



ผลของการเพิ่มกระแสไฟเชื่อมพอกผิวแข็งแบบอาร์กด้วยลวดเชื่อม E3-UM-600 ต่อพฤติกรรมการสึกหรอแบบขัดสีสำหรับอุปกรณ์เตรียมดินในงานเกษตร

นรินทร์ พรหมเกษ*

สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร, คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: nirun.p@rmutsb.ac.th

วันที่รับบทความ: 7 ธันวาคม 2566; วันที่ทบทวนบทความ: 18 มิถุนายน 2567; วันที่ตอบรับบทความ: 5 กันยายน 2567

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 18 ธันวาคม 2567

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการเพิ่มกระแสไฟเชื่อมในกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ E3-UM-600 ที่ส่งผลต่อสมบัติทางโลหวิทยา และสมบัติทางกล สำหรับงานเชื่อมพอกผิวหน้าอุปกรณ์เตรียมดินงานเกษตร เพื่อหาสภาวะของกระแสไฟในการเชื่อมที่เหมาะสม โดยทำการเชื่อมพอกแข็งลงบนเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI1050 แบบซ้อนทับแนวจำนวน 3 ชั้น กำหนดกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อม 90-130 แอมแปร์ ผลการศึกษาพบว่าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่พบข้อบกพร่องในบริเวณเนื้อโลหะเดิม บริเวณพื้นที่กระแทกร้อน และบริเวณเนื้อเชื่อมพอกแข็ง การเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมที่ต่ำทำให้ค่าความหนาของแนวเชื่อมมีค่าสูงซึ่งเมื่อเพิ่มกระแสไฟเชื่อมให้สูงขึ้น ค่าความกว้างและการซึมลึกของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น โดยกระแสไฟเชื่อมที่ 90 แอมแปร์ ให้ค่าความหนาสูงสุดของแนวเชื่อมเฉลี่ย 4.3 มิลลิเมตร โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อโลหะเชื่อมประกอบด้วยมาร์เทนไซต์และออสเทนไนต์ การเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมสูงทำให้ความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานสูง เกิดการเจือจางสูงทำให้ค่าความแข็งต่ำ การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเนื้อโลหะเชื่อมพบธาตุโครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) โมลิบดีนัม (Mo) และซิลิคอน (Si) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุส่งผลให้ค่าความแข็งแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น อัตราการสึกหรอลดลง โดยงานวิจัยนี้สภาวะการเชื่อมพอกแข็งที่ดีที่สุดคือ กระแสไฟเชื่อมที่ 90 แอมแปร์ มีค่าความแข็งแนวเชื่อมสูงสุดเฉลี่ย 634HV และค่าเปอร์เซ็นต์การสึกหรอต่ำสุดเฉลี่ยที่ 0.268 %

คำสำคัญ: กระแสไฟเชื่อม; การเชื่อมพอกแข็ง; การสึกหรอ; อุปกรณ์เตรียมดิน

Effect of Increasing Arc Welding Current with E3-UM-600 on Abrasive Wear Behavior of Agricultural Soil Preparation Equipment

Nirun Promkesa *

Department of Farm Machinery Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvamabhumi

* Corresponding author, E-mail: nirun.p@rmutsb.ac.th

Received: 7 December 2023; Revised: 18 June 2024; Accepted: 5 September 2024

Online Published: 18 December 2024

Abstract: This research studies the effect of increase welding current in hard-faced welding process arc type with flux-covered welding wire E3-UM-600 that affect the metallurgical and mechanical properties welding hardfacing surface for agricultural soil preparation equipment to find appropriate welding current conditions. The AISI1050 medium carbon steel was welded simulating a 3 layer overlapping weld with a welding current of 90-130 A. The results of the study found that the weld line was complete with no defects in base metal area heat-affected zone and the hardened weld Welding with low welding current resulted in high values of the weld line convexity. When the welding current was increased, the width and penetration depth of the weld line increased. The welding current of 90A gives an average maximum weld convexity of 4.3 millimeters. Microstructure of the weld metal consists of martensite and austenite. Welding with high welding current causes high heat to enter the workpiece high dilution causing low hardness. Analysis of the chemical composition of the weld metal found the elements chromium (Cr), manganese (Mn), molybdenum (Mo) and silicon (Si). The increase in the amount of trace elements this results in an increase in the weld hardness value decreased wear rate. The best condition in this research is welding current of 90A has the highest average weld hardness of 634 HV and the lowest average wear percentage is 0.268 %.

