



โครงสร้างจุลภาคและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนผิวเหล็กหล่อเทา FC25 Microstructure and Wear Resistance of Hard-facing Weld Metal on FC25 Grey Cast Iron Surface

ปราโมทย์ พูนนายม¹ ไพบูลย์ แยมเพื่อน¹ วรญา วัฒนจิตสิริ¹ สุรัตน์ ตรีวานพงค์¹ และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์¹

¹อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์คโลหะผสมที่มีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนผิวเหล็กหล่อเทา FC25 ผลการทดลองโดยสรุปพบว่า การเพิ่มกระแสเชื่อมและปริมาณของโครเมียมและคาร์บอนในโลหะเชื่อมส่งผลต่อการเพิ่มขนาดแนวเชื่อมและความหนาของชั้นหล่อขาวภายในแนวเชื่อมซึ่งส่งผลทำให้ความแข็งและความเปราะของโลหะเพิ่มขึ้นได้ การเพิ่มปริมาณของคาร์บอนและโครเมียมในลวดเชื่อมทำให้เกิดเฟสรูปร่างคล้ายเข็มซึ่งเป็นเฟสเสริมแรงในโลหะเชื่อม อย่างไรก็ตามการเพิ่มซิลิกอนในลวดเชื่อมทำให้สมบัติทางกลของโลหะเชื่อมลดลงเนื่องจากการลดลงของเฟสรูปร่างคล้ายเข็มในพื้นที่หลักโลหะเชื่อม ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด 0.0931% คือ กระแสเชื่อม 110A และลวดเชื่อม H600

คำสำคัญ: เหล็กหล่อเทา การเชื่อมพอกผิวแข็ง โครงสร้างจุลภาค การสึกหรอ

ABSTRACT

This paper aimed to study the effect of hard-facing welding on mechanical properties and microstructure of hard-facing weld metal on JIS-FC25 grey cast iron surface. The summarized results are as follows. Increase of the welding current and the content of Cr and C in the welding electrode affected to increase the welding bead size and the white cast layer that could increase the hardness and the brittleness of the weldment. Increase of chromium and carbon in the electrode produced the needle-like phase shape that was a reinforced phase in the weld metal. However, the increase of the silicon in the electrode deteriorated the mechanical properties of the weld because of it decreased the needle-like phase in the weld matrix. The optimized welding parameter that produced a minimum weight loss of 0.0931% was the welding current of 110A and the H600 electrode.

Keywords: grey cast iron, hard-faced welding, microstructure, wear

1. บทนำ

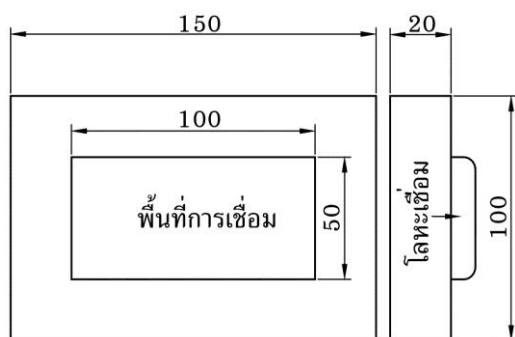
น้ำตาลทรายขาวเป็นผลิตภัณฑ์หลักของอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล โดยมีวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตคือ อ้อย ที่มาจากเกษตรกรชาวไร่อ้อยทั่วประเทศ ปริมาณการผลิตอ้อยของเกษตรกรชาวไร่อ้อยที่ส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวในแต่ละปีมีปริมาณค่อนข้างสูง ดังเห็นได้จากตัวเลขของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในปีการผลิต 2557/58 ฉบับปิดหีบที่มีปริมาณอ้อยสดจากเกษตรกรเข้าสู่กระบวนการผลิตรวมทั่วประเทศมากกว่า 3 หมื่นล้านตัน [1] โดยทั่วไป อ้อยที่เข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นอ้อยที่ไม่มีการคัดแยกสิ่งเจือปน เช่น กรวด ดิน หรือวัสดุที่มีความแข็งและน้ำหนักสูง ออกจากต้นอ้อย เนื่องจากเกษตรกรต้องการขายอ้อยที่มีน้ำหนักสูงสุด ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการเสียหายของชิ้นส่วนในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว เนื่องจากสิ่งปลอมปนที่มากับต้นอ้อยนั้นเมื่อหลุดเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป อาจส่งผลทำให้เกิดความเสียหายของผิวลูกหีบ หรือลูกรีดได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าว การซ่อมแซมลูกหีบ หรือลูกรีดจึงถูกดำเนินการ และโดยทั่วไปกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมที่มักถูกนำมาทำการซ่อมแซมคือ การเชื่อมซ่อม เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายต่อการปฏิบัติการและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการต่ำ

