

การเชื่อมซ่อมผิวลูกโรลเลอร์ในรถเกี่ยวและนวดข้าว
ด้วยการเชื่อมอาร์กทวดไส้ฟลักซ์

WELDING REPAIR OF ROLLER PART SURFACE IN RICE
COMBINE HARVESTERS USING FLUX – CORED
ARC WELDING

อนุศักดิ์ ศิลาชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การซ่อมพิวถูกรอเตอร์ในรถเกี่ยวและนวดข้าว
ด้วยการเชื่อมอาร์กถวดไส้ฟลักซ์

อนุศักดิ์ ศิลาชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเชื่อมซ่อมผิวลูกโรลเลอร์ในรถเกี่ยวและนวดข้าวด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กสวดไส้ฟลักซ์ Welding Repair of Roller Part Surfaces of Rice Combine Harvesters Using Flux-Cored Arc Welding Process
ชื่อ – นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีอนุศักดิ์ สีลาชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2560

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



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


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


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, D.Eng.)

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


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

วันที่ 15 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเชื่อมผิวลูกโรลเลอร์ในรถเกี่ยวและนวดข้าวด้วยการเชื่อมอาร์ก ลวดไส้ฟลักซ์
ชื่อ - นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีอนุศักดิ์ ศิลาชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

การนำลูกโรลเลอร์ในรถเกี่ยวข้าวที่เสียหายจากการสึกหรอกลับมาใช้ใหม่โดยการเชื่อมซ่อมเป็นวิธีการสำคัญที่สามารถเพิ่มผลิตภาพในการปลูกข้าว การปรับปรุงสมบัติเฉพาะพื้นผิวที่เสียหายของลูกโรลเลอร์จะสามารถปรับปรุงสมบัติทางกล ยืดอายุการใช้งาน และช่วยลดต้นทุนในการปลูกข้าวได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเชื่อมซ่อมลูกโรลเลอร์ในรถเกี่ยวข้าวด้วยการเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์และนวดข้าว และศึกษาผลของการเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมพอกแข็ง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ ลูกโรลเลอร์ในรถเกี่ยวและนวดข้าวที่ชำรุด ซึ่งเป็นวัสดุที่ชำรุดและถูกถอดออกจากรถเกี่ยวและนวดข้าวที่ผ่านการสึกหรอจากการใช้งานจริง การทดลองใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมและลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux-cored Arc Welding) โดยปราศจากแก๊สในการปกคลุมแนวเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อม 170-270 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อมที่ 290-510 มิลลิเมตร/นาที จากนั้นนำลูกโรลเลอร์ที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งมาตัดเพื่อทดสอบสมบัติทางกลและศึกษาโครงสร้างจุลภาคส่วนผสมทางเคมี สารประกอบทางโลหะด้วยเทคนิค SEM จากนั้นทำการเปรียบเทียบตลอดจนวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองสรุปได้ว่าการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด (0.29 g) ประกอบด้วยกระแสเชื่อม 270 A และความเร็วในการเชื่อม 290 mm/min การลดกระแสเชื่อมและเพิ่มความเร็วในการเดินแนวเชื่อมส่งผลต่อการลดการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นทดสอบซึ่งหมายถึงการเพิ่มความต้านทานการสึกหรอของพื้นผิว การเพิ่มกระแสเชื่อมส่งผลต่อการกระจายส่วนผสมทางเคมีของธาตุเสริมแรงได้แก่ เฟส โครเมียมคาร์ไบด์และเฟสเหล็กคาร์ไบด์ในโลหะเชื่อมพอกแข็ง

คำสำคัญ: การเชื่อมซ่อม การเชื่อมพอกแข็ง ลูกโรลเลอร์ รถเกี่ยวและนวดข้าว การเชื่อมอาร์ก
ลวดไส้ฟลักซ์

Thesis Title Welding Repair of Roller Part Surfaces of Rice Combine Harvesters Using Flux-Cored Arc Welding
Name – Surname Acting Sub Lt. Anusak Silachai
Program Manufacturing Engineering
Thesis Advisor Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.
Academic Year 2017

ABSTRACT

The welding repair of worn-out roller parts of rice combine harvesters may play an important role in increasing rice productivity. The surface maintenance of a worn-out roller part could improve its mechanical properties, extend its lifetime, and reduce rice production costs. Therefore, this research aimed to repair the worn-out roller parts of rice combine harvesters using flux-cored arc welding and to study the effect of the welding repair on mechanical properties and microstructures of hard-facing weld metal.

Authentic worn-out roller parts of rice combine harvesters were used in the experiment. Gas metal arc welding and flux-cored arc welding processes were operated. The welding ampere was set at 170-270 A and the welding speed was 290-510 mm/min. Then, the repaired rollers were cut to study the mechanical properties and the chemical microstructures of hard-facing metal using a scanning electron microscopy (SEM) technique. Finally, the data were compared and analyzed.

The research revealed that when the current was set at 270 A and the welding speed was 290 mm/min, the welding parameter indicated a minimum weight loss of (0.29g). The decreasing current and the increasing welding speed could reduce the weight loss. Moreover, the process could develop the wear resistance of the surface. In addition, the increasing current affected the distribution of chemical compositions of reinforced elements in the welding metal as the distribution of chromium carbide phase and iron carbide phase were found in hard-facing weld metal.

Keywords: welding repair, hard-facing welding, roller, rice combine harvester, flux-cored arc welding

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยะ ปราณิตพลกรัง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล คณะกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทน์มณี ผู้ทรงคุณวุฒิ และนายสุริยา ประสมทอง อาจารย์สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คณาจารย์สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี ที่สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ และให้ความช่วยเหลือ ตลอดช่วงเวลา ของการศึกษาและทำการวิจัย

ขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะวิชาการ จนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

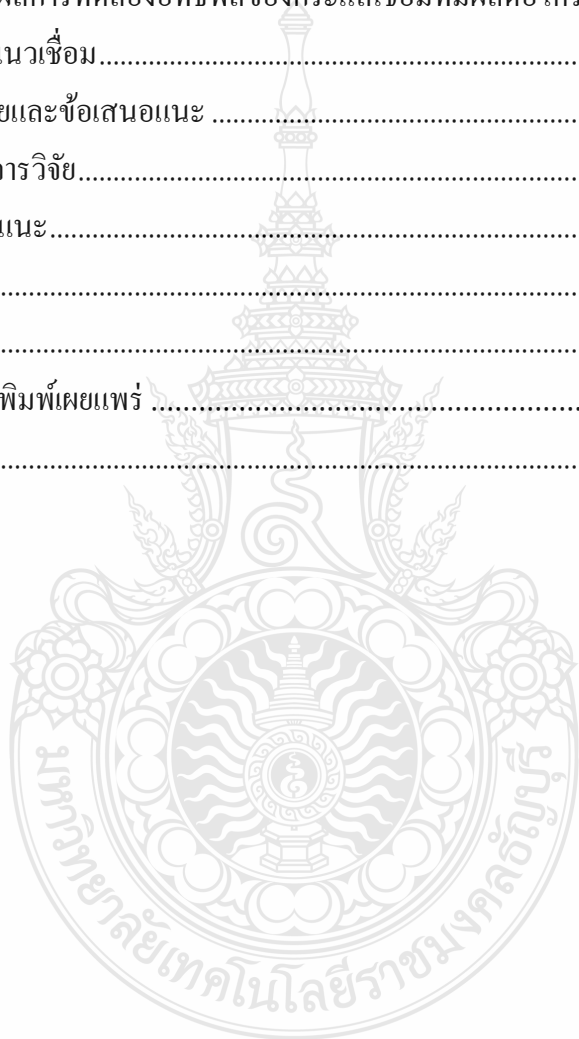
ว่าที่ร้อยตรีอนุศักดิ์ ศิลาชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา.....	13
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	16
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	17
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	17
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.1 เหล็กกล้าคาร์บอน.....	18
2.2 การเชื่อมโลหะ.....	21
2.3 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม.....	22
2.4 การทดสอบหาสมบัติทางกล.....	30
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	39
3.1 วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	40
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	43
3.3 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา.....	45
3.4 การทดสอบสมบัติทางกล.....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	50
4.1 อิทธิพลของกระแสในการเชื่อมต่อความแข็งและอัตราการศึกษาของแนวเชื่อม.....	52
4.2 เปรียบเทียบโครงสร้างแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม	59
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองอิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อ โครงสร้างและปริมาณ ธาตุของแนวเชื่อม.....	60
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	66
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	67
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก.....	71
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	71
ประวัติผู้เขียน.....	93



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประเภทของโลหะเติมลวดเชื่อมมาตรฐานเยอรมัน (DIN 8555).....	24
ตารางที่ 2.2 น้ำยากัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E304.....	29
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน S50C และสมบัติทางกล.....	36
ตารางที่ 3.2 สมบัติทางเคมีของลวดเชื่อม.....	36
ตารางที่ 4.1 ความเสียหายและสาเหตุของความเสียหายจากการลงพื้นที่ (จังหวัดสุพรรณบุรี)....	45
ตารางที่ 4.2 จำนวนชิ้นความเสียหายของลูกโรลเลอร์แต่ละประเภทจากการลงพื้นที่ (จังหวัดสุพรรณบุรี)	46



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 การเกี่ยวข้่าวในอดีตและปัจจุบัน	13
รูปที่ 2 ลูกโรลเลอร์รถเกี่ยวและนวดข้าว.....	14
รูปที่ 3 รถเกี่ยวและนวดข้าว.....	15
รูปที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าตาม AISI และ ASME	19
รูปที่ 2.2 หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ.....	21
รูปที่ 2.3 กระบวนการเชื่อมโลหะ	22
รูปที่ 2.4 การอาร์กของการเชื่อมแบบ GMAW.....	23
รูปที่ 2.5 กระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์โดยใช้ลวดเชื่อมชนิด Self Shielded.....	24
รูปที่ 2.6 หน้าตัดลวดเชื่อม (a) ลวดเชื่อมมิก/แม็ก (b) ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์.....	24
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมกับความเร็วในการป้อนลวด.....	25
รูปที่ 2.8 รูปแบบของกระแสเชื่อมแบบพัลส์.....	25
รูปที่ 2.9 หัวครุรูปทรงพีระมิดและรอยกด.....	31
รูปที่ 2.10 เครื่องทดสอบการสึกหรอ.....	32
รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง.....	34
รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน(TEM).....	35
รูปที่ 2.13 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)	36
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการทดลอง	39
รูปที่ 3.2 ลูกโรลเลอร์ที่สึกหรอ	40
รูปที่ 3.3 ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์พอกผิวแข็ง	41
รูปที่ 3.4 เครื่องเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม	42
รูปที่ 3.5 แท่นจับยึดเชื่อมลูกโรลเลอร์.....	42
รูปที่ 3.6 ลักษณะการเชื่อมลูกโรลเลอร์.....	43
รูปที่ 3.7 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเชื่อม	44
รูปที่ 3.8 เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ	44
รูปที่ 3.8 ลักษณะชิ้นงานที่ตัดตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคและ โครงสร้างจุลภาค	45
รูปที่ 3.9 เครื่องขัดแบบจานหมุน	45

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.10 กล้องจุลทรรศน์ (Micro Capture).....	46
รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	46
รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	47
รูปที่ 3.13 ลักษณะการทดสอบความแข็ง	48
รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Micro Vickers	48
รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบการสึกหรอ	49
รูปที่ 3.16 ผงซิลิกอนคาร์ไบด์.....	49
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการสึกหรอของลูกโรลเลอร์หลังการใช้งาน.....	51
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลค่าความแข็งวัสดุโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C	52
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลกระทบของกระแสไฟในการเชื่อม 170 -270 แอมแปร์ ต่อความแข็งและ อัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 510 มิลลิเมตร/นาที.....	53
รูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างของกระแสไฟในการเชื่อม 170 -270 แอมแปร์ ต่อความแข็งและอัตรา การสึกหรอของแนวเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 510 มิลลิเมตร/นาที	53
รูปที่ 4.5 แสดงผลกระทบของกระแสไฟในการเชื่อม 170-270 แอมแปร์ ต่อความแข็งและอัตรา การสึกหรอที่ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที.....	54
รูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างกระแสไฟในการเชื่อม 170-270 แอมแปร์ ต่อความแข็งและอัตราการ สึกหรอของแนวเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที	55
รูปที่ 4.7 แสดงผลกระทบของกระแสไฟในการเชื่อม 170 -270 แอมแปร์ ต่อความแข็งและอัตรา การสึกหรอของแนวเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 290 มิลลิเมตร/นาที	56
รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างกระแสไฟในการเชื่อม 170 -270 แอมแปร์ ต่อความแข็งและอัตราการ สึกหรอของแนวเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 290 มิลลิเมตร/นาที.....	56
รูปที่ 4.9 แสดงผลกระทบโดยเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วในการ เชื่อม 290-510 มิลลิเมตร/นาที	57
รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะ โครงสร้างจุลภาคโดยเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 290-510 มิลลิเมตร/นาที	57

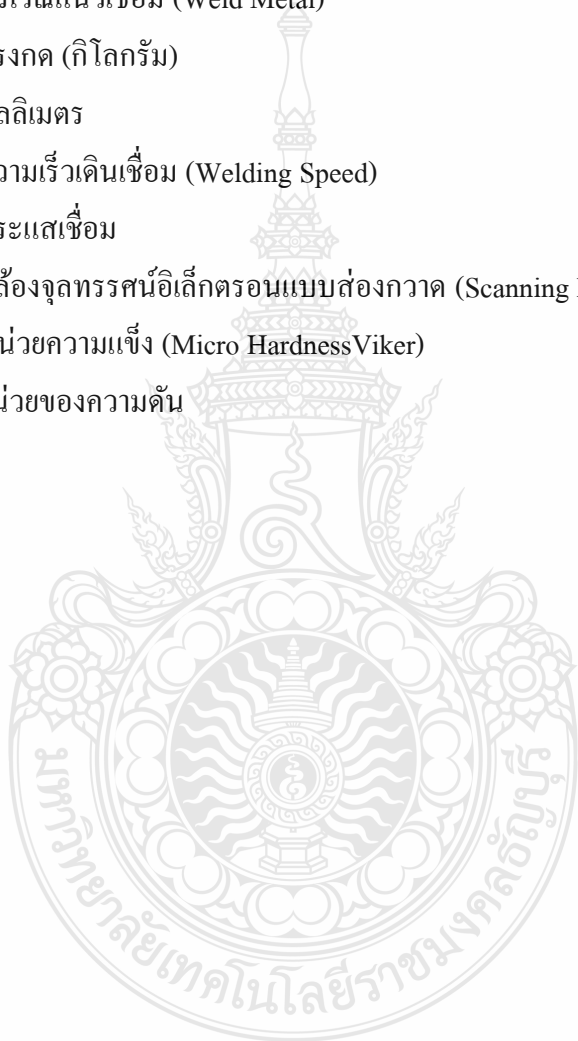
สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะ โครงสร้างจุดภาคโดยเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟเชื่อม 170-270 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 290-510 มิลลิเมตร/นาที	59
รูปที่ 4.12 แสดงโครงสร้างจุดภาค ส่วนผสมทางเคมี และสเปกตรัมของแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 510 มิลลิเมตร/นาที	60
รูปที่ 4.13 แสดงโครงสร้างจุดภาค ส่วนผสมทางเคมี และสเปกตรัมของแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที.....	62
รูปที่ 4.14 แสดงโครงสร้างจุดภาค ส่วนผสมทางเคมีและสเปกตรัมของแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 290 มิลลิเมตร/นาที	63
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบธาตุประกอบของกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ที่ความเร็วในการเชื่อม 290-510 มิลลิเมตร/นาที.....	64



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

GMAW	กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding)
BM	โลหะเดิม (Base Metal)
HAZ	บริเวณกระทบร้อน(Heat Affect Zone)
WM	บริเวณแนวเชื่อม (Weld Metal)
kgf	แรงกด (กิโลกรัม)
mm	มิลลิเมตร
mm/min	ความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed)
A	กระแสเชื่อม
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope)
HV	หน่วยความแข็ง (Micro Hardness Viker)
MPa	หน่วยของความดัน



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ความต้องการในการเพิ่มผลผลิต (Productivity) ข้าวในการทำนาเพื่อก่อให้เกิดรายได้ ปริมาณที่เพิ่มขึ้นของชาวนาไทย [1,2] เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกษตรกรนำเครื่องจักรกลเกษตรเข้าใช้ แทนแรงงานคนในการทำนา การประยุกต์ใช้เครื่องจักรเกษตรในการทำนา ยกตัวอย่างการใช้รถเกี่ยว และนวดข้าวดังรูปที่ 1(ก) ในการเกี่ยวและนวดข้าวสามารถทำให้ได้ข้าวเปลือกในระยะเวลา ไม่เกิน 10 นาที แต่หากมีการใช้แรงงานในการเกี่ยวข้าวดังรูปที่ 1(ข) อาจต้องใช้เวลา ประมาณ 1-2 สัปดาห์เพื่อให้ได้ข้าวเปลือกที่พร้อมจะนำไปทำการสีเป็นข้าวสารเพื่อบริโภค หรือส่งข้าวเปลือกออกขายเพื่อสร้างรายได้ให้แก่ครอบครัวได้ต่อไป



(ก) การเกี่ยวข้าวโดยการใช้แรงงาน [2] (ข) การเกี่ยวข้าวด้วยเครื่องเกี่ยวและนวดข้าว [3]

รูปที่ 1 การเกี่ยวข้าวในอดีตและปัจจุบัน

การใช้งานเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวในการเก็บเกี่ยวเป็นวิธีการที่สามารถลดระยะเวลาในการเตรียมเมล็ดข้าวสาร ให้ปริมาณการผลิตสูง และสามารถเพิ่มผลผลิตการทำนาให้ได้ในระดับที่พึงพอใจของชาวนา อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเกี่ยวและนวดข้าวในระยะเวลาหนึ่ง ชิ้นส่วนเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวมักเกิดการชำรุดและเสียหายส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวลดลง ตัวอย่างชิ้นส่วนที่พบการชำรุดและเสียหายและมีการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่เข้าไปทดแทน คือ ลูกโรลเลอร์ของรถเกี่ยวและนวดข้าวดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในการช่วยรักษาการเคลื่อนที่ของดินตะขาบในการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 3 โดยตำแหน่งที่เกิดการชำรุดดังรูปที่ 2 ความเสียหายของ

ลูกโรลเลอร์ อาจสามารถแยกออกได้เป็นการสึกหรือจากขัดสี (Abrasive wear) ที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนที่ผ่านของสารขัดที่ผสมในของเหลว เช่น ทรายหรือดินที่ผสมในน้ำกับผิวของโลหะ หรือการสัมผัสระหว่างโลหะและโลหะ (Metal to metal wear) เช่น การสัมผัสระหว่างผิวของลูกโรลเลอร์และตีนตะขาบ หรือการสึกหรือกระแทกระหว่างชิ้นส่วนโลหะ 2 ชิ้น (Impact wear) เช่น การกระทบระหว่างผิวของลูกโรลเลอร์และตีนตะขาบเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโรลเลอร์ลดลงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผิวของลูกโรลเลอร์และตีนตะขาบ เมื่อเกิดการเคลื่อนที่และหยุดเดินสลับกันทำให้เกิดการกระแทกกันได้ หรือการกัดกร่อนระหว่างโลหะกับความชื้นภายนอก (Corrosive wear) เป็นต้น [4]



รูปที่ 2 ลูกโรลเลอร์รุดเกี่ยวและนวดข้าว



รูปที่ 3 รถเกี่ยวและนวดข้าว [2]

เมื่อลูกโรลเลอร์เกิดการชำรุด ที่ผ่านมาช่างซ่อมเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวจะทำการถอดลูกโรลเลอร์ที่ชำรุดออกและทำการใส่ลูกโรลเลอร์ใหม่ทดแทน โดยไม่มีการซ่อมแซมผิวชำรุด ขณะเดียวกันลูกโรลเลอร์ที่ชำรุดดังรูปที่ 2 จะถูกทิ้งเป็นขยะในพื้นที่กรณีศึกษาในปริมาณสูง การเพิ่มปริมาณขยะลูกโรลเลอร์ที่ชำรุดทำให้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดในการนำเอาลูกโรลเลอร์ที่ชำรุดมาทำการซ่อมเพื่อเพิ่มปริมาณเนื้อโลหะบนผิวลูกโรลเลอร์ และเพิ่มสมบัติทางกลของผิวลูกโรลเลอร์ ให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ที่ผ่านมามีการเพิ่มปริมาณโลหะที่สูญหายไปบนพื้นผิวที่ชำรุดสามารถทำได้หลายวิธี หนึ่งในวิธีการซ่อมที่สามารถปรับปรุงและยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเกษตร ได้แก่ วิธีการเชื่อมซ่อม (Repair welding)

ในอดีตการเชื่อมซ่อมที่ประยุกต์ในการเชื่อมพอกแข็งสามารถทำได้ด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะหุ้มฟลักซ์ (Shielded metal arc welding: SMAW) [5-18] การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม [18] และการเชื่อมเลเซอร์ (Laser welding: LW) [19] วัสดุที่สามารถทำการเชื่อมซ่อมเพื่อเพิ่มปริมาณโลหะพอกแข็งอย่างมีประสิทธิภาพประกอบด้วยเหล็กกล้าผสมต่ำความแข็งแรงสูง (High Strength Low Alloy: HSLA) [5] เหล็กหล่อสีเทา (Grey cast iron) [6-8] เหล็กหล่อเหนียว [9-10] เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ [11-14, 19] เหล็กกล้าผสมหรือเหล็กพิเศษอื่นๆ [15-18] วัสดุเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมซ่อมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในโลหะฐานส่วนใหญ่เป็นวัสดุเชื่อมที่มีส่วนผสมที่ทำให้เกิดการเสริมความแข็งแรงและความ

ด้านทานการสึกหรอของเหล็กกล้า เช่น ลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมทางเคมีของโครเมียม นิกเกิล โบรอน ซิลิกอน คาร์บอน ไททาเนียม หรือโมลิบดีนัม เป็นต้น โลหะเสริมความแข็งแรงเหล่านี้มักเข้าไปรวมตัวกับส่วนผสมทางเคมีของโลหะฐานและลวดเชื่อมก่อให้เกิดเฟสคาร์ไบด์ของโลหะเสริมแรงกระจายตัวในโลหะเชื่อมพอกแข็งและส่งผลทำให้ความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมพอกแข็งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ขนาดและการกระจายตัวของเฟสคาร์ไบด์ของโลหะเสริมแรงที่เล็กละเอียด และสม่ำเสมอ เป็นหนึ่งในเหตุผลสำคัญที่ทำให้สมบัติทางกลเพิ่มขึ้นได้ [6,9,10,13,14,15] ตัวแปรการเชื่อมอาร์คที่มีการพัฒนาเพื่อการเชื่อมที่ทำให้ได้สมบัติทางกลที่ดีขึ้นของเหล็กกล้าคาร์บอน ประกอบด้วยกระแสเชื่อม ความเร็วเดินแนวเชื่อม และจำนวนชั้นของโลหะเชื่อมพอกแข็งที่เพิ่มขึ้น [11-14,19] อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเชื่อมเหล็กกล้าผสมและเหล็กหล่อ [5-10] การเชื่อมรองพื้นก่อนการเชื่อมโลหะพอกแข็ง และการควบคุมอุณหภูมิการอุ่นงาน (Pre-heat temperature) ตลอดจนอุณหภูมิระหว่างเที่ยวเชื่อม (Inter-pass temperature) เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องมีการพิจารณาเนื่องจากสามารถป้องกันการเกิดการแตกร้าว (Crack) ในโลหะเชื่อมพอกแข็ง และพื้นที่ที่กระทบร้อนได้

ดังนั้นวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดในการสำรวจลูกโรลเลอร์ฯ ที่ชำรุดและถูกถอดออกจากเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวในพื้นที่ตัวอย่าง เพื่อศึกษารูปแบบการสึกหรอ และความสามารถในการเชื่อมเพื่อกำหนดแนวทางในการเชื่อมซ่อมลูกโรลเลอร์ฯ จากนั้นทำการประยุกต์การเชื่อมอาร์คลวดไส้ฟลักซ์ในการเชื่อมซ่อมพื้นผิวลูกโรลเลอร์ฯ ที่เกิดความเสียหายให้สามารถกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการทำการเชื่อมซ่อมเพื่อเพิ่มปริมาณของโลหะพอกแข็งบนผิวลูกโรลเลอร์ฯ ซึ่งอาจส่งผลทำให้ต้นทุนในการทำนาของชาวนาลดลงและเป็นการลดขยะลูกโรลเลอร์ฯ ที่ถูกทิ้งในพื้นที่การทำนา อย่างไรก็ตามเนื่องจากการประยุกต์ การเชื่อมอาร์คลวดไส้ฟลักซ์พอกแข็งลูกโรลเลอร์รถเกี่ยวและนวดข้าว มีรายงานไว้ในปริมาณจำกัด ดังนั้นหากมีการศึกษาวิจัยถึงการซ่อมบำรุงและปรับปรุงสมบัติแล้วจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมเครื่องจักรกลเกษตรต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมซ่อมที่มีผลต่อสมบัติทางกลของผิวพอกแข็งลูกโรลเลอร์ของรถเกี่ยวและนวดข้าวที่ชำรุด

