

อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมพอกผิวแข็งต่อสมบัติความต้านทานการ  
สึกหรอของเหล็กหล่อสีเทา JIS-FC25

EFFECT OF HARD-FACED WELDING PARAMETER ON THE  
WEAR RESISTANCE PROPERTY OF JIS-FC25 GREY CAST  
IRON

ชินราช ป็องเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมพอกผิวแข็งต่อสมบัติความต้านทานการสึก  
หกรของเหล็กหล่อสีเทา JIS-FC25



ชินราช ป็องเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์      อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมพอกผิวแข็งต่อสมบัติความต้านทานการสึกหรอของเหล็กหล่อสีเทา JIS-FC25  
Effect of Hard-faced Welding Parameter on the Wear Resistance Property of JIS-FC25 Grey Cast Iron

ชื่อ – นามสกุล      นายชินราช ป็องเจริญ  
สาขาวิชา      วิศวกรรมการผลิต

อาจารย์ที่ปรึกษา      ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.  
ปีการศึกษา      2560

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต๋อสกุล, D.Eng.)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทน์มณี, Ph.D.)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยยะ ปราณิตพลกรัง, D.Eng.)

จิราดาพ วิมะนุส  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิศวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 15 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมพอกผิวแข็งต่อสมบัติความต้านทานการสึกกร่อนของเหล็กหล่อสีเทา JIS-FC25
ชื่อ - นามสกุล	นายชินราช ป็องเจริญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2560

### บทคัดย่อ

การเชื่อมพอกแข็ง เป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล เพื่อที่จะสามารถนำลูกหีบอ้อยที่ได้รับความเสียหายจากการใช้งาน กลับมาใช้งานใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ บทความนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของรูปแบบการรองพื้นต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนพื้นผิวเหล็กหล่อเทา

พื้นผิวเหล็กหล่อถูกทำการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คลวดหุ้มฟลักซ์ด้วยตัวแปรการเชื่อมที่กำหนดที่ประกอบด้วยกระแสเชื่อมและการรองพื้น ชิ้นงานเชื่อมที่ได้ถูกทำการตรวจสอบหาค่าความต้านทานการสึกกร่อน ความแข็ง และ โครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อม

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ สภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้ได้การสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด 0.0977% คือการเชื่อมแบบไม่รองพื้น และกระแสเชื่อม 130 A การเชื่อมแบบไม่รองพื้นให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกกร่อนสูงกว่าการเชื่อมแบบรองพื้น เนื่องจากการเกิดโครงสร้างมาเทนไซต์ละเอียดและเกิดการเจือจางส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมต่ำกว่า การเพิ่มกระแสเชื่อมในการเชื่อมพอกแข็งแบบไม่มีการรองพื้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกกร่อนของโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ:** การเชื่อมพอกผิวแข็ง เหล็กหล่อเทา ความต้านทานการสึกกร่อน

**Thesis Title** Effect of Hard-faced Welding Parameter on the Wear Resistance Property of JIS-FC25 Grey Cast Iron

**Name – Surname** Mr. Chinnarat Pongjareon

**Program** Manufacturing Engineering

**Thesis Advisor** Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.

**Academic Year** 2017

## ABSTRACT

Hard-faced welding has been adopted across many industries, including the sugar cane industry, as a part of maintenance programs to repair sugar cane rollers. This research aimed to study the effect of the buttering layer types on mechanical properties and microstructure of hardfacing weld on FC25 grey cast iron surface.

Shielded metal arc welding (SMAW) process with specific welding parameters that were composed of a welding current and buttering layer was applied to produce a hard faced weld metal on cast iron surface. The hard-faced metal was investigated for wear resistance, hardness, and microstructure.

The research results showed that the optimum welding condition for the lowest weight loss of 0.0977 % was the weld with non-buttering layer and with the welding current of 130 A. The hardness and the wear resistance with non-buttering layer welding was better than with buttering layer welding. The fine martensitic structure, the lower dilution of electrode composition, and the increase of welding current contributed to the increase of the hardness and the wear resistance property.

**Keywords:** hard-faced welding, grey cast iron, wear resistance

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูง และความอนุเคราะห์ของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้ คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยะ ปราณิตพลกรัง กรรมการสอบ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทร์มณี ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่าง สูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอา หลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มี พระคุณทุกท่าน

ชินราช ป้องเจริญ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	12
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	13
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	14
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 เหล็กหล่อ.....	15
2.2 การเชื่อมโลหะ.....	19
2.3 การทดสอบหาสมบัติทางกล.....	23
2.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา.....	24
2.5 การตรวจสอบการสึกกร่อน.....	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	29
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	30
3.3 การตรวจสอบโครงสร้างกายภาพทางโลหะวิทยา.....	33
3.4 การทดสอบความแข็ง.....	35
3.5 การทดสอบการสึกกร่อน.....	35

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	37
4.1 อิทธิพลของกระแสและลวดเชื่อมต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อมชั้นที่1.....	37
4.2 อิทธิพลของกระแสลวดเชื่อมต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม ชั้นที่2-3.....	43
4.3 การเปรียบเทียบอิทธิพลของกระแสเชื่อมแบบไม่สร้างชั้นรองพื้นกับสร้าง..... ชั้นรองพื้น.....	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	54
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	55
บรรณานุกรม.....	56
ภาคผนวก.....	58
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	59
ประวัติผู้เขียน.....	70





## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อชนิดต่างๆ.....	16
ตารางที่ 3.1 แสดง ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อเทา FC-25 และ ลวดเชื่อม.....	
ชนิดที่ 1,2และ3.....	29



## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อ 5 ชนิด.....	15
รูปที่ 2.2	แผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะเสถียร.....	17
รูปที่ 2.3	แผนภาพการเปลี่ยนแปลงของออสเทนไนท์ในเหล็กหล่อ.....	19
รูปที่ 2.4	(a) ภาพร่าง และ (b) ภาพถ่ายเก็ลด์คราไฟท์ของเหล็กหล่อสีเทาที่กำลังขยาย 100 เท่า	19
รูปที่ 2.5	หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ.....	20
รูปที่ 2.6	ภาพแสดงสภาวะของการเชื่อมอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม.....	22
รูปที่ 2.7	(a) เครื่องขัดแบบจานหมุน (b) ทรายที่ใช้ขัด.....	25
รูปที่ 3.1	แผนภาพการไหลขั้นตอนการทดลอง.....	28
รูปที่ 3.2	ขนาดของชิ้นงานก่อนทำการทดลอง.....	29
รูปที่ 3.3	เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง.....	30
รูปที่ 3.4	การเชื่อมแบบมีร่องพื้นและแบบไม่มีร่องพื้น.....	31
รูปที่ 3.5	ขอบเขตในการเชื่อมพอกผิวแข็ง.....	32
รูปที่ 3.6	การเชื่อมด้วยท่าราบ.....	32
รูปที่ 3.7	ชิ้นงานที่ถูกตัด.....	33
รูปที่ 3.8	อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค.....	34
รูปที่ 3.9	อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	35
รูปที่ 3.10	ตำแหน่งในการตรวจสอบ.....	35
รูปที่ 3.11	เครื่องขัดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการสึกหรอ.....	36
รูปที่ 4.1	แสดงโครงสร้างมหภาคแบบไม่มีชั้นร่องพื้น แนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1.....	38
รูปที่ 4.2	(a) โลหะฐานเหล็กหล่อ FC25 (b) ตำแหน่งการตรวจสอบ (c) เส้นหลอมละลาย (d) พื้นที่กระทบร้อน (E) โลหะเชื่อมพอกผิวแข็ง ชั้นที่ 1 แบบไม่มีร่องพื้น.....	39
รูปที่ 4.3	แสดงการทดสอบความแข็งใน แนวตั้งแบบไม่มีร่องพื้น ที่กระแส 90 A,110แอมแปร์ และ130แอมแปร์ 1ชั้น.....	40
รูปที่ 4.4	แสดงความสัมพันธ์ของความแข็งเฉลี่ย กระแสเชื่อม และชนิดของลวดเชื่อมพอก ผิวแข็ง ในชั้นที่1แบบไม่มีการเสริมชั้นผิวบนเหล็กหล่อ FC25.....	41
รูปที่ 4.5	แสดงอัตราการสึกกร่อนกับน้ำหนักที่สูญหาย แบบไม่มีร่องพื้นที่กระแส 90 A,110.....	41

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างมหภาคแบบมีชั้นรองรับ แนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1 ของเหล็กหล่อ FC25 ด้วยลวด H350 กระแส 130 แอมแปร์.....	42
รูปที่ 4.7 โครงสร้างจุลภาค แบบมีชั้นรองรับที่กระแส 90 A ชั้นที่1 (a)บริเวณโลหะฐาน (b)บริเวณรอยต่อของเนื้อเชื่อมและชั้นรองรับ (c)เนื้อเชื่อมของชั้นรองรับ (d)เนื้อเชื่อมของชั้นที่1.....	42
รูปที่ 4.8 แสดงการทดสอบความแข็งใน แนวตั้ง เสริมชั้นผิว ที่กระแส 90 A ลวดเชื่อมH350..	43
รูปที่ 4.9 แสดง โครงสร้างแบบมหภาคแบบไม่มีชั้นรองรับที่กระแส90แอมแปร์, 110แอมแปร์ และ130แอมแปร์.....	44
รูปที่ 4.10 แสดง โครงสร้างจุลภาคของโลหะพอกแข็งในชั้นที่1-3 โดยเชื่อมที่กระแส 90 แอมแปร์ด้วยลวด H350 โดยไม่สร้างชั้นรองรับ.....	45
รูปที่ 4.11 แสดง โครงสร้างจุลภาคแบบสร้างชั้นรองรับที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมทั้ง 3 ชนิด ด้วยกระแส 90 แอมแปร์ บนเหล็กหล่อ FC25.....	45
รูปที่ 4.12 แสดงความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็ง ที่เชื่อมด้วยลวด H350 บนเหล็กหล่อสีเทา FC25.....	46
รูปที่ 4.13 แสดงความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็ง ที่เชื่อมด้วยลวด H450 บนเหล็กหล่อสีเทา FC25.....	47
รูปที่ 4.14 แสดงความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็ง ที่เชื่อมด้วยลวด H600 บนเหล็กหล่อสีเทา FC25.....	48
รูปที่ 4.15 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมแบบไม่สร้างชั้นรองรับ.....	49
รูปที่ 4.16 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมแบบสร้างชั้นรองรับ.....	50
รูปที่ 4.17 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมแบบรองรับและการเชื่อมแบบไม่รองรับ.....	51
รูปที่ 4.18 ค่าความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็งที่เชื่อมแบบไม่รองรับและรองรับ.....	52
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสูญหายของโลหะเชื่อม กระแสเชื่อม และการรองรับ.....	53

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

HAZ	บริเวณกระทบร้อน (Heat Affect Zone)
A	กระแสนเชื่อม
HV	หน่วยความแข็ง (Micro Hardness Viker)
WM	บริเวณแนวเชื่อม (Weld Metal)
BM	โลหะเดิม (Base Metal)



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำตาลทรายขาวเป็นผลิตภัณฑ์หลักของอุตสาหกรรมน้ำตาล โดยมีวัตถุประสงค์ตั้งต้นในการผลิตคือ อ้อย ที่มาจากเกษตรกรชาวไร่อ้อยทั่วประเทศ ปริมาณการผลิตอ้อยของเกษตรกรชาวไร่อ้อยที่ส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวในแต่ละปีมีปริมาณค่อนข้างสูง ดังเห็นได้จากตัวเลขของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในปีการผลิต 2552/53 ที่มีปริมาณอ้อยสดจากเกษตรกรเข้าสู่กระบวนการผลิตสูงถึง 68.5 ล้านตัน[1] ปริมาณอ้อยที่เข้าสู่กระบวนการผลิตซึ่งเป็นอ้อยที่ผ่านการตัดของเกษตรกร ไม่มีการคัดแยกขนาด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้ได้ขนาดเพื่อที่จะทำให้ได้น้ำอ้อยสูงสุด ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่เกิดการเสียหายในชิ้นส่วนมาก เนื่องจากการรับอ้อยมาจากเกษตรกรนั้น โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาวบางรายไม่ได้ทำการตรวจสอบรถขนอ้อยที่ขนมาเทลงไประวางเลือนที่ลำเลียงเข้าสู่กระบวนการนั้นประกอบด้วยอะไรบ้าง เกษตรกรต้องการน้ำหนักเพิ่มอาจมีการใส่ของเจือปนที่มีน้ำหนักมากและแข็งเข้าสู่กระบวนการผลิต และเมื่อมีดสับเกิดการตัดลงไปบนวัสดุดังกล่าวทำให้เกิดการเสียหายได้ เมื่ออ้อยถูกตัดเป็นขนาดที่กำหนด อ้อยจะถูกส่งไปยังลูกหีบอ้อย เพื่อแยกน้ำอ้อยออกจากกากอ้อย ในขั้นตอนนี้เช่นเดียวกับขั้นตอนการสับอ้อย หากมีวัสดุแข็งเข้าสู่กระบวนการผลิตแล้วอาจทำให้ลูกหีบอ้อยเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นการเชื่อมซ่อมหรือการเชื่อมพอกผิวแข็งรอบๆลูกหีบอ้อย จึงต้องกระทำเมื่อเกิดปัญหาขึ้น นอกจากนั้นหากพิจารณากระบวนการผลิต แล้วพบว่าความเสียหายจากการพังทลายในขั้นตอนต่อไปอาจเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหีบอ้อยเป็นของเหลวถูกส่งเข้ากระบวนการทางเคมีอื่นๆ จนกระทั่งได้เป็นน้ำตาลทรายขาวออกมา ขณะที่กากอ้อยก็ถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำให้เกิดเป็นพลังงานต่อไป

กระบวนการเชื่อมซ่อม หรือ การเชื่อมพอกผิวแข็งสามารถทำได้ด้วยกระบวนการเชื่อมหลายวิธี เช่น การเชื่อมพอกผิวแข็งเพื่อซ่อมชิ้นส่วนแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่นบางด้วยวิธีการเชื่อมทิก (Tungsten Inert Gas Welding: TIG Welding) หรือการเชื่อมอาร์กโลหะแก่สคลุม การเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding: SMAW) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์อาจมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากการเชื่อมพอกผิวแข็งนั้นเป็นการเชื่อมเฉพาะจุดที่ต้องการวิธีการเชื่อมที่มีอัตราการเติมเนื้อโลหะสูงกว่า นอกจากนั้นหากเปรียบเทียบเกรดของลวด

เชื่อมแล้วพบว่า ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์พอกผิวแข็งที่มีในอุตสาหกรรมงานเชื่อม ส่วนใหญ่เป็นลวดเชื่อมที่ผลิตออกมาเพื่อวิธีการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ [3]

ที่ผ่านมา มีรายงานผลการทดลองการทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง โลหะที่ใช้ในการผลิตลูกหีบอ้อยที่สำคัญหลายงานดังนี้ การเชื่อมพอกผิวแข็งเชื่อมซ่อมเหล็กกล้าผสมต่ำความแข็งแรงสูง (High Strength Low Alloy: HSLA) โดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีการสร้างชั้นผิวและไม่มีชั้นผิว [3] หรือการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์พอกผิวแข็งเหล็กหล่อสีเทาซึ่งเป็นหนึ่งในวัสดุทำลูกหีบอ้อย ที่พบการกระจายเฟสคาร์ไบด์ทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น [4-5] หรือการเชื่อมเหล็กกล้า ASTM 36 ด้วยลวดเชื่อมพอกผิวแข็ง Fe-40wt%Cr-Xc ที่มีปริมาณคาร์บอนผสม 1.0-40wt% [6] หรือการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โดยใช้ลวดเชื่อมพอกผิวแข็งที่มีส่วนผสมหลัก คือ นิกเกิล เชื่อมบนผิวเหล็กหล่อเหนียวโดยการทำการเชื่อมแนวเดียว (Single pass) และสองแนว (2 pass) [7] หรือการเชื่อมพอกผิวแข็งที่เชื่อมลงบนผิวเหล็กหล่อสีเทา (ASTM2500) ที่แสดงอัตราการสึกกร่อนขึ้นกับสัดส่วนของคาร์ไบด์ในผิวพอกแข็ง[9] เป็นต้น

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา การศึกษาและพัฒนาการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์พอกผิวแข็งบนลูกหีบอ้อยจึงต้องมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เพื่อเตรียมข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลภายในประเทศ ผู้วิจัยจึงได้ตั้งสมมติฐานในการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์พอกผิวแข็งบนโลหะ โดยใช้เหล็กหล่อเกรด FC25 แทนลูกหีบอ้อย การสร้างชั้นผิวก่อนการเชื่อม และการเชื่อมซ้ำหลายแนว และทำการศึกษาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดสมบัติของโลหะลูกหีบอ้อยที่มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ที่คาดว่าจะทำให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่มีผลต่อสมบัติของชั้นพอกผิวแข็งเหล็กหล่อสีเทา เกรด FC 25

1.2.2 ศึกษาและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างโลหะวิทยา และสมบัติทางกลของชั้นพอกผิวแข็งเหล็กหล่อสีเทา เกรด FC 25

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาตัวแปรการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยลวดเชื่อมอาร์กหุ้มฟลักซ์ (Shielded metal arc welding: SMAW) ในการเชื่อมทตลอง

1.3.1 วัสดุที่ใช้ในการทตลองนี้ คือ เหล็กหล่อสีเทา เกรด FC25 มีขนาดความกว้าง 150 มม. ความยาว 100 มม. ความหนา 20 มม. ตามมาตรฐาน JIS Z 3114

1.3.2 ใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ประเภทพอกผิวแข็ง ตามมาตรฐาน JIS Z 3251:H 350C, JIS Z 3251:H 450C, JIS Z 3251:H 600 และลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ที่ใช้ในการเชื่อมชั้นรองพื้น (Buffering) Ni 98

1.3.3 ใช้กระแสเชื่อมในชั้นรองพื้น 90 แอมแปร์ และอุณหภูมิในการอุ่นชิ้นงานก่อนเชื่อมที่ 400 องศาเซลเซียส

1.3.4 ศึกษาตัวแปรการเชื่อม

- 1) กระแสเชื่อมในชั้นพอกผิวแข็งอยู่ในช่วงระหว่าง 90,110 และ130 แอมแปร์
- 2) การเชื่อมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท แบบมีการสร้างชั้นรองพื้น,แบบไม่มีการสร้างชั้นรองพื้น
- 3) จำนวนชั้นในการเชื่อมพอกผิวแข็ง 1,2 และ3 ชั้น

1.3.5 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและมหภาค

1.3.6 ศึกษาสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบความต้านทานการลึกร่อน,และทดสอบความแข็งด้วยวิธีไมโครวิกเกอร์ส

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1.4.1 เพื่อให้เป็นแนวทางในการเลือกใช้งานเชื่อมซ่อมบำรุงเหล็กหล่อสีเทาเกรด FC 25 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์

1.4.2 เพื่อทราบถึงอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในการเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กหล่อสีเทา เกรด FC 25 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์

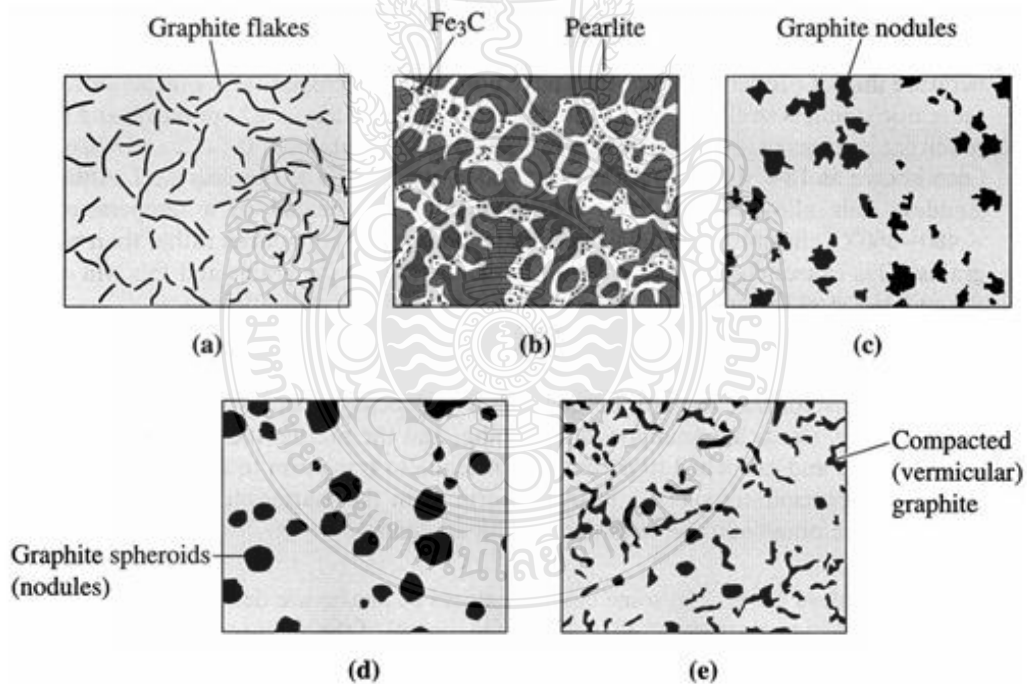
1.4.3 เพื่อเป็นแนวทางที่จะพัฒนาองค์ความรู้ ในงานวิจัยการเชื่อมพอกผิวแข็งในงานอุตสาหกรรม และการเชื่อมซ่อมชิ้นส่วนเครื่องจักรกลซึ่งจะเป็นข้อมูลในการวิจัยต่อไป

