

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมและสมบัติของโลหะเชื่อมพอกแข็งเหล็กหล่อสีเทา

ทวี หมด๊ะ^{1*} ปิยะวรรณ สุนาสวน² และอรจิตร แจ่มแสง³

tavee.mad@rmutr.ac.th^{1*}, piyawan.sun@rmutr.ac.th², orajit.pra@rmutr.ac.th³

¹⁻³ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
รัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

Received: May 29, 2017
Revised: March 22, 2018
Accepted: June 11, 2018

บทคัดย่อ

การเชื่อมพอกแข็งเป็นหนึ่งในวิธีการเพิ่มสมบัติทางกลของพื้นผิวชิ้นส่วนเครื่องจักร เช่น ความแข็ง หรือความต้านทานการเสียดสี ที่สามารถทำได้ง่ายและการปฏิบัติการไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงวัสดุพื้นผิวหรือวัสดุของผิวพอกแข็งที่มีการกระทำอย่างต่อเนื่องส่งผลทำให้ต้องมีการศึกษาเพื่อจัดทำข้อกำหนดจำเพาะขั้นตอนการเชื่อมใหม่ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมประกอบด้วยกระแสเชื่อมและจำนวนชั้นการพอกแข็ง ที่มีผลต่อความต้านทานการสึกหรอ ความแข็ง โครงสร้างจุลภาค และการแตกร้าวของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนพื้นผิวเหล็กหล่อเทา ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความแข็งของแนวเชื่อมพอกแข็งและความต้านทานการสึกหรอของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น ตัวแปรการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งสูงสุด 550 HV และอัตราการต้านทานการสึกหรอต่ำสุด 1.23 % คือแนวเชื่อมพอกแข็งกระแสเชื่อม 160 A การเพิ่มจำนวนชั้นในการพอกแข็งส่งผลทำให้ความแข็งและความต้านทานการสึกหรอเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลทำให้ปริมาณการแตกร้าวในโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: การเชื่อมพอกแข็ง กระแสเชื่อม จำนวนชั้น การสึกหรอการแตกร้าว

Relative Study of Gas Metal Arc Welding Parameter and Hard-faced Weld Metal Properties on Grey Cast Iron Surface

Tavee Madsa^{1*}, Piyawan Sunasuan² and Orakit Jaemsang³
tavee.mad@rmutr.ac.th^{1*}, piyawan.sun@rmutr.ac.th², orakit.pra@rmutr.ac.th³

¹⁻³ Department of Industrial Engineering Technology, Faculty of Industry and Technology,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Wang Klai Kang Won Campus

Received: May 29, 2017
Revised: March 22, 2018
Accepted: June 11, 2018

Abstract

Hard-faced welding is a simple and non-complex operation that could raise mechanical properties such as hardness and wear of the machine part surface. However, a variation of a base material and an electrode that is continuously performed, it leads to investigate for new welding procedure specification. This research aims to study gas metal arc welding process parameter that composed of welding currents and hard-faced weld layers on wear, hardness, microstructure and cracking on a hard-faced weld metal on grey cast surface. The summarized results were as follows. Increase of the welding current affected to increase the hardness and the wear resistance of the hard-faced weld metal. The optimum welding parameter that produced the hardness of 550 HV and the wear resistance of 1.23% was the welding current of 160 A. Increase of the hard-faced weld layer resulted in the increase of the hardness and the wear resistance of the weld metal and resulted in the increase of the crack amount.

Keywords: hard-faced welding, welding current, welding layer, wear, cracking.

1. บทนำ

การสึกหรอของพื้นผิวชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เกิดจากการสัมผัสของพื้นผิว เช่น การขัด การสี การหมุน การกระแทก กับสภาวะแวดล้อมที่มีความแข็งที่แตกต่าง เช่น พื้นผิวของชิ้นส่วนอื่นๆ หรือส่วนของแข็งขนาดเล็กที่หลุดร่วงในเครื่องจักร การเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกันของชิ้นส่วนและสิ่งแวดล้อมต่างๆ นี้ทำให้เกิดการหลุดร่วงออกมาของอนุภาค และทำให้ขนาดของชิ้นส่วนเกิดความการลดขนาดลงจากขนาดเดิม ผลของการลดขนาดลงนี้ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรลดลงได้ [1] ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการสึกหรอประกอบด้วย โครงสร้างจุลภาคของโลหะที่เกิดการสัมผัสกัน รูปแบบของโลหะ ความหยาบผิวของโลหะ ขนาดเกรนของโลหะ แรงที่มากระทำต่อชิ้นส่วน อุณหภูมิในการสัมผัสกันของโลหะสองชนิด ความเร็วในการสัมผัส และสิ่งแวดล้อมในขณะใช้งาน เป็นต้น [2]