ที่ผ่านมา มีรายงานผลการทดลองการทำการเชื่อมพอกผิวแข็งโลหะที่ใช้ในการผลิตลูกหีบอ้อยที่สำคัญหลายงานดังนี้ การเชื่อมพอกผิวแข็งเชื่อมซ่อมเหล็กกล้าผสมต่ำความแข็งแรงสูง (High Strength Low Alloy: HSLA) โดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีการสร้างชั้นผิวและไม่มีชั้นผิว [2] หรือการเชื่อมอาร์กโลหะหุ้มฟลักซ์ (Shielded metal arc welding: SMAW) พอกผิวแข็งเหล็กหล่อเทาซึ่งเป็นหนึ่งในวัสดุทำลูกหีบอ้อย ที่พบการกระจายเฟสคาร์ไบด์ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น [3, 4] หรือการเชื่อมเหล็กกล้า ASTM 36 ด้วยลวดเชื่อมพอกผิวแข็ง Fe-40wt%Cr-xC ที่มีปริมาณคาร์บอนผสม 1.0-4.0wt% [5] หรือการเชื่อมอาร์กโลหะหุ้มฟลักซ์โดยใช้ลวดเชื่อมพอกผิวแข็งที่มีส่วนผสมหลักคือ นิกเกิล เชื่อมบนผิวเหล็กหล่อเหนียวโดยการทำการเชื่อมแนวเดียว (Single pass) และสองแนว (2 pass) [6] หรือการเชื่อมพอกผิวแข็งที่เชื่อมลงบนผิวเหล็กหล่อเทา ASTM2500 ที่แสดงอัตราการสึกหรอขึ้นกับสัดส่วนของคาร์ไบด์ในผิวพอกผิวแข็ง [7] เป็นต้น

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา การศึกษาและพัฒนาการเชื่อมอาร์กโลหะหุ้มฟลักซ์พอกผิวแข็งบนวัสดุลูกหีบอ้อยเหล็กหล่อเทา JIS-FC25 จึงต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของลวดหุ้มฟลักซ์ในการเชื่อมอาร์กโลหะหุ้มฟลักซ์ที่มีผลต่อสมบัติของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนพื้นผิวเหล็กหล่อเทา JIS-FC25 เช่น โครงสร้างจุลภาค ความแข็ง และความต้านทานการสึกหรอ เพื่อเตรียมข้อมูลตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้เป็นโลหะฐานคือ เหล็กหล่อเทา FC25 ที่มีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีขนาดความกว้าง 100 mm. ความยาว 150 mm. และหนา 20 mm. ดังรูปที่ 1 และมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 โดยผิวหน้าโลหะฐานได้ถูกทำการเจียรไนเพื่อปรับสภาพพื้นผิวให้มีความสม่ำเสมอ



รูปที่ 1 รูปร่างของชิ้นงานเชื่อม (หน่วย: mm.)

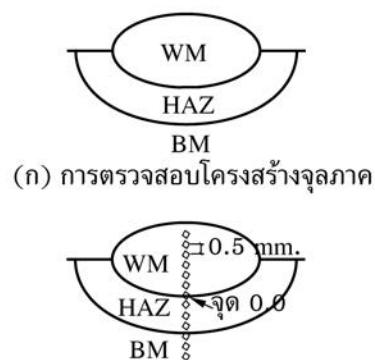
ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทดลอง (%น้ำหนัก)

วัสดุ	ธาตุผสม				
	C	Si	Mn	Cr	Mo
โลหะฐาน	3.20	2.30	0.55	0.40	-
DF2A-350-B	0.16	0.43	1.32	1.55	-
DF2A-450-B	0.25	-	0.75	3.05	0.54
DF2B-600-B	0.45	0.50	1.15	4.51	0.60