1.2.2 ศึกษาและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของลูกโรลเลอร์รถเกี่ยวและนวดข้าวที่ชำรุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 การเก็บข้อมูลลูกโรเตอร์ชำรุดในพื้นที่กรณีตัวอย่างจังหวัดสุพรรณบุรี
- 1.3.2 การเชื่อมอาร์กทวดไส้ฟลักซ์ (Flux cored arc welding : FCAW) ในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง
- 1.3.3 ทวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ กลุ่มเหล็กหลัก (Fe based)
- 1.3.4 การเชื่อมพอกผิวแข็งดินเหนวนบนลูกโรเตอร์รถเกี่ยวและนวดข้าวที่ชำรุด
- 1.3.5 ตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วย
 - กระแสไฟเชื่อม
 - ความเร็วเดินแนวเชื่อม
- 1.3.6 ศึกษาสมบัติทางกลด้วยวิธีทดสอบความต้านทานการสึกกร่อน ความแข็งไมโครวิกเกอร์
- 1.3.7 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและมหภาค

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

- 1.4.1. ทราบถึงอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมซ่อมที่มีผลต่อสมบัติทางกลของผิวพอกแข็งลูกโรเตอร์ของรถเกี่ยวข้าวที่ชำรุด
- 1.4.2. ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของชั้นพอกแข็งบนลูกโรเตอร์ของรถเกี่ยวข้าว

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาข้อมูลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเชื่อมพอกผิวแข็งของลูกโรลเลอร์ด้วยกระบวนการเชื่อมมิก โดยมีหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 เหล็กกล้าคาร์บอน[9]

เหล็กกล้าคาร์บอน คือ โลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอน ปริมาณของคาร์บอนที่เพิ่มเข้าไปในเหล็กกล้าคาร์บอนส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มความแข็งแรงดึงและความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอน การแบ่งแยกชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนอาจสามารถแบ่งแยกได้โดยการใช้แผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์ ที่แบ่งแยกเหล็กกล้าคาร์บอนออกเป็น 3 ชนิด คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่าร้อยละ 0.77 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิห้องประกอบด้วยเฟอไรต์ และเพิลไลต์ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 0.77 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิห้องประกอบด้วยเพิลไลต์(เฟอไรต์และซีเมนไตท์) และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าร้อยละ 0.77 แต่ไม่เกิน ร้อยละ 2.00 โครงสร้างจุลภาคที่อุณหภูมิห้องประกอบด้วยเพิลไลต์และ ซีเมนไตท์

การแบ่งแยกชนิดของเหล็ก โดยใช้แผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์นั้น เป็นการแบ่งแยกโดยการยึดเอาโครงสร้างจุลภาคเป็นหลัก ซึ่งเป็นวิธีการที่ค่อนข้างลำบากสำหรับวิศวกรในการนำไปใช้งานจริง ด้วยเหตุนี้สมาคมเหล็ก และเหล็กกล้าแห่งอเมริกา (American iron and steel institute: AISI) และสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งอเมริกา (American society of mechanical engineering: ASME) จึงได้คิดค้นระบบในการแบ่งกลุ่มเหล็กกล้าในการนำไปใช้งานโดยการกำหนดตัวเลขขึ้นมาใช้ในการเรียก 4 ตัว ให้ตัวเลขสองตัวแรกหมายถึงธาตุผสมหลักในเหล็กกล้า นั้น ขณะที่ตัวเลขสองตัวสุดท้ายหมายถึงปริมาณคาร์บอนในเหล็ก เช่น ตัวอย่าง เหล็กกล้า AISI1040 คือเหล็กกล้าคาร์บอน (ตัวเลข 10) ที่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.4% (ตัวเลข 40) เหล็กกล้า SAE10120 คือเหล็กกล้าคาร์บอน (ตัวเลข 10) ที่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 1.2% (ตัวเลข 120) เป็นต้น ตัวอย่างของเหล็กกล้าชนิดต่างๆ แสดงในรูปที่ 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			

รูปที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าตาม AISI และ ASME [9]

เหล็กกล้าผสม (Alloy steel) คือ เหล็กกล้าที่มีธาตุผสมหลักตัวอื่นๆ เข้ามาเพิ่ม นอกเหนือจากคาร์บอน เช่น ในตารางที่ 1 เหล็กกล้าที่ตัวเลขขึ้นต้นด้วยเลข 4 ถึง 9 มีธาตุผสมหลักอื่นๆ เช่น ซิลิกอน นิกเกิล หรือ โครเมียมเพิ่มเข้ามา เพื่อปรับปรุงสมบัติตามต้องการ ขณะที่ตัวเลขสองตัวสุดท้ายเป็นตัวแสดงปริมาณคาร์บอนในเหล็กกล้าผสมดังแสดงในเหล็กกล้าคาร์บอน

เหล็กกล้าละมุน (Mild steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณคาร์บอน 0.15-0.30% ใช้สำหรับงานก่อสร้างอาคาร ทำสะพานต่างๆ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium carbon steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณคาร์บอน 0.30-0.60% ใช้ในการสร้างชิ้นส่วนงานแม่พิมพ์ รถแทรกเตอร์ อุปกรณ์ในงานเหมืองแร่ต่างๆ เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High carbon steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณคาร์บอนมากกว่า 0.60% ใช้ในการทำสปริง ทำล้อรถไฟ เป็นต้น

มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่นกำหนดให้เหล็กกล้าคาร์บอนสำหรับโครงสร้างเครื่องจักรซึ่งผลิตจากการขึ้นรูปร้อน เช่น การรีดร้อน หรือการตีขึ้นรูปร้อน หลังจากนั้นนำไปทำการตัดการขึ้นรูป และการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน เรียกลักษณะนี้ว่าเหล็กกล้า เหล็กกล้าแบ่งกลุ่มออกเป็น 23 กลุ่มและมีสัญลักษณ์ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ส่วนผสมจากเป้าหมายลอมสารมลทินต่างๆ 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 ใช้สำหรับจุดมุ่งหมายในการทำชุบผิวแข็ง

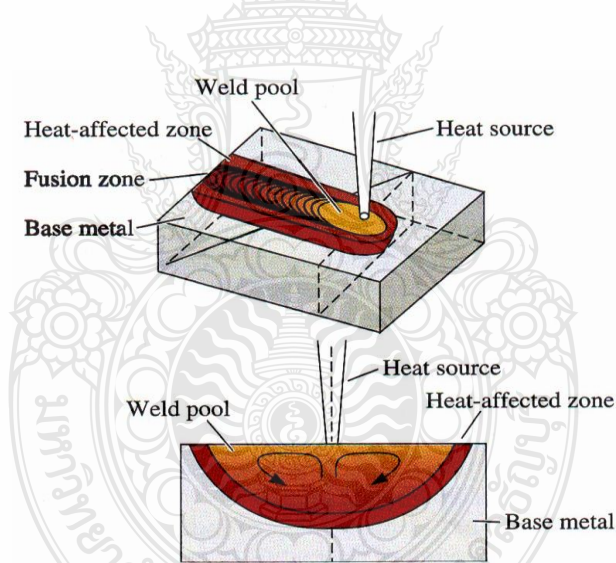
ด้วยการอบ (Case hardening) เหล็กกล้าควรทำการผลิตจากแท่งอินกอทเหล็กกล้าคิล (Killed steel ingot) และทำการรีดหรือตีขึ้นรูปจากแท่งอินกอทที่อัตราส่วนการตีขึ้นรูปไม่น้อยกว่า 4S [10]

ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์และส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้ามาตรฐาน JIS G4051 [10]

สัญลักษณ์	ส่วนผสมทางเคมี (% โดยน้ำหนัก)				
	C	Si	Mn	P	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.

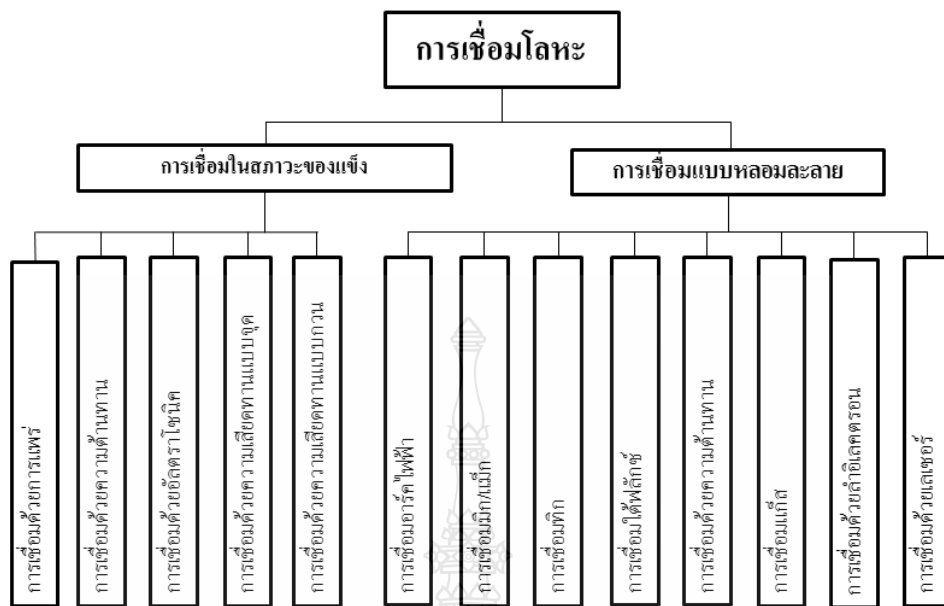
2.2. การเชื่อมโลหะ [11]

การเชื่อมโลหะ คือ การต่อชิ้นโลหะเข้าด้วยกันโดยอาศัยความร้อนในการหลอมละลายรอยต่อระหว่างโลหะสองชิ้นให้หลอมละลายเข้าด้วยกันและเปลี่ยนเป็นโลหะชิ้นเดียวกัน โดยบริเวณรอยต่อเกิดการหลอมละลายเข้าด้วยกันนั้น อาจเติมโลหะผสมบางตัวในลักษณะที่เรียกว่า ลวดเชื่อม (Filler metal) ลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติบางตัวในแนวเชื่อมให้ดีขึ้น ความร้อนจากแหล่งจ่ายความร้อน (Heat source) ถูกส่งผ่านไประหว่างโลหะ ทำให้เกิดการหลอมละลายรวมกันที่บริเวณบ่อเชื่อม (Weld pool) และเคลื่อนที่แหล่งให้ความร้อนไปตามแนวรอยต่อทำให้เกิดแนวเชื่อมขึ้น โดยบริเวณบ่อเชื่อมหรือพื้นที่หลอมละลาย (Fusion zone) นี้ก่อให้เกิดการแข็งตัวเป็นแนวเชื่อมที่มีโครงสร้างแตกต่างจากโลหะหลัก (Base metal) ในการเชื่อมพื้นที่สำคัญอีกพื้นที่ที่มีความสำคัญคือพื้นที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (Heat affected zone) พื้นที่นี้อยู่ถัดออกไปจากพื้นที่การหลอมละลาย ไม่มีการหลอมละลาย แต่ความร้อนที่เกิดจากพื้นที่หลอมละลายทำให้โครงสร้างบริเวณนี้เกิดการเปลี่ยนแปลง และส่งผลทำให้สมบัติของโลหะเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.2 หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ [12]

การเชื่อมในปัจจุบันได้แบ่งการเชื่อมออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion welding) และการเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid state welding) การเชื่อมแบบหลอมละลายเรียกว่า การเชื่อมหลอมละลายแบบดั้งเดิม (Conventional fusion welding) ความหมายของการเชื่อมแบบหลอมละลายนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี ขณะที่การเชื่อมในสภาวะของแข็ง คือ การเชื่อมในสภาวะที่โลหะหลักไม่เกิดการหลอมละลาย แต่อาศัยความร้อนจากแรงทางกลทำให้โลหะเกิดการเชื่อมประสานกัน



รูปที่ 2.3 กระบวนการเชื่อมโลหะ [11]

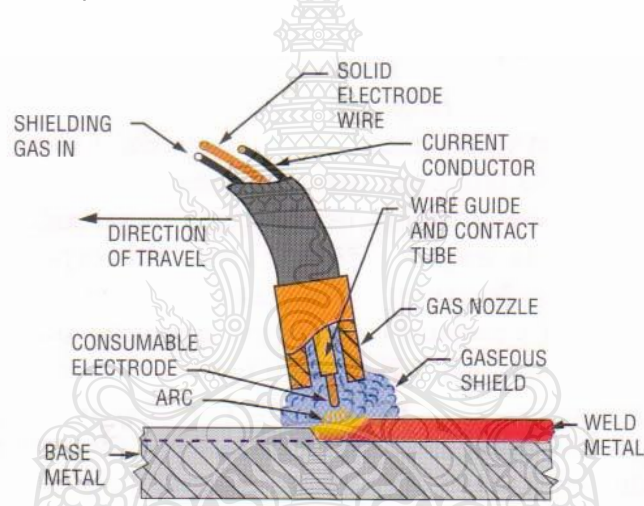
2.3. การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม[12]

เป็นการเรียกชื่อโดยรวมและจะใช้ชื่อแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของแก๊สคลุม เช่น การเชื่อมมิก (Metal inert gas arc welding: MIG) จะใช้แก๊สอาร์กอน (Ar) แก๊สฮีเลียม (He) หรือแก๊สผสมระหว่างอาร์กอนและฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมขณะเชื่อม การเชื่อมแม็ก (Metal active gas arc welding: MAG) เป็นการพัฒนาโดยการนำเอาแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ หรือแก๊สอื่นๆ มาผสมกับแก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สคลุมขณะเชื่อม ส่วนการเชื่อม CO₂ คือการใช้แก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์เป็นแก๊สคลุมขณะเชื่อมเพียงอย่างเดียว

กรรมวิธีการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ลวดเชื่อมจะถูกหลอมเหลวและเติมเนื้อโลหะเชื่อม เหมือนกับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ทั่วไป เพียงแต่การเชื่อมแบบ GMAW จะใช้แก๊สคลุมขณะเชื่อมแทนการใช้ฟลักซ์ ดังนั้น จึงไม่มีสแลกปกคลุมภายหลังการเชื่อม โดยกระแสเชื่อมจากเครื่องเชื่อมจะถูกส่งไปสู่ท่อนำลวดภายในหัวเชื่อม ผ่านไปยังลวดเชื่อมสู่ชิ้นงาน ลวดเชื่อมจะทำหน้าที่เป็นตัวอาร์กและหลอมละลายรวมกับชิ้นงานเป็นการเติมเนื้อโลหะชุดป้อนลวดทำหน้าที่ขั้วดันลวดเชื่อมไปสู่การอาร์กด้วยความเร็วที่สัมพันธ์กับการหลอมละลายของลวดเชื่อมด้วยชุดควบคุมกระแสเชื่อมของเครื่องเชื่อม

ในกรรมวิธีการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ความร้อนที่หลอมลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานจะเกิดจากการอาร์กระหว่างปลายลวดเชื่อมเปลือยกับชิ้นงานเชื่อมการอาร์กจะเกิดขึ้นได้เมื่อ

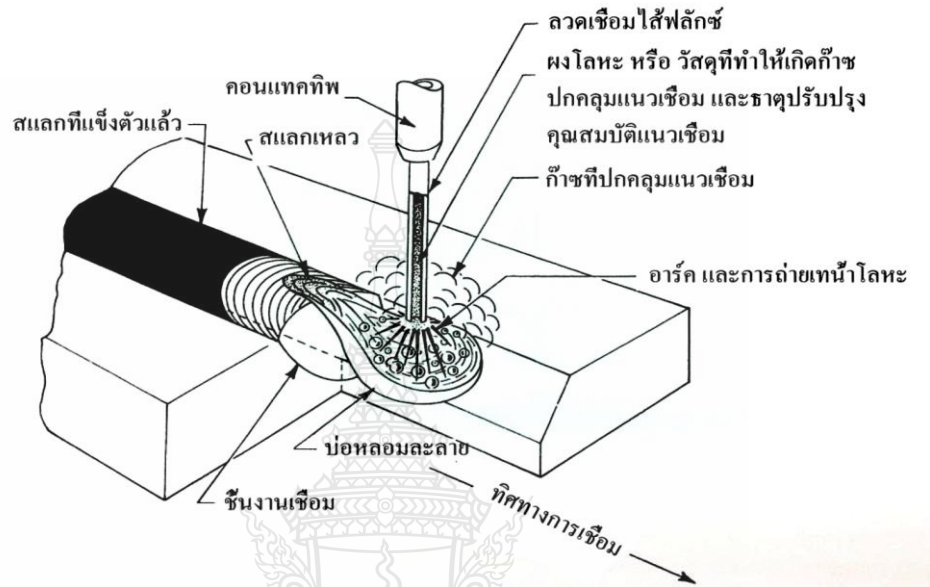
กระแสไฟฟ้าไหลผ่านกลุ่มอะตอมของแก๊สที่มีประจุไฟฟ้า (Ionized gas) โมเลกุลและอะตอมของแก๊สจะแตกตัวออกทำให้มีสภาพไม่เป็นกลาง (Ionized) เพราะสูญเสียอิเล็กตรอนไปจากประจุไฟฟ้าบวก (Positive charge) อีออนแก๊สที่เป็นบวกจะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ส่วนอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ปริมาณความร้อนประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ จะถูกส่งผ่านโดยอิเล็กตรอนและคงจะเป็นการส่งผ่านของ อีออนบวก (Positive ion) ความร้อนจากการอาร์กจะหลอมลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงาน ปลายลวดเชื่อมส่วนที่หลอมจะถูกถ่ายโอน (Transfer) ผ่านการอาร์กเข้าสู่บ่อหลอมเหลว บริเวณกระแทกร้อนและลวดเชื่อมจะถูกปกคลุมให้พ้นจากบรรยากาศรอบนอก โดยแก๊สที่ไหลพุ่งออก จากหัวเชื่อม แสดงในรูปที่ 8 ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการอาร์กของกระบวนการเชื่อมนี้จะสูงกว่าการเชื่อมอาร์กแบบอื่นๆ



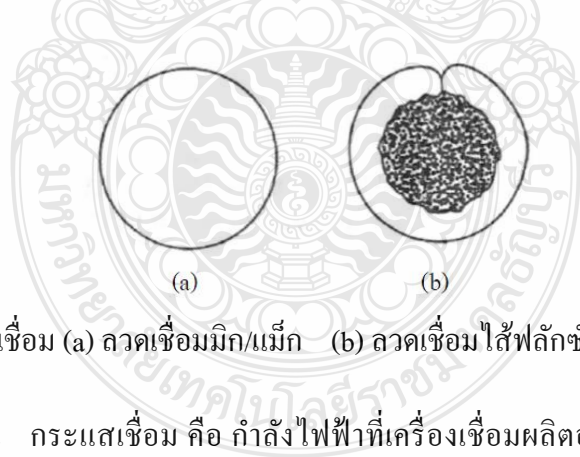
รูปที่ 2.4 การอาร์กของการเชื่อมแบบ GMAW [12]

2.2.1 กระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดไส้ฟลักซ์ [13] (Flux cored wire arc welding: FCAW) หรือการเชื่อมแบบฟลักซ์คอร์ ดังรูปที่ 2.4 ปรากฏขึ้นในช่วงปี ค.ศ.1920 ซึ่งใช้เชื่อมพอกผิวแข็งเพื่อป้องกันการสึกหรอ (Wear resistant hardfacing) กระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โดยทั่วไปจะเหมือนกับกระบวนการเชื่อมมิก/แม็ก เพียงแต่ลวดเชื่อมที่ใช้จะมีฟลักซ์บรรจุอยู่ภายในแทนที่จะเป็นลวดตัน โดยการใส่ฟลักซ์ที่เป็นธาตุผสม (Alloying constituents) ในแกนของลวดเชื่อมโลหะ ซึ่งฟลักซ์เหล่านี้จะเหมือนกับฟลักซ์ที่หุ้มลวดเชื่อม ในการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ จะทำหน้าที่ป้องกันบ่อหลอมสัมผัสกับอากาศ หลักการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์

โดยทั่วไปจะเหมือนกับกระบวนการเชื่อมมิก/แม็ก แตกต่างกันที่ลวดเชื่อมเป็นลวดตัน (Solid wire) กับลวดที่มีผงฟลักซ์บรรจุอยู่ข้างในลวด



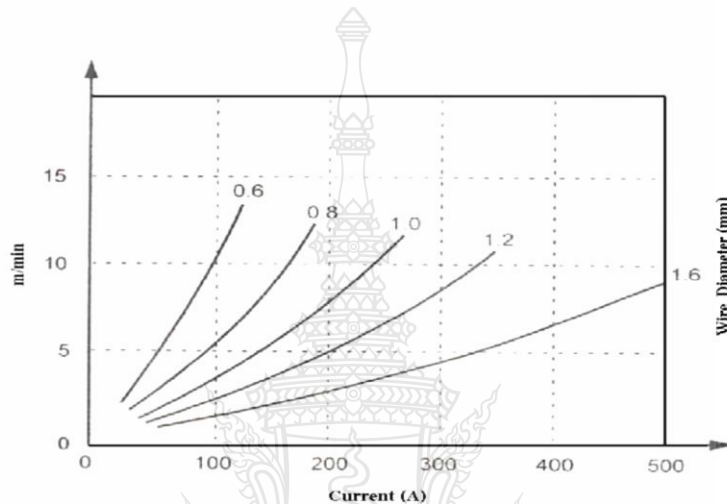
รูปที่ 2.5 กระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์ โดยใช้ลวดเชื่อมชนิด Self Shielded [13]



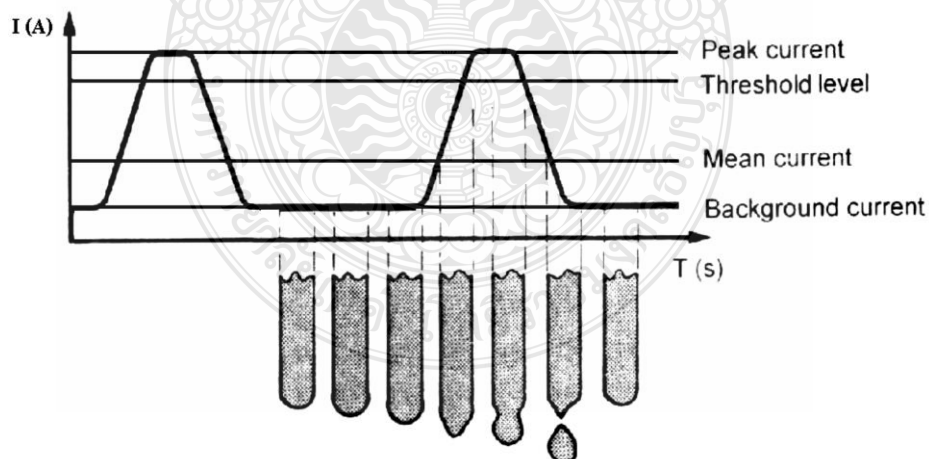
รูปที่ 2.6 หน้าตัดลวดเชื่อม (a) ลวดเชื่อมมิก/แม็ก (b) ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ [13]

2.2.2 กระแสเชื่อม คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องเชื่อมผลิตออกมา ซึ่งสามารถอ่านได้โดยตรงจากแอมป์มิเตอร์ของเครื่องเชื่อมในกระบวนการเชื่อมมิก/แม็ก กระแสเชื่อมจะสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วของการป้อนลวด (Wire feeder) ถ้าป้อนลวดเร็วขึ้นกระแสเชื่อมที่ผลิตออกมาก็จะมากขึ้นด้วย แต่ถ้าป้อนลวดช้าลงกระแสเชื่อมก็จะลดลงเช่นกัน โดยในกระบวนการเชื่อมดังกล่าวสามารถแบ่งชนิดของกระแสเชื่อม เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทดังนี้

- กระแสเชื่อมแบบมาตรฐาน (Standard arc current) กระแสเชื่อมแบบมาตรฐาน เป็นลักษณะของกระแสเชื่อมโดยทั่วไป ซึ่งกระแสในขณะที่เชื่อมโดยเฉลี่ยตลอดการเชื่อมจะมีค่าคงที่ สำหรับกระบวนการเชื่อมแม่เหล็ก กระแสเชื่อมจากเครื่องเชื่อมจะถูกส่งไปสู่ท่อนำลวดภายในหัวเชื่อม ผ่านไปยังลวดเชื่อมสู่ชิ้นงาน ซึ่งการกำหนดค่ากระแสในการเชื่อม ในทางปฏิบัติ จะนิยมตั้งค่ากระแสเชื่อมโดยพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดที่ใช้เชื่อม หรือจากความหนาของชิ้นงานเชื่อมเป็นหลัก



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมกับความเร็วในการป้อนลวด [12]



รูปที่ 2.8 รูปแบบของกระแสเชื่อมแบบพัลส์ [12]

- กระแสเชื่อมแบบพัลส์ (Pulsed arc current) กระแสเชื่อมแบบพัลส์ เป็นกระแสที่เกิดจากการเปิดปิดวงจร (Switching) ระหว่างกระแสต่ำสุดกับกระแสสูงสุด ดังนั้น ในเครื่องเชื่อมตัวเดียว

