อิทธิพลของจำนวนชั้นการเชื่อมอาร์กลวดใส้ฟลักซ์พอกผิวแข็งต่อสมบัติของ โลหะเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C

AN INFLUENCE OF A NUMBER OF LAYERS OF THE FLUX-CORED ARC WELDING HARDFACING ON WELD PROPERTIES OF THE JIS S50C CARBON STEEL

นิรันดร์ พรมเกษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีการศึกษา 2557 ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อิทธิพลของจำนวนชั้นการเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์พอกผิวแข็งต่อสมบัติ ของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีการศึกษา 2557 ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

AN INFLUENCE OF A NUMBER OF LAYERS OF THE FLUX-CORED ARC WELDING HARDFACING ON WELD PROPERTIES OF THE JIS S50C CARBON STEEL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING PROGRAM IN MANUFACTURING ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI ACADEMIC YEAR 2014 COPYRIGHT OF RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของจำนวนชั้นการเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์พอกผิวแข็งต่อสมบัติของ โลหะเชื่อมเหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C			
	An Influence of a Number of layers of the Flux-coved Arc Welding Hardfacing			
	on Weld Properties of the JIS S50C Carbon Steel			
ชื่อ - นามสกุล	นายนิรันคร์ พรมเกษา			
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.			
ปีการศึกษา	2557			
	d d			

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, Dr-Ing.)

กรรมการ

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทร์มณี D.Eng.)

กรรมการ

(อาจารย์ชัยยะ ปราณีตพลกรัง, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิดติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

Abicher Abilition

1199901119

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.) วันที่ 19 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของจำนวนชั้นการเชื่อมอาร์กลวดใส้ฟลักซ์พอกผิวแข็งต่อสมบัติ
	ของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C
ชื่อ - นามสกุล	นายนิรันคร์ พรมเกษา
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

การเชื่อมพอกผิวแข็งเป็นวิธีการสำคัญที่สามารถเพิ่มปริมาณโลหะและปรับปรุงสมบัติของ ผิวโลหะให้ดีกว่าโลหะฐานได้ วิธีการนี้ถูกนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพในการเชื่อมซ่อมพื้นผิว ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเกษตร ซึ่งสึกหรอเนื่องจากการใช้งานเป็นเวลานาน ด้วยเหตุนี้การหาค่าตัวแปร การเชื่อมที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผิวพอกแข็งที่มีคุณภาพดี จึงมีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลจำนวนชั้นการเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์พอกผิวแข็งต่อสมบัติ ของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C

แผ่นวัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C ซึ่งมีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 150 มม. ยาว 100 มม. หนา 20 มม. วัสดุถูกนำไปทำการเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์ด้วยตัว แปรการเชื่อมประกอบด้วยกระแสเชื่อม 170-230 แอมแปร์ จำนวนชั้นพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น ชิ้นงาน เชื่อมที่ได้ถูกเตรียมด้วยวิธีทางกลและทำการศึกษาเพื่อหาก่าความแข็ง ความต้านทานการสึกหรอ และ โกรงสร้างมหภาคและ โครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อม

ผลการทคลองโดยสรุปมีดังต่อไปนี้ กระแสเชื่อมและจำนวนชั้นพอกแข็งที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำ ให้ความแข็งเพิ่มขึ้นและอัตราการสึกหรอลดลง โลหะเชื่อมพอกผิวแข็งแนวเชื่อมที่ไม่มีการเชื่อมรอง พื้นแสดงค่าความแข็งสูงกว่าและอัตราการสึกหรอต่ำกว่าโลหะเชื่อมที่มีการสร้างชั้นรองพื้น ตัวแปร การเชื่อมที่ดีที่สุด คือ กระแสเชื่อม 210 แอมแปร์ การเชื่อมไม่รองพื้น และจำนวนชั้นพอกแข็ง 3 ชั้น ที่ ให้ก่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุด 755 วิกเกอร์สสเกล น้ำหนักสูญหาย 0.02 เปอร์เซ็นต์ และก่าดูดซับ พลังงาน 7 จูล ความแข็งที่เพิ่มขึ้นและอัตราการสึกหรอที่ลดลงเกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณ โครเมียมและวาเนเดียมในชั้นพอกแข็ง

้ <mark>คำสำคัญ:</mark> เหล็กกล้าคาร์บอน การเชื่อมอาร์กลวคใส้ฟลักซ์ พอกผิวแข็ง

Thesis Title	An Influence of a Number of layers of the Flux-cored Arc Welding
	Hardfacing on Weld Properties of the JIS S50C Carbon Steel
Name – Surname	Mr.Nirun Promkesa
Program	Manufacturing Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.
AcademicYear	2014

ABSTRACT

A hard-faced welding is an important method for improving a surface's property of the parent metal. This method is successfully introduced for repairing an agricultural part surface that is deteriorated from a long service. However, theoptimization of welding process parameters has not been fully understood. This researchaimed to study an influence of alayer number of the flux-cored arc welding hardfacing on the welded properties of the JIS S50C carbon steel.

This experiment used the JIS S50C carbon steel plate which was rectangular sized of 150 mm. length, 100 mm. width and 20 mm. thickness. The sample plate was flux-cored arc welded (FCW) using the welding process parameters i.e. the welding current of 170-230 A. and a hard-faced layers of 1-3 layers. The welded specimen was mechanically prepared and investigated for the hardness, wear resistance and macro-microstructure of the weld.

The experimental results can be summarized as follows.Increasing of FCW welding current affected to increase hardness and increase wear resistance of the material. The hard-faced metal sample without the welded buffer layer showed higher hardness and higher wear resistance than the one with welded buffer layer. It was found that the optimized welding parameters were the welding current of 210 A, the welded without a buffer layer and the hard-faced layer of 3 layers. This produced a hard-surfaced of 755 HV hardness, the weight loss of 0.02% and the absorbed energy of 7 J. The increment of hardness and wear resistance was caused by increasing chromium and vanadium amounts in the welded layer.

Keywords: carbon steel, flux-cored arc welding, hardfacing

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความเมตตากรุณาเป็นอย่างสูงจาก ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ดร.ชัยยะ ปราณีตพลกรัง คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จัทร์มณี ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็น อย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบุคลากร เจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัญบุรี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และคณาจารย์ของมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ศูนย์ สุพรรณบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ความช่วยเหลือ ในค้านเครื่องมือ-อุปกรณ์ และเครื่องจักรในการ คำเนินงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ-คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาบ่มเพาะวิชาการ จน ผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน



นิรันคร์ พรมเกษา

สารบัญ

ห	เน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(12)
บทที่1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 งุดประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาคว่าจะได้รับจากการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 เหล็กกล้าคาร์บอน	6
2.2 การเชื่อมโลหะ	9
2.3 การทดสอบสมบัติทางกล	18
2.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	21
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	26
3.1 วัสคุอุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย	27
3.2 ขั้นตอนการคำเนินการทคลอง	31
3.3 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	33
3.4 การทดสอบสมบัติทางกล	36

สารบัญ(ต่อ)

ĥ	น้ำ
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	40
4.1 การเชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้น ไม่รองพื้น	40
4.2 การเชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้น รองพื้น	45
4.3 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเกมีของโลหะเชื่อม 1 ชั้นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็ก-	
ตรอนแบบส่องกราค(SEM)	50
4.4 การเชื่อมพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น	56
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและ ข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการวิจัย	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	66
รายการอ้างอิง	68
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก ลักษณะโครงสร้างมหาภาคและโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม	72
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบสมบัติทางกล	84
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	94
ประวัติผู้เขียน	111



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเกมีของเหล็กกล้ำตาม AISI และ ASME	7
ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์และส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้ำมาตรฐาน JIS G4051	8
ตารางที่ 2.3 ประเภทของโลหะเติมลวดเชื่อมมาตรฐานเยอรมัน DIN 8555	16
ตารางที่ 2.4 น้ำยากัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E304	22
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเกมีของเหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C และ สมบัติทางกล	28
ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเกมีของถวดเชื่อม	28
ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้เชื่อมพอกผิวแข็ง	29



สารบัญรูป

	P 0 I
รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบการไถนาในอดีตและปัจจุบัน	2
รูปที่ 1.2 การปักคำในอดีตและปัจจุบัน	2
รูปที่ 1.3 การเกี่ยวข้าวในอดีตและปัจจุบัน	3
รูปที่ 1.4 ลูกโรลเลอร์รถเกี่ยวและนวดข้าว	3
รูปที่ 2.1 หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ	9
รูปที่ 2.2 รูปแบบของกระบวนการเชื่อม	10
รูปที่ 2.3 การอาร์กของการเชื่อมแบบ GMAW	11
รูปที่ 2.4 กระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์ โดยใช้ถวดชนิด Sslf Shielded	12
รูปที่ 2.5 ลักษณะหน้าตัดลวคเชื่อม (ก) ลวคเชื่อมมิก/แม็ก (ข) ลวคเชื่อมไส้ฟลักซ์	12
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมกับความเร็วในการป้อนถวด	13
รูปที่ 2.7 รูปแบบของกระแสเชื่อมแบบพัลส์	13
รูปที่ 2.8 ลักษณะหัวกครูปทรงพีระมิดและรอยกด	19
รูปที่ 2.9 ลักษณะการทำงานของเครื่องทุดสอบแรงกระแทก	20
รูปที่ 2.10 ลักษณะชิ้นงานมาตรฐานการทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี้	20
รูปที่ 2.11 ลักษณะเครื่องทคสอบการสึกหรอ	21
รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	23
รูปที่ 2.13 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราค (SEM)	24
รูปที่ 3.1 แผนภาพการไหลขั้นตอนการคำเนินโครงการวิจัย	26
รูปที่ 3.2 ขนาคของชิ้นงานทคลอง (หน่วย มม.)	27
รูปที่ 3.3 ถวคเชื่อมที่ใช้ในการทคลอง(ก) ถวคเชื่อมใส้ฟลักซ์พอกผิวแข็ง (ข) ถวคเชื่อมมิกรอง	
พื้น	28
รูปที่ 3.4 ลักษณะการเชื่อมซ้อนทับแนวพอกผิวแข็ง	29
รูปที่ 3.5 เครื่องเชื่อมมิก/แม็ก	30
รูปที่ 3.6 ชุดควบคุมการเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ	30
รูปที่ 3.7 การเชื่อมพอกผิวแข็ง	31
รูปที่ 3.8 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเชื่อม	32

สารบัญรูป (ต่อ)

ห	น้ำ
รูปที่ 3.9 เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ	32
รูปที่ 3.10 ลักษณะการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบ (หน่วย มม.)	33
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค	34
รูปที่ 3.12 เครื่องขัดแบบจานหมุน	34
รูปที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์ (Micro Captuere)	34
รูปที่ 3.14 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Micro scope)	35
รูปที่ 3.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	36
รูปที่ 3.16 ลักษณะการกดความแข็ง	36
รูปที่ 3.17 เครื่องทคสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส	37
รูปที่ 3.18 เครื่องทคสอบการสึกหรอ	37
รูปที่ 3.19 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล	38
รูปที่ 3.20 ชิ้นงานเชื่อมพอกผิว 3 ชั้น	38
รูปที่ 3.21 ขนาดชิ้นทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี้ (หน่วย มม.)	39
รูปที่ 3.22 เครื่องทคสอบแรงกระแทก	39
รูปที่ 4.1 โครงสร้างมหภาคแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้น ไม่รองพื้น	40
รูปที่ 4.2 ความแข็งของชิ้นทคสอบความแข็งตามแนวคิ่งผ่านแนวเชื่อมในรูปที่ 4.1	41
รูปที่ 4.3 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมแบบไม่รองพื้น	43
รูปที่ 4.4 ขนาดช่องว่างระหว่างแขนเคนไครต์ที่กระแสเชื่อมแตกต่างกันแบบไม่รองพื้น	44
รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญหายของชิ้นงานเชื่อม ที่กระแสเชื่อมแตกต่างกันแบบไม่เชื่อมรอง	
พื้น	45
รูปที่ 4.6 โครงสร้างมหภาคแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง แบบรองพื้น	45
รูปที่ 4.7 ความแข็งของชิ้นงานทคสอบความแข็งตามแนวดิ่งผ่านแนวเชื่อมในรูปที่ 4.6	46
รูปที่ 4.8 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมแบบรองพื้น	48
รูปที่ 4.9 ขนาดช่องว่างระหว่างแขนเคนไครต์ที่กระแสเชื่อมแตกต่างกัน แบบเชื่อมรองพื้น	49

(10)

สารบัญรูป (ต่อ)

หน่	้ำ
รูปที่ 4.10 ผลการทคสอบการสึกหรอของชิ้นงานเชื่อมแบบรองพื้น	50
รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณโลหะฐานกับแนวเชื่อมพอกผิว	
แขึ่ง	51
รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง	51
รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณ โลหะฐานกับแนวเชื่อมรองพื้น	52
รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณแนวเชื่อมรองพื้นกับแนวเชื่อม	
พอกผิวแขึง	53
รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง	54
รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง	55
รูปที่ 4.17 ลักษณะทางกายภาพและ โครงสร้างมหภาคแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 210A 1-3 ชั้น	56
รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น ที่กระแสเชื่อม 210A แบบไม่รอง	
พื้น	57
รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเกมีเชิงคุณภาพบริเวณรอยต่อโลหะฐานกับแนวเชื่อม	59
รูปที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณรอยต่อแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่	
1 กับแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 2	59
รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณรอยต่อแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่	
2 กับแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 3	60
รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณด้านบนแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้น	
ที่ 3 ใกล้บริเวณทดสอบการสึกหรอ	61
รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1, 2, 3	
ที่กระแสเชื่อม 210A แบบไม่รองพื้น	62
รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งที่กระแสเชื่อม 210A แบบไม่	
รองพื้น	63
รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบผลการทคสอบการสึกหรอของชิ้นงานเชื่อมที่กระแสเชื่อม 210A	64
รูปที่ 4.26 ลักษณะพื้นผิวการพังทลายแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่กระแสเชื่อม 210A ไม่รองพื้น	65

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

้ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญและเป็นอาหารหลักของประชาชนชาวไทย ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีการผลิตข้าวเพื่อบริโภคในปริมาณสูง และสามารถส่งข้าวออกขายไปยังต่างประเทศใน ้ปริมาณสูงคิดเป็นส่วนแบ่งในตลาดโลกสูงถึงร้อยละ 30[1] ทำให้รายได้จากการส่งออกข้าวเป็นหนึ่ง รายได้หลักของประเทศ ด้วยเหตุนี้การผลิตข้าวในปริมาณที่สูงขึ้นในแต่ละปีเพื่อตอบสนองความ ้ต้องการข้าวของตลาดโลก ทำให้ชาวนาไทยคิดค้นวิธีการเพิ่มผลผลิตข้าวด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อ ้จุดประสงค์หลักในการเพิ่มรายได้ของชาวนา นอกจากนั้นเมื่อพิจารณานโยบายรัฐบาลที่กำหนด ้นโยบายในการยกระคับสินค้าเกษตร เช่น ข้าวเปลือกเจ้าและข้าวเปลือกหอมมะลิ ความชื้นไม่เกินร้อย ้ละ 15 ที่ราคาเกวียนละ 12,000 บาท และ 20,000 บาท ตามลำดับ [2] ส่งผลทำให้วิธีการทำนาเพื่อผลิต ้ข้าวเข้าสู่ตลาคของชาวนาเกิดการเปลี่ยนแปลง ยกตัวอย่างเช่น การเตรียมคินในการเพาะปลูกข้าวก่อน การปักคำนั้นในอดีตใช้ควายถากคัน ไถเพื่อเอาหน้าดินขึ้นสู่ด้านบนดังแสดงในรูปที่1.1(ก) ที่มีข้อเสีย ้คือ อัตราการไถหน้าดินต่อไร่ต่ำ เปลี่ยนมาเป็นการไถนาโดยการใช้รถไถที่มีอัตราการไถหน้าดินต่อไร่ สูงคังแสดงในรูปที่1.1(ข) หลังจากการไถหน้าคินเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนในการทำนาคือการปักคำต้น กล้าคังแสคงในรูปที่1.2 ที่ในอดีตการบักคำต้นกล้าทำได้โดยการใช้แรงงานคนในการบักต้นกล้าที่ เตรียมไว้ลงในดินที่ได้จากการไถนาดังแสดงในรูปที่1.2(ก) ซึ่งมีอัตราการปักดำต้นกล้าต่อไร่ต่ำ ้ชาวนาในหลายพื้นที่ในชนบทจึงใช้วิธีการร่วมแรงในการทำนาที่เรียกว่า "การลงแขก" ซึ่งสามารถทำ ให้อัตราการปักคำต้นกล้าต่อไร่เพิ่มขึ้นได้แต่มีข้อเสียในการรวบรวมคนให้ได้ตามต้องการ อย่างไรก็ ตามในปัจจุบันได้มีการนำเอารถปักคำต้นกล้าเข้ามาแทนที่ดังแสดงในรูปที่1.2(ข) ทำให้การปักคำ สามารถแล้วเสร็จได้ดังความต้องการ หลังจากปักคำต้นกล้าเสร็จและทิ้งระยะเวลาให้ต้นกล้าเติบโต และถึงเวลาเก็บเกี่ยวเมื่อเมล็ดข้าวสุกเป็นสีทอง ชาวนาจะทำการเกี่ยวข้าวทีละกอดังแสดงใน รูปที่ 1.3 (ก) หรืออาจมีการลงแขกเกี่ยวข้าวที่สามารถทำให้เก็บเกี่ยวข้าวได้ตามต้องการและนำข้าวไปทำการ นวดด้วยแรงงานคนต่อไป



(ข) การใช้รถไถเดินตามไถนา [4]



(ก) การใช้ควายไถนา [3] รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบการไถนาในอดีตและปัจจุบัน



(ข) การใช้เครื่องปักคำ [6]



(ก) การปักคำโดยการใช้แรงงาน [5] ร**ูปที่ 1.2** การปักคำในอดีตและปัจจุบัน

การเกี่ยวและนวดข้าวตามวิธีการดั้งเดิมนี้ใช้เวลาในการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้เมล็ดข้าวที่ ยาวนาน และสิ้นเปลืองกำลังคนสูง ในปัจจุบันจึงมีการนำเอาเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวเข้ามาใช้แทนที่ แรงงานชาวนาดังแสดงในรูปที่1.3(ข) วิธีการเก็บเกี่ยวด้วยเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวซึ่งมีส่วนประกอบ สำคัญ เริ่มต้นจากตะขอเกี่ยวต้นข้าวเข้าสู่ใบตัด ต้นข้าวถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องนวดข้าวเพื่อทำการแยก เมล็ดข้าวออกจากรวงข้าวต่อไปซึ่งใช้เวลาในกระบวนการเพียงไม่กี่นาทีสามารถทำให้ได้เมล็ด ข้าวเปลือกที่พร้อมส่งออกไปขายได้ตามต้องการ การใช้เครื่องจักรต่างๆ ดังได้กล่าวผ่านมานั้นอาจ กล่าวได้ว่าเป็นการใช้เครื่องทุ่นแรงในการผลิตข้าว และทำให้ต้นทุนการผลิตข้าวสามารถลดต่ำลงได้ ตามยุทธศาสตร์ด้านการผลิตข้าว เพื่อการเพิ่มผลผลิตและมูลก่าเพิ่ม อย่างไรก็ตามการนำเอาเครื่องจักร หรือเครื่องทุ่นแรงต่างๆ เหล่านี้มาใช้งานนั้น เครื่องจักรเหล่านี้มักเกิดการเสื่อมสภาพและมีความ จำเป็นต้องทำการบำรุงรักษาชิ้นส่วนหรือเครื่องจักรต่างๆ การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรอาจเกิดขึ้น จากหลายๆ สาเหตุ เช่น การกัดกร่อน (Corrosion) ของชิ้นส่วนโลหะที่สัมผัสกับความชื้นทำให้เกิด การทำปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีระหว่างโลหะกับความชื้นทำให้เกิดออกไซด์หรือสนิมบนพื้นผิวโลหะ และ ส่งผลทำให้เนื้อโลหะบริเวณพื้นผิวหลุดออกไป หรือการกัดเซาะ (Erosion) เนื่องจากของไหลที่ไหล ผ่านผิวชิ้นส่วนโลหะ หรือการสึกหรอ (Wear) ของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่เป็นของแข็งเกิดการเสียดสี และทำให้ผิวโลหะเกิดการหลุดลุ่ยออกไปเป็นต้น



(ก) การเกี่ยวข้าวโดยการใช้แรงงาน [7] รูปที่ 1.3 การเกี่ยวข้าวในอดีตและปัจจุบัน



(ข) การเกี่ยวข้าวด้วยเครื่องเกี่ยวและนวดข้าว [8]



รูปที่ 1.4 ลูกโรลเลอร์รถเกี่ยวและนวดข้าว

ในการลงพื้นที่เพื่อศึกษาการใช้งานเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในการทุ่นแรงในการปลูกข้าว ของเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่าเครื่องจักรกลเกษตรส่วนใหญ่เป็นเครื่องจักรที่บริษัท คนไทยผลิตขึ้น และมีเครื่องจักรกลเกษตรที่มาจากประเทศญี่ปุ่นในปริมาณน้อยเนื่องจากราคาต่อ หน่วยสูงกว่า เครื่องจักรกลเกษตรที่พบมักมีปัญหาการพังทลายและเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนเครื่องจักร เนื่องจากผู้ผลิตเลือกใช้วัสดุที่ราคาถูก ตัวอย่างของชิ้นส่วนที่มีการพังทลายสูง เช่น ลูกโรลเลอร์ของรถ เกี่ยวและนวดข้าวทำจากวัสคุ เหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C ดังแสดงในรูปที่1.4 ลูกโรลเลอร์นี้เป็นตัว ช่วยประกองตีนตะขาบของรถเกี่ยวและนวดข้าวเมื่อรถเกี่ยวและนวดข้าวเกิดการเคลื่อนที่ และเมื่อมี การเคลื่อนที่ระยะทางมากขึ้น ตีนตะขาบที่มีความแข็งมากกว่าจะเกิดการถู เสียดสี และขัดเอาเนื้อ โลหะของผิวลูกโรลเลอร์ที่มีความแข็งน้อยกว่าออกไป และทำให้ประสิทธิภาพของรถเกี่ยวและนวด ข้าวลดลง ในปัจจุบันช่างซ่อมบำรุงเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวใช้วิธีการเปลี่ยนลูกโรลเลอร์ทันทีเมื่อเกิด การสึกหรอ ปัญหาคือ ทำให้ปริมาณของลูกโรลเลอร์ที่เป็นของเสียมีปริมาณเพิ่มขึ้น หากมีการนำเอา ลูกโรลเลอร์เหล่านี้มาทำการเชื่อมซ่อมด้วยวิธีการพอกผิวแข็งจะทำให้เกิดประโยชน์ในการนำเอาลูก โรลเลอร์กลับมาใช้ไบว่าได้

การซ่อมลูกโรลเลอร์อาจสามารถทำใด้โดยการเชื่อมพอกผิวแข็งซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการเพิ่ม เนื้อโลหะบริเวณที่หลุดออดไปด้วยแรงทางกล วิธีการนี้สามารถเพิ่มสมบัติความแข็ง (Hardness) และ เพิ่มความด้านทานการสึกหรอ (Wear Resistance) ของผิวโลหะได้ การเชื่อมพอกผิวแข็งนั้นสามารถ แบ่งออกเป็นหลายวิธีการ เช่น การเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding: SMAW) การชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) การอาร์กทังสะเตนแก๊สคลุม (Gas tungsten arc welding: GTAW) การเชื่อมเปลวไฟอ๊อกซีอะเซทิลีน (Oxy-acetylene Gas Welding: OW) การเชื่อมเลเซอร์ (Laser Cladding Welding: LCW) การเชื่อมอาร์กพลาสมา (Plasma arc welding: SMAW) หรือการเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์ (Flux Cored Arc Welding: FCAW) เป็นต้น การ เลือกวิธีการเชื่อมพอกผิวแข็งควรพิจารณาความเหมาะสม และความสามารถในการนำไปใช้งานของ เกษตรกรในการเชื่อมซ่อม ทางผู้วิจัยจึงได้พิจารณาแล้วเห็นว่า การประยุกต์กระบวนการเชื่อมพอกจะ ช่วยทำให้สามารถเพิ่มความแข็งให้กับชิ้นงานได้ โดยจะใช้กรรมวิธีการเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์ใน