Keywords: Welding current; Hardfacing; Wear; Soil preparation equipment



1. บทนำ

อุปกรณ์เตรียมดินใช้สำหรับเตรียมความลึกของชั้นหน้าดินสำหรับการเตรียมแปลงปลูก เช่น การปลูกอ้อย ซึ่งในบางพื้นที่มักพบชั้นดินดานที่มีความแข็ง ซึ่งจะต้องใช้รีปเปอร์ซึ่งผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอน ดังแสดงในรูปที่ 1 มีลักษณะเหมือนคราดติดท้ายรถแทรกเตอร์ เพื่อไถระเบิดดินดานที่ระดับความลึก 30-75 เซนติเมตร เพื่อให้ดินร่วนซุยก่อนทำการปลูกพืช เมื่อใช้งานเป็นเวลานาน ทำให้ผิวหน้าของรีปเปอร์เกิดการสึกหรอ (Wear) กระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็ง (Hardfacing-welding) ใช้ในงานเพิ่มความแข็งแรงบริเวณผิวของวัสดุเพื่อป้องกันการสึกหรอหรือการกัดกร่อน โดยการเพิ่มโลหะผสมลงบนพื้นผิวของวัสดุเดิม [1-4] เช่น เชื่อมซ่อมในเครื่องจักรกลเกษตร เครื่องจักรสำหรับการเตรียมดิน หรือ เครื่องจักรในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ [5] การเชื่อมพอกแข็งสามารถทำได้หลายวิธีทั้งนี้การเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการเชื่อม เช่น ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อม ปริมาณความร้อนเข้า (Heat Input) หรือชนิดของลวดเชื่อม [6] ซึ่งการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา เช่น การศึกษาเปรียบเทียบกระแสไฟเชื่อม AC และกระแสไฟเชื่อม DCEP พบว่าการเชื่อมด้วยกระแส AC ให้อัตราการเจือจางของโลหะเชื่อมต่ำกว่ากระแส DCEP ซึ่งมีผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาค และความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อม [7] หรือ การเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อม หุ้มฟลักซ์บนแผ่นเหล็กกล้าโดยทำการเชื่อมเดินแนวทาบซ้อนเป็นชั้น ผลการทดลองพบว่า ตำแหน่งที่มีปริมาณของคาร์บอนไนโตรเจนสูง แสดงค่าอัตราการสึกกร่อนที่ต่ำกว่า [8]



รูปที่ 1 รีปเปอร์ระเบิดดินดาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มกระแสไฟเชื่อมพอกผิวแข็งแบบอาร์กด้วยลวดเชื่อม หุ้มฟลักซ์ E3-UM-600 โดยทำการเชื่อมบนเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI1050 จำนวนชั้นเชื่อม 3 ชั้น ซึ่งเป็นการเติมเนื้อโลหะเชื่อมให้ใกล้เคียงกับขนาดของรีปเปอร์ และทำการวิเคราะห์โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค การเจือจางของเนื้อเชื่อม และสมบัติทางกล เพื่อเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการเชื่อมพอกผิวแข็งบริเวณผิวหน้าที่เกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนอุปกรณ์เตรียมดินในงานเกษตรต่อไป

2. ขั้นตอนการศึกษา

2.1 วัสดุและกระบวนการเชื่อม

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางเกรด AISI1050 เป็นโลหะฐานสำหรับการเชื่อมพอกผิวแข็ง มีขนาดความกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ความหนา 19 มิลลิเมตร ทำการเจียระไนผิวดิบของชิ้นงานออกก่อนทำการเชื่อม โดยใช้

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุและลวดเชื่อม

Chemical composition of Base Material and Filler Metal (%)		
Elements	AISI1050	DIN8555 E 3-UM-600
C	0.54	0.40
Si	0.26	0.37
Mn	0.68	1.15
p	0.03	0.01
S	0.01	0.008
Cr	0.29	4.65
Mo	0.02	0.53
Fe	Bal.	Bal.

ลวดเชื่อมพอกผิวแข็งประเภทไฮโดรเจนต่ำ ตามมาตรฐาน DIN8555 E3-UM-600 ซึ่งเป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ซึ่งใช้กับงานเชื่อมพอกแข็งชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเกษตร มีค่าความแข็ง 624 HV ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 ทำการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) จำนวน 1 แนวเชื่อม โดยเชื่อมแบบซ้อนทับแนวจำนวน 3 ชั้นดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งกำหนดพารามิเตอร์ในการเชื่อมแสดงในตารางที่ 2 เชื่อมลงบนเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1050 แบบไม่สายลวด (Non-waving) โดยช่างเชื่อมที่ผ่านการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานสาขาช่างเชื่อมอาร์กโลหะ ด้วยมือ ระดับ 1 ใช้เครื่องเชื่อมยี่ห้อ Fronius

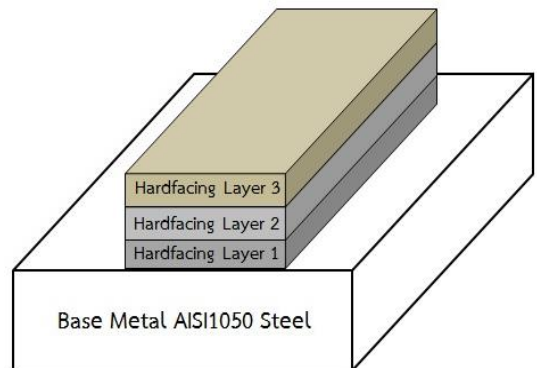
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ในการเชื่อมพอกผิวแข็ง

กระแสไฟเชื่อม (Amps)	แรงดันอาร์ก (Volt)	ความเร็วในการเชื่อม (mm/min)	ขั้วไฟเชื่อม
90-130	88	250	DCEP

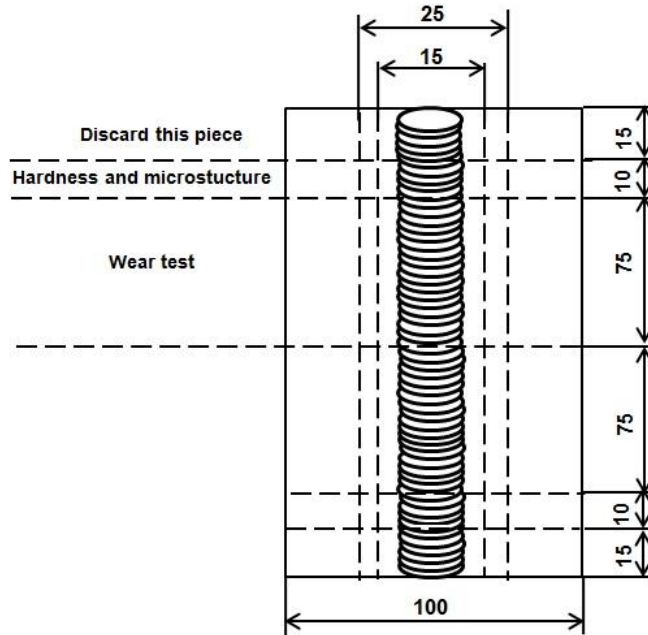
รุ่น Transpocket 2500 ก่อนทำการเชื่อมมีการให้ความร้อนบนชิ้นงาน (Preheat) ที่อุณหภูมิ 150°C (ตามคำแนะนำของผู้ผลิตลวดเชื่อม) และทำการควบคุมอุณหภูมิระหว่างที่เยวเชื่อมไม่ต่ำกว่า 150°C ในการเชื่อมชั้นถัดไป