จึงมีต้นกำลังแยกออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่ให้กระแสต่ำสุด (Background current) และส่วนที่ให้กระแสสูงสุด (Peak current) เพื่อให้ได้กระแสพัลส์ที่เหมาะสม การตั้งค่ากระแสในการเชื่อมจะต้องตั้งค่ากระแสสูงสุดให้สูงกว่าระดับกระแสช่วงเปลี่ยน (Threshold level) ของการถ่ายโอนแบบละออง และค่าของกระแสต่ำสุดต้องตั้งในช่วงการถ่ายโอนแบบหยด ในขณะที่อาร์กช่วงกระแสค่าสูงจะเป็นการถ่ายโอนน้ำโลหะให้พุ่งเข้าสู่บ่อหลอมละลายโลหะถูกแรงบีบรัดแยกตัวออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านอาร์กสู่บ่อหลอมเหลวที่วงรอบพัลส์และเกิดขึ้นซ้ำๆกันอย่างต่อเนื่องลงสู่บ่อหลอมละลาย ส่วนช่วงกระแสค่าต่ำจะเป็นการรักษาการอาร์กให้คงที่และต่อเนื่อง

2.2.3 แก๊สคลุมในกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ขณะที่เกิดการอาร์กอากาศที่ปกคลุมรอบๆ บริเวณการอาร์กจะถูกแทนที่ด้วยแก๊สคลุมเพื่อป้องกันไม่ให้ แก๊สไนโตรเจน (N) แก๊สออกซิเจน (O_2) และความชื้นในบรรยากาศเข้าไปรวมตัวกับบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อม การเชื่อมเหล็กกล้าที่มีแก๊สออกซิเจนมากเกินไป จะทำให้แก๊สออกซิเจนรวมตัวกับคาร์บอนในเหล็ก และจะอยู่ในรูปของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ฟุ้งอยู่ในเนื้อเหล็กทำให้เกิดเป็นรูพรุน ส่วนแก๊สไฮโดรเจน (H_2) จากไอน้ำและน้ำมันจะแทรกอยู่ในเนื้อเหล็กเกิดเป็นรูพรุนหรือเป็นสาเหตุของการแตกร้าวได้แนวเชื่อม ซึ่งจากสาเหตุของการรวมตัวของแก๊สดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยใช้ แก๊สคลุม โดยแก๊สคลุมที่ใช้ในงานเชื่อมมี 2 กลุ่ม คือ

- กลุ่ม 1 แก๊สเฉื่อย (Inert gas) เป็นแก๊สที่ไม่เกิดปฏิกิริยารวมตัวกับสารอื่น ได้แก่ แก๊สอาร์กอน (Argon: Ar) และแก๊สฮีเลียม (Helium: He) หรือแก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สฮีเลียม แก๊สดังกล่าวสามารถใช้ได้เลยโดยไม่ต้องผสมกับแก๊สอื่น หรืออาจผสมกับแก๊สอื่นเพื่อให้แนวเชื่อมมีสมบัติที่ดีขึ้น

- กลุ่ม 2 แอคทีฟแก๊ส (Active gas) ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide: CO_2) หรือเป็นแก๊สผสมกันระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแอคทีฟแก๊สบางตัว เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊สไนโตรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือแก๊สไฮโดรเจน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่การเชื่อม 3 ประการ คือ การทำให้อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าแตกตัวให้อิออน (Ionization potential) เป็นการสร้างพลังงานที่จำเป็นในการดึงเอาอิเล็กตรอน (Electron) ออกจากอะตอมของแก๊ส (Gas atom) การแตกตัวของอิออน ณ อุณหภูมิของการอาร์กจะมีผลต่อการส่งถ่ายพลังงานความร้อน (Heat energy) ไปยังบริเวณที่เกิดการอาร์กของพลังงาน (Ionization potential) ที่

สูงขึ้น ซึ่งต้องใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงในการทำให้อะตอมของแก๊สแตกตัวให้อิออนมาก ตัวอย่างกรณีแก๊สฮีเลียมซึ่งมีค่า Ionization potential 1 24.5 eV หมายความว่า ต้องใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24.5 โวลต์ ในการทำให้อะตอมของแก๊สฮีเลียมแตกตัวสูงกว่าแก๊สอาร์กอนซึ่งมีค่า Ionization Potential ที่ 15.7 eV [12]

ดังนั้นการใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมจะทำให้เริ่มต้นอาร์กได้ง่ายกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สคลุม การนำความร้อน (Thermal conductivity) สำหรับแก๊สคลุมบางชนิดมีความสามารถในการนำความร้อนที่ต่ำ เช่น แก๊สอาร์กอน จะส่งผลทำให้การอาร์กเกิดความเข้มข้นสูงเฉพาะจุดและเป็นบริเวณแคบ ขณะที่แก๊สฮีเลียมมีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดีเลิศ จึงเป็นเหตุให้เปลวอาร์กที่ได้จากการใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมสามารถแผ่ขยายกว้างและในขณะเดียวกันศูนย์กลางของเปลวอาร์กจะเจาะทะลุลงไปยังส่วนล่างของรอยเชื่อม ส่งผลทำให้แนวเชื่อมที่ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมสามารถหลอมลึกกว่าการใช้แก๊สอาร์กอน การทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม (Reactivity) แก๊สอาร์กอนจัดเป็นแก๊สเฉื่อย ดังนั้นจึงไม่มีการทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อมแต่อย่างใด แก๊สที่ทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลาย ได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน (Hydrogen) เป็นแก๊สที่ดึงเอาคาร์บอนให้เกิดขึ้นให้น้อยลงและลดยุทที่จะไปรวมตัว กับบ่อหลอมละลาย แต่อย่างไรก็ตามแก๊สไฮโดรเจนถ้าใช้เป็นส่วนผสมของแก๊สคลุมในการเชื่อมเหล็กแข็ง (Hardened Steel) จะส่งผลเสียต่องานเชื่อม เช่น เกิดการแตกร้าวใต้แนวเชื่อม (Under bead cracking) ได้ง่าย หรือแก๊สออกซิเจน (Oxygen) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) แก๊สทั้งสองจัดอยู่ในกลุ่มของแก๊สทำปฏิกิริยา (Reactive gas) เรียกว่า Oxidizers gas จะทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลายในรูปของออกไซด์ (Oxides) หรือแก๊สไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นแก๊สที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงและกระแสเชื่อมสูงจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีเนื่องจากไม่ใช่แก๊สเฉื่อย ดังนั้น ในขณะที่เชื่อมจะทำปฏิกิริยากับเหล็กคาร์บอน (Carbon steel)[12]

2.2.4 ลวดเชื่อมที่ใช้สำหรับพอกผิวแข็งมาตรฐานเยอรมัน [14] มาตรฐานลวดเชื่อมเยอรมัน (DIN 8555) เป็นมาตรฐานลวดเชื่อมเติมประกอบด้วย แท่งลวด (Filler Wire) เส้นลวด อิเล็กโทรด (Filler Rods) และลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ (Cover Electrode) ซึ่งลวดเติมทำด้วยเหล็กกล้าไม่ผสมเหล็กกล้าผสม โลหะผสมแข็ง โลหะแข็ง และโลหะผสมนอกกลุ่มเหล็ก ที่ใช้สำหรับพอกผิวโลหะ การแบ่งประเภทลวดเติม Rods และ Wires แบ่งประเภทตามส่วนผสมทางเคมีของ

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ และไส้ฟลักซ์ จะแบ่งตามสมบัติทางเคมีของเนื้อเชื่อม และสัญลักษณ์ของลวดเชื่อม ดังต่อไปนี้

1. รหัสแสดงกลุ่มของธาตุผสม แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทของโลหะเติมลวดเชื่อมมาตรฐานเยอรมัน (DIN 8555)[14]

Alloy Group	ชนิดของโลหะเติมหรือเนื้อเชื่อม
1	เหล็กกล้าไม่ผสมมีคาร์บอนสูงขึ้นไปจนถึง 4% หรือเหล็กกล้าผสมต่ำที่มีคาร์บอนสูงจนถึง 0.4% และธาตุผสมอื่นๆรวมกันไม่เกิน 5% ได้แก่ ธาตุ Cr Mn Mo และ Ni
2	เหล็กกล้าไม่ผสมมีคาร์บอนผสมมากกว่า 0.4% หรือเหล็กกล้าผสมต่ำที่มีคาร์บอนมากกว่า 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 (ออสเทนไนต์) แมงกานีส 11-18% คาร์บอนมากกว่า 0.5% และ นิกเกิลไม่เกิน 3.0%
8	Cr-Ni-Mn (ออสเทนไนต์)
9	เหล็กกล้า Cr-Ni (มีความต้านทานต่อสนิม กรดและความร้อน)
10	เหล็กกล้าผสมคาร์บอนสูงและ โครเมียมสูง โดยไม่ผสมคาร์ไบด์
20	โลหะผสมโคบอลต์หลัก ธาตุผสม Cr-W อาจเติมหรือไม่เติม Ni และ Mo
21	โลหะผสมคาร์ไบด์ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ อัดโลหะผง หล่อหรือแกนลวด
22	โลหะผสมนิกเกิลหลัก ธาตุผสม Cr Cr-B
23	โลหะผสมนิกเกิลหลัก ธาตุผสม Mo อาจผสมหรือไม่ผสมโครเมียม
30	โลหะผสมทองแดงหลัก ธาตุผสมดีบุก
31	โลหะผสมทองแดงหลัก ธาตุผสมอลูมิเนียม
32	โลหะผสมทองแดงหลัก ธาตุผสมนิกเกิล

2. รหัสเกี่ยวกับโลหะเติม

- รหัสแสดงกระบวนการเชื่อม

G = การเชื่อมแก๊ส

E = การเชื่อมอาร์คด้วยมือ

MF = Metal-Arc Welding ใช้ลวดไส้ฟลักซ์

TIG = การเชื่อม TIG

MSG = Metal Shielding Gas Welding

UP = การเชื่อมใต้ฟลักซ์

- รหัสอักษรระบุกรรมวิธีการผลิตโลหะเติมวิธีการผลิตโลหะเติมกำหนดด้วยสัญลักษณ์ต่อไปนี้

GW = การรีด

Go = การหล่อ

GZ = การดึงลดขนาด

GS = การอัดด้วยโลหะผง

GF = แกนลวดมีไส้

UM = แกนลวดมีฟลักซ์หุ้มภายนอก

สมบัติของธาตุผสมในลวดเชื่อมพอกแข็งสมบัติที่สำคัญของวัสดุที่มีอยู่ในลวดเชื่อมพอกแข็งแต่ละชนิดคือ ต้องมีความแข็ง และทนต่อการสึกหรอ ตลอดจนมีความเหนียวพอสมควร ขึ้นรูปหรือตกแต่งผิวได้ง่าย ซึ่งสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับธาตุผสมต่างๆ ที่เติมลงไปในวัสดุลวดเชื่อมพอกแข็งธาตุผสมต่างๆเหล่านี้มีผลทำให้เกิดโครงสร้างแบบต่างๆเช่น มาร์เทนไซต์ ออสเทนไนต์คาร์ไบด์ โครงสร้างที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมพอกแข็งนั้น จะทำให้วัสดุบางชนิดที่หลอมรวมกับ ออสเทนไนต์จะ ช่วยเพิ่มความแข็ง เมื่อนำเหล็กเหล่านั้นไปชุบแข็ง ธาตุบางชนิดจะทำให้เกิดคาร์ไบด์ ซึ่งสามารถเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ มีดังนี้

1. คาร์บอน (C) ความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่อคาร์บอนเพิ่ม ความเหนียวและความยืดหยุ่นจะลดลง ทนแรงกระแทกได้น้อยแต่ทนการสึกหรอได้ดี ตัดแต่งได้ยากขึ้น ความสามารถในการเชื่อมลดลง

2. โครเมียม (Cr) ช่วยเพิ่มความแข็ง ขณะที่ความเหนียวและการทนต่อแรงกระแทกลดลง ความสามารถในการชุบแข็งและความต้านทานการสึกหรอจะเพิ่มขึ้น

3. ทังสเตน (W) มีความสามารถในการทำให้แข็งดีขึ้นเล็กน้อย มีสมบัติใกล้เคียงกับโครเมียมเมื่อใช้ปริมาณมากจะทำให้เกิดคาร์ไบด์ซึ่งมีความแข็งสูง ทนต่อการกัดกร่อนและความต้านทานการสึกหรอได้ดี

4. นิกเกิล (Ni) ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความแข็ง ทนต่อการกัดกร่อน ความต้านทานแรงกระแทก และความสามารถในการชุบแข็งโดยไม่ลดความเหนียว

5. โมลิบดีนัม (Mo) ช่วยเพิ่มความสามารถและความลึกในการชุบแข็ง ความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง ช่วยให้เกิดการจับตัวของคาร์ไบด์อย่างแน่นหนา

6. วานาเดียม (V) ช่วยให้มิกโรเกรนมีความละเอียดและแน่น เพิ่มความสามารถในการชุบแข็งและความแข็งเมื่อได้รับความร้อน

7. แมงกานีส (Mn) สมบัติคล้ายนิกเกิลมีความแข็งแต่เปราะ และช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง มีความต้านทานการสึกหรอลดการเสียรูปในระหว่างการอบชุบด้วยความร้อน

8. นีโอเบียม (Nb) ทำให้ไม่เกิดสนิม และทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และทำให้มีความแข็งแรงและทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น

9. โบรอน (B) ช่วยดึงโครเมียมรวมตัวกับคาร์บอนเป็นโครเมียมคาร์ไบด์

2.4 การทดสอบสมบัติทางกล

2.4.1 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test) [15] วัสดุโลหะส่วนใหญ่เป็นการทดสอบแบบ Brinell หรือ Rockwell ส่วนการทดสอบแบบอื่นคือการทดสอบแบบ Vickers, Monotron, Rockwell superficial และเครื่องทดสอบ Herbert จะใช้ในการทดสอบโลหะที่มีความแข็งสูง หรือเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบผิวแข็ง ในการทดสอบความแข็งบางครั้ง ต้องทำการทดสอบกับวัสดุที่เล็ก และบางมาก หรือวัสดุที่มีระดับความแข็งแตกต่างกันที่พื้นผิวบริเวณแคบๆ

การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers Test) จะใช้หัวกดที่ทำจากเพชรรูปทรงพีระมิด (Square-Based Diamond Pyramid) ที่มีมุม 136 องศา ระหว่างด้านของหน้าเพชร ดังรูปที่ 2.9 แรงที่ใช้กดต่างๆ ไปจะนิยมเลือกใช้ระหว่าง 2-1,000 นิวตัน ทั้งนี้ก็ยังขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาทดสอบ ค่าความแข็งจะหาได้จากอัตราส่วนของแรงที่ใช้ในการกดต่อพื้นที่ของขนาดรอยกดมีหน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (mm^2) โดยหาได้จากเส้นทแยงมุมของรอยกดแล้วแทนค่าลงในสมการดังต่อไปนี้

$$HV = \frac{1.854F}{d^2} \quad \text{มีหน่วยเป็น Kg/mm}^2$$

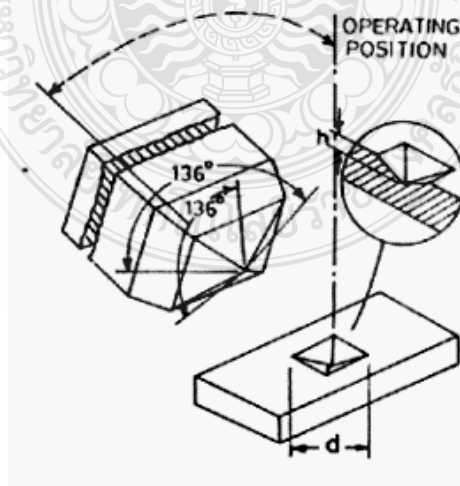
โดย F = Applied load, (Kg)

D = Diagonal length of square-impression, (mm)

เงื่อนไขในการทดสอบความแข็งแบบ Vickers

1. ผิวชิ้นทดสอบจะต้องเรียบ ปราศจากออกไซด์วัสดุชนิดอื่นๆ เช่น สารหล่อลื่นทุกชนิด
2. ความหนาของชิ้นทดสอบจะต้องเพียงพอที่ไม่ให้เกิดรอยใต้ผิวชิ้นทดสอบ กำหนดให้ความหนาต่ำสุด เท่ากับ 1.5 เท่าของขนาดเส้นทแยงมุมรอยกด d
3. ตามเกณฑ์จะทดสอบที่อุณหภูมิระหว่าง 10 หรือ 35 องศาเซลเซียส
4. ระยะห่างระหว่างรอยกด ให้ถือเกณฑ์ดังนี้
5. เหล็กกล้า ทองแดง และทองเหลือง อย่างน้อยที่สุด 3 เท่าของความยาวเฉลี่ยเส้นทแยงมุมรอยกด
6. โลหะเบา เช่น ดีบุก ตะกั่ว อย่างน้อยที่สุด 6 เท่าของความยาวเฉลี่ยเส้นทแยงมุมรอยกด

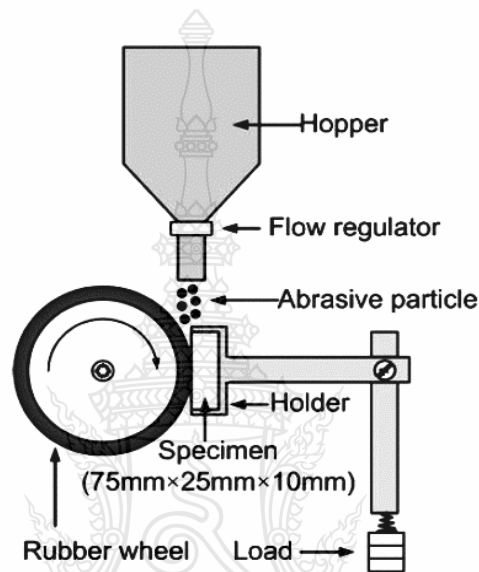
หน่วยที่ใช้วัด คือ VICKERS (HV) หรือ Diamond Pyramid Hardness เนื่องจากหัวกดเป็นเพชรรูปทรงพีระมิด ทำมุม 136 องศา ใช้แรงกดตั้งแต่ 2 – 1,000 นิวตัน โดยใช้เวลาในการกด 10 - 15 วินาที และรอยกดจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส [15] ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 หัวกดรูปทรงพีระมิดและรอยกด [15]

2.4.2 การทดสอบการสึกหรอแบบล้อยาง (Dry Sand Rubber Wheel: DSRW) [17]

ตามมาตรฐาน ASTM G65 เป็นการทดสอบประเภทขัดถู (Abrasive wear) หลักการทำงานคือ ชิ้นงานจะถูกน้ำหนักรวดเข้าหาด้านข้างของล้อยาง ขณะที่ผงขัดมีขนาด 50-70 mesh (200-300 ไมโครเมตร) ถูกปล่อยให้ตกอย่างอิสระตามแรงโน้มถ่วงของโลกเข้าระหว่างผิวสัมผัสของชิ้นงาน กับล้อยาง



รูปที่ 2.10 เครื่องทดสอบการสึกหรอ [17]

2.4.4 การตรวจสอบโครงสร้างในระดับมหภาค (Macroscopic examination)[18]

เป็นการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาของตัวอย่างชิ้นงาน โดยใช้กำลังขยายต่ำกล่าวคือ เมื่อเตรียมชิ้นงานโดยการขัดหยาบ ขัดละเอียด ขัดเงา (Polishing) และกัดกรด (Etching) แล้วสามารถตรวจสอบได้โดย ตาเปล่า (Visual inspection) หรืออาจใช้กำลังขยายได้ไม่เกิน 10 เท่า วิธีการทำการกัดชิ้นรอยสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macroetching) ของโลหะหรือโลหะผสมประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

- 1) เลือกตัวอย่างของโลหะให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการจะตรวจสอบ เช่น ถ้าต้องการตรวจสอบการชุบแข็งผิว ก็เลือกตัดเอาชิ้นส่วนที่มีผิวด้านนอกอยู่ด้วย หรือถ้าชิ้นงานโลหะทั้งชิ้นมีขนาดเล็ก แต่ถ้าสามารถหยิบถือได้ง่ายก็สามารถใช้เป็นชิ้นงานตัวอย่างได้
- 2) เตรียมผิวให้เหมาะสมด้วยการขัดผิวให้เรียบ และปราศจากคราบไขมัน และสิ่งสกปรก

3) นำชิ้นงานตัวอย่างจุ่มลงในสารละลายการกัดชิ้นรอย (Etchant) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม เช่น เวลาและอุณหภูมิแล้วล้างแอลกอฮอล์และเป่าให้แห้งภายหลังจากการทำ Macroetching สิ่งที่สามารถสังเกตเห็นได้แก่ ลักษณะและการเรียงตัวของเกรน ความไม่ต่อเนื่องของโครงสร้างในชิ้นงาน ความไม่สม่ำเสมอในโครงสร้าง รูพรุนในภายในชิ้นงาน เป็นต้น

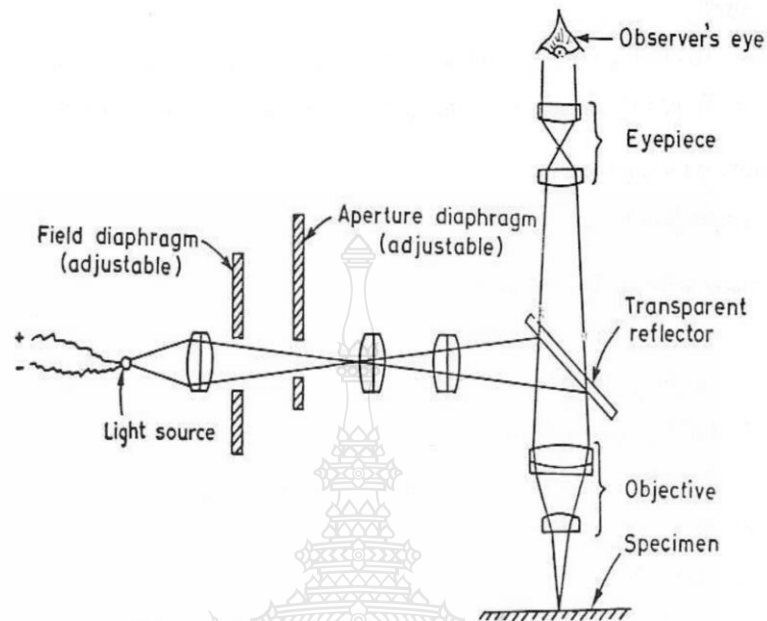
2.3.5 การตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาค (Micro-scopic examination)[19] เป็นการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงานโลหะโดยใช้กำลังขยายที่สูงขึ้น ซึ่งอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาค มีอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

1) กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหะวิทยา (Metallurgical microscope)[19] หรือกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) โดยจะมีกำลังขยายอยู่ระหว่าง 10-1,000 เท่า ที่กำลังขยายสูงช่วยทำให้การจำแนกชนิดของเฟส (Phase) โครงสร้าง (Structure) ที่ปรากฏอยู่รวมถึงลักษณะรูปร่าง และขนาดของเฟส หรือโครงสร้างนั้นๆ การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

- เลือกตัวอย่างชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค
- เตรียมผิวชิ้นงานโดยการขัดด้วยกระดาษทราย โดยเรียงลำดับตั้งแต่ระดับความหยาบไปจนถึงละเอียด (เบอร์ 220, 320, 400, 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ) หลังจากนั้นจึงนำไปขัดเงา/มัน (Polishing) ด้วยผงอะลูมินา (Al_2O_3)
- นำชิ้นงานที่ผ่านการขัดหยาบ ละเอียด และขัดมันแล้วไปกัดกรด หรือกัดชิ้นรอย (Etching) โดยเลือกน้ำยากัดกรด/กัดชิ้นรอย (Etching reagent) ให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถจำแนกแยกแยะ และวิเคราะห์โครงสร้างที่มีอยู่ในชิ้นงานนั้นๆ แล้วศึกษาโครงสร้างดังกล่าวโดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

ตารางที่ 2.2 น้ำยากัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E304[20]

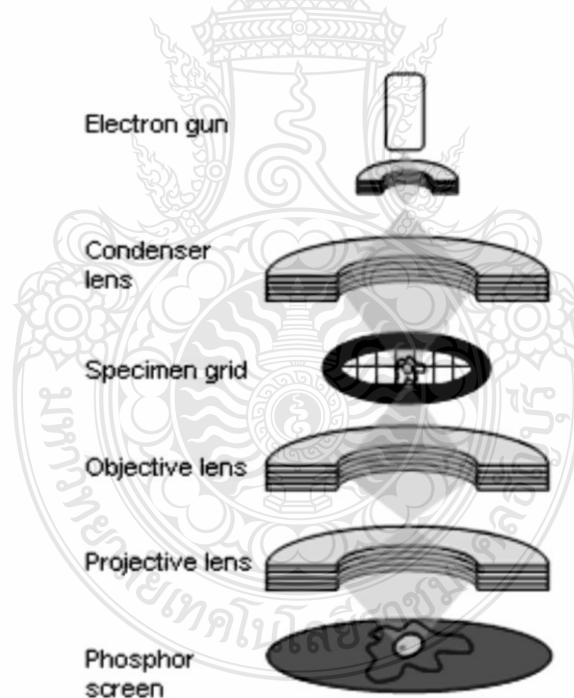
น้ำยากัดผิวชิ้นงานทดสอบ	ส่วนผสม	โลหะที่ตรวจสอบ	การใช้งาน
กรดไนตริกและไฮโดรคลอริก (Nitric acid and Hydrochloric)	กรดไนตริก (HNO_3) 3 มิลลิลิตร, ไฮโดรคลอริก (HCl) 10 มิลลิลิตร และ เมทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร	เหล็กกล้าคาร์บอน	จุ่มชิ้นตรวจสอบ นาน 10-30 วินาที



รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง[21]

2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope)[21] เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงในการตรวจสอบวัตถุแทนแสงธรรมดา เนื่องจากความยาวคลื่นของลำอนุภาคอิเล็กตรอนนั้นสั้นกว่าความยาวคลื่นแสงถึง 100,000 เท่า ทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถให้ประสิทธิภาพของกำลังขยาย และการแจกแจงรายละเอียดได้เหนือกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยสามารถแยกรายละเอียดของวัตถุที่เล็กขนาด 10 อังสตรอม หรือ 0.1 นาโนเมตร (กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงจะแจกแจงรายละเอียดได้ประมาณ 0.2 ไมโครเมตร) จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีกำลังขยายสูงมากถึง 500,000 เท่า และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมี 2 ชนิด ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน(TEM) และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) - กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน(TEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างเครื่อง TEM เหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์

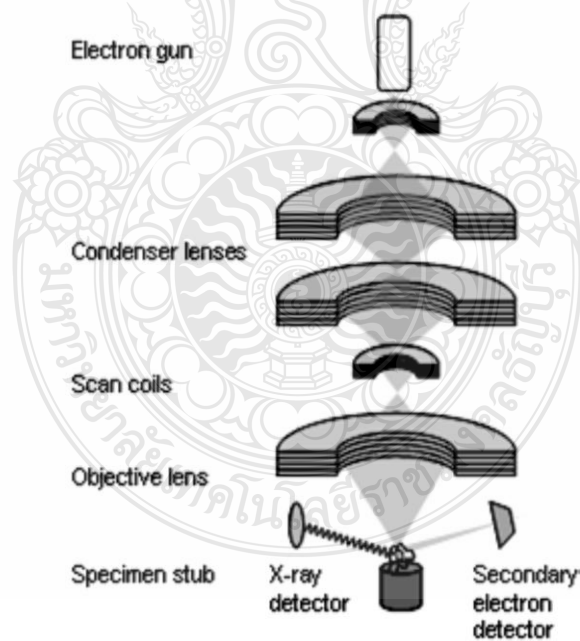
ผนังเซลล์ ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิด (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1นาโนเมตร) หลักการทำงาน ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษา (specimen) ซึ่งตัวอย่างที่จะศึกษาจะต้องมีลักษณะที่แบนและบางในช่วงระหว่าง 1 - 100 นาโนเมตร จากนั้นจะเกิดการกระเจิงอนุภาคขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไป และอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนี้ก็จะถูกปรับโฟกัสของภาพโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ขยายภาพให้ได้รายละเอียดมากที่สุด จากนั้นจะได้รับการขยายด้วยเลนส์ทอดภาพไปสู่จอรับ (projector lens) และปรับโฟกัสของลำอนุภาคอิเล็กตรอนให้ยาวพอดีที่จะปรากฏบนฉากเรืองแสง สุดท้ายจะเกิดการสร้างภาพขึ้นมาได้



รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน(TEM) [21]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาด

บางเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการตรวจสอบ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ หลักการทำงาน ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษาหลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย



รูปที่ 2.13 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) [21]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 Chatterjee and Pal [22] ทำการเชื่อมอาร์กโลหะเชื่อมหุ้มฟลักซ์พอกผิวแข็ง เหล็กหล่อสีเทา ASTM เกรด 2500 การทดลองทำการเปลี่ยนแปลงชนิดของโลหะเชื่อมรองพื้น 3 ชนิด และใช้โลหะเชื่อมพอกผิวแข็ง 5 ชนิด ผลการทดลองพบว่า การอุ้งงาน จำนวนชั้นของการเชื่อม และอัตราส่วน Cr/C ในโลหะเชื่อมพอกผิว ส่งผลต่อความยาวของการแตกร้าวที่พื้นผิวต่อพื้นที่ และความแข็งแรงการเกาะยึดของชั้นรองผิวและผิวชั้นงาน หรือผิวชั้นงานและชั้นพอกผิวแข็ง ความแข็งแรงการเกาะยึดที่มีความแข็งแรงสูงสุด คือ การเชื่อมด้วยโลหะเชื่อมพอกผิวแข็งที่มีนิกเกิลสูงและไม่มีชั้นรองผิว

2.5.2 Jeshvaghani *et al.* [23] ศึกษาอิทธิพลของการเชื่อมอาร์กโลหะเชื่อมหุ้มฟลักซ์ โดยใช้โลหะเชื่อมพอกผิวแข็งที่มีส่วนผสมหลัก คือ นิกเกิล เชื่อมบนผิวเหล็กหล่อเหนียวโดยการทำการเชื่อม แนวเดียว (Single pass) และสองแนว (2 pass) ผลของการจำนวนแนวเชื่อมที่มีผลต่อ โครงสร้างจุลภาค ความแข็ง และ โครงสร้างจุลภาคของผิวพอกแข็งถูกทำการศึกษา ผลการทดลองพบว่าโครงสร้างจุลภาคประกอบไปด้วยออสเทนดิก (Fe,C), เฟสแกมม่า (Fe, Ni) และคาร์ไบด์ส่วน เล็กๆ (Cr_7C_3) ความแข็งของผิวพอกแข็งมีค่าสูงกว่าเหล็กหล่อเหนียว โดยค่าความแข็งแนวเดียวและ สองแนวมีค่า 500 และ 450HV ตามลำดับ

2.5.3 Selvi *et al.* [24] ทำการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยวิธีการเชื่อมอาร์กโลหะเชื่อมหุ้มฟลักซ์ บนวงแหวนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ A216-WCB ด้วยโลหะเชื่อม E410,E430 และ Modified E340 ที่ผ่านการอบ ที่ 200 °C เวลา 2 ชั่วโมง การเชื่อมเป็นการเชื่อมซ้ำแนว 3 ชั้น และไม่มีการสายแนวเชื่อม ชั้นงานเชื่อมที่ได้ถูกนำไปทำการทดสอบการสึกกร่อน ทดสอบความแข็ง และตรวจสอบ โครงสร้าง จุลภาค พบว่าความแข็งของแนวเชื่อมมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาตรวจสอบห่างออกจากผิวพอกแข็ง ปริมาณคาร์บอนในโลหะเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการสึกกร่อนเพิ่มขึ้น และโลหะเชื่อม Modified E340 ให้อัตราการสึกกร่อนน้อยที่สุด ปริมาณโครเมียมที่เพิ่มขึ้นทำให้เม็ดเกรนมีขนาดละเอียดเพิ่มขึ้น มีความ เป็นเกรนคอลลิมหนาเพิ่มขึ้น และลดปริมาณและขนาดของเกรนหยาบลง

2.5.4 Liu *et al.* [25] ทำการศึกษาการพอกผิวแข็งเหล็กกล้าด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะ หุ้มฟลักซ์โดยการเชื่อมทับแนวรวม 4 ชั้น ด้วยตัวแปรการเชื่อมต่างๆ ที่กำหนด ชั้นงานเชื่อมที่ได้ถูก นำไปทำการตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาค ความแข็ง และอัตราการสึกกร่อน ผลการทดลองพบว่า เมื่อ โบรอนเพิ่มขึ้นจาก 0-1.4 wt% ในโลหะพอกผิวแข็ง Fe-15Cr-2.5Ti-2C-x(0-1.4) B wt % ส่งผลทำให้ เส้นผ่านศูนย์กลางของคาร์ไบด์เพิ่มจาก 9-20 ไมโครเมตร และสัดส่วนของปริมาณคาร์ไบด์เพิ่มขึ้น จาก 14.10-36.00% ความแข็งของผิวเคลือบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อโบรอนเพิ่มขึ้นสู่ 0.99 wt % และ

ลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณ โบรอนเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งสูงของผิวพอกแข็งสูงที่เกิดจากการเติมโบรอนลงในโลหะพอกผิวแข็งทำให้อัตราการสึกกร่อนของผิวพอกแข็งมีค่าต่ำ

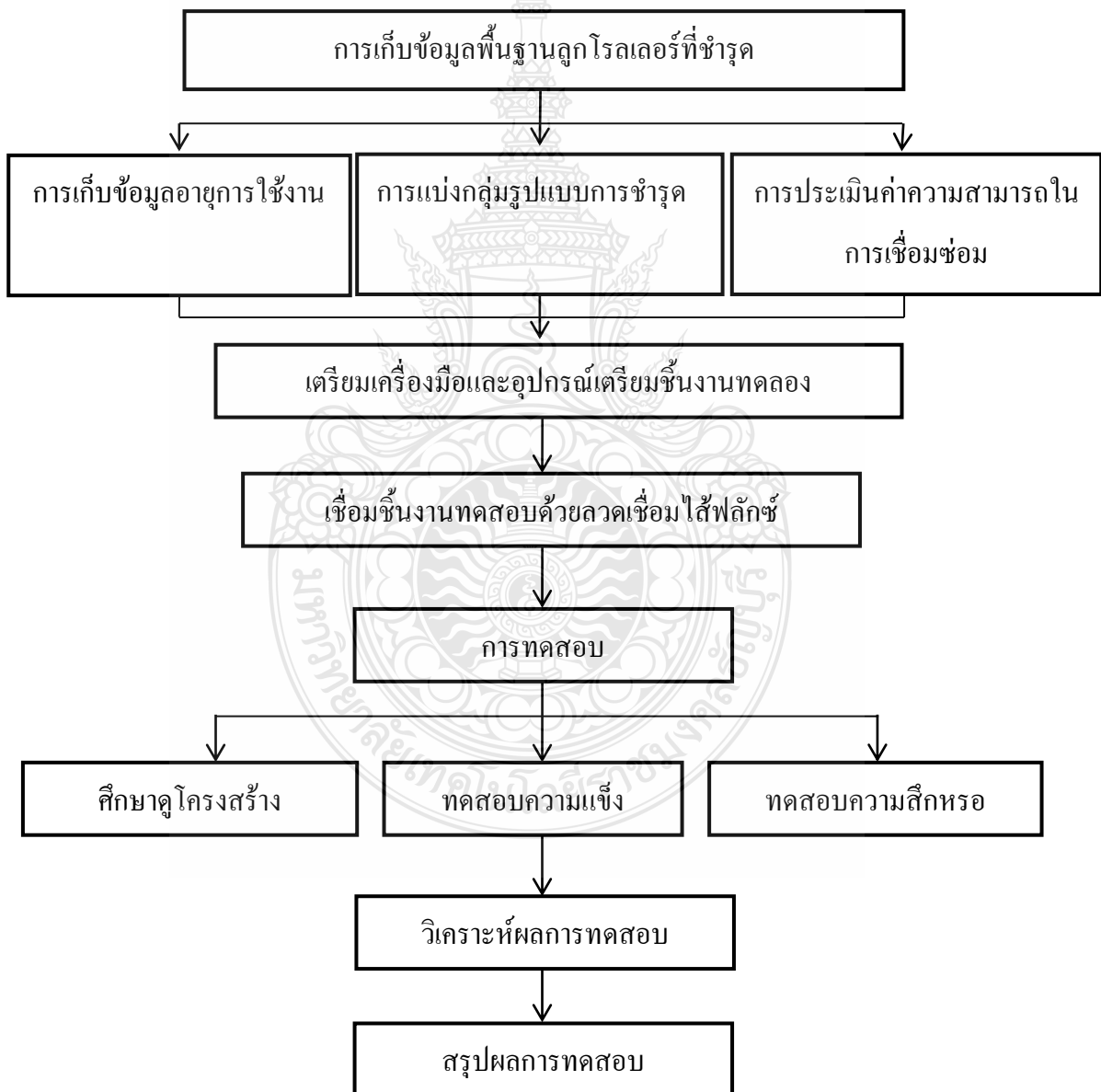
2.4.5 Buchely *et al.* [26] ทำการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์พอกผิวแข็งเหล็กกล้า ASTM A36 แบบไม่มีชั้นรองผิว จำนวน 3 ชั้น ด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ 3 ชนิด และทำการตรวจสอบสมบัติของรอยเชื่อม คือ การทดสอบความแข็ง การตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาค และการทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนตาม ASTM G65 ผลการทดลองพบว่า ลวดเชื่อมที่มีทั้งสแตนปริมาณสูง แสดงความต้านทานการสึกกร่อนสูงสุดที่การเชื่อมเพียง 1 ชั้น เนื่องจากการรวมตัวที่ดีและการเกิดเฟส M_6C ที่แข็งในพื้นที่โครงสร้างยูเทคติก เฟส M_6C_3 คือเฟสที่เป็นตัวยับยั้งการเกิดการสึกหรอ



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการเชื่อมซ่อมแซมลูกโรลเลอร์ เพื่อลดต้นทุนในการเปลี่ยนลูกโรลเลอร์ของผู้ประกอบการรถเกี่ยวซึ่งจะนำไปใช้ในภาคการเกษตร ซึ่งผู้ประกอบการประสบปัญหาในการสึกหรอของลูกโรลเลอร์ ผู้ศึกษาจำเป็นต้องหาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของกับงานเชื่อมซ่อมลูกโรลเลอร์เพื่อที่จะเตรียมความพร้อมและกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อให้การทำงานมีความสะดวกและรวดเร็วให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยมีวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมซ่อมที่มีผลต่อสมบัติทางกลของผิวพอกแข็ง ลูกโรลเลอร์ของรถเกี่ยวและนวดข้าวที่ชำรุด จำเป็นที่จะต้องเลือกวัสดุที่ใช้ทำการเชื่อมพอกผิวแข็ง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ ลูกโรลเลอร์ของรถเกี่ยวและนวดข้าวที่ชำรุด ซึ่งเป็นวัสดุที่ชำรุดและถูกถอด ออกจากรถเกี่ยวและนวดข้าวในพื้นที่ตัวอย่าง หากผลที่ได้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ ก็จะทำให้ ผลการวิจัยในครั้งนี้เกิดประโยชน์ต่อช่างซ่อมบำรุงลูกโรลเลอร์ต่ออุตสาหกรรมเครื่องจักรกลเกษตร ต่อไป

3.1.1 ลูกโรลเลอร์ที่ชำรุดที่เกิดการสึกหรอ

ลูกโรลเลอร์ของรถเกี่ยวและนวดข้าวที่ชำรุด ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีได้จากการวิเคราะห์ ธาตุด้วยเครื่องวิเคราะห์หาองค์ประกอบธาตุ (Elemental Analysis Spectrometer) โดยชิ้นงานทดลอง ลูกโรลเลอร์จริงปราศจากการตกแต่งผิวหน้า คือ เหล็กกล้าคาร์บอนตามมาตรฐาน JIS S50C ซึ่งเป็น วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนลูกโรลเลอร์รถเกี่ยวข้าว ดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 ลูกโรลเลอร์ที่สึกหรอ

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน S50C และสมบัติทางกล

เหล็กกล้าคาร์บอน S50C (wt%)							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
0.52	0.26	0.78	0.03	0.01	0.19	0.01	0.006
สมบัติทางกล							
Condition	Density (kg/m ³)	Yield strength (MPa)			Hardness, (HRC)		
Hot rolled	7,700-7,800	357-558			8-21 HRC		



รูปที่ 3.3 ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์พอกผิวแข็ง

3.1.2 ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับพอกผิวแข็ง (Flux - Cored wire) ใช้ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน DIN 8555 : MF 6-GF-60GP มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางเคมีของลวดเชื่อม

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	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-	0.035	0.025	-	-	-
YM-70S	0.15	1.15	1.85					

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อม

1) เครื่องเชื่อมที่ใช้เชื่อมแบบระบบอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Fronius รุ่น Transpuls synergic 2700 Alu-Edition ซึ่งควบคุมตัวแปรการเชื่อมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ และซอฟต์แวร์ของเครื่องเชื่อม สามารถปรับตัวแปรในการเชื่อมได้โดยตรงจากหน้าจอของเครื่อง ในการทดลองนี้จะเลือกใช้เครื่องเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมแต่ใช้ลวดไส้ฟลักซ์ในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง



รูปที่ 3.4 เครื่องเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม



รูปที่ 3.5 แท่นจับยึดเชื่อมลูกโรลเลอร์

2) สร้างแท่นจับยึดเชื่อม ขนาด 36x75x85 เซนติเมตร เพื่อจับยึดลูกโรลเลอร์ในขณะที่ทำการเชื่อมและติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วเชื่อม

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.2.1 การเชื่อมชิ้นงานทดลอง

นำลูกโรลเลอร์ ที่ผ่านกระบวนการขัดสนิม มาประกอบกับอุปกรณ์จับยึด ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และทำการเชื่อม โดยการกำหนดตัวแปรกระแสไฟและความเร็วเดินในการเชื่อมอยู่ที่ 170, 220, 270 แอมแปร์ และความเร็วในการเดินเชื่อม 510, 400, 290 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ 3.6 ลักษณะการเชื่อมลูกโรลเลอร์

3.2.2 การตรวจสอบทางกายภาพ

ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมลูกมาทำการตรวจสอบทางกายภาพเบื้องต้นด้วยตาเปล่า (Visual inspection) สังเกตข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นกับแนวเชื่อม เช่น การเกิดรูพรุนหรือตามด (Porosity) การเกิดเม็ดโลหะ (Spatter) รอยกัดขอบ (Undercut) หรือรอยร้าว (Cracks) และการกระจายตัวของเม็ดโลหะ ตลอดจนความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมแต่ละชั้น แต่ละแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเชื่อม

3.2.3 ขั้นตอนการตัดชิ้นงานทดสอบ

นำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมดังรูปที่ 3.7 มาทำการตัดแบ่งเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ทดสอบสมบัติทางกล ด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน(Cutting machine) ดังรูปที่ 3.8 โดยนำชิ้นงานเชื่อมมาทำการตัดชิ้นงานทดสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค ขนาด 10x10x10 มิลลิเมตร โดยชิ้นงานทดสอบความแข็งจะใช้ชิ้นงานเดียวกันกับโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค ขณะที่ชิ้นงานทดสอบอัตราการสึกหรอ (Wear resistance) จะตัดให้มีขนาด 25 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 เครื่องตัดชิ้นงานสอบ

3.3 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหวิทยา

3.3.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม

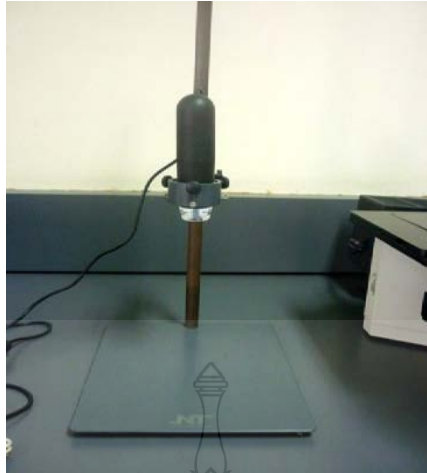
การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม ที่ผ่านการเชื่อมพอกผิวแข็งแล้วนำมาทำการตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ นำส่วนที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคมาทำการขัดด้วยกระดาษทรายน้ำตั้งแต่เบอร์ 220-1200 และขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินา (Alumina Oxide) 1-3 ไมครอน บนเครื่องขัดแบบจานหมุนดังรูปที่ 3.11 และล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เมื่อเสร็จขั้นตอนดังกล่าวแล้วทำการกัดกรด(Etching) ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก(HCL) 20 ml. ผสมกับกรดไนตริก (HNO₃) 60 ml. ตามมาตรฐาน ASTM E407 [29] ใช้เวลาในการกัดกรด 5-60 วินาที จากนั้นล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลมร้อน และนำชิ้นงานมาส่องดูโครงสร้างมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Micro capture) ดังรูปที่ 3.12 เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ตลอดจนข้อบกพร่องของเนื้อเชื่อม



รูปที่ 3.9 ลักษณะชิ้นงานที่ตัดตรวจสอบ โครงสร้างมหภาค



รูปที่ 3.10 เครื่องขัดแบบจานหมุน



รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์ (Micro Capture)

3.3.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชั้นแนวเชื่อม

(1) การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาครอยเชื่อมพอกผิวแข็ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical micro scope) ยี่ห้อ LEICA รุ่น SDM 2500M มีกำลังขยาย 50-500 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3.13 นำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค มาทำการขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ ตั้งแต่ เบอร์ 220-1200 และขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินา (Alumina Oxide) ขนาด 1-3 ไมครอน แล้วล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เมื่อเสร็จขั้นตอนดังกล่าวแล้วทำการกัดกรด (Etching) ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCL) 20 ml. ผสมกับกรดไนตริก (HNO_3) 60 ml. ตามมาตรฐาน ASTM E407 ใช้เวลาในการจุ่มแช่นาน 10 วินาที จากนั้นล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลมร้อน จากนั้นนำชิ้นงานมาตรวจสอบดูโครงสร้างจุลภาค บริเวณชั้นต่างๆของแนวเชื่อมและทำการบันทึกผล และวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป



รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

(2) ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการสึกหรอ มาทำการตรวจสอบผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ดังรูปที่ 3.14 แล้วทำการบันทึกผลและวิเคราะห์ผล

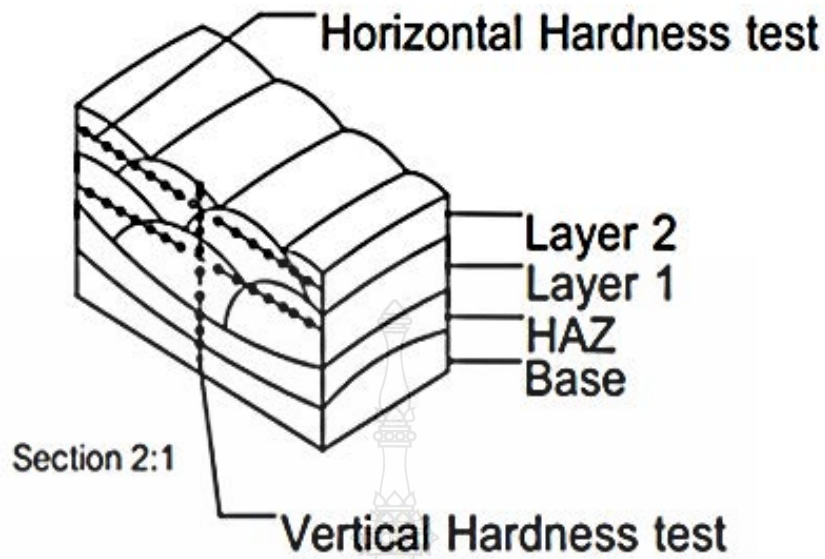


รูปที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)

3.4 การทดสอบสมบัติทางกล

3.4.1 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

การทดสอบความแข็ง โดยนำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา มาทำการทดสอบความแข็ง โดยทำการกดทดสอบตามแนวตั้ง และตามแนวนอนของชั้นเชื่อมพอกผิวแข็ง โดยใช้แรงในการกด 300 gf เวลาในการกดแช่ 10 วินาที เริ่มต้นกดทดสอบความแข็งบริเวณโลหะชิ้นงาน(Base metal) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat-affect zone) และบริเวณพื้นที่ของเนื้อเชื่อม (Weld metal) ชั้นที่ 1 , ชั้นที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.15 โดยมีระยะห่างระหว่างจุดกดทดสอบ 0.5 มิลลิเมตร วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E92-82 [30] โดยทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers)



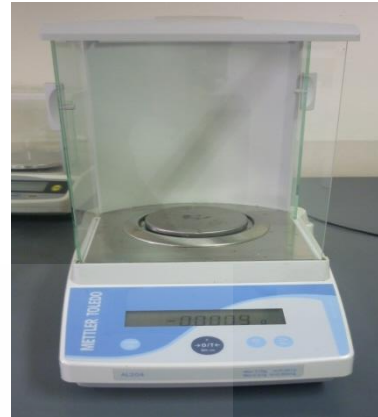
รูปที่ 3.14 ลักษณะการทดสอบความแข็ง



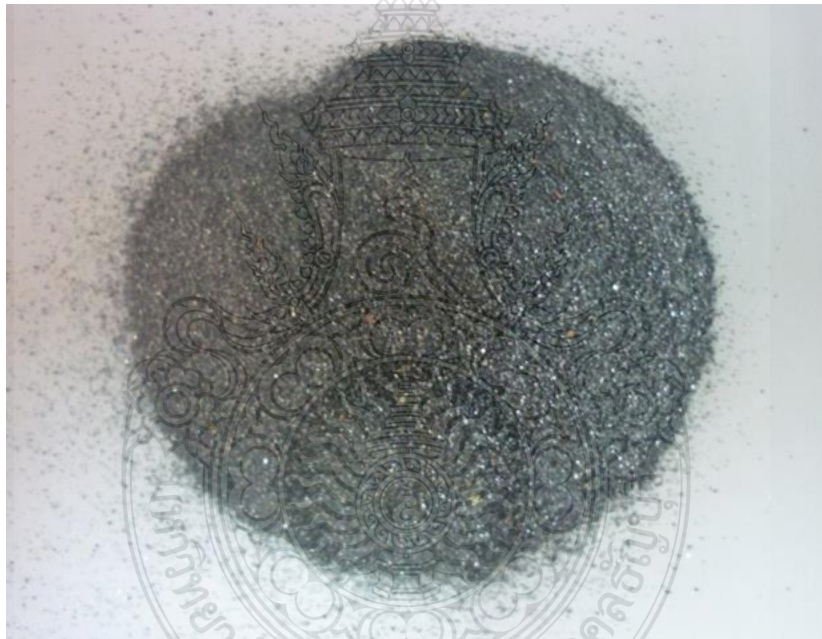
รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers)