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เหล็กหล่อ

เหล็กหล่อ คือ โลหะผสมระหว่างเหล็ก คาร์บอน และซิลิกอน ที่มีปริมาณคาร์บอนประมาณ 2-4% และซิลิกอนประมาณ 0.5-3% และเกิดการแข็งตัวด้วยปฏิกิริยายูเทคติก การแบ่งแยกชนิดของเหล็กหล่อสามารถทำได้หลายรูปแบบ หนึ่งในวิธีการแบ่งแยกสามารถทำได้โดยการแบ่งรูปร่างของโครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อเป็นหลักดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งแบ่งแยกรูปแบบของเหล็กหล่อโดยอาศัยรูปร่างของกราฟไฟท์ที่ก่อตัวในโครงสร้างประกอบไปด้วย เหล็กหล่อสีขาว เหล็กหล่อสีเทาหรือสีดำ เหล็กหล่อ CGI เหล็กหล่อกราฟไฟท์กลม และ เหล็กหล่อมัลดีเอเบิล ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อ 5 ชนิด: (a) เหล็กหล่อสีเทา (b) เหล็กหล่อสีขาว (c) เหล็กหล่อมัลดีเอเบิล (d) เหล็กหล่อกราฟไฟท์อัด และ (e) เหล็กหล่อเหนียว [9]



ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อชนิดต่างๆ

	Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% E	Notes
Gray irons:				
Class 20	12,000–40,000	—	—	
Class 40	28,000–54,000	—	—	
Class 60	44,000–66,000	—	—	
Malleable irons:				
32510	50,000	32,500	10	Ferritic
35018	53,000	35,000	18	Ferritic
50005	70,000	50,000	5	Pearlitic
70003	85,000	70,000	3	Pearlitic
90001	105,000	90,000	1	Pearlitic
Ductile irons:				
60–40–18	60,000	40,000	18	Annealed
65–45–12	65,000	45,000	12	As-cast ferritic
80–55–06	80,000	55,000	6	As-cast pearlitic
100–70–03	10,000	70,000	3	Normalized
120–90–02	120,000	90,000	2	Quenched and tempered
Compacted graphite irons:				
Low strength	40,000	28,000	5	90% Ferritic
High strength	65,000	55,000	1	80% Pearlitic

ก) ปฏิกิริยายูเทคติกในเหล็กหล่อ (Eutectic Reaction in Cast Iron)

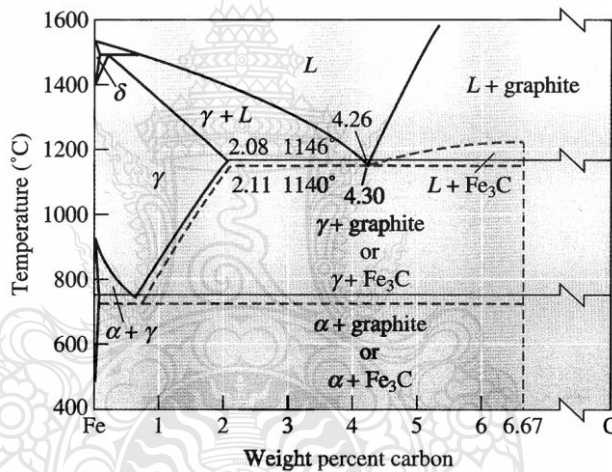
แผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบต์ที่แสดงในภาพที่ 2.2 นั้นแสดงปฏิกิริยายูเทคติกที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 1140°C คือ ของเหลวเมื่อเย็นตัวลงจะแตกตัวเป็นเฟสแกมมาและเฟสซีเมนไต์ ปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดเหล็กหล่อขาว (White cast iron) ที่โครงสร้างประกอบด้วยซีเมนไต์และเฟลไลต์ อย่างไรก็ตามตามแผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบต์มีลักษณะกึ่งเสถียร (Metastable phase diagram) ภายใต้สภาวะจริง ปฏิกิริยายูเทคติก คือ ของเหลวเมื่อเย็นตัวลงจะแตกตัวเป็นเฟสแกมมาและเฟสกราไฟท์

ปฏิกิริยาที่เสถียรนี้ทำให้เกิดเหล็กหล่อสีเทา (Gray cast iron) เหล็กหล่อเหนียว (Ductile cast iron) และเหล็กหล่อ กราไฟท์อัดตัว (Compacted cast iron) ในขั้นตอนการแข็งตัวของเหล็กหล่อ ค่าอันเดอร์คูลิ่งที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างสภาวะเสถียรและกึ่งเสถียรมีค่าประมาณ 60C ค่าที่แตกต่างนี้ทำให้เหล็กหล่อสีขาวเกิดการก่อตัวขึ้น หากทำการเพิ่มซิลิกอน 2% ลงในโลหะผสมจะทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสภาวะเสถียรและกึ่งเสถียรมีค่ามากขึ้น และทำให้กราฟไฟท์เสถียรที่เกิดจากปฏิกิริยายูเทคติกมีเวลาในการก่อตัวมากขึ้น การเติมซิลิกอนลงไปเพื่อทำให้เกิดกราฟไฟท์ที่

เสถียรสามารถทำได้ในขั้นตอนการหล่อโดยเติมโลหะเฟอโร-ซิลิกอน (Fe-Si alloy) ลงไปในโลหะหลอมเหลว ขณะที่ธาตุอื่นๆ เช่น โครเมียมหรือบิสมาทจะส่งผลตรงกันข้ามกับซิลิกอน

ซิลิกอนที่เติมลงไปส่งผลต่อการลดปริมาณคาร์บอนในปฏิกิริยายูเทคติก โดยหาค่าได้จากปริมาณค่าคาร์บอนเทียบเท่า (Carbon equivalent: CE) ที่ค่าโดยปกติค่าคาร์บอนเทียบเท่ามีค่าประมาณ 4.3 ถ้าหากมีค่าสูงจะทำให้กราฟิ์ยูเทคติกเกิดการเติบโตได้ง่าย

$$CE = \%C + 1/3\%Si \quad (1)$$



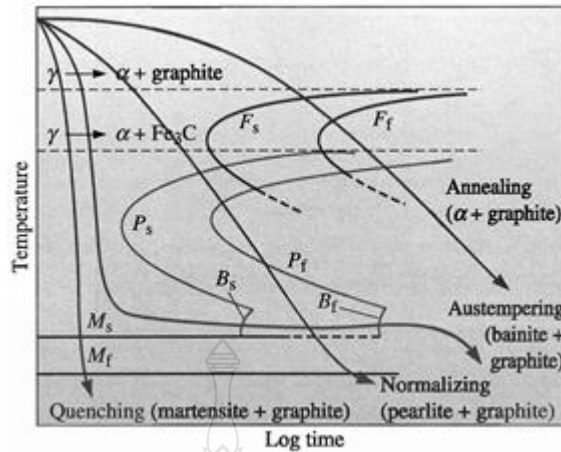
รูปที่ 2.2 แผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะเสถียร (เส้นทึบ) และกึ่งเสถียร (เส้นประ) [9]

ข) ปฏิกิริยายูเทคตอยในเหล็กหล่อ (Eutectoid Reaction in Cast Iron)

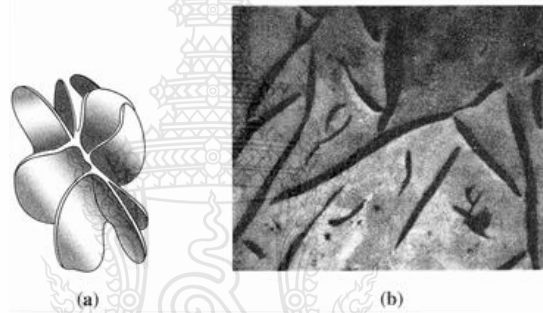
โครงสร้างและสมบัติของเหล็กหล่อ สามารถบอกได้จากรูปแบบของการเปลี่ยนเฟสของออสเทนไนท์ที่อุณหภูมิยูเทคตอย โดยปกติเมื่อออสเทนไนท์ในเหล็กเย็นตัวลงมาที่ปฏิกิริยายูเทคตอย ออสเทนไนท์จะแตกตัวเป็นเฟอไรต์และซีเมนไตท์ อย่างไรก็ตามในเหล็กหล่อที่มีปริมาณของซิลิกอนผสมอยู่นั้น ทำให้เกิดปฏิกิริยายูเทคตอยที่เสถียรกว่า คือ เฟสแกมมาเมื่อเย็นตัวลงเกิดการแตกตัวเป็นเฟสอัลฟาและกราฟิ์

ภายใต้สภาวะสมดุล คาร์บอนจะแพร่จากออสเทนไนต์เข้าสู่กราไฟท์ และทำให้พื้นหลังเดิมเปลี่ยนเป็นโลหะผสมที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำในขั้นนี้ คือ เฟอไรต์ นอกจากนี้การเย็นตัวในอัตราที่ต่างกันดังแสดงในภาพที่ 2.2 ทำให้เกิดโครงสร้างที่แตกต่างกันด้วย

- เหล็กหล่อสีเทา (Gray cast iron) ในพื้นหลักประกอบไปด้วยเกล็ดกราไฟท์ขนาดเล็กๆ ความยาวไม่ต่อเนื่องเรียงตัวกระจายทั่วไป และเป็นสาเหตุให้เหล็กหล่อชนิดนี้มีความแข็งแรงต่ำ เหล็กหล่อสีเทาเป็นเหล็กหล่อที่มีการใช้งานมากที่สุด เมื่อเหล็กหล่อเกิดการแตกหักแล้ว ผิวของการแตกหักจะมีลักษณะสีเทา กราไฟท์ในเหล็กหล่อสีเทาจะรวมตัวกันเป็นลักษณะของยูเทคติกเซลล์ (Eutectic cell) หรือเกร็ดที่ไม่มี ความต่อเนื่องดังแสดงในภาพที่ 2.3 จุดที่เกล็ดกราไฟท์ต่อกัน คือ จุดที่เริ่มต้นการเกิดนิวเคลียสของกราไฟท์ ขนาดของกราไฟท์สามารถลดลงได้โดยการเติมสารอินอกุแลนที่ลงไป ในเหล็กหลอก่อนการแข็งตัว ขนาดของกราไฟท์ที่ลดลงจะทำให้ค่าความแข็งแรงของเหล็กหล่อเพิ่มขึ้นได้ การแบ่งแยกกลุ่มของเหล็กหล่อสีเทาสามารถแบ่งออกเป็น กลุ่ม 20 – 80 ความแข็งแรงของเหล็กหล่อสีเทานั้นๆ เช่น กลุ่ม 20 หมายถึง เหล็กหล่อมีค่าความแข็งแรงประมาณ 20,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นอกจากนี้ค่าความแข็งแรงของเหล็กหล่อขึ้นอยู่กับความหนาบางของชิ้นงานด้วย เช่น ชิ้นงานที่มีความหนาทำให้ได้โครงสร้างระหว่างเกล็ดกราไฟท์ที่ใหญ่และหยาบ และเฟอไรท์ ที่มีความแข็งแรงดิ่งต่ำประมาณ 12,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วดังแสดงในภาพที่ 2.4 ชิ้นงานประกอบด้วยเกล็ดกราไฟท์ที่เล็กละเอียดและเฟอไรท์ที่ให้ค่าความแข็งแรงดิ่งประมาณ 40,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ค่าความแข็งแรงที่สูงสามารถได้จากการลดค่าคาร์บอนเทียบเท่าโดยการเติมโลหะผสมหรือการอบชุบ เกล็ดกราไฟท์ที่เกิดขึ้นในเหล็กหล่อสีเทานั้นเป็นจุดรวมความเค้นที่เป็นสาเหตุทำให้ค่าความแข็งแรงดิ่งและความสามารถในการยึดตัวที่ต่ำลง อย่างไรก็ตามเหล็กหล่อสีเทามีข้อดีที่มีความแข็งแรงกดสูง ง่ายต่อการขึ้นรูปด้วยการกลึง กัด ตัด ไส ทนทานต่อการสึกกร่อน ทนทานต่อความล้าเนื่องจากความร้อน (Thermal fatigue) เป็นตัวนำที่ดี ทนทานต่อการสั่นสะเทือน



รูปที่ 2.3 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงของออสเทนไนต์ในเหล็กหล่อ



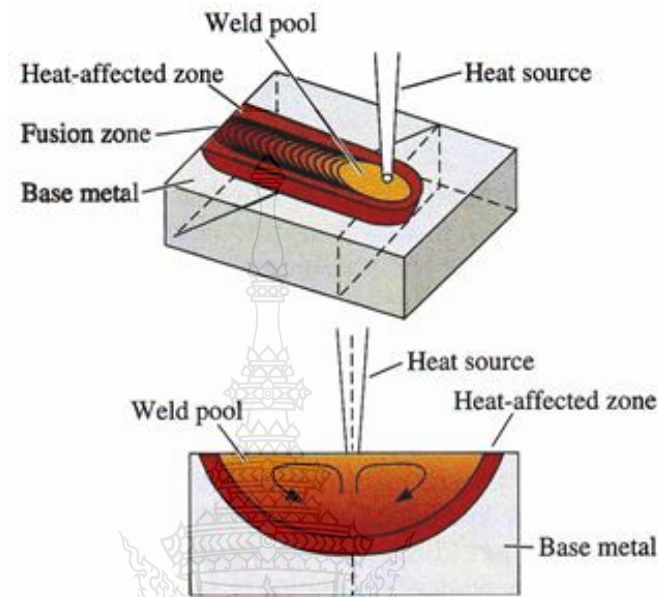
รูปที่ 2.4 (a) ภาพร่าง และ (b) ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของเหล็กหล่อสีเทาที่กำลังขยาย 100 เท่า

## 2.2 การเชื่อมโลหะ

### 1) นิยามการเชื่อมโลหะ[10]

การเชื่อมโลหะ คือ การต่อชิ้นโลหะเข้าด้วยกันโดยอาศัยความร้อนในการหลอมละลายรอยต่อระหว่างโลหะสองชิ้นให้หลอมละลายเข้าด้วยกันและเปลี่ยนเป็นโลหะชิ้นเดียวกัน โดยขณะที่โลหะบริเวณรอยต่อเกิดการหลอมละลายเข้าด้วยกันนั้น อาจเติมโลหะผสมบางตัวในลักษณะที่เรียกว่า ลวดเชื่อม (Filler metal) ลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติบางตัวในแนวเชื่อมให้ดีขึ้น ตัวอย่างการเชื่อมโลหะอย่างง่ายดังแสดงในภาพที่ 2.5 ความร้อนจากแหล่งจ่ายความร้อน (Heat source) ถูกส่งผ่านไปทีบริเวณรอยต่อระหว่างโลหะสองแผ่น (Base metals) ทำให้เกิดการหลอมละลายรวมกันที่บริเวณบ่อเชื่อม (Weld pool) และเมื่อเคลื่อนที่แหล่งให้ความร้อนไปตามแนวรอยต่อ จะทำให้เกิดแนวเชื่อมขึ้นโดยบริเวณบ่อเชื่อมหรือพื้นที่หลอมละลาย (Base metal) ในการเชื่อมพื้นที่สำคัญอีกพื้นที่ คือ พื้นที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (Heat affected zone) พื้นที่นี้อยู่ถัดออกไปจากพื้นที่การหลอมละลาย

เป็นพื้นที่ๆ ไม่มีการหลอมละลาย แต่ความร้อนที่เกิดจากพื้นที่หลอมละลายทำให้โครงสร้างบริเวณนี้เกิดการเปลี่ยนแปลง และส่งผลทำให้สมบัติของโลหะเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.5 หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ[10]

เทคโนโลยีการเชื่อมในปัจจุบันได้แบ่งการเชื่อมออกเป็น 2 กลุ่ม การเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion welding) และการเชื่อมในสถานะของแข็ง (Solid state welding) การเชื่อมแบบหลอมละลายหรือบางครั้งเรียกว่า การเชื่อมหลอมละลายแบบดั้งเดิม (Conventional fusion welding) การเชื่อมแบบหลอมละลายสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี ขณะที่การเชื่อมในสถานะของแข็ง คือ การเชื่อมในสถานะที่โลหะหลักไม่เกิดการหลอมละลาย แต่อาศัยความร้อนที่เกิดจากแรงทางกลทำให้โลหะเกิดการเชื่อมประสานกัน

2) การเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding)

ภาพที่ 2.6 แสดงการอธิบายความหมายของการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ กล่าวคือ สมมติให้ลวดเชื่อม (Consumable electrode) และชิ้นงาน (Base metal) ต่อเข้ากับเครื่องเชื่อม ทำให้ชิ้นงานและลวดเชื่อมแสดงตัวเป็นขั้วบวกและลบ เมื่อลวดเชื่อมเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ชิ้นงานในระยะเวลาที่เหมาะสม ทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างลวดเชื่อมและชิ้นงาน และกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

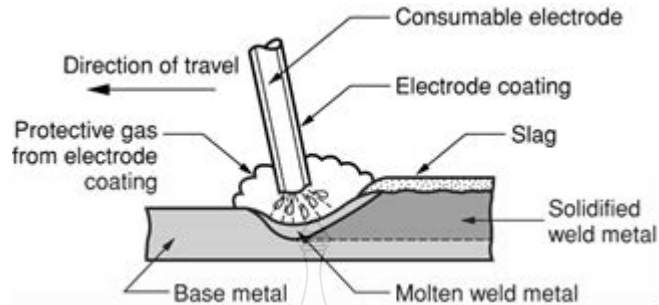
ช่องว่างเล็กๆ ขึ้นลักษณะนี้เรียกว่าเกิดการอาร์ก (Arc) การอาร์กที่เกิดขึ้นส่งผลทำให้เกิดความร้อนสะสมที่ชิ้นงานและลวดเชื่อม จนถึงระยะเวลาหนึ่งทำให้เกิดการหลอมละลาย โลหะที่อยู่ในแกนกลางของลวดเชื่อมหล่นเข้าเติมในชิ้นงานส่วนหลอมละลาย (Molten weld metal) ทำให้เกิดแนวเชื่อมขึ้น โดยทั่วไปลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมซึ่งงานนี้มีโลหะผงพอกหุ้มรอบ ๆ แกนเหล็ก สารพอกหุ้มนี้คือผงโลหะวิทยาที่ต้องการเติมเพื่อปรับปรุงสมบัติของโลหะเชื่อมตามต้องการ และขณะเดียวกันมีส่วนผสมของสารทำให้เกิดแก๊สปกคลุมไม่ให้โลหะหลอมเหลวทำปฏิกิริยากับบรรยากาศภายนอก เมื่อทำการเคลื่อนลวดเชื่อมไปในทิศทางที่เชื่อมที่กำหนด (Direction of travel) ทำให้เกิดแนวเชื่อมขึ้น ขณะที่สารพอกหุ้มและสารทำให้เกิดแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมบางส่วนจะทำปฏิกิริยากับมลทินในบ่อหลอมละลาย และลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของแนวเชื่อม เรียกว่า จีตะกรัน (Slag) และปกคลุมแนวเชื่อม จนกว่าจะทำการกำจัดออก ทำให้ได้แนวเชื่อมโลหะตามต้องการ

### 3) ตัวแปรการเชื่อม

รอยต่อที่เกิดจากการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ เกิดจากการหลอมรวมระหว่างตัวของวัสดุรอบๆ รอยต่อ และโลหะเติมที่เกิดจากลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ตัวแปรการเชื่อมเป็นสิ่งสำคัญที่บ่งชี้การเกิดขึ้นของการรวมตัวอย่างมีประสิทธิภาพของรอยต่อ และค่าความแข็งของรอยต่อที่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน ตัวแปรการเชื่อมที่สำคัญประกอบไปด้วย

- ความหนาของวัสดุ
- ชนิดของรอยต่อ
- รูปแบบร่องบาก
- ชนิดของวัสดุ
- ชนิดลวดเชื่อม
- ขนาดลวดเชื่อม
- แรงดันการเชื่อม
- กระแสเชื่อม
- ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม
- ความเอียงของหัวเชื่อม
- อุณหภูมิแผ่นงานก่อน ระหว่าง และหลังการเชื่อม
- ตำแหน่งการวางแผ่นวัสดุ

- จำนวนแนวเชื่อมซ้ำ
- ชั้นผิวรองรับ



รูปที่ 2.6 ภาพแสดงสถานะของการเชื่อมอาร์คด้วยลวดเชื่อมสารพอกหุ้ม

## 2.3 การทดสอบหาสมบัติทางกล

### 2.3.1 การทดสอบความแข็งแรงแบบไมโครวิกเกอร์ส

การทดสอบค่าความแข็งแรง (Hardness Test) ค่าความแข็งแรงเป็นการแสดงสมบัติของวัสดุที่บ่งบอกถึงความต้านทานแรงกด การขัดสีและการขึ้นภาพที่ต้องใช้การตัดเนื้อวัสดุ ในการทดสอบความแข็งแรงไม่มีวิธีใดที่จะทำการทดสอบกับทุกวัสดุ ดังนั้นการทดสอบจะต้องให้มีความเหมาะสมกับวัสดุที่จะใช้ทดสอบ แต่ในเชิงโลหะวิทยา การวัดความแข็งแรงจะเป็นการทดสอบความสามารถของโลหะในการต่อต้านการแปรรูปถาวร เมื่อถูกแรงกดจากหัวกดกระทำบนชิ้นงาน โดยวิธีที่นิยมใช้งานดังนี้