การเชื่อมซ่อม (Repair welding) เป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการซ่อมแซมเนื้อโลหะที่เกิดการสึกหรอ เนื่องจากเป็นวิธีการที่สะดวก ต้นทุนในการผลิตผิวพอกต่ำ ในบางกรณีไม่จำเป็นต้องถอดชิ้นส่วนออกจากเครื่องจักร นอกจากนั้นการเชื่อมพอกสามารถทำให้เกิดผิวพอกที่มีความแข็งและสามารถต้านทานการสึกหรอได้ดีกว่าโลหะเดิม เมื่อเลือกลวดเชื่อมพอกแข็งและตัวแปรการเชื่อมที่มีความเหมาะสมกับโลหะนั้นๆ ที่ผ่านมามีการประยุกต์การเชื่อมเพื่อทำการสร้างชิ้นโลหะพอกแข็งที่น่าสนใจ และพบว่าความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็งนั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบของเฟสที่เกิดขึ้นในโลหะเชื่อม โลหะเชื่อมบนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน 1020 ที่สร้างขึ้นด้วยการเชื่อมอาร์กโลดหุ้มฟลักซ์ (Shielded metal arc welding: SMAW) นั้นสามารถเพิ่มความแข็งได้

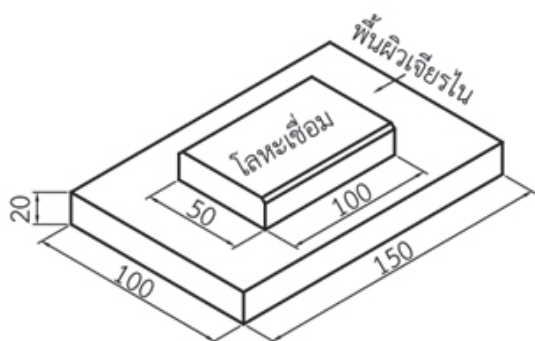
เมื่อลวดเชื่อมที่เลือกใช้นั้นสามารถทำให้เกิดการกระจายตัวอย่างละเอียดของเฟส Fe-Ti Fe-V Fe-Mo และเฟสคาร์ไบด์ [3] หรือการกระจายตัวอย่างละเอียดของเฟสโครเมียมคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง JIS-S45C [4] นอกจากนั้นค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอนสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อมีการควบคุมอุณหภูมิระหว่างที่เยวเชื่อม และจำนวนการเชื่อมซ้อนแนว [5] ในกรณีของการเชื่อมเหล็กหล่อเทา ค่าความแข็งของชิ้นโลหะเชื่อมพอกแข็งด้วยวิธีการเชื่อมอาร์กโลดหุ้มฟลักซ์สามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อการกระจายตัวของเฟสโลหะคาร์ไบด์ต่างๆ เช่น โครเมียมคาร์ไบด์ หรือวานาเดียมคาร์ไบด์ ในโลหะเชื่อมพอกแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามหากเลือกโลหะเชื่อมที่มีปริมาณคาร์บอนสูงอาจทำให้โลหะเกิดการแตกร้าได้ [6-8]

ข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีจุดประสงค์ในการเชื่อมพอกแข็งเหล็กหล่อเทาด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding: GMAW) ซึ่งเป็นกระบวนการเชื่อมอัตโนมัติ ง่ายต่อการควบคุมตัวแปร และสามารถลดปัญหาของคุณภาพช่างเชื่อมและลวดเชื่อมลงได้ โลหะเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมถูกนำไปทำการตรวจสอบเพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม ข้อมูลการทดลองที่ได้สามารถนำไปใช้ในการเชื่อมพอกแข็งโลหะเหล็กหล่อเทาในงานอุตสาหกรรมต่อไป

2. วิธีการทดลอง

โลหะฐาน (Base metal: BM) ในการทดลองคือแผ่นเหล็กหล่อเทาหนา 20 มิลลิเมตร กว้าง 100 มิลลิเมตร และยาว 150 มิลลิเมตร ที่ได้จากการหล่อทรายเปียก (Green sand casting) ดังรูปที่ 1 ผิวดิบของแผ่นเหล็กหล่อ

ด้านบนถูกกำจัดออกด้วยเครื่องเจียรไนราบที่มีการหล่อเย็นเพื่อทำให้เกิดความสม่ำเสมอ ก่อนการเชื่อม ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อเทาและลวดเชื่อมแสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 รูปร่างชิ้นงานเชื่อม (หน่วย: mm.)