2.2 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค/จุลภาคของแนวเชื่อมพอกแข็ง ทำการเตรียมชิ้นงานทดสอบโดยนำชิ้นงานเชื่อมพอกแข็งไปตัดตามขวาง (Cross-section) ดังแสดงในรูปที่ 3



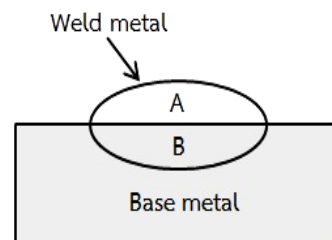
รูปที่ 2 ชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็ง



รูปที่ 3 การเตรียมชิ้นงานทดสอบแนวเชื่อมพอกแข็ง

จากนั้นทำการขึ้นเรือน (Mounting) โดยหล่อด้วยเรซินและนำมาขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150 ถึงเบอร์ 2000 ขัดละเอียดด้วยผงอลูมินาขนาด 5 μm และล้างด้วยน้ำสะอาดเป่าให้แห้ง ทำการกัดกรด (Etching) ด้วยกรดไนตริก 60 ml ผสมกับกรดไฮโดรคลอริก (HCL) 20ml ตามมาตรฐาน ASTM E407 ใช้เวลาจุ่มแช่ 10 วินาที และตรวจสอบโครงสร้างมหภาคด้วยกล้องไมโครสโคป วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคบริเวณใกล้ผิวด้านบน (Top Surface) ของชิ้นงานเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical-Microscope) ยี่ห้อ Leicadmim รุ่น SDM2500M และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อประเมินโครงสร้างพื้นฐานของรอยเชื่อม และวิเคราะห์

การเจือจาง (Dilution) บริเวณเนื้อโลหะเชื่อม จากรูปโครงสร้างมหภาค โดยทำการวัดพื้นที่โลหะเดิมที่หลอมละลาย (B) และพื้นที่โลหะเชื่อม (A) เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การเจือจางบริเวณเนื้อโลหะเชื่อมด้วยโปรแกรม ImageJ ดังแสดงในรูปที่ 4



$$\text{Percentage of Dilution (D)} = \left[\frac{B}{A+B} \right] \times 100$$

รูปที่ 4 พื้นที่คำนวณหาอัตราการเจือจาง



2.3 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี

ทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม ตรวจสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer: EDS) ในบริเวณใกล้ผิวด้านบนของแนวเชื่อม โดยทำการเตรียมผิวให้ได้ระนาบและปาดผิวเรียบในบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ

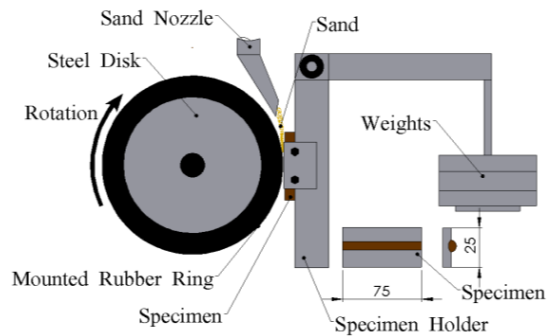
2.4 การทดสอบความแข็ง

ทดสอบความแข็งชิ้นงานเชื่อมโดยกดผ่านโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม ตามมาตรฐาน ASTM E384 แบบวิกเกอร์ (Vickers) ทำการกดทดสอบบริเวณภาคตัดตามขวางของชิ้นงานเชื่อม ในแนวตั้ง ใช้แรงกด 300 gf เวลากดแช่ 10 วินาที เริ่มกดบริเวณโลหะชิ้นงาน (Base Metal) ผ่านบริเวณกระทบร้อน (Heat Affected Zone: HAZ) ถึงบริเวณแนวเชื่อมพอกแข็งชั้นที่ 3 โดยแต่ละบริเวณ กดทดสอบ 5 จุด เพื่อหาค่าเฉลี่ย ซึ่งมีระยะห่างระหว่างจุดทดสอบ 0.5 มิลลิเมตร

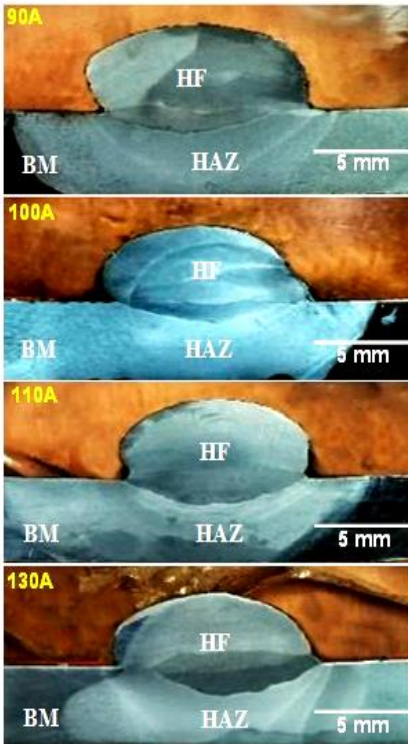
2.5 การทดสอบการสึกหรอ

โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3 มีขนาด 25x25x75 มิลลิเมตร ใช้วิธีการทดสอบการสึกหรอแบบขัดถูตามมาตรฐาน ASTM G65 ดังแสดงในรูปที่ 5 ทำการทดสอบการขัดถูด้วยทรายขนาด 250 μm มีอัตราการไหล 300 g/min ความเร็วรอบของล้อขัด 200 rpm เวลาในการทดสอบ 30 นาที ต่อชิ้น ใช้น้ำหนักกดทดสอบ 5 kg ภาคตัดขวางของชิ้นงานเชื่อมพอกแข็ง 3 ชั้น ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่พบข้อบกพร่อง