1.2 จุดประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์ ที่มีผลต่อสมบัติทางกลของชั้น พอกผิวแข็งเหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C 1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างโลหะวิทยาและสมบัติ ทางกลของผิวพอกแข็งการเชื่อมอาร์กลวดใส้ฟลักซ์เหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 การเชื่อมอาร์กลวดใส้ฟลักซ์ (Flux Cored Arc Welding : FCAW) ในการเชื่อม ชิ้นงานทดลอง

1.3.2 ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ตามมาตรฐาน DIN 8555 (MF-6-GF-60-GP)

1.3.3 การเชื่อมแบบรองพื้น (Buttering) ใช้ลวคเชื่อม MIG-70S และ ไม่เชื่อมรองพื้น

1.3.4 การเชื่อมพอกผิวแข็งเดินแนวบันแผ่นเหล็ก 1 ชั้น

1.3.5 กระแสไฟเชื่อม 170, 190, 210 และ 230A

1.3.6 ความเร็วเดินเชื่อม 150 mm/min

1.3.7 ศึกษาสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบความต้านทานการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G65 ทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส และทดสอบแรงกระแทก

1.3.8 ศึกษาโครงสร้างโลหะวิทยา

1.3.9 การเชื่อมพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น และทำการเปรียบเทียบหาสมบัติของชั้นเชื่อมพอกผิว แข็งเหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 ทำให้ทราบถึงตัวแปรการเชื่อมที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างมหภาคโครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็ง ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กลวคไส้ฟลักซ์

1.4.2 เพื่อเป็นการศึกษาข้อมูลและเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่ช่างซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลใน ภากอุตสาหกรรม

1.4.3 เป็นการเพิ่มมูลค่าของชิ้นส่วนอะใหล่เครื่องจักรกลที่ผ่านการใช้งานแล้วให้สามารถ นำกลับมาใช้ใหม่ได้

1.4.4 เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยคาดว่าผลการทดลองที่ได้จะเป็นหนึ่งทางเลือกใน การใช้เป็นข้อมูลพิจารณา การใช้การเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์พอกผิวแข็งในการเชื่อมซ่อมชิ้นส่วน เครื่องจักรกลเกษตร

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กกล้าคาร์บอน

เหล็กกล้าการ์บอน [9] คือ โลหะผสมระหว่างเหล็กและการ์บอน ปริมาณของการ์บอนที่เพิ่ม เข้าไปในเหล็กกล้าคาร์บอนส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มความแข็งแรงคึงและความแข็งของเหล็กกล้า ้คาร์บอน การแบ่งแยกชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนอาจสามารถแบ่งแยกได้โดยการใช้แผนภาพสมคล ้เหล็ก-เหล็กการ์ไบด์ ที่แบ่งแยกเหล็กกล้าการ์บอนออกเป็น 3 ชนิด คือ เหล็กกล้าการ์บอนต่ำ มีปริมาณ คาร์บอนต่ำกว่าร้อยละ 0.77 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิห้องประกอบค้วยเฟอไรท์ และเพิลไลท์ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 0.77 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิห้อง ประกอบด้วยเพิลไลท์ (เฟอไรท์และซีเมนไตท์) และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่า ร้อยละ 0.77 แต่ไม่เกินร้อยละ 2.00 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิห้องประกอบค้วยเพิลไลท์ และซีเมน ์ ใตท์ การแบ่งแยกชนิดของเหล็กโดยใช้แผนภาพสมคลเหล็ก-เหล็กการ์ ใบค์นั้น เป็นการแบ่งแยกโดย การยึคเอาโครงสร้างจุลภาคเป็นหลัก ซึ่งเป็นวิธีการที่ค่อนข้างลำบากสำหรับวิศวกรในการนำไปใช้ งานจริง ด้วยเหตุนี้สมาคมเหล็ก และเหล็กกล้าแห่งอเมริกา (American Iron and Steel Institute: AISI) และสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งอเมริกา (American Society of Mechanical Engineering: ASME) จึง ้ได้คิดก้นระบบในการแบ่งกลุ่มเหล็กกล้าในการนำไปใช้งานโดยการกำหนดตัวเลขขึ้นมาใช้ในการ เรียก 4 ตัว ให้ตัวเลขสองตัวแรกหมายถึงธาตุผสมหลักในเหล็กกล้านั้น ขณะที่ตัวเลขสองตัวสุดท้าย หมาย ถึงปริมาณการ์บอนในเหล็ก เช่น ตัวอย่าง เหล็กกล้า AISI 1040 คือ เหล็กกล้าการ์บอน (ตัวเลข 10) ที่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.4% (ตัวเลข 40) เหล็กกล้า SAE 10120 คือ เหล็กกล้าคาร์บอน (ตัวเลข 10) ที่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 1.2% (ตัวเลข 120) เป็นต้น ตัวอย่างของเหล็กกล้าชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1

AISI-SAE Number	% C	% Mn	% Si	% Ni	% Cr	Others
1020	0.18-0.23	0.30-0.60		*******		
1040	0.37-0.44	0.60-0.90				
1060	0.55-0.65	0.60-0.90				
1080	0.75-0.88	0.60-0.90				
1095	0.90-1.03	0.30-0.50				
1140	0.37-0.44	0.70-1.00				0.08-0.13% S
4140	0.38-0.43	0.75-1.00	0.15-0.30		0.80-1.10	0.15-0.25% Mo
4340	0.38-0.43	0.60-0.80	0.15-0.30	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.300% Mo
4620	0.17-0.22	0.45-0.65	0.15-0.30	1.65-2.00		0.20-0.30% Mo
52100	0.98-1.10	0.25-0.45	0.15-0.30		1.30-1.60	
8620	0.18-0.23	0.70-0.90	0.15-0.30	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25% Y
9260	0.56-0.64	0.75-1.00	1.80-2.20			
			- Veren			

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้ำตาม AISI และ ASME [9]

เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณคาร์บอน 0.15-0.30% ใช้สำหรับงานก่อสร้างอาคาร ทำสะพานต่างๆ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium carbon steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณการ์บอน 0.30-0.60% ใช้ในการ สร้างชิ้นส่วนเครื่องจักร รถแทรกเตอร์ อุปกรณ์ในงานเหมืองแร่ต่างๆ เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณการ์บอนมากกว่า 0.60% ใช้ใน การสปริง ล้อรถไฟ เป็นต้น

เหล็กกล้ำผสม (Alloy Steel) คือ เหล็กกล้ำที่มีธาตุผสมหลักตัวอื่นๆ เข้ามาเพิ่ม นอกเหนือจากการ์บอน เช่น ในตารางที่ 2.1 เหล็กกล้าที่ตัวเลขขึ้นต้นด้วยเลข 4 ถึง 9 มีธาตุผสมหลัก อื่นๆ เช่น ซิลิกอน นิกเกิล หรือโครเมียมเพิ่มเข้ามา เพื่อปรับปรุงสมบัติตามต้องการ ขณะที่ตัวเลขสอง ตัวสุดท้ายเป็นตัวแสดงปริมาณการ์บอนในเหล็กกล้าผสมดังแสดงในเหล็กกล้าการ์บอน

มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่นกำหนดให้เหล็กกล้าการ์บอนสำหรับโครงสร้างเครื่องจักร ซึ่ง ผลิตจากการขึ้นรูปร้อน เช่น การริดร้อน หรือการตีขึ้นรูปร้อน หลังนั้นนำไปทำการตัด การขึ้นรูป และการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน เรียกลักษณะนี้ว่าเหล็กกล้า เหล็กกล้าแบ่งกลุ่มออกเป็น 23 กลุ่มและมีสัญลักษณ์ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ส่วนผสมจากเบ้าหลอม สารมลทิน ต่างๆ เช่น Cu Ni Cr Ni+Cr สำหรับกลุ่ม S09CK S15CK S20CK มีปริมาณไม่เกิน 0.25% 0.20% 0.30% และ Cu Ni Cr และ Ni+Cr สำหรับกลุ่มอื่นๆ ไม่ควรเกิน 0.30% 0.20% 0.20% และ 0.35% เหล็กกล้า 3 กลุ่ม คือ S09SK S15K และ S20CK ใช้สำหรับจุดมุ่งหมายในการทำชุบผิวแข็งด้วย คาร์บอน (Case Hardening) เหล็กกล้าควรทำการผลิตจากแท่งอินกอทเหล็กกล้าคิล (Killed Steel Ingot) และทำการรีดหรือตีขึ้นรูปจากแท่งอินกอทที่อัตราส่วนการตีขึ้นรูปไม่น้อยกว่า 4S [10]

ຮັບຮັບແລ່	ส่วนผสมทางเคมี (% โดยน้ำหนัก)						
ឧហិយាភអ	С	Si 🛆	Mn	Р	S		
S 10C	0.08-0.13	0.15-0.35	0.30-0.60	0.030 max.	0.035 max.		
S 12C	0.10-0.15	0.15-0.35	0.30-0.60	0.030 max.	0.035 max.		
S 15C	0.13-0.18	0.15-0.35	0.30-0.60	0.030 max.	0.035 max.		
S 17C	0.15-0.20	0.15-0.35	0.30-0.60	0.030 max.	0.035 max.		
S 20C	0.18-0.23	0.15-0.35	0.30-0.60	0.030 max.	0.035 max.		
S 22C	0.20-0.25	0.15-0.35	0.30-0.60	0.030 max.	0.035 max.		
S 25C	0.22-0.28	0.15-0.35	0.30-0.60	0.030 max.	0.035 max.		
S 28C	0.25-0.31	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 30C	0.27-0.33	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 33C	0.30-0.36	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 35C	0.32-0.38	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 38C	0.35-0.41	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 40C	0.37-0.43	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 43C	0.40-0.46	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 45C	0.42-0.48	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 48C	0.45-0.51	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 50C	0.47-0.53	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 53C	0.50-0.56	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 55C	0.52-0.53	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 58C	0.55-0.61	0.15-0.35	0.60-0.90	0.030 max.	0.035 max.		
S 09C K	0.07-0.12	0.10-0.35	0.30-0.60	0.025 max.	0.025 max.		
S 15C K	0.13-0.18	0.10-0.35	0.30-0.60	0.025 max.	0.025 max.		

ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์และส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้ามาตรฐาน JIS G4051 [10]

2.2 การเชื่อมโลหะ [11]

การเชื่อมโลหะคือ การต่อชิ้นโลหะเข้าด้วยกันโดยอาศัยความร้อนในการหลอมละลาย รอยต่อระหว่างโลหะสองชิ้นให้หลอมละลายเข้าด้วยกันและเปลี่ยนเป็นโลหะชิ้นเดียวกัน โดยขณะที่ โลหะที่บริเวณรอยต่อเกิดการหลอมละลายเข้าด้วยกันนั้น อาจเติมโลหะผสมบางตัวในลักษณะที่ เรียกว่าลวดเชื่อม (Filler Metal) ลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติบางตัวในแนวเชื่อมให้ดีขึ้น ตัวอย่างการ เชื่อมโลหะแสดงในรูปที่ 2.1 ความร้อนจากแหล่งจ่ายความร้อน (Heat Source) ถูกส่งผ่านไปที่บริเวณ รอยต่อระหว่างโลหะสองแผ่น (Base Metals) ทำให้เกิดการหลอมละลายรวมกันที่บริเวณบ่อเชื่อม (Weld Pool) และเมื่อเคลื่อนที่แหล่งให้ความร้อนไปตามแนวรอยต่อทำให้เกิดแนวเชื่อมขึ้น โดย บริเวณบ่อเชื่อมหรือพื้นที่หลอมละลาย (Fusion Zone) นี้ก่อให้เกิดการแข็งตัวเป็นแนวเชื่อมที่มี โครงสร้างแตกต่างจากโลหะหลัก (Base Metal) ในการเชื่อมพื้นที่สำคัญอีกพื้นที่ที่มีความสำคัญคือ พื้นที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (Heat Affected Zone) พื้นที่นี้อยู่ถัดออกไปจากพื้นที่การหลอม ละลาย เป็นพื้นที่ไม่มีการหลอมละลาย แต่ความร้อนที่เกิดจากพื้นที่หลอมละลายทำให้โครงสร้าง บริเวณนี้เกิดการเปลี่ยนแปลง และส่งผลทำให้สมบัติของโลหะเปลี่ยนแปลงไป



ร**ูปที่ 2.1** หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ [12]

เทคโนโลยีการเชื่อมในปัจจุบันได้แบ่งการเชื่อมออกเป็น 2 กลุ่ม แสดงในรูปที่ 2.2 คือ การ เชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion Welding) และการเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid state Welding) การ เชื่อมแบบหลอมละลาย หรือบางกรั้งเรียกว่า การเชื่อมหลอมละลายแบบดั้งเดิม (Conventional Fusion Welding) ความหมายของการเชื่อมแบบหลอมละลายนี้มีลักษณะเดียวกัน การเชื่อมหลอมละลาย สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี ขณะที่การเชื่อมในสภาวะของแข็ง คือ การเชื่อมในสภาวะที่โลหะ หลักไม่เกิดการหลอมละลาย แต่อาศัยความร้อนจากแรงทางกลทำให้โลหะเกิดการเชื่อมประสานกัน



รูปที่ 2.2 รูปแบบของกระบวนการเชื่อม [11]

2.2.1 การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สกลุม (Gas metal arc welding: GMAW) [12] เป็นการ เรียกชื่อโดยรวมและจะใช้ชื่อแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของแก๊สกลุม เช่น การเชื่อมมิก (Metal inert gas arc welding: MIG) จะใช้แก๊สอาร์กอน (Ar) แก๊สฮีเลี่ยม (He) หรือแก๊สผสมระหว่างอาร์กอน และฮีเลี่ยมเป็นแก๊สกลุมขณะเชื่อม การเชื่อมแม๊ก (Metal active gas arc welding: MAG) เป็นการ พัฒนาโดยการนำเอาแก๊สการ์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สอื่นๆ มาผสมกับแก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สกลุม ขณะเชื่อมส่วนการเชื่อม CO₂ คือการใช้แก๊สการ์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สกลุมขณะเชื่อมเพียงอย่าง เดียว กรรมวิธีการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สกลุม ลวดเชื่อมจะถูกหลอมเหลวและเติมเนื้อโลหะเชื่อม เหมือนกับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ทั่วไป เพียงแต่การเชื่อมแบบ GMAW จะใช้แก๊สกลุมขณะ เชื่อมแทนการใช้ฟลักซ์ ดังนั้น จึงไม่มีสแลกปกคลุมภายหลังการเชื่อม โดยกระแสเชื่อมจากเครื่อง เชื่อมจะถูกส่งไปสู่ท่อนำลวดภายในหัวเชื่อม ผ่านไปยังลวดเชื่อมสู่ชิ้นงาน ลวดเชื่อมจะทำหน้าที่เป็น ด้วอาร์กและหลอมละลายรวมกับชิ้นงานเป็นการเติมเนื้อโลหะชุดป้อนลวดทำหน้าที่ขับดันลวดเชื่อม ใปสู่การอาร์กด้วยอัตรากวามเร็วที่สัมพันธ์กับการหลอมละลายของลวดเชื่อมด้วยชุดกวบคุมกระแส เชื่อมของเกรื่องเชื่อม กวามร้อนที่หลอมลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานจะเกิดจากการอาร์กระหว่างปลาย ลวดเชื่อมเปลือยกับชิ้นงานเชื่อม การอาร์กจะเกิดขึ้นได้เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกลุ่มอะตอมของ แก๊สที่มีประจุไฟฟ้า (Ionized gas) โมเลกุลและอะตอมของแก๊สจะแตกตัวออกทำให้มีสภาพไม่เป็น กลาง (Ionized) เพราะสูญเสียอิเล็กตรอนไปจากประจุไฟฟ้าบวก (Positive Charge) อิออนแก๊สที่เป็น บวกจะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ส่วนอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ปริมาณความร้อน ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ จะถูกส่งผ่านโดยอิเล็กตรอนและคงจะเป็นการส่งผ่านของอิออนบวก (Positive ion) ความร้อนจากการอาร์กจะหลอมลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงาน ปลายลวดเชื่อมส่วนที่ หลอมจะถูกถ่ายโอน (Transfer) ผ่านการอาร์กเข้าสู่บ่อหลอมเหลว บริเวณกระทบร้อนและลวดเชื่อม จะถูกปกคลุมให้พ้นจากบรรยากาศรอบนอกโดยแก๊สที่ไหลพุ่งออกจากหัวเชื่อม แสดงในรูปที่ 2.3 ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการอาร์กขวงกระบวนการเชื่อมนี้จะสูงกว่าการเชื่อมอาร์กแบบอื่นๆ



2.2.2 กระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดใส้ฟลักซ์ [13] (Flux cored wire arc welding: FCAW) หรือการเชื่อมแบบฟลักซ์คอร์ ปรากฏขึ้นในช่วงปี คศ.1920 ซึ่งใช้เชื่อมพอกผิวแข็งเพื่อ ป้องกันการสึกหรอ (Wear resistant hardfacing) กระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ โดยทั่วไป จะเหมือนกับกระบวนการเชื่อมมิก/แม็ก เพียงแต่ลวดเชื่อมที่ใช้จะมีฟลักซ์บรรจุอยู่ภายในแทนที่จะ เป็นลวดตัน โดยการใส่ผงฟลักซ์ที่เป็นธาตุผสม (Alloying constituents) ในแกนของลวดเชื่อมโลหะ ซึ่งฟลักซ์เหล่านี้จะเหมือนกับฟลักซ์ที่หุ้มลวดเชื่อม ในการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ จะทำ หน้าที่ป้องกันบ่อหลอมสัมผัสกับอากาศ หลักการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ โดยทั่วไปจะ เหมือนกับกระบวนการเชื่อมมิก/แม็ก แตกต่างกันที่ลวดเชื่อมเป็นลวดตัน (Solid wire) กับลวดที่มีผง ฟลักซ์บรรจุอยู่ข้างในลวด



รูปที่ 2.4 กระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์ โดยใช้ลวดเชื่อมชนิด Self Shielded [13]



รูปที่ 2.5 ลักษณะหน้าตัดลวดเชื่อม (ก) ลวดเชื่อมมิก/แม็ก (ข) ลวดเชื่อมใส้ฟลักซ์ [13]

2.2.3 กระแสเชื่อม คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องเชื่อมผลิตออกมา ซึ่งสามารถอ่านได้โดยตรงจาก แอมป์มิเตอร์ของเครื่องเชื่อมในกระบวนการเชื่อมมิก/แม็ก กระแสเชื่อมจะสัมพันธ์โดยตรงกับ กวามเร็วของการป้อนลวด (Wire feeder) ถ้าป้อนลวดเร็วขึ้นกระแสเชื่อมที่ผลิตออกมาก็จะมากขึ้น ด้วย แต่ถ้าป้อนลวดช้าลงกระแสเชื่อมก็จะลดลงเช่นกัน แสดงในรูปที่ 2.6 โดยในกระบวนการเชื่อม ดังกล่าว สามารถแบ่งชนิดของกระแสเชื่อม เป็นประเภทใหญ่ๆได้ 2 ประเภทดังนี้ ก) กระแสเชื่อมแบบมาตรฐาน (Standard arc current) กระแสเชื่อมแบบมาตรฐาน เป็นลักษณะของกระแสเชื่อม โดยทั่วไป ซึ่งกระแสในขณะเชื่อม โดยเฉลี่ยตลอดการเชื่อมจะมีค่าคงที่ สำหรับกระบวนการเชื่อมแม็ก กระแสเชื่อมจากเครื่องเชื่อมจะถูกส่งไปสู่ท่อนำลวดภายในหัวเชื่อม ผ่านไปยังลวดเชื่อมสู่ชิ้นงาน ซึ่งการกำหนดค่ากระแสในการเชื่อม ในทางปฏิบัติจะนิยมตั้งค่ากระแส เชื่อม โดยพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดที่ใช้เชื่อม หรือจากความหนาของชิ้นงานเชื่อม เป็นหลัก



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมกับความเร็วในการป้อนลวค [12]



รูปที่ 2.7 รูปแบบของกระแสเชื่อมแบบพัลส์ [12]

ข) กระแสเชื่อมแบบพัลส์ (Pulsed arc current) กระแสเชื่อมแบบพัลส์ เป็นกระแสที่ เกิดจากการเปิดปิดวงจร (Switching) ระหว่างกระแสต่ำสุดกับกระแสสูงสุด ดังนั้นในเครื่องเชื่อมตัว เดียวจึงมีต้นกำลังแยกออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่ให้กระแสต่ำสุด (Background current) และส่วนที่ ให้กระแสสูงสุด (Peak current) เพื่อให้ได้กระแสพัลส์ที่เหมาะสม การตั้งค่ากระแสในการเชื่อม จะต้องตั้งค่ากระแสสูงสุดให้สูงกว่าระดับกระแสช่วงเปลี่ยน (Threshold level) ของการถ่ายโอนแบบ ละอองและค่าของกระแสต่ำสุดต้องตั้งในช่วงการถ่ายโอนแบบหยด ในขณะอาร์กช่วงกระแสค่าสูงจะ เป็นการถ่ายโอนน้ำโลหะให้พุ่งเข้าสู่บ่อหลอมละลายโลหะถูกแรงบีบรัดแยกตัวออกจากปลายลวด เชื่อมผ่านอาร์กสู่บ่อหลอมเหลวที่วงรอบพัลส์และเกิดขึ้นซ้ำๆกันอย่างต่อเนื่อง ในช่วงประมาณ 30-300 ครั้งต่อวินาที ลงสู่บ่อหลอมละลาย ส่วนช่วงกระแสค่าต่ำจะเป็นการรักษาการอาร์กให้คงที่และ ต่อเนื่อง ลักษณะของรูปแบบของกระแสพัลส์ดังแสดงในรูปที่ 2.7

2.2.4 แก๊สคลุมในกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ขณะที่เกิดการอาร์ก อากาศที่ปก กลุมรอบๆ บริเวณการอาร์กจะถูกแทนที่ด้วยแก๊สคลุมเพื่อป้องกันไม่ให้ แก๊สไนโตรเจน (N) แก๊ส ออกซิเจน (O₂) และความชื้นในบรรยากาศเข้าไปรวมตัวกับบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อม การเชื่อม เหล็กกล้าที่มีแก๊สออกซิเจนมากเกินไป จะทำให้แก๊สออกชิเจนรวมตัวกับการ์บอนในเหล็กและจะอยู่ ในรูปของแก๊สการ์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ฝั่งอยู่ในเนื้อเหล็กทำให้เกิดเป็นรูพรุน ส่วนแก๊ส ไฮโครเจน (H₂) จากไอน้ำและน้ำมันจะแทรกอยู่ในเนื้อเหล็กเกิดเป็นรูพรุนหรือเป็นสาเหตุของการ แตกร้าวใต้แนวเชื่อม ซึ่งจากสาเหตุของการรวมตัวของแก๊สดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยใช้แก๊ส กลุม โดยแก๊สคลุมที่ใช้ในงานเชื่อมมี 2 กลุ่ม คือ

ก) กลุ่ม 1 แก๊สเฉื่อย (Inert gas) เป็นแก๊สที่ไม่เกิดปฏิกิริยารวมตัวกับสารอื่น ได้แก่ แก๊สอาร์กอน (Argon: Ar) และแก๊สฮีเลียม (Helium: He) หรือแก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สฮีเลียม แก๊ส ดังกล่าวสามารถใช้ได้เลยโดยไม่ต้องผสมกับแก๊สอื่น หรืออาจผสมกับแก๊สอื่นเพื่อให้แนวเชื่อมมี สมบัติที่ดีขึ้น