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทดลอง

ธาตุผสม	ส่วนผสมทางเคมี (%น้ำหนัก)	
	เหล็กหล่อเทา	ลวดเชื่อม
C	3.200	0.588
Si	2.300	0.667
Mn	0.550	1.994
P	-	0.012
S	-	0.001
Cr	0.400	7.846
Mo	-	0.572
V	-	0.345

กระบวนการเชื่อมในการทดลองนี้ คือ การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม โดยเครื่องเชื่อมอินเวอร์เตอร์เครื่องหมายการค้า Fronius รุ่น Transpuls synergic 2700 Alu-edition ลวดเชื่อมที่ใช้ในการสร้างชั้นพอกแข็ง คือลวดไส้ฟลักส์ (Flux-cored wire electrode) ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อม 1.60 มิลลิเมตร

ในการเชื่อมโลหะพอกแข็ง กำหนดให้การเชื่อมเกิดขึ้นในพื้นที่กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ตำแหน่งกึ่งกลางของแผ่นเหล็กหล่อ [9] ดังรูปที่ 1 เท่านั้น ตัวแปรการเชื่อมในการทดลองถูกกำหนดค่าดังตารางที่ 2 การเชื่อมซ้ำแนวกำหนดให้เป็นดังรูปที่ 2 กล่าวคือแนวเชื่อมปัจจุบันมีการเกยซ้อนบนแนวเชื่อมก่อนหน้าประมาณ 30% (พิจารณาแนวเชื่อมที่ 1 และ 2) ขณะที่แนวเชื่อมชั้นที่สูงขึ้น กำหนดให้แนวเชื่อมเริ่มต้นอยู่กึ่งกลางแนวเชื่อมด้านล่างดังตำแหน่งแนวที่ 7 ที่อยู่กึ่งกลางของแนวที่ 1 และ 2

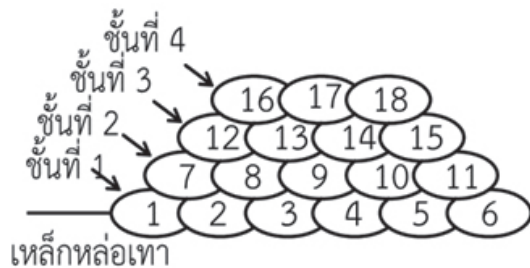
ตารางที่ 2 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการเชื่อม

ตัวแปรการเชื่อม	ค่ากำหนด
- กระแสเชื่อม (A)	120-180
- ความเร็วเดินแนว (mm/min)	200
- จำนวนชั้นพอกแข็ง (ชั้น)	1-4
- อุณหภูมิอุ้งงาน (°C)	400
- แก๊สปกคลุม	CO ₂
- อัตราการไหลแก๊สปกคลุม (l/min.)	12

การทดสอบและตรวจสอบสมบัติของโลหะเชื่อมพอกแข็งประกอบด้วยการทดสอบความต้านทานการสึกหรอ (Wear test) การทดสอบความแข็งของโลหะเชื่อม และการตรวจสอบโครงสร้างโลหวิทยาของโลหะเชื่อม โดยมีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

การทดสอบความต้านทานการสึกหรอ เป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบของโลหะเชื่อม โลหะเชื่อมที่มีการสูญเสีย น้ำหนักน้อย คือโลหะที่มีความต้านทานการสึกหรอสูง การทดสอบดำเนินการตาม ASTM G65 โดยกำหนดสภาวะการทดสอบ ประกอบด้วยความเร็วรอบการหมุนของล้อขัด

200 รอบต่อนาที แรงกดขึ้นทดสอบเข้าสู่ล้อยัด
 ยางเท่ากับ 130 นิวตัน สารขัด คือทรายซิลิกา
 ขนาด 120 เมช ระยะเวลาในการขัด 30 นาที
 ระยะทางในการทดสอบรวม 4000 เมตร [10]



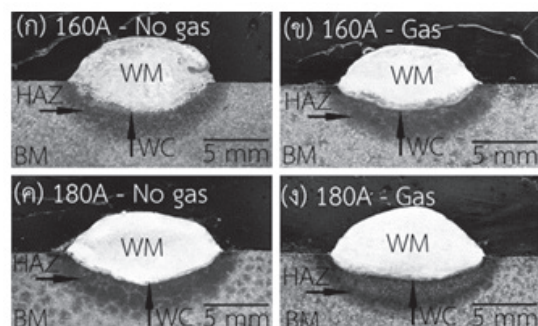
รูปที่ 2 ลำดับการเชื่อมพอกแข็ง [4]

การทดสอบความแข็งแรงใช้การทดสอบ
 ความแข็งแรงไมโครวิกเกอร์ส สภาพการทดสอบ
 ประกอบด้วยแรงกด 300 กรัมแรง เวลากดแช่
 10 วินาที โดยทำการทดสอบความแข็งแรงในพื้นที่
 ของโลหะฐาน พื้นที่กระทบร้อน (Heat affected
 zone: HAZ) และโลหะเชื่อมพอกแข็ง (Weld
 metal: WM) ในแต่ละชั้น

การตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา
 ประกอบด้วยการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคผ่าน
 กล้องกำลังขยายต่ำและการตรวจสอบโครงสร้าง
 จุลภาคผ่านกล้องจุลทรรศน์แสง (Light optical
 microscope: LOM) ในการเตรียมชิ้นทดสอบ
 แผ่นโลหะเชื่อมถูกเลือกตัดตั้งฉากกับแนวเชื่อม
 ที่ระยะกึ่งกลางแผ่นโลหะเชื่อมด้วยเครื่องตัด
 ใบขัดสีความเร็วรอบสูงที่มีการหล่อเย็นด้วย
 น้ำหล่อเย็นขณะตัดเพื่อป้องกันการเกิดการ
 เปลี่ยนแปลงโครงสร้างโลหะวิทยาเนื่องจาก
 ความร้อน ชิ้นงานที่ได้ถูกนำทำการขัดหยาบด้วย
 กระดาษทรายในน้ำไหลเบอร์ 150-1500 และ
 ทำการขัดมันด้วยผงเพชรขนาด 1 ไมโครเมตร
 ผิวหน้าชิ้นงานที่มันวาวคล้ายกระจกถูกทำการ
 กัดผิวหน้าด้วยสารละลายที่กำหนดเพื่อแสดง
 รายละเอียดของโครงสร้างโลหะวิทยา

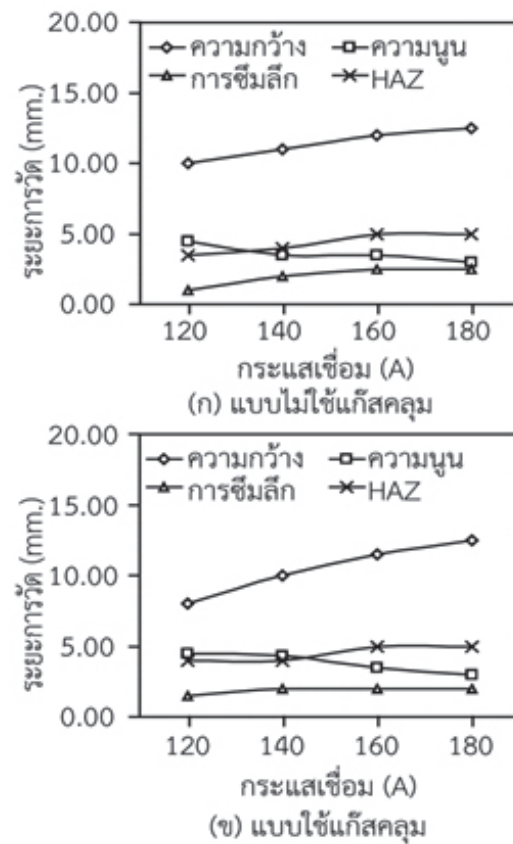
3. ผลการทดลอง

รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างมหภาคของแนว
 เชื่อมพอกแข็ง 1 แนวที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม
 160 และ 180 แอมแปร์ (A) ที่มีการเชื่อมโดย
 ไม่มีแก๊สคลุม (No gas) และมีแก๊สคลุม (Gas)
 พบโครงสร้างมหภาคแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่หลัก
 ประกอบด้วยโลหะฐาน (BM) โลหะเชื่อมพอก
 (WM) และพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) การตรวจสอบ
 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมพบว่าแนวเชื่อม
 ที่ได้มีความสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่องต่างๆ เช่น
 รูพรุน การหลอมไม่สมบูรณ์ หรือรอยกัดแหว่ง
 ในโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม อย่างไรก็ตาม
 เมื่อทำการเชื่อมที่กระแสต่ำ 120 A ทั้งสองแบบ
 พบจุดบกพร่อง ขนาดใหญ่ที่เกิดจากการ
 หลอมละลายไม่สมบูรณ์ ด้วยเหตุนี้การเชื่อมที่
 กระแสต่ำควรมีการหลีกเลี่ยง กระแสเชื่อมที่
 เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ความกว้างของแนวเชื่อม
 ความกว้างของพื้นที่กระทบร้อน และระยะ
 การซึมลึกของแนวเชื่อมพอกแข็งเพิ่มขึ้น แต่มี
 ความนูนของแนวเชื่อมลดลง ความกว้างของ
 แนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟเชื่อมมีค่าสูง
 ส่งผลทำให้โลหะเชื่อมที่เกิดการอาร์กที่รุนแรงขึ้น
 กระจายออกด้านข้างของแนวเชื่อมและทำให้
 ความนูนของแนวเชื่อมลดลงดังรูปที่ 4