- 1) การทดสอบแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test) การทดสอบความแข็งแรงแบบบริเนลล์ อาศัยการกดของหัวกดทรงกลมที่ผลิตจากเหล็กกล้าชุบแข็งหรือทังสเตนคาร์ไบด์ ค่าความแข็งแรงจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำหนึ่งหน่วยต่อพื้นที่
- 2) การทดสอบแบบร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test) เป็นการวัดค่าความแข็งแรงของวัสดุโดยการวัดความลึกของหัวกดซึ่งทำด้วยเพชรทรงกรวย ค่าความแข็งแรงจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำหนึ่งหน่วยต่อพื้นที่
- 3) การทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test) เป็นการวัดค่าความแข็งแรงที่ใช้หัวกดเพชรทรงพรามิคมุม 136 องศาที่เหล็กมัจจุรัส กดลงบนผิวชิ้นงานทดสอบด้วยแรงกด  $F$  ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1-120 kgf โดยกดลงตั้งฉากกับผิวชิ้นงาน ค่าความแข็งแรงจะถูกคำนวณไว้แล้วที่ความยาวรอยกดและแรงกดขนาดต่างๆ

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการวัดค่าความแข็งแบบการทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test) เพียงวิธีเดียวเท่านั้น จึงขอก่อถึงข้อมูลพื้นฐานของการทดสอบดังนี้

### 2.3.2 การทดสอบแบบวิกเกอร์ส(Vickers Hardness Test)

การทดสอบความแข็งจุลภาคแบบวิกเกอร์ เป็นการวัดความแข็งโดยใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม (Vickers Microhardness Test) ที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ดังรูป 2.7 (เป็นมุมที่มีองศาใกล้เคียงกับหัวกดลักษณะกลมมากที่สุด) เป็นเวลา 10-15 วินาที ค่าความแข็งแรงจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว สำหรับการทดสอบความแข็งวิธีนี้ หัวกดเป็นเพชรซึ่งมีความแข็งสูงมาก ดังนั้นในการใช้งานจึงสามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่อ่อนมาก (HV ประมาณ 5) จนถึงโลหะที่แข็งมาก (HV ประมาณ 1500) โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกดจะเปลี่ยนก็เฉพาะแรงกดเท่านั้น โดยมีตั้งแต่ 1-120 นิวตัน ขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุที่ทดสอบ ข้อควรระวังสำหรับการวัดความแข็งด้วยวิธีนี้ได้แก่

- 1) การเลือกใช้น้ำหนักกดมีผลต่อความแข็งด้วย คือถ้าเลือกน้ำหนักน้อยเกินไป จะได้ค่าความแข็งที่ผิด แต่ถ้าขึ้นงานอ่อนและใช้น้ำหนักกดมากเกินไป อาจทำให้เกิดปัญหา กับหัวกดเพชรตอนคลายหัวกดได้ผิวของชิ้นงานทดสอบต้องไม่มีชั้นออกไซด์ หรือสิ่งแปลกปลอม การเตรียมผิวของชิ้นงานทดสอบต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมาก และหลีกเลี่ยงกรรมวิธีร้อน (heating) หรือกรรมวิธีเย็น (cold working)
- 2) ไม่ควรวัดความแข็งในบริเวณที่ใกล้กับตำแหน่งเดิม โดยควรเว้นระยะห่างไว้ไม่น้อยกว่า 2.5 เท่าของเส้นทแยงมุมรอยกด ทั้งตามแนวแกน x และ y
- 3) ความหนาของชิ้นงานทดสอบควรมากกว่าอย่างน้อย 1.5 เท่าของเส้นทแยงมุมของรอยกดและหลังจากการทดสอบวัดความแข็ง ไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ให้เห็นทางด้านหลัง (อีกด้านหนึ่ง) ของชิ้นงานทดสอบ
- 4) การอ่านค่าความยาวเส้นทแยงมุมจะขึ้นกับสายตาของผู้ทำการตรวจสอบ ดังนั้นควรให้บุคคลใดบุคคลหนึ่งเป็นผู้อ่านค่าเนื่องจากรอยกดมีขนาดเล็กมาก จึงจำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจหารอยกดที่เกิดขึ้น



## 2.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

สมบัติทางกายภาพ(Physical properties) ของโลหะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโลหะ และการจัดเรียงตัวของอะตอมในโลหะ การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาของโลหะเป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญในการ ตรวจสอบคุณภาพ ตลอดจนใช้เป็นหลักฐานเบื้องต้นในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหายของชิ้นส่วน โลหะนั้นๆ

การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยา แบ่งเป็น

- 1) การตรวจสอบในระดับมหภาพ(Macro-scopic examination) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างทาง โลหะวิทยาของตัวอย่างชิ้นงาน โดยใช้กำลังขยายต่ำกล่าวคือ เมื่อแล้วตรวจสอบได้โดยตาเปล่า(Visual inspection) หรืออาจ ใช้กำลังขยายได้ไม่เกิน 10 เท่า
- 2) การตรวจสอบในระดับจุลภาค(Micro-scopic examination) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างของ ชิ้นงานโลหะ โดยใช้กำลังขยายที่สูงขึ้นกล่าวคือ ตั้งแต่ 10 เท่าเป็นต้นไป ซึ่งอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการตรวจสอบ โครงสร้าง ฯ ในระดับจุลภาคคือ กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหะวิทยา(Metallurgical microscope) หรือกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 โดยจะกำลังขยายอยู่ระหว่าง 10-1,000 เท่า ที่กำลังขยายสูงช่วยให้การจำแนกชนิดของเฟส(Phase) โครงสร้าง(Structure) ที่ปรากฏอยู่ รวมถึงลักษณะรูปร่างและขนาดของเฟส หรือโครงสร้างนั้น ๆ ในชิ้นงานตัวอย่างได้ง่ายขึ้น ในบางกรณีที่ โครงสร้าง หรือเฟสที่ปรากฏในตัวอย่างชิ้นงานมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถตรวจสอบได้ที่ระดับกำลังขยาย 10-1,000 เท่า จึงต้องมีการเลือกใช้เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่มีศักยภาพสูง ในที่นี้คือมีกำลังขยายที่มากกว่ากล้อง จุลทรรศน์แบบใช้แสง และใช้แหล่งกำเนิดแสงจากลำแสงอิเล็กตรอนดังนั้นกล้องชนิดนี้จึงได้ชื่อ”กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน”(กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้งานในทางโลหะกรรมมีอยู่ 2 ชนิดคือ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

## 2.5 การทดสอบการสึกกร่อน

การทดสอบการสึกกร่อน(Wear Resistance) การทดสอบการสึกกร่อนผิวหน้าการเชื่อมพอกผิวแข็งของชั้นพอกผิวแข็งแต่ละชั้นทำได้โดยการทดสอบแบบจุดกดบนจานหมุน (Pin on disk method) ที่เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องขัดชิ้นงานในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค โดยกำหนดให้ชิ้นงานทดสอบที่ถูกยึดบนแขนจับ มีขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร ใช้น้ำหนักกดที่ 320 MPa ความเร็วรอบการหมุนของจานขัดที่ 150 rpm เวลาในการทดสอบ 4 นาที ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสารขัด 80 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 2.7



รูปที่ 2.7 (a) เครื่องขัดแบบจานหมุน (b) กระดาษทรายที่ใช้ขัด

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยในอดีต ได้มีการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในงานเชื่อม ที่มีผลต่อสมบัติทางโลหะวิทยา และสมบัติทางกลของรอยต่อวัสดุในรูปแบบต่างๆ เช่น

2.6.1 Chatterjee and Pal ทำ การเชื่อมอาร์กถวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์พอกผิวแข็งเหล็กหล่อสีเทา ASTM เกรด 2500 การทดลองทำ การเปลี่ยนแปลงชนิดของถวดเชื่อมรองพื้น 3 ชนิด และใช้ถวดเชื่อม พอกผิว แข็ง 5 ชนิด ผลการทดลองพบว่า การอุ่นงาน จำนวนชั้นของการเชื่อม และอัตราส่วน Cr/C ใน ถวดเชื่อมพอกผิว ส่งผลต่อความยาวของการแตกร้าวที่พื้นผิวต่อพื้นที่ และความแข็งแรงการเกาะยึด ของชั้นรองผิวและผิวชิ้นงาน หรือผิวชิ้นงานและชั้นพอกผิวแข็ง ความแข็งแรงการเกาะยึดที่มีความ แข็ง แรงสูงสุด คือ การเชื่อมด้วยถวดเชื่อมพอกผิวแข็ง ที่มีนิกเกิลสูงและไม่มีชั้นรองผิว[8]

2.6.2 Jeshvaghani et al. ศึกษาอิทธิพลของการเชื่อมอาร์กถวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โดยใช้ถวดเชื่อมพอกผิว แข็งที่มีส่วนผสมหลัก คือ นิกเกิล เชื่อมบนผิวเหล็กหล่อเหนียวโดยการทำการเชื่อมแนว

เดียว (Single pass) และสองแนว (2 pass) ผลของการจำ นวนแนวเชื่อมที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาค ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาคของผิวพอกแข็งถูกทำการศึกษา ผลการทดลองพบว่าโครงสร้าง จุลภาคประกอบไปด้วยออสเทนติก (Fe,C), เฟสแกมมา (Fe, Ni) และคาร์ไบด์ส่วนเล็กๆ (Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>) ความแข็งของผิวพอกแข็งมีค่าสูงกว่าเหล็กหล่อเหนียว โดยค่าความแข็งแนวเดียวและสองแนวมีค่า 500 และ 450HV ตามลำดับ [11]

2.6.3 Selvi et al. ทำการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยวิธีการเชื่อมอาร์กลดอุณหภูมิปลั๊กซ์บนวงแหวน เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ A216-WCB ด้วยลวดเชื่อม E410,E430 และ Modified E340 ที่ผ่านการอบที่200 °C เวลา 2 ชั่วโมง การเชื่อมเป็นการเชื่อมซ้ำแนว 3 ชั้น และไม่มีการส่ายแนวเชื่อม ชิ้นงานเชื่อมที่ได้ ถูกนำไปทำ การทดสอบการสึกกร่อน ทดสอบความแข็งและตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค พบว่าความ แข็ง ของแนวเชื่อมมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาตรวจสอบห่างออกจากผิวพอกแข็ง ปริมาณคาร์บอนในลวด เชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการสึกกร่อนเพิ่มขึ้น และลวดเชื่อม Modified E340 ให้การสึกกร่อนน้อย ที่สุด ปริมาณ โครเมียมที่เพิ่มขึ้นทำ ให้เม็ดเกรนมีขนาดละเอียดเพิ่มขึ้น มีความเป็นเกรนคัลลมนา เพิ่มขึ้น และลดปริมาณและขนาดของเกรนหยาบลง [12]

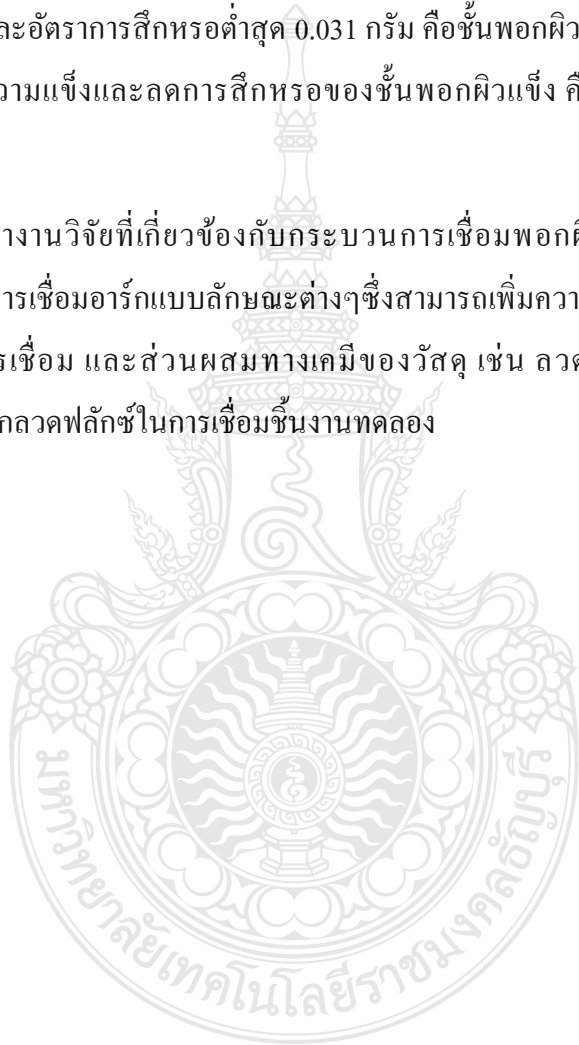
2.6.4 Liu et al. ทำ การศึกษาการพอกผิวแข็งเหล็กกล้าด้วยการเชื่อมอาร์กลดอุณหภูมิปลั๊กซ์โดย การเชื่อมทับแนวรวม 4 ชั้น ด้วยตัว แปรการเชื่อมต่างๆ ที่กำหนด ชิ้นงานเชื่อมที่ได้ถูกนำไปทำการ ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ความแข็ง และอัตราการสึกกร่อน ผลการทดลองพบว่า เมื่อ โบรอน เพิ่มขึ้นจาก 0-1.4 wt% ในโลหะพอกผิวแข็ง Fe-15Cr-2.5Ti-2C-x(0-1.4) B wt% ส่งผลทำให้เส้นผ่าน ศูนย์กึ่ง กลางของคาร์ไบด์เพิ่มจาก 9-20 ไมโครเมตร และสัดส่วนของปริมาตรคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นจาก 14.1036.00% ความแข็งของผิวเคลือบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ โบรอนเพิ่มขึ้นสู่ 0.99 wt% และลดลง เล็กน้อยเมื่อปริมาณโบรอนเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งสูงของผิวพอกแข็งสูงที่เกิดจากการเติมโบรอนลงใน โลหะพอกผิวแข็งทำให้อัตราการสึกกร่อนของผิว พอกแข็ง มีค่าต่ำ [13]

2.6.5 Buchely et al. ทำการเชื่อมอาร์กลดอุณหภูมิปลั๊กซ์พอกผิว แข็งเหล็กกล้าASTM A36 แบบไม่มีชั้นรองผิว จำนวน 3 ชั้น ด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ 3 ชนิด และทำการตรวจสอบสมบัติของ รอยเชื่อม คือ การทดสอบความแข็ง การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และการทดสอบความต้านทาน การสึกกร่อนตาม ASTM G65 ผลการทดลองพบว่า ลวดเชื่อมที่มีทั้งสะเตนปริมาณสูงแสดงความ

ด้านทานการสึกกร่อนสูงสุดที่การเชื่อมเพียง 1 ชั้น เนื่องจากการรวมตัว ที่ดีและการเกิดเฟส M6C ที่แข็ง ในพื้นที่หลักโครงสร้างยูเทคติก เฟส M7C3 คือเฟสที่เป็นตัวยับยั้งการเกิดการสึกกร่อน [14]

2.6.6 คณิต สิทธิพันธ์ ศึกษาอิทธิพลของจำนวนชั้นพอกผิวแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS-SKD11 ต่ออัตราการสึกกร่อนของผิวโลหะเชื่อมอาร์ค พบว่าการเพิ่มจำนวนชั้นพอกผิวแข็งส่งผลต่อการเพิ่มความแข็ง และลดอัตราการสึกกร่อนของโลหะพอกผิวแข็ง ชั้นพอกผิวแข็งที่แสดงค่าความแข็งสูงสุด 860 HV และอัตราการสึกกร่อนต่ำสุด 0.031 กรัม คือชั้นพอกผิวแข็งชั้นที่ 3 ธาตุผสมสำคัญที่ส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งและลดการสึกกร่อนของชั้นพอกผิวแข็ง คือ ซิลิกอน โครเมียม และแมงกานีส [15]

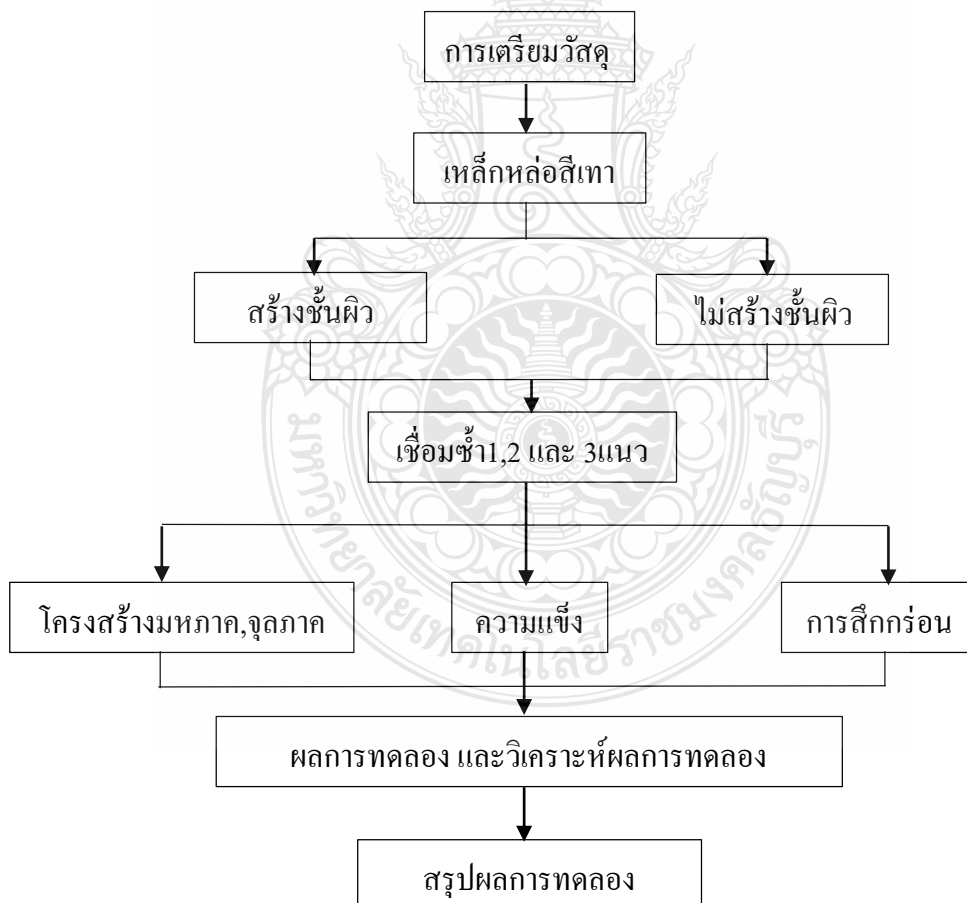
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน สามารถเชื่อมได้ด้วยการเชื่อมอาร์คแบบลักษณะต่างๆซึ่งสามารถเพิ่มความแข็งให้กับชิ้นงานได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรการเชื่อม และส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ เช่น ลวดเชื่อม โดยผู้วิจัยเลือกใช้กระบวนการเชื่อมอาร์คลวดฟลักซ์ในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ใช้กรรมวิธีการเชื่อมอาร์กทวิฟลักซ์พอกผิวแข็ง โดยใช้เหล็กหล่อสีเทา FC-25 เป็นชิ้นงานทดลองเชื่อม และใช้ลวดเชื่อมอาร์กทวิฟลักซ์ (Are Welding Electrode) ชนิดพอกผิวแข็ง โดยในขั้นตอนการเชื่อมได้แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ 1) การเชื่อมแบบที่มีการสร้างชั้นรองพื้น และแบบที่ 2) การเชื่อมแบบไม่มีชั้นรองพื้น ซึ่งลักษณะการเชื่อมจะทำการเชื่อมพอกผิวแข็งจำนวน 3 ชั้น โดยเชื่อมแบบ Manual Metal Arc (MMA) จากผู้เชี่ยวชาญในการเชื่อมจากนั้นนำชิ้นงานหลังการเชื่อมไปทดสอบหาสมบัติทางกล และตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยการวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนการดำเนินการดังภาพที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการไหลขั้นตอนการทดลอง

### 3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

#### 3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็กหล่อสีเทา FC25 ซึ่งมีขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร และหนา 20 มิลลิเมตร การเตรียมชิ้นงานสำหรับการเชื่อมทดสอบในครั้งนี้ ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานโดยการทดสอบได้อย่างอิงตามมาตรฐาน JIS Z 3114 ดังแสดงในภาพที่ 3.2



#### รูปที่ 3.2 ขนาดของชิ้นงานก่อนทำการทดลอง

การเชื่อมขึ้นทดสอบด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ในการทดลองจะใช้ลวดเชื่อม 3 ชนิด โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเชื่อม 3.2 มม. ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดง ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อเทา FC-25 และ ลวดเชื่อมชนิดที่ 1,2 และ 3

Material		Chemical composition (%)						
Type	Standard	C	Mn	Si	p	S	Mo	Cr
Cast iron	Fc 25	3.085	0.722	1.964	0.037	0.014	-	-
Hard facing	H350	0.16	1.32	0.43	-	-	-	1.55
electrodes	H450	0.25	0.75	-	-	-	0.50	3.00
	H600	0.45	1.15	0.50	-	-	0.60	4.0-5.0