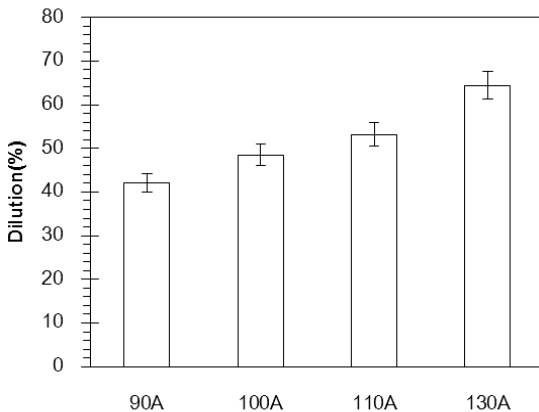
ในบริเวณเนื้อโลหะเดิม (BM) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) และบริเวณเนื้อเชื่อมพอกแข็ง (HF) การเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมที่สูงทำให้ค่าความหนาของแนวเชื่อมมีค่าต่ำลงโดยกระแสไฟเชื่อมที่ 90 A ให้ค่าความหนาสุงสุดของแนวเชื่อมเฉลี่ย 4.3 มิลลิเมตร ในขณะที่กระแสไฟเชื่อม 130 A ให้ค่าความหนาสุงสุดเฉลี่ย 3.2 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อใช้กระแสไฟเชื่อมสูงทำให้ความกว้างของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น การซึมลึกสูงความหนาของแนวเชื่อมต่ำเปอร์เซ็นต์การเงาจากบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าการเงาจากบริเวณเนื้อโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 90-130 A มีค่าการเงาจากเท่ากับ 4.2 %, 48.5 %, 53.2 %, และ 64.4 % ตามลำดับ โดยกระแสไฟเชื่อม 90 A ให้ค่าความร้อนเข้าสู่ชิ้นงาน 1.908 kJ/mm ขณะที่กระแสไฟเชื่อม 130 A ให้ค่าความร้อนเข้าสู่ชิ้นงาน 2.745 kJ/mm ซึ่งการเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมที่สูงทำให้เกิดความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานสูงส่งผลทำให้เกิดการเงาในโลหะเชื่อมสูง



รูปที่ 5 การทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G65 [9]



รูปที่ 6 โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อม



รูปที่ 7 การเจือจางของเนื้อโลหะเชื่อม

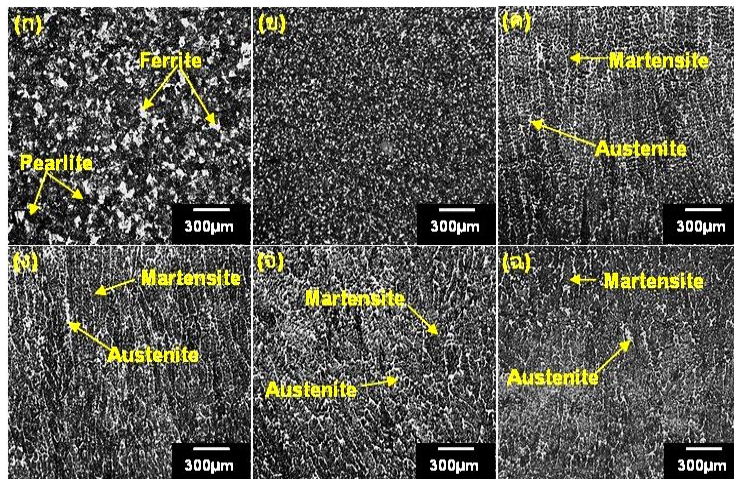
3.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม

ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อโลหะชิ้นงาน (Base Metal) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI1050 ที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็ง ซึ่งใช้กระแสไฟเชื่อมที่ต่างกัน พบว่า รูปที่ 8 (ก) พบโครงสร้างจุลภาคเฟอร์ไรท์ (Ferrite) มีลักษณะเป็นเม็ดเกรนสีขาวสว่างกระจายอยู่ทั่วชิ้นงาน มีโครงสร้างเพิร์ลไลต์ (Pearlite) ลักษณะเป็นเกรนสีดำขนาดใหญ่เป็นโครงสร้างพื้น [10] รูปที่ 8 (ข) แสดงโครงสร้างบริเวณกระแทกร้อน (HAZ) เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากอิทธิพลของความร้อน เมื่อยอยเชื่อมเกิดการเย็นตัวพบโครงสร้างที่มีลักษณะเกรนละเอียดกว่าบริเวณโลหะฐาน [11] รูปที่ 8 (ค) – (ง) แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 90-130 A บริเวณใกล้ผิวด้านบนของชั้นเชื่อมพอกแข็งที่ 3 พบว่าทุกกระแสไฟเชื่อมปรากฏโครงสร้างจุลภาคมีลักษณะของเดนไดรต์ (Dendrite) คือโครงสร้างที่เกิดจากเย็นตัวไม่สมดุลของโลหะหลอมเหลวสู่ของแข็งในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ลักษณะคล้ายกับกิ่งก้านของต้นไม้ที่ประกอบด้วยโครงสร้างมาเทนไซต์ (Martensite) และโครงสร้างออสเทนไนต์ (Austenite) โดยเฟสมาเทนไซต์มีลักษณะเป็นสีเข้มกระจายอยู่ และมีโครงสร้างออสเทนไนต์ที่ไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลังจากการเย็นตัวของแนวเชื่อม มีลักษณะเป็นเฟสสีขาวสว่างกระจายอยู่ในโครงสร้าง ซึ่งเป็นผลมาจากเนื้อเชื่อมพอกแข็งมีปริมาณธาตุคาร์บอน ไครเมียม นิกเกิล แมงกานีส และธาตุอื่นๆ ผสมอยู่จึงสามารถทำให้เกิดโครงสร้างดังกล่าว [12]