3.4.2 การทดสอบการสึกหรอ

การตรวจสอบ (Wear resistance) ของผิวพอกแข็งในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์การทดสอบโดยใช้เครื่องขัดชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างแบบอัดโนมัติ (Two-body abrasive test setup) โดยเครื่องสามารถตั้งความเร็วรอบ แรงที่ใช้ในการกด และเวลาที่ใช้ในการขัดได้แบบอัดโนมัติ ดังรูปที่ 3.17 โดยใช้ความเร็วในการหมุนของจานขัด 150 มม./นาที แรงกดที่ใช้ในการกดชิ้นงานทดสอบ 320 MPa เวลาที่ใช้ในการทดสอบ 5 นาที ใช้ผงซิลิคอนคาร์ไบด์ ขนาด 80 เมช ในการขัด [31] ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.16 เครื่องทดสอบการสึกหรอ



รูปที่ 3.17 ผงซิลิกอนคาร์ไบด์

การทดสอบการสึกหรอแบบขัดสีโดยใช้ผงซิลิกอนคาร์ไบด์กับชิ้นงานที่ทดสอบทำการเปรียบเทียบกับมวลที่สูญเสียบ่อยอย่างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM G65-94 [32] ทำการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสีบริเวณเนื้อเชื่อมพอกผิวแข็งชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 โดยใช้ความเร็วในการหมุนของจานขัด 150 มม./นาที แรงกดที่ใช้ในการกดชิ้นงานทดสอบ 320 MPa เวลาที่ใช้ในการทดสอบ 5 นาที

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลลูกโรลเลอร์หลังการเก็บเกี่ยวจากการสอบถามข้อมูลเกษตรกรพบว่าค่าเฉลี่ยในการเปลี่ยนลูกโรลเลอร์อยู่ที่ประมาณ 1,000-1,500 ไร่ โดยการเลือกวิธีการเปลี่ยนใหม่ทั้งคันไม่ทำการเชื่อมซ่อมสาเหตุเกิดจากระบบการซ่อมมีประสิทธิภาพของแนวเชื่อมไม่เพียงพอ อีกทั้งระบบการเชื่อมซ่อมราคาในการซ่อมมีราคาใกล้เคียงกับการเปลี่ยนใหม่ จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลการสึกหรอของลูกโรลเลอร์ทั้งหมด 400 ลูก พบว่าเกิดการเสียหายแบบตกร่องข้าง การสึกหรอแบบเอียงออก และการสึกหรอแบบหน้าตัดตรง ดังรูปที่ 4.1 (ก) - (ค)

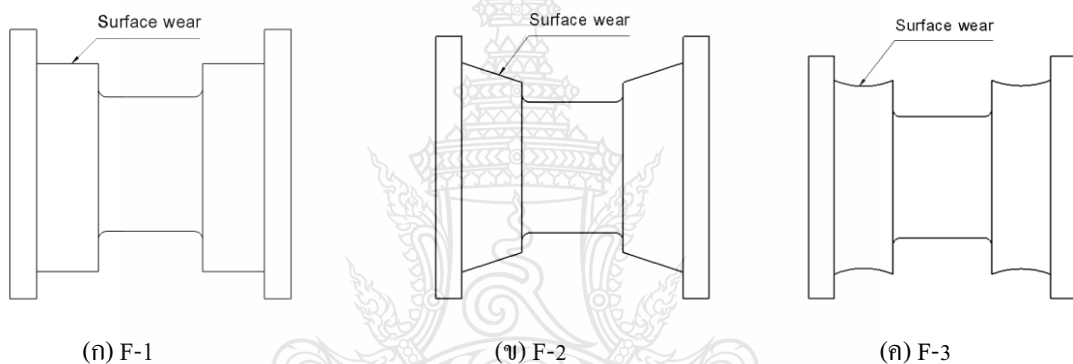
ตารางที่ 4.1 ความเสียหายและสาเหตุของความเสียหายจากการลงพื้นที่(จังหวัดสุพรรณบุรี)

ลักษณะความเสียหาย	สาเหตุการเสียหาย
การสึกหรอแบบหน้าตัดตรง	-เกิดจากการเสียดสีระหว่างโซ่และลูกโรลเลอร์ -เกิดจากโซ่หลวมและการปลัดตกของลูกโรลเลอร์
การสึกหรอแบบเอียงออก	-เกิดจากการเสียดสีระหว่างโซ่ -แรงรับน้ำหนักที่ไม่เที่ยงตรง
การเสียหายแบบตกร่องข้าง	-เกิดการเสียดสีกับโซ่และเม็ดหินดินและทราย - การตั้งโซ่ของลูกโรลเลอร์

จากนั้นทำการแยกประเภทความเสียหายจากการใช้งาน โดยการสุ่มตัวอย่างลูกโรลเลอร์ 400 ลูก ลักษณะการเสียหายแต่ละประเภทดังตารางที่ 1 สามารถแยกจำนวนชิ้นการเสียหายดังตารางที่ 2 พบว่าความเสียหายประเภท F-1 มีจำนวน 72 ลูกประเภท F-2 มีจำนวน 88 ลูกประเภท F-3 มีจำนวน 280 ลูก

ตารางที่ 4.2 จำนวนชิ้นความเสียหายของลูกโรลเลอร์แต่ละประเภทจากการลงพื้นที่(จังหวัดสุพรรณบุรี)

ลักษณะความเสียหาย	จำนวนความเสียหาย(ชิ้น)
การสึกหรอแบบหน้าตัดตรง (F-1)	72
การสึกหรอแบบเอียงออก (F-2)	88
การเสียหายแบบตกร่องข้าง (F-3)	280
รวม	400



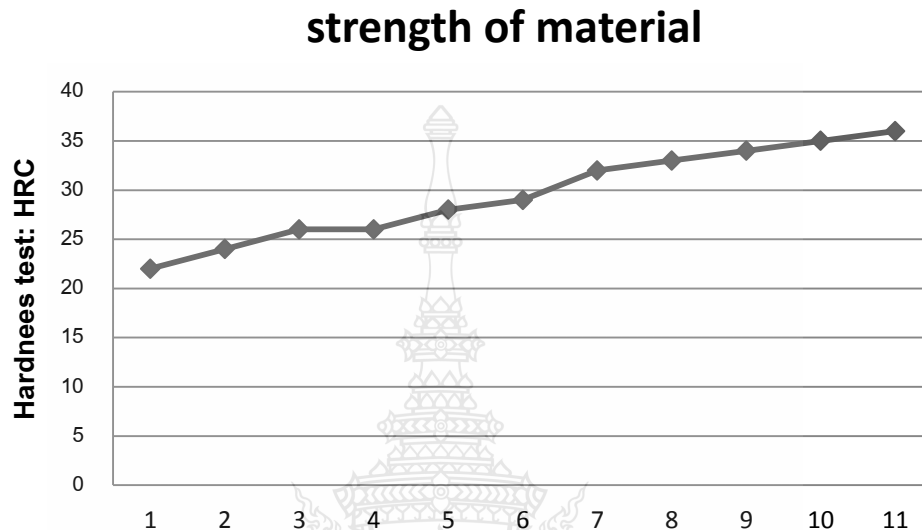
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการสึกหรอของลูกโรลเลอร์หลังการใช้งาน

การศึกษาการเชื่อมพอกผิวแข็งบนลูกโรลเลอร์ที่ผ่านการสึกหรอจากการใช้งานจริงโดยการเชื่อมนี้มุ่งหวังเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการซ่อมสำหรับผู้ประกอบการและเกษตรกรในการทดลองใช้กระบวนการเชื่อมลวดไส้ฟลักซ์ (Flux-Cored Arc Welding) โดยปราศจากแก๊สในการปกคลุมแนวเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อม 170-270 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อมที่ 290-510 มิลลิเมตร/นาที จากนั้นนำลูกโรลเลอร์ที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งมาตัดเพื่อทดสอบสมบัติทางกลและศึกษาโครงสร้างจุลภาคส่วนผสมทางเคมีสารประกอบทางโลหะด้วยเทคนิค SEM จากนั้นทำการเปรียบเทียบตลอดจนวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

4.1 อิทธิพลของกระแสในการเชื่อมต่อความแข็งและอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อม

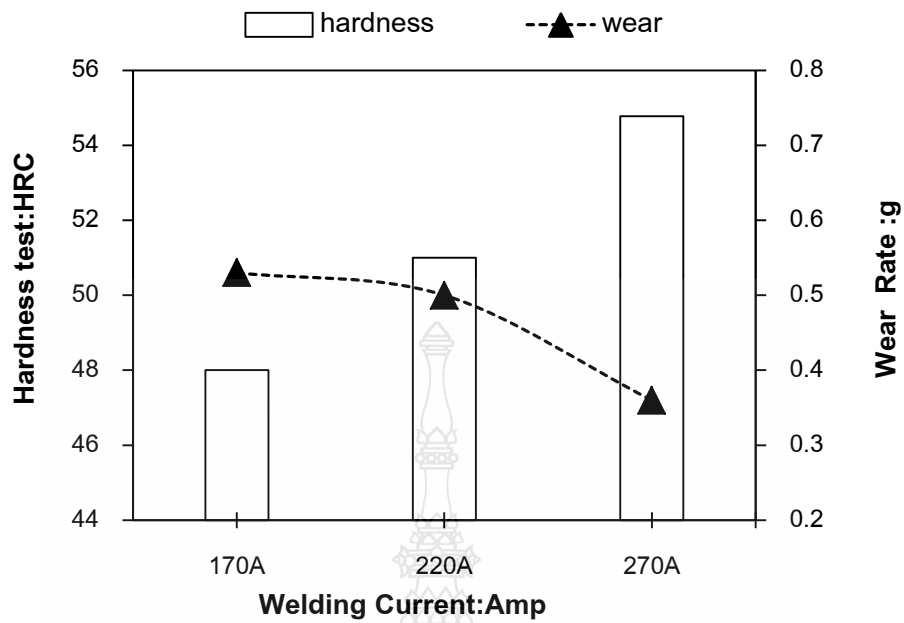
ผลของการตรวจสอบค่าความแข็งวัสดุ โลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C

พบว่า มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 29 HRC ดังแสดงในรูปที่ 4.2

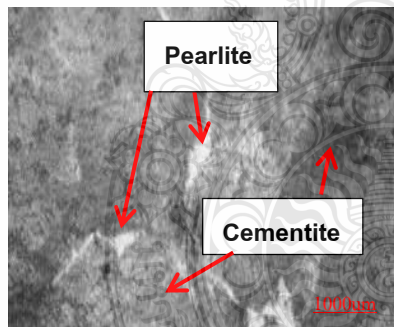


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลค่าความแข็งวัสดุโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C

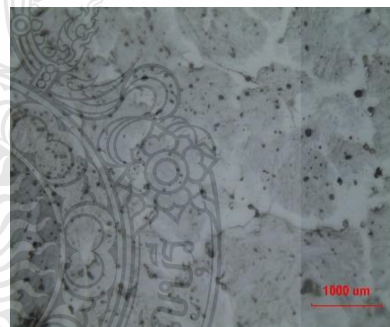
การเชื่อมพอกผิวแข็งลูกโรลเลอร์ ทำการเชื่อมทดลองบนชิ้นงานจริงโดยการคำนวณความเร็วรอบในการเชื่อมเป็นความเร็วเดินเชื่อมที่ 510 มิลลิเมตร/นาที กระแสไฟในการเชื่อม 170 - 270 แอมแปร์ จากนั้นนำชิ้นงานทำการทดสอบด้วยเครื่องตัดชิ้นงานแบบไมโครคัตเตอร์ โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็ง การสึกหรอและโครงสร้างจุลภาคผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่า กระแสการเชื่อม ที่ 170 แอมแปร์ ค่าความแข็งมีค่าเท่ากับ 48 HRC อัตราการสึกหรอ 0.53 กรัม ดังรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 (ก) แต่เมื่อเพิ่มกระแสไฟเชื่อมเป็น 220 แอมแปร์ ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 51 HRC อัตราการสึกหรอลดลงเป็น 0.5 กรัม ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งมีโครงสร้างละเอียดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.4 (ข) สืบเนื่องจากการทดลองพบว่าแนวโน้มของกระแสไฟเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นค่าความแข็งมีค่าสูงขึ้นและอัตราการสึกหรอลดลงตามไปด้วยดังแสดงในรูปผลการทดลองที่กระแสเชื่อม 270 แอมแปร์ ความแข็งสูงสุดที่ 54.78 HRC อัตราการสึกหรอต่ำสุดที่ 0.36 กรัม ดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4(ค)



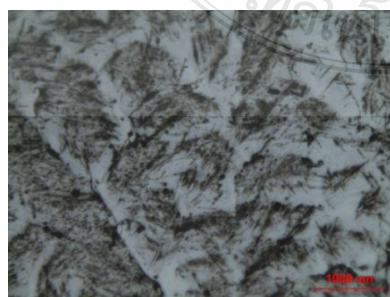
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลกระทบของกระแสไฟในการเชื่อม 170 -270 แอมแปร์ ต่อความแข็งและอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 510 มิลลิเมตร/นาที



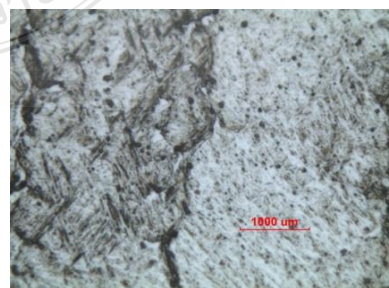
ก) โครงสร้างจุลภาคของเหล็ก JIS S50C



ข) กระแสเชื่อม 170 แอมแปร์



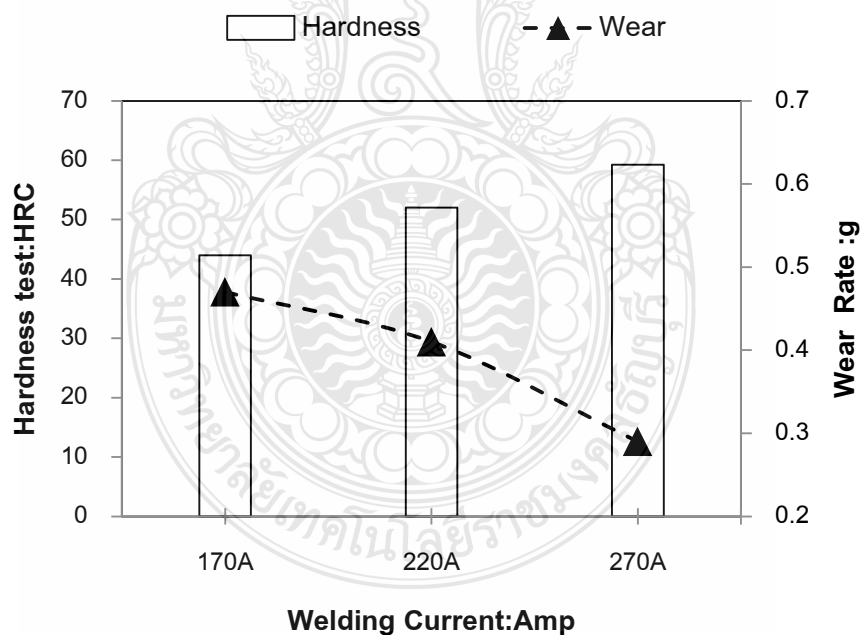
ค) กระแสเชื่อม 220 แอมแปร์



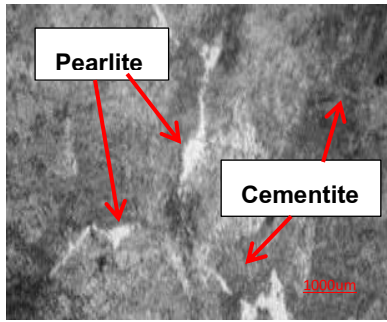
ง) กระแสเชื่อม 270 แอมแปร์

รูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างของกระแสไฟในการเชื่อม 170 -270 แอมแปร์ ต่อความแข็งและอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 510 มิลลิเมตร/นาที

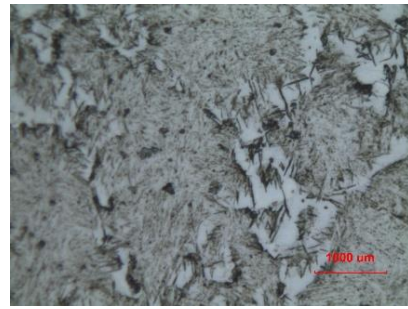
กราฟแสดงค่าความแข็งและค่าอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมที่ความเร็วการเดินเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที ที่กระแสไฟ 170 - 270 แอมแปร์ ดังรูปที่ 4.4 จากภาพ(ก)แสดง โครงสร้างจุลภาคโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 เฟส คือ พื้นที่สีขาวและพื้นที่สีเข้ม จากการทดสอบพบว่าที่กระแสไฟ 170 แอมแปร์ ค่าความแข็งมีค่าเท่ากับ 48 HRC อัตราการสึกหรอ 0.53 กรัม ดังรูปที่ 4.5(ข) ได้เพิ่มกระแสไฟเป็น 220 แอมแปร์ พบว่า ค่าความแข็งได้เพิ่มขึ้นเป็น 52 HRC อัตราการสึกหรอ 0.41 กรัม โครงสร้างละเอียดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น รูปที่ 4.5(ค) ทำให้ค่าความแข็งสูงขึ้นตามไปด้วย ถ้าสังเกตจากการทดลองพบว่าแนวโน้มของกระแสไฟเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นค่าความแข็งมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วยดังแสดงในรูปผลการทดลองเชื่อมที่กระแสไฟ 270 แอมแปร์ มีค่าความแข็งสูงสุดที่ 59.24 HRC ดังรูปที่ 4.2 แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่าอัตราการสึกหรอมีค่าน้อยสุดเมื่อความแข็งเพิ่มสูงขึ้น ที่กระแสไฟในการเชื่อม 270 แอมแปร์ อัตราการสึกหรอที่ 0.29 กรัม เนื่องจากโครงสร้างที่ได้เป็นโครงสร้างคาร์ไบด์ ดังรูปที่ 4.5 (ง)



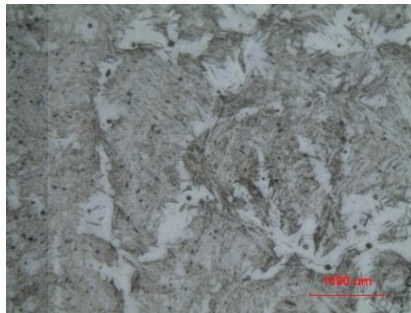
รูปที่ 4.5 แสดงผลกระทบของกระแสไฟในการเชื่อม 170-270 แอมแปร์ ต่อความแข็งและอัตราการสึกหรอที่ความเร็วในการเดินเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที



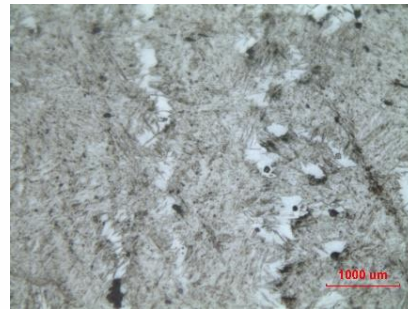
ก) โครงสร้างจุลภาคของเหล็ก JIS S50C



ข) กระจกเชื่อม 170 แอมแปร์



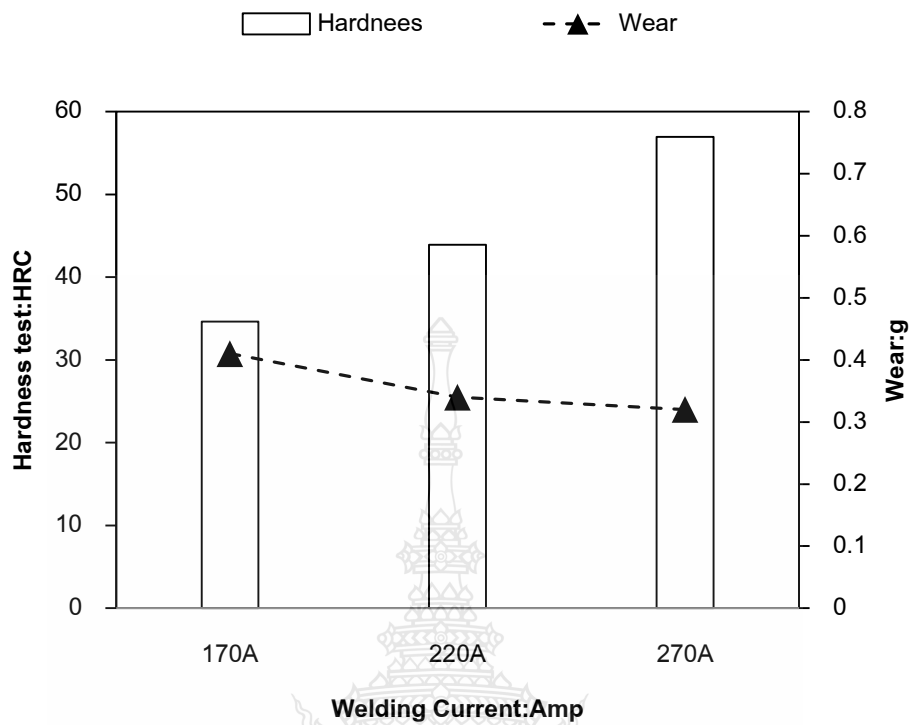
ค) กระจกเชื่อม 220 แอมแปร์



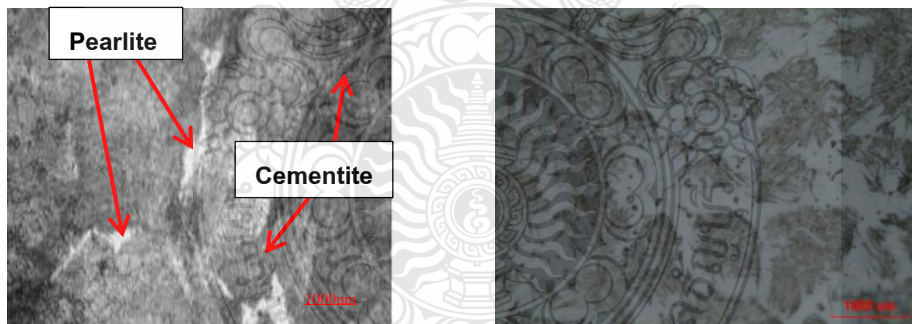
ง) กระจกเชื่อม 270 แอมแปร์

รูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างกระจกไฟในการเชื่อม 170-270 แอมแปร์ ต่อความแข็งและอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที

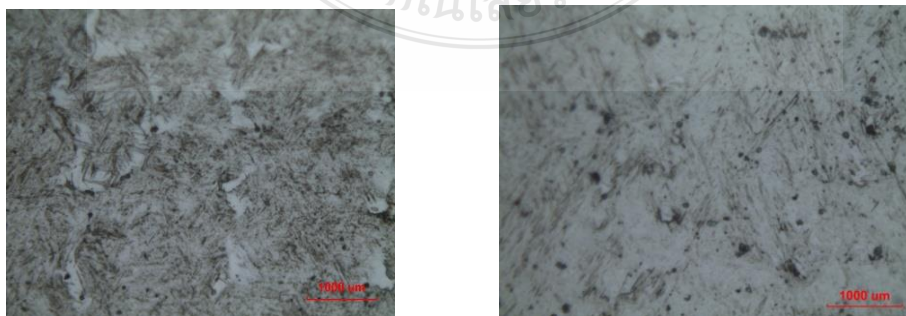
กราฟแสดงค่าความแข็งและค่าอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมที่ความเร็วการเดินเชื่อม 290 มิลลิเมตร/นาที ที่กระจกไฟ 170 - 270 แอมแปร์ ดังรูปที่ 4.7 จากภาพ(ก)แสดงโครงสร้างจุลภาคโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 เฟส คือ พื้นที่สีขาวและพื้นที่สีเข้ม จากการทดลองพบว่ากระจกไฟเชื่อม ที่ 170 แอมแปร์ มีค่าแข็งที่ 34.92 HRC อัตราการสึกหรอ 0.41 กรัม ดังรูปที่ 4.8 (ข) และที่กระจกไฟ 220 แอมแปร์ อัตราการสึกหรอ 0.34 กรัม และมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังรูปที่ 4.8 (ค) จากแนวโน้มแสดงให้เห็นว่ากระจกไฟเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและอัตราการสึกหรอลดลง การทดลองที่ความเร็วในการเชื่อม 290 มิลลิเมตร/นาที กระจกไฟ 270 แอมแปร์ ให้ค่าความแข็งที่สุด 54.78 HRC อัตราการสึกหรอ 0.36 กรัม ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.8 (ง)



รูปที่ 4.7 แสดงผลกระทบของกระแสไฟในการเชื่อม 170 -270 แอมแปร์ ต่อความแข็งและอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 290 มิลลิเมตร/นาที