เพื่อให้ได้ชิ้นงานทดสอบมีขนาดความกว้าง 25 มม. และยาว 25 มม. ในกระบวนการเชื่อมใช้ เครื่องเชื่อมแบบกระแสคงที่ ( Constant Current ) ชนิดกระแสไฟที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม คือ กระแสตรงขั้วบวก (DCEP) ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม คือ ระดับกระแสไฟ 90 A และทำการเชื่อมพอกผิว 3 ชั้น

### 3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

#### 1) เครื่องเชื่อม

เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องเชื่อมอาร์กโลหะด้วยมือ ที่มีเครื่องหมายทางการค้า ยี่ห้อ WELPRO รุ่น INVERTER WELPRO WELARC250 ระบบอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงใน ภาพที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง

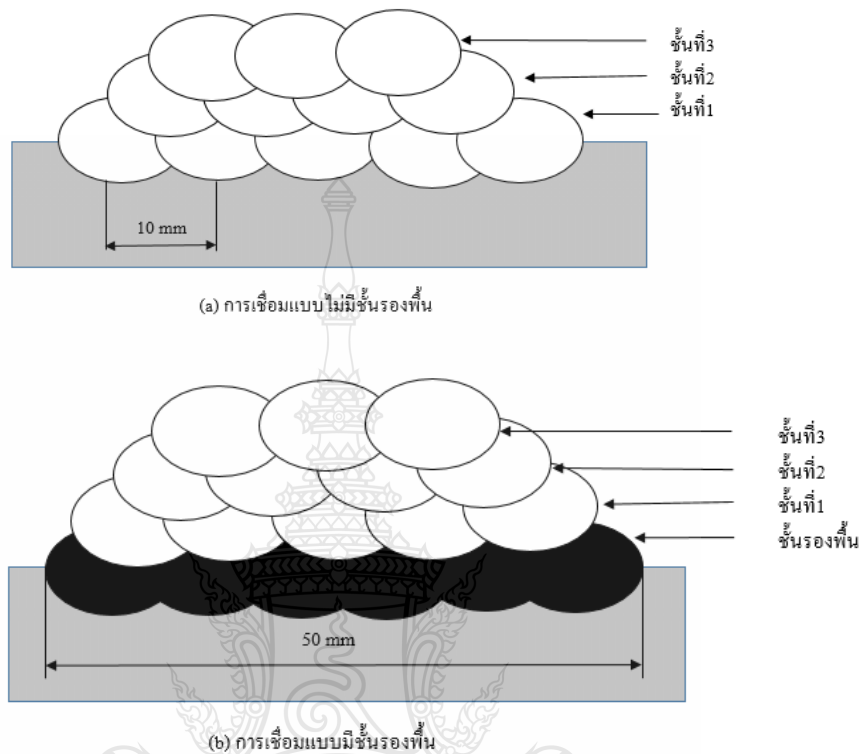
## 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ในขั้นตอนการดำเนินการทดลองการเชื่อมพอกผิวแข็งจะทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเชื่อม การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และดำเนินการทดลอง โดยตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

### 3.2.1 พารามิเตอร์ในการทดลองการเชื่อมพอกผิวแข็ง

- 1) กระแสเชื่อมของชั้นพอกผิวแข็ง ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษากระแสในการเชื่อมที่ 90,110,130 แอมแปร์
- 2) จำนวนชั้นของชั้นพอกผิวแข็ง 1,2 และ 3 ชั้น

3) การเชื่อมแบ่งออกเป็นออกเป็น 2 ลักษณะ คือ แบบมีการสร้างชั้นรองพื้น และแบบไม่มีการสร้างชั้นรองพื้น ดังแสดงในภาพที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การเชื่อมแบบมีรองพื้นและแบบไม่รองพื้น

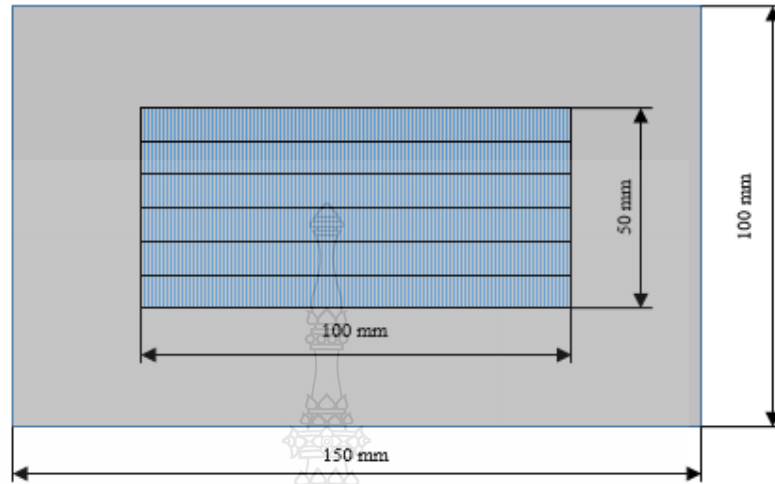
### 3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงานในการวิจัยนี้ใช้เหล็กเหล็กหล่อสีเทา FC-25 โดยขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) การกำจัดผิวดิบของเหล็กกล้าเครื่องมือ นำเหล็กหล่อสีเทามาขัดละเอียดบริเวณผิวด้านบนด้วยเครื่องเจียรในมือ เพื่อกำจัดผิวดิบและใช้ใบกระดาษทรายเบอร์ 180 ขนาด 4 นิ้ว กำจัดผิวดิบของเหล็กหล่อสีเทา
- 2) การสร้างของเขตบนผิวเหล็กหล่อสีเทา เมื่อได้เจียรระในผิวดิบของเหล็กหล่อในขั้นตอนที่ 1 แล้ว ในขั้นตอนต่อไปคือ การสร้างของเขตบนผิวเหล็กหล่อสีเทา การทำสัญลักษณ์บนผิวเหล็กหล่อสีเทา จะใช้เหล็กขีดเพื่อเป็นสัญลักษณ์ โดยให้มีรูปร่าง



สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนานกับแผ่นเหล็กหล่อสีเทา ขนาดกว้าง 50 mm และยาว 100 mm ดังแสดงในรูป 3.5



รูปที่ 3.5 ขอบเขตในการเชื่อมพอกผิวแข็ง

### 3.2.3 ขั้นตอนการเชื่อม

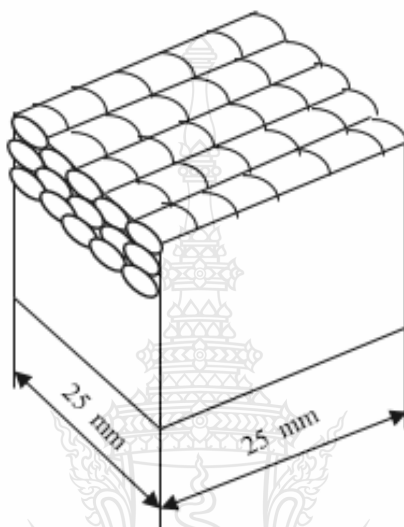
ในขั้นตอนการเชื่อมจะทำการศึกษาปริมาณกระแสเชื่อมในการสร้างชั้นรองพื้นที่ 90 แอมแปร์ และปริมาณกระแสเชื่อมในการสร้างชั้นพอกผิวแข็งที่ 90 110 และ 130 แอมแปร์ ตามลำดับ กำหนดให้มีอุณหภูมิการอุ่นชิ้นงาน (Pre-heat temperature) ก่อนการเชื่อมที่ 400 องศาเซลเซียส การเชื่อมเป็นแบบเดินแนว (Autogeneous welding) บนผิวของแผ่นเหล็กหล่อสีเทา โดยในขั้นตอนการเชื่อมของการวิจัยนี้ ได้อาศัยช่างเชื่อมที่ผ่านการทดสอบวัดฝีมือจากสถาบันพัฒนาฝีมือแรงงาน กระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคมในระดับที่ 1 และใช้ท่าราบในการเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การเชื่อมด้วยท่าราบ

### 3.2.4 การออกแบบการตัดชิ้นงานหลังการเชื่อม

ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งแล้ว จะถูกนำมาออกแบบการตัดชิ้นงานเพื่อทดสอบรอบเชื่อม ซึ่งแบ่งชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมให้มีขนาดกว้าง 25 mm และยาว 25 mm ดังแสดงในภาพที่ 3.7



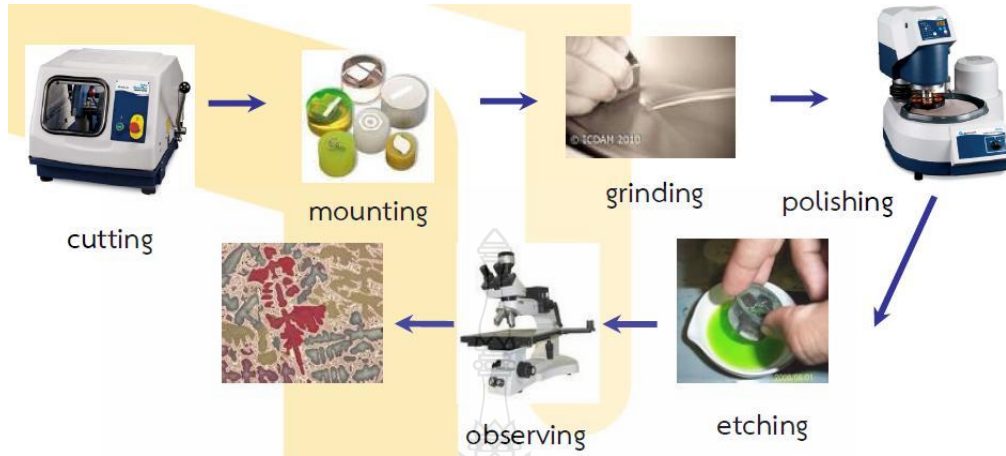
รูปที่ 3.7 ชิ้นงานที่ถูกตัด

## 3.3 การตรวจสอบโครงสร้างกายภาพทางโลหะวิทยา

### 3.3.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

โดยการ นำชิ้นงานทดสอบที่ผ่านกระบวนการเชื่อมมาทำการตัดแบ่งเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน (Cutting Machine) โดยนำชิ้นงานเชื่อมมาตัดส่วนหัวและท้ายออกด้านละ 30 มิลลิเมตร และตัดชิ้นงานทดสอบโครงสร้างมหภาค ขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตร และยาว 25 มิลลิเมตร และนำมาทำการขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ ตั้งแต่เบอร์ 220-1,200 และขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินา (Alumina Oxide) 1-3 mm บนเครื่องขัดแบบจานหมุน และล้างด้วยน้ำเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์เมื่อเสร็จขั้นตอนดังกล่าวแล้วทำการกัดกรด (Etching) ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCL) 20ml ผสมกับกรดไนตริก (HNO<sub>3</sub>) 60ml ตามมาตรฐาน ASTM E407 โดยใช้เวลาดักกรด 5-60 วินาที จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป้าให้แห้ง

ด้วยลมร้อน และนำชิ้นงานมาส่องดูมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Mico Copture) เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของเนื้อเชื่อม ดังแสดงในภาพที่3.8



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

### 3.1.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

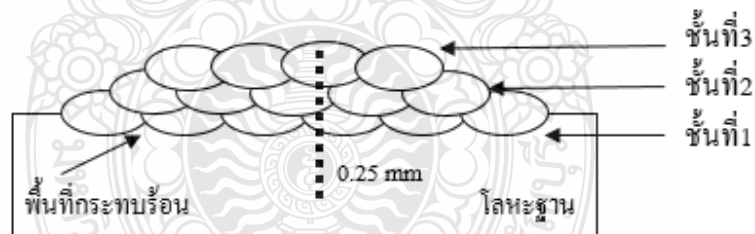
ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค จะทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Micro Scope) ยี่ห้อ LEICA รุ่น SDM 2500M มีกำลังขยาย 50-500 เท่า โดยนำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค มาทำการขัดด้วยกระดาษทรายน้ำตั้งแต่เบอร์ 600-1,200 และขัดด้วยผงอลูมิน่า (Alumina Oxide) 1-3 ไมโครเมตร แล้วล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เมื่อเสร็จขั้นตอนดังกล่าวแล้วทำการกัดกรด (Etching) ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCL) 20ml ผสมกับกรดไนตริก (HNO<sub>3</sub>) 60ml ตามมาตรฐาน ASTM E407 ใช้เวลาในการจุ่มแช่นาน 10 วินาที จากนั้นล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลมร้อน และนำชิ้นงานมาตรวจสอบดูโครงสร้างจุลภาคบริเวณตำแหน่งต่างๆของแนวเชื่อม และทำการบันทึกผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่3.9



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

### 3.4 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็ง(Hardness Test) นำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา มาทำการทดสอบความแข็งโดยการกดทดสอบตามแนวตั้งของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง โดยใช้แรงในการกด 300 gf เวลาในการกดแช่ 10 วินาที เริ่มต้นกดทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่3 ลงมาถึงบริเวณโลหะฐาน (Base metal) ระยะห่างระหว่างจุดทดสอบ 0.25 มิลลิเมตร โดยวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E92-82 แบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers) ดังแสดงในภาพที่3.10



รูปที่ 3.10 ตำแหน่งในการตรวจสอบ

### 3.5 การทดสอบการสึกกร่อน

การทดสอบการสึกกร่อน(Wear Resistance) การทดสอบการสึกกร่อนผิวหน้าการเชื่อมพอกผิวแข็งของชั้นพอกผิวแข็งแต่ละชั้นทำได้โดยการทดสอบแบบจุดกดบนจานหมุน (Pin on disk method) ที่เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องขัดชิ้นงานในการตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาค ยี่ห้อ ATM Saphir 300E ดังภาพที่3.11 โดยกำหนดให้ชิ้นงานทดสอบที่ถูกยึดบนแกนจับ มีขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร

ยาว 10 มิลลิเมตร ใช้ น้ำหนักกดที่ 320 MPa ความเร็วรอบการหมุนของจานขัดที่ 150 rpm เวลาในการทดสอบ 4 นาที ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสารขัด 80 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.11 เครื่องขัดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการสึกหรอ



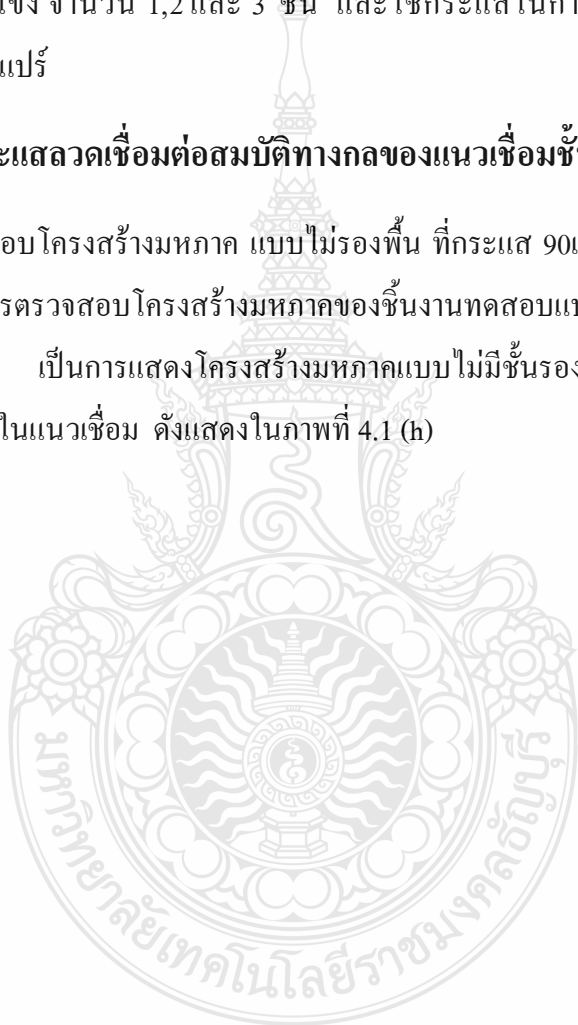
## บทที่ 4

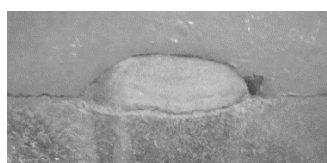
### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การศึกษาทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสามารถในการต้านทานการสึกกร่อนของการเชื่อมพอกผิวแข็งชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทา FC-25 ด้วยการเชื่อมแบบลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ และทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง จำนวน 1, 2 และ 3 ชั้น และใช้กระแสในการเชื่อมที่ 90 แอมแปร์ 110 แอมแปร์ และ 130 แอมแปร์

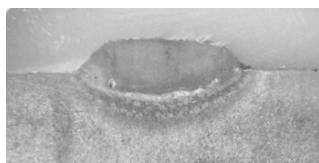
#### 4.1 อิทธิพลของกระแสลวดเชื่อมต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อมชั้นที่ 1

4.1.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค แบบไม่ร่อนพื้น ที่กระแส 90 แอมแปร์ 110 แอมแปร์ และ 130 แอมแปร์ ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานทดสอบแบบไม่มีการเชื่อมชั้นรองพื้น ดังแสดงในภาพที่ 4.1 เป็นการแสดงโครงสร้างมหภาคแบบไม่มีชั้นรองพื้น พบว่าในกระแสที่ 110 แอมแปร์เกิดรูพรุนขึ้นในแนวเชื่อม ดังแสดงในภาพที่ 4.1 (h)

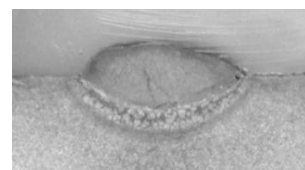




(a) ลวด 350 กระแส 90A



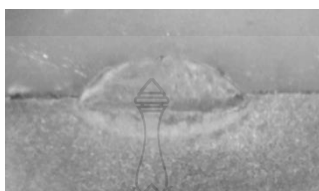
(b) ลวด 350 กระแส 110A



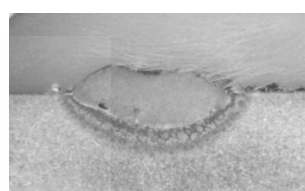
(c) ลวด 350 กระแส 130A



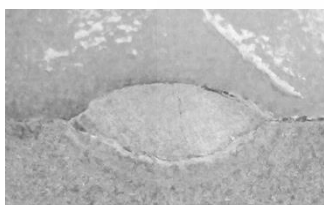
(d) ลวด 450 กระแส 90 A



(e) ลวด 450 กระแส 110A



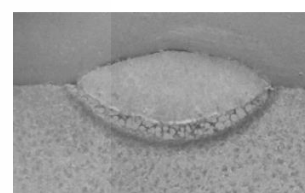
(f) ลวด 450 กระแส 130A



(g) ลวด 600 กระแส 90 A



(h) ลวด 600 กระแส 110A

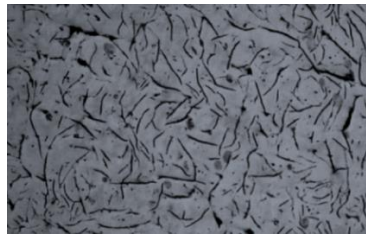


(i) ลวด 600 กระแส 130A

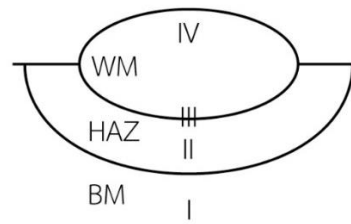
รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างมหภาคแบบไม่มีชั้นรองพื้น แนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1 ของเหล็กหล่อ FC25

4.1.2 การตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาค แบบไม่รองพื้นที่กระแส 90 แอมแปร์ ลวดเชื่อม H350

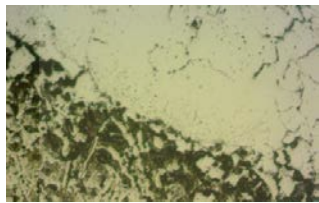
ลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กหล่อสีเทา FC 25 โดยใช้กระแสที่ 90 A ลวดเชื่อม H350 ในการเชื่อมแบบไม่รองพื้น โดยการตรวจสอบโลหะฐาน (Base metal) บริเวณกระทบร้อน (Heat Affected Zone) ในบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่1 (Layer 1) บริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่2 (Layer 2) และ บริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่3 (Layer 3) พบว่าโลหะฐาน (Base metal)เหล็กหล่อสีเทา FC 25 มีเกิดการไฟฟ้าขนาดยาวกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4.2



(a) โลหะฐานเหล็กหล่อ FC25



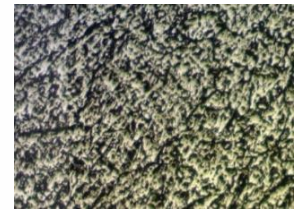
(b) ตำแหน่งการตรวจสอบ



(c) เส้นหลอมละลาย



(d) พื้นที่กระทบร้อน

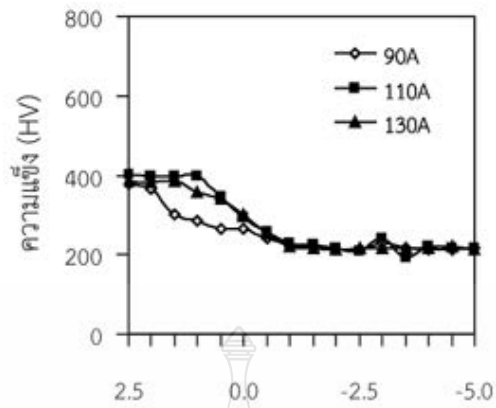


(E) โลหะเชื่อมพอกผิวแข็ง

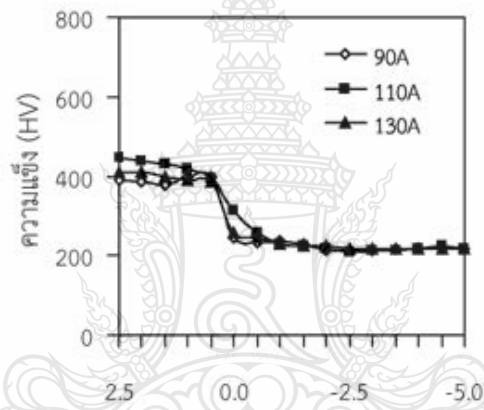
รูปที่ 4.2 (a)โลหะฐานเหล็กหล่อ FC25 (b)ตำแหน่งการตรวจสอบ (c)เส้นหลอมละลาย (d)พื้น  
กระทบร้อน (E) โลหะเชื่อมพอกผิวแข็ง ชั้นที่1 แบบไม่รองพื้น