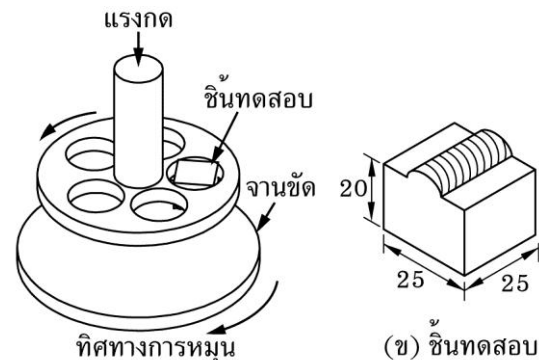
แผ่นโลหะฐานถูกทำการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กสวตหัวฟลักซ์ โดยใช้สวตหัวฟลักซ์ประเภทพอกผิวแข็ง (Hard-facing electrode) ที่มีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 ในการเชื่อมกำหนดให้มีอุณหภูมิก่อนเชื่อม (Pre-heat temperature) ไม่ต่ำกว่า 400°C โดยทำการเชื่อม 1 แนวแบบไม่มีการสร้างชั้นรองพื้น ทิศทางการเชื่อมขนาดเท่ากับด้านยาวของแผ่นเหล็ก และใช้กระแสเชื่อม 110 แอมแปร์ ในงานวิจัยนี้ ผู้ที่ทำการเชื่อมกำหนดให้เป็นช่วงเชื่อมที่ผ่านการสอบวัดฝีมือจากสถาบันพัฒนาฝีมือแรงงาน กระทรวงแรงงานในระดับที่ 1

แนวเชื่อมที่ได้ถูกตัดขวางที่กึ่งกลางความยาวของชิ้นงานเพื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาและความแข็งของชั้นพอกผิวแข็ง ชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยวิธีการทางกลถูกนำมาขัดหยาบด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 150 ถึงเบอร์ 2000 และทำการขัดมันด้วยผงเพชรขนาด $1\text{ }\mu\text{m}$ ก่อนทำการกัดผิวหน้าด้วยสารละลายที่กำหนด เพื่อแสดงเกรนและรายละเอียดของเกรนบริเวณโลหะฐาน (BM) พื้นที่กระทบร้อน (HAZ) และโลหะเชื่อม (WM) ดังรูปที่ 2 (ก)

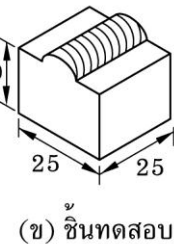
การทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ของแนวเชื่อมทำการทดสอบตามตำแหน่งกำหนดดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) โดยเริ่มต้นจากตำแหน่งผิวหน้าของชั้นพอกผิวแข็งจนถึงโลหะฐาน การทดสอบความแข็งในการทดสอบกำหนดใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM E 92 ที่ใช้แรงกด 300 g . เวลาในการกด 10 sec. และระยะห่างระหว่างจุดกด 0.5 mm.