บ) กลุ่ม 2 แอคทีพแก๊ส (Active gas) ได้แก่ แก๊สการ์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide: CO₂) หรือเป็นแก๊สผสมกันระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแอกทีพแก๊สบางตัว เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊ส ในโตรเจนและแก๊สการ์บอนไดออกไซด์หรือแก๊สไฮโดรเจน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพให้แก่การเชื่อม 3 ประการ คือ การทำให้อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าแตกตัวให้อิออน (Ionization potential) เป็นการสร้างพลังงานที่จำเป็นในการดึงเอาอิเล็กตรอน (Electron) ออกจาก อะตอมของแก๊ส (Gas atom) การแตกตัวให้ของอิออน อุณหภูมิของการอาร์กจะมีผลต่อการส่งถ่าย พลังงานความร้อน (Heat energy) ไปยังบริเวณที่เกิดการอาร์กของพลังงาน (Ionization potential) ที่ สูงขึ้น ซึ่งต้องใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงในการทำให้อะตอมของแก๊สแตกตัวให้อิออนมาก ตัวอย่างกรณี แก๊สฮิเลียมซึ่งมีก่า Ionization potential 24.5 eV หมายความว่า ต้องใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24.5 โวลต์ ใน

การทำให้อะตอมของแก๊สฮีเลียมแตกตัวสูงกว่าแก๊สอาร์กอนซึ่งมีค่า Ionization Potential ที่ 15.7 eV ้ดังนั้นการใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมจะทำให้เริ่มต้นอาร์กได้ง่ายกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊ส กลุม การนำความร้อน (Thermal conductivity) สำหรับแก๊สกลุมบางชนิดมีความสามารถในการนำ ้ความร้อนที่ต่ำ เช่น แก๊สอาร์กอน จะส่งผลทำให้การอาร์กเกิดความเข้มข้นสูงเฉพาะจุดและเป็นบริเวณ ้แกบ ขณะที่แก๊สฮีเลียมมีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดีเลิศ จึงเป็นเหตุให้เปลวอาร์กที่ได้จากการใช้ แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมสามารถแผ่ขยายกว้างและในขณะเดียวกันศูนย์กลางของเปลวอาร์กจะเจาะ ้ทะลุลงไปยังส่วนล่างของรอยเชื่อม ส่งผลทำให้แนวเชื่อมที่ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมสามารถหลอม ้ลึกกว่าการใช้แก๊สอาร์กอน การทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม (Reactivity) แก๊สอาร์กอนจัดเป็นแก๊สเฉื่อย ้ดังนั้นจึงไม่มีการทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อมแต่อย่างใด แก๊สที่ทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลาย ได้แก่ แก๊สไฮโครเจน (Hydrogen) เป็นแก๊สที่ดึงเอาการ์บอนให้เกิดขึ้นให้น้อยลงและลดออกไซด์ที่จะไป รวมตัวกับบ่อหลอมละลาย แต่อย่างไรก็ตาม แก๊สไฮโครเจนถ้าใช้เป็นส่วนผสมของแก๊สกลุมในการ เชื่อมเหล็กแข็ง (Hardened Steel) จะส่งผลเสียต่องานเชื่อม เช่น เกิดการแตกร้าวใต้แนวเชื่อม (Under bead cracking) ได้ง่าย หรือแก๊สออกซิเจน (Oxygen) และแก๊สการ์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) แก๊สทั้งสองจัดอยู่ในกลุ่มของแก๊สทำปฏิกิริยา (Reactive gas) เรียกว่า Oxidizers gas จะทำปฏิกิริยากับ บ่อหลอมละลายในรูปของออกไซด์ (Oxides) หรือแก๊สไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นแก๊สที่ใช้ แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงและกระแสเชื่อมสูงจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีแต่เนื่องจากไม่ใช่เป็นแก๊ส เฉื่อย ดังนั้น ในขณะเชื่อมจะทำปฏิกิริยากับเหล็กคาร์บอน (Carbon steel)

2.2.5 ถวดเชื่อมที่ใช้สำหรับพอกผิวแข็งมาตรฐานเยอรมัน [14] มาตรฐานถวดเชื่อมเยอรมัน (DIN 8555) เป็นมาตรฐานถวดเชื่อมเติมประกอบด้วย แท่งถวด (Filler Wire) เส้นถวดอิเล็กโทรด (Filler Rods) และถวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ (Cover Electrode) ซึ่งถวดเติมทำด้วยเหล็กกล้าไม่ผสม เหล็กกล้าผสม โลหะผสมแข็งโลหะแข็ง และโลหะผสมนอกกลุ่มเหล็ก ที่ใช้สำหรับพอกผิวโลหะ การ แบ่งประเภทถวดเติม Rods และWires แบ่งประเภทตามส่วนผสมทางเคมีของถวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ และ ใส้ฟลักซ์ จะแบ่งตามสมบัติทางเคมีของเนื้อเชื่อม และสัญลักษณ์ของถวดเชื่อม ดังต่อไปนี้

1) รหัสแสดงกลุ่มของธาตุผสม แสดงในตารางที่ 2.3 ตารางที่ **2.3** ประเภทของโลหะเติมลวดเชื่อมมาตรฐานเยอรมัน DIN 8555 [14]

Alloy Group	ชนิดของโลหะเติมหรือเนื้อเชื่อม		
1	เหล็กกล้าไม่ผสมมีคาร์บอนสูงขึ้นไปจนถึง 4% หรือเหล็กกล้าผสมต่ำที่มีคาร์บอน		
	สูงจนถึง 0.4% และธาตุผสมอื่นๆรวมกันไม่เกิน 5% ได้แก่ ธาตุ Cr Mn Mo และ		
	Ni		
2	เหล็กกล้าไม่ผสมมีคาร์บอนผสมมากกว่า 0.4% หรือเหล็กกล้าผสมต่ำมีคาร์บอน		
	มากกว่า 0.4% และธาตุผสมอื่นๆรวมกันไม่เกิน 5% ได้แก่ธาตุ Cr Mn Mo และNi		
3	โลหะผสมที่มีสมบัติของเหล็กกล้าใช้งานร้อน (Hot Working)		
4	โลหะผสมที่มีสมบัติของ High Speed Steel		
5	โลหะผสมที่มีโครเมียมมากกว่า 5% และคาร์บอนผสมต่ำไม่เกิน 0.2%		
6	โลหะผสมที่มีโครเมียมมากกว่า 5.0% และมีคาร์บอนผสมสูงประมาณ 0.2-2.0%		
7	โลหะแมงกานีส (ออสเทนในต์) แมงกานีส 11-18% คาร์บอนมากกว่า 0.5% และ		
	นิกเกิลไม่เกิน 3.0%		
8	Cr-Ni-Mn (ออสเทนในต์)		
9	เหล็กกล้า Cr-Ni (มีความด้านทานต่อสนิม กรดและความร้อน)		
10	เหล็กกล้าผสมการ์บอนสูงและ โกรเมียมสูง โดยไม่ผสมการ์ไบด์		
20	โลหะผสมโคบอลหลัก ธาตุผสม Cr-W อาจเติมหรือไม่เติม Ni และ Mo		
21	โลหะผสมการ์ไบด์ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ อัดโลหะผง หล่อหรือแกนลวด		
22	โลหะผสมนิกเกิลหลัก ธาตุผสม Cr Cr-B		
23	โลหะผสมนิกเกิลหลัก ธาตุผสม Mo อาจผสมหรือไม่ผสมโครเมียม		
30	โลหะผสมทองแดงหลัก ธาตุผสมดีบุก		
31	โลหะผสมทองแคงหลัก ธาตุผสมอลูมิเนียม		
32	โลหะผสมทองแคงหลัก ธาตุผสมนิกเกิล		

2) รหัสเกี่ยวกับโลหะเติม เป็นรหัสแสดงกระบวนการเชื่อม

G = การเชื่อมแก๊ส
E = การเชื่อมอาร์กด้วยมือ
MF = Metal-Arc Welding ใช้ลวดใส้ฟลักซ์
TIG = การเชื่อม TIG
MSG = Metal Shielding Gas Welding
UP = การเชื่อมใต้ฟลักซ์

3) รหัสอักษรระบุกรรมวิธีการผลิตโลหะเติมวิธีการผลิตโลหะเติมกำหนดด้วย

สัญลักษณ์ต่อไปนี้

- GW = การรีด Go = การหล่อ GZ = การคึงลดขนาด GS = การอัดด้วยโลหะผง GF = แกนลวคมีใส้
- UM = แกนลวคมีฟลักซ์หุ้มภายนอก

สมบัติของธาตุผสมในลวดเชื่อมพอกแข็งสมบัติที่สำคัญของวัสดุที่มีอยู่ในลวดเชื่อมพอก แข็งแต่ละชนิดคือ ต้องมีความแข็ง และทนต่อการสึกหรอ ตลอดจนมีความเหนียวพอสมควร ขึ้นรูป หรือตกแต่งผิวได้ง่าย ซึ่งสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับธาตุผสมต่างๆที่เติมลงไปในวัสดุลวดเชื่อมพอกแข็ง ธาตุผสมต่างๆเหล่านี้มีผลทำให้เกิด โครงสร้างแบบต่างๆเช่น มาร์เทนไซต์ ออสเทนไนต์การ์ไบด์ โครงสร้างที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมพอกแข็งนั้น จะทำให้วัสดุบางชนิดที่หลอมรวมกับ ออสเทนไนต์จะ ช่วยเพิ่มความแข็ง เมื่อนำเหลีกเหล่านั้นไปชุบแข็ง ธาตุบางชนิดจะทำให้เกิดการ์ไบด์ซึ่งสามารถเพิ่ม ความต้านทานการสึกหรอมีดังนี้

 การ์บอน (C) ความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่อการ์บอนเพิ่ม ความเหนียวและความ ยืดหยุ่นจะลดลง ทนแรงกระแทกได้น้อยแต่ทนการสึกหรอได้ดี ตัดแต่งได้ยากขึ้น ความสามารถใน การเชื่อมน้อยลง

2) โครเมียม (Cr) ช่วยเพิ่มความแข็ง ขณะที่ความเหนียวและการทนต่อแรงกระแทก ลดลง ความสามารถในการชุบแข็งและความต้านทานการสึกหรอจะเพิ่มขึ้น 3) ทั้งสเตน (W) มีความสามารถในการทำให้แข็งดีขึ้นเล็กน้อย มีสมบัติใกล้เคียงกับ โครเมียมเมื่อใช้ปริมาณมากจะทำให้เกิดการ์ไบด์ซึ่งมีความแข็งสูง ทนต่อการกัดกร่อน และความ ด้านทานการสึกหรอได้ดี

4) นิเกิล (Ni) ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความแข็ง ทนต่อการกัดกร่อน ความต้านทาน แรงกระแทก และความสามารถในการชุบแข็ง โดยไม่ลดความเหนียว

5) โมลิบดินั่ม (Mo) ช่วยเพิ่มความสามารถและความลึกในการชุบแข็ง ความแข็งแรง ที่อุณหภูมิสูง ช่วยให้เกิดการจับตัวของการ์ไบด์อย่างแน่นหนา

6) วาเนเดียม (V) ช่วยให้มีเกรนมีความละเอียดและแน่น เพิ่มความสามารถในการชุบ แข็งและความแข็งเมื่อได้รับความร้อน

7) แมงกานีส (Mn) สมบัติกล้ายนิเกิลมีความแข็งแต่เปราะ และช่วยเพิ่มความสามารถ ในการชุบแข็ง มีความต้านทานการสึกหรอลดการเสียรูปในระหว่างการอบชุบด้วยความร้อน

8) ในโอเบียม (Nb) ทำให้ไม่เกิดสนิม และทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และทำให้ มีความแข็งแรงและทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น

9) โบรอน (B) ช่วยดึง โครเมียมรวมตัวกับการ์บอนเป็น โครเมียมการ์ไบด์

2.3 การทดสอบสมบัติทางกล

2.3.1 การทดสอบความแข็งแบบใมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers Test) [15] จะใช้หัวกดที่ทำ จากเพชรรูปทรงพีระมิคมีมุม 136 องสา ระหว่างด้านของหน้าเพชร ดังรูปที่ 2.8 แรงที่ใช้กดทั่วๆ ไปจะ นิยมเลือกใช้ระหว่าง 2-1,000 นิวตัน โดยใช้เวลาในการกด 10-15 วินาที รอยกดจะมีรูปร่างเป็นสี เหลี่ยมจัตุรัส ทั้งนี้ก็ยังขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาทดสอบ ก่ากวามแข็งจะหาได้จากอัตราส่วนของแรงที่ ใช้ในการกดต่อพื้นที่ของขนาดรอยกคมีหน่วยเป็น ตารางมิลลิเมตร (mm²) โดยหาได้จากเส้นทแยงมุม ของรอยกดหน่วยที่ใช้วัดกือ HV โดยมีเงื่อนไขในการทดสอบดังนี้

 มิวชิ้นทคสอบจะต้องเรียบปราสจากออกไซค์วัสดุชนิดอื่นๆ เช่น สารหล่อลื่น
ความหนาของชิ้นทคสอบจะต้องเพียงพอที่ไม่ให้เกิดรอยใต้ผิวชิ้นทคสอบ กำหนดให้ความหนาต่ำสุดเท่ากับ 1.5 เท่าของขนาดเส้นทแยงมุมรอยกด d
จะทคสอบที่อุณหภูมิระหว่าง 10-35 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.8 ลักษณะหัวกครูปทรงพีระมิดและรอยกุด [15]

2.3.2 การทดสอบแรงกระแทก [16] คือการวัดงานที่ใช้ในการแตกหักภายใต้การกระแทก อย่างฉับพลัน ซึ่งสามารถหาใด้จากการปล่อยลูกคุ้มที่ทราบก่าน้ำหนักแน่นอนลงบน ชิ้นทดสอบด้วย กวามสูงก่าหนึ่ง แล้วทำการกำนวณก่าการดูดซับพลังงานการกระแทก หรือความต้ำนทานการ กระแทกของวัสดุ จากผลต่างของระดับพลังงานศักย์ของลูกคุ้มก่อนและหลังการกระแทก การทดสอบ ที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่ การทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปี และแบบไอซอด (Chapy and Izod impact test) การทดสอบแบบชาร์ปี (Charpy test) ใช้ชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E23 มีขนาด กว้าง 10 มิลลิเมตร หนา10 มิลลิเมตร ยาว 55 มิลลิเมตร และมีการบากตรงกลางชิ้นงานไว้ที่ด้านหนึ่ง ซึ่งร่องบากเป็นร่องวี (V-shaped notch) เป็นแบบรูกุญแจ (Keyhole notch) หรือ เป็นแบบตัวยู (U-shaped notch) ดังรูปที่ 2.10 ร่องบากชิ้นทดสอบเป็นการเพิ่มแรงเก้นเฉพาะบริเวณ ซึ่งจะทำให้เกิดการ ดูคซับของพลังงานที่จุดเดียว และทราบบริเวณที่ชิ้นงานจะเกิดการแตกหัก ถ้าไม่มีการบากแรงเล้นจะ กระจายไปทั่วทั้งชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูปถาวรจากการดัดงอมากกว่าที่เกิดการ แตกหัก ร่องบากที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ลักษณะกือ

ก) ร่องบาก (V-Notch) ลึก 2 มิลลิเมตร รัศมีโค้งร่องก้นร่องวีเท่ากับ 0.25 มิลลิเมตร ทำร่องบากที่ด้านใดด้านหนึ่ง นิยมใช้กับชิ้นทดสอบงานเชื่อม และ โลหะเหนียวทั่วไป

ข) ร่องบากยู (U-Notch) ลึก 5 มิลลิเมตร รัศมีโค้งก้นร่องยูเท่ากับ 1 มิลลิเมตร บากที่ ด้านใดด้านหนึ่ง ใช้กับวัสดุที่เปราะ เช่นเหล็กหล่อและสำหรับงานทดสอบพลาสติก



รูปที่ 2.9 ลักษณะการทำงานของเครื่องทคสอบการกระแทก [16]



รูปที่ 2.10 ชิ้นงานมาตรฐานการทดสอบการกระแทบแบบชาร์ปี [16]

2.3.3 การทคสอบการสึกหรอแบบล้อยาง (Dry Sand Rubber Wheel: DSRW) [17] ตาม มาตรฐาน ASTM G65 เป็นการทคสอบประเภทขัคถู (Abrasive wear) หลักการทำงานคือ ชิ้นงานจะ ถูกน้ำหนักกดเข้าหาด้านข้างของล้อยางขณะที่ผงขัคมีขนาด 50-70 เมช (200-300μm) ถูกปล่อยให้ตก อย่างอิสระตามแรงโน้มถ่วงของโลกเข้าระหว่างผิวสัมผัสของชิ้นงานกับล้อยาง



2.4 การทดสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

2.4.1 การตรวจสอบโครงสร้างในระดับมหภาค (Macro-scopic examination)[18] เป็นการ ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาของตัวอย่างชิ้นงาน โดยใช้กำลังขยายต่ำกล่าวคือ เมื่อเตรียม ชิ้นงานโดยการขัดหยาบ ขัดละเอียด ขัดเงา (Polishing) และกัดกรด (Etching) แล้วสามารถตรวจสอบ ได้โดยตาเปล่า (Visual inspection) หรืออาจใช้กำลังขยายได้ไม่เกิน 10 เท่า วิธีการทำการกัดขึ้นรอย สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macroetching) ของโลหะหรือโลหะผสม ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

 เลือกตัวอย่างของโลหะให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการจะตรวจสอบ เช่นถ้ำต้องการ ตรวจสอบการชุบแข็งผิว ก็เลือกตัดเอาชิ้นส่วนที่มีผิวด้านนอกอยู่ด้วย หรือถ้ำชิ้นงานโลหะทั้งชิ้นมี ขนาดเล็ก แต่ถ้ำสามารถหยิบถือได้ง่ายก็สามารถใช้เป็นชิ้นงานตัวอย่างได้

2) เตรียมผิวให้เหมาะสมด้วยการขัดผิวให้เรียบ ปราศจากคราบไขมันและสิ่งสกปรก
3) นำชิ้นงานตัวอย่างจุ่มลงในสารละลายการกัดขึ้นรอย (Etchant) ภายใต้สภาวะที่
เหมาะสม เช่น เวลาและอุณหภูมิแล้วเช็ดทำกวามสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ และเป่าให้แห้งภายหลังจาก

การทำ Macroetching สิ่งที่สามารถสังเกตเห็นได้แก่ ลักษณะและการเรียงตัวของเกรน ความไม่ ต่อเนื่องของโครงสร้างในชิ้นงาน ความไม่สม่ำเสมอในโครงสร้าง รูพรุนในภายในชิ้นงาน เป็นต้น

2.4.2 การตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาค (Micro-scopic examination) [19] เป็นการ ตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงานโลหะโคยใช้กำลังขยายที่สูงขึ้น ซึ่งอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการ ตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาค มีอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

ก) กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหะวิทยา (Metallurgical microscope) [19] หรือ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) โดยจะมีกำลังขยายอยู่ระหว่าง 10-1,000 เท่า ที่ กำลังขยายสูงช่วยทำให้การจำแนกชนิดของเฟส (Phase) โครงสร้าง (Structure) ที่ปรากฏอยู่รวมถึง ลักษณะรูปร่าง และขนาดของเฟส หรือโครงสร้างนั้นๆ การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วย กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1) เลือกตัวอย่างชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

2) เตรียมผิวชิ้นงานโดยการขัดด้วยกระดาษทราย โดยเรียงลำดับตั้งแต่ระดับความ หยาบไปจนถึงละเอียด (เบอร์ 220, 320, 400, 600, 800, 1000 และ1200 ตามลำดับ) หลังจากนั้นจึง นำไปขัดเงา/มัน (Polishing) ด้วยผงอะลูมิน่า (Al₂O₃)

3) นำชิ้นงานที่ผ่านการขัดหยาบ ละเอียดและขัดมันแล้วไปกัดกรด หรือกัดขึ้น รอย (Etching) โดยเลือกน้ำยากัดกรด/กัดขึ้นรอย (Etching reagent) ให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถ จำแนก แยกแยะ และวิเคราะห์โครงสร้างที่มีอยู่ในชิ้นงานนั้นๆ แล้วศึกษาโครงสร้างดังกล่าวโดยการ ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

น้ำยากัดผิวชิ้นงานทดสอบ	ส่วนผสม	โลหะที่ตรวจสอบ	การใช้งาน
กรดในตริกและไฮโครคลอริก (Nitric acid and Hydrochloric)	กรคในตริก (HNO ₃) 3 มิลลิลิตร, ไฮโครคลอริก (HCI) 10 มิลลิลิตร และ เมทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร	เหล็กกล้ำการ์บอน	จุ่มชิ้น ตรวจสอบนาน 10-30 วินาที

ตารางที่ 2.4 น้ำยากัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E304 [20]





ข) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning electron microscope (SEM) เป็นกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโน เมตร การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดบาง เท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการ ตรวจสอบ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูก นำมาใช้ในการศึกษาสัญฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวกำน นอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ หลักการทำงาน ประกอบด้วยแหล่งกำเนิด อิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ใด้จาก แหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอน ใหญ่หรือเล็กใด้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีกวามคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบน ผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษาหลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ
(Secondary Electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณ ทางอิเล็กทรอนิกส์ และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจาก หน้าจอโทรทัศน์ได้เลย



รูปที่ 2.13 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM [21]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 Chatterjee and Pal ทำการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์พอกผิวแข็งเหล็กหล่อสีเทา ASTM เกรด 2500 การทดลองทำการเปลี่ยนแปลงชนิดของลวดเชื่อมรองพื้น 3 ชนิด และใช้ลวดเชื่อม พอกผิวแข็ง 5 ชนิด ผลการทดลองพบว่า การอุ่นงาน จำนวนชั้นของการเชื่อม และอัตราส่วน Cr/C ใน ลวดเชื่อมพอกผิว ส่งผลต่อความยาวของการแตกร้าวที่พื้นผิวต่อพื้นที่ และความแข็งแรงการเกาะยึด ของชั้นรองผิวและผิวชิ้นงาน หรือผิวชิ้นงานและชั้นพอกผิวแข็ง ความแข็งแรงการเกาะยึดที่มีความ แข็งแรงสูงสุด คือ การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมพอกผิวแข็งที่มีนิกเกิลสูงและไม่มีชั้นรองผิว [22]

2.5.2 Jeshvaghani et al. ศึกษาอิทธิพลของการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โดยใช้ลวด เชื่อมพอกผิวแข็งที่มีส่วนผสมหลัก คือ นิกเกิล เชื่อมบนผิวเหล็กหล่อเหนียวโดยการทำการเชื่อมแนว เดียว (Single pass) และสองแนว (2 pass) ผลของการจำนวนแนวเชื่อมที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาค ความแข็ง และ โครงสร้างจุลภาคของผิวพอกแข็งถูกทำการศึกษา ผลการทคลองพบว่าโครงสร้าง จุลภาคประกอบไปด้วยออสเทเนติค (Fe,C), เฟสแกมม่า (Fe, Ni) และคาร์ไบด์ส่วนเล็กๆ (Cr₇C₃) ความแข็งของผิวพอกแข็งมีค่าสูงกว่าเหล็กหล่อเหนียว โดยค่าความแข็งแนวเดียวและสองแนวมีค่า 500 และ 450HV ตามลำดับ [23]