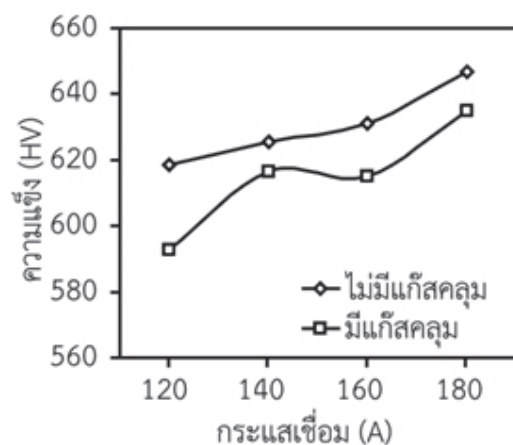


รูปที่ 3 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมพอกแข็ง
 1 ชั้น ที่เชื่อมด้วยกระแส 160 A

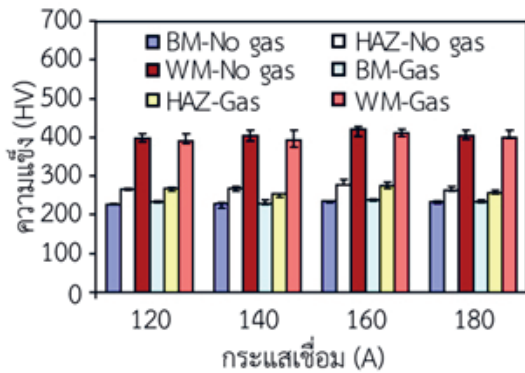
ค่าการเปลี่ยนแปลงมิติต่างๆ ของแนวเชื่อมของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนพื้นผิวเหล็กหล่อเทาที่ได้นี้มีความเหมือนและแตกต่างจากมิติของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง 0.45% ที่ใช้ลวดเชื่อมโครเมียมสูงในการเชื่อมพอกแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางนั้น ความกว้าง ความหนา และระยะห่างของพื้นที่ HAZ มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใช้กระแสเชื่อม 150-230 A และทำให้ระยะการซึมลึกลดลงได้ [4] การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของโลหะเชื่อมที่บริเวณขอบเขตระหว่างพื้นที่การหลอมละลายและพื้นที่ที่กระแทกร้อนเกิดขึ้นหลอมสีขาว (White cast layer) เกิดขึ้นดังแสดงด้วยลูกศร WC ในรูปที่ 3 ชั้นหลอมสีขาวที่เกิดขึ้นนี้มีค่าความแข็งค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่นๆ ของโลหะเชื่อมเนื่องจากบริเวณนี้เกิดการก่อตัวของโลหะคาร์ไบด์ที่เกิดจากธาตุคาร์บอนและเหล็กหรือโครเมียม หรือวานาเดียม หรือแมงกานีส ซึ่งเป็นธาตุผสมที่มีในลวดเชื่อมพอกแข็ง [11] การเกิดเฟสเหล่านี้ส่งผลทำให้ค่าความแข็งของชั้นหลอมสีขาวเกิดการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 5 อย่างไรก็ตามการตรวจสอบโครงสร้างที่ชัดเจนด้วยเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงควรมีการศึกษาต่อไป



รูปที่ 4 มิติของแนวเชื่อมพอกแข็ง

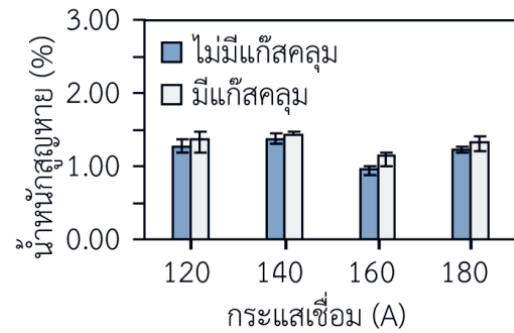


รูปที่ 5 ความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็ง 1 แนวที่กระแสเชื่อมต่างๆ



รูปที่ 6 ความแข็งแรงของโลหะฐาน พื้นที่กระพร้อน และโลหะเชื่อมพอกที่กระแสเชื่อมต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงเฉลี่ยของโลหะฐาน พื้นที่กระพร้อน และโลหะเชื่อมพอก 1 แนวที่ทำการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมต่างๆ ยังไม่มีและมีแก๊สคลุมโลหะเชื่อมดังรูปที่ 6 (ความแข็งแรงที่ได้ในรูปที่ 6 นี้ไม่นับรวมกับความแข็งแรงของชั้นหลอมสีขาวที่พบในรูปที่ 5) ผลการทดสอบพบว่าค่าความแข็งแรงของพื้นที่กระพร้อนมีค่าสูงกว่าโลหะฐาน เนื่องจากการปรับสภาพของเกล็ดกราไฟท์และโครงสร้างพื้น (Matrix) ของเหล็กหล่อเทาที่มีขนาดเล็กและละเอียดลง [12] ขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับความแข็งแรงของโลหะเชื่อมพบว่าความแข็งแรงที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากการก่อตัวของเฟสโลหะคาร์ไบด์เสริมแรงในปริมาณสูงของเหล็กหล่อเทาทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้ [6-8] และเมื่อพิจารณาโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อมต่างๆ พบว่าค่าความแข็งแรงสูงสุดของโลหะเชื่อมเมื่อทำการเชื่อมด้วยกระแส 4 ค่าและใช้แก๊สปกคลุมที่แตกต่าง การเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 160 A แบบไม่ใช้แก๊สปกคลุมมีค่าความแข็งแรงสูงสุดประมาณ 418 HV