4.1.3 การตรวจสอบความแข็ง แบบไม่รองพื้น ที่กระแส 90 แอมแปร์, 110แอมแปร์ และ 130  
แอมแปร์ ผลการทดสอบค่าความแข็ง ของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งพบว่าในลวด H600มีความแข็ง  
บริเวณแนวเชื่อมมากที่สุด โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 650 ถึง 700 HV ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ส่วนในลวด H350 มีค่า  
ความแข็งต่ำสุด ดังแสดงในภาพที่ 4.4

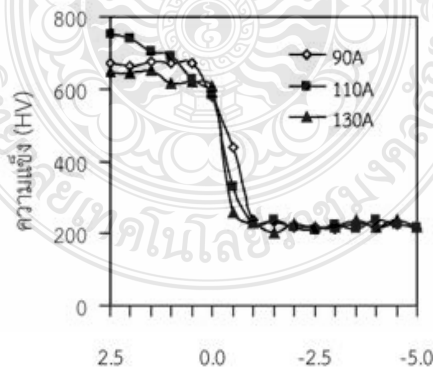




(a) ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง(mm) H350

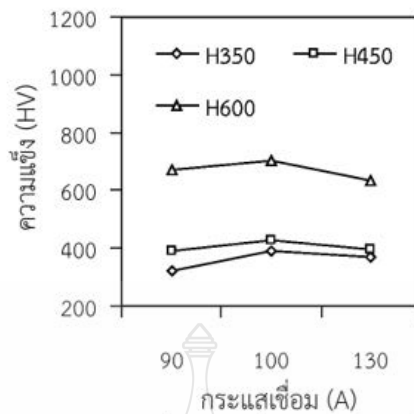


(b) ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง (mm) H450



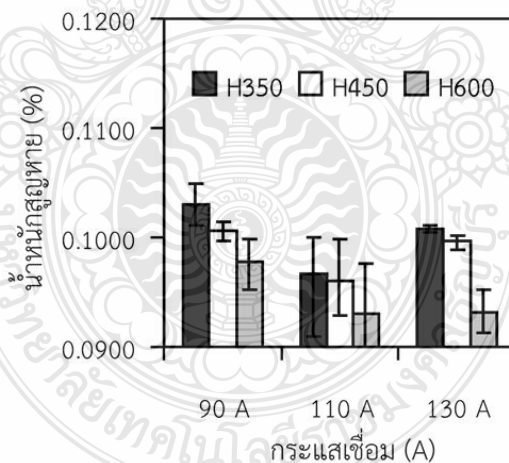
(c) ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง (mm) H600

รูปที่ 4.3 แสดงการทดสอบความแข็งใน แนวตั้งแบบไม่รองพื้น ที่กระแส 90 A,110แอมแปร์ 130 แอมแปร์ 1ชั้น



**รูปที่ 4.4** แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มเฉลี่ย กระแสเชื่อม และชนิดของลวดเชื่อมพอกผิวแข็งในชั้นที่ 1 แบบไม่มีการเสริมชั้นผิวบนเหล็กหล่อ FC25

4.1.4 การตรวจสอบอัตราการสึกกร่อน แบบไม่เสริมชั้นผิว ที่กระแส 90 A, 110 แอมแปร์ และ 130 แอมแปร์ ผลการทดสอบอัตราการสึกกร่อน ของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็ง แบบไม่รองพื้น ที่กระแส 90 แอมแปร์พบว่าลวด H600 มีอัตราการสึกกร่อนต่ำที่สุดในทุกชั้นของแนวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.5



**รูปที่ 4.5** แสดงอัตราการสึกกร่อนกับน้ำหนักที่สูญหาย แบบไม่รองพื้นที่กระแส 90 A, 110 แอมแปร์ และ 130 แอมแปร์

4.1.5 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค แบบมีชั้นรองพื้น ที่กระแส 90 A, 110 แอมแปร์ และ 130 แอมแปร์ชั้นที่ 1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานทดสอบแบบมีการเชื่อมชั้นรองพื้น ดังแสดงในรูป 4.6 (a,b,และc) เป็นการแสดงโครงสร้างมหภาคแบบมีชั้นรองพื้น พบว่า โครงสร้างมห

ภาคของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็ง ที่กระแส 90 A มีการแบ่งชั้นอย่างชัดเจนและไม่พบรอยบกพร่องในแนวเชื่อม



(a) ลวด H350 กระแส 90A



(b) ลวด H350 กระแส 110A

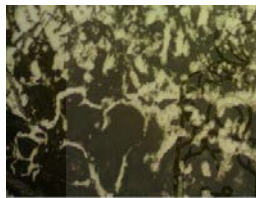


(c) ลวด H 350 กระแส 130A

รูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างมหภาคแบบมีชั้นรองรับแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1 ของเหล็กหล่อ FC25 ด้วยลวด H350 กระแส 130 แอมแปร์

#### 4.1.6 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค แบบมีชั้นรองรับที่กระแส 90 A ชั้นที่ 1

ลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กหล่อสีเทา FC25 โดยใช้กระแสที่ 90 A ในการเชื่อมแบบรองรับ ด้วยลวด H350 โดยการตรวจสอบโลหะฐาน (Base metal) บริเวณรอยต่อระหว่างแนวเสริมชั้นผิวและแนวเชื่อมชั้นที่ 1 พบว่าการแบ่งเขตกันอย่างชัดเจนดังภาพที่ 4.7



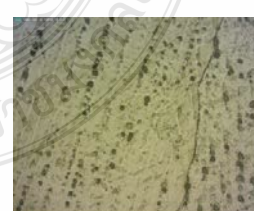
(a)



(b)



(c)

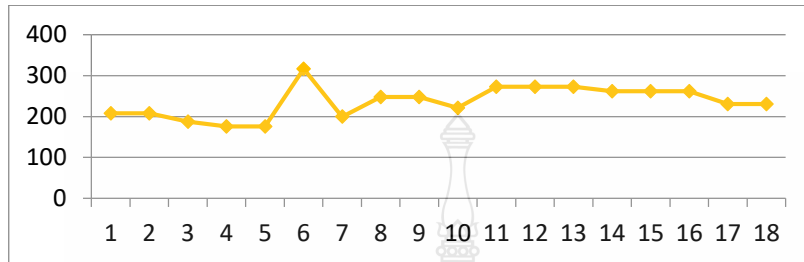


(d)

รูปที่ 4.7 โครงสร้างจุลภาค แบบมีชั้นรองรับที่กระแส 90 A ชั้นที่ 1 (a)บริเวณ โลหะฐาน (b)บริเวณ รอยต่อของเนื้อเชื่อมและชั้นรองรับ (c)เนื้อเชื่อมของชั้นรองรับ (d)เนื้อเชื่อมของชั้นที่ 1

#### 4.1.7 การตรวจสอบความแข็ง แบบรองพื้น ที่กระแส 90 A

ผลการทดสอบค่าความแข็ง ของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งแบบเสริมชั้นผิว พบว่ามีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 180-280 HV ดังแสดงในภาพที่ 4.8

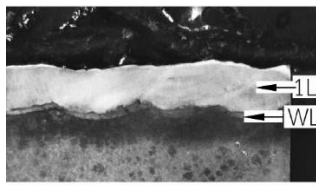


รูปที่ 4.8 แสดงการทดสอบความแข็งใน แนวตั้ง เสริมชั้นผิว ที่กระแส 90 A ลวดเชื่อมH350

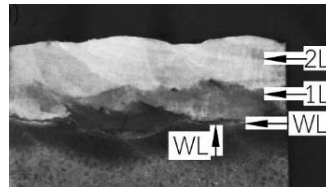
## 4.2 อิทธิพลของกระแสลวดเชื่อมต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม ชั้นที่ 2-3

### 4.2.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

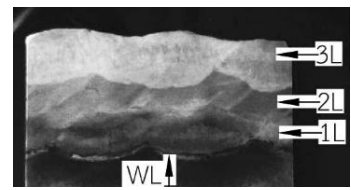
การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคแบบไม่มีชั้นรองพื้น ที่กระแส 90แอมแปร์, 110แอมแปร์ และ130แอมแปร์ ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานทดสอบแบบไม่มีการเชื่อมชั้นรองพื้นในชั้นที่1-3 ดังแสดงในภาพที่ 4.9 พบการเกิดชั้นสีขาวบริเวณแนวเชื่อม



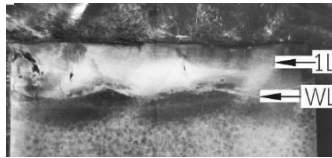
(a) กระแส 90 แอมแปร์ ชั้นที่ 1



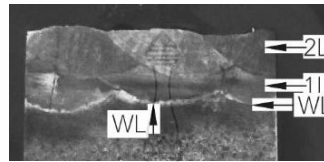
(b) กระแส 90 แอมแปร์ ชั้นที่ 2



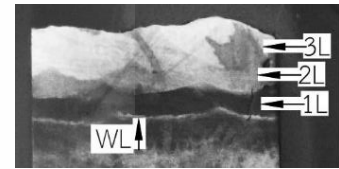
(c) กระแส 90 แอมแปร์ ชั้นที่ 3



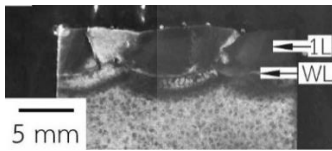
(d) กระแส 110 แอมแปร์ ชั้นที่ 1



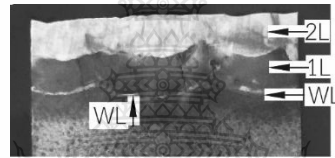
(e) กระแส 110 แอมแปร์ ชั้นที่ 2



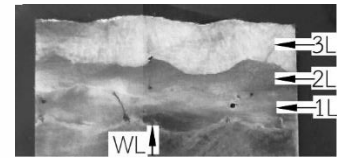
(f) กระแส 110 แอมแปร์ ชั้นที่ 3



(g) กระแส 130 แอมแปร์ ชั้นที่ 1



(h) กระแส 130 แอมแปร์ ชั้นที่ 2



(i) กระแส 130 แอมแปร์ ชั้นที่ 3

รูปที่ 4.9 แสดงโครงสร้างแบบมหภาคแบบไม่มีชั้นรองพื้นที่กระแส 90 แอมแปร์, 110 แอมแปร์ และ 130 แอมแปร์

#### 4.2.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแบบไม่มีชั้นรองพื้นที่กระแส 90 แอมแปร์, 110 แอมแปร์ และ 130 แอมแปร์ ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานทดสอบแบบไม่มีการเชื่อมชั้นรองพื้นที่ ชั้นที่ 1-3 ด้วยลวดเชื่อม H350 พบการเกิดกราฟิต์กลมขึ้นในบริเวณเนื้อเชื่อม และพบรอยแยกของเนื้อ เชื่อมอย่างชัดเจนในชั้นที่ 3 ดังแสดงในภาพที่ 4.10 และพบการเกิดกราฟิต์กลมขึ้นเช่นเดียวกันกับ แนวเชื่อมที่เชื่อมแบบเสริมชั้นผิว โดยเชื่อมด้วยลวดเชื่อมทั้ง 3 ชนิด ด้วยกระแส 90 แอมแปร์ ดังแสดง ในภาพที่ 4.11

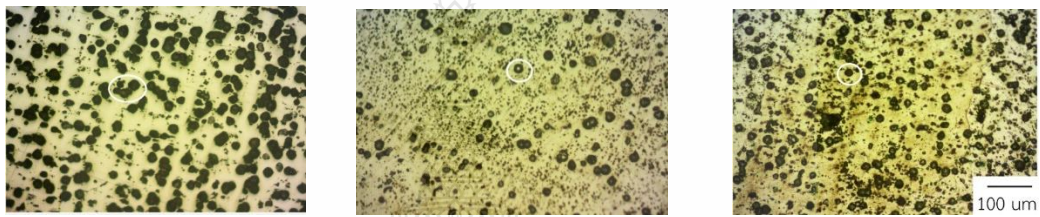


(a) โลหะพอกแข็งชั้นที่1

(b) โลหะพอกแข็งชั้นที่2

(c) โลหะพอกแข็งชั้นที่3

รูปที่ 4.10 แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะพอกแข็งในชั้นที่1-3 โดยเชื่อมที่กระแส 90 แอมแปร์ ด้วยลวด H350 โดยไม่สร้างชั้นรองพื้น



(a) ลวด H350 90 แอมแปร์

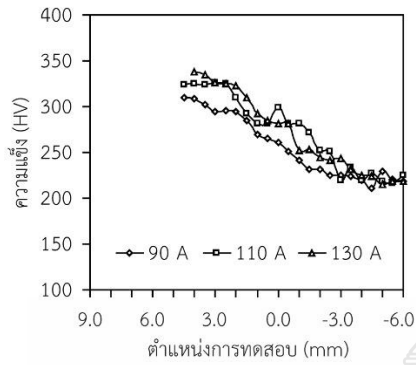
(b) ลวด H450 90 แอมแปร์

(c) ลวด H600 90 แอมแปร์

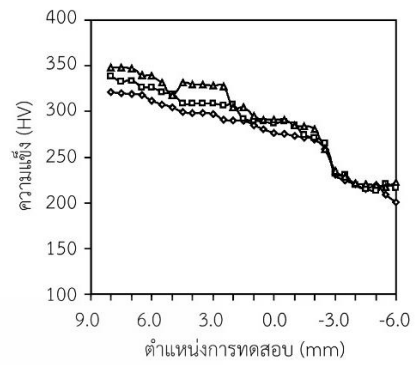
รูปที่ 4.11 แสดงโครงสร้างจุลภาคแบบสร้างชั้นรองพื้นที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมทั้ง 3 ชนิด ด้วยกระแส 90 แอมแปร์ บนเหล็กหล่อ FC25

#### 4.2.3 การตรวจสอบความแข็ง

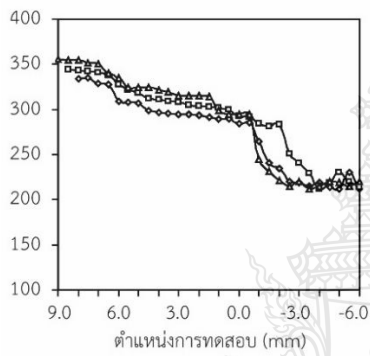
การตรวจสอบความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็งด้วยลวดเชื่อม ทั้ง 3 ชนิด พบว่า โลหะเชื่อมพอกแข็ง ที่เชื่อมด้วยลวด H350 บนเหล็กหล่อสีเทา FC25 พบว่ามีความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมในชั้นที่1-3 ประมาณ 300-350HV ดังแสดงในภาพที่ 4.12



(a) ความแข็งของโลหะเชื่อมชั้นที่1



(b) ความแข็งของโลหะเชื่อมชั้นที่2

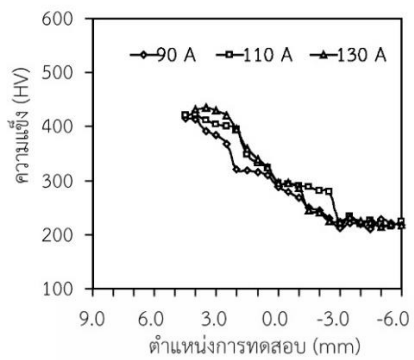


(c) ความแข็งของโลหะเชื่อมชั้นที่3

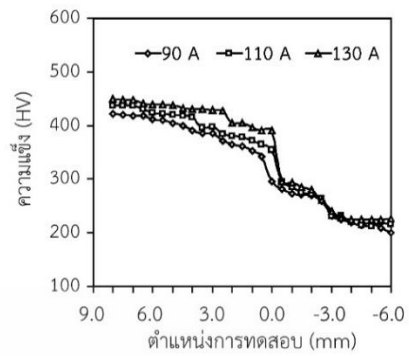
รูปที่ 4.12 แสดงความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็ง ที่เชื่อมด้วยลวด H350 บนเหล็กหล่อ

สีเทา FC25

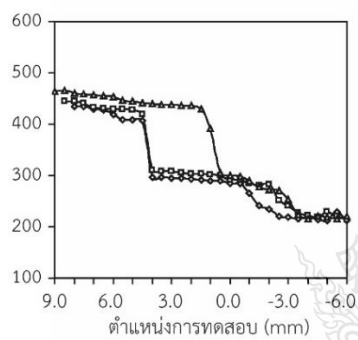
ในการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม H450 นั้น ความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมอยู่ที่ประมาณ 450HV ดังแสดง  
 ดังแสดงในรูปที่ 4.13



(a) ความแข็งของโลหะเชื่อมชั้นที่1



(b) ความแข็งของโลหะเชื่อมชั้นที่2

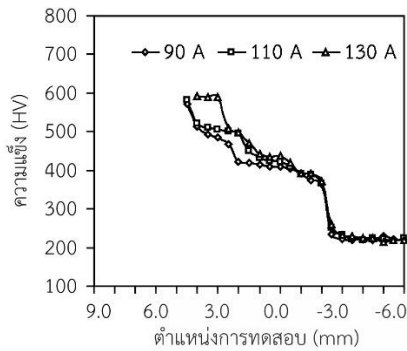


(c) ความแข็งของโลหะเชื่อมชั้นที่3

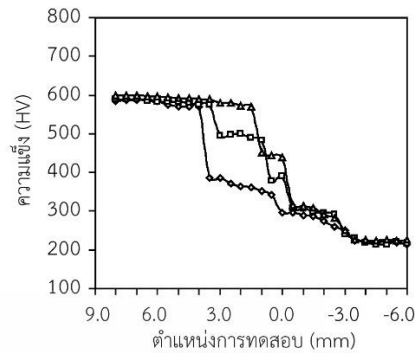
รูปที่ 4.13 แสดงความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็ง ที่เชื่อมด้วยลวด H450 บนเหล็กหล่อสีเทา FC25

ในการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม H600 นั้น ความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมอยู่ที่ประมาณ 450HV ดังแสดงดัง  
แสดงในรูปที่ 4.14

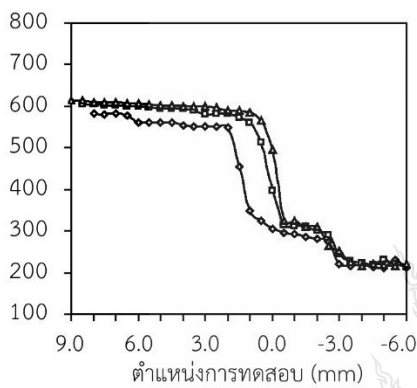




(a) ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมชั้นที่ 1



(b) ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมชั้นที่ 2



(c) ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมชั้นที่ 3

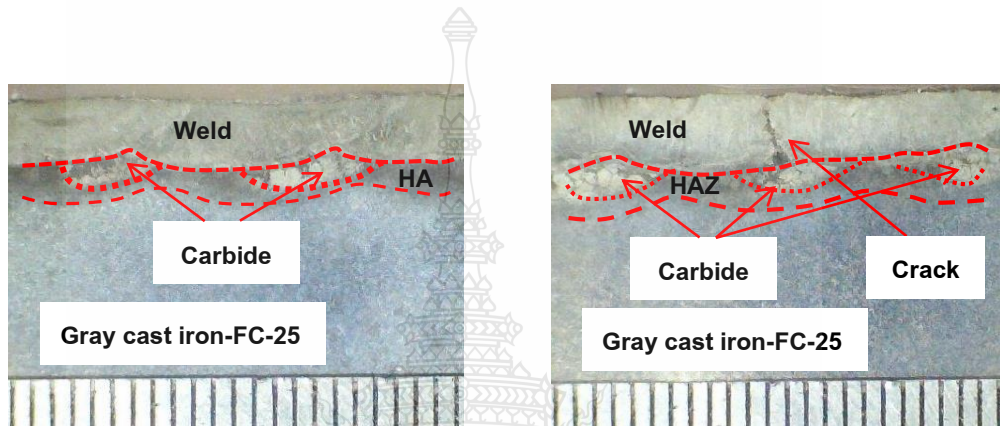
รูปที่ 4.14 แสดงความแข็งแรงของโลหะเชื่อมพอกแข็ง ที่เชื่อมด้วยลวด H600 บนเหล็กหล่อสีเทา FC25

### 4.3 การเปรียบเทียบอิทธิพลของกระแสเชื่อมแบบไม่สร้างชั้นรองพื้นกับสร้างชั้นรองพื้น

#### 4.3.1 การเปรียบเทียบโครงสร้างมหภาค

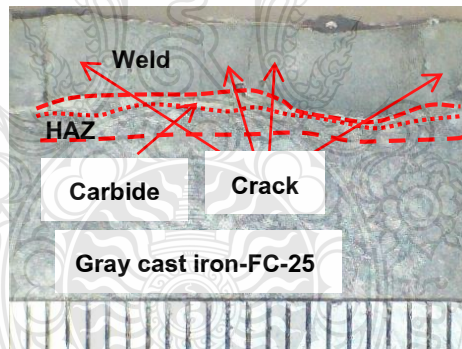
แสดงแนวเชื่อมที่เชื่อมแบบไม่รองพื้นพบว่าโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมกระแสไฟในการเชื่อมที่ 90-110 A บริเวณพื้นที่แนวเชื่อมพบรอยแตกร้าวในแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 110 A และกระแสไฟในการเชื่อม 130 A และจากการสังเกตพบว่ากระแสไฟในการเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นปริมาณการแตกร้าวของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสาเหตุเกิดจากกระแสไฟเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อการเจือจางของแนวเชื่อมระหว่างลวดเชื่อมกับโลหะฐานซึ่งโลหะฐานมีปริมาณคาร์บอนสูงดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณคาร์บอนในโลหะฐานเกิดการแพร่เข้าสู่แนวเชื่อมมากเกินไปจึงเป็นผลให้แนว

เชื่อมมีความแข็งและเกิดการแตกร้าวเมื่อเกิดการเย็นตัว และในบริเวณแนวการหลอมละลายระหว่างแนวเชื่อมกับ โลหะฐานเกิดลักษณะคล้ายคาร์ไบด์ซึ่งจากรายงานวิจัยพบว่าบริเวณดังกล่าวมักเกิดเหล็กหล่อสีขาวที่มีความแข็งสูงอาจส่งผลกระทบต่อการใช้ระยะห่างแนวเชื่อมกับโลหะฐาน สังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมสูงขึ้นแนวโน้มของคาร์ไบด์มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นดังภาพที่ 4.15 (a)-(c) ตามลำดับ



(a) กระแสไฟในการเชื่อม 90 Amp.