2.5.3 Selvi et al. ทำการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยวิธีการเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์บนวงแหวน เหล็กกล้าการ์บอนต่ำ A216-WCB ด้วยลวดเชื่อม E410,E430 และ Modified E340 ที่ผ่านการอบที่ 200 °C เวลา 2 ชั่วโมง การเชื่อมเป็นการเชื่อมซ้ำแนว 3 ชั้น และ ไม่มีการส่ายแนวเชื่อม ชิ้นงานเชื่อมที่ได้ ถูกนำไปทำการทดสอบการสึกกร่อน ทดสอบความแข็ง และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค พบว่าความ แข็งของแนวเชื่อมมีก่าลดลงเมื่อระยะการตรวจสอบห่างออกจากผิวพอกแข็ง ปริมาณการ์บอนในลวด เชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการสึกกร่อนเพิ่มขึ้น และลวดเชื่อม Modified E340 ให้การสึกกร่อนน้อย ที่สุด ปริมาณโครเมียมที่เพิ่มขึ้นทำให้เม็ดเกรนมีขนาดละเอียดเพิ่มขึ้น มีความเป็นเกรนคอลัมนา เพิ่มขึ้น และลดปริมาณและขนาดของเกรนหยาบลง [24]

2.5.4 Liu et al. ทำการศึกษาการพอกผิวแข็งเหล็กกล้าด้วยการเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์โดย การเชื่อมทับแนวรวม 4 ชั้น ด้วยตัวแปรการเชื่อมต่างๆ ที่กำหนด ชิ้นงานเชื่อมที่ได้ถูกนำไปทำการ ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ความแข็ง และอัตราการสึกกร่อน ผลการทดลองพบว่า เมื่อโบรอน เพิ่มขึ้นจาก 0-1.4 wt% ในโลหะพอกผิวแข็ง Fe-15Cr-2.5Ti-2C-x(0-1.4) B wt% ส่งผลทำให้เส้นผ่าน ศูนย์กลางของการ์ไบด์เพิ่มจาก 9-20 ไมโครเมตร และสัดส่วนของปริมาตรการ์ไบด์เพิ่มขึ้นจาก 14.10-36.00% ความแข็งของผิวเคลือบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อโบรอนเพิ่มขึ้นสู่ 0.99 wt% และลดลง เล็กน้อยเมื่อปริมาฉโบรอนเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งสูงของผิวพอกแข็งสูงที่เกิดจากการเติมโบรอนลงใน โลหะพอกผิวแข็งทำให้อัตราการสึกกร่อนของผิวพอกแข็งมีก่าต่ำ [25]

2.5.5 Buchely et al. ทำการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์พอกผิวแข็งเหล็กกล้ำ ASTM A36 แบบไม่มีชั้นรองผิว จำนวน 3 ชั้น ด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ 3 ชนิด และทำการตรวจสอบสมบัติของ รอยเชื่อม คือ การทดสอบความแข็ง การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และการทดสอบความต้านทาน การสึกกร่อนตาม ASTM G65 ผลการทดลองพบว่า ลวดเชื่อมที่มีทั้งสะเตนปริมาณสูงแสดงความ ต้านทานการสึกกร่อนสูงสุดที่การเชื่อมเพียง 1 ชั้น เนื่องจากการรวมตัวที่ดีและการเกิดเฟส M_oC ที่ แข็งในพื้นหลักโครงสร้างยูเตกติก เฟส M_oC₃ คือเฟสที่เป็นตัวยับยั้งการเกิดการสึกกร่อน [26]

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน สามารถเชื่อมได้ด้วยการเชื่อมอาร์กแบบลักษณะต่างๆซึ่งสามารถเพิ่มความแข็งให้กับชิ้นงานได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับตัวแปรการเชื่อม และส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ เช่น ลวดเชื่อม โดยผู้วิจัยเลือกใช้ กระบวนการเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์ในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยโครงการศึกษาอิทธิพลของจำนวนชั้นพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C ต่อสมบัติของแนวเชื่อมอาร์กลวดใส้ฟลักซ์ ลักษณะการเชื่อมพอกผิวแข็งจะทำการเชื่อมรองพื้น และ ไม่มีการเชื่อมรองพื้นก่อนทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมพอกผิวแข็ง จากนั้นนำชิ้นงานเชื่อมไป ทดสอบสมบัติทางกล และตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา การวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนในการ ดำเนินการดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนการใหลงั้นตอนการคำเนินโครงการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือในการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของจำนวนชั้นการเชื่อมอาร์กลวดใส้ฟลักซ์พอกผิวแข็งต่อ สมบัติของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C จำเป็นที่จะต้องเลือกวัสดุที่ใช้ทำการเชื่อมพอกผิว แข็งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ เหล็กกล้าการ์บอนตามมาตรฐาน JIS S50C ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วน ลูกโรลเลอร์รถเกี่ยวและนวดข้าว หากผลที่ได้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ ก็จะทำให้ผลการวิจัยใน ครั้งนี้เกิดประโยชน์ต่อช่างซ่อมบำรุงลูกโรลเลอร์ในภากอุตสาหกรรมต่อไป

3.1.1 วัสคุที่ใช้ทคลองเชื่อม

 1) เหล็กกล้าคาร์บอนตามมาตรฐาน JIS S50C ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมิได้จากการ วิเคราะห์ธาตุ ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาองก์ประกอบธาตุ (Elemental Analysis Spectrometer) แสดงดัง ตารางที่ 3.1 โดยชิ้นงานทดลองมีขนาด 100×150×20 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานชิ้นงานเชื่อม JIS Z3114
[27] และทำการเตรียมชิ้นงานด้วยการเจียระในราบผิวหน้าของชิ้นงานทดลอง ก่อนทำการเชื่อมพอก ผิวแข็ง



รูปที่ 3.2 ขนาดของชิ้นงานทคลอง (หน่วย มม.)

2) ถวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับพอกผิวแข็ง (Flux Cored Wier) ใช้ถวดเชื่อมตาม มาตรฐาน DIN 8555 : MF 6-GF-60GP มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 มิถลิเมตร แสดงคังรูปที่ 3.3(ก) สวดเชื่อม MIG สำหรับกรรมวิธีการเชื่อมรองพื้นการเชื่อมอาร์ โลหะแก๊สกลุม (GMAW)
ใช้สวดเชื่อมตามมาตรฐาน JIS Z3312:YM-70S เป็นสวดตัน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร
ใช้เชื่อมรองพื้นก่อนทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง แสดงดังรูปที่ 3.3(ข)





(ก) ถวดเชื่อมไส้ฟลักซ์พอกผิวแข็ง
รูปที่ 3.3 ถวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง

(ข) ลวคเชื่อมมิกรองพื้น

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C และสมบัติทางกล

เหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C (wt%)								
С	Si	Mn	Р	S	Cr	Mo	V	
0.52	0.26	0.78	0.03	0.01	0.19	0.01	0.006	
		3	สมบั	ติทางกล	SITS.			
Condition		Density		Impact strength		Hardness,		
		(kg/m ³)		(J/m)		(HV)		
Hot rolled		7,700-7,800		12		248		
			หตุก	51500				

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม

Material	С	Si	Mn	Р	S	Cr	Мо	V
MF-6-GF-60-GP	0.51	0.687	1.825	0.012	0.002	7.017	0.369	0.321
YAWATA-	0.06 -	0.80 -	1.40-	<0.025	<0.025	-	-	-
YM-708	0.15	1.15	1.85	<0.035				

3.1.2 การออกแบบการเชื่อมพอกผิวแข็ง การเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนตาม มาตรฐาน JIS เกรด S50C ทำการเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมแบบมิก (YAWATA YM-70S) เชื่อมรองพื้น (Buttering) ดังรูปที่3.4(ข) และการเชื่อมพอกผิวแข็งแบบกระบวนการอาร์กลวดใส้ฟลักซ์แบบไม่รอง พื้น ดังรูปที่3.4(ก)โดยกำหนดพื้นที่การเชื่อมกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาว 100 มิลลิเมตร ตาม มาตรฐาน JIS Z3114 จากนั้นทำการเชื่อมอาร์กลวดใส้ฟลักซ์พอกผิวแข็งจำนวน 3ชั้น ระยะห่าง ระหว่างแนวเชื่อมเฉลี่ย 10 มิลลิเมตร และอุณหภูมิระหว่างเที่ยวเชื่อม (Interpass temperature) ไม่ค่ำ กว่า150 ℃



รูปที่ 3.4 ลักษณะการเชื่อมซ้อนทับแนวพอกผิวแข็ง ตารางที่ 3.3 ก่าพารามิเตอร์ที่ใช้เชื่อมพอกผิวแข็ง

กระบวนการ เชื่อน	จำนวนชั้นเชื่อม (Layer)	กระแสเชื่อม (A)	ความเร็วเดิน แนวเชื่อม	Interpass temperature
8.00.01			(mm/min)	(°C)
FCAW	1-3	170-230	150	>150

3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อม

 เครื่องเชื่อมที่ใช้เชื่อมแบบระบบอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Fronius รุ่น Transpuls Synergic 2700 Alu-Edition ซึ่งควบคุมตัวแปรการเชื่อมด้วยไมโครโปรเซอร์ และซอฟแวร์ของเครื่อง เชื่อม สามารถปรับตัวแปรในการเชื่อมได้โดยตรงจากหน้าจอของเครื่อง ในการทดลองนี้จะเลือกใช้ การเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์แบบอัตโนมัติในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง



รูปที่ 3.5 เครื่องเชื่อมมิก/แม็ก

 2) ชุดอุปกรณ์ควบคุมการเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยการประยุกต์อุปกรณ์จับยึด ขึ้นงานเชื่อมเข้ากับชุดอุปกรณ์เกรื่องตัดแก๊สกึ่งอัตโนมัติ GCJ-200-II ความเร็วของเครื่องตัดสามารถ ปรับได้ตั้งแต่ 50-900 มิลลิเมตรต่อนาที ถูกขับเคลื่อนไปตามรางของเครื่องด้วยความเร็วคงที่ ส่วนชุด หัวเชื่อมถูกยึดติดกับโต๊ะงาน ซึ่งสามารถกำหนดมุมและระยะอาร์กให้คงที่ได้



รูปที่ 3.6 ชุดควบคุมการเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.2.1 การเชื่อมชิ้นงานทดลองนำชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน S50C ที่ผ่านกระบวนการ เจียระ ในผิวหน้าแล้ว นำมาประกอบกับอุปกรณ์จับยึด ดังแสดงในรูปที่ 3.6 แล้วทำการเชื่อมรองพื้น 1 ชั้น โดยกำหนดกระแส ไฟในการเชื่อมรองพื้นที่ 180A ใช้ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน JIS Z3312 : YM-70S [28] เป็นลวดตันเชื่อมรองพื้น ใช้แก๊สการ์บอนใดออกไซด์ (CO₂) ปกคลุมแนวเชื่อม และเชื่อม พอกผิวแข็งโดยใช้ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน DIN 8555 : MF 6-GF-60-GP เชื่อมพอกผิวแข็งจำนวน 1-3 ชั้น ที่กระแส ไฟเชื่อม 170-230 แอมแปร์ จากนั้นนำชิ้นงานทดลองเหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C ที่ผ่าน กระบวนการเจียระ ในผิวหน้าแล้ว มาทำการเชื่อมแบบ ไม่มีการเชื่อมรองพื้น จำนวน 1-3ชั้น ที่ กระแส ไฟเชื่อม 170-230 แอมแปร์ แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การเชื่อมพอกผิวแข็ง

3.2.2 การตรวจสอบทางกายภาพของแนวเชื่อม นำชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมมาทำการ ตรวจสอบทางกายภาพเบื้องต้นด้วยตาเปล่า (Visual inspection) สังเกตข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นกับ แนวเชื่อม เช่น การเกิดรูพรุนหรือตามด (Porosity) การเกิดเม็ด โลหะ (Spatter) รอยกัดขอบ (Undercut) หรือรอยร้าว (Cracks) และการกระจายตัวของเม็ด โลหะ ตลอดจนความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมแต่ละ ชั้น แต่ละแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็ง

3.2.3 ขั้นตอนการตัดชิ้นงานทดสอบ นำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมดังรูปที่ 3.8 มาทำการตัดแบ่ง เพื่อตรวจสอบ โครงสร้างทาง โลหะวิทยา ทดสอบสมบัติทางกล ด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน (Cuting Machine) ดังรูปที่ 3.9 โดยนำชิ้นงานเชื่อมมาทำการตัดส่วนด้านหัว และด้านท้ายแนวเชื่อมออก 30 มิลลิเมตร และตัดชิ้นงานทดสอบ โครงสร้างมหภาคและ โครงสร้างจุลภาค ขนาด 15 มิลลิเมตร โดย ชิ้นงานทดสอบความแข็งจะใช้ชิ้นงานเดียวกันกับ โครงสร้างมหภาคและ โครงสร้างจุลภาค และ ชิ้นงานทดสอบความแข็งจะใช้ชิ้นงานเดียวกันกับ โครงสร้างมหภาคและ โครงสร้างจุลภาค และ ชิ้นงานทดสอบการมแข็งแรงกระแทก (Impact test) มีขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร ขณะที่ชิ้นงาน ทดสอบอัตราการสึกหรอ (Wear resistance) จะตัดให้มีขนาด 25 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 เครื่องตัดชิ้นงานทคสอบ



รูปที่ 3.10 ลักษณะการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบ (หน่วย มม.)

3.3 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

3.3.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของ แนวเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C ที่ผ่านการเชื่อมพอกผิวแข็งแล้ว นำมาทำการตัดด้วยเครื่องตัด ชิ้นงานทดสอบ และนำส่วนที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ดังรูปที่ 3.11 มาทำการขัดด้วย กระดาษทรายน้ำตั้งแต่เบอร์ 220-1,200 และขัดละเอียดด้วยผงอะลูมิน่า (Alumina Oxide) 1-3µm บน เครื่องขัดแบบจานหมุนดังรูปที่ 3.12 และล้างด้วยน้ำเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เมื่อเสร็จ ขั้นตอนดังกล่าวแล้วทำการกัดกรด (Etching) ด้วยสารละลายกรดไฮโครคลอริก (HCL) 20ml ผสมกับ กรดในตริก (HNO₃) 60ml ตามมาตรฐาน ASTM E407 [29] ใช้เวลาในการคกัดกรด 5-60 วินาที จากนั้นล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลมร้อนและนำชิ้นงานมาส่องดู โครงสร้างมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Micro Capture) ดังรูปที่ 3.13 เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ ตลอดจนข้อบกพร่องของเนื้อเชื่อม



รูปที่ 3.11 ชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค



ร**ูปที่ 3.12** เครื่องขัดแบบจานหมุน



รูปที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์ (Micro Capture)

3.3.2 การตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคของชั้นแนวเชื่อม

 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาครอยเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Micro Scope) ยี่ห้อ LEICA รุ่น SDM 2500M มีกำลังขยาย 50-500 เท่าดังแสดงในรูปที่ 3.14 นำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคมาทำการขัดด้วย กระดาษทรายน้ำตั้งแต่เบอร์ 600-1,200 และขัดละเอียดด้วยผงอะลูมิน่า (Alumina Oxide) 1-3 ใมโครเมตร แล้วล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เมื่อเสร็จขั้นตอนดังกล่าวแล้วทำ การกัดกรด (Etching) ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCL) 20ml ผสมกับกรดในตริก (HNO₃) 60ml ตามมาตรฐาน ASTM E407 ใช้เวลาในการดงุ่มแช่นาน 10 วินาที จากนั้นล้างด้วยน้ำและเช็ดทำ กวามสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลมร้อน และนำชิ้นงานมาตรวจสอบดูโครงสร้างจุลภาค บริเวณตำแหน่งต่างๆของแนวเชื่อม ทำการบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป



รูปที่ 3.14 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Micro Scope)

2) ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) นำชิ้นงานตัว แปรการเชื่อมที่มีสมบัติทางกลดีที่สุด มาทำการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ดังรูปที่ 3.15 เพื่อศึกษาลักษณะ โครงสร้างจุลภาค บริเวณตำแหน่งต่างๆ ของแนวเชื่อม และตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยการวิเคราะห์การกระจาย พลังงาน (Energy Dispersive Spectrometer : EDS) ที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม



รูปที่ 3.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.4 การทดสอบสมบัติทางกล

3.4.1 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test) นำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างทาง โลหะวิทยามาทำการทดสอบความแข็งโดยทำการกดทดสอบตามแนวตั้งของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง โดยใช้แรงในการกด 300 gf เวลาในการกดแช่ 10 วินาที เริ่มต้นกดทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม พอกผิวแข็งชั้นที่ 3 ลงมาถึงบริเวณโลหะฐาน (Base metal) ระยะห่างระหว่างจุดทดสอบ 0.5 มิลลิเมตร ทำการทดสอบชิ้นงานเชื่อมแบบรองพื้น และชิ้นงานเชื่อมแบบไม่รองพื้น แสดงดังรูปที่ 3.16 โดยวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E92-82 [30] แบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers)



ร**ูปที่ 3.16** ลักษณะการกดทดสอบความแข็ง



รูปที่ 3.17 เครื่องทคสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers)

3.4.2 การทดสอบการสึกหรอ (Wear Resistance) การทดสอบการสึกหรอแบบขัดสีโดยใช้ ทรายแห้งและ ล้อยางเป็นตัวสัมผัสกับชิ้นงานที่ทดสอบ และทำการเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์มวลที่ สูญเสียไป โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM G65-94 [32] ทำการทดสอบการสึกหรอแบบ ขัดสีบริเวณเนื้อเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ความเร็วรอบของล้อขัด 200 รอบต่อนาที อัตราการไหลของทราย 300-400 กรัมต่อนาที ขนาดของทราย 100-350 μm โดยใช้เวลาในการขัดสี 30 นาทีต่อชิ้น น้ำหนักที่ใช้กดชิ้นงาน 2 กิโลกรัม



รูปที่ 3.18 เครื่องทดสอบการสึกหรอ Dry San Rubber Wheel : DSRW



รูปที่ 3.19 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

3.3.3 การทดสอบความแข็งแรงกระแทกของรอยเชื่อม หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเชื่อม พอกผิวแข็งตามตัวแปรที่กำหนด นำชิ้นงานเชื่อม 3 ชั้น มาทำการตัดตามขวางทิศทางตั้งฉากกับแนว เชื่อม แล้วนำมาปาดผิวเตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงกระแทก ชิ้นงานทดสอบทำการบากร่อง แบบ V-shaped notch ลึก 2 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM E23 [31] แสดงดังรูปที่ 3.21 และทดสอบ ความแข็งแรงกระแทกด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact Testing Machine) โดยใช้ความเร็วใน การเคลื่อนที่ (Speed) 5.2 เมตรต่อวินาที และน้ำหนักที่ใช้ในการกระแทก (Load Impact) 300 J แสดง ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.20 ชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็ง 3 ชั้น



รูปที่ 3.21 ขนาดชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี้ (หน่วย มม.)



บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ผลทคลองการศึกษา อิทธิพลจำนวนชั้นการเชื่อมอาร์กลวคใส้ฟลั๊กพอกผิวแข็งต่อสมบัติ ของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C โคยมีค่าตัวแปรที่ใช้ในการทคลองคังนี้ กระแสเชื่อม 170, 190, 210 และ 230A กำหนดความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 มิลลิเมตรต่อนาที มีการเชื่อมพอกผิว แข็งแบบไม่รองพื้น และแบบรองพื้น ทำการเชื่อมพอกผิวแข็งจำนวนใช้้นเพื่อเปรียบเทียบหาข้อ แตกต่างลักษณะโครงสร้างมหภาค ผลทคสอบความแข็ง โครงสร้างจุลภาค และผลทคสอบความ ด้านทานการสึกหรอที่ส่งผลต่อสมบัติของแนวเชื่อม เพื่อที่จะนำตัวแปรการเชื่อมที่ดีที่สุดไปเชื่อม พอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น ซึ่งผลการทคลองมีคังนี้



4.1 การเชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้น แบบไม่รองพื้น

รูปที่ 4.1 โครงสร้างมหภาคแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้นไม่รองพื้น

รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่เดินแนวบนเหล็กกล้า คาร์บอน JIS S50C จำนวน 1 ชั้นแบบไม่เชื่อมรองพื้น โดยใช้กระแสเชื่อม 170, 190, 210 และ 230A ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค พบว่าการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมที่แตกต่างกันส่งผลทำให้ได้ โครงสร้างมหภาคที่แตกต่างกัน กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้ความกว้างของแนวเชื่อม บริเวณพื้นที่ กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และระยะการซึมลึกลดลงแสดงใน ภากผนวก ก ลักษณะของแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่อง เช่นฟองอากาศ (Porosity) หรือ สารมลทินฝังใน (Slang inclusion) แนวเชื่อม เพราะก่อนทำการเชื่อมผู้วิจัยได้เจียระในผิวของชิ้นงาน ก่อนเชื่อม



รูปที่ 4.2 ความแข็งของชิ้นทคสอบความแข็งกคตามแนวดิ่งผ่านแนวเชื่อมในรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบความแข็ง โดยกดผ่านโครงสร้างมหภากดังแสดงในรูปที่ 3.16 จากด้านบนลงมาด้านล่างของชิ้นงาน ที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 170, 190, 210 และ 230A พบว่า โลหะฐานเหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C มีก่าความแข็งเฉลี่ย 250HV ก่าความแข็งก่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อ ตำแหน่งการทดสอบเข้าใกล้เส้นการหลอมละลาย (Fusion line) ก่าความแข็งที่เกิดการเปลี่ยนแปลง เริ่มจากก่าความแข็งของโลหะฐานเฉลี่ย 250HV และเพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ยประมาณ 380HV ความแข็งที่ เปลี่ยนแปลงตำแหน่งนี้กาดว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภากเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นใน บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ลักษณะของเกรนมีความละเอียดกว่าพื้นที่ บริเวณ โลหะฐาน [24] สามารถทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ได้ และบริเวณเนื้อเชื่อมพอกผิวแข็งมีค่า ความแข็งสูงสุด เมื่อเทียบกับพื้นที่กระทบร้อนและ โลหะฐาน โดยกระแสเชื่อมที่ให้ก่าความแข็งสูงสุด ตรงบริเวณเนื้อเชื่อม คือกระแสเชื่อม 210A มีก่าความแข็งเฉลี่ย 750HV เพราะเกิดจากส่วนผสมทาง เกมีที่มีผลต่อความแข็งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่วนผสมทางเกมีของลวดเชื่อมพอกผิวแข็งมีก่าสูงกว่าส่วนผสม ทางเกมีของ โลหะชิ้นงาน หรืออาจเกิดจากความร้อนในการเชื่อมส่งผลต่ออัตราการเย็นตัวในเนื้อเชื่อม สอดกล้องกับงานวิจัยของ G.Magudeeswaran et al [33] ที่ได้กล่าวไว้ว่าความร้อนในการเชื่อมและ อัตราการเย็นตัวจะมีผลกระทบต่อสัณฐานวิทยา (Morphology) ได้แก่ ขนาด รูปร่าง และการกระจาย ตัวของเพิร์ลไลต์ และเฟอร์ไรต์ จะมีขนาดเกรนละเอียดเมื่อพลังงานในการเชื่อมเพิ่มและอัตราการเย็น ด้วลดลง

รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่าง โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170A แบบไม่รองพื้น ตรวจสอบบริเวณ โลหะฐาน (Base metal) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อ เชื่อมกับบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Interface Weld - HAZ) บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม (Weld center) บริเวณด้านข้างแนวเชื่อม (Weld inside) และบริเวณใกล้พื้นที่ด้านบนที่ทำการทดสอบการสึกหรอ (Weld top) ดังรูปที่ 4.3(ก) พบว่ารูปที่ 4.3(ง)โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะฐาน (Base metal) เหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C พบโครงสร้างจุลภาคเฟอร์ไรท์แสดงด้วยสัญลักษณ์ F และเพิร์ลไลต์ แสดงด้วยสัญลักษณ์ P มีลักษณะเกรนที่หยาบ ส่วนรูปที่ 4.3(ค) เป็นบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone : HAZ) ขณะที่ทำการเชื่อม เป็นบริเวณที่อยู่ถัดจากแนวเส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย (Fusion line) เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในช่วงที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดวิกฤติ แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิ หลอมละลายโดยมีลักษณะของการจัดเรียงผลึกขึ้นใหม่ (Refining grain) [34] จากอิทธิพลของความ ร้อนเมื่อรอยเชื่อมเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้องจะปรากฎโครงสร้างเกรน มีลักษณะเกรน ที่ละเอียดกว่าบริเวณโลหะฐาน [24] รูปที่ 4.3(ง) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเนื้อเชื่อมกับ โลหะชิ้นงาน พบว่าบริเวณเนื้อเชื่อมชั้นพอกผิวแข็ง (Hardfacing layer) เม็คเกรนมีลักษณะเรียวยาวมี ทิศทางเข้าสู่พื้นที่หลอมเหลว รูปที่ 4.3(จ) กับรูปที่4.3 (ฉ) แสดงโครงสร้างบริเวณกึ่งกลางของเนื้อ เชื่อม และ โครงสร้างบริเวณด้านข้างของเนื้อเชื่อม พบว่า โครงสร้างจุลภาคแบบเคน ใครต์ มีลักษณะ คล้ายกิ่งของต้นไม้ [35] ลักษณะเรียงตัวขนานกันกระจายตัวสม่ำเสมอในโครงสร้าง และรูปที่ 4.3(ช) แสดง โครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อมบริเวณพื้นที่ด้านบนใกล้ตำแหน่งทดสอบความต้านทานการสึก หรอ พบว่าลักษณะ โครงสร้างจุลภาคแบบเดน ใครต์แบบละเอียดลักษณะ โครงสร้างแบบนี้จะส่งผลให้ ้เกิดความแข็งแรงสูง เมื่อเทียบกับ โครงสร้างบริเวณกึ่งกลาง และ โครงสร้างบริเวณด้านข้างของเนื้อ เชื่อมพอกผิวแข็ง [11]



รูปที่ 4.3 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมแบบไม่รองพื้น

รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบขนาดช่องว่างระหว่างแขนเดน ใดรต์ (Secondary dendrite arm spacing) ที่ทำการวัดขนาดโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่ด้านบนใกล้ตำแหน่งทดสอบการสึก หรอของชั้นเชื่อมพอกผิวแข็ง (Weld top Hardfacing) แสดงในรูปที่ 4.3(ช) ที่กระแสเชื่อมแตกต่างกัน แบบ ไม่รองพื้น พบว่ากระแสเชื่อม 170, 190, 210 และ 230 A ขนาดช่องว่างแขนเดน ใดรต์มีก่าเฉลี่ย 17.895, 16.640, 14.984 และ 15.709 µm ตามลำดับ ซึ่งกระแสเชื่อม 210 A ให้ก่าช่องว่างระหว่างแขน เดน ใดรต์ต่ำสุด สอดกล้องกับผลการทดสอบการสึกหรอ (Wear Test) ที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การสึกหรอ ต่ำสุดที่ 0.0357 เปอร์เซ็นต์ สอดกล้องที่มีการรายงานว่าเมื่อช่องว่างระหว่างแขนเดน ใดรต์ลดลง จะทำ ให้ก่าความแข็งแรงและก่าความสามารถในการยืดตัวสูงขึ้น [11] ขณะที่กระแสเชื่อม 170 A มีขนาด ช่องว่างระหว่างแขนเดน ใดรต์มีก่าเฉลี่ยสูงสุด



รูปที่ 4.4 ขนาดช่องว่างระหว่างแขนเดน ใดรต์ ที่กระแสเชื่อมแตกต่างกันแบบ ไม่เชื่อมรองพื้น

รูปที่ 4.5 แสดงผลการการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานเชื่อมแบบไม่เชื่อมรองพื้น ด้วย กระแสเชื่อมที่แตกต่างกัน โดยทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญหายไป พบว่า ที่กระแสเชื่อม 170, 190, 210 และ 230 A มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญหายที่ 0.0590, 0.0581, 0.0357 และ 0.0579 ตามลำดับ ซึ่งกระแสเชื่อมที่ 210A มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญหายน้อยที่สุด สอดคล้องกับการวัด ก่ากวามแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมที่ให้ก่ากวามแข็งเฉลี่ยสูงสุดที่ 750 HV ขณะที่กระแสเชื่อม 170 A มี เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญหายมากที่สุด



รูปที่ 4.5 น้ำหนักสูญหายของชิ้นงานเชื่อมที่กระแสเชื่อมแตกต่างกัน แบบไม่เชื่อมรองพื้น

4.2 การเชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้น แบบรองพื้น



รูปที่ 4.6 โครงสร้างมหภาคแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้นแบบรองพื้น

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่เชื่อมเดินแนวบนแผ่น เหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C จำนวน 1 ชั้นแบบเชื่อมรองพื้น โดยใช้กระแสเชื่อม 170, 190, 210 และ 230 A ผลการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาค พบว่าการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมที่แตกต่างกันส่งผลทำให้ ได้ โครงสร้างมหภาคที่แตกต่างกัน กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อม และ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) มีค่าเพิ่มขึ้น ความนูนแนวเชื่อมสูงกว่าเมื่อ เปรียบเทียบกับแบบ ไม่รองพื้น แสดงในภาคผนวก ก แนวเชื่อมรองพื้นและแนวเชื่อมพอกผิวแข็งไม่ พบจุดบกพร่อง มีการแบ่งเขตชัดเจนระหว่างแนวเชื่อม โดยแนวเชื่อมรองพื้นมีลักษณะเป็นสีเทา ส่วน บริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งมีลักษณะเป็นสีขาว



รูปที่ 4.7 ความแข็งของชิ้นงานทดสอบความแข็งกดตามแนวดิ่งผ่านแนวเชื่อมในรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบความแข็งโดยกดผ่านโครงสร้างมหภากดังแสดงในรูปที่ 3.16 จากด้านบนลงมาด้านล่างของชิ้นงานเชื่อม ที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 170, 190, 210 และ 230 A แบบ รองพื้นพบว่าโลหะฐาน มีค่าความแข็งเฉลี่ย 250 HV ค่าความแข็งก่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อตำแหน่งการ ทดสอบเข้าใกล้เส้นการหลอมละลาย (Fusion line) ก่าความแข็งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเริ่มจากก่าความ แข็งของโลหะฐานเฉลี่ย 250 HV และเพิ่มสูงขึ้นถึงเฉลี่ย 285 HV ความแข็งที่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งนี้ กาดว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภากเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ลักษณะของเกรนในพื้นที่นี้มีความละเอียดกว่าพื้นที่บริเวณโลหะฐาน สามารถทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นได้ และค่าความแข็งมีแนวโน้มลดต่ำลงบริเวณเนื้อเชื่อมชั้นรองพื้น ใกล้เคียงกับโลหะฐานเฉลี่ยที่ 253 HV และค่าความแข็งได้เพิ่มสูงขั้นทันใคเมื่อถึงชั้นแนวเชื่อมพอก ผิวแข็ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Winarto and Priadi (2013) [34] ได้รายงานไว้ว่าความแข็งของแนว เชื่อมที่แตกต่างกันนั้น เกิดจากส่วนผสมทางเคมี ที่มีผลต่อความแข็งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่วนผสมทางเคมี ของลวดเชื่อมพอกผิวแข็งมีค่าสูงกว่าส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมรองพื้น และเมื่อเปรียบเทียบค่า ความแข็งกับกระแสเชื่อมที่แตกต่างกันพบว่า กระแสเชื่อมที่ 210 A ให้ค่าความแข็งตรงบริเวณเนื้อ เชื่อมพอกผิวแข็งแบบรองพื้นสูงกว่ากระแสเชื่อมอื่นๆเฉลี่ยที่ 723 HV

รูปที่ 4.8 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 210A แบบเชื่อมรองพื้น ตรวจสอบบริเวณ ตำแหน่งพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นที่กระทบร้อนกับ บริเวณชั้นเชื่อมรองพื้น (Interface HAZ -Buttering Layer) บริเวณชั้นเชื่อมรองพื้น (Buttering layer) บริเวณรอยต่อระหว่างแนวเชื่อมรองพื้นกับแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง (Interface Buttering-Hardfacing) ้บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง (Weld center hardfacing) และบริเวณใกล้พื้นที่ค้านบนที่ทำการ ทดสอบการสึกหรอ (Weld top hardfacing) ดังรูปที่ 4.8(ก) พบว่าโครงสร้างจุลภาคของโลหะฐาน เหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C จะมีลักษณะเหมือนกับโครงสร้างจุลภาคการเชื่อมพอกผิวแบบไม่รอง พื้น คังรูปที่ 4.3(ข) ส่วนรูปที่ 4.8(ข) เป็นโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่กระทบร้อน(HAZ)พบว่าเม็ค เกรนมีขนาดเล็กสม่ำเสมอ(สีขาว)กระจายตัวอย่างเป็นระเบียบในโครงสร้างพื้นหลัก(สีดำ)ของโลหะ ชิ้นงาน รูปที่ 4.8(ค) เป็น โครงสร้างจุลภาครอยต่อระหว่างบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) กับบริเวณ เนื้อเชื่อมรองพื้น (Buttering layer) พบว่าเม็ดเกรนมีความละเอียดกว่าบริเวณพื้นที่กระทบร้อน และมี เส้นการแบ่งเขตแนวเชื่อม (Weld Fusion zone) เห็นชัดเจน รูปที่ 4.8(ง) เป็นโครงสร้างจุลภาคบริเวณ เนื้อเชื่อมรองพื้น ลักษณะเม็ดเกรนมีขนาดเล็กเรียวสีขาว กระจายตัวอยู่ใน โครงสร้างพื้นที่เป็นสีดำใน ปริมาณที่มากกว่าบริเวณพื้นที่กระทบร้อน ส่วนรูปที่ 4.8(จ) เป็นโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อ ระหว่างชั้นเชื่อมรองพื้นกับชั้นเชื่อมพอกผิวแข็ง (Hardfacing layer)โดยลักษณะโครงสร้างจุลภาค บริเวณชั้นพอกผิวแข็งมีลักษณะเป็นพื้นที่สีขาวกระจายอยู่ในโครงสร้าง และรูปที่ 4.8(ฉ) เป็นลักษณะ ้โครงสร้างจุลภาคบริเวณกึ่งกลางเนื้อเชื่อมพอกผิวแข็งมีลักษณะเป็นเคนไครต์ รูปที่ 4.8(ช) เป็น ้โครงสร้างจุลภาคบริเวณใกล้ผิวด้านบนสุดของแนวเชื่อม พบว่าเม็ดเกรนมีความละเอียดและมีขนาด ้เล็กมีความกลมมนกว่าบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม การเรียงตัวของเม็ดเกรนเป็นระเบียบ และมีขนาดเล็ก ้อัครวมตัวกันแน่นลักษณะของโครงสร้างบริเวณนี้จะส่งผลให้เกิดความแข็งแรงสูง



รูปที่ 4.8 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมแบบรองพื้น

รูปที่ 4.13 แสดงผลการเปรียบเทียบขนาดช่องว่างระหว่างแขนเดนไดรต์ (Secondary Dendrite Arm Spacing) ที่ทำการวัดขนาดโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่ด้านบนใกล้ตำแหน่งทดสอบ การสึกหรอของชั้นเชื่อมพอกผิวแข็ง (Weld Top Hardfacing) ที่กระแสเชื่อมแตกต่างกันแบบรองพื้น พบว่ากระแสเชื่อม 210 A ขนาดช่องว่างแขนเดนไดรต์มีก่าเฉลี่ยต่ำสุดที่ 15.398 μm เมื่อเทียบกับ กระแสเชื่อมอื่นๆซึ่งสอดกล้องกับผลการทดสอบการสึกหรอ (Wear test) ที่ให้ก่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนัก สูญหายต่ำสุดที่ 0.0398 เปอร์เซ็นต์ สอดกล้องกับที่มีการรายงานว่าขนาดช่องว่างระหว่างแขนเดน ไดรต์ลดลง จะทำให้ก่ากวามแข็งแรงและก่ากวามสามารถในการยืดตัวสูงขึ้น [11]



รูปที่ 4.9 ขนาคช่องว่างระหว่างแขนเคนไครต์ที่กระแสเชื่อมแตกต่างกัน แบบเชื่อมรองพื้น

รูปที่ 4.10 ผลการการทคสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G65 [31] ของชิ้นงานเชื่อม แบบรองพื้น ด้วยกระแสเชื่อมที่แตกต่างกัน โดยการทคสอบและทำการเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักสูญหาย เมื่อทำการทคสอบพบว่าที่กระแสเชื่อม 170, 190, 210 และ 230 A มีเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักสูญหายที่ 0.0410, 0.0562, 0.0398 และ 0.0496 เปอร์เซ็นต์ ตามลำคับ และเมื่อเปรียบเทียบ กระแสเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่ากระแสเชื่อม 210 A ให้ก่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญหายน้อยที่สุด ซึ่ง สอดคล้องกับการวัดก่ากวามแข็งแนวเชื่อมที่พบว่า แนวเชื่อมพอกผิวแข็งของกระแสเชื่อม 210 A มีก่า กวามแข็งสูงสุดเฉลี่ยที่ 723HV เมื่อเทียบกับกระแสเชื่อมอื่นๆ



4.3 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อมจำนวน 1 ชั้น ด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

4.3.1 กระแสเชื่อม 210 A แบบไม่รองพื้น ซึ่งกระแสเชื่อมดังกล่าวให้ก่าการสึกหรอต่ำสุด และก่ากวามแข็งสูงสุด รูปที่ 4.11 แสดงโครงสร้างจุลภากและส่วนผสมทางเกมีเชิงกุณภาพ (Qualitative) ของแนวเชื่อมวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) บริเวณ รอยต่อระหว่างโลหะฐานกับแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่กระแสเชื่อม 210 A แบบไม่รองพื้น 1 ชั้น พบว่า โครงสร้างจุลภากมีการแบ่งเฟสอย่างชัดเจนโดยบริเวณแนวเชื่อมจะมีเฟสพื้นที่สีดำทึบแสดงด้วย ดำแหน่งหมายเลข 1 ส่วนบริเวณโลหะฐานจะมีเฟสเป็นสีขาว แสดงด้วยดำแหน่งหมายเลข 1 และทำ การตรวจสอบส่วนผสมทางเกมีของเฟสดังกล่าวด้วยการวิเคราะห์การกระจายพลัง (Energy dispersive spectrometer: EDS) วิเกราะห์แบบเชิงคุณภาพ (Qualitative) พบว่ารูปที่ 4.11(ข), (ค) บริเวณโลหะฐาน กับบริเวณแนวเชื่อม มีธาตุหลักจำนวน 7 ธาตุคือ การ์บอน (C) ซิลิกอน (Si) วาเนเดียม (V) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) และ โมลิบดินัม (Mo) และเมื่อเปรียบเทียบส่วนผสมทางเกมีเชิง ปริมาณ พบว่าธาตุโครเมียม (Cr) บริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งสูงกว่าบริเวณโลหะฐาน ซึ่งธาตุเหล่านี้ ส่งผลให้กวามแข็งสูง จึงทำให้บริเวณแนวเชื่อมมีความแข็งสูงกว่าโลหะฐาน



รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณ โลหะฐานกับแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง



รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง

รูปที่ 4.12 แสดงโครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพของแนวเชื่อม วิเคราะห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) บริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่กระแสเชื่อม 210 A แบบไม่รองพื้น พบว่ามีเฟสที่มีลักษณะแตกต่างกันคือ เฟสที่มีลักษณะสีดำทึบมีขนาดใหญ่ ตำแหน่งหมายเลข 1 และเฟสที่มีลักษณะสีขาวเรียวยาวจับตัวเป็นกลุ่ม ตำแหน่งหมายเลข 2 เมื่อ วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพ พบว่ารูปที่ 4.12(ข) เฟสสีดำทึบมีปริมาณธาตุโครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) และโมลิบดินัม (Mo) สูงกว่าตำแหน่งหมายเลข 2 เฟสสีขาวรูปที่ 4.12(ค) ซึ่งธาตุ เหล่านี้มีอิทธิพลในการเพิ่มความแข็งให้กับแนวเชื่อม [35]

4.3.2 กระแสเชื่อม 210 A แบบรองพื้น ซึ่งให้ค่าทคสอบสมบัติทางกลดีที่สุด



รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณ โลหะฐานกับแนวเชื่อมรองพื้น

รูปที่ 4.13 แสดงโครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพของโลหะฐานกับแนว เชื่อมรองพื้น วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของกระแสเชื่อม 210 A แบบรองพื้น 1 ชั้น ผลการวิเคราะห์พบว่า รูปที่ 4.13(ก) มีการแบ่งพื้นที่อย่างชัดเจนโดยตำแน่ง 1 เป็น บริเวณแนวเชื่อมรองพื้นมีลักษณะเป็นพื้นที่สีดำทึบ ส่วนตำแหน่ง 2 โลหะฐาน มีลักษณะเป็นเกรน ละเอียดสีขาว ทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีทั้งสองตำแหน่ง ด้วยการวิเคราะห์การกระจายพลัง (EDS) แบบเชิงคุณภาพ (Qualitative) รูปที่ 4.13(ข) พบว่ามีธาตุในบริเวณแนวเชื่อมรองพื้นจำนวน 4 ธาตุหลัก คือคาร์บอน (C) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) และซิลิคอน (Si) และรูปที่4.13(ค) บริเวณ โลหะ ฐานพบมีธาตุหลักเหมือนกับ โลหะฐาน และพบธาตุโครเมียม ซึ่งเป็นผลมาจากส่วนผสมทางเคมีของ โลหะฐานที่มีธาตุโครเมียม (Cr) เป็นส่วนผสมอยู่



ร**ูปที่ 4.14** ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณแนวเชื่อมรองพื้นกับแนวเชื่อมพอกผิว แข็ง

รูปที่ 4.14 การวิเคราะห์การกระจายพลัง (EDS) แบบเชิงคุณภาพ (Qualitative) บริเวณ รอยต่อแนวเชื่อมรองพื้นกับแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง พบว่ามีธาตุในบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งมี จำนวน 5 ธาตุหลัก คือ คาร์บอน (C) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) และซิลิคอน (Si) และ บริเวณแนวเชื่อมรองพื้นพบชนิคและจำนวนธาตุ เหมือนกับแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง และเมื่อ เปรียบเทียบปริมาณของธาตุในในแนวเชื่อมพบว่าแนวเชื่อมพอกผิวแข็งตำแหน่ง 1 มีปริมาณธาตุ การ์บอน (C) 1.65% โครเมียม (Cr) 3.29% และธาตุแมงกานีส (Mn) 1.38% ซึ่งสูงกว่าบริเวณแนวเชื่อม รองพื้นที่มีปริมาณธาตุการ์บอน (C) 1.30% โครเมียม (Cr) 0.19% และธาตุแมงกานีส 1.06% ซึ่งการ เชื่อมแบบไม่รองพื้นปริมาณธาตุการ์บอน โครเมียม และแมงกานีส ในโลหะฐานมีปริมาณที่มากกว่า ลวคเชื่อมรองพื้น เมื่อขณะทำการเชื่อมธาตุการ์บอน โกรเมียม และแมงกานีสจะเกิดการเกลื่อนที่จาก บริเวณโลหะฐานเข้าสู่บริเวณโลหะเชื่อมได้มากกว่า ซึ่งธาตุเหล่านี้เมื่อมีปริมาณเพิ่มขึ้นมีอิทธิพลสูง ในการเพิ่มกวามแข็งให้กับเนื้อเชื่อม [35]

รูปที่ 4.15 การวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพ บริเวณกลุ่มเฟสที่มีลักษณะแตกต่างกัน บริเวณแนว เชื่อมพอกผิวแข็ง พบว่ามีเฟสอยู่ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเฟสที่มีลักษณะพื้นที่สีดำทึบตำแหน่งหมายเลข 1 และกลุ่มเฟสที่มีลักษณะสีขาวเรียวยาวจับตัวเป็นกลุ่มตำแหน่งหมายเลข 2 พบว่า พบธาตุหลักอยู่ จำนวน 6 ธาตุ คือ การ์บอน (C) ซิลิคอน (Si) วาเนเดียม (V) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) และ โมลิบดินัม (Mo) ซึ่งปริมาณของธาตุตำแหน่ง 1 มีแนวโน้มของปริมาณธาตุสูงกว่าตำแหน่ง 2



รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง

4.3.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณธาตุ บริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งแบบไม่ รองพื้นและแบบรองพื้น รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่ กระแสเชื่อม 210 A แบบไม่รองพื้นและแบบรองพื้น ในตำแหน่งที่2 ของรูปที่ 4.12(ก) กับ รูปที่4.15 (ก) ผลการวิเคราะห์พบว่า พบธาตุหลักอยู่จำนวน 6 ธาตุ คือ คาร์บอน (C) ซิลิคอน (Si) วาเนเดียม (V) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) และ โมลิบดินัม (Mo) ซึ่งปริมาณของธาตุโครเมียม และ ธาตุโม

ลิบดินัมของการเชื่อมแบบไม่รองพื้น มีแนวโน้มของปริมาณธาตุสูงกว่าการเชื่อมแบบรองพื้น สอดกล้องกับงานวิจัยของ Winarto and Priadi 2013 [33] ที่ได้กล่าวไว้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุ เกิดจากการเจือจางส่วนผสมทางเคมีขณะทำการเชื่อม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของธาตุโครเมียม และโมลิบดินัม ส่งผลต่อกวามแข็งที่สูงขึ้นของแนวเชื่อม



รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง

สรุปผลการเชื่อมพอกผิวแข็งจำนวน 1 ชั้น

โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค กระแสเชื่อมที่แตกต่างกันส่งผลทำให้ได้ โครงสร้างมหภาคที่มีรูปร่างต่างกัน กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้เพิ่มขนาดความกว้างแนวเชื่อม ความ นูนของแนวเชื่อมลดต่ำลง ลักษณะโครงสร้างเป็นแบบเดนไดรต์ เมื่อทำการวัดค่าช่องว่าระหว่างแขน เดนไดรต์ พบว่ากระแสเชื่อมที่ 210 A ทั้งแบบรองพื้นและไม่รองพื้นมีขนาดช่องว่างแขนเดนไครต์มี ค่าเฉลี่ยต่ำสุด ซึ่งทำให้ก่าความแข็งแรงและก่ากวามสามารถในการยึดตัวสูงขึ้น [11]

การทดสอบสมบัติทางกล เปรียบเทียบความแข็งของแนวเชื่อที่กระแสเชื่อม 170, 190, 210 และ 230 A จำนวน 1 ชั้น พบว่ากระแสเชื่อม 210 A แบบ ไม่รองพื้นและแบบรองพื้นมีค่าความแข็งสูง ที่สุด โดยกระแสเชื่อม 210 A แบบ ไม่รองพื้นให้ค่าความแข็ง 750 HV และกระแสเชื่อมที่ 210 A แบบ รองพื้นให้ค่าความแข็ง 723 HV ขณะที่การทดสอบการสึกหรอที่พบว่า กระแสเชื่อม 210 A แบบ ไม่ รองพื้น มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสียน้อยสุดที่ 0.0357 เปอร์เซ็นต์ กระแสเชื่อมที่ 210 A แบบรองพื้นมี เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย 0.0398 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสามารถสรุปผลในส่วนของการทดลองเชื่อมพอก ผิวแข็งที่กระแสเชื่อม 170, 190, 210 และ 230 A แบบ ไม่รองพื้นและแบบรองพื้น จำนวน 1 ชั้นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงกระแสเชื่อมมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติ ทางกล โดยผู้วิจัยนำตัวแปรที่ดีที่สุดของการเชื่อม 1 ชั้น คือกระแสเชื่อม 210 A แบบไม่รองพื้นไปทำ การเชื่อมพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น ซึ่งกระแสเชื่อมดังกล่าวส่งผลต่อความแข็งแรงด้านสมบัติทางกลของ แนวเชื่อมดีที่สุด