(ข) การทดสอบความแข็ง
รูปที่ 2 การตรวจสอบสมบัติโลหะเชื่อม

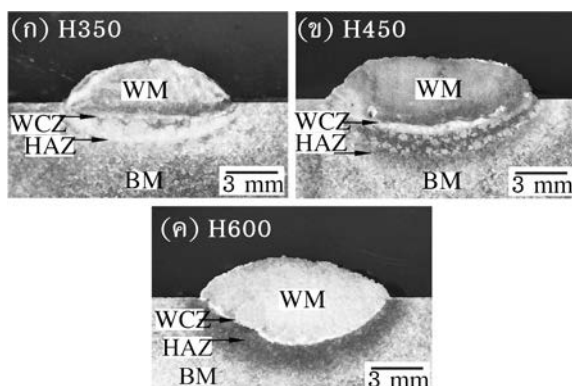


รูปที่ 3 การทดสอบอัตราการสึกหรอ

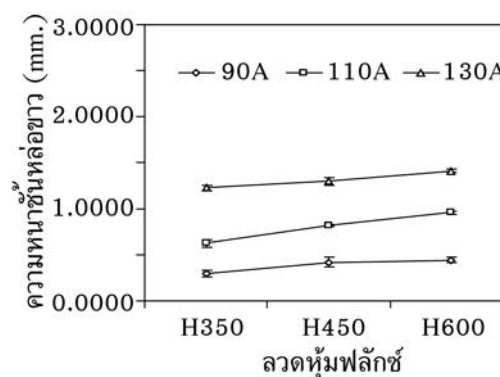


การทดสอบการสึกหรอแบบขัดสีใช้วิธีการทดสอบการสึกหรอแบบเข็มกดบนจาน (Pin on disc wear test) [8] โดยการประยุกต์ใช้เครื่องขัดชิ้นทดสอบโครงสร้างโลหะวิทยาแบบระบบอัตโนมัติมาใช้ในการทดสอบนี้ดังรูปที่ 3 (ก) การทดสอบกำหนดให้ชิ้นทดสอบการสึกหรอมีความกว้าง 25 mm. และยาว 25 mm. ดังรูปที่ 3 (ข) เงื่อนไขการทดสอบประกอบด้วย น้ำหนักกด 320 MPa ความเร็วรอบการหมุน 150 rpm เวลาในการทดสอบ 4 min และขนาดผงขัด $80\text{ }\mu\text{m}$

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์

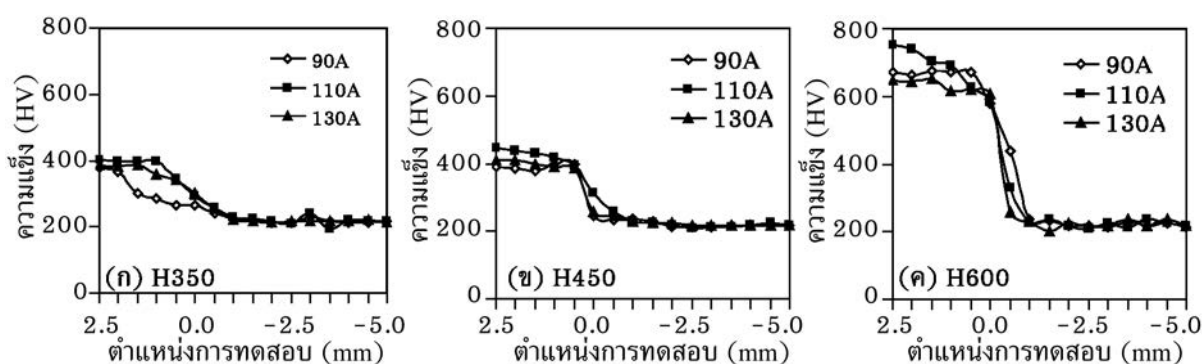


รูปที่ 4 โครงสร้างมหภาคของโลหะเชื่อมพอกแข็งด้วยลวด
เชื่อม 3 ชนิดที่กระแสเชื่อม 110A



รูปที่ 5 ความหนาของชั้นหล่อขาวที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อมและ
ลวดเชื่อมต่างๆ

รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างมหภาคของโลหะเชื่อมพอกแข็งที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมพอกผิวแข็ง 3 ชนิด ที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 110A โลหะเชื่อมที่ได้ไม่ปรากฏจุดบกพร่องใดๆ ในโลหะเชื่อม หรือเส้นขอบเขตระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐาน บริเวณตำแหน่งเนื้อพื้นที่กระทบร้อน หรือเส้นแบ่งระหว่างตำแหน่งโลหะเชื่อมและพื้นที่กระทบร้อน พบการก่อตัวพื้นที่ชั้นเหล็กหล่อขาว (White cast layer zone: WCZ) เกิดขึ้น พื้นที่ชั้นเหล็กหล่อขาวนี้ คือตำแหน่งที่เฟสเหล็กคาร์ไบด์ (Iron carbide) หรือซีเมนไต์ (Fe_3C) เกิดการตกผลึกเนื่องจากความร้อนจากการเชื่อมส่งผลทำให้ความแข็งและความเปราะของโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้นและมักทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้นเมื่อนำโลหะเชื่อมไปใช้งาน [9] ความหนาของของพื้นที่ชั้นเหล็กหล่อขาวเมื่อวัดจากกึ่งกลางตำแหน่งที่มีความนูนสูงสุดในโครงสร้างมหภาคดังรูปที่ 4 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นและเมื่อปริมาณของคาร์บอนและโครเมียมในลวดเชื่อมพอกแข็งเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 5