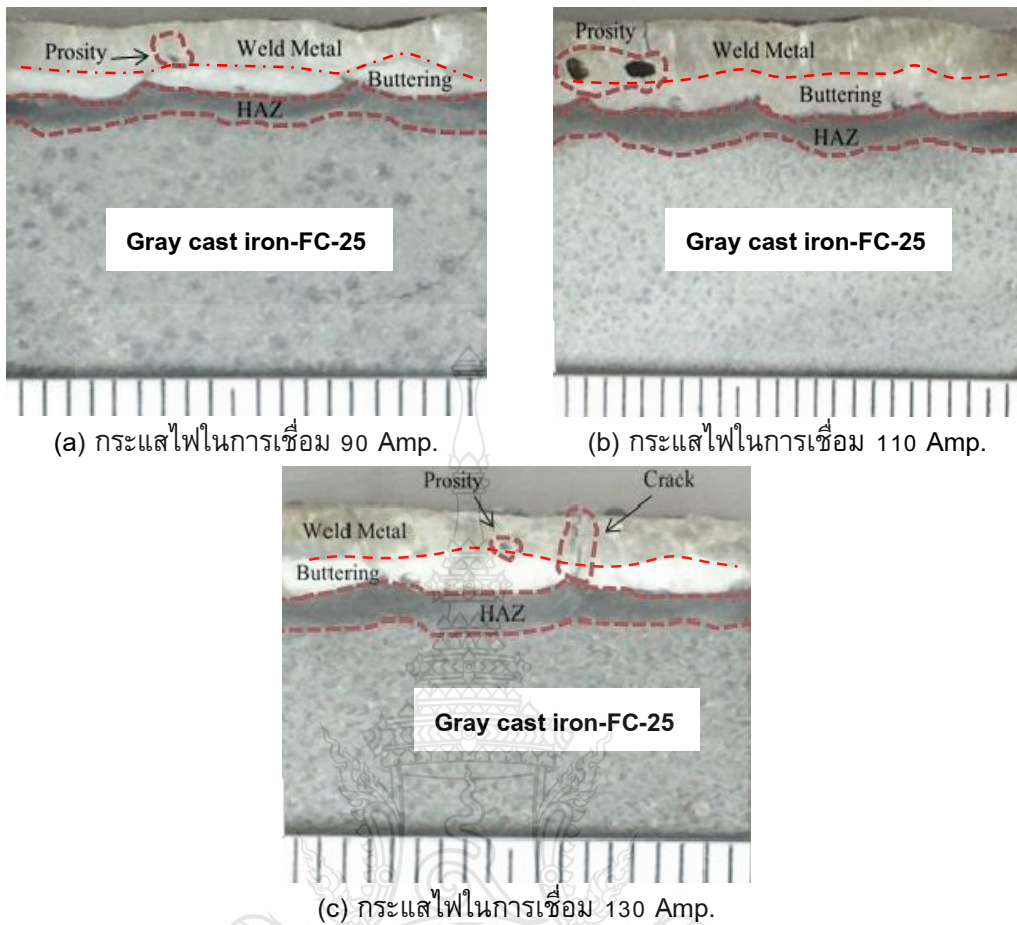
(b) กระแสไฟในการเชื่อม 110 Amp.



(c) กระแสไฟในการเชื่อม 130 Amp.

**รูปที่ 4.15** โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมแบบไม่สร้างชั้นรองพื้น

รูปที่ 4.16 แสดงโครงสร้างมหภาคแนวเชื่อมโดยทำการเชื่อมรองพื้นก่อนทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมปกติเกิด แนวเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อมที่ 90 และ 110 แอมแปร์ ไม่พบรอยแตกบริเวณแนวเชื่อม แต่เมื่อเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมเป็น 130 แอมแปร์ พบรอยแตกภายในแนวเชื่อมแต่ปริมาณต่ำกว่า

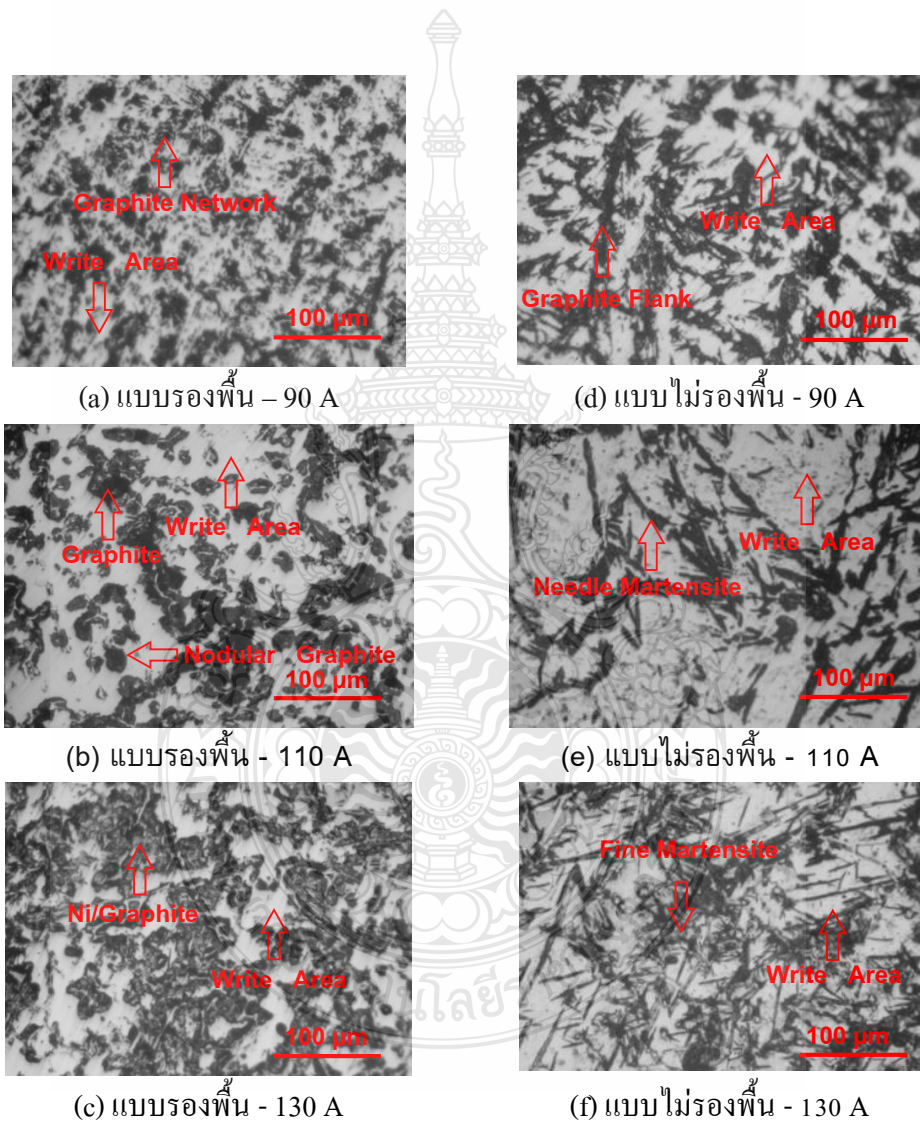


รูปที่ 4.16 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมแบบสร้างชั้นรองพื้น

#### 4.3.2 การเปรียบเทียบ โครงสร้างจุลภาค

รูปที่ 4.17 (d-f) แสดงลักษณะ โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเชื่อมรองพื้นก่อนการเชื่อมพบว่าโครงสร้างจุลภาคมีความแตกต่างจากกระบวนการเชื่อมแบบรองพื้นก่อนการเชื่อม ภาพที่ 4.17 (d) โครงสร้างจุลภาคที่เชื่อมด้วยกระแสไฟในการเชื่อม 90 แอมแปร์ โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมประกอบด้วยเหล็กกราไฟท์ขนาดเล็กละเอียดปริมาณสูงในแนวเชื่อมแทรกขึ้นบนพื้นหลักของเฟสสีขาวแนวเชื่อมมีความแข็งสูงกว่ากระบวนการเชื่อมแบบรองพื้น เมื่อเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมเป็น 110แอมแปร์ ลักษณะของกราไฟท์ในแนวเชื่อมก่อตัวลักษณะคล้ายโครงสร้างมาร์เทนไซต์แบบเข็ม (Needle-Martensite) แทรกขึ้นในแนวเชื่อมส่งผลให้แนวเชื่อมมีความแข็งสูงขึ้นและนำไปสู่การแตกร้าวของแนวเชื่อม และเมื่อเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมสูงขึ้นเป็นกระแสไฟในการเชื่อม 130 A แนวโน้มของความแข็งของแนวเชื่อมดังภาพที่ 4.17 (a) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกระแสไฟเชื่อมอื่น เมื่อสังเกตจากโครงสร้างจุลภาคพบว่า การก่อตัวของกราไฟท์ในแนวเชื่อมคล้าย

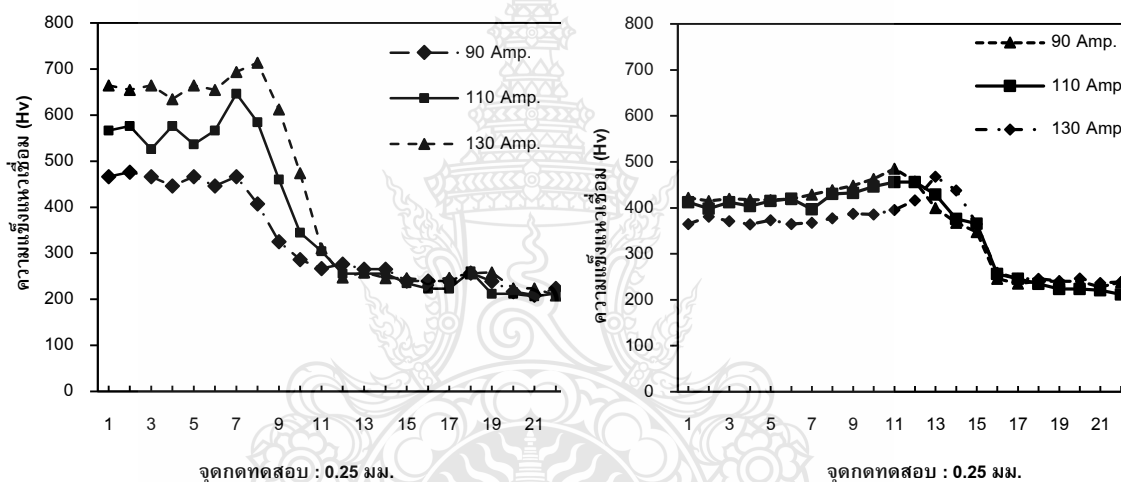
ลักษณะของ โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่เล็กละเอียด (Needle-Martensite) เพิ่มขึ้นปริมาณสูงแทรกบนพื้น ลึกของเฟสสีขาวส่งผลให้สมบัติทางกลด้านความแข็งเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งนำไปสู่การแตกร้าวของแนวเชื่อม สาเหตุที่ส่งผลทำให้ความแข็งของโลหะเชื่อมมีค่าความแข็งต่ำเมื่อมีการเชื่อมรองพื้นก่อนการเชื่อม ปอกแข็ง คือการเกิดการเจือจางของส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมเข้าสู่โลหะฐาน ซึ่งพบได้ทั่วไปใน การเชื่อมพอกแข็งโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เหล็กหล่อ



รูปที่ 4.17 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมแบบรองพื้นและการเชื่อมแบบไม่รองพื้น

### 4.3.3 การเปรียบเทียบความแข็ง

ค่าความแข็งที่ได้ดังภาพที่ 4.18 บ่งชี้ให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อม ในผลการทดลองการทดสอบความต้านทานการสึกหรอซึ่งแสดงในรูปแบบของการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นทดสอบ (ชิ้นทดสอบที่มีการสูญเสียน้ำหนักน้อย คือชิ้นทดสอบที่มีความต้านทานการสึกหรอสูง และชิ้นทดสอบที่มีการสูญเสียน้ำหนักมาก คือชิ้นทดสอบที่มีความต้านทานการสึกหรอต่ำ) ค่าการสูญเสียน้ำหนักแปรผกผันกับค่าความแข็งของโลหะเชื่อม โลหะเชื่อมที่มีความแข็งสูงเนื่องจากการก่อตัวของมาเทนไซต์เข้มข้นขนาดเล็กซึ่งเกิดในโลหะเชื่อมแบบรองพื้นแสดงความต้านทานการสึกหรอที่มีค่าสูงหรือมีการสูญเสียน้ำหนักน้อย



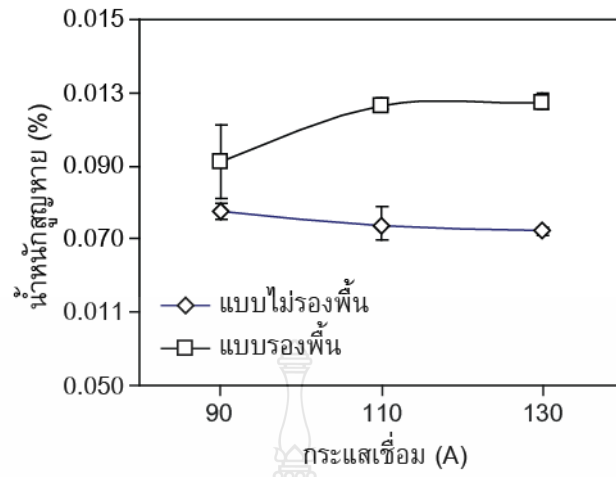
(a) แบบไม่รองพื้น

(b) แบบรองพื้น

รูปที่ 4.18 ค่าความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็งที่เชื่อมแบบไม่รองพื้นและรองพื้น

### 4.3.3 การเปรียบเทียบน้ำหนักสูญเสียจากการสึกหรอ

ผลการทดลองดังภาพที่ 4.19 บ่งชี้ให้ทราบว่ากระแสเชื่อม 130 A ของโลหะเชื่อมที่ไม่มีการเชื่อมรองพื้นนั้นแสดงความต้านทานการสึกหรอสูงสุดในการทดลองนี้ ขณะที่โลหะเชื่อมที่มีการรองพื้นก่อนการเชื่อมพอกแข็งที่แสดงค่าความแข็งต่ำกว่าแบบรองพื้น และมีค่าความแข็งลดลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4.18 (b) นั้นส่งผลทำให้ค่าน้ำหนักสูญหายเพิ่มขึ้น และบ่งชี้ให้ทราบว่าการเชื่อมพอกแข็งนั้นไม่แนะนำให้มีการเชื่อมรองพื้นก่อนการเชื่อมพอกแข็ง เพราะทำให้ได้ค่าความต้านทานการสึกหรอต่ำกว่าการเชื่อมแบบไม่มีการรองพื้น



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสัณฐานของโลหะเชื่อม กระแสเชื่อม และการรองพื้น



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยการทดลองอิทธิพลของการเชื่อมพอกผิวแข็งเข้าแนวต่อสมบัติของเหล็กหล่อสีเทา FC 25 ใช้ตัวแปรกระแสเชื่อมที่ 90 110 และ 130 A แบบมีชั้นเชื่อมรองพื้น และแบบไม่มีชั้นเชื่อมรองพื้น แล้วนำมาเชื่อมพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น แล้วทำการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา และทดสอบสมบัติทางกลของแนวเชื่อม เพื่อที่จะหาจำนวนชั้นที่ดีที่สุดในการเชื่อมพอกผิวแข็ง ผลการทดลองมีข้อสรุปดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด 0.0977% คือการเชื่อม 130 A

5.1.2 การเพิ่มกระแสเชื่อมในการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบมีการรองพื้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้น

5.1.3 การเชื่อมแบบไม่รองพื้นให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอสูงกว่าการเชื่อมแบบรองพื้นเนื่องจากการเกิดโครงสร้างมาแทนไซต์ละเอียดและเกิดการเชื่อมส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมต่ำกว่า

5.1.4 การเพิ่มกระแสเชื่อมในการเชื่อมพอกผิวแข็งมีการรองพื้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมลดลง และทำให้มาแทนไซต์ที่มีความโตเพิ่มขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้การเชื่อมแบบมีชั้นรองพื้นมีค่าความแข็งแรงต่ำกว่าการเชื่อมแบบไม่มีชั้นรองพื้น และการเชื่อมแบบมีชั้นรองพื้นทำให้ค่าความแข็งแรงลดลงเมื่อกระแสเชื่อมสูงขึ้น ดังนั้นการเชื่อมพอกผิวแข็งนั้นไม่แนะนำให้มีการเชื่อมรองพื้นก่อนการเชื่อมพอกผิวแข็ง เพราะจะทำให้ได้ความต้านทานการสึกหรอต่ำลง





## บรรณานุกรม

- [1] รายงานการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศ, <http://www.ocsb.go.th>, 12 สิงหาคม 2555.
- [2] บริษัท ยาวต้า (ประเทศไทย) จำกัด. 2555. ลวดเชื่อมไฟฟ้ายาวต้า. นครราชสีมา. บริษัท ยาวต้า (ประเทศไทย) จำกัด.
- [3] C. Zhang, X. Sing, P. Lu, X. Hu. Effect of Microstructure on Mechanical Properties in Weld-repaired High Strength Low Alloy Steel. *Materials and Design* 36 (2006) 233-242.
- [4] V.E. Buchanan, P.H. Shipway, D.G. McCartney. Microstructure and abrasive Wear Behavior of the Shielded Metal Arc Welding Hardfacing used in the Sugarcanes Industry. *Wear* 263 (2007) 99-100.
- [5] C. Fan, M.C. Chen, C.M. Chang, W. Wu. Microstructure change caused by (Cr,Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> Carbides in High Chromium Fe-Cr-C Hardfacing Alloys *Surface&Coatings Technology* 201 (2006) 908-912.
- [6] C.M. Chang, C.M. Lin, C.C. Hsieh, J.H. Chen, W. Wu. Micro-structural Characteristics of Fe-40wt%Cr-xC Hardfacing Alloys with [1.0-4.0wt%] Carbon Content. *Journal of Alloys and Compounds* 487 (2009) 83-89.
- [7] R.A. Jeshvaghani, E. Harati, M. Shamanian. Effect of Surface Alloying on Microstructure and Wear Behavior of Ductile Iron Surface-modified with a Nickel-based Alloy using Shielded Metal Arc Welding. *Materials and Design* 32 (2011) 1531-1536.
- [8] S. Chatterjee and T.K. Pal. Solid Particle Erosion Behaviour of Hardfacing Deposits on Cast Iron – Influence of Deposit Microstructure and Erodent Particles. *Wear* 261 (2006) 1069-1079.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [9] D.R. Askeland and P.P. Phule. 2006. Science and Engineering of Materials. Singapore. Cengage Learning.
- [10] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ ประจักษ์ อ่างบุญตา และบุญส่ง จงกลณี. 2552. รายงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2552 เรื่อง โครงสร้างจุลภาคและสมบัติของรอยเชื่อมวัสดุด้วย เทคโนโลยีการเชื่อมแบบใหม่. กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- [11] R.A. Jeshvghani, E. Harati, M. Shamanian. Effect of Surface Alloying on Microstructure and Wear Behavior of Ductile Iron Surface-modified with a Nickel-based Alloy using Shielded Metal Arc Welding. Materials and Design 32 (2011) 1531-1536.
- [12] S. Selvi, s.p. Sankaran, “Comparative Study of Hardfacing of Valve Seat Ring using MMAW Process”, Journal of Materials Processing Technology. 2008 pp.256-362.
- [13] D. Liu, Y. Wei, K. Zhu, “Microstructure and Wear Properties of Fe-15-Cr-2.5Ti-2C-XB wt% Hardfacing Alloys, “. *Applied Surface Science*, 2013 pp.253-259.
- [14] M.F. Buchely, J.C. Gutierrez, L.M. Leon, “The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys”. *Wear* 2005 pp.52-61.
- [15] คณิต สิทธิพันธ์ ทวี หมดสะ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และชัยยะ ประณีตพลกรัง. เรื่อง อิทธิพลของจำนวนชั้นพอกผิวแข็งเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS-SKD11 ต่ออัตราการสึกหรอของผิวโลหะเชื่อมอาร์คลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ การประชุมทางวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่9 2558.