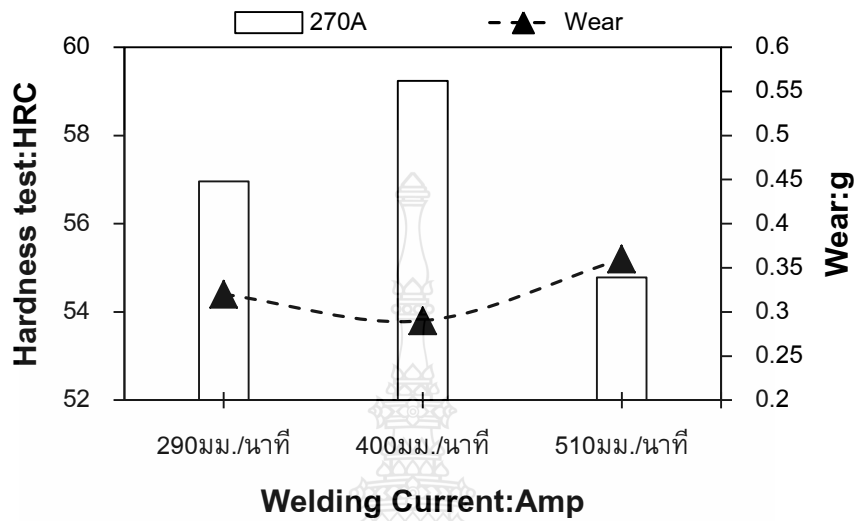


ก) โครงสร้างจุลภาคของเหล็ก JIS S50C ข) กระแสเชื่อม 170 แอมแปร์

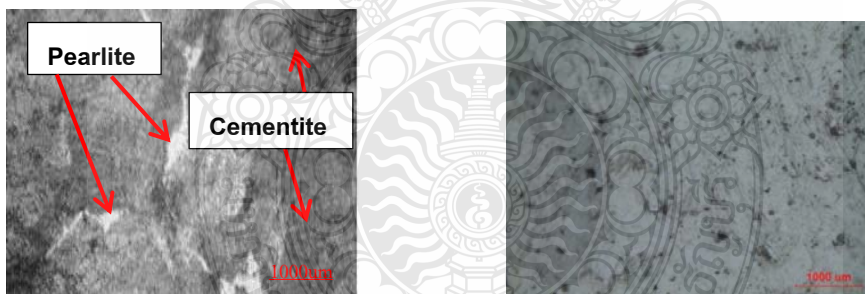


ค) กระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ง) กระแสเชื่อม 270 แอมแปร์

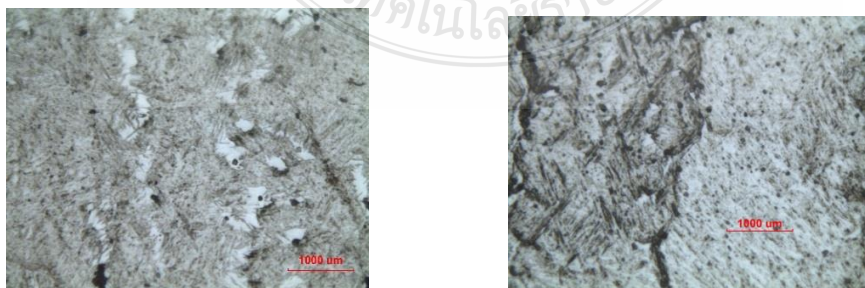
รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างกระแสไฟในการเชื่อม 170 -270 แอมแปร์ ต่อความแข็งและอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 290 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ 4.9 แสดงผลกระทบบนผิวโดยเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 290-510 มิลลิเมตร/นาที



ก) โครงสร้างจุลภาคของเหล็ก JIS S50C ข) กระแสเชื่อม 170 แอมแปร์



ค) กระแสเชื่อม 220 แอมแปร์

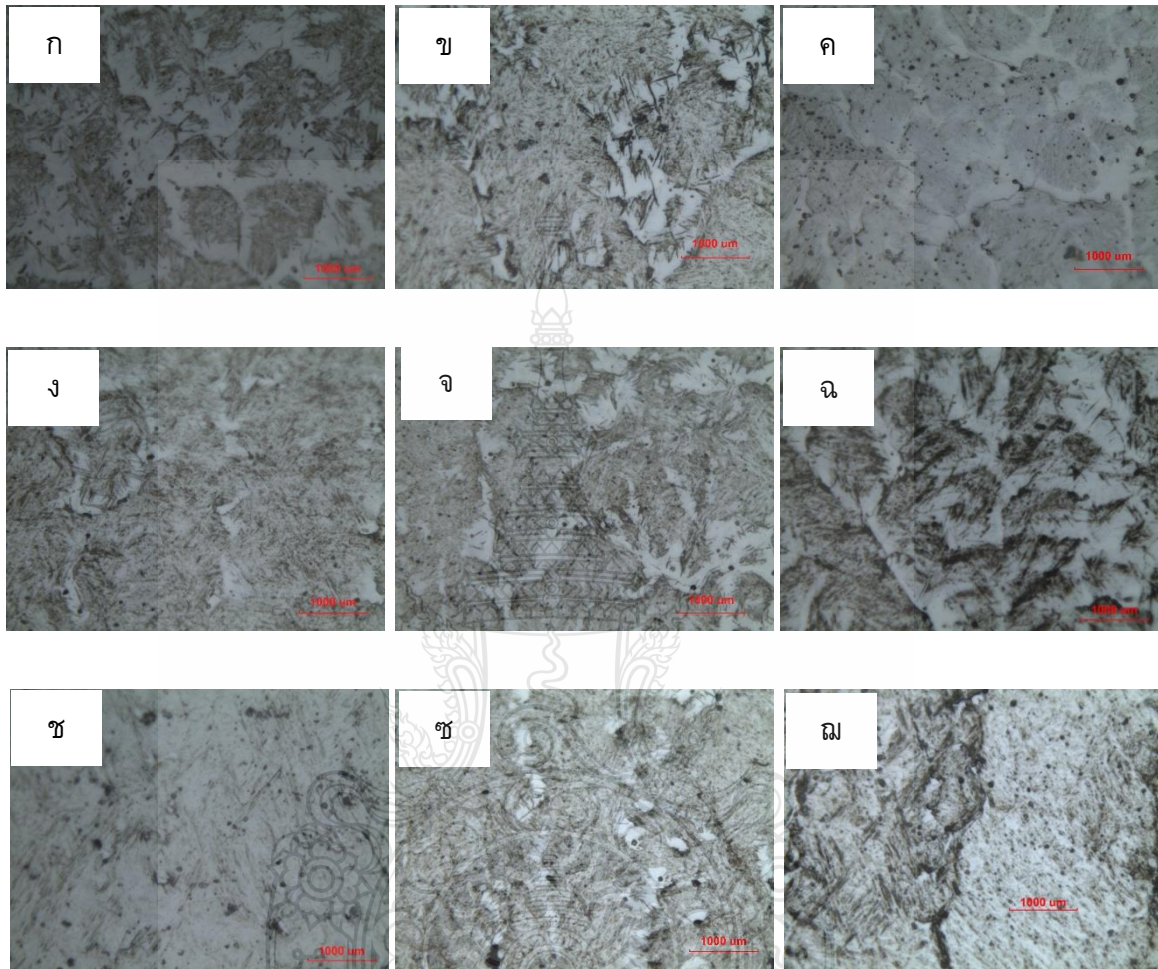
ง) กระแสเชื่อม 270 แอมแปร์

รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะ โครงสร้างจุลภาคโดยเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์
ความเร็วเดินเชื่อม 290-510 มิลลิเมตร/นาที

กราฟแสดงค่าความแข็งและอัตราการสึกหรอของความเร็วเดินเชื่อมที่ 290-510 มิลลิเมตร/นาที ที่กระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ดังรูปที่ 4.9 จากภาพ(ก)แสดงโครงสร้างจุลภาคโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน JIS S50C ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 เฟส คือ พื้นที่สีขาวและพื้นที่สีเข้ม จากการทดลองพบว่าความเร็วเดินเชื่อมที่ 290 มิลลิเมตร/นาที ค่าความแข็งที่ได้ 56.96 HRC อัตราการสึกหรอ 0.36 กรัม มีลักษณะโครงสร้าง ดังรูปที่ 4.10 (ข) เมื่อเพิ่มความเร็วในการเดินเชื่อมเป็น 400 มิลลิเมตร/นาที ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นที่ได้อยู่ที่ 59.24 อัตราการสึกหรออยู่ที่ 0.29 กรัม ดังรูปที่ 4.8 แนวโน้มของความเร็วการเดินเชื่อมเพิ่มขึ้นความแข็งที่ได้ลดลง แต่ทางกลับกันอัตราการสึกหรอเพิ่มสูงขึ้นที่ความเร็วรอบ 510 มิลลิเมตร/นาที ความแข็งอยู่ที่ 54.78 อัตราการสึกหรอ 0.36 กรัม จากการทดลองพบว่า ความเร็วเดินเชื่อมที่ 400 มิลลิเมตร/นาที กระแสไฟ 270 แอมแปร์ เป็นค่าที่ดีที่สุดในการทดลองนี้



4.2 เปรียบเทียบโครงสร้างแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม



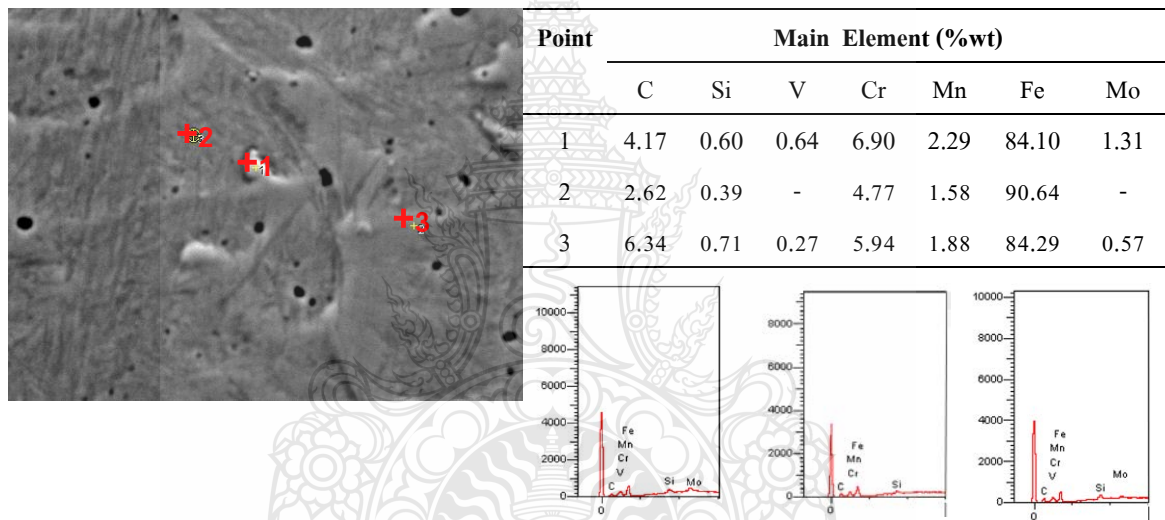
รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคโดยเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟเชื่อม 170-270 แอมแปร์
 เดินเชื่อม 290-510 มิลลิเมตร/นาที

จากรูปที่ 4.11 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคโดยเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟเชื่อม 170-270 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 290-510 มิลลิเมตร/นาที พบว่าที่กระแสไฟเชื่อม 170 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 290 400 510 มิลลิเมตร/นาที การเชื่อมเป็น 220 แอมแปร์ ความเร็วเชื่อม 290 400 510 มิลลิเมตร/นาที จะได้โครงสร้างที่มีปริมาณความแข็งเพิ่มสูงขึ้นปริมาณของโครงสร้างเพิ่มขึ้นตามความเร็วในการเดินเชื่อม ดังรูปที่ 4.11(ง)(จ)(ฉ) และเมื่อเพิ่มกระแสในการเชื่อมเป็น 270 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 290 400 มิลลิเมตร/นาที โครงสร้างที่ได้มีลักษณะ

คล้ายคาร์ไบด์ ดังรูปที่ 4.11 (ข)(ซ) และเมื่อเพิ่มความเร็วในการเดินเชื่อมเป็น 510 มิลลิเมตร/นาที โครงสร้างที่ได้มีลักษณะ ดังรูปที่ 4.11 (ฅ)

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองอิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อโครงสร้างและปริมาณธาตุของแนวเชื่อม

การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเชิงปริมาณด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากการตรวจสอบทำการวิเคราะห์ชิ้นงานที่ให้สมบัติทางกลสูงสุดของกระแสไฟเชื่อมที่ 270 แอมแปร์ และความเร็วในการเชื่อมที่ 290-510 มิลลิเมตร/นาที ผลการวิเคราะห์ที่แสดงดังนี้



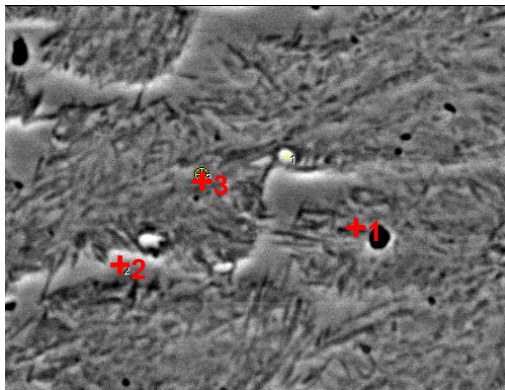
รูปที่ 4.12 แสดงโครงสร้างจุลภาค ส่วนผสมทางเคมี และสเปกตรัมของแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 510 มิลลิเมตร/นาที

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมจุดที่ 1 ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงปริมาณและ เชิงคุณภาพกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วการเดินเชื่อม 510 มิลลิเมตร/นาที พบว่าธาตุผสมในแนวเชื่อมสูงที่สุดคือ โครเมียมที่ 6.90 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นคาร์บอนประมาณ 4.17 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการศึกษาที่หลากหลายทฤษฎีพบว่าสารประกอบทางโลหะระหว่าง โครเมียมกับคาร์บอนช่วยเพิ่มคุณสมบัติในด้านความแข็งและทนต่อการกัดกร่อนและจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเชิงปริมาณพบปริมาณแมงกานีสที่ 2.29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งธาตุแมงกานีสเป็นธาตุที่ส่งผลต่อการต้านทานการสึกหรอ แล้วยังพบธาตุ โมลิบดีนัม 1.31 เปอร์เซ็นต์ ธาตุวานาเดียม 0.64 เปอร์เซ็นต์และธาตุซิลิกอน 0.60 เปอร์เซ็นต์ซึ่งธาตุดังกล่าวส่งผลให้คุณสมบัติ ป้องกันเหล็กรวมตัวกันกับออกซิเจน

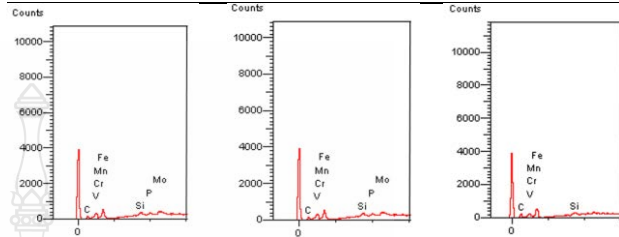
,คงความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง, ความสามารถในการแข็งตัว ทำให้เม็ดเกรนละเอียดและคุณสมบัติด้านความเหนียว

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมจุดที่ 2 ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วการเดินเชื่อม 510 มิลลิเมตร/นาที พบว่าธาตุผสมในแนวเชื่อมสูงที่สุดคือ โครเมียมที่ 4.77 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นคาร์บอนประมาณ 2.62 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากทฤษฎีพบว่าสารประกอบโลหะธาตุโครเมียมส่งผลต่อการกัดกร่อนของชิ้นงานธาตุคาร์บอนส่งผลให้เกิดคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและทนต่อการสึกหรอและจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเชิงปริมาณพบปริมาณแมงกานีสที่ 1.58 เปอร์เซ็นต์ และซิลิกอน 0.39 เปอร์เซ็นต์ซึ่งธาตุดังกล่าวส่งผลให้เกิดคุณสมบัติ ความแข็งแรง, ความสามารถในการแข็งตัว, ตอบสนองต่อการปรับสภาพทางความร้อนได้มากกว่าและป้องกันเหล็กรวมตัวกันกับออกซิเจน

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมจุดที่ 3 ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วการเดินเชื่อม 510 มิลลิเมตร/นาที พบว่าธาตุผสมในแนวเชื่อมสูงที่สุดคือคาร์บอนที่ 6.34 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็น โครเมียมประมาณ 5.94 เปอร์เซ็นต์ ธาตุคาร์บอนส่งผลให้เกิดคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและทนต่อการสึกหรอรองลงมาเป็นโครเมียมประมาณ 5.94เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากทฤษฎีพบว่าสารประกอบโลหะ ธาตุโครเมียมส่งผลต่อการกัดกร่อนและจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเชิงปริมาณ พบปริมาณแมงกานีส 1.88 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกอน 0.71 เปอร์เซ็นต์ โมลิบดีนัม 0.57 เปอร์เซ็นต์ และธาตุวานาเดียม 0.27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งธาตุดังกล่าวส่งผลให้เกิดคุณสมบัติ ความแข็งแรงความสามารถ ในการแข็งตัว,ป้องกันเหล็ก รวมตัวกันกับออกซิเจน, คงความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง,และส่งผลต่อความเหนียว จากชิ้นงานที่ทำการทดสอบค่าความแข็งแรงและการสึกหรอ พบว่าค่าความแข็งอยู่ที่ความแข็งอยู่ที่ 54.78 อัตราการสึกหรอ 0.36 กรัม



Point	Main Element (%wt)					
	C	Si	V	Cr	Mn	Fe
1	4.54	0.45	0.51	7.76	1.97	83.27
2	4.41	0.48	0.26	4.96	1.61	88.30
3	5.44	0.37	0.18	4.91	1.44	87.65

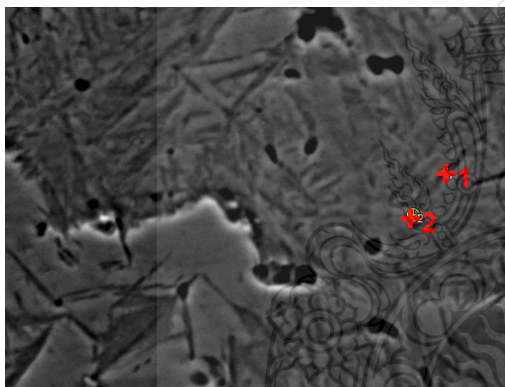


รูปที่ 4.13 แสดงโครงสร้างจุลภาค ส่วนผสมทางเคมี และสเปกตรัมของแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที

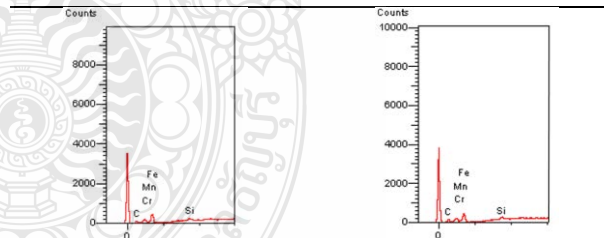
รูปที่ 4.13 แสดงส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมจุดที่ 1 ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วการเดินเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที พบว่าธาตุผสมในแนวเชื่อมสูงสุดคือ โครเมียมที่ 7.76 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นคาร์บอน 4.54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากทฤษฎีพบว่าสารประกอบทางโลหะระหว่างโครเมียมกับคาร์บอนช่วยเพิ่มคุณสมบัติในด้านทนต่อการกัดกร่อนและเพิ่มความแข็งแรงและจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเชิงปริมาณพบธาตุแมงกานีส 1.97 เปอร์เซ็นต์ซึ่งแมงกานีสเป็นธาตุที่ส่งผลต่อการต้านทานการสึกหรอ วาเนเดียม 0.51 เปอร์เซ็นต์ เป็นธาตุที่ส่งผลต่อความแข็งแรงและความเหนียวต่ออุณหภูมิที่สูง ซิลิกอน 0.45 เปอร์เซ็นต์ เป็นธาตุที่เพิ่มความแข็งแรงทนต่อการสึกหรอ และฟอสฟอรัสที่ 0.29 เปอร์เซ็นต์ เป็นธาตุที่ทำให้น้ำโลหะใสไหลได้ดีและไม่หดตัวมากเพิ่มความแข็งแรงเมื่ออุณหภูมิสูง

รูปที่ 4.13 แสดงส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมจุดที่ 2 ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วการเดินเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที พบว่าธาตุผสมในแนวเชื่อมสูงสุดคือธาตุโครเมียมที่ 4.96 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นธาตุคาร์บอน 4.41 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการศึกษาที่หลากหลายทฤษฎี พบว่าสารประกอบทางโลหะพบว่าจะระหว่างธาตุโครเมียมและคาร์บอนช่วยเพิ่มคุณสมบัติในด้านทนต่อการกัดกร่อนและเพิ่มความแข็งแรงและจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเชิงปริมาณ พบธาตุแมงกานีสที่ 1.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแมงกานีสเป็นธาตุที่ส่งผลต่อการต้านทานการสึกหรอ ซิลิกอน เป็นธาตุที่เพิ่มความแข็งแรงและทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ที่ 0.48 เปอร์เซ็นต์ และวาเนเดียม 0.26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นธาตุที่เพิ่มคุณสมบัติ ความแข็งแรงและความเหนียวต่ออุณหภูมิที่สูง

รูปที่ 4.13 แสดงส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมจุดที่ 3 ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วการเดินเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที พบว่าธาตุผสมในแนวเชื่อมสูงสุดคือธาตุคาร์บอน 5.44 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นธาตุ โครเมียมที่ 4.91 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการศึกษาที่หลากหลายทฤษฎีพบว่าสารประกอบทางโลหะพบว่าจะระหว่างธาตุคาร์บอนและโครเมียมช่วยเพิ่มคุณสมบัติในด้านเพิ่มความแข็งแรงทนทานต่อการสึกหรอ และทนต่อความร้อน คงความแข็ง ณ อุณหภูมิสูง ๆ ทนการกัดกร่อน[]และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเชิงปริมาณพบธาตุ แมงกานีส 1.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแมงกานีสเป็นธาตุที่ส่งผลต่อการต้านทานการสึกหรอ ซิลิกอน เป็นธาตุที่เพิ่มความแข็งแรงและทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ที่ 0.37 เปอร์เซ็นต์ และวานาเดียม 0.18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นธาตุที่เพิ่มคุณสมบัติ ความแข็งและความเหนียวต่ออุณหภูมิที่สูง จากชิ้นงานที่ทำการทดสอบค่าความแข็งและการอัตราสึกหรอ พบว่าค่าความแข็งอยู่ที่ความแข็งอยู่ที่ 59.24 อัตราการสึกหรอ 0.29 กรัม



Point	Main Element (%wt)						
	C	Si	V	Cr	Mn	e	Mo
1	2.97	0.47	-	5.08	1.71	87.65	-
2	3.67	0.45	-	4.82	1.69	89.36	-

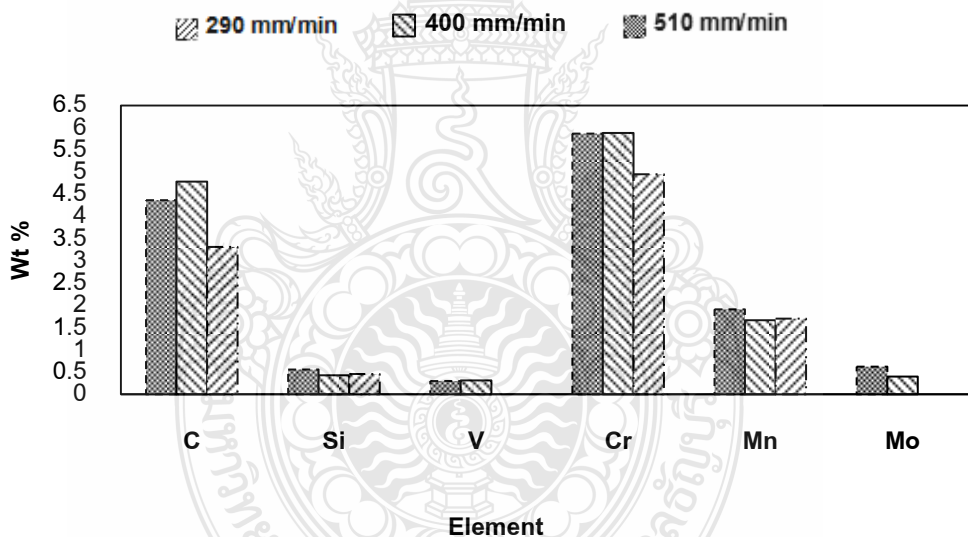


รูปที่ 4.14 แสดงโครงสร้างจุลภาค ส่วนผสมทางเคมีและสเปกตรัมของแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 290 มิลลิเมตร/นาที

รูปที่ 4.14 แสดงส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมจุดที่ 1 ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วการเดินเชื่อม 290 มิลลิเมตร/นาที พบว่าธาตุผสมในแนวเชื่อมสูงสุดคือธาตุโครเมียม 5.08 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นธาตุ คาร์บอนที่ 2.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการศึกษาที่หลากหลายทฤษฎีพบว่าสารประกอบทางโลหะพบว่าจะระหว่างธาตุโครเมียมและคาร์บอนช่วยเพิ่มคุณสมบัติในด้านทนต่อการกัดกร่อนและเพิ่มความแข็งแรงและจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเชิงปริมาณพบธาตุ แมงกานีส 1.71 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแมงกานีสเป็นธาตุที่ส่งผลต่อ

