสึกกร่อนของผิวพอกแข็งที่กระแสเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นคือ 105-120 A พบว่า อัตราการสึกกร่อนของผิวพอกแข็งมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมวลน้ำหนักของโลหะ

เชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อทำการทดสอบอัตราการสึกกร่อนของชิ้นผิวพอกแข็งที่กระแสเชื่อมสุดท้ายคือ 135 A พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมวลน้ำหนักของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่าการสูญเสียมวลของน้ำหนักของโลหะเชื่อมอยู่ที่ 0.99% และอัตราการสึกกร่อนผ่านกระบวนการทางความร้อนที่กระแสเชื่อมระหว่าง 90-135A พบว่า เมื่อทำการทดสอบอัตราการสึกกร่อนที่กระแสเชื่อมเริ่มต้น 90A ชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนให้ค่ามวลของน้ำหนักที่สูญเสีย 0.79 % และเมื่อทำการทดสอบอัตราการสึกกร่อนของกระแสเชื่อม 105 และ 120 A ของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็ง พบว่ามวลของน้ำหนักที่สูญเสียของการเชื่อมพอกผิวแข็งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อทำการสังเกตเปรียบเทียบกราฟของการสูญเสียมวลของน้ำหนักของชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนดังรูปที่ 6 (ก) และ (ข) พบว่าสถานะของการเชื่อมพอกผิวแข็งโดยไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนให้อัตราการสึกกร่อนมีแนวโน้มที่ดีกว่า ค่าความแข็งอาจจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและการสูญเสียน้ำหนักในรูปแบบของอัตราสึกกร่อน ที่แสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งของโลหะเชื่อมพอกผิวแข็งสามารถประเมินของความต้านทานการสึกกร่อน [10]

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 ชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน คือ การอบอ่อน การชุบแข็ง และอบคืนไฟที่ใช้กระแสเชื่อมต่ำก่อให้เกิดรอยแตกร้าวภายในแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง

4.2 ความร้อนหลังการเชื่อมส่งผลทำให้ค่าความแข็งของการเชื่อมพอกผิวแข็งมีค่าความแข็งต่ำกว่าการเชื่อมพอกผิวแข็งโดยไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน

4.3 อัตราการสูญเสียมวลน้ำหนักของการสึกกร่อนของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งที่ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนมีความต้านทานการสึกกร่อนต่ำกว่าชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน

4.4 ตัวแปรที่ให้ค่าความต้านทานการสึกกร่อนที่ดีที่สุด คือ การเชื่อมพอกผิวแข็งแบบไม่มีชั้นรองพื้นที่กระแสเชื่อม 90A โดยไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน มีอัตราการสูญเสียมวลของน้ำหนักของชิ้นทดสอบมีค่าประมาณ 0.71 %

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2558 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บรรณานุกรม

- [1] M. Dumovic. (2003). *Repair and Maintenance Procedures for Heavy Machinery Components*. Available: <http://www.jflf.org/pdfs/wi103/repair.pdf>

- [2] S. Selvi, S. P. Sankaran, and R. Srivatsavan, "Comparative study of hardfacing of valve seat ring using MMAW process," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 207, pp. 356-362, 2008.
- [3] I. Hemmati, V. Ocelik, and J. T. M. De Hosson, "Dilution effects in laser cladding of Ni-Cr-B-Si-C hardfacing alloys," *Materials Letters*, vol. 84, pp. 69-72, 2012.
- [4] K. Yang, S. Yu, Y. Li, and C. Li, "Effect of carbonitride precipitates on the abrasive wear behaviour of hardfacing alloy," *Applied Surface Science*, vol. 254, pp. 5023-5027, 2008.
- [5] B. H. Tao, Q. Li, Y. H. Zhang, T. C. Zhang, and Y. Liu, "Effects of post-weld heat treatment on fracture toughness of linear friction welded joint for dissimilar titanium alloys," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 634, pp. 141-146, 2015.
- [6] N. Ilić, M. T. Jovanović, M. Todorović, M. Trtanj, and P. Šaponjić, "Microstructural and Mechanical Characterization of Postweld Heat-Treated Thermite Weld in Rails," *Materials Characterization*, vol. 43, pp. 243-250, 1999.
- [7] JIS-Z3114, "Welding," in *Method of hardness test for deposited metal*, ed. Tokyo: Japanese Standards Association, 1996, p. 3.
- [8] Y. Guo, A. Klink, C. Fu, and J. Snyder, "Machinability and surface integrity of Nitinol shape memory alloy," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 62, pp. 83-86, 2013.
- [9] K.-C. Tsai, S.-L. Jeng, and J.-Y. Huang, "Prevention of delayed cracking of iron based hardfacing welds," *Engineering Failure Analysis*, vol. 48, pp. 210-217, 2015.
- [10] S. Chatterjee and T. K. Pal, "Weld procedural effect on the performance of iron based hardfacing deposits on cast iron substrate," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 173, pp. 61-69, 2006.