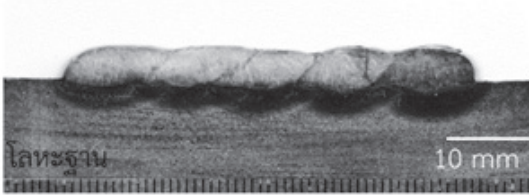


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ดูดซับและกระแสเชื่อมของโลหะเชื่อมพอกแข็ง 1 ชั้น

ค่าความแข็งแรงของโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 120-180 A และการใช้แก๊สปกคลุมที่แตกต่างกันนี้ส่งผลโดยตรงต่อความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมพอกแข็งที่ทำการทดสอบและแสดงในรูปของการสูญเสียน้ำหนักโลหะเชื่อมที่มีความแข็งแรงสูงเป็นโลหะเชื่อมที่มีความต้านทานการสึกหรอสูงสูงสุดดังรูปที่ 7 ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า กระแสเชื่อม 160 A และการเชื่อมแบบไม่ใช้แก๊สคลุมเป็นกระแสเชื่อมที่เหมาะสมทำให้เกิดความแข็งแรงสูง และความต้านทานการสึกหรอสูงจึงถูกเลือกเป็นตัวเลือกสำหรับการเชื่อมสำหรับสร้างโลหะเชื่อมพอกแข็ง 1-4 ชั้นบนแผ่นเหล็กหล่อเทาต่อไป

รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมพอกแข็ง 1-4 ชั้น พบรอยแตกร้าว (Crack) บนพื้นที่ทำการตรวจสอบ และมีทิศทางตั้งฉากกับผิวหน้าแนวเชื่อมดังรูปที่ 8 (ก) เมื่อจำนวนชั้นพอกแข็งเพิ่มขึ้น ปริมาณแตกร้าวที่แนวเชื่อมเพิ่มขึ้น และตำแหน่งการเกิดการแตกร้าวเกิดทั่วไปบนโลหะเชื่อมเริ่มจากแนวที่ 1 ไปสู่ผิวหน้าแนวเชื่อม นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาตำแหน่งโคนแนวเชื่อมเมื่อทำการเชื่อมชั้นพอกแข็งที่ 2-4 พบการเกิดการแตกร้าวที่โคนแนวเชื่อมขึ้นดังวงรีในรูปที่ 8 (ข) ถึง (ง)