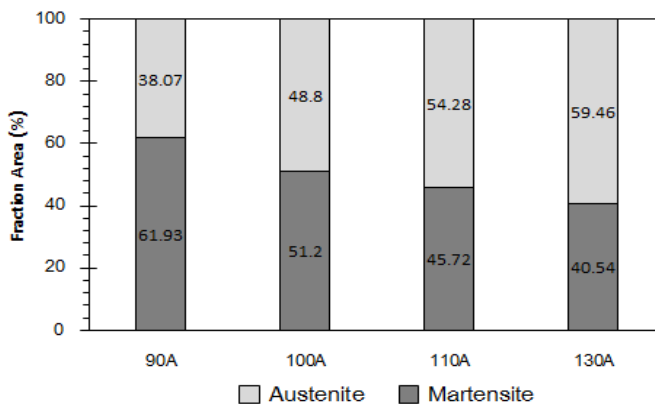


รูปที่ 9 แสดงสัดส่วนโครงสร้างมาร์เทนไซต์และออสเทนไนต์ของเนื้อเชื่อมพอกแข็งบริเวณใกล้ผิวด้านบนของชั้นเชื่อมพอกแข็งที่ 3 ซึ่งทำการวัดหาปริมาณของเฟสดังกล่าวในรูปที่ 10 พบว่าการเชื่อมพอกแข็งที่ใช้กระแสไฟเชื่อมที่ต่ำมีปริมาณมาร์เทนไซต์สูงกว่าการใช้กระแสไฟเชื่อมที่สูง ซึ่งการใช้กระแสไฟเชื่อมสูงทำให้ค่าความร้อนเข้าสู่ชั้นงานสูง อัตราการเย็น

ตัวของเนื้อเชื่อมช้ากว่าการเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมที่ต่ำ ส่งผลทำให้ปริมาณมาร์เทนไซต์ในชั้นพอกแข็งลดลง โดยกระแสไฟเชื่อม 90 A พบปริมาณมาเทนไซต์สูงสุดที่ 61.93 % และกระแสไฟเชื่อม 130 A พบปริมาณมาเทนไซต์ต่ำสุดที่ 40.54 % ซึ่งปริมาณของเฟสมาเทนไซต์มีผลต่อค่าความแข็งของแนวเชื่อมพอกแข็ง



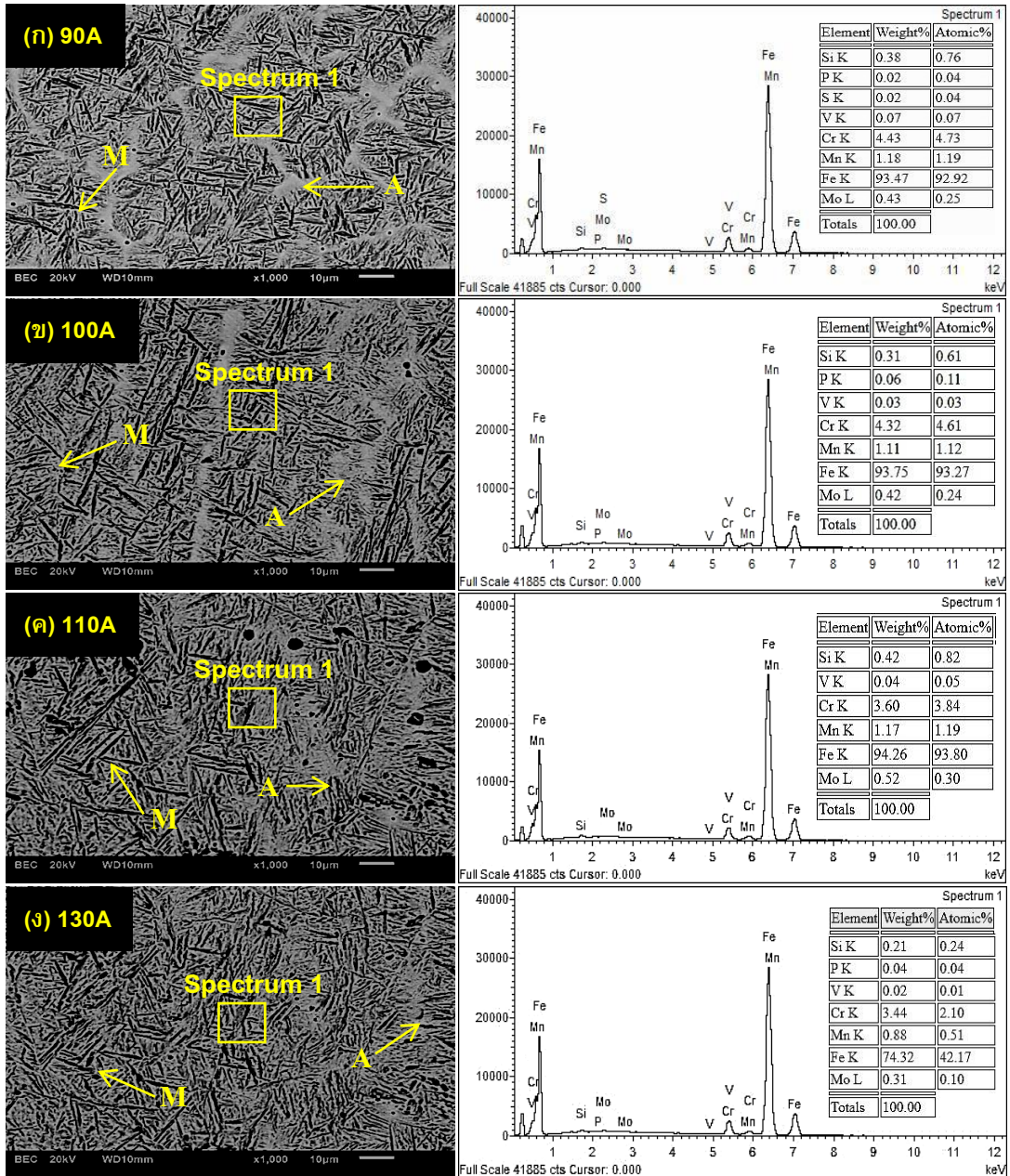
รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อโลหะเชื่อมบริเวณภาคตัดขวาง (ก) Base Metal (ข) HAZ (ค) 90 A (ง) 100 A (จ) 110 A และ (ฉ) 130 A