การด้านทานการสึกหรอและ ซิลิกอน 0.47 เปอร์เซ็นต์ เป็นธาตุที่เพิ่มความแข็งแรงและทนต่อการกัดกร่อนได้ดี

รูปที่ 4.14 แสดงส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมจุดที่ 2 ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ความเร็วการเดินเชื่อม 290 มิลลิเมตร/นาที นาที่ พบว่าธาตุผสมในแนวเชื่อมสูงสุดคือธาตุ โครเมียม 4.82 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นธาตุ คาร์บอนที่ 3.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการศึกษาที่หลากหลายทฤษฎีพบว่าสารประกอบทางโลหะพบว่าจะระหว่างธาตุโครเมียมและคาร์บอนช่วยเพิ่มคุณสมบัติในด้านทนต่อการกัดกร่อนและเพิ่มความแข็งแรงและการวิเคราะห์ ด้วยเทคนิคเชิงปริมาณพบธาตุ แมงกานีส 1.69 เปอร์เซ็นต์ซึ่งแมงกานีสเป็นธาตุที่ส่งผลต่อการด้านทานการสึกหรอและซิลิกอน 0.45 เปอร์เซ็นต์ เป็นธาตุที่เพิ่มความแข็งแรงและทนต่อการกัดกร่อนได้ดี จากชิ้นงานที่ทำการทดสอบค่าความแข็งและการอัตราสึกหรอพบว่าค่าความแข็งที่ได้ 56.96 HRC อัตราการสึกหรอ 0.36 กรัม



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบธาตุประกอบของกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 290-510 มิลลิเมตร/นาที

รูปที่ 4.15 แสดงส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อมพอกแข็งชั้นที่ 2 ที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 270 แอมแปร์ และความเร็วเดินแนวเชื่อม 290-510 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นบ่งชี้ให้ทราบถึงค่าความร้อนที่ให้แก่แนวเชื่อม (Heat input) มีค่าลดลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก ความเร็วเดินเชื่อม 290-510 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อมีการเปรียบเทียบมีส่วนผสมทางเคมีสำคัญ พบว่าธาตุที่มีสมบัติในการเสริมความแข็งแรงและความแข็งโลหะเหล็ก (Reinforced elements) เช่น โครเมียม แมงกานีส โมลิบดีนัม และวานาเดียม มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดิน

แนวเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก 290 มิลลิเมตรต่อนาที เป็น 400 มิลลิเมตรต่อนาที ปริมาณธาตุต่างๆที่เพิ่มขึ้นนี้ เมื่อพิจารณาเทียบกับการเพิ่มขึ้นของธาตุคาร์บอน พบว่ามีความเป็นไปได้ที่มีการก่อตัวของธาตุสารประกอบคาร์ไบด์ในโลหะเชื่อมพอกแข็งชั้นที่ 2 ปริมาณธาตุเสริมความแข็งแรงและความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นนี้ ทำให้เกิดการก่อตัวของโลหะคาร์ไบด์ คือ โครเมียมคาร์ไบด์ (Cr-c) แมงกานีสคาร์ไบด์ (Mc-c) โมลิบดีนัมคาร์ไบด์ (Mo-c) และ วานาเดียมคาร์ไบด์ (V-c) เพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตาม สัดส่วนที่ชัดเจนของสารประกอบเหล่านี้จะต้องอาศัยเครื่องมือวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์อื่นๆ เช่น การวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction: XRD) หรือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope: TEM) ในการวิเคราะห์ต่อไป ในเบื้องต้นกระแสเชื่อม 270 แอมแปร์และความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นตัวแปรการเชื่อมที่มีความเหมาะสมที่ทำให้ได้เฟสสารประกอบโลหะคาร์ไบด์ที่ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงในปริมาณสูงจึงเป็นสาเหตุให้โลหะเชื่อมพอกแข็งที่มีความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่าความแข็งแรงและความต้านทานการสึกหรอสูงกว่าความเร็วเดินแนวเชื่อมอื่นๆเมื่อความร้อนที่ให้แก่แนวเชื่อมต่ำสุด คือความเร็วเดินเชื่อม 500 มิลลิเมตรต่อนาที

รูปที่ 4.15 สารประกอบโครเมียมคาร์ไบด์มีค่าลดลงเล็กน้อย ค่าเห็นได้จากลดปริมาณลงของธาตุคาร์บอนในโลหะเชื่อมพอกแข็ง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอื่นๆที่เป็นธาตุเสริมความแข็งแรงและความแข็ง เช่น ซิลิกอน วานาเดียม แมงกานีส โมลิบดีนัม ปริมาณของโลหะคาร์ไบด์เหล่านี้ไม่ได้ลดลง แต่กลับมีปริมาณคาร์ไบด์ที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นนี้บ่งชี้ให้ทราบว่าถึงแม้ว่าโครเมียมคาร์ไบด์ของโลหะเชื่อมพอกแข็งที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 500 มิลลิเมตรต่อนาที จะมีค่าลดลงแต่โลหะคาร์ไบด์อื่นๆ มีค่าเพิ่มขึ้นและทำให้ความแข็งแรงและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความเร็วเดินเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเชื่อมพอกผิวแข็งบนลูกโรลเลอร์ที่ผ่านการสึกหรอจากการใช้งานจริง โดยการเชื่อมนี้มุ่งหวังเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการซ่อมสำหรับผู้ประกอบการและเกษตรกรในการทดลองใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมและลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux-cored Arc Welding) โดยปราศจากแก๊สในการปกคลุมแนวเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อม 170-270 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อมที่ 290-510 มิลลิเมตร/นาที จากนั้นนำลูกโรลเลอร์ที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งตัดทดสอบสมบัติทางกล และศึกษาโครงสร้างจุลภาคส่วนผสมทางเคมี สารประกอบทางโลหะด้วยเทคนิค SEM จากนั้นทำการเปรียบเทียบตลอดจนวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การสำรวจความเสียหายของลูกโรลเลอร์

1. ในการสำรวจการเสียหายของลูกโรลเลอร์ในการผลิตจริงพบว่า สามารถแบ่งการพังทลายออกเป็น 3 รูปแบบ คือ การพังทลายแบบเอียง 10% การพังทลายแบบตกร่องข้าง 20% และการพังทลายแบบหน้าตัดตรง 70 %

2. ในการซ่อมบำรุงขบวนการใช้วิธีการเปลี่ยนลูกโรลเลอร์ใหม่เข้าไปแทนลูกเก่าที่พังทลาย เนื่องจากการเชื่อมซ่อมมีราคาแพงและโลหะเชื่อมที่ได้มีอายุการใช้งานต่ำ อย่างไรก็ตามหากมีวิธีการเชื่อมที่ใช้เนื้อโลหะเชื่อมที่มีสมบัติทางกลสูงและมีอายุการใช้งานนาน อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิธีการเชื่อมซ่อมลูกโรลเลอร์ได้

อิทธิพลการเชื่อมซ่อมต่อสมบัติของโลหะเชื่อมลูกโรลเลอร์

1. ตัวแปรการเชื่อมที่ทำให้เกิดความต้านทานการสึกหรอสูงสุดหรือการสูญเสียน้ำหนักที่ต่ำสุด 0.29 กรัม คือกระแสไฟเชื่อม 270 แอมแปร์ และความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที

2. การลดค่าความร้อนที่ใช้แนวเชื่อม โดยการลดกระแสไฟเชื่อมและเพิ่มความเร็วเดินแนวเชื่อมส่งผลทำให้เกิดการก่อตัวของโลหะคาร์ไบด์ที่เป็นสารประกอบที่เพิ่มความแข็ง และความแข็งแรงในโลหะเชื่อม เช่น โครเมียมคาร์ไบด์ วานาเดียมคาร์ไบด์ แมงกานีสคาร์ไบด์ ซิลิกอนคาร์ไบด์ และโมลิบดีนัมคาร์ไบด์ เพิ่มขึ้น

3. การเพิ่มค่าความร้อนให้แก่แนวเชื่อมทำให้เกรนของโลหะเชื่อมมีความกลมมนและมีความโตเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการใช้แก๊สปกคลุมในการเชื่อมพอกแข็ง เนื่องจากแก๊สปกคลุมมีผลต่อการป้องกันการทำปฏิกิริยากับบรรยากาศภายนอกเพิ่มมากขึ้นและช่วยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนที่ให้กับแนวเชื่อมได้



บรรณานุกรม

- [1] <http://www.thaifita.com>, 6 กรกฎาคม 2556
- [2] <http://aster.spu.ac.th/file/user/80/80/upload/history61.pdf>, 16 กรกฎาคม 2556
- [3] http://praolivestockoffice.blogspot.com/2011_06_01_archive.html, 13 กรกฎาคม 2556
- [4] <http://www.oknation.net/blog/kohyao/2007/08/03/entry-1>, 13 กรกฎาคม 2556
- [5] <http://rangrangsee.blogspot.com/>, 13 กรกฎาคม 2556
- [6] <http://www.openrech.com/?p=169>, 13 กรกฎาคม 2556
- [7] <http://tudpichatatar.wordpress.com>, 13 กรกฎาคม 2556
- [8] http://densakchai.blogspot.com/2013/02/blog-post_2.html, 6 กรกฎาคม 2556
- [9] กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ ประจักษ์ อ่างบุญตา และบุญส่ง จงกลณี. 2552. รายงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2552 เรื่อง โครงสร้างจุลภาคและสมบัติของรอยเชื่อมวัสดุด้วยเทคโนโลยีการเชื่อมแบบใหม่. กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- [10] Japanese Standards Association. 1996. JIS Handbook Ferrous Materials&Metallurgy I: JIS G 4051 (1979). Japan: Japanese Standards Association. PP. 517-523.
- [11] กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ ศิริชัย ต่อสกุล อนินท์ มีมนต์ และนรพร กลั่นประชา. 2550. วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: เซนเกจเอนิ่ง. 525 หน้า
- [12] คณะวิศวกรรมโท. การเชื่อมโลหะในระบบ GMAW. กรุงเทพฯ: บริษัท ที พี พรินท์ จำกัด, 2539.
- [13] Fourth edition Arc welding of specific steels and cast Irons **KOBE,STEEL.LTD** Kita-Sninagawa,Shinagawa-ku,Tokyo,141-8688 Japan.
- [14] [http://e-book.ram.edule-book/m/MY318\(51\)MY318-7_pdf](http://e-book.ram.edule-book/m/MY318(51)MY318-7_pdf) สืบค้นเมื่อ วันที่ 29/04/2014
- [15] <http://yothin.ueuo.com/DATA/2.18.pdf> สืบค้นเมื่อ วันที่ 29/04/2014
- [16] นิตินทร นรภัยพิพาษา (2554) ผลกระทบของอุณหภูมิผิวสัมผัสที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของอิพอกซีเรซินเติมซิลิกาบด. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)
- [17] Chang,C.M.,Chen,Y.C. Wu,W.(2010) **Microstnactural and Abrasive Chavacteristics of High carbon Fe-Cr-C Hardfacing Alloy**.Tribology International 43 929-934.
- [18] C. A. Higgerson, Experiments in materials technology, Affiliated east-west press PVT., Ltd.: (1973) การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้แสง

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [19] C. A. Higgerson, Experiments in materials technology, Affiliated east-west press PVT., Ltd.: (1973) การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้แสง
- [20] ASTM Designation E 340 , Standard Test Method of Macroetching Metals and Alloys
- [21] นวัตกรรม ศรีสวัสดิ์, รศ.ดร ภิญโญ พานิชพันธ์ และรศ.ดร พินทิพ รื่นวงษา เทคโนโลยีการสร้างระดับนาโน สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาการเรียนรู้อ มหาวิทยาลัยมหิดล
- [22] Chatterjee, S. and Pal. T.K. Solid Particle Erosion Behaviour of Hardfacing Deposits on Cast Iron – Influence of Deposit Microstructure and Erodent Particles. Wear 261 (2006) 1069-1079.
- [23] Jeshvaghani, R.A., Harati, E., Shamanian, M. Effect of Surface Alloying on Microstructure and Wear Behavior of Ductile Iron Surface-modified with a Nickel-based Alloy using Shielded Metal Arc Welding. Materials and Design 32 (2011) 1531-1536.
- [24] Selvi, S. Sankaran, S.P. Srivatsavan, R. Comparative Study of Hardfacing of Valve Seat Ring using MMAW Process. Journal of Materials Processing Technology 207 (2008) 256-362.
- [25] Liu, D., Liu, R., Wei, Y., Ma, Y., Zhu, K. Microstructure and Wear Properties of Fe-15-Cr-2.5Ti-2C-xB wt% Hardfacing Alloys. Applied Surface Science 271 (2013) 253-259.
- [26] Buchely, M.F., Gutierrez, J.C., Leon, L.M., Toro, A. The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys. Wear 259 (2005) 52-61.
- [27] Japanese Standards Association. 1996. Welding: JIS Z 3114 (1990). Japan: Japanese Standards Association. PP. 572-574.
- [28] Japanese Standards Association. 1996. Welding: JIS Z 3312 (1990). Japan: Japanese Standards Association.
- [29] ASTM International, (1996) Standard Peactice for Microetching Metals and Alloys E407-99, Annual Book of ASTM Standard, Volume 03-01, pp.1-21
- [30] ASTM International, (1996) E92-82 Standard Test Methods for Vickers Superficial Hardness of Metallic Materials. ASTM Standard, Volume 03-01
- [31] G. Abbas, U. Ghazanfar Two-body abrasive wear studies of laser produced stainless steel and stainless steel + SiCcomposite clads

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [32] ASTM International, (1996) G65-94 Standard Test Methods for Measuring Abrasion using the Dry Sand/Rubber wheel Apparatus
- [33] วินัส ทองเปี้ย และสันติรัฐ นันสะออง การศึกษาอิทธิพลกระบวนการอบคืนตัวของรอยเชื่อมต่อโครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน(AISI 1045) ด้วยกระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์
- [34] Srinivasan, P. B., V. Muthupandi, W. Dietzel and V. Sivan (2006). "An assessment of impact strength and corrosion behaviour of shielded metal arc welded dissimilar weldments between UNS 31803 and IS 2062 steels." **Materials & Design** 27(3): 182-191.
- [35] วิลาสินี วุฒนิรสกล และคณะ การศึกษาและวิเคราะห์โลหะจากภาพ



ภาคผนวก







มศว 11 วิจัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ขอมอบเกียรติบัตรนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

อนุศักดิ์ ศิลัชย ประสมทอง และกิตติพงษ์ กิมะทองค์

ได้นำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับชาติ มศว วิจัย ครั้งที่ 11
วันที่ 29-30 มีนาคม 2561 ณ อาคารนวัตกรรม ศาสตราจารย์ ดร.สาโรช บัวศรี
ให้ไว้ ณ วันที่ 30 มีนาคม 2561

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมกัศม์ จิระเสะ
ผู้อำนวยการสถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย

อาจารย์ ดร.สุนิยม
บรรณารักษ์

ที่ ศธ 6922(2)/348



สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพมหานคร 10110

1 กุมภาพันธ์ 2561

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาบทความวิจัยการประชุมวิชาการระดับชาติ "มศว วิจัย" ครั้งที่ 11

เรียน ว่าที่ร้อยตรีอนุศักดิ์ ศิลาลัย

สิ่งที่ส่งมาด้วย รายละเอียดผลการพิจารณาบทความ

ตามที่ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยสถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย กำหนดจัดการประชุมวิชาการระดับชาติ "มศว วิจัย" ครั้งที่ 11 ในวันที่ 29-30 มีนาคม 2561 ณ อาคารนวัตกรรมการศึกษา ดร.สาโรช บัวศรี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร กรุงเทพมหานคร เพื่อเป็นเวทีให้นักวิจัย คณาจารย์ นิสิต/นักศึกษา ได้เผยแพร่ผลงานวิจัย โดยแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ นวัตกรรม เพื่อนำไปสู่การพัฒนาทางวิชาการของประเทศ และสร้างเครือข่ายความร่วมมือด้านการวิจัยเพื่อพัฒนาประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ นั้น

ในกรณีนี้ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้พิจารณาคัดเลือกบทความเพื่อนำเสนอในการประชุมดังกล่าวเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยบทความของท่านตามรหัสอ้างอิง SWURES11-143 ผ่านการพิจารณาให้นำเสนอในรูปแบบบรรยาย โดยมีข้อเสนอแนะตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ซึ่งท่านจะต้องดำเนินการปรับแก้ตามข้อเสนอแนะอย่างเคร่งครัด ทั้งนี้ ขอให้ท่านปรับแก้บทความจากไฟล์ต้นฉบับที่มหาวิทยาลัยส่งแนบให้ทางอีเมลเท่านั้น และส่งบทความฉบับแก้ไขทาง E-mail:swures2018edit@gmail.com ภายในวันศุกร์ที่ 9 กุมภาพันธ์ 2561 หากไม่ส่งบทความฉบับแก้ไขตามวันที่กำหนด จะถือว่าท่านสละสิทธิ์ในการนำเสนอผลงาน สำหรับไฟล์ฉบับแก้ไขขอให้ส่งเป็นไฟล์ Microsoft word พร้อมตั้งชื่อไฟล์แก้ไขเป็น SWURES11- รหัสบทความedit02 ตัวอย่างเช่น SWURES11-001edit02 และขอให้ท่านยืนยันการเข้าร่วมนำเสนอผลงานในระบบ ระหว่างวันที่ 12-20 กุมภาพันธ์ 2561 สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ ฝ่ายบริหารจัดการวิจัย โทรศัพท์ 02-649-5000 ต่อ 11017-11018, 11082

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

ผู้อำนวยการสถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
ปฏิบัติกรแทน อธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ฝ่ายบริหารจัดการวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
โทรศัพท์ 02-649-5000 ต่อ 11018-11019
โทรสาร 02-259-1822

PROCEEDINGS

The 11th Srinakharinwirot University Research Conference



29-30 มีนาคม 2561

ณ อาคารนวัตกรรม ศาสตราจารย์ ดร.สาโรช บัวศรี
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ISBN : 978-616-296-163-2

สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
Strategic Wisdom and Research Institute Srinakharinwirot University



QR Code
facebook

การประชุมวิชาการระดับชาติ “มศว วิจัย” ครั้งที่ 11

จัดโดย สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย ร่วมกับ เครือข่ายวิจัยเครือข่ายอุดมศึกษาภาคกลางตอนบน สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย และสมาคมวิศวกรที่ปรึกษาเครื่องกลและไฟฟ้าไทย

ที่ปรึกษา

อธิการบดี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้อำนวยการสถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บรรณาธิการ

อาจารย์ ดร.ธนธิป สุ่มอ้อม

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กองบรรณาธิการภายนอกมหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ กิตติคุณ ดร.สมบัติ กาญจนกิจ

ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง

ศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์

ศาสตราจารย์สุชาติ เกาทอง

รองศาสตราจารย์ ดร.เชษฐ รัชดาพรธนาธิกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.จิตต์นวัตร ปะโคทั้ง

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรดนัย จิระเดชะ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เขิงเขาว์

รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงรัตน์ วัฒนกิจไกรเลิศ

รองศาสตราจารย์ ดร.นิยม วงษ์พงษ์คำ

รองศาสตราจารย์ ดร.นิรัช สุดสังข์

รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ สุทธิประสิทธิ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ประวีตร เจนวนรรณะกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิมา กุลมา ณ อุษยา

รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ไทย สุรกิจบวร

รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ห้ายเรือคำ

รองศาสตราจารย์ ดร.สำราญ มีแจ้ง

รองศาสตราจารย์ ทพญ.ดร.ทิพาพร วงศ์สุสิทธิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทพญ.ดร.เกศกัญญา สัพพะเลข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกนถุน บางท่าไม้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แสงสรรค์ ภูมิสถาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ จันทร์เจริญชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติชัย รัตนะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลิตา อยู่ตะเกา

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ศูนย์พัฒนามาตรฐานและคุณภาพการผลิตและการบริการ

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ข้าราชการเกษียณ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงพร หาญสันติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นฤมล ชีระรังสิกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ คุณนารักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุวรรณ เทรินโบลี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาพรพรรณ ไชยานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา อัครจันทโชติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา ลีตระกูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปองศักดิ์ ทองเนื้อแข็ง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนมขวัญ รียะมงคล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิไล อินทนู
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวัฒน์ สิริเวสมาศ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริโฉม หุ่นแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ วรชัยยุทธ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนนทิพย์ จิตสว่าง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พ.ต.อ.หญิง ดร.กัญญ์จिता ศรีภา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญใจ ศุกรนันท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรพรรณ เขยจิตร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิศมัย อวระกุลพานิชย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รสดา เวชฎาพันธ์
อาจารย์ ร.ดร.รัฐฉวี วงษ์วิทย์
อาจารย์ ดร.เมตตา ศิริสุข
อาจารย์ ดร.ไชยณรงค์ เศรษฐเชื้อ

อาจารย์ ดร.จิระวัฒน์ ดันสกุล
อาจารย์ ดร.ชดชนก อัครพงษ์

อาจารย์ ดร.ฐิติวรรณ ชิววิภาส
อาจารย์ ดร.ณัฐธิดา สุวรรณโณ
อาจารย์ ดร.ณัฐริกา นาคเพชร
อาจารย์ ดร.ดุจหทัย วงษ์กะพันธ์
อาจารย์ ดร.กฤษณา เรืองชีวิน
อาจารย์ ดร.สมหมาย อุดมวิทิต
อาจารย์ ดร.สุดาทิพย์ แซ่ตัน
อาจารย์อริน เจียจันทร์พงษ์

อาจารย์ฐิติยา พงนาพิทักษ์

คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
คณะนิเทศศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
คณะสังคมศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ
คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
คณะจิตรศิลป์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะกายภาพ มหาวิทยาลัยรังสิต
คณะศิลปกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
มหาวิทยาลัยศิลปากร

กองบรรณาธิการภายในมหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.วรพทย์ มีมาก	คณะสังคมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ชุ่มวัฒนะ	คณะสังคมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐ์ กุศลศรี	คณะสังคมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.กัณวีรัช พลุปราชญ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ สายหยุดทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ ศรีสรจันทร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.สังข์จะ เสถบุตร	คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.จันจิรา จัปศิลป์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ชมพูนุท โกสลากร เพิ่มพูนวิวัฒน์	บัณฑิตวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ชงพล พรหมสาขา ณ สกลนคร	สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.นำฝน คูเจริญไพศาล	คณะวิทยาศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรพิมล ม่วงไทย	คณะวิทยาศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณคล เข้มมงคล	คณะเภสัชศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี อนุพันธ์พิศิษฐ์	คณะแพทยศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธีวรรณ พิรศักดิ์โสภณ	สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนีย์ เหมะประสิทธิ์	คณะศึกษาศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทพญ.ปรมาภรณ์ จิวพัฒนากุล	คณะทันตแพทยศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะธิดา ตั้งธีระวัฒนะ	คณะแพทยศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ มงคล	คณะสังคมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวัลลักษณ์ คุณนารีกรกิจ	คณะสังคมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพล ยงพร	คณะศึกษาศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัทธิรัตน์ พีระพันธุ์	คณะศึกษาศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศมัย รัตนโรจน์สกุล	คณะศึกษาศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพัทธ์ สุวทันพรกุล	คณะศึกษาศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ฤกษ์เลื่อนฤทธิ์	คณะพยาบาลศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐริมาพร ชนปิยวัฒน์	คณะพยาบาลศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราวัฒน์ เจริญสถาพรกุล	คณะเศรษฐศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชพันธุ์ เขยจิตร	คณะเศรษฐศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภนันท์ รัมประเสริฐ	คณะเศรษฐศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สารี วรวิสุทธิสารกุล	คณะเศรษฐศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินันท์ พงษ์ประมุข	คณะวิทยาศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงษ์ แสงประดิษฐ์	คณะวิทยาศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชากัก ศรียากย์	คณะวิทยาศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ	คณะวิทยาศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุศิษฐ์ ทองนำ	คณะวิทยาศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริมนต์ ชายเกตุ	คณะวิทยาศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราศุภร์ จันประเสริฐ	สถาบันวิจัยพฤกษศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลเทพ พูนพล	สถาบันวิจัยพฤกษศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นริศรา พึ่งโพธิ์สภ	สถาบันวิจัยพฤกษศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยดา สมบัติวัฒนา	สถาบันวิจัยพฤกษศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นवल เพ็ชรวัฒนา	คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทวัฒน์ ณ นครพนม	คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ หนักแน่น	คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุณยวานิชกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย สีนถาวร	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจริ์ ศุภสุธีกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิลดา หวังพานิช	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรงรอง ดวงใจ	คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภัค มหาวารการ	คณะมนุษยศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย อารีรุ่งเรือง	คณะศิลปกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติภรณ์ นพอดมพันธ์	คณะศิลปกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิเทพ มุสิกะปาน	คณะศิลปกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชุดา กิจธรรรม	สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครา ประเสริฐสิน	สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วศินส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา	โรงเรียนสาธิต มศว ประสานมิตร (ฝ่ายประถม)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติชัย รักษาชาติ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนยศ อริสริยวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรชัย วิริยะสุทธีวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภัทราพร จิตสร้างบุญ	คณะสังคมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัสรีย์ กานต์เรืองศิริ	คณะสังคมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิพรรณ สาลีผล	คณะเศรษฐศาสตร์
อาจารย์ ทยู.ดร.จารุมา ศักดิ์ดี	คณะทันตแพทยศาสตร์
อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร	คณะศึกษาศาสตร์
อาจารย์ ดร.กนกพร ฉันทนารุ่งภักดิ์	คณะศึกษาศาสตร์
อาจารย์ ดร.กฤติกา สายณะวัตรชัย	คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ
อาจารย์ ดร.คมสิทธิ์ เกียนวัฒนา	คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ
อาจารย์ ดร.พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ	คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ
อาจารย์ ดร.อังสุมาลิน จ้านงชอบ	คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ
อาจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน	คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ
อาจารย์ ดร.จุฑาธิปต์ จันทร์เอี้ยด	คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ
อาจารย์ ดร.คมกฤษ ประเสริฐวงษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ ดร.อัฐสิทธิ์ ศิริวิฑราภรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ ดร.ชนาธิป สุ่มอ้อม
อาจารย์ ดร.ณัฐญา ประไพพาณิชย์
อาจารย์ ดร.พีระ ตั้งธรรมรักษ์
อาจารย์ ดร.ชนัท อมมาตยกุล
อาจารย์ ดร.พรรณทิพา เจริญไทยกิจ
อาจารย์ ดร.ปรมาภรณ์ เกิดทรัพย์
อาจารย์ ดร.มนศักดิ์ มหิงษ์
อาจารย์ ดร.อัมพวัลย์ วิศวะธีรานนท์
อาจารย์ ดร.รัชนีญา กลิ่นน้ำหอม
อาจารย์ ดร.ชนภูมิ อดิเวทิน
อาจารย์ ดร.ลำสัน เลิศกุลประหยัด
อาจารย์ ดร.วสันต์ สกกุลกิจกาญจน์
อาจารย์ ดร.สันติ เต็มประเสริฐกุล
อาจารย์ ดร.ศุภกัญญา ญาณสมบุรณ์
อาจารย์ ดร.วรินทร์ไพ รุ่งเรืองจิตต์
อาจารย์ ดร.วิญญูพัลล์ อยู่ในศีล
อาจารย์ ดร.วิมลวรรณ เลิศวงศ์เผ่าพันธุ์
อาจารย์ ดร.สุรวุฒิ วิจารณ์
อาจารย์ ดร.สุวรรณ พลายพิชิต
อาจารย์ ดร.จิตตินาด รัตนมุง
อาจารย์ ดร.ยศไกร ไทรทอง
อาจารย์ ดร.จารุวัส หนูทอง
อาจารย์พัชราภรณ์ วรโชติกำจร
อาจารย์บุษยามาศ มาลัยมาน