4.4 การเชื่อมพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น

4.4.1 ถักษณะ โครงสร้างจุถภาคของแนวเชื่อม รูปที่ 4.17 ถักษณะผิวหน้าแนวเชื่อมพอกผิว แข็งและ โครงสร้างมหภาค ที่เชื่อมด้วยกระแส 210A ซึ่งเป็นกระแสเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงด้าน สมบัติทางกลดีที่สุด ส่วนตัวแปรกระแสเชื่อมอื่นๆจะ ไม่ขอกล่าวแต่จะแสดงในภาคผนวก ก ผลการ ตรวจสอบพบว่า รูปที่4.17(ก) แสดงแนวเชื่อมชั้นที่ 1 มีจำนวนแนวเชื่อม 5 แนว พบว่า แนวเชื่อมมี กวามสม่ำเสมอทุกแนวไม่พบจุดบกพร่องบนแนวเชื่อม รูปที่ 4.17(ข) แสดงแนวเชื่อมชั้นที่ 2 แนว เชื่อมที่ 6-9 ที่ทำการเชื่อมทับซ้อนกันระหว่างแนวเชื่อม แนวของชั้นที่ 1 พบว่าเมื่อทำการเชื่อมแนว เชื่อมที่ 6 และแนวเชื่อมที่ 7 เกิดเม็ดโลหะ (Spatter) อยู่บริเวณระหว่างแนวเชื่อม และบริเวณผิวหน้า แนวเชื่อมไม่พบจุดบกพร่องบนแนวเชื่อม โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่พบ จุดบกพร่อง เช่น โพรงอากาศ (Porosity) หรือแสลกผังในแนวเชื่อม (Slag Inclusion) ขณะที่รูปที่ 4.17(ก) แสดงแนวเชื่อมชั้นที่ 3 แนวเชื่อมที่ 10-12 ไม่พบจุดบกพร่องบนผิวแนวเชื่อม ลักษณะรอยต่อ แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอ และ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่อง



รูปที่ 4.17 ลักษณะทางกายภาพและ โครงสร้างมหภาคแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 210A 1-3 ชั้น



ร**ูปที่ 4.18** โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้นที่กระแสเชื่อม 210 A แบบไม่รองพื้น

รูปที่ 4.18(ก) แสดงโกรงสร้างมหาภาคของชิ้นงานเชื่อม 3 ชั้น และจุดตรวจสอบโครงสร้าง จุลภาคที่กระแสเชื่อม 210 A แบบไม่รองพื้น พบว่ารูปที่ 4.18(ข) แสดงโกรงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะ ฐาน (Base Metal) พบโครงสร้างจุลภาคเฟอร์ไรท์แสดงด้วยสัญลักษณ์ F และเพิร์ลไลท์แสดงด้วย สัญลักษณ์ P ในโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C มีลักษณะเกรนที่หยาบ รูปที่ 4.18(ค) แสดง โครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat Affect Zone : HAZ) มีลักษณะเกรนที่ละเอียดสีขาว สลับคำขนาดของเกรนมีความสม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับโครงสร้างจุลภาคของโลหะฐาน รูปที่ 4.18(ง) แสดงโครงสร้างรอยต่อระหว่างบริเวณพื้นที่กระทบร้อนกับแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง พบว่าบริเวณพื้นที่ กระทบร้อนมีลักษณะเกรนที่ละเอียด ส่วนบริเวณเนื้อเชื่อมพอกผิวแข็งชั่นที่ 1 มีลักษณะเกรนที่ ละเอียดเรียวยาวสีขาว กระจายอยู่ในโครงสร้างบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1 มีลักษณะเกรนที่ ละเอียดเรียวยาวสีขาว กระจายอยู่ในโครงสร้างรูปที่ 4.18(ฉ) แสดงโครงสร้างบริเวณแนวเชื่อมพอก ผิวแข็งชั้นที่ 2 มีลักษณะเกรนที่ละเอียด และบริเวณขอบเกรนปรากฏเฟสสีขาวมีขนาดเล็ก และยาว แทรกอยู่ตามขอบเกรน และรูปที่ 4.18(ช) แสดงโครงสร้างบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 3 พบว่า บริเวณขอบเกรนปรากฏเฟสสีขาวมีขนาดใหญ่ขึ้นและกว้างขึ้นดังลูกสรซี่แทรกอยู่ตามขอบเกรน กาด ว่าเป็นเฟสโครเมี่ยมคาร์ไบด์ [36], [37] เป็นผลมาจากปริมาณส่วนผสมของลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของ ธาตุโครเมียม (Cr) เป็นส่วนผสมหลัก

4.4.2 ผลการวิเคราะห์แนวเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รูปที่ 4.19 แสดงโครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพ (Qualitative) ของแนวเชื่อม วิเคราะห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) บริเวณรอยต่อระหว่างโลหะฐานกับแนวเชื่อม พอกผิวแขึ่งชั้นที่ 1 ที่กระแสเชื่อม 210 A แบบไม่รองพื้น พบว่าโครงสร้างจุลภาคมีการแบ่งเฟสอย่าง ชัดเจนโดยบริเวณแนวเชื่อมจะมีเฟสพื้นที่สีดำทึบแสดงด้วยดำแหน่งหมายเลข 2 ส่วนบริเวณโลหะ ฐานจะมีเฟสเป็นสีขาว แสดงด้วยตำแหน่งหมายเอข 1 และทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของเฟส ดังกล่าวด้วยการวิเคราะห์การกระจายพลัง (EDS) วิเคราะห์แบบเชิงคุณภาพ พบว่ารูปที่ 4.19(ข), (ค) บริเวณโลหะฐานกับบริเวณแนวเชื่อม มีชาตุหลักจำนวน 7 ธาตุคือ คาร์บอน (C) ซิลิกอน (Si) วาเนเดียม (V) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) และ โมลิบดินัม (Mo) และเมื่อเปรียบเทียบ ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) พบว่าแนวโน้มปริมาณธาตุ เช่นปริมาณธาตุ โครเมียม (Cr) ธาตุแมงกานีส (Mn) บริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งสูงกว่าบริเวณโลหะฐาน ซึ่งธาตุ เหล่านี้ส่งผลให้ความแข็งสูง จึงทำให้บริเวณแนวเชื่อมมีความแข็งสูงกว่าโลหะฐาน





รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณรอยต่อระหว่าง โลหะฐานกับแนวเชื่อม



แนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 2
รูปที่ 4.20 แสดงโครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพ (Qualitative) ของแนว เชื่อม วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) บริเวณรอยต่อระหว่างแนว เชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1 กับแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 2 พบว่าโครงสร้างจุลภาคมีลักษณะแบบเดน ใครต์และเมื่อทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเฟสดังกล่าวด้วยการวิเคราะห์การกระจายพลัง (Energy EDS) วิเคราะห์แบบเชิงคุณภาพ พบว่ารูปที่ 4.20(ข) บริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1 กับ บริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 2 มีธาตุหลักจำนวน 7 ธาตุคือ การ์บอน (C) ซิลิคอน (Si) วาเนเดียม (V) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) และ โมลิบดินัม (Mo) และเมื่อเปรียบเทียบส่วนผสม ทางเคมีเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) พบว่าปริมาณธาตุบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 2 สูง กว่าบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1 เนื่องจากเกิดการเจือจางของธาตุในโลหะเชื่อมชั้นที่ 1 เข้าสู่



ร**ูปที่ 4.21** ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณรอยต่อระหว่างแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง ชั้นที่ 2 กับแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 3

รูปที่ 4.21 แสดงโครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพ (Qualitative) ของแนว เชื่อม วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) บริเวณรอยต่อระหว่างแนว เชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 2 กับแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 3 พบว่าโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมพอกผิว แข็งชั้นที่ 3 มีลักษณะเกรนที่ละเอียดกว่าบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 2 และเมื่อทำการวิเคราะห์ ส่วนผสมทางเคมีของเฟสดังกล่าวด้วยการวิเคราะห์การกระจายพลัง (EDS) วิเคราะห์แบบเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) พบว่าปริมาณธาตุโครเมียม (Cr) และธาตุโมลิบดินัม บริเวณแนวเชื่อมพอกผิว แข็งชั้นที่ 3 สูงกว่าบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Srinivasan Muthupandi et al. 2006 [36] ที่กล่าวไว้ว่าการเพิ่มขึ้นของธาตุโครเมียม (Cr) และ โมลิบดินัม (Mo) ส่งผลต่อความแข็งที่สูงขึ้นของแนวเชื่อม ซึ่งธาตุเหล่านี้ได้มีอิทธิพลสูงในการเพิ่มความแข็งให้กับเนื้อ เชื่อม [36]



ร**ูปที่ 4.22** ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพบริเวณด้านบนแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 3 ใกล้บริเวณทคสอบการสึกหรอ

รูปที่ 4.22 แสดง โครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเกมีเชิงคุณภาพ (Qualitative) ของแนว เชื่อม วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) บริเวณด้านบนแนวเชื่อมพอก ผิวแข็งชั้นที่ 3 ใกล้บริเวณทดสอบการสึกหรอพบว่าโครงสร้างจุลภาคมีเฟสสีขาว ตำแหน่งหมายเลข 1 และเฟสสีดำ ตำแหน่งหมายเลข 2 และเมื่อทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเฟสดังกล่าวด้วยการ วิเคราะห์การกระจายพลัง (EDS) วิเคราะห์แบบเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) พบว่าปริมาณชาตุ การ์บอน (C) และชาตุโครเมียม (Cr) บริเวณพื้นที่เฟสสีงาว สูงกว่าบริเวณพื้นที่เฟสสีดำ เพราะใน โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่ 3 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเฟอร์ไรท์ เมื่อเฟอร์ไรท์มี การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ จะทำให้แนวเชื่อม โดยรวมเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไปด้วย เช่น ในด้าน ความแข็งซึ่งชาตุดังกล่าวมีอิทชิพลต่อการเพิ่มความแข็งให้กับเฟอร์ไรท์ในเนื้อเชื่อม และเมื่อทำการวัด ปริมาณเปอร์เซ็นต์เฟสด้วยโปรแกรม Material Plus 4.2 พบว่าปริมาณพื้นที่เฟสสีงาวมีปริมาณ เปอร์เซ็นต์เฟส 61% ซึ่งสูงกว่าพื้นที่เฟสสีเข้มที่มีปริมาณเปอร์เซ็นต์เฟส 39% ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณ ธาตุในลวดเชื่อมเป็นกลุ่มที่สามารถรวมกับการ์บอน และละลายได้ในเฟอร์ไรท์ในปริมาณที่มากกว่า



ร**ูปที่ 4.23** ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1, 2, 3 ที่กระแสเชื่อม 210 A แบบไม่รองพื้น

รูปที่ 4.23 แสดงผลการเปรียบเทียบส่วนผสมทางเกมีเชิงปริมาณของชั้นเชื่อมที่ทำการเชื่อม ด้วยกระแสเชื่อม 210 A แบบไม่เชื่อมรองพื้น พบว่าปริมาณของธาตุมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อชั้นแนว เชื่อมพอกผิวแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Winarto and Priadi 2013 ที่ได้กล่าวไว้ว่าการ เพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุเกิดจากการเจือจางส่วนผสมทางเกมีขณะทำการเชื่อม และเมื่อเปรียบเทียบ ปริมาณของธาตุต่างๆในชั้นพอกผิวแข็งพบว่า ชั้นพอกผิวแข็งชั้นที่ 3 ให้ก่าปริมาณของธาตุสูงกว่าชั้น เชื่อมที่ 1 และชั้นเชื่อมที่ 2 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุโครเมียมทำให้เม็คเกรนมีขนาดละเอียด เพิ่มขึ้น และลดปริมาณและขนาดของเกรนหยาบลง ซึ่งส่งผลต่อโดยตรงกวามแข็งแรงของแนวเชื่อม [33] 4.4.3 ผลทดสอบความแข็งของแนวเชื่อม รูปที่ 4.24 ผลการทดสอบความแข็งแนวเชื่อมผิว พอกผิวแข็ง 3 ชั้น ที่กระแสเชื่อม 210 A ไม่รองพื้น ลากผ่านโครงสร้างมหภาคดังรูปที่ 4.15(ก) จาก ด้านบนบริเวณแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 3 ลงมาถึงบริเวณโลหะฐาน (Base metal) พบว่าก่าความ แข็งของโลหะฐานเหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C มีก่าความแข็งเฉลี่ย 250 HV ก่าความแข็งของโลหะ แนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อตำแหน่งทดสอบเข้าใกล้เส้นการหลอมละลาย (Fusion Line) ก่าความแข็งที่ เปลี่ยนแปลงในตำแหน่งที่นี้เริ่มจากก่าความแข็งของโลหะฐาน และก่อยๆเพิ่มสูงขึ้นความแข็งที่ เปลี่ยนแปลงในตำแหน่งนี้กาคว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงโลรงสร้างจุลภาคของโลหะเนื่องจากความร้อนที่ เกิดขึ้นในพื้นที่กระทบร้อน (Heat Affected Zone:HAZ) ลักษณะของเกรนในพื้นที่นี้มีกวามละเอียดที่ เพิ่มขึ้นสามารถทำให้กวามแข็งเพิ่มขึ้นได้ ก่ากวามแข็งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนชั้นพอกผิว แข็งที่เพิ่มขึ้น ซึ่ง Winarto and Priadi ได้อธิบายก่าความแข็งขึ้น [33] และสอดกล้องกับงานวิจัยของ Chtterjee S. and Pal, T.K. ที่รายงานผลก่ากวามแข็งสูงขึ้นตามจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นในการเชื่อมเหล็กหล่อสีเทา (ASTM grade 2500) เมื่อจำนวนชั้นพอกผิวแข็งเพิ่มขึ้นจูงสุดที่ 3 ชั้น [22]



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบค่าความแข็งของชั้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งที่กระแสเชื่อม 210 A แบบไม่รองพื้น

4.4.4 ผลการทคสอบการสึกหรอ รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบผลการทคสอบการสึกหรอของชั้น เชื่อมที่เชื่อมค้วยกระแสเชื่อม 210 A แบบไม่มีการเชื่อมรองพื้น ทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น และ ทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญหาย พบว่าเนื้อเชื่อมชั้นที่ 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักสูญหายที่ 0.037 เปอร์เซ็นต์ส่วนเนื้อเชื่อมชั้นที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญหายที่ 0.06 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เนื้อเชื่อมชั้นที่ 3 จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญหายน้อยที่สุดที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผล การทดสอบการสึกหรอดังกล่าวสอดคล้องกับการทดสอบความแข็งของแนวเชื่อม ที่พบว่าบริเวณเนื้อ เชื่อมชั้นที่ 3 ให้ค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดที่ 755 HV เพราะเมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคแนว เชื่อมพบว่าลักษณะ โครงสร้างคล้ายกับ โครเมียมคาร์ไบด์ ซึ่งเป็นผลเนื่องจากลวดเชื่อม MF-6-GF-60-GP มีปริมาณส่วนผสมของ โครเมียม (Cr) เป็นส่วนผสมหลัก สอดคล้องกับงานวิจัยของ D.Priadi ที่ทำ การทดสอบความแข็งของแนวเชื่อมที่พบว่า บริเวณเนื้อเชื่อมชั้นที่ 3 ให้ค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดและมี การสูญเสียมวลน้อยสุด เกิดขึ้นในการเชื่อมเหลีกกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกของแนวเชื่อมชั้นที่ 3 [35]



รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบผลการทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานเชื่อมที่กระแสเชื่อม 210 A

4.4.5 ลักษณะการพังทลายของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทก รูปที่ 4.26 แสดง ลักษณะพื้นผิวการพังทลายที่กระแสเชื่อม 210 A จำนวนชั้นเชื่อม 3 ชั้นไม่รองพื้น เมื่อนำชิ้นงานไป ทดสอบความแข็งแรงกระแทก พบว่าชิ้นงานมีค่าความแข็งแรงกระแทกประมาณ 7 J แล้วนำชิ้นงานที่ แตกหักจากการทดสอบแรงกระแทก ดังรูปที่ 4.26(ก) มาทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตำแหน่งการตรวจสอบบริเวณพื้นที่ด้านบนแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง ชั้นที่ 3 ใกล้ตำแหน่งร่องรอยบากลักษณะการพังทลายมีรูปร่างแบนเรียบดังรูปที่ 4.22(ข) และรูปที่ 4.26(ค) เป็นลักษณะการพังทลายบริเวณด้านล่างของชิ้นงานเชื่อมชั้นที่ 1-2 ลักษณะการพังทลายมี รูปร่างขรุขระมีลักษณะเป็นร่องหลุม (Dimple) ปรากฏบนผิวหน้าที่แตกหักจากแรงกระแทก สอดกล้องกับงานวิจัยของ B.T.Zhang et al. ที่ทำการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน Q460 ด้วยกระบวนการ เชื่อมใต้น้ำ แล้วนำชิ้นงานมาทดสอบแรงกระแทกพบว่า ลักษณะรอยแตกหักจากแรงกระแทกมี ลักษณะเป็นหลุม (Dimple) จะมีค่าดูดซับพลังงานดีกว่ารอยแตกหักแบบแบนเรียบ (Cleavage Plane) [38] ซึ่งรอยแตกหักแบบราบเรียบ รูปที่ 4.22(ง) เป็นบริเวณตำแหน่งแนวเชื่อมชั้นที่ 3 ซึ่งสอดกล้อง กับการวัดค่าความแข็งที่ให้ค่าความแข็งสูงสุด



รูปที่ 4.26 ลักษณะพื้นผิวการพังทลายแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่กระแสเชื่อม 210 A ไม่รองพื้น

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยการทดลองอิทธิพลของจำนวนชั้นการเชื่อมอาร์กลวดใส้ฟลักซ์พอกผิวแข็งต่อ สมบัติโลหะเชื่อมเหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C ใช้ตัวแปรในการเชื่อม คือ กระแสเชื่อม 170, 190, 210 และ 230A มีการเชื่อมแบบรองพื้นและไม่รองพื้น จำนวน 1 ชั้น และนำค่าตัวแปรที่ดีที่สุดจากการ ทดลองเชื่อม นำมาเชื่อมพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น คือกระแสเชื่อม 210A แบบไม่รองพื้นแล้วทำการ ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาและทดสอบสมบัติทางกลของแนวเชื่อม เพื่อที่จะหาจำนวนชั้นที่ เหมาะสมที่สุดในการเชื่อมพอกผิวแข็งต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความกว้างและระยะพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) มี แนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ระยะการซึมลึกลดลง

5.1.2 กระแสเชื่อมที่ส่งผลทำให้ก่าความแข็งและก่าความต้านทานการสึกหรอดีที่สุด คือ กระแสเชื่อม 210A แบบไม่เชื่อมรองพื้น ซึ่งให้ค่าช่องว่างระหว่างแขนเดนไดรต์ต่ำสุด

5.1.3 เมื่อทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น ที่กระแสเชื่อม 210A แบบไม่รองพื้น และ ทดสอบสมบัติทางกล พบว่าชั้นพอกผิวแข็งที่ 3 มีก่ากวามแข็งสูงสุดเฉลี่ย 755HV สูงกว่ากวามแข็งลูก โรลเลอร์จริงที่มีก่ากวามแข็ง 650HV มีก่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญหายต่ำสุด 0.02 เปอร์เซ็นต์ และก่า ทดสอบแรงกระแทกประมาณ 7J

5.1.4 จำนวนชั้นเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณธาตุโครเมียม (Cr) ในโลหะเชื่อมมี ปริมาณที่สูงขึ้น ปริมาณโครเมียมที่เพิ่มขึ้นทำให้เม็คเกรนมีขนาคเล็กละเอียคมากขึ้น ส่งผลทำให้แนว เชื่อมมีความแข็งแรงสูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดลองศึกษาอิทธิพลของจำนวนชั้นการเชื่อมอาร์กลวดใส้ฟลักซ์พอกผิวแข็งต่อสมบัติ ของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C เกิดปัญหาในระหว่างการทดลองจึงต้องมีการปรับปรุง หรือใช้ในการทดลองในคราวต่อไป โดยมีข้อเสนอแนะไว้ในการพิจารณาดังนี้ 5.2.1 การเลือกวัสดุทคลอง ลวคเชื่อมพอกผิวแข็งควรเลือกลวคเชื่อมพอกผิวแข็งที่มี จำหน่ายในประเทศ เนื่องจากลวคเชื่อมที่ผู้วิจัยเลือกต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ทำให้เสียเวลาใน การขนส่งและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

5.2.2 ในการทคสอบอัตราการสึกหรอด้วยเครื่อง Dry sand-rubber wheel : DSRW G65 จะต้องทำการควบคุมอุณหภูมิของล้อยางทคสอบ เพราะเมื่อระยะเวลาในการทคสอบเพิ่มมากขึ้นความ ร้อนที่สะสมอยู่ในชิ้นงานอาจจะถ่ายเทไปที่ล้อยาง ทำให้ผิวหน้าของล้อยางชำรุคเสียหายได้ จะส่งผล ต่อผลการทคสอบ



รายการอ้างอิง

- [1] กรมการค้าระหว่างประเทศ, การส่งออกข้าวของประเทศไทย (Online), 2556, Available: www.thaifta.com/ThaiFTA (6 กรกฎาคม 2556)
- [2] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศมหาวิทยาลัยศรีปทุม, การยกระดับสินค้าเกษตร (Online), 2556, Available: www.aster.spu.ac.th/file/user/80/ upload/ history61.pdf (16 กรกฎาคม 2556)
- สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดเชียงใหม่, การ โถนาด้วยควาย (Online), 2556, Available:
 www.praolivestockoffice.blogspot.com/html (13 กรกฎาคม 2556)
- [4] ศูนย์การท่องเที่ยวจังหวัดพังงา, ฤดูทำนากับการใช้รถไถนาแบบเดินตาม (Online), 2556, Available: www.oknation.net/blog/kohyao/2007/08/03/entry-1 (13 กรกฎาคม 2556)
- [5] กรมส่งเสริมการเกษตร, การปลูกข้าวในนาคำ (Online), 2556 Available:
 www.rangrangsee.blogspot.com (13 กรกฎาคม 2556)
- [6] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, *เครื่องคำนา (Online)*, 2556 Available: www.brrd.in.th/index.php-file.html (13 กรกฎาคม 2556)
- [7] กรมส่งเสริมการเกษตร, การเกี่ยวข้าว (Online), 2556 Available: www.tudpichatatar.com/ รูปภาพการเกี่ยวข้าว (13 กรกฎาคม 2556)
- [8] สำนักข่าวแห่งชาติ, การเก็บเกี่ยวข้าวในนาแปลงหว่าน (Online), 2556 Available: www. densakchai.blogspot.com/2013/02/blog-post 2.html (6 กรกฎาคม 2556)
- [9] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ ประจักษ์ อ่างบุญตา และบุญส่ง จงกลณี. โครงสร้างจุลภาคและสมบัติของ รอยเชื่อมวัสดุด้วยเทคโนโลยีการเชื่อมแบบใหม่,สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 2552
- [10] Japanese Standards Association, JIS Handbook Ferrous Materials&Metallurgy I: JIS G 4051 1979. Japan: Japanese Standards Association. pp. 517-523.
- [11] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ ศิริชัย ต่อสกุล อนินท์ มีมนต์ และนรพร กลั่นประชา, วัสคุวิศวกรรม.
 2550 กรุงเทพ:เซนเกจเลินนิ่ง
- [12] คะเนย์ วรรณ โท, *การเชื่อม โลหะ ในระบบ GMAW*. กรุงเทพฯ: บริษัท ที พี พริ้นท์ จำกัด 2539.
- [13] S. Sninagawa, "Fourth edition arc welding of specific steels and cast lron, Kita" Tokyo, pp.141-688.
- [14] สมาคมการเชื่อมตามมาตรฐาน ISO, ลวดเชื่อมพอกผิวแข็ง (Online), 2556, Available: www.ebook.ram.edule- book/m/MY318-7 pdf (29 เมษายน 2557)

- [15] สถาบันวิจัยและพัฒนา, การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Online), 2556, Available: www.yothin.ueuo.com/DATA/2.18.pdf (29 เมษายน 2557)
- [16] นิติกร นรภัยพิพากษา,"ผลกระทบของอุณหภูมิผิวสัมผัสที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของ อิพอกซีเรซินเติมซิลิกาบค", การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, 2555
- [17] C. M ,Chen,Y.C. Wu,W. "Microstnactural and Abrasive chavacteristics of high carbon Fc-Cr-C hardfacing alloy", *Tribology International*, 2010 pp 929-934.
- [18] C. A. Higgerson, Experiments in materials technology, Affiliated east-west press PVT. Ltd, 1973
- [19] ASTM, Designation E 340 Standard Test Method of Macroetching, Metals and Alloys, 1996
- [20] นิวัตน์ ศรีสวัสดิ์ , ภิญโญ พานิชพันธ์ และ พินทิพ รื่นวงษา, *เทคโนโลยีการสร้างระดับนาโน*, สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาการเรียนรู้, มหาวิทยาลัยมหิดล, 2554
- [21] S. Chatterjee, and Pal, "Solid Particle Erosion Behaviour of Hardfacing Deposits on Cast Iron Influence of Deposit Microstructure and Erodent Particles". Wear 261, 2006, pp 1069-1079.
- [22] 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, pp. 1531-1536.
- [23] S. Selvi, S.P. Sankaran, R. Srivatsavan," Comparative Study of Hardfacing of Valve Seat Ring using MMAW Process", *Journal of Materials Processing Technology*. 2008 pp.256-362.
- [24] 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.
- [25] M.F. Buchely, J.C. Gutierrez, L.M. Leon, "The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys". Wear 2005 pp.52-61.
- [26] Japanese Standards Association. Welding: JIS Z 3114. Japanese Standards Association. 1996 pp. 572-574.
- [27] Japanese Standards Association. Welding: JIS Z 3312. Japanese Standards Association.1996 pp. 570-572.