รูปที่ 9 สัดส่วนโครงสร้างมาร์เทนไซต์และออสเทนไนต์ของเนื้อเชื่อมพอกแข็ง



บทความวิจัย



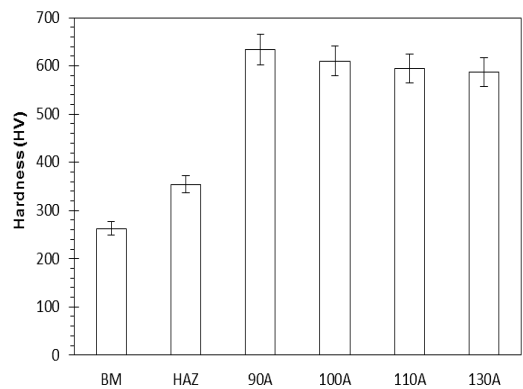
รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเชิงปริมาณบริเวณเนื้อเชื่อมพอกแข็ง

จากการการวิเคราะห์ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) บริเวณภาคตัดขวางใกล้ผิวด้านบนแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นเชื่อมที่ 3 ที่ผ่านการเชื่อมพอกแข็งด้วยกระแสไฟเชื่อม 90-130A ดังแสดงในรูปที่ 10 ถูกนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุเชิงปริมาณด้วยเทคนิคสเปกโทรเมตรีรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (EDS) ในตำแหน่งสเปกตรัมที่ 1 พบว่าส่วนผสมทางเคมีของเนื้อเชื่อมพอกแข็งมีธาตุหลักอยู่จำนวน 5 ธาตุ ประกอบด้วยซิลิคอน (Si) วาเนเดียม (V) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) และโมลิบดีนัม (Mo) ซึ่งกระแสไฟเชื่อมที่ 90 A มีปริมาณของธาตุซิลิคอน 0.38 % โครเมียม 4.43 % และแมงกานีส 1.18 % โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับกระแสไฟเชื่อมที่ 100 - 130 A สอดคล้องกับงานวิจัยของ W. Winarto- and P. Priadi ที่ได้กล่าวไว้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณของธาตุ เกิดจากการเจือจางของส่วนผสมทางเคมีขณะทำการเชื่อม ซึ่งเมื่อธาตุเหล่านี้มีปริมาณสูงจะส่งผลต่อค่าความแข็งที่สูงขึ้นของแนวเชื่อม [13]

3.3 ผลการทดสอบความแข็ง

การทดสอบหาค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers) โดยทดสอบบริเวณใกล้ผิวด้านบนโลหะเชื่อมพอกแข็งชั้นที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 11 พบว่าบริเวณโลหะชั้นงาน (BM) มีค่าความแข็งใกล้เคียงกันทุกกระแสไฟเชื่อม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 263 HV ซึ่งมีค่าสูงกว่าชั้นงานที่ยังไม่ผ่านการเชื่อมพอกแข็งเฉลี่ยที่ 229 HV ส่วนบริเวณกระเปาะร้อน (HAZ) ค่าความแข็งบริเวณนี้ค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 354 HV เนื่องจาก

การลดลงของขนาดเกรนหรืออาจเกิดจากความร้อนในการเชื่อมส่งผลต่ออัตราการเย็นตัวในเนื้อเชื่อม สอดคล้องกับงานวิจัยของ G. Magudeeswaran et al. [14] ที่กล่าวไว้ว่าความร้อนในการเชื่อมและอัตราการเย็นตัวจะมีผลกระทบต่อสัณฐานวิทยา (Morphology) ได้แก่ ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของเฟิร์ลไลต์ และเฟอร์ไรต์ จะมีขนาดเกรนละเอียดเมื่อพลังงานในการเชื่อมเพิ่มและอัตราการเย็นตัวลดลงส่งผลทำให้ค่าความแข็งสูง [15-16] และค่าความแข็งได้เพิ่มสูงขึ้นทันใดเมื่อถึงชั้นแนวเชื่อมพอกแข็ง ซึ่งการเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมที่ 90 A มีค่าความแข็งสูงสุดเฉลี่ยที่ 634 HV ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความแข็งของลวดเชื่อม 10 HV อันเป็นผลมาจากอัตราการเจือจางของเนื้อโลหะเชื่อมต่ำ และมีปริมาณเฟสมาเทนไซด์ที่สูงทำให้ค่าความแข็งสูง ในขณะที่การเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 100 - 130 A ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลง โดยกระแสไฟเชื่อมที่ 130 A ให้ค่าความแข็งต่ำสุดเฉลี่ย 587 HV ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแข็งแตกต่างเฉลี่ยที่ 8 %