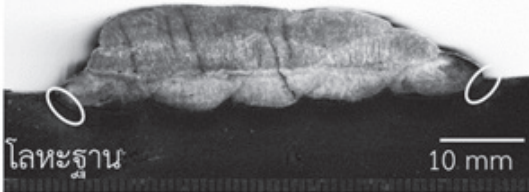
(ก) 1 ชั้น



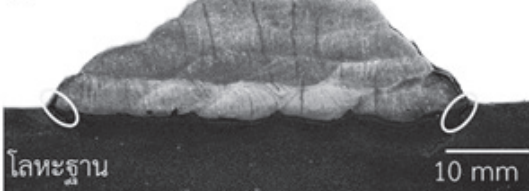
(ข) 2 ชั้น



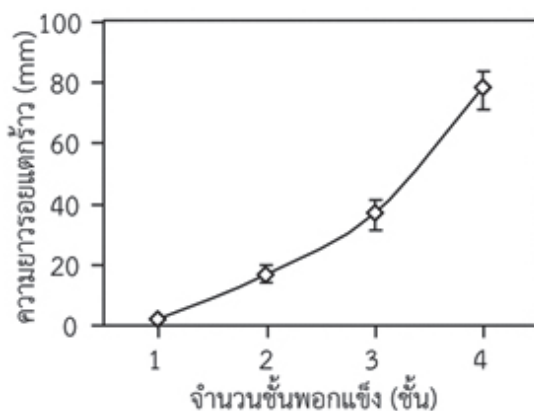
(ค) 3 ชั้น



(ง) 4 ชั้น

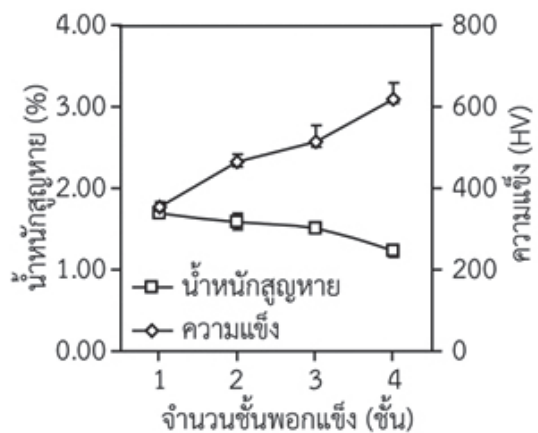


รูปที่ 8 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม
พอกแข็ง 1-4 ชั้น



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวแตกร้า
และจำนวนชั้นพอกแข็ง

รอยแตกร้านี้ขยายตัวลึกลงไปในพื้นที่
กระพร้อนของแนวเชื่อม เมื่อทำการวัดความ
ยาวรวมที่เกิดขึ้นในโครงสร้างมหภาคของการ
เชื่อมพอกแข็ง 1-4 ชั้น พบว่าความยาวของการ
แตกร้าแปรผันตรงกับจำนวนชั้นพอกแข็งดังรูป
ที่ 9 การแตกร้าที่เกิดขึ้นในการเชื่อมเหล็กหล่อนี้
เป็นสิ่งที่ต้องการทำการพิจารณาหาสาเหตุ
ต่อไป เนื่องจากการเชื่อมพอกแข็งด้วยลวดเชื่อม
หุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่มีปริมาณ
โครเมียมต่ำกว่า 4.50% นั้นไม่เกิดขึ้น และ
ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอที่ได้
มีค่าต่ำกว่า [12] นอกจากรอยแตกร้าที่เกิดขึ้น
ในรอยต่อพบว่าการเชื่อมพอกแข็งซ้ำหลายแนว
ส่งผลโดยตรงต่อการบิดตัวของแนวเชื่อม
ดังพบได้ในรูปที่ 8 แผ่นงานโลหะด้านข้างถูกดึง
เข้าแนวเชื่อมและบิดงอเพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวน
ชั้นเพิ่มมากขึ้น การศึกษาเรื่องการขยายและ
หดตัวเนื่องจากความร้อนที่ให้แกแนวเชื่อมควรมี
การศึกษาเพิ่มเติม เพื่อลดการบิดเบี้ยวเนื่องจาก
ความร้อนการเชื่อมต่อไป



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของตัวแปรการเชื่อม
พอกแข็งระหว่างค่าความแข็งและอัตราการ
ต้านทานการสึกหรอ

แผ่นเหล็กหล่อที่ถูกเชื่อมพอกแข็งจำนวน 1-4 ชั้นถูกนำมาทำการเตรียมชิ้นทดสอบ เพื่อทดสอบความแข็ง และทดสอบความต้านทานการสึกหรอ ผลการทดสอบดังรูปที่ 10 แสดงค่าความแข็งของโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนชั้นพอกแข็งเพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 4 ชั้น ค่าน้ำหนักสูญหายที่มีค่าต่ำสุดหรือค่าความต้านทานสูงสุดพบได้เมื่อทำการเชื่อมพอกแข็ง 4 ชั้น ที่แสดงค่าน้ำหนักสูญหายประมาณ 1.23% การเพิ่มขึ้นของโลหะเชื่อมพอกแข็งเมื่อจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น คาดว่าเกิดจากการลดความเจือจาง (Dilution) ของส่วนผสมทางเคมีของโลหะลวดเชื่อมเมื่อจำนวนชั้นการเชื่อมซ้อนแนวเพิ่มขึ้น ส่วนผสมของโลหะลวดเชื่อมที่มีค่าเจือจางลดลงนี้ทำให้ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อมเข้าใกล้ส่วนผสมทางเคมีของโลหะลวดเชื่อมซึ่งบ่งชี้ให้ทราบถึงการที่โลหะลวดเชื่อมมีสมบัติทางกลที่ใกล้เคียงกับโลหะลวดเชื่อมที่กำหนด ผลการทดลองคล้ายกันนี้พบได้เมื่อทำการเชื่อมบนพื้นผิวเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และเหล็กกล้ามาเทนไซต์ SA553 ที่เชื่อมด้วยการเชื่อมเลเซอร์ [13] หรือการเคลือบผิวพอกแข็งโลหะผสมนิกเกิล-โครเมียม-โบรอน-ซิลิกอน-คาร์บอนบนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน [14] หรือการเชื่อมพอกแข็งจำนวน 3 ชั้นบนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36 ด้วยการเชื่อมอาร์กกลวดหุ้มฟลักซ์ [15, 16] หรือการเชื่อมพอกแข็งจำนวน 3 ชั้นบนพื้นผิวเหล็กหล่อเทา ASTM grade 2500 ด้วยการเชื่อมอาร์กกลวดหุ้มฟลักซ์ [17] ผลการทดลองเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงการมีส่วนผสมของโลหะเชื่อมที่มีค่าใกล้เคียงลวดเชื่อมเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนชั้นการเชื่อมพอกแข็งเพิ่มขึ้น และทำให้ความแข็งและความต้านทานการสึกหรอที่เพิ่มขึ้น