- [28] ASTM International, Standard Peactice for Microetching Metals and Alloys E407-99, Annual Book of ASTM Standard, Volume 03-01, 1996 pp.1-21
- [29] ASTM International, E92-82 Standard Test Methods for Vickers Superficial Hardness of Metallic Materials. ASTM Standard, Volume 03-01 1996
- [30] ASTM International, G65-94 Standard Test Methods for Measuring Abrasion using the Dry Sand/Rubber wheel Apparatus 1996
- [31] ASTM International, E23 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials 1996
- [32] วินัส ทองเปี้ย และสันติรัฐ นันสะอาง "การศึกษาอิทธิพลกระบวนการอบคืนตัวของรอยเชื่อมต่อ โครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1045 ด้วยกระบวนการ เชื่อมใต้ฟลักซ์", การประชุมวิชาการแห่งชาติ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2553
- [33] W. Winarto and D. Priadi "Effect of Preheating and Buttering on Cracking Susceptibility and Wear Resistance of Hardfaced HSLA Steel Deposit." Quarterly journal of the japan welding society," 2013. pp. 202-205
- [34] P. Srinivasan, B, V. Muthupandi, W. Dietzel and V. Sivan "An assessment of impact strength and corrosion behaviour of shielded metal arc welded dissimilar weldments between UNS 31803 and IS 2062 steels," *Materials & Design*, 2006. pp 182-191.
- [35] C. T. Kwok, H. C. Man, and F. T. Cheng, "Cavitation erosion-corrosion behaviour of laser surface alloyed AISI 1050 mild steel using Ni Cr Si," *Materials Science and Engineering*: vol. 303 A, 2001, pp. 250-261.
- [36] S. Celik and I. Ersozlu, "Investigation of the mechanical properties and microstructure of friction welded joints between AISI 4140 and AISI 1050 steels," *Materials & Design*, vol. 30, 2009, pp. 970-976.
- [37] B.T.Zhang et al. "A unique process that combines induction heating and flux cored arc wet welding to reduce cooling rates in real time was studied," WELDING JOURNAL/ JANUARY, VOL. 94, 2015 pp. 1070-1076.



ภาคผนวก ก

ลักษณะ โครงสร้างมหาภาคและ โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม



ก.1 ลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง 1 ชั้น



รูปที่ ก.1.1 ผิวหน้าของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170-230 A แบบรองพื้นและไม่รองพื้น

ก.2 การตรวจสอบความกว้าง ความนูน การซึมลึก และความลึกHAZ ของแนวเชื่อม 1 ชั้น



รูปที่ ก.2.1 กระแสเชื่อม 170-230A แบบไม่รองพื้น



รูปที่ ก.2.2 กระแสเชื่อม 170-230A แบบรองพื้น

ก.3 โครงสร้างมหาภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง จำนวน 1-3 ชั้น แบบไม่รองพื้น



รูปที่ ก.3.1 ผิวหน้าและ โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170A



รูปที่ ก.3.2 ผิวหน้าและ โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190A



รูป ก.3.3 ผิวหน้าและ โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 230A

ก.4 โครงสร้างมหาภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง จำนวน 1-3 ชั้น แบบรองพื้น



รูป ก.4.1 ผิวหน้าและ โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170A



รูปที่ ก.4 .2 ผิวหน้าและ โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190A



รูปที่ ก.4.3 ผิวหน้าและ โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 210A



รูปที่ ก.4.4 ผิวหน้าและ โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 230A

ก.5 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง จำนวน 1ชั้น



รูปที่ ก.5.1 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190A แบบไม่รองพื้น



รูปที่ ก.5.3 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 210A แบบไม่รองพื้น



รูปที่ ก.5.4 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 230A แบบไม่รองพื้น



รูปที่ ก.5.5 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170A แบบรองพื้น



รูปที่ ก.5.6 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190A แบบรองพื้น



รูปที่ ก.5.7 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 230A แบบรองพื้น

ก.6 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง จำนวน 1-3 ชั้น



รูปที่ ก.6.1 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170A แบบไม่รองพื้น



รูปที่ ก.6.2 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190A แบบไม่รองพื้น



รูปที่ ก.6.3 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 230A แบบไม่รองพื้น



รูปที่ ก.6.4 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170A แบบรองพื้น



รูปที่ ก.6.5 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190A แบบรองพื้น



รูปที่ ก.6.6 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 210A แบบรองพื้น



รูปที่ ก.6.7 โครงสร้างจุลภาคภาคของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 230A แบบรองพื้น





ข.1 ค่าความแข็งแนวเชื่อมทดสอบแบบแนวนอน 1-3 ชั้น ไม่รองพื้น



รูปที่ ข.1.1 ค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170A ไม่รองพื้น



รูปที่ ข.1.2 ค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190A ไม่รองพื้น



รูปที่ ข.1.3 ค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 210A ไม่รองพื้น



รูปที่ ข.1.4 ค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 230A ไม่รองพื้น



รูปที่ ข.2.1 ค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170A รองพื้น



รูปที่ ข.2.2 ค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 190A รองพื้น



รูปที่ ข.2.3 ค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 210A รองพื้น



รูปที่ ข.2.4 ค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 230A รองพื้น



ข.3 ค่าความแข็งแนวเชื่อมทดสอบแบบแนวตั้ง 1-3 ชั้น ไม่รองพื้น

รูปที่ ข.3.1 ผลทคสอบความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170-230A ไม่รองพื้น



รูปที่ ข.3.2 ผลทคสอบความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170-230A รองพื้น

ข.4 ค่าทดสอบการสึกหรอของแนวเชื่อม 1 ชั้น



รูปที่ ข.4.1 ผลทคสอบการสึกหรอของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170-230A ไม่รองพื้น



รูปที่ ข.4.2 ผลทดสอบการสึกหรอของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 170-230A รองพื้น





ข.6. เปรียบเทียบค่าทดสอบแรงกระแทกของแนวเชื่อม 3 ชั้น ไม่รองพื้นกับแบบรองพื้น



รูปที่ ข.6.1 ผลความแข็งแรงกระแทกของแนวเชื่อม

ข.7. ลักษณะการพังทลายของแนวเชื่อม]



รูปที่ ข.7.1 ลักษณะการพังทลายของแนวเชื่อม ที่กระแสเชื่อม 210A ไม่รองพื้นและแบบรองพื้น



ข.8. ลักษณะการสึกหรอของผิวของแนวเชื่อม

รูปที่ ข.8.1 ลักษณะการสึกหรอของผิวแนวเชื่อม ที่กระแสเชื่อม 170-230A ไม่รองพื้น 1 ชั้น



รูปที่ ข.8.2 ลักษณะการสึกหรอของผิวแนวเชื่อม ที่กระแสเชื่อม 170-230A รองพื้น 1 ชั้น



รูปที่ ข.8.2 ลักษณะการสึกหรอของผิวแนวเชื่อม ที่กระแสเชื่อม 170-230A รองพื้น 1 ชั้น




ชื่อ-นามสกุล	ชื่อบทความ	หน้า
ชิติมา นามสิริกุล	ความสามารถในการต้านเชื้อสเตร็ปโตคีอกคัส มิวแทนส์ และ	2650
	เชื้อแลคโตบาซิลัส คาเซไอของสารสหัคหยาบพรอพอลิสไทย	
นรินทร์ทิพย์ สุขสมปอง	ความสัมพันธ์ระหว่างพืชน้ำและสัตว์น้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำบึง	2664
	บอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์	
นิรันคร์ พรมเกษา	อิทธิพลของจำนวนชั้นพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน JIS	2679
	S50C ต่อสมบัติของแนวเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์	
พนม ทองมาก	ลักษณะทางกายภาพของคาเวียร์กะทิที่เป็นผลมาจากความ	2697
	เข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตและแหล่งของแคลเซียมที่ใช้ใน	
	การขึ้นรูปทรงกลม	
พรปวีณ์ มีตำเนิน	พฤติกรรมการเล่นเกมออน ไลน์ต่อภาวะสุขภาพของนักเรียน	2709
	ชายระดับชั้นมัธยมสึกษาตอนต้นชั้นปีที่ 2 จังหวัด ชลบุรี	
พรศิริ สุวรรณภาพร	ผลของอุณหภูมิแวคล้อมสูงต่อการควบคุมการกินอาหารที่ใน	2722
	สมองหนู	
พัสน์นันท์ มงคลจาตุรงค์	ความสัมพันธ์ระหว่างบรรยากาศการเรียนรู้กับประสิทธิผลของ	2737
	หอผู้ป่วยตามการรับรู้ของพยาบาลวิชาชีพ โรงพยาบาล	
	มหาวิทยาลัยในกำกับของรัฐแห่งหนึ่ง ในกรุงเทพมหานคร	
พิสิษฐพัชญ์ นิ่มนวล	ผลของอัตราส่วนแก็สอาร์กอนต่อแก็สไนโตรเจนที่มีผลต่อสี	2752
	และคุณสมบัติการกัคกร่อนของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรค์ที่	
Æ	เคลือบ โดยวิธีดีซีรีแอคทีฟแมกนี่ตรอนสปัตเตอริง	
พิไลวรรณ มะโน	การศึกษาหาอัตราส่วนความสูงตัวพื้นต่อความยาวของรากพื้น	2763
	และการปิดของปลายรากพื้นในพื้นกรามน้อยล่างซี่ที่สองและ	
Pre	พื้นกรามถ่างซี่ที่สองในกลุ่มตัวอย่างคนไทย	
ภริตพร ชนะศุภประภา 🏅	การจัดการสุขาภิบาลอาหารแบบมีส่วนร่วมของสถานที่	2780
	จำหน่ายอาหาร ในเขตเทศบาล ดำบลห้วยใหญ่ อำเภอบางละ	
	มุง จังหวัดชลบุรี	
ภาคย์ มาลัยกฤษณะชลี	การประเมินอุณหภูมิและเวลาของกระบวนการพาสเจอไรซ์นม	2793
	แบบใหลต่อเนื่องโดยใช้วิตามินบี 1 เป็นตัวบ่งชี้	
ภูริพงษ์ เจริญแพทย์	ผลของคนตรีต่อภาวะซึมเศร้าในผู้สูงอายุ : การทบทวนอย่าง	2806
	เป็นระบบ	
ยศนันท์ วีระพล	ผลของรูพรุนบนของแข็งตัวพาต่อการปลดปล่อยขาจากระบบ	2821
	นำยานาโนอิมัลชันชนิดเกิดได้เองรูปแบบของแข็ง	

ผู้ทรงคุณวุฒิ

💠 กลุ่มศิลปะและการออกแบบ มหาวิทยาลัยรังสิต ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เด่น อยู่ประเสริฐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาวไล ตันจันทร์พงศ์ ดร.จิรเดช เสตะพันธุ์ สถาบันดนตรีกัลยานิวัฒนา ดร.อโณทัย นิติพน มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ดร. สุภาวดี เชื้อพราหมณ์ อาจารย์กิตติ เชาวนา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ศาสตราจารย์ เดชา วราชุน รองศาสตราจารย์ กัญจนา ดำโสภี ดร.วันเพ็ญ เจริญตระกูลปีติ อาจารย์ปูรณ์ ขวัญสุวรรณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล ตั้งสกุล จหาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์สมโภชน์ ทองแดง ดร.ณัฐวุฒิ บริบูรณ์วิรีย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศาสตราจารย์อรศิริ ปาณินท์ มหาวิทยาลัยบูรพา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ดร.กีรติ เกิดศิริ มหาวิทยาลัยศิลปากร รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยสิทธิ์ ด่านกิตติกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฏฐพล สุวรรณกุศลส่ง ดร.เกรียงไกร เกิดศิริ ดร. ทยากร จารุชัยมนตรี ดร. สินีนาถ ศุกลรัตนเมธี มหาวิทยาลัยกรุงเทพ อาจารย์จิราพรรณ วงศ์ทองสงวน

🛠 กลุ่มมนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ วิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศาสตราจารย์สายันต์ ไพรชาญจิตร์ รองศาสตราจารย์ สรรค์ใจ กลิ่นดาว ดร.จันทิมา อังคพานิชกิจ ดร.นิภาพร รัชตพัฒนากูล มหาวิทยาลัยรามคำแหง รองศาสตราจารย์ดำรงค์ ฐานดี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ ดร.จินตวีร์ คล้ายสังข์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติศักดิ์ ธรรมาภรณ์พิลาศ ดร.พิทยาวัฒน์ พิทยาภรณ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ดร.เกศินี จุฑาวิจิตร ุ่มหาวิทยาล**ัยขอนแก่น** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังคณา ตุงคะสมิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ศาสตราจารย์เกียรติคุณ สุรพล ดำริห์กุล รองศาสตราจารย์ ม.ล. สุรสวัสดิ์ ศุขสวัสดิ์ มหาวิทยาลัยมหิดล ดร.พชร สวรรณภาชน์ ดร.สุจริตลักษณ์ ดีผดุง มหาวิทยาลัยศิลปากร ศาสตราจารย์ ดร.ผาสุข อินทราวุธ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ ชิระมณี รองศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ สังข์รักษา รองศาสตราจารย์ ดร.บุษบา กนกศิลปกรรม รองศาสตราจารย์สมประสงค์ น่วมบุญลือ รองศาสตราจารย์ประสพชัย พสุนนท์ รองศาสตราจารย์สมพร ร่วมสุข ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญญัติ เรื่องศรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริอาภา รัชตะหิรัญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บำรุง โตรัตน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาเรียม นิลพันธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิทักษ์ ศิริวงษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ เจษฎาลักษณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพร จันทรนำชู ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวลฉวี ประเสริฐสุข ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรศักดิ์ อุ่นอารมย์เลิศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คีรีบูน จงวุฒิเวศย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรณัฐ กิจรุ่งเรื่อง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น้ำมนต์ เรื่องฤทธิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สำเนียงงาม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญจิรา ชิรเวทย์ ดร.บำรุง ชำนาญเรือ ดร.ธีระวัฒน์ จันทึก ดร.ยวรี ผลพันธิน ดร.สรัญญา จันทร์ชูสกุล ดร.สายสุดา เตียเจริญ ดร.กัลยา เทียนวงศ์ ดร.อัจฉรา รักยติธรรม อาจารย์สาธิต จันทรวินิจ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ รองศาสตราจารย์ พตอ.ดร.นพรุจ ศักดิ์ศิริ ดร.สุรัตน์ เลิศล้ำ โรงพยาบาลพุทธโสธร จังหวัดฉะเชิงเทรา ดร.วรากร เกรียงไกรศักดา มหาวิทยาลัยศรีปทุม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราพร ระโหฐาน ดร.ปาริชาติ คุณปลื้ม มหาวิทยาลัยบูรพา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระ กุลสวัสดิ์ ดร.จักรี ไชยพินิจ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขมณัฏฐ์ มิ่งศิริธรรม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ ร้อยตรี ดร. ณัฐกริช เปาอินทร์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ดร.รุ่งโรจน์ ภิรมย์อนุกูล ดร. ลาวัณย์ฉวี สุจริตตานนท์ กรมศิลปากร อาจารย์ประพิศ พงศ์มาศ ดร.อมรา ศรีสุชาติ ดร.ภัคพดี อยู่คงดี นายพงศ์ธันว์ สำเภาเงิน นายอาณัติ บำรุงวงศ์ นายพีรพน พิษณุพงศ์ สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อาจารย์พรรณเพ็ญ เครือไทย อาจารย์ธิตินัดดา มณีวรรณ์

🛠 กลุ่มวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทพญ.ดร.วรานุช ปิติพัฒน์ อาจารย์ ทญพ.วิไลพร สุตันไชยนนท์ น.สพ.ดร. ปิยวัฒน์ สายพันธุ์ จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ ดร. สุวิมล กีรติพิบูล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชัย ธีระเรืองไชยศรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทญ.ดร.ชุติมา ระติสุนทร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ดร.ศรุต อำมาตย์โยธิน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รองศาสตราจารย์ ดร.รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต รองศาสตราจารย์ ดร. นั้นทวัน เทอดไทย รองศาสตราจารย์ ดร.วีระชัย พุทธวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรเชษฐ์ จิตตาณิชย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร นาคทอง ดร. เทพกัญญา หาญศีลวัต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง รองศาสตราจารย์ ดร. ประกอบ กิจไชยา

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ

สำนักงานตำรวจแห่งชาติ พ.ต.ท.กฤษฎา ริบรวมทรัพย์ พ.ต.อ.อดิชัย กัณหา

โรงเรียนนายร้อยตำรวจ พ.ต.ท.ดร.สถษดิ์ สืบพงษ์ศิริ

วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี ดร.จินดามาศ โกศลชื่นวิจตร

มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ พจวรรณ ลาวัณย์ประเสริฐ ภญ.รศ.ดร.วราภรณ์ จรรยาประเสริฐ ภญ.รศ.ดร.สุวัฒนา จุฬาวัฒนทล ภญ ดร. บุษบา จินดาวิจักษ์ อาจารย์ ดร.วัจนันท์ มัตติทานนท์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ภญ.ผศ.ดร. วริษฎา ศิลาอ่อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพร เชี่ยวชาญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑิรา นพรัตน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ดร.ธนพล เฉลิมกิตติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร ชูศรี

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รองศาตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ เพียรมงคล ดร.สภเวท มานิยม

<mark>มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์</mark> อาจารย์ปิยะวิทย์ ทิพรส

มหาวิทยาลัยราชภัฏสมเด็จเจ้าพระยา ดร.จุมพฏ กาญจนกำธร อาจารย์ชลิต วณิชยานันต์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

รองศาสตราจารย์ ดร. ปานใจ ธารทัศนวงศ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณีต โอปณะโสภิต รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย แพชมัด รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาคะโป รองศาสตราจารย์ ดร.มลิวรรณ บุญเสนอ รองศาสตราจารย์ มาณพ ปานะโปย รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยาณี จิรศรีพงศ์พันธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ ฉิมพาลี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรัญ วสันตกรณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศรินทร์ เฆษะปะบุตร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐไท พรเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อินทิรา นาควัชระ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย เลิศวิจิตรจรัส ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร ้ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินณวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีซัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีรจำเนียร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศรากรณ์ มหาโยธี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทสพล เขตเจนการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ฉาย ทองปิ่น ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกนรินทร์ บางท่าไม้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรประภา ภุมมะกาญจนะ โรแบร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย เตโชวิศาล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมจิตร ลาภโนนเขวา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุขุม โฆษิตชัยมงคล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วันชัย ลีลากวีวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์ ภญ.อ.ดร. ทิพาพร พงษ์เมษา ภณ.ย.ดร. วิชัย สันติมาลีวรกุล ภญ.อ.ดร.นันทลักษณ์ สถาพรนานนท์ ภญ.ย.ดร. ฉาวัลย์ ศรัทธาพุทธ ดร.ชูเกียรติ สอดศรี ดร. ศราวุธ ภูไพจิตร์กุล ดร.กัญจนา ทองสนิท ดร.วัสรา รอดเหตุภัย ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี

อิทธิพลของจำนวนชั้นพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C ต่อสมบัติของแนวเชื่อม อาร์กลวดไส้ฟลักซ์

Influence of layer number hardfacing carbon steel JIS S50C on properties flux cored arc weld

นิรันคร์ พรมเกษา, สุริขา ประสมทอง, กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลชัญบุรี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลชัญบุรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อ ศึกษาอิทธิพลของจำนวนชั้นพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C ที่ส่งผลต่อสมบัติของแนวเชื่อม ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์ และศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะเชื่อม ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเพิ่ม จำนวนชั้นพอกผิวแข็ง ส่งผลต่อค่าความแข็งของโลหะเชื่อมมีค่าสูงขึ้น การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค พบว่าเกิดการก่อตัวของเฟตมาร์เทนไซต์ในโลหะเชื่อม และเฟตโลรเมียมคาร์ไบด์ที่มีความแข็งในพื้นหลัก และตามขอบเกรน ในโลหะเชื่อมในชั้นพอกผิวแข็งที่ 2 และ 3 ค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 61 HRC พบได้ที่ ตำแหน่งใกล้พื้นผิวของชั้นพอกผิวแข็งที่ 3

คำสำคัญ: เชื่อมอาร์คลวคไส้ฟลักซ์, เชื่อมพอกผิวแข็ง, เหล็กกล้าคาร์บอน

Abstract

This research work aims to study an effect of a JIS S50C steel hard facing layer number on the weld properties using a Flux cored wire welding process and study the relation between microstructure and mechanical properties of the weld metals. The summarized results are as follows. Increase of the hard facing layer of steel affected to increase the hardness of the weld metal. Microstructure examination results showed the formation of a martensite phase in the weld metal and also showed the hard chromium carbide phase in the matrix and the grain boundary in the weld metal of layer number 2 and 3. The maximum hardness of 61 HRC in this study was found at the area the weld metal that close the surface of the hardfacing layer number 3.