ภาคผนวก





ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

ที่ ศบ 6922(2)/348



สถาบันพระธาตุสัจพวงปัญญาและวิจัย  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
สุรนันทน์ 28 กรุงเทพมหานคร 10110

1 กุมภาพันธ์ 2561

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาขอความวินิจฉัยการประชุมวิชาการระดับชาติ "นสว วิจัย" ครั้งที่ 11

เรียน นายชินวาท บ็องเจริญ

สิ่งที่มาด้วย รายละเอียดผลการพิจารณาขอความ

ตามที่ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยสถาบันพระธาตุสัจพวงปัญญาและวิจัย กำหนดจัดการประชุมวิชาการระดับชาติ "นสว วิจัย" ครั้งที่ 11 ในวันที่ 29-30 มีนาคม 2561 ณ อาคารนวัตกรรมการศึกษา ศร.ศส.ว.ช. บัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมธานี นคร กรุงเทพมหานคร เพื่อเป็นเวทีให้นักวิจัย คณาจารย์ นักศึกษานักศึกษา วิทยากรและบุคลากรในแวดวงวิชาการ วิชาการ เพื่อเข้าไปสู่การพัฒนาระบบวิชาการของประเทศไทย และสร้างเครือข่ายความร่วมมือด้านการศึกษาเพื่อพัฒนาประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ นั้น

ในการนี้ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้พิจารณาขอความเพื่อให้นำเสนอในการประชุมดังกล่าวเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยขอความของท่านสามารถที่อ้างถึง SAURES11-148 ผ่านทางพีชชาตภา ให้นำเสนอในรูปแบบ บรรยาย โดยมีข้อเสนอแนะตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ซึ่งท่านจะต้องดำเนินการรับแก้ตามข้อเสนอแนะอย่างเคร่งครัด ทั้งนี้ ขอให้ท่านสืบค้นบทคัดย่อจากไฟล์ต้นฉบับที่มหาวิทยาลัยส่งแนบให้ทางอีเมล์เท่านั้น และส่งบทคัดย่อฉบับแก้ไขทาง E-mail: saures2018ed@sigmail.com ภายในวันศุกร์ที่ 9 กุมภาพันธ์ 2561 หากได้ส่งขอความฉบับแก้ไขขอความแล้วโปรดแจ้งว่าท่านส่งแก้ไขที่ใดทางอีเมลด้วย สำหรับไฟล์ต้นฉบับแก้ไขให้ส่งเป็นไฟล์ Microsoft word พร้อมทั้งชื่อไฟล์แก้ไขเป็น SAURES11- รหัสขอความed02 ตัวอย่างเช่น SAURES11-001ed02 และขอให้ท่านยืนยันการเข้าร่วมนำเสนอผลงานในระบบ ระหว่างวันที่ 12-20 กุมภาพันธ์ 2561 สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ ฝ่ายบริหารจัดการวิจัย โทรศัพท์ 02-649-3000 ต่อ 11017-11018, 11082

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐภักดิ์ จิระเดช)  
ผู้อำนวยการสถาบันพระธาตุสัจพวงปัญญาและวิจัย  
ปฎิบัติการแทน อธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ฝ่ายบริหารจัดการวิจัย  
สถาบันพระธาตุสัจพวงปัญญาและวิจัย  
โทรศัพท์ 02-649-3000 ต่อ 11018-11019  
โทรสาร 02-259-1822

**SWURES11-148: อิทธิพลชั้นรองพื้นต่อสมบัติของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนพื้นผิว  
เหล็กหล่อเทา FC25**

**EFFECT OF BUTTERING LAYERS ON HARD FACED WELD METAL ON FC25 GREY  
CAST IRON SURFACE**

ชินราช ป๋องเจริญ<sup>1\*</sup>, สุริยา ประสมทอง<sup>2</sup>, กิตติพงษ์ กิมะพงษ์<sup>1</sup>  
*Chinnarat Pongjareon<sup>1\*</sup>, Suriya Prasomthong<sup>2</sup>, Kittipong Kimmapong<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
*Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,*

*Rajamangala University of Technology Thanyaburi.*

<sup>2</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

*Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Phanom University.*

*\*Corresponding author, E-mail: chinnarat\_p@mail.mutt.ac.th*

**บทคัดย่อ**

การเชื่อมพอกแข็งเป็นหนึ่งในวิธีการซ่อมแซมที่เพิ่มปริมาณโลหะและสมบัติทางกลของพื้นผิวชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เสียหายขณะใช้งาน ด้วยเหตุนี้การศึกษาและพัฒนาเพื่อกำหนดตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่สามารถทำให้เกิดสมบัติทางกลที่มีค่าสูงยังคงมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง บทความนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของรูปแบบการรองพื้นต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนพื้นผิวเหล็กหล่อเทา พื้นผิวเหล็กหล่อถูกทำการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะผสมฟลักซ์ด้วยตัวแปรการเชื่อมที่กำหนดที่ประกอบด้วยกระแสเชื่อมและการรองพื้น ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ สภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้ได้การสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด 0.0977% คือการเชื่อมแบบไม่รองพื้น และกระแสเชื่อม 130 A การเชื่อมแบบไม่รองพื้นให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอสูงกว่าการเชื่อมแบบรองพื้น เนื่องจากการเกิดโครงสร้างมาเทนไซต์ละเอียดและเกิดการเจือจางส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อมต่ำกว่า การเพิ่มกระแสเชื่อมในการเชื่อมพอกแข็งแบบไม่มีการรองพื้นส่งผลให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ:** การเชื่อมพอกแข็ง เหล็กหล่อเทา ความต้านทานการสึกหรอ

**Abstract**

Hard-faced welding is one of repairing methods for raising the metal amount and the mechanical property on the machine part surfaces that are failing during the application. Therefore, a study and a development for specifying an optimum welding process parameter that produces high mechanical property, are continually performed. This paper aimed to study an effect of the buttering layer type on mechanical properties and microstructure of a hard faced-weld metal on FC25 grey cast iron surface. Shielded metal arc welding (SMAW) process with specific welding parameters that were composed of a welding current and buttering layer was applied to produce a hard faced weld metal on cast iron surface.

The summarized experimental results are as follows. The optimum welding condition that produced a lowest weight loss of 0.0977% was a weld with no buttering layer and a welding current of 130 A. The weld with no buttering layer yielded the higher hardness and wear resistance than that of the weld with buttering layer due to a formation of a fine martensitic structure and a lower dilution of electrode composition. An increase of welding current for the weld with no buttering layer affected to increase hardness and wear resistance of the weld.

**Keywords:** Hard Faced Welding, Grey Cast Iron, Wear Resistance

## บทนำ

การผลิตน้ำตาลดิบหรือน้ำตาลทรายที่ได้จากน้ำอ้อยที่ผ่านการหีบอ้อยสดแล้วนำเข้าสู่กระบวนการให้ความร้อนจนใสด้วยการต้มเคี่ยวให้ตกผลึกเป็นกระบวนการผลิตน้ำตาลขั้นต้น ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีกระบวนการที่แตกต่างกัน เช่น ขั้นตอนการหีบน้ำอ้อยสดวิธีการคือน้ำอ้อยที่ผ่านกระบวนการสับให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นลำเลียงเข้าสู่ขั้นตอนการอัดบดด้วยลูกหีบซึ่งใช้แรงทางกล [1] ดังนั้นลูกหีบแต่ละลูกจึงมีการหมุนสัมผัสกันตลอดเวลาในขั้นตอนการทำงานมักเกิดการเสียดสีของลูกหีบในสภาวะต่าง ๆ ส่งผลให้ลูกหีบเกิดการสึกหรอและมีขนาดเล็กลง ในช่วงฤดูปิดการผลิตน้ำตาลจึงมีการนำลูกหีบมาทำการซ่อมบำรุงโดยการเติมเนื้อโลหะใหม่ ซึ่งกระบวนการที่สะดวกที่สุดในการเติมเนื้อวัสดุ คือ กระบวนการเชื่อมที่มีหลากหลายกระบวนการที่นิยม เช่น กระบวนการพ่นเคลือบด้วยความร้อน (Thermal spray coating) การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW) การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded metal arc welding : SMAW) ฯลฯ แต่มักพบว่าเมื่อเชื่อมในกระบวนการเชื่อมจากสมบัติทางกลของแนวเชื่อมเนื่องจากลูกหีบเป็นเหล็กหล่อ [2] ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าเหล็กหล่อ (1) มีปริมาณของคาร์บอนสูง (2) ความเหนียวต่ำมาก (3) ปริมาณฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และออกซิเจนสูง ตลอดจนจุดบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเหล็กหล่อ [3] สิ่งเหล่านี้มักส่งผลต่อแนวเชื่อมเหล็กหล่อหลังการเย็นตัว อาทิ อุณหภูมิการเย็นตัวภายใต้กระบวนการเชื่อมระหว่างเนื้อโลหะฐานบริเวณพื้นที่กระทบร้อนอัตราการเย็นตัวค่อนข้างเร็วส่งผลให้เกิดคาร์ไบด์ที่มีความแข็งระหว่างแนวเชื่อมกับพื้นที่กระทบร้อนและบริเวณพื้นที่กระทบร้อนมักเกิดเฟสมาร์เทนไซต์จากปริมาณคาร์บอนซึ่งทั้งคาร์ไบด์และมาร์เทนไซต์ที่มีความแข็งและเปราะทำให้พื้นที่สัมผัสระหว่างแนวเชื่อมกับโลหะฐานความเหนียวลดลงอย่างมากตลอดจนเกิดการแตกร้าวบริเวณพื้นที่ดังกล่าว แนวเชื่อมเกิดการขยายตัวและหดตัวอย่างรวดเร็วจากการเย็นตัวทำให้เกิดความตึงภายในแนวเชื่อมสูงนำไปสู่การแตกร้าวของแนวเชื่อม ปริมาณฟอสฟอรัส ออกซิเจน ซัลเฟอร์ในเหล็กหล่อเมื่อทำการเชื่อมมักนำไปสู่การเกิดสารประกอบทางโลหะที่มีความแข็ง ปริมาณคาร์บอน ซัลเฟอร์และโลหะต่าง ๆ ที่ผสมในเหล็กหล่อมักทำให้แนวเชื่อมเปราะและแตกร้าวหลังการเชื่อม บ่อยครั้งเหล็กหล่อมักพบจุดบกพร่องในแนวเชื่อม เช่น ทรายฝังในเนื้อเหล็กหล่อหรือการหดตัวที่ผิดปกติภายในแบบหล่อซึ่งส่งผลต่อการเชื่อมได้ และที่สำคัญเหล็กหล่อที่ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางพบว่าเป็นเหล็กหล่อเทา (Grey Cast Iron) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าเหล็กหล่อเทาอยู่ในรูปของเกล็ดกราฟไฟท์ (Graphite Flakes) แทรกขึ้นในเฟอร์ไรท์และพื้นที่หลักของเฟอร์ไรท์ซึ่งเกล็ดกราฟไฟท์ส่วนใหญ่ในเหล็กหล่อเทาจากการผลิตมักเกิดเกล็ดกราฟไฟท์แบบยาว (Long Graphite Flakes) ส่งผลให้การต้านทานการหดตัวของเหล็กหล่อจึงนำไปสู่การแตกร้าวในการเชื่อมหลังการเย็นตัว [2, 4-6]

ดังนั้นจากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าการเชื่อมเหล็กหล่อมักเกิดปัญหาที่เกิดขึ้นกับแนวเชื่อมอย่างมาก ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะทำการศึกษาผลกระทบของตัวแปรในกระบวนการเชื่อมต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อแนวเชื่อมหลังการเชื่อมเหล็กหล่อ ในการศึกษาครั้งนี้ทำการเปรียบเทียบการเชื่อมแบบเชื่อมรองพื้นก่อนการเชื่อม (Buttering) กับการเชื่อมแบบไม่เชื่อมรองพื้นก่อนการเชื่อม (Non-Buttering) เนื่องจากในอุตสาหกรรมการเชื่อมพอกผิวแข็ง

มีการใช้วิธีการเชื่อมซ่อมทั้ง 2 วิธี ที่ส่งผลต่อสมบัติทางกล โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกแข็งของแนวเชื่อมบนเหล็กหล่อ โดยมุ่งหวังว่าการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมเหล็กหล่อ ซึ่งเป็นวัสดุในการทำลูกสูบอ้อยในอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเชื่อมพอกแข็งเหล็กหล่อต่อไป

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของการเชื่อมแบบรองพื้นกับการเชื่อมแบบไม่รองพื้นต่อสมบัติทางกล และโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนพื้นผิวเหล็กหล่อเทา FC25

### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเชื่อมแบบรองพื้นกับการเชื่อมแบบไม่รองพื้นต่อโครงสร้างจุลภาค ความแข็ง และอัตราการสึกหรอชิ้นงานเหล็กหล่อที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกแข็ง มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

การทดลองทำการศึกษากับกระบวนการเชื่อมอาร์คด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในการเชื่อมจะเป็นเครื่องเชื่อมแบบรักษากระแสคงที่ เครื่องหมายการค้า Fronius-1500 Trans Pocket ต่อขั้วไฟฟ้าแบบ DCEP ลวดเชื่อมทำการอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ก่อนทำการเชื่อม เวลา 2 ชั่วโมง และให้ความร้อนกับชิ้นงานที่ 400 องศาเซลเซียส ก่อนทำการเชื่อมโดยใช้แก๊สเฉพา การตรวจสอบอุณหภูมิทำได้โดยเครื่อง Smart Sensor AR550 กระแสไฟในการเชื่อมแบ่งออกเป็นกระแสไฟในการเชื่อมรองพื้น 100 Amp. และกระแสไฟในการเชื่อมพอกแข็ง 90 110 130 A ใช้ช่างเชื่อมที่ผ่านมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติในการเชื่อมทดลอง โดยทำการเชื่อมแบบหลายแนวทำการเชื่อมชิ้นแนว 35 เปอร์เซนต์ ของแนวแรก หลังจากนั้นนำชิ้นงานเชื่อมทำการตัดชิ้นงานเตรียมทดสอบสมบัติทางกล โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกแข็งทั้งภาพที่ 1 ที่แสดงขั้นตอนการตัดชิ้นงานทดสอบ ชิ้นงานทดสอบการสูญเสียของแนวเชื่อมเตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM-G65 และชิ้นงานตรวจสอบความแข็ง โครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาคทำการตรวจสอบในชิ้นเดียวกัน

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อเทา ลวดเชื่อมรองพื้น และลวดเชื่อมพอกแข็ง

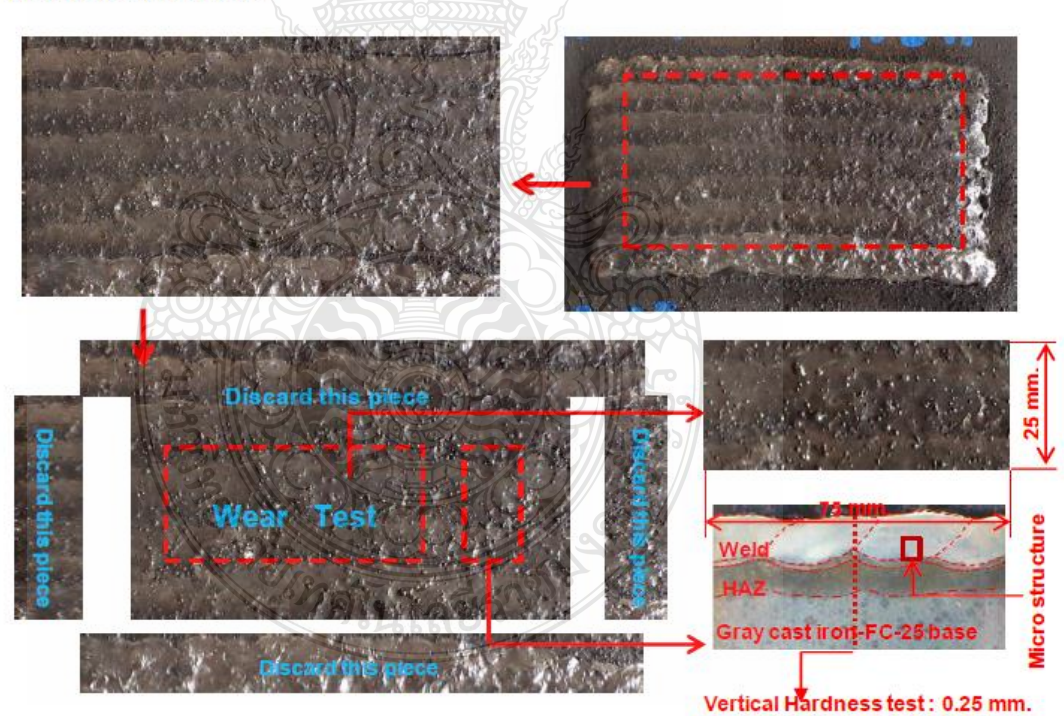
Element	C	Mn	Si	s	P	Cr	Ni	Mo	Fe
Gray Cast Iron FC-25	3.06	0.72	1.96	0.04	0.01	-	-	-	Bal.
Buttering wire	0.5	0.5	0.5	0.01	0.02	-	0.98	-	-
Hardfacing electrode	0.45	1.15	0.50	-	-	4.86	-	0.6	Bal.

การทดลองการเชื่อมพอกแข็งทำการเชื่อมบนเหล็กหล่อเทา เกรด JIS-FC25 ขนาด กว้าง 100 mm ยาว 150 mm และหนา 20 mm ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อเทาแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าส่วนผสมทางเคมีมีคาร์บอน ซิลิคอน และแมงกานีสเป็นองค์ประกอบหลัก และมีค่าคาร์บอนเทียบเท่า (Carbon equivalent:  $C_{eq}$ ) เท่ากับ 3.74 ซึ่งจัดเป็นเหล็กหล่อโปรยูเทคติก การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อเทาก่อนทำการเชื่อมดังภาพที่ 2 พบว่าประกอบด้วยเกล็ดกราไฟท์ยาวปริมาณสูง กับกราไฟท์กลมแทรกขึ้นบนพื้นหลักของเฟลไลต์

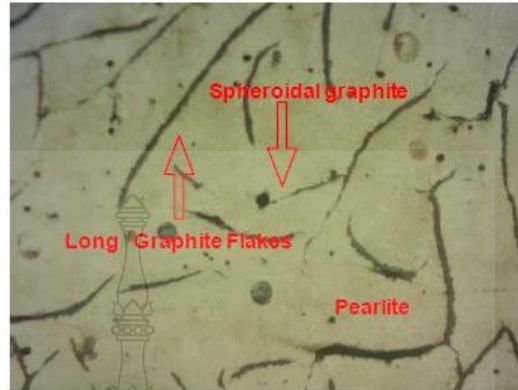


ลวดเชื่อมในการทดลองถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือชนิดที่หนึ่งเป็นลวดเชื่อมร่องพื้นซึ่งมีนิกเกิลเป็นองค์ประกอบหลัก และชนิดที่ 2 เป็นลวดเชื่อมพอกแข็งมีโครเมียมเป็นองค์ประกอบหลักดังแสดงในตารางที่ 1

การเตรียมชิ้นงานทดสอบทำการตัดด้วยเครื่องตัดหล่อเย็นจำนวน 2 ชิ้นตัวอย่าง ตัวอย่างแรกทำการตรวจสอบโครงสร้างแนวเชื่อม ทดสอบความแข็ง และทดสอบการสูญเสียของแนวเชื่อมดังภาพที่ 1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคทำการขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบถึงเบอร์ 600 หลังจากนั้นทำการกัดผิวหน้าด้วยกรดผสมที่มีอัตราส่วนผสมของ  $HNO_3$  ความเข้มข้น 68% ปริมาณ 50 ml กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 35% ปริมาณ 25 ml และน้ำกลั่นปริมาณ 25 ml เวลากัดผิวหน้า 20 s และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคทำการขัดด้วยกระดาษทรายจากเบอร์หยาบจนถึงละเอียด จากนั้นทำการขัดผิวมันแล้วทำการกัดผิวหน้าด้วยกรดชนิดเดียวกันแต่ลดเวลาในการกัดกรดผิวหน้า 10 วินาที บันทึกภาพโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) การทดสอบความแข็งของแนวเชื่อมโดยทำการกัดจากแนวเชื่อมลงสู่โลหะฐานดังภาพที่ 1 และชิ้นงานทดสอบการสึกหรอตัดชิ้นงานขนาด กว้าง 25 mm และยาว 75 mm การเตรียมชิ้นงานทดสอบแสดงดังภาพที่ 1 ขัดด้วยทรายละเอียดอัตราการไหลของทราย 300 g/min เวลาในการทดสอบ 30 min น้ำหนักทดสอบ 13 kg สำหรับการทดสอบการสึกหรอ ก่อนและหลังทำการทดสอบทำการชั่งน้ำหนักเก็บผลเพื่อเปรียบเทียบปริมาตร