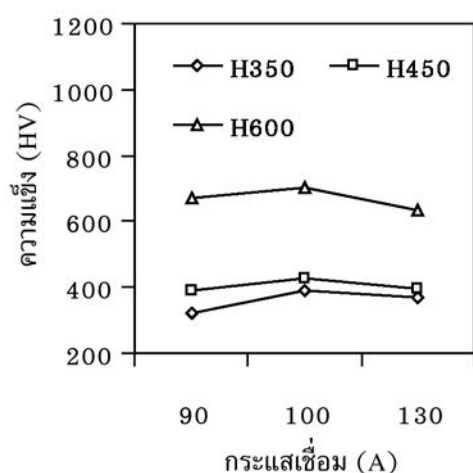


รูปที่ 6 ความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็งที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อมและลวดเชื่อมต่าง ๆ

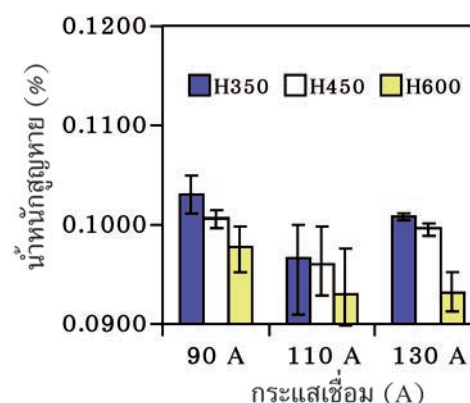
รูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงผ่านโครงสร้างมหภาคดังรูปที่ 2 จากบนลงมาด้านล่างของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 90-130A และลวดเชื่อม H350 H450 และ H600 ความแข็งโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม H350 ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) พบว่าโลหะฐานเหล็กหล่อ JIS-FC25 มีความแข็งประมาณ 220 HV ค่าความแข็งของโลหะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างทันใดเมื่อตำแหน่งการทดสอบเข้าใกล้เส้นการหลอมละลาย (Fusion line) ค่าความแข็งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่นี้เริ่มจากค่าความแข็งของโลหะฐาน 220 HV และสูงขึ้นถึงประมาณ 600HV ความแข็งที่เปลี่ยนแปลงในตำแหน่งนี้คาดว่าเกิดจากการจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของโลหะเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่กระทบร้อน และการเกิดการก่อตัวของโครงสร้างมาเทนไซต์ [9] ความละเอียด

ของเฟสโลหะในพื้นที่นี้สามารถทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นได้ ความแข็งของโลหะเชื่อมจากเส้นการหลอมละลายถึงผิวหน้าแนวเชื่อม มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่กระพร้อนและโลหะฐาน ค่าความแข็งที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งผิวหน้าแนวเชื่อม การเพิ่มความแข็งของโลหะเชื่อมคาดว่าเกิดจากการเจือจาง (Dilution) ของส่วนผสมทางเคมีของสวดเชื่อมเมื่อทำการเชื่อมลงบน ผิวโลหะฐาน ที่รายงานว่าโลหะที่บริเวณผิวหน้าแนวเชื่อมมีส่วนผสมทางเคมีเท่ากับหรือใกล้เคียงส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อมที่ ส่งผลทำให้ได้ค่าความแข็งเท่ากับหรือใกล้เคียงสวดเชื่อมที่ต้องการ ขณะที่ส่วนผสมทางเคมีมักเจือจางลงเมื่อตำแหน่งการตรวจสอบ เข้าใกล้โลหะเชื่อม บริเวณที่ใกล้กับโลหะเชื่อมนี้เป็นพื้นที่ที่มีการรวมกันของโลหะ 2 ชนิด ดังนั้นค่าความแข็งที่ได้จึงอาจประกอบ ด้วยโลหะทั้งสองส่วนได้ [10]