Keywords : Flux cored arc welding, Welding hardfaceing, Carbon steel

มวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่๔

2679

บทนำ

ปัจจุบันชิ้นส่วนโลหะในเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมการเกษตรผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอน เนื่องจากเหล็กกล้าคาร์บอนมีข้อดีที่มีความแข็งแรงสูง มีความสามารถในการชุบแข็ง และทนทานการเสียด สีได้ดี อย่างไรก็ตาม เมื่อนำชิ้นส่วนอะไหล่ของเครื่องจักรกลเหล่านี้ถูกนำไปใช้งานชิ้นส่วนมักถูกแรงทาง กลต่างๆ เข้ามากระทำ เช่น การขัดถู เสียดสี หรือกระแทก ทำให้ผิวหน้าของชิ้นส่วนสึกหรอ (Wear) และ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของชิ้นส่วนลดลงได้ชิ้นส่วน โลหะที่เกิดการสึกหรออาจมีการถูก ทดแทนด้วยชิ้นส่วนใหม่ หรืออาจถูกนำมาทำการซ่อมแซมเพื่อเพิ่มเนื้อโลหะที่สึกหรอออกไปด้วยวิธีการ ต่างๆ หนึ่งในวิธีการเพิ่มเนื้อโลหะที่มีการใช้งานอย่างขวาง คือ กรรมวิธีการเชื่อมพอกผิว (Welding resurfacing) เนื่องจากทำให้ได้เนื้อโลหะที่มีความแข็ง (Hardness) เพิ่มขึ้น และมีความคุ้มทุนทาง เศรษฐศาสตร์เมื่อเทียบกับราคาของอะไหล่ใหม่

ที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมอาร์คพอกผิวแข็งบนเหล็กต่างๆ ที่มีการรายงานผลสำคัญ เช่น การเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็กกล้าผสมต่ำความแข็งแรงสูง (Hing Strength Low Alloy : HSLA) เหล็กหล่อสีเทา(Grey cast iron) (Zhang, C., 2006) เหล็กหล่อเหนียว (Chatterjee, S. and Pal., 2006) หรือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Ghaini, F.M., 2001) ที่รายงานว่าค่าความแข็งของผิวพอกแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ สามารถเพิ่มความแข็งได้โดยการควบคุมอุณหภูมิระหว่างเที่ยว(Interpass temperature) และการเลือกใช้ ลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของตัวประสานภายใน ความแข็งของแนวเชื่อมสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยอนุกาคเสริม ความแข็งในลวดเชื่อม เช่น การเลือกลวดเชื่อมที่มีคาร์โบไนไตรค์ในลวดเชื่อมที่ทำการเชื่อมซ้อนแนวที่ อุณหภูมิระหว่างเที่ยวคงที่ คาร์โบไนไตรค์ส่งผลทำให้ความแข็งของผิวพอกแข็งสูงขึ้น (Selvi, S. Sankaran, 2008) หรือการพอกผิวแข็งแหล็กกล้าคาร์บอนโดยการเชื่อมทับแนวรวม 4 ชั้น พบว่าค่าความ แข็งของผิวพอกแข็งสูงได้จากการเติมโบรอนลงในโลหะพอกผิวแข็ง แต่อาจทำให้อราการสึกหรอของผิว พอกแข็งมีค่าต่ำ (Hemmati, I., 2012) หรือการเชื่อมพอกผิวแข็งบนแหล็กกล้าคาร์บอน 1020 ด้วยลวดเชื่อม กลุ่มมีเหล็กเป็นหลัก 4 ชนิด ที่พบความแข็งของผิวพอกแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเฟส Fe-Ti Fe-V Fe-Mo และกรา ไฟท์เพิ่มขึ้นได้ (Yang, K., Shengiu, Y., 2008)

รายงานผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าการเชื่อมพอกผิว สามารถทำให้ได้ผิวพอกแข็งที่มีสมบัติ ตามด้องการได้ ดังนั้นหากมีการประยุกต์ใช้การเชื่อมพอกผิวแข็งในการเพิ่มเนื้อโลหะและสมบัติทางกล ของขึ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรกลเกษตร ที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนคาดว่าจะส่งผลทำให้ยืดอายุการใช้งาน ชิ้นส่วนได้ ด้วยเหตุนี้กลุ่มผู้วิจัยจึงมีจุดประสงค์ในการประยุกต์ การเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยการเชื่อมอาร์ค ลวดไส้ฟลักซ์ (Flux cored arc welding)ในการเชื่อมพอกผิวแข็งขึ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรกลเกษตรที่ทำ จากเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C และศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติทางกลของผิวของ ชิ้นส่วน เพื่อสามารถทำให้ยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรกลเกษตรต่อไป

2680

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

 เพื่อศึกษาอิทธิพลจำนวนชั้นพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C ค่อสมบัติของแนวเชื่อม อาร์คลวด ใส้ฟลักซ์

วิธีการทดลอง

วัสดุโลหะชิ้นงาน คือ เหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C มีส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยตัดชิ้นงานมีขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร มีความหนา 20 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ชิ้นงานเชื่อม JIS Z3114 (JapaneseStandards Association.,1996) และทำการเจียระไนราบผิวหน้าของ ชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง โดยชิ้นงานถูกจับยึดบนอุปกรณ์จับยึด ใช้ลวดลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Fiux cored wire arc Welding) ชนิดพอกผิวแข็งตามมาตรฐาน DIN 8555: MF-6-GF-60-GP มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร ในการเชื่อม มีส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1

Material	Chemical composition (wt%)							
	С	Si	Mn	P	S	Cr	Мо	V
JIS S50C	0.52	0.26	0.78	0.03	0.01	0.19	0.01	0.006
MF-6-GF-60-GP	0.51	0.687	1.825	0.012	0.002	7.017	0.369	0.321

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าการ์บอน JIS S50C และลวคเชื่อม

จำนวนชั้นในการเชื่อมพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น โดยชั้นที่ 1 เชื่อมพอกผิวแข็ง 5 แนวเชื่อม รอยต่อขอบ ของแนวเชื่อมแต่ละแนวต่อชน ชั้นที่ 2 เชื่อมพอกผิวแข็ง 4 แนวเชื่อม แต่ละแนวเชื่อมทับซ้อนกันระหว่าง รอยต่อขอบของแนวเชื่อมชั้นที่ 1 และ ชั้นที่ 3 เชื่อมพอกผิวแข็ง 3 แนวเชื่อม แต่ละแนวเชื่อมทับซ้อนกัน ระหว่างรอยต่อขอบของแนวเชื่อมชั้นที่ 2 แนวเชื่อมพอกผิวแข็ง 3 แนวเชื่อม แต่ละแนวเชื่อมกัน ของเป็น มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน JIS Z3114 เชื่อมในท่าราบ (Flat Position) มีระยะห่างระหว่างแนวเชื่อมเฉลี่ย 10 มิลลิเมตร และมีอุณหภูมิระหว่างเที่ยวเชื่อม(Interpass temperature) ไม่ต่ำกว่า 150 °C (Agustin Gualco.,2010) โดยกำหนดตัวแปรในการเชื่อมแสดงดังในตารางที่ 2 และทำการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วย กระบวนการเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์ โดยประยุกต์กรรมวิธีการเชื่อมแบบมิกกึ่งอัตโนมัติ ลงบน โลหะ ชิ้นงาน หลังจากเชื่อมเสร็งปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ จนอุณหภูมิชิ้นงานเชื่อมลดลงถึงอุณหภูมิห้อง แล้ว นำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมไปทำการทดสอบสมบัติทางกล และโครงสร้างทางโลหะวิทยาต่อไป

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

2681

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อม

กระบวนการ เชื่อม	Ø ลวด เชื่อม(มม.)	Polrity	กระแสเชื่อม (A)	ความต่าง ศักย์ (V)	ความเร็วใน การเชื่อม (มม./ นาที)	Preheat and interpass temperature (°C)
FCAW	1.6	DCEN	150	24	150	150 min



การตรวจสอบโครงสร้างมหากาลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม พอกผิวแข็งถูกนำมาทำการตัด เพื่อเตรียมเป็นชิ้นทคสอบโครงสร้างมหาภาคและโครงสร้างจุลภาค ทำการ ดัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบที่มีระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็น โดยทำการตัดตามขวางของแนวเชื่อมพอก ผิวแข็ง และทำการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 240 - 1,200 และขัดละเอียดด้วยผงอะลูมิน่าบนผ้าสักหลาด หลังจากนั้นทำการกัดกรด(Etching) ผิวหน้าชิ้นงานเชื่อมด้วยกรดที่ผสมกันระหว่าง กรดในตริก (HNO 3) 20 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริก (HCL) 60 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการกัดกรดประมาณ 5-60 วินาที ตาม มาตรฐาน ASTM E407 (ASTM International, 1996) แล้วตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบใช้แสง(Light Microscope) บริเวณโลหะชิ้นงาน (Base Metal) บริเวณกระทบร้อน (Heat-affect zone) และบริเวณชั้นโลหะเชื่อมที่ 1-3 (Weld Metal Layer)

มวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่๔

2682

การตรวจสอบความแข็งของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็ง ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบความ แข็งแบบร็อคเวลสเกล C ตามมาตรฐาน ASTM E18 (ASTM International, 1996) โดยทิศทางกดทดสอบ ลากผ่านเป็นเส้นตรงตามชั้นเชื่อม เริ่มต้นทดสอบบริเวณโลหะชิ้นงาน ผ่านบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat-affect zone) ผ่านบริเวณพื้นที่ของเนื้อเชื่อม (Weld metal) ชั้นที่ 1 , ชั้นที่ 2 , และชั้นที่ 3 โดยมี ระยะห่างระหว่างจุดกดทดสอบ 1 มิลลิเมตร โดยใช้แรงกด 1471 นิวตัน ดังแสดงในรูปที่ 2



ร**ูปที่ 2** ตำแหน่งการทคสอบความแข็งชิ้นงานเชื่อม (HRC)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

รูปที่ 3 การตรวจสอบลักษณะผิวหน้าแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่เชื่อมด้วยกระแส 150 แอมแปร์ ที่ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง 1-3 ชั้น ผลการตรวจสอบด้วยตา เปล่าพบว่า รูปที่ 3(ก) แสดงแนวเชื่อมชั้นที่ 1 มีจำนวนแนวเชื่อม 5 แนว พบว่าเกิดเม็ค โลหะ (Spatter) บน ผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเม็ดขนาดใหญ่ ซึ่งเกิดจากสะเกิดไฟขณะทำการเชื่อมที่ระหว่างแนวเชื่อม ที่ 2 กับแนวเชื่อมที่ 3 แสดงดังวงกลมเส้นประสีแดง แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอทุกแนว และไม่พบ จุดบกพร่องบนแนวเชื่อม รูปที่ 3 (ข) แสดงแนวเชื่อมชั้นที่ 2 แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอทุกแนว และไม่พบ จุดบกพร่องบนแนวเชื่อม รูปที่ 3 (ข) แสดงแนวเชื่อมชั้นที่ 2 แนวเชื่อมที่ 6-9 ที่ทำการเชื่อมทับช้อนกัน ระหว่างแนวเชื่อมแนวของชั้นที่ 1 พบว่าเมื่อทำการเชื่อมเนาเชื่อมที่ 6 ชั้นที่ 2 เกิดเม็ด โลหะ(Spatter) ขนาดใหญ่กระจายอยู่บริเวณรอบข้างของชั้นที่ 1 แนวเชื่อมที่ 1 และเมื่อทำการเชื่อมแนวเชื่อมที่ 7-9 ของ ชั้นเชื่อมที่ 2 เกิดเม็ด โลหะ (Spatter) ขนาดเล็กกระจายอยู่บริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม ดังแสดงวงกลมเส้นประ สีแดงของรอยต่อระหว่างแนวเชื่อมที่ 7 กับแนวเชื่อมที่ 8 และและไม่พบจุดบกพร่องบนแนวเชื่อม จนะที่ รูปที่ 3 (ค) แสดงแนวเชื่อมชั้นที่ 3 แนวเชื่อมที่ 10-12 ไม่พบจุดบกพร่องบนผิวแนวเชื่อม ลักษณะรอยต่อ แนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอ แนวเชื่อมที่ 12 มีขนาดความกว้างกว่าแนวเชื่อมที่ 10 และแนวเชื่อมที่มีลักษณะแบนและ กว้าง

มวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่๔

2683



ร**ูปที่ 3** ผิวหน้าแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง

ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชั้นแนวเชื่อมพอกผิวแข็งทั้ง 3 ชั้น แสดงบริเวณ พื้นที่หน้าตัดชั้นเชื่อมชั้นพอกผิวแข็งบนวัสคุโลหะชิ้นงาน สังเกตข้อบกพร่องด้วยตาเปล่าพบว่า รูปที่ 4 (ก) ชั้นแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1 ไม่พบจุดบกพร่อง เช่น ฟองอากาส รอยแตกร้าวหรือรอยแครก และ แสลกฝังในแนวเชื่อม ลักษณะรอยเชื่อมมีความนูน สูงรูปที่ 4 (ข) ชั้นแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 2 และ (ค) ชั้นแนวเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 3 ไม่พบข้อบกพร่องในรอยเชื่อมเหมือนกับรอยเชื่อมชั้นที่ 1 และลักษณะ รอยเชื่อมมีความสูงน้อยกว่าชั้นที่ 3 ไม่พบข้อบกพร่องในรอยเชื่อมเหมือนกับรอยเชื่อมชั้นที่ 1 และลักษณะ รอยเชื่อมมีความสูงน้อยกว่าชั้นที่ 1 ขนาครอยเชื่อมที่ต่างกันนั้น Agustin Gualco and etc.,ได้อธิบาย เกี่ยวกับผลกระทบต่อการเจือจางของวัสดุพบว่าการเชื่อมที่ความหนา 13 มิลลิเมตร ขึ้นไปการเก็บความ ร้อนของโลหะเชื่อมทั้งหมดมีการเพิ่มขึ้น ดังนั้น เมื่อชิ้นงานได้รับความร้อนสูงในการเชื่อม1ชั้นจะมีการ สะสมความร้อน(Agustin Gualco., 2010)

มวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่๔

2684



รูปที่ 4 โครงสร้างมหาภาคของชั้นแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง

ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค รูปที่ร (ก) แสดงโครงสร้างมหาภาคของชิ้นงานเชื่อม 3 ชั้น และแสดงจุดตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค รูปที่ร (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะชิ้นงาน พบว่า เกิดโครงสร้างเกรน equiaxed ของโปรยูเทกตอยด์เฟอร์ไรต์ (สีขาว)บริเวณขอบเกรน (วิลาสินี วุฒิถิรสกล, 2548) รูปที่5 (ค) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเนื้อเชื่อมกับโลหะชิ้นงาน พบว่าบริเวณกระทบ ร้อน(HAZ) มีลักษณะเกรนที่ละเอียดขนาดของเกรนมีความสม่ำเสมอ ส่วนบริเวณเนื้อเชื่อม (Weld) ปรากฏโครงสร้างแบบเดนไครต์ มีลักษณะคล้ายกิ่งก้านของต้นไม้ (วิลาสินี วุฒิถิรสกล, 2548) รูปที่ร (ง) แสดงโครงสร้างขุอภาคบริเวณเนื้อเชื่อมชั้นที่ 1 คาดว่าเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ มีลักษณะเกรนที่เรียว และยาวสีขาว กระจายในโครงสร้าง (สุพร ฤทธิภักดี, 2554) รูปที่ร (จ) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อ เชื่อมชั้นที่ 2 คาดว่าเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ละเอียด และบริเวณขอบเกรนปรากฏเฟคโครเมียมคาร์ ไบด์สีขาว (ลูกศรชี้) มีขนาดที่เล็กและยาวแทรกอยู่ตามขอบเกรน (สุขอังคณา ลี, 2555) รูปที่ร (จ) แสดง

ุฌวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่๔

โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมชั้นที่ 3 คาคว่าเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ และบริเวณขอบเกรนปรากฏ เฟตโครเมี่ยมคาร์ไบค์สีขาว (ลูกศรชี้) มีขนาคที่ใหญ่ขึ้นและกว้างขึ้นแทรกอยู่ตามขอบเกรน ซึ่งอาจเป็นผล มาจากปริมาณส่วนผสมของลวดเชื่อม ที่มีส่วนผสมของโครเมี่ยมเป็นส่วนผสมหลัก สอคคล้องกับงานวิจัย ของ (สุพร ฤทธิภักคี, 2554) ซึ่งค่าความแข็งเนื้อเชื่อมชั้นที่ 3 มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันคือ 60 HRC



ร**ูปที่ 5** โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C

ุมวิชาการบัณฑิตสึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่๔

2686

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคที่กล่าวมาข้างค้น เป็นเพียงการวิเคราะห์จากรูปร่างลักษณะที่ เกิดขึ้นตามทฤษฎีที่มีการบันทึก หรือจากการวิจัยไว้เท่านั้น จำเป็นที่จะต้องมีการวิเคราะห์อย่างละเอียด ด้วยเครื่องมือเทคโนโลยีชั้นสูง เช่น เครื่อง Scanning electron microscope :(SEM) หรือเครื่อง X-ray Diffractometer :(XRD) ในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ทราบผลข้อมูลที่ถูกต้องต่อไป

ผลทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลสเกล C

รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าความแข็งเปรียบเทียบของแนวเชื่อมชั้นผิวพอกแข็ง 3 ชั้น ที่บริเวณ โลหะ ชิ้นงานบริเวณกระทบร้อน (HAZ) เนื้อโลหะเชื่อมชั้นที่ 1 เนื้อโลหะเชื่อมชั้นที่ 2 และเนื้อโลหะเชื่อมชั้นที่ 3พบว่าค่าความแข็งของโลหะชิ้นงาน เมื่อทำการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยลวดเชื่อม MF-6-GF-60-GP ที่ระยะ คำแหน่งกดทดสอบที่ 1-7 มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 23-26 HRC และบริเวณกระทบร้อน (HAZ) ที่ระยะ คำแหน่งกดทดสอบที่ 8-10 มีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 23-26 HRC และบริเวณกระทบร้อน (HAZ) ที่ระยะ เมื่อมีการเชื่อมพอกผิวแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมชั้นที่ 1 ที่ระยะคำแหน่งกดทดสอบที่11-13 มีค่าความแข็งอยู่ ในช่วง 52-55 HRC เมื่อมีการเชื่อมพอกผิวแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมชั้นที่ 2 ระยะคำแหน่งกดทดสอบที่14-16 ก่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 57-58 HRC และเมื่อมีการเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 3 ระยะคำแหน่งกดทดสอบที่17-19 พบว่าค่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมชั้นที่ 2 ระยะคำแหน่งกดทดสอบที่14-16 ก่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 57-58 HRC และเมื่อมีการเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 3 ระยะคำแหน่งกดทดสอบที่17-19 พบว่าก่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อมมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 59-61 HRC ซึ่งค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตามจำนวนชั้นเชื่อมพอกผิวแข็งเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นในการเชื่อม เหล็กหล่อสีเทา(ASTMgrade 2500) จำนวนแนวเชื่อม 3 ชั้น (Chtterjee, S. and Pal, T.K.,2006)



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าความแข็งของบริเวณชิ้นงานเชื่อม

มวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่๔

2687

สรุปผลการทดลอง

1. เมื่อมีการเพิ่มจำนวนชั้นในการพอกผิวแข็ง ส่งผลให้ค่าความแข็งของโลหะเชื่อมมีค่าที่สูงขึ้น

 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมพบว่า เนื้อเชื่อมชั้นที่ 1 เกิดการก่อตัวของเฟส มาร์เทนไซต์กระจาขอยู่ในโครงสร้าง ส่วนบริเวณเนื้อเชื่อมชั้นที่2 และชั้นที่ 3 พบเฟสโครเมี่ยมการ์ไบด์ สีขาว (ลูกศรชี้) แทรกอยู่ตามขอบเกรน

 การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลสเกล C พบว่า บริเวณเนื้อเชื่อมชั้นที่ 3 มีค่าความแข็งสูงสุด มีค่าเท่ากับ 61 HRC เป็นผลมาจากปริมาณการ์บอนรวมตัวกับโครเมี่ยม (Cr) ซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของ ลวดเชื่อม ในปริมาณมากขณะทำการเชื่อม รองลงมาคือบริเวณเนื้อเชื่อมชั้นที่ 2, เนื้อเชื่อมชั้นที่ 1, บริเวณ ผลกระทบจากความร้อน (HAZ) และบริเวณโลหะชิ้นงาน

เอกสารอ้างอิง

- Agustin Gualco., Hernán G. Svoboda., Estela S. Surian., and Luis A. de Vedia.(2010) "Effect of welding procedure on wear behaviour of a modified martensitic tool steelhardfacing deposit." Materials and Design 31,:4165–4173
- ASTM International, (1996) Standard Peactice for Microetching Metals and Alloys E407-99, Annual Book of ASTM Standard, Volume 03-01, pp.1-21
- ASTM International, (1996) E18-03 Standard Test Methods for Rockwell and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials. ASTM Standard, Volume 03-01

archive.html/ (2011), http:/praolivestockoffice.blogspot.com, สืบค้นเมื่อ13 กันยายน 2556

- Buchanan, V.E., Shipway, P.H., McCartney, D.G. (2007) Microstructure and abrasive Wear Behavior of the Shielded Metal Arc Welding Hardfacing used in the Sugarcanes Industry. Wear 263 99-100.
- Chtterjee, S. and Pal, T.K. (2006) Solid Particle Erosion Behaviour of Hardfaceing Deposits on Cast Iron-Influence of Deposit Microstructure and Erodent Particles. Wear 261 1069-1079.
- Chtterjee, S. and Pal, T.K. (2006) Weld Proceedural Effect on the performance of iron Based Hardfacing Deposits on Cast Iron Substrate. Journal of Materials Processing Technology 17369.
- Ghaini, F.M., Ebrahimnis, M., Gholizade, S. (2001) Characteristics of Cracks in Heat Affetced Zone of Ductile Cast Iron in powder Welding Orocess, Engineering Failure Analysis 18 47-51
- Hemmati, I., Ocelik, V., De Hosson, J.T.M. (2012) Diluion Effects in Laser Cladding od Ni-Cr-B-Si-C Hardfacing Alloy. Materials Letters 84, 69-72.

ุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่๔

2688

Jeshvaghani, R.A., Harati, E., Shamanian, M. (2011) Effect of Surface Alloying on Microstucture and Wear Behavior of Ductile Iron Surface-modified with a Nickel-based Alloy using Shielded Metal Arc Welding. Materials and Design 32, 1531-1536

Japanese Standard Association.(1996) Welding:JISZ3114(1990). JapanesStandaAssociation.PP.572-574

- Liu, D., Liu, R., Wei, Y., Zhu, K. (2013) Microstructure and Wear Properties of Fe-15-Cr-2.5Ti-2C-xB wt% Hardfacing Alloys. Applied Surface Science 271, 253-259.
- Selvi, S. Sankaran, S.P. Srivatsavan, R. (2008) Comparative Study of Hardfacing of Valve Seat Ring using MMAW Process. Journal of Materials Processing Technology 207, 256-362
- Yang, K., Shengfu, Y., Yingbin, L., Chenglin, L. (2008) Effect of Carrbonitride Precipitates on the Abrasive Wear Behaiour of Hardfacing Alloy. Applied Surface Science 254, 5023-5027.
- Zhang, C, Sing, X., Lu, P., Hu, X. (2006) Effect of Microstructure on Mechanincal Properties in Weldrepaired High Strength Low Alloy Steel. Material and Design 36 233-242.
- วิลาสินี วุฒิถิรสกล. อุมารินทร์ พงศ์ไสภิตานันท์ และธนากรณ์ โกราษฎร์ (2548). การศึกษาและวิเคราะห์ โลหะจากภาพ. **สูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)**. พิมพ์ครั้งที่ 1 บริษัทไทยเอฟ เฟคสตูดิโอ.
- สุขอังคณา ลี. โชกุล วิริยาธะนาโชติ.(2555) การเปรียบเทียบความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ระหว่างการอบชุบและการเชื่อมพอกผิวสำหรับงานด้านทานการเสียคสี "วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- สุพร ฤทธิภักดี. (2554) พฤดิกรรมการสึกหรอแบบขัดสีของผิวเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็ก AISI 1020" <mark>การ</mark> ประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554



(มวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่๔

2689

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายนิรันคร์ พรมเกษา
วัน เดือน ปีเกิด	10 ธันวาคม 2526
ที่อยู่	119 หมู่ที่ 1 ตำบลหมอเมือง อำเภอแม่จริม จังหวัดน่าน 55170
การศึกษา	
พ.ศ. 2550	สำเร็จการศึกษาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลล้ำนนาตาก
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2552-2558	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (ศูนย์หันตรา)
Contraction of the second s	Contraction of the second seco