กองจัดการ

นางกรอุษา ศรีสุวรรณ
นายปิยชาติ บุญเพ็ญ
นายนิพนธ์ ราชวุฒิ
นางจิตรลดา สมรูป
นายสุทัศน์ย์น ขอมธิตา
นางสาวรัตนภาพร จิตรนพรัตน์
นางวัชรีย์ ปัญจพรผล
นายอานัตต์ ปิ่นทอง
นางสาวธิดาวัลย์ โชติวรรณ
นางสาวนัยดา รุ่งเรืองผล
นางสาวพิรารวรรณ ชงสวัสดิ์
นางสาวเกษชล ก้องสุธิกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะเศรษฐศาสตร์
คณะเศรษฐศาสตร์
คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร
คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร
คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร
วิทยาลัยโพธิวิชชาลัย
วิทยาลัยโพธิวิชชาลัย
คณะมนุษยศาสตร์
คณะสังคมศาสตร์
คณะสังคมศาสตร์
คณะสังคมศาสตร์
คณะสังคมศาสตร์
คณะสังคมศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย
คณะพยาบาลศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์
คณะศิลปกรรมศาสตร์
วิทยาลัยนวัตกรรมสื่อสารสังคม
วิทยาลัยนวัตกรรมสื่อสารสังคม
คณะศิลปกรรมศาสตร์

สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย

นางสาวศรัณย์พร นามไสย
นางสาวชนัญชิตา วัฒนสุข
นายนวัต จารุจินดา
นางสาวศิริภัสสร ดาราวงษ์
นางสาวแสงดาว เตือนแจ่ม
นางสาวศศิกรานต์ โลกานิล
นายปกรณ์ แดงเพียร
นางสาวรวีวรรณ วรรณจันทร์
นางสาวกนกวรรณ ธาอำ
นายกิตติพิชญ์ อ่อนมิ่ง
นางสาวจิตชญา บาลโสง

สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย

จัดพิมพ์โดย

สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 ซอยสุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
โทรศัพท์ 02649-5000 ต่อ 11014, 11018, 11019
โทรสาร 02259-1822

พิมพ์ครั้งที่ 1 เดือน มีนาคม 2561

ออกแบบปก นายกิตติพิชญ์ อ่อนมิ่ง

จัดรูปเล่ม สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ISBN: 978-616-296-163-2

SWURES11-134: การศึกษาแรงจูงใจในการเรียนรู้ภาษาไทยในฐานะภาษาต่างประเทศ ของนักศึกษาปริญญาตรีชาวจีนในมหาวิทยาลัยวิจัยไทย สุนททรัพย์ วัฒนา สิงหนาท น้อมเนียน ศิริเพ็ญ อังลธิทพูนพร ชูศักดิ์ สุวิมลเสถียร	965 - 976
SWURES11-136: ระบบการวิเคราะห์ความพึงพอใจและทัศนคติของนักท่องเที่ยวที่มี ต่อแหล่งท่องเที่ยวเชิงวิถีไทยในจังหวัดนครราชสีมาโดยใช้เทคนิคการทำเหมือง ข้อมูลความคิดเห็น ธีรพงษ์ สังข์ศรี อุษานาฏ เอื้ออภิสิทธิ์วงศ์ สุขชานันท์ วนภู ศรายุทธ เนียนกระโทก ธีรศักดิ์ สังข์ศรี	977 - 988
SWURES11-138: การศึกษากระบวนการเขียนเชิงสร้างสรรค์ ประเภทกวีนิพนธ์ : พหุกรณีศึกษาเด็กและเยาวชนที่ได้รับรางวัลด้านการเขียนในระดับประเทศ ทรงศรภรณ์ ยอดระบำ อธิพัทธ์ สุวทันพรกุล	989 – 1,000
SWURES11-139: ระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพด้านคอมพิวเตอร์ อุไรรัตน์ มากจันทร์ ทิพย์มณฑา ผกาแก้ว	1.001 – 1,012
SWURES11-142: ระบบแนะนำการท่องเที่ยวเชิงวิถีไทยในจังหวัดนครราชสีมา ด้วยการทำเหมืองข้อมูลแบบหลายตัวจำแนก ธีรศักดิ์ สังข์ศรี อุษานาฏ เอื้ออภิสิทธิ์วงศ์ ธีรพงษ์ สังข์ศรี สุขชานันท์ วนภู ศรายุทธ เนียนกระโทก	1,013 – 1,021
SWURES11-143: อิทธิพลการเชื่อมข้อมต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค ของพื้นผิวลูกโรลเลอร์ในรถเกี่ยวและนวดข้าว อนุศักดิ์ ศิลาชัย กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ สุริยา ประสมทอง	1,022 – 1,031
SWURES11-145: การศึกษากระบวนการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส โดยการจัดการเรียนรู้แบบอิวริสติกส์ อนุพงศ์ สุขเกษม อธิพัทธ์ สุวทันพรกุล	1,032 – 1,039
SWURES11-148: อิทธิพลชั้นรองพื้นต่อสมบัติของโลหะเชื่อมพอกแข็ง บนพื้นผิวเหล็กหล่อเทา FC25 ชินราช ป็องเจริญ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ สุริยา ประสมทอง	1,040 – 1,048
SWURES11-151: ศึกษาประสิทธิภาพการอบของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการอบแห้งพริก นารัตน์ สีตะพงษ์	1,049 – 1,055

**SWURES11-143: อิทธิพลการเชื่อมซ่อมต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของพื้นผิว
ลูกโรลเลอร์ในรถเกี่ยวและหวดข้าว
EFFECT OF WELD REPAIR ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE
OF ROLLER PART SURFACE IN RICE COMBINE HARVESTER**

อนุศักดิ์ ศิลาชัย^{1*}, สุริยา ประสมทอง², กิตติพงษ์ กิมะพงษ์¹
Anusak Silachai^{1}, Suriya Prasomthong², Kittipong Kimmapong¹*

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi.

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

²Department of Industrial Technology, Faculty of Industry Technology, Nakhon Phanom University.

*Corresponding author, E-mail: anusak_s@mail.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การนำลูกโรลเลอร์ในรถเกี่ยวข้าวที่เสียหายจากการสึกหรอกลับมาใช้ใหม่โดยการเชื่อมซ่อมเป็นวิธีการสำคัญที่สามารถเพิ่มผลผลิตภาพในการปลูกข้าว เนื่องจากวิธีการนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติเฉพาะพื้นผิวที่เสียหายที่สามารถปรับปรุงสมบัติทางกล ยืดอายุการใช้งาน และทำให้เกิดการลดต้นทุนในการปลูกข้าว ด้วยเหตุนี้ การเตรียมข้อมูลการเชื่อมซ่อมจึงเป็นวิธีการที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาการปลูกข้าวในอนาคต บทความนี้มีวัตถุประสงค์ในการเชื่อมซ่อมลูกโรลเลอร์ในรถเกี่ยวและหวดข้าว และศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมพอกแข็ง ผลการทดลองโดยสุปมีดังนี้ ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด 0.29 g ประกอบด้วยกระแสเชื่อม 270 A และความเร็วเดินแนวเชื่อม 290 mm/min การลดกระแสเชื่อมและเพิ่มความเร็วในการเดินแนวเชื่อมส่งผลต่อการลดการสูญเสีย น้ำหนักของชิ้นทดสอบ ซึ่งหมายถึงการเพิ่มความต้านทานการสึกหรอของพื้นผิว การเพิ่มกระแสเชื่อมส่งผลต่อการกระจายส่วนผสมทางเคมีของธาตุเสริมแรงในโลหะเชื่อมดังพบได้ในการกระจายตัวของเฟสโครเมียมคาร์ไบด์ และเฟสเหล็กคาร์ไบด์ในโลหะเชื่อมพอกแข็ง

คำสำคัญ: การเชื่อมซ่อม, การเชื่อมพอกแข็ง, ลูกโรลเลอร์

Abstract

Reuse of a worn-out roller part in a rice combine harvester using a weld repair, is an important method for increasing rice productivity. This is because of it is a local surface modification that can improve mechanical property of a surface, extend a service time, and also reduce a production cost of rice farming. Therefore, a welding repair data should be prepared and can be useful for a rice farming development in a near future. This paper aimed to welding repair a roller part in a rice combine harvester and to study an effect of welding parameter on mechanical properties and microstructure of the hard-faced weld metal.

The summarized experimental results were as follows. The optimum welding parameter that showed the lowest weight loss of 0.29 g was composed of a welding current of 270 A and a welding speed of 290 mm/min. A decrease of welding current and an increase of welding speed affected to decrease the weight loss of the specimen that implied an increase of the wear resistance of a surface. An increase of a welding current affected to disperse the chemical composition of a reinforce elements in a weld metal as a dispersion of a chromium carbide phase or iron carbide phase in a hard faced-weld metal.

Keywords: Welding Repair, Hard Faced Welding, Roller

บทนำ

ความต้องการในการเพิ่มปริมาณข้าวเปลือกของชาวนาเพื่อเพิ่มรายได้ครัวเรือนเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้เกษตรกรไทยนำเครื่องจักรกลเกษตร เช่น รถไถนา รถแทรกเตอร์ รถเกี่ยวและนวดข้าว เป็นต้น เข้ามาช่วยในการเพาะปลูกข้าวอย่างไรก็ตามในการนำเอาเครื่องจักรกลเกษตรเข้ามาใช้งาน เช่น การนำเอารถเกี่ยวและนวดข้าวเข้ามาช่วยในการเก็บเกี่ยวข้าวนั้น เมื่อรถเกี่ยวและนวดข้าวถูกนำไปใช้ในระยะเวลายาวนาน ชิ้นส่วนต่างๆ ของรถเกี่ยวและนวดข้าวมักเกิดการเสียหาย ชำรุด และพังทลายลงไปในชิ้นส่วนสำคัญของรถเกี่ยวและนวดข้าวที่เกิดการชำรุดเนื่องจากการเสียดสีระหว่างผิวลูกโรลเลอร์และสิ่งแฉกปลอม และถูกทำการซ่อมบำรุงโดยการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่เข้าไปแทนที่ คือ ลูกโรลเลอร์ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนในระบบขับเคลื่อนของรถเกี่ยวและนวดข้าว ที่ผ่านมาในการซ่อมบำรุง ลูกโรลเลอร์ที่ชำรุดเนื่องจากการสูญเสียเนื้อโลหะจากการสึกหรอ (Wear) มักถูกทิ้งเป็นขยะ และมีแนวโน้มปริมาณเพิ่มสูงขึ้นทุกฤดูกาลเก็บเกี่ยว หากมีการนำเอาลูกโรลเลอร์ดังกล่าวมาทำการศึกษาวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ในการนำเอาลูกโรลเลอร์ที่ชำรุดนี้กลับมาใช้งานใหม่โดยการเพิ่มเนื้อโลหะและสมบัติทางกลบริเวณผิวโลหะที่เกิดการชำรุดเนื่องจากการสึกหรอสามารถก่อให้เกิดการลดต้นทุนการผลิตข้าวลงได้ [1]

การเชื่อมซ่อม (Weld repair) เป็นวิธีการสำคัญในการเพิ่มปริมาณและสมบัติของพื้นผิวที่เกิดการเสียหายเนื่องจากการเกิดการสึกหรอ หลังจากทำการเชื่อมซ่อม โลหะเชื่อมที่ก่อตัวขึ้นใหม่มีความแข็งแรงเท่ากับหรือสูงกว่าโลหะเดิม [2-4] ปัจจุบันมีผู้ศึกษาวิจัยกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งอย่างกว้างขวางโดยมุ่งหวังเพื่อประสิทธิภาพของแนวเชื่อม เช่น Buchely MF.; et al. [5] ศึกษาผลของโครงสร้างจุลภาคที่ส่งผลต่อการสึกหรอของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งโดยทำการเชื่อมบนแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมพบว่า การต้านทานการสึกหรอถูกกำหนดโดยขนาด รูปร่าง การกระจายตัวของธาตุผสม และปริมาณคาร์ไบด์ที่เกิดในแนวเชื่อม Sitthipong S.; et al. [6] ศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 4140 ที่ผ่านการพอกผิวแข็ง ทำการเปรียบเทียบกระบวนการเชื่อม คือ การเชื่อมลวดไส้ฟลักซ์ การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม และกระบวนการเชื่อมแก๊ส จากนั้นนำชิ้นงานตัดทดสอบสมบัติทางกลจากการทดลองพบว่าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมลวดไส้ฟลักซ์ให้ค่าต้านทานการสึกหรอสูงสุด

ตั้งข้อมูลดังกล่าวมาผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการเชื่อมซ่อมลูกโรลเลอร์ที่ชำรุดที่ถูกกองทิ้งเป็นขยะในพื้นที่กรณีศึกษาโดยทำการทำการประยุกต์การเชื่อมการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding: GMAW) พอกผิวแข็งในการเชื่อมซ่อมพื้นผิวลูกโรลเลอร์ ที่เกิดความเสียหายให้สามารถกลับมาใช้ใหม่ ได้โดยการทำการเชื่อมซ่อมเพิ่มปริมาณของโลหะพอกแข็งบนผิวลูกโรลเลอร์ ซึ่งอาจส่งผลทำให้ต้นทุน ของผู้ประกอบการกิจการรถเกี่ยวข้าวลดลงและเป็นการลดขยะลูกโรลเลอร์ที่ถูกทิ้งในพื้นที่การทำนา อย่างไรก็ตามเนื่องจากการประยุกต์การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมพอกผิวแข็งลูกโรลเลอร์รถเกี่ยวข้าวมีรายงานไว้ในปริมาณจำกัด ผลการทดลองที่ได้สามารถถูกนำไปใช้ในการพัฒนากระบวนการในการบำรุงรักษาและก่อให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมเครื่องจักรกลเกษตรต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมต่อสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งลูกโรลเลอร์

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการเชื่อมซ่อมลูกโรลเลอร์เพื่อลดต้นทุนในการเปลี่ยนลูกโรลเลอร์ ผู้ศึกษาจำเป็นต้องหาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อมซ่อมลูกโรลเลอร์เพื่อที่จะเตรียมความพร้อมและกำหนดขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อให้การทำงานมีความสะดวกและรวดเร็วให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยมีวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. เก็บข้อมูลลูกโรลเลอร์

การเก็บข้อมูลลูกโรลเลอร์หลังการเก็บเกี่ยวจากการสอบถามข้อมูลเกษตรกรพบว่าค่าเฉลี่ยในการเปลี่ยนลูกโรลเลอร์อยู่ที่ประมาณ 1,000-1,500 ไร่ โดยการเลือกวิธีการเปลี่ยนใหม่ทั้งคันไม่ทำการเชื่อมซ่อมสาเหตุเกิดจากกระบวนการซ่อมมีประสิทธิภาพของแนวเชื่อมไม่เพียงพออีกทั้งกระบวนการเชื่อมซ่อมราคาในการซ่อมมีราคาใกล้เคียงกับการเปลี่ยนใหม่ จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลการสึกหรอของลูกโรลเลอร์ทั้งหมด 400 ลูก พบว่าเกิดการเสียหายแบบตกร่องข้าง การสึกหรอแบบเอียงออก การสึกหรอแบบหน้าตัดตรง ดังภาพที่ 1 (ก) - (ค)

ตารางที่ 1 ความเสียหายและสาเหตุของความเสียหายจากการลงพื้นที่ (จังหวัดสุพรรณบุรี)

ลักษณะความเสียหาย	สาเหตุการเสียหาย
การสึกหรอแบบหน้าตัดตรง	- เกิดจากการเสียดสีระหว่างโซ่และลูกโรลเลอร์ ทำให้โซ่หลวมและง่ายต่อการตกลูกโรลเลอร์
การสึกหรอแบบเอียงออก	- เกิดจากการเสียดสีระหว่างโซ่, แรงรับน้ำหนักไม่เที่ยงตรงทำให้โซ่ตกรางลูกโรลเลอร์
การเสียหายแบบตกร่องข้าง	- เกิดการเสียดสีกับโซ่และเม็ดหินดินและทราย

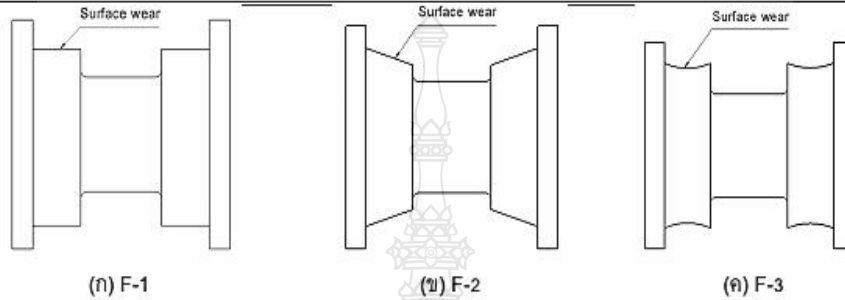
ตารางที่ 2 จำนวนชิ้นความเสียหายของลูกโรลเลอร์แต่ละประเภท

ลักษณะความเสียหาย	จำนวนความเสียหาย(ชิ้น)
การสึกหรอแบบหน้าตัดตรง (F-1)	48
การสึกหรอแบบเอียงออก (F-2)	176
การเสียหายแบบตกร่องข้าง (F-3)	280
รวม	400

สาเหตุการเสียหายถูกแสดงดังตารางที่ 1 การแยกประเภทความเสียหายจากการใช้งานโดยการสุ่มตัวอย่างลูกโรลเลอร์ 400 ลูก ลักษณะการเสียหายแต่ละประเภทดังตารางที่ 1 สามารถแยกจำนวนชิ้นการเสียหายดังตารางที่ 2 พบว่าความเสียหายประเภท F-1 มีจำนวน 32 ลูก ประเภท F-2 มีจำนวน 176 ลูก ประเภท F-3 มีจำนวน 280 ลูก

ตารางที่ 3 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมและวัสดุในการทดลอง (wt.%)

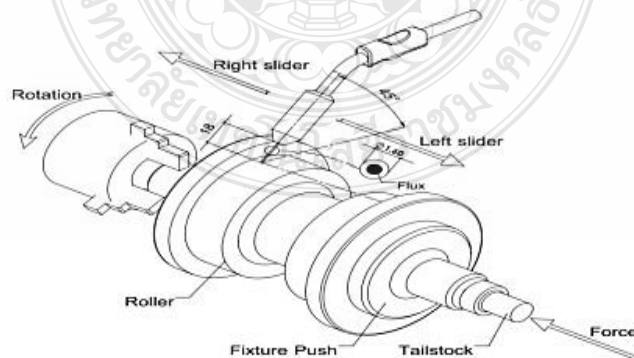
	C	Cr	Mn	Si	V	Mo	Fe
EN 14700 T Fe8	0.50	8.50	1.50	2.50	-	-	Bal.
Roller Carbon steels	0.420	0.560	0.510	0.360	0.011	0.005	Bal.



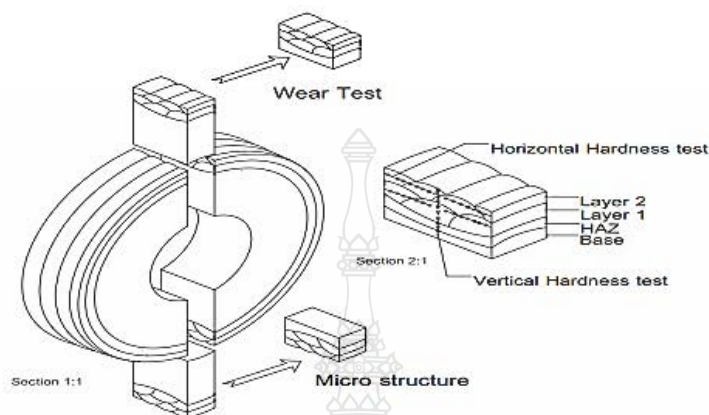
ภาพที่ 1 แสดงลักษณะการสึกหรอของลูกโรเลอร์หลังการใช้งาน

2. กระบวนการเชื่อมและวัสดุในการทดลอง

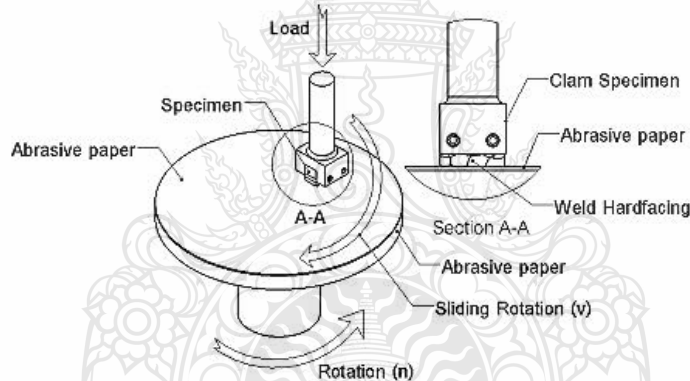
การทดลองใช้กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc welding :GMAW) ประยุกต์ใช้การเติมลวดแบบอัตโนมัติโดยชุดควบคุมความเร็วลวดที่สามารถปรับระดับความเร็วในการเติมลวดเข้าสู่บ่อหลอมละลาย ในการทดลองใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าใน รุ่น Fronius - A - 4600 weld ต่อขั้วไฟฟ้าแบบ DCEN กระแสไฟในการเชื่อมที่ 170 220 270 A และความเร็วในการเชื่อม 290 400 510 mm/min ในการเชื่อมทดลองปราศจากการใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมเนื่องจากลวดเชื่อมเป็นแบบลวดไส้ฟลักซ์ (Flux core wire) กลุ่มลวดเชื่อมพอกผิวแข็ง HARDFACE L-O/16-EN 14700 T Fe8 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มม. ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมและวัสดุในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 ในการเชื่อมทดลองทำการเชื่อมบนลูกโรเลอร์จริงปราศจากการตกแต่งผิวหน้า การเชื่อมทำการออกแบบเครื่องมือการเชื่อมดังแสดงในภาพที่ 2 สามารถควบคุมความเร็วรอบในการเชื่อมได้ มุมลวดเชื่อม 45 องศา กับชิ้นงาน ความยาวปลายลวดเชื่อม 18 มม. การจับยึดชิ้นงานโดยแรงดันจากยึนศูนย์ท้ายแทนและชุดหัวเชื่อมสามารถปรับเลื่อนซ้ายขวาตามระยะที่ต้องการ



ภาพที่ 2 กระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งลูกโรเลอร์ที่ผ่านการใช้งาน



(ก) ตำแหน่งการเตรียมชิ้นงานทดสอบ



(ข) การทดสอบการสึกหรอ

ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการตัดชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล และโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม (ก) ชิ้นตอนการตัดเตรียมชิ้นทดสอบ และวิธีการทดสอบ (ข) การทดสอบการสึกหรอของแนวเชื่อมชนิดสับแบบหมุนสัมผัส

3. การตรวจสอบสมบัติทางกลและส่วนผสมทางเคมี