รูปที่ 6 (ข) และ (ค) แสดงผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม H450 และ H600 ตามลำดับ กระแสที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงานเป็นกระแสเดียวกันกับกระแสที่ใช้ในการเชื่อมลวด H350 คือ กระแสเชื่อม 90 110 และ 130A พบว่าแนวโน้มของความแข็งที่ได้มีลักษณะคล้ายกับชิ้นงานที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม H350 กล่าวคือโลหะฐานของชิ้นทดสอบมีค่าความแข็งเฉลี่ยประมาณ 220HV เมื่อตำแหน่งการทดสอบความแข็งใกล้กับเส้นหลอมละลายความแข็งที่ได้มีค่าสูงขึ้น หรือความแข็งที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่กระพร้อนดังอธิบายไว้ใน การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งในพื้นที่กระพร้อนในชิ้นงานที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม H350 เมื่อเปรียบเทียบความแข็งของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม H450 และ H600 กับชิ้นงานที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม H350 ความแข็งในพื้นที่กระพร้อนของชิ้นที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม H450 และ H600 มีค่าที่แตกต่างกันมากกว่าเมื่อกระแสเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลง ค่าความแข็งสูงสุดของโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวด H600 ที่ตำแหน่งใกล้ผิวหน้าของโลหะเชื่อมของกระแสเชื่อม 90-130A มีค่าประมาณ 689 745 และ 712 HV ตามลำดับ ความแข็งที่ได้มีค่าสูงกว่าการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม H450 และกระแสเชื่อมที่แสดงค่าความแข็งสูงสุดคือ กระแสเชื่อม 110A เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งเฉลี่ยของชิ้นพอกผิวแข็งที่ทำการเชื่อมแบบไม่มีการสร้างชั้นรองพื้นจำนวน 1 ชั้นดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าความแข็งเฉลี่ยของโลหะเชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้นที่แสดงค่าความแข็งสูงสุดมีค่าประมาณ 815HV เมื่อทำการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 110A และลวดเชื่อม H600



รูปที่ 7 ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมพอกแข็งที่เชื่อมด้วย
กระแสเชื่อมและลวดเชื่อมต่างๆ

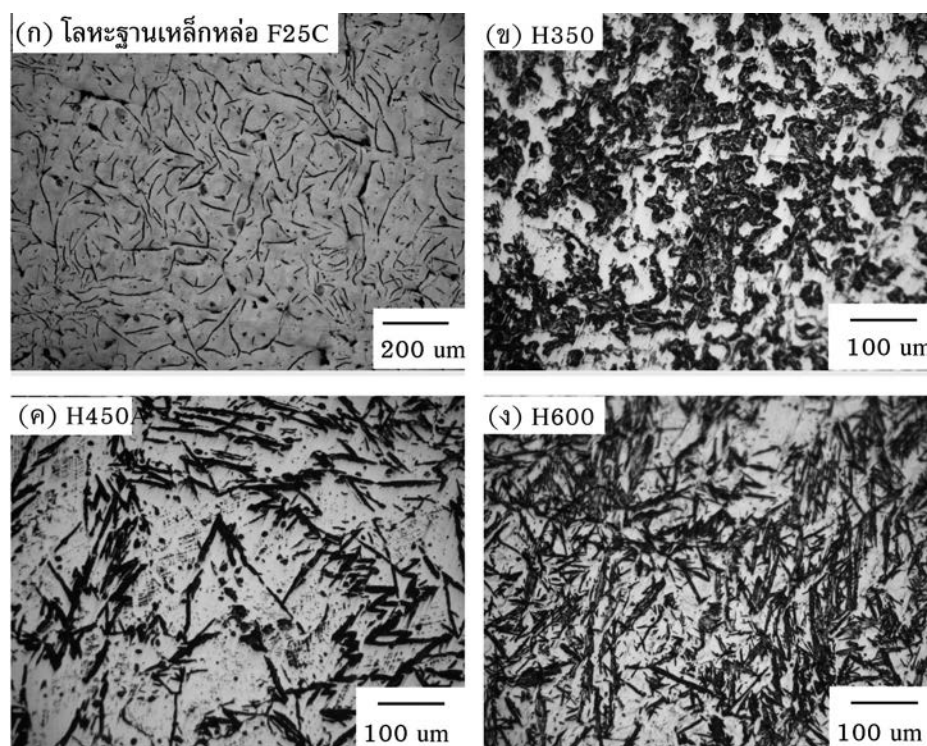


รูปที่ 8 น้ำหนักสูญหายของโลหะเชื่อมพอกแข็งที่เชื่อมด้วย
กระแสเชื่อมและลวดเชื่อมต่างๆ

ค่าความแข็งของชั้นทดสอบที่ได้แปรผกผันกับค่าน้ำหนักสูญหายของชั้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 8 ค่าน้ำหนักสูญหายมีค่าลดลงเมื่อค่าความแข็งของชั้นพอกผิวแข็งที่มีค่าสูงขึ้น (ค่าน้ำหนักสูญหายมีค่าต่ำหมายถึงความต้านทานการสึกหรอมีค่าสูง) แนวโน้มค่าน้ำหนักสูญหายลดลงเมื่อกระแสเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก 90-110A และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อกระแสเพิ่มเป็น 130A เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดของลวดเชื่อมที่เปลี่ยนแปลง น้ำหนักสูญหายมีค่าลดลงเมื่อลวดเชื่อมพอกผิวแข็งเกิดการเปลี่ยนแปลงจากลวดเชื่อม H350 H450 และ H600 ตามลำดับ ผิวพอกแข็งที่มีความแข็งสูงให้ค่าน้ำหนักสูญหายต่ำ ค่าน้ำหนักสูญหายที่มีค่าต่ำสุดซึ่ง

แสดงความต้านทานการสึกหรอที่สูงสุดในการทดลองนี้พบได้เมื่อทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้น ด้วยลวดเชื่อม H600 และกระแสเชื่อม 110A ที่แสดงค่าน้ำหนักสูญหายประมาณ 0.0931%

รูปที่ 9 (ก) แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะฐานของเหล็กหล่อ FC25 ประกอบด้วยพื้นหลักเหล็กหล่อ และมีเกล็ดกราฟไฟขนาดยาวกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและไร้ทิศทางทั่วทั้งพื้นผิว เกล็ดกราฟไฟมีความยาวประมาณ 100-150 μm รูปร่างเกล็ดกราฟไฟที่มีแนวโน้มที่ด้านความยาวสั้นลงและความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อตำแหน่งของการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเข้าสู่พื้นที่กระทร้อน เกล็ดกราฟไฟนี้ถูกกำจัดหายไปเมื่อตำแหน่งการตรวจสอบเข้าสู่พื้นที่โลหะเชื่อมดังรูปที่ 9 (ข) ถึง (ง) โลหะเชื่อมเหล่านี้ถูกทำการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 110A ซึ่งเป็นกระแสเชื่อมที่แสดงค่าความต้านทานทานการสึกหรอสูงสุด และลวดหุ้มฟลักซ์พอกผิวแข็ง H350 H450 และ H600 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมมีรูปแบบเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงธาตุผสม เช่น คาร์บอน โครเมียม โมลิบดีนัม และแมงกานีส ในลวดเชื่อม เมื่อปริมาณคาร์บอนและซิลิกอนลดลงในลวดเชื่อมส่งผลทำให้การก่อตัวของเกล็ดกราฟไฟหายไป นอกจากนี้ปริมาณโครเมียมและแมงกานีสในลวดเชื่อมก่อให้เกิดโลหะเชื่อมที่มีโครงสร้างจุลภาคที่ประกอบด้วยพื้นที่สีขาวเรียงสลับอยู่บนพื้นหลักสีเข้มดังรูปที่ 9 (ข) โครงสร้างที่ได้พบว่ามีค่าความแข็งสูงกว่าพื้นหลักของเหล็กหล่อที่มีเกล็ดกราฟไฟดังรูปที่ 9 (ก) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการเพิ่มปริมาณโครเมียม โมลิบดีนัม และแมงกานีสในลวดเชื่อมส่งผลทำให้เฟสลิ้มในพื้นหลักสีขาวเกิดการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่กลมมนเป็นโครงสร้างที่มีรูปร่างแหลมคล้ายเข็มดังรูปที่ 9 (ค) รูปแบบของโครงสร้างคล้ายเข็มนี้มีรูปร่างที่เล็กและละเอียดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของโครเมียม โมลิบดีนัม แมงกานีส และซิลิกอน ในลวดเชื่อมเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 9 (ง) โครงสร้างคล้ายเข็มที่ยื่นออกมาจากขอบเกรนโลหะเชื่อมมีทิศทางที่ตั้งฉากกับขอบเกรน เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบรูปร่างของโครงสร้างเข็ม พบว่าโครงสร้างนี้มีรูปร่างคล้ายกับการเกิดโครงสร้างวิทแมนสแตตตัน (Widmanstatten structure) ซึ่งเป็นเฟสอันดับสองที่มีการตกผลึกและขนาดกะทัดรัดกับทิศทางการเติบโตของโครงสร้างหลักคล้ายกับโครงสร้างลายการสานตะกร้า โครงสร้างที่เกิดขึ้นจึงทำให้เกิดความเค้นตกค้างในพื้นหลักและทำให้ค่าความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็งเพิ่มขึ้น [11] อย่างไรก็ตามการตรวจสอบด้วยเครื่องมือที่สามารถระบุโครงสร้างของเฟสควรมีการดำเนินการต่อไป