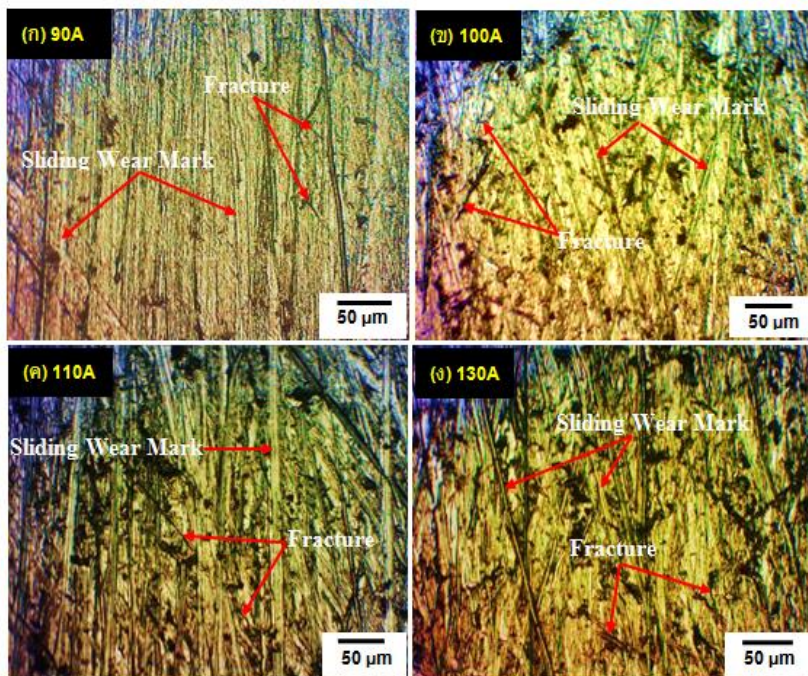


รูปที่ 11 ความแข็งชั้นงานเชื่อมพอกแข็ง

3.4 ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี

รูปที่ 12 แสดงลักษณะเนื้อเชื่อมพอกแข็งที่เกิดจากการทดสอบการสึกหรอแบบขัดถู ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมต่างกัน โดยพบว่าลักษณะการสึกหรอของเนื้อเชื่อมพอกแข็งที่เกิดจากกลไกการทดสอบส่วนใหญ่มีลักษณะเกิดรอยลื่นไถล (Sliding Wear Mark) และเกิดรอยแตกขนาดเล็ก (Fracture) บนเนื้อเชื่อมซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างจุลภาคของโลหะพอกแข็งมีเฟสมาเทนไซต์ที่มีความแข็งสูงและเฟสออสเทนไนต์ที่มีความเหนียวทำให้เกิดการแตกน้อย ซึ่งการเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมสูง การทดสอบการสึกหรอแบบขัดถูสร้างความเสียหายให้กับโลหะพอกแข็งมากกว่าการ

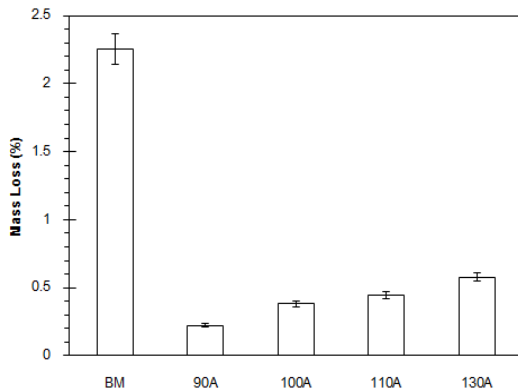
เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมต่ำดังแสดงในรูปที่ 13 ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดถูบริเวณ ผิวด้านบนแนวเชื่อมพอกแข็งพบว่า การเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมที่ต่ำมีการสูญเสียปริมาณมวลของเนื้อโลหะพอกแข็งน้อยกว่า การเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมที่สูง เนื่องจากการเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมต่ำ มีการเจือจางน้อยกว่า ทำให้ค่าความแข็งสูงกว่า โดยค่าความแข็งมีผลโดยตรงต่อความต้านทานการสึกหรอ ซึ่งถ้าวัสดุมีความแข็งที่ผิวสูงจะมีความต้านทานการสึกหรอได้ดีกว่าวัสดุที่ผิวมีความแข็งต่ำ [17] นอกจากนี้ยังพบว่า การลดลงของปริมาณธาตุโครเมียม ซิลิคอน และแมงกานีสในชั้นพอกแข็งซึ่งมีผล



รูปที่ 12 ลักษณะเนื้อเชื่อมพอกแข็งที่เกิดการสึกหรอ



บทความวิจัย



รูปที่ 13 มวลที่หายไปของโลหะฐานและโลหะพอกแข็งต่อการสึกหรอของแนวเชื่อม [18] และการเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมสูงพบปริมาณเฟสออสเทนไนต์มากกว่า ซึ่งเฟสออสเทนไนต์เป็นเฟสที่มีค่าความแข็งต่ำจึงมีความสามารถต้านทานการสึกหรอได้น้อยกว่าเฟสมาเทนไซต์ที่มีความแข็งสูงกว่า [19] ซึ่งการเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 90 A มีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญหายน้อยสุดที่ 0.268 % ขณะที่กระแสไฟเชื่อม 130 A มีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญหายมากที่สุดที่ 0.584 %