4. สรุปผลการทดลอง

โลหะเชื่อมพอกแข็งถูกสร้างขึ้นด้วยตัวแปรการเชื่อมที่กำหนดเพื่อเสริมความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของพื้นผิวเหล็กหล่อเทา เพื่อหาสภาวะการเชื่อมที่ทำให้เกิดความแข็งและความต้านทานการสึกหรอสูงสุด ผลการทดลองโดยสรุปที่ดังนี้

4.1 กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความแข็งของแนวเชื่อมพอกแข็งและความต้านทานการสึกหรอของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น

4.2 ตัวแปรการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งสูงสุด 550 HV และอัตราการต้านทานการสึกหรอต่ำสุด 1.23 % คือแนวเชื่อมพอกแข็งกระแสเชื่อม 160 A ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที และจำนวนชั้นพอกผิว 4 ชั้น

4.3 การเพิ่มจำนวนชั้นในการพอกแข็งส่งผลทำให้ความแข็งและความต้านทานการสึกหรอเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลทำให้ปริมาณการแตกร้าวในโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยประจำปี 2559 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wang XH, Han F, Liu XM, Qu SY, Zou ZD. Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of Fe-based hardfacing coatings. Materials Science and Engineering: A. 2008; 489:193-200.
- [2] American Society for Metals. ASM Metals HandBook Volume 8 - Mechanical Testing and Evaluation. USA: ASTM International, 1995.

- [3] Yang K, Yu S, Li Y, Li C. Effect of carbonitride precipitates on the abrasive wear behaviour of hardfacing alloy. *Applied Surface Science*. 2008;254:5023-5027.
- [4] Kimapong K, Triwanapong S, Prasomthng S, Wattanajitsiri V. Effect of buffering and hard-faced welding on mechanical properties of JIS-S50C carbon steel. *Journal of Engineering, RMUTT*. 2016;14: 77-86 (In Thai).
- [5] Selvi S, Sankaran SP, Srivatsavan R. Comparative study of hardfacing of valve seat ring using MMAW process. *Journal of Materials Processing Technology*. 2008;207: 356-362.
- [6] Poonnayom P, Wattanajitsiri V, Chanchana A, Meechakha S, Kimapong K. Effect of milling process parameter on chip morphology and cutting edge wear in faced milling process of hardfacing weld metal on JIS-S50C carbon steel surface. *Journal of Research and Development*. 2016;27:37-42 (In Thai).
- [7] Buchanan VE, Shipway PH, McCartney DG. Microstructure and abrasive wear behaviour of shielded metal arc welding hardfacings used in the sugarcane industry. *Wear*. 2007; 263:99-110.
- [8] Fan C, Chen MC, Chang CM, Wu W. Microstructure change caused by (Cr,Fe)₂₃C₆ carbides in high chromium Fe–Cr–C hardfacing alloys. *Surface and Coatings Technology*. 2006;201:908-912.
- [9] Japanese Industrial Standard, Welding: JIS Z 3114 (1990) Method of Hardness Test for Deposited Metal. Tokyo: Japanese Standards Association. 1997.
- [10] Buchely MF, Gutierrez JC, León LM, Toro A. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear*. 2005;259:52-61.
- [11] Klocke F, Hensgen L, Klink A, Ehle L, Schwedt A. Structure and composition of the white layer in the Wire-EDM process. *Procedia CIRP*. 2016;42:673-678.
- [12] Poonnayom P, Yamphurn P, Wattanajitsiri V, Triwanapong S, Kimapong K. Microstructure and wear of hard-faced weld metal on FC25 grey cast iron. *Journal of Research and Development*. 2016;27:35-41 (In Thai).
- [13] Wu Y, Cai Y, Wang H, Shi S, Hua X, Wu Y. Investigation on microstructure and properties of dissimilar joint between SA553 and SUS304 made by laser welding with filler wire. *Materials & Design*. 2015;87:567-578.

- [14] Hemmati I, Ocelík V, De Hosson JTM. Dilution effects in laser cladding of Ni–Cr–B–Si–C hardfacing alloys. *Materials Letters*. 2012;84: 69-72.
- [15] Jeshvaghani RA, Harati E, Shamanian M. 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*. 2011;32:1531-1536.
- [16] Coronado JJ, Caicedo HF, Gómez AL. The effects of welding processes on abrasive wear resistance for hardfacing deposits. *Tribology International*. 2009;42:745-749.
- [17] Chatterjee S, Pal TK. Weld procedural effect on the performance of iron based hardfacing deposits on cast iron substrate. *Journal of Materials Processing Technology*. 2006; 173:61-69.