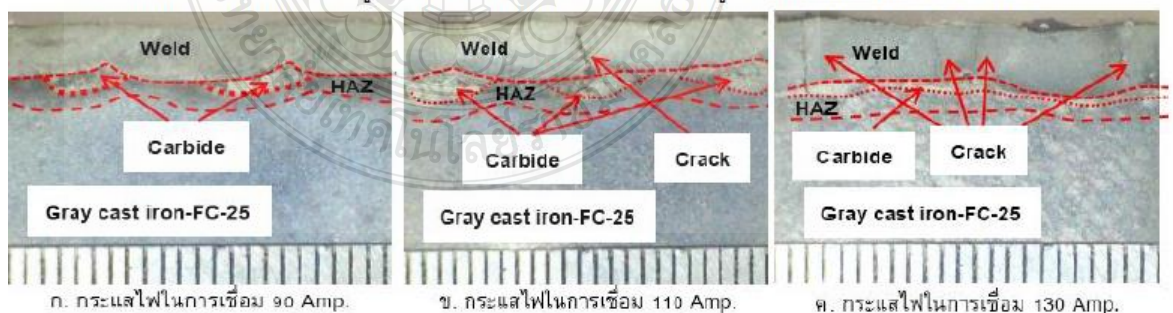
ภาพที่ 1 ลักษณะการเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล โครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาค



ภาพที่ 2 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อเทา FC-25 ก่อนทำการเชื่อม

### ผลการวิจัย

การศึกษาโครงสร้างแนวเชื่อมทำการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคเพื่อทำการเปรียบเทียบการเชื่อมแบบไม่รองพื้นกับการเชื่อมแบบรองพื้น เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างบริเวณชั้นผิวรอยต่อของแนวเชื่อม และแนวเชื่อมดังภาพที่ 3 แสดงแนวเชื่อมที่เชื่อมแบบไม่รองพื้นพบว่าโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมกระแสไฟในการเชื่อมที่ 90-110 A บริเวณพื้นที่แนวเชื่อมพบรอยแตกกว้างในแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 110 A และกระแสไฟในการเชื่อม 130 A และจากการสังเกตพบว่ากระแสไฟในการเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นปริมาณการแตกกว้างของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสาเหตุเกิดจากกระแสไฟเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อการเจือจางของแนวเชื่อมระหว่างลวดเชื่อมกับโลหะฐานซึ่งจากตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของโลหะฐานมีปริมาณคาร์บอนสูงตั้งนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณคาร์บอนในโลหะฐานเกิดการแพร่เข้าสู่แนวเชื่อมมากเกินไปจึงเป็นผลให้แนวเชื่อมมีความแข็งและเกิดการแตกกว้างเมื่อเกิดการเย็นตัว และในบริเวณแนวเชื่อมหลอมละลายระหว่างแนวเชื่อมกับโลหะฐานเกิดลักษณะคล้ายคาร์ไบด์ซึ่งจากรายงานวิจัยพบว่าบริเวณดังกล่าวมักเกิดเหล็กหล่อสีขาวที่มีความแข็งสูงอาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานระหว่างแนวเชื่อมกับโลหะฐาน สังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมสูงขึ้นแนวโน้มของคาร์ไบด์มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นดังภาพที่ 3 (ก)-(ค) ตามลำดับ



ก. กระแสไฟในการเชื่อม 90 Amp.

ข. กระแสไฟในการเชื่อม 110 Amp.

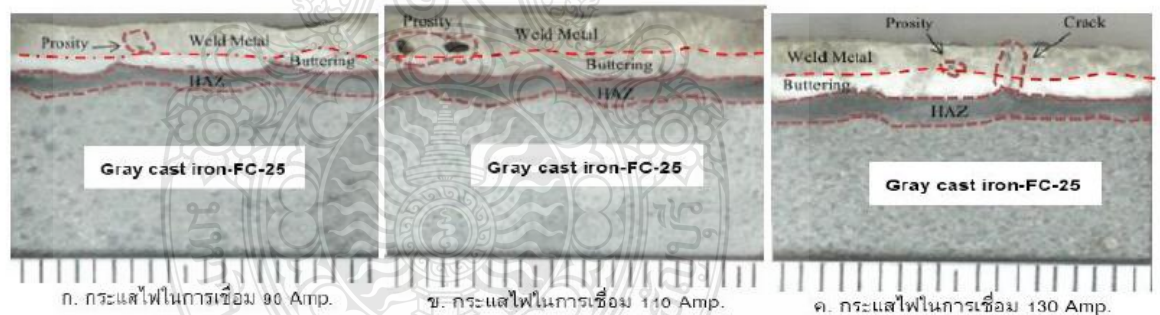
ค. กระแสไฟในการเชื่อม 130 Amp.

ภาพที่ 3 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมแบบไม่รองพื้น

ภาพที่ 4 แสดงโครงสร้างมหภาคแนวเชื่อมโดยทำการเชื่อมรองพื้นก่อนทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมรองพื้นดังแสดงในตารางที่ 1 แนวเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อมที่ 90 และ 110 A

ไม่พบรอยแตกบริเวณแนวเชื่อม แต่เมื่อเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมเป็น 130 A พบรอยแตกภายในแนวเชื่อม แต่ปริมาณต่ำกว่ากระบวนการเชื่อมแบบไม่รองพื้น และบริเวณแนวการหลอมละลายระหว่างแนวเชื่อมรองพื้นกับโลหะฐานไม่เกิดคาร์ไบด์ ดังภาพที่ 4 ก.-ค. ตามลำดับ

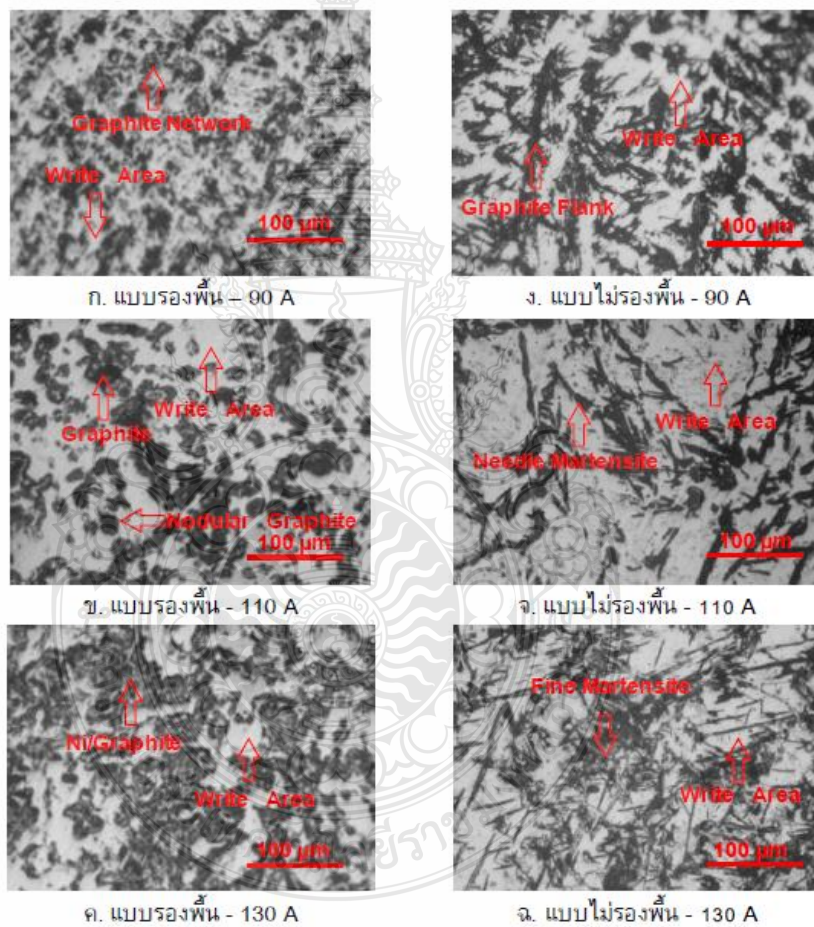
โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมด้วยการเชื่อมแบบรองพื้นก่อนการเชื่อมดังภาพที่ 5 ก.-ค. และแบบไม่รองพื้น ดังภาพที่ 5 ง.-จ. โดยใช้กระแสไฟในการเชื่อม 90-130 A พบว่าลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่มีความแตกต่างกัน การเชื่อมแบบรองพื้นด้วยกระแสไฟในการเชื่อม 90 A ดังภาพที่ 5 ก. พบโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยโครงข่ายกราไฟท์ (Graphite Network) มีขนาดเล็กละเอียดซึ่งอาจเกิดจากแนวเชื่อมเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วทำให้การแพร่ของอะตอมของคาร์บอนไม่เพียงพอส่งผลให้เกิดโครงสร้างลักษณะโครงข่ายของกราไฟท์ที่มีความแข็งและเปราะแทรกขึ้นบนพื้นหลักสีขาว อีกทั้งกระแสไฟในการเชื่อมต่ำอาจส่งผลให้การเจือจางระหว่างชั้นรองพื้นกับแนวเชื่อมลดลง ทำให้พบปริมาณของกราไฟท์สูงในแนวเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อมที่ 90 A แต่เมื่อเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมเป็น 110 A พบว่าลักษณะโครงสร้างจุลภาคคล้ายกับกระแสไฟในการเชื่อมที่ 90 A แต่มีปริมาณพื้นหลักสีขาวแทรกขึ้นปริมาณสูง อีกทั้งลักษณะของกราไฟท์มีลักษณะกลมมนขนาดใหญ่ ไม่เป็นลักษณะโครงข่ายเหมือนกับกระแสไฟในการเชื่อมที่ 90 A ทำให้ความแข็งของแนวเชื่อมลดลงดังภาพที่ 6 ข. แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแบบรองพื้นก่อนการเชื่อม และที่กระแสไฟในการเชื่อมสูงสุดของการเชื่อมแบบรองพื้นก่อน โครงสร้างโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 130 A พบปริมาณพื้นที่สีขาวแทรกขึ้นบนเฟสสีดำปริมาณสูงขึ้น ดังภาพที่ 5 (ค) ส่งผลให้ความแข็งของแนวเชื่อมลดลง เนื่องจากเฟสสีขาวเป็นส่วนผสมของลวดเชื่อมรองพื้นที่มีส่วนผสมของนิกเกิลซึ่งคุณสมบัติของลวดเชื่อมนิกเกิลมีความเหนียวสูงเมื่อเจือจางกับลวดเชื่อมพอกส่งผลให้ความแข็งของแนวเชื่อมลดลง และมีงานวิจัยหลากหลายที่พูดถึงนิกเกิลที่ป้องกันการตกผลึกของเฟสที่มีความแข็ง



ภาพที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมแบบรองพื้น

ภาพที่ 5 (ง-จ) แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเชื่อมรองพื้นก่อนการเชื่อมพบว่าโครงสร้างจุลภาคมีความแตกต่างจากกระบวนการเชื่อมแบบรองพื้นก่อนการเชื่อม ภาพที่ 5 (ง) โครงสร้างจุลภาคที่เชื่อมด้วยกระแสไฟในการเชื่อม 90 Amp. โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมประกอบด้วยเกล็ดกราไฟท์ขนาดเล็กละเอียดปริมาณสูงในแนวเชื่อมแทรกขึ้นบนพื้นหลักสีขาวแนวเชื่อมมีความแข็งสูงกว่ากระบวนการเชื่อมแบบรองพื้น เมื่อเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมเป็น 110 A ลักษณะของกราไฟท์ในแนวเชื่อมก่อตัวลักษณะคล้ายโครงสร้างมาร์เทนไซต์แบบเข็ม (Needle-Martensite) แทรกขึ้นในแนวเชื่อมส่งผลให้แนวเชื่อมมีความแข็งสูงขึ้นและนำไปสู่การแตกร้าวของแนวเชื่อมดังภาพที่ 3 (ข) และเมื่อเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมสูงขึ้นเป็น

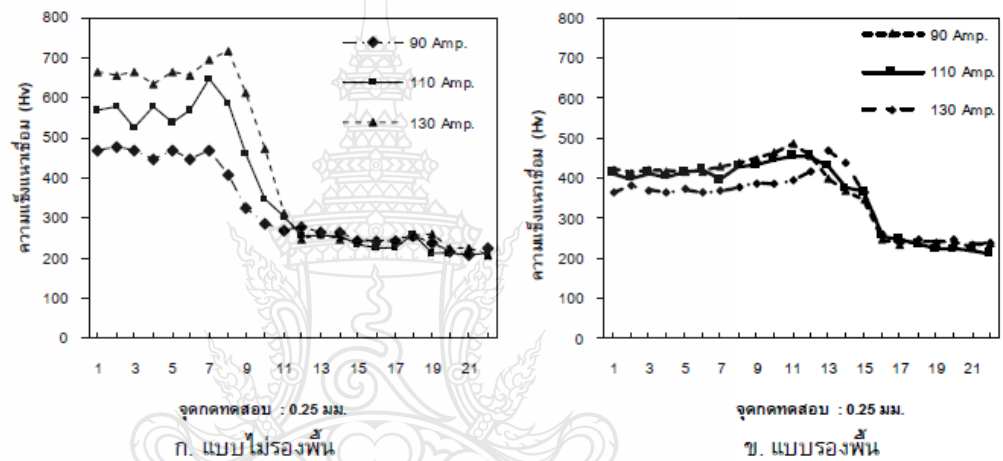
กระแสไฟในการเชื่อม 130 A แนวโน้มของความแข็งของแนวเชื่อมดังภาพที่ 6 ก. มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกระแสไฟเชื่อมอื่น เมื่อสังเกตจากโครงสร้างจุลภาคพบว่าการก่อตัวของกราไฟท์ในแนวเชื่อมคล้ายลักษณะของโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่เล็กละเอียด (Needle-Martensite) เพิ่มขึ้นปริมาณสูงแทรกบนพื้นผิวของเฟสสีขาวส่งผลให้สมบัติทางกลต้านความแข็งเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งนำไปสู่การแตกร้าวของแนวเชื่อมดังภาพที่ 3 ค. สาเหตุที่ส่งผลทำให้ความแข็งของโลหะเชื่อมมีค่าความแข็งต่ำเมื่อมีการเชื่อมรองพื้นก่อนการเชื่อมพอกแข็ง คือการเกิดการเจือจางของส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมเข้าสู่โลหะฐาน ซึ่งพบได้ทั่วไปในการเชื่อมพอกแข็งโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เหล็กหล่อ และการเคลือบผิวเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยอะลูมิเนียม [7-9]



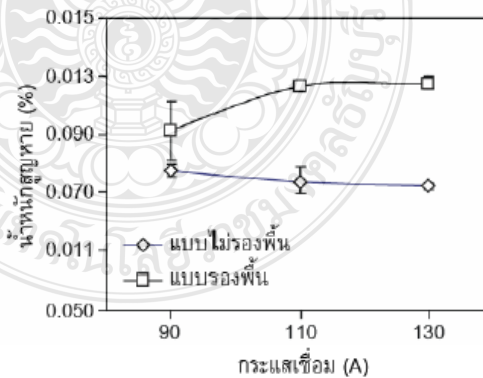
ภาพที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมแบบรองพื้นและการเชื่อมแบบไม่รองพื้น

ค่าความแข็งที่ได้ดังภาพที่ 6 บ่งชี้ให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมในผลการทดลองการทดสอบความต้านทานการสึกหรอซึ่งแสดงในรูปแบบของการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นทดสอบ (ชิ้นทดสอบที่มีการสูญเสียน้ำหนักน้อย คือชิ้นทดสอบที่มีความต้านทานการสึกหรอสูง และชิ้นทดสอบที่มีการสูญเสียน้ำหนักมาก คือชิ้นทดสอบที่มีความต้านทานการสึกหรอต่ำ) ค่าการสูญเสียน้ำหนักแปรผกผันกับค่าความ

แข็งของโลหะเชื่อม โลหะเชื่อมที่มีความแข็งสูงเนื่องจากการก่อตัวของมาเทนไซต์ที่เข้มข้นขนาดเล็กซึ่งเกิดในโลหะเชื่อมแบบรองพื้นแสดงความต้านทานการสึกหรอที่มีค่าสูงหรือมีการสูญเสียน้ำหนักน้อย ผลการทดลองดังภาพที่ 7 บ่งชี้ให้ทราบว่ากระแสเชื่อม 130 A ของโลหะเชื่อมที่ไม่มีการเชื่อมรองพื้นนั้นแสดงความต้านทานการสึกหรอสูงที่สุด ในการทดลองนี้ ขณะที่โลหะเชื่อมที่มีการรองพื้นก่อนการเชื่อมพอกแข็งที่แสดงค่าความแข็งต่ำกว่าแบบรองพื้น และมีค่าความแข็งลดลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 6 ข. นั้นส่งผลทำให้ค่าน้ำหนักสูญหายเพิ่มขึ้น และบ่งชี้ให้ทราบว่า การเชื่อมพอกแข็งนั้นไม่แนะนำให้มีการเชื่อมรองพื้นก่อนการเชื่อมพอกแข็ง เพราะทำให้ได้ค่าความต้านทานการสึกหรอต่ำกว่าการเชื่อมแบบไม่มีการรองพื้น



ภาพที่ 6 ค่าความแข็งของโลหะเชื่อมพอกแข็งที่เชื่อมแบบไม่รองพื้นและรองพื้น



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสูญหายของโลหะเชื่อม กระแสเชื่อม และการรองพื้น

### สรุปและอภิปรายผล

การเชื่อมพอกแข็งแผ่นเหล็กหล่อสีเทา FC25 ด้วยตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วยการรองพื้นและกระแสเชื่อมที่แตกต่างกัน ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้

1. สภาพการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้ได้การสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด 0.0977% คือการเชื่อมแบบไม่รองพื้น และกระแสเชื่อม 130 A
2. การเชื่อมแบบไม่รองพื้นให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอสูงกว่าการเชื่อมแบบรองพื้น เนื่องจากการเกิดโครงสร้างมาเทนไซต์ละเอียดและเกิดการเจือจางส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมต่ำกว่า
3. การเพิ่มกระแสเชื่อมในการเชื่อมพอกแข็งแบบไม่มีการรองพื้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้น
4. การเพิ่มกระแสเชื่อมในการเชื่อมพอกแข็งแบบมีการรองพื้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมลดลง และทำให้มาเทนไซต์ที่มีความโตเพิ่มขึ้น
5. การเชื่อมแบบไม่รองพื้นให้ผลดีว่าการเชื่อมแบบรองพื้นในสภาพการใช้งานที่มีความชื้นและการสึกหรอกับเหล็กหล่อสีเทาในกระบวนการหีบอัดของอุตสาหกรรมน้ำตาล

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] วังขนาย. (2560). *กระบวนการปลูกถึงผลิต-การผลิตน้ำตาลทรายดิบ*. จาก [http://www.wangkanai.co.th/produce\\_sugar.html](http://www.wangkanai.co.th/produce_sugar.html)
- [2] Buchanan, V.E., Shipway, P.H., and McCartney, D.G. (2007). Microstructure and abrasive wear behaviour of shielded metal arc welding hardfacings used in the sugarcane industry. *Wear*. 263: 99-110.
- [3] Askeland, D.R., and Phule, P.P. (2006). *The Science and Engineering of Materials*. Toronto: Thompson Canada Limited.
- [4] ปราโมทย์ พูนพยอม; ไพบุลย์ แยมเนียน; วรญา วัฒนจิตสิริ; สุรัตน์ ตรีวัฒน์พงศ์; และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. (2559). โครงสร้างจุลภาคและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมพอกแข็งบนผิวเหล็กหล่อเทา FC25. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*. 27: 35-41.
- [5] Chatterjee, S., and Pal, K. (2006). Weld procedural effect on the performance of iron based hardfacing deposits on cast iron substrate. *Journal of Materials Processing Technology*. 173: 61-69.
- [6] Chen, Z.K., Zhou, T., Zhao, R.Y., Zhang, H.F., Lu, S.C., Yang, W.S. (2015). Improved fatigue wear resistance of gray cast iron by localized laser carburizing. *Materials Science and Engineering: A*. 644: 1-9.
- [7] Hemmati, I., Ocelik, V., and De Hosson, J.T.M. (2012). Dilution effects in laser cladding of Ni-Cr-B-Si-C hardfacing alloys. *Materials Letters*. 84: 69-72.
- [8] Desale, G.R., Paul, C.P., Gandhi, B.K., and Jain, S.C. (2009) Erosion wear behavior of laser clad surfaces of low carbon austenitic steel. *Wear*. 256: 975-987.
- [9] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์; สุรัตน์ ตรีวัฒน์พงศ์; สุริยา ประสมทอง; และ วรญา วัฒนจิตสิริ. (2559). อิทธิพลของการรองพื้นและการพอกผิวแข็งต่อสมบัติทางกลของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน JIS-S50C. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชภัฏธนบุรี*. 14: 77-86.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายชินราช ป็องเจริญ
วัน เดือน ปีเกิด	16 สิงหาคม 2516
ที่อยู่	339 หมู่1 ต.หนองมะค่าโมง อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี 72180
การศึกษา	ปริญญาตรี ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม เชื่อมประกอบ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
ประสบการณ์การทำงาน	วิทยาลัยการอาชีพอุทุมพร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ตั้งแต่ พ.ศ. 2548 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	08-9612-7155
อีเมล	Chinnaratp@hotmail.com