รูปที่ 9 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมพอกแข็งที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 110A และลวดเชื่อมต่างๆ

4. สรุป

4.1 การเพิ่มกระแสเชื่อมและปริมาณของโครเมียมและคาร์บอนในโลหะเชื่อมส่งผลต่อการเพิ่มขนาดแนวเชื่อมและความหนาของชั้นหล่อขาวภายในแนวเชื่อมซึ่งส่งผลทำให้ความแข็งและความเปราะของโลหะเพิ่มขึ้นได้

4.2 การเพิ่มปริมาณของคาร์บอนและโครเมียมในลวดเชื่อมทำให้เกิดเฟสรูปร่างคล้ายเข็มซึ่งเป็นเฟสเสริมแรงในโลหะเชื่อม อย่างไรก็ตามการเพิ่มซิลิกอนในลวดเชื่อมทำให้สมบัติทางกลของโลหะเชื่อมลดลงเนื่องจากการลดลงของเฟสรูปร่างคล้ายเข็มในพื้นที่หลักโลหะเชื่อม

4.3 ตัวแปรการเชื่อมที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด 0.0931% คือ กระแสเชื่อม 110A และลวดเชื่อม H600

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้วยทุนวิจัยประจำปี 2557 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] See <http://www.ocsb.go.th/th/cms/detail.php?ID=142&SystemModuleKey=production>
- [2] Zhang C., Song X., Lu P., & Hu X. (2012). Effect of microstructure on mechanical properties in weld-repaired high strength low alloy steel. *Materials & Design* 36, 233-242.
- [3] Buchanan V.E., Shipway P.H. & McCartney D.G. (2007). Microstructure and abrasive wear behaviour of shielded metal arc welding hardfacings used in the sugarcane industry. *Wear* 263, 99-110.
- [4] Fan C., Chen M.C., Chang C.M., & Wu W. (2006) Microstructure change caused by (Cr,Fe)₂₃C₆ carbides in high chromium Fe-Cr-C hardfacing alloys. *Surface and Coatings Technology* 201, 908-912.
- [5] Chang C.M., Chen Y.C., & Wu W. (2010) Microstructural and abrasive characteristics of high carbon Fe-Cr-C hardfacing alloy. *Tribology International* 43, 929-934.
- [6] Jeshvaghani R.A., Harati E., & Shamanian M. (2011) Effects of surface alloying on microstructure and wear behavior of ductile iron surface-modified with a nickel-based alloy using shielded metal arc welding. *Materials & Design* 32, 1531-1536.
- [7] Chatterjee V. & Pal T.K. (2006) Solid particle erosion behaviour of hardfacing deposits on cast iron—Influence of deposit microstructure and erodent particles. *Wear* 261, 1069-1079.
- [8] Selvi S., Sankaran S.P., & Srivatsavan R. (2008) Comparative study of hardfacing of valve seat ring using MMAW process. *Journal of Materials Processing Technology* 207, 356-362.
- [9] อิศรทัต พึ่งอัน, นพกร ภู่ระย้า, และ มงคล สีนะวัฒน์. การศึกษาความแข็งและโครงสร้างจุลภาคในการเชื่อมเหล็กหล่อเทาเกรด JIS FC25. การประชุมวิชาการงานวิจัยวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554, โรงแรมแอมบาสเตอร์ซีดี จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี, 20-21 ตุลาคม 2554, 1148-1152.
- [10] Hemmati I., Ocelik V., & De Hosson J.T.M. (2012) Dilution effects in laser cladding of Ni-Cr-B-Si-C hardfacing alloys. *Materials Letters* 84, 69-72.
- [11] Askeland D. R. & Phule P. *Science and Engineering of Materials*. Cengage Learning, Singapore, 2006.