4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของการเพิ่มกระแสไฟเชื่อมพอกผิวแข็งแบบอาร์กด้วยลวดเชื่อมต่อพฤติกรรมการสึกหรอแบบขัดสีสำหรับอุปกรณ์เตรียมดินในงานเกษตรสามารถสรุปได้ดังนี้ บริเวณเนื้อเชื่อมพอกแข็งพบโครงสร้างมาร์เทนไซต์และออสเทนไนต์ การเชื่อมด้วยกระแสไฟสูงทำให้เกิดความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานสูงเกิดการเจือจางของโลหะเชื่อมสูงค่าความแข็งมีแนวโน้มลดต่ำลงค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นและอัตรา

การสึกหรอที่ลดลง เกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุในโลหะพอกแข็งสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสม คือ กระแสไฟเชื่อม 90A ให้ค่าความแข็งแนวเชื่อมสูงสุดเฉลี่ย 634 HV มีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญหายต่ำสุด 0.268% เหมาะกับการนำไปใช้ในงานเชื่อมพอกแข็งอุปกรณ์เตรียมดินเพื่อให้สามารถทนต่อการสึกหรอ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Balasubramanian, R. Varahamoorthy, C.S. Ramachandran and C. Muralidharan, Selection of welding process for hardfacing on carbon steels based on quantitative and qualitative factors, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009, 40, 887-897.
- [2] J.J. Coronado, H.F. Caicedo and A.L. Gomez, The effects of welding processes on abrasive wear resistance for hardfacing deposits, *Tribology International*, 2009, 42(5), 745-749.
- [3] M.F. Buchely, J.C. Gutierrez, L.M. Leon and A. Toro, The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys, *Wear*, 2005, 259, 52-61.



- [4] S. Chatterjee and T.K. Pal, Wear behaviour of hardfacing deposits on cast iron, *Wear*, 2003, 255, 417-425.
- [5] M. Kirchgabner, E. Badisch and F. Franek, Behaviour of iron based hardfacing alloys under abrasion and impact, *Wear*, 2008, 265 (5-6), 772-779.
- [6] G.R.C. Pradeep, A. Ramesh and B.D. Prasad, A review paper on hardfacing processes and materials, *International Journal of Engineering Science Technology*, 2010, 2(11), 6507-6510.
- [7] S.D. Borle, I. Le Gall and P.F. Mendez, Primary chromium carbide fraction control with variable polarity SAW, *Welding Journal*, 2015, 94(1), 1-7.
- [8] K. Yang, Y. Shengfu, L. Yingbin and L. Chenglin, Effect of carbonitride precipitates on the abrasive wear behaviour of hardfacing alloy, *Applied Surface Science*, 2008, 254(16), 5023-5027.
- [9] S. Prasomthong and S. Namkaew, The influence of adding aluminum welding wire on mechanical properties and chemical composition of the welding hardfacing welded low carbon steel by gas tungsten arc welding process, *The Journal of Industrial Technology*, 2019, 15(1), 27-36. (in Thai)
- [10] P.B. Srinivasan, V. Muthupandi, W. Dietzel and V. Sivan, An assessment of impact strength and corrosion behaviour of shielded metal arc welded dissimilar weldments between UNS 31803 and IS 2062 steels, *Materials and Design*, 2006, 27(3), 182-191.
- [11] D. Liu, R. Liu, Y. Wei, Y. Ma and K. Zhu, Microstructure and wear properties of Fe-15-Cr-2.5Ti-2C- xB wt% hardfacing alloys, *Applied Surface Science*, 2013, 253-259.
- [12] R. Hossain, F. Pahlevani, and V. Sahajwalla, Effect of small addition of Cr on stability of retained austenite in high carbon steel, *Materials Characterization*, 2017, 114-122.
- [13] W. Winarto and D. Priadi, Effect of preheating and buttering on cracking susceptibility and wear resistance of hardfaced HSLA steel deposit, *Quarterly Journal of Japan Welding Society*, 2013, 31(4), 202-205.
- [14] G. Magudeeswaran, V. Balasubramanian and G.M. Reddy, Effect of welding processes and consumables on high cycle fatigue life of high strength quenched and tempered steel joints, *Materials and Design*, 2008, 29(9), 1821-1827.



- [15] D.G. Morris, The origins of strengthening in nanostructured metals and alloys, *Revista de Metalurgia*, 2010, 46(2), 173-186.
- [16] A. Inoue, Bulk glassy and nonequilibrium crystalline alloys by stabilization of supercooled liquid fabrication functional properties and applications, *Proceedings of the Japan Academy Series B*, 2005, 81(6), 172-188
- [17] A. Bain, R. Keerthi, S. Jagadeesan, A.I. Akkireddy, N. Sateesh, S. Singh and R. Subbiah, Wear and microstructure analysis on AISI420 stainless steel by annealing & tempering process under dry sliding conditions, *Advances in Materials and Processing Technologies*, 2021, 8(2), 1-11.
- [18] X. Jin, B. Chen and K. Feng, Effect of chromium on microstructure and wear resistance of Fe-Cr-C hardfacing alloys, *Materials Science Forum*, 2020, 1001, 41-46.
- [19] J.J. Coronado, H.F. Caicedo and A.L. Gómez, The effects of welding processes on abrasive wear resistance for hardfacing deposits, *Tribology International*, 2009, 42(5), 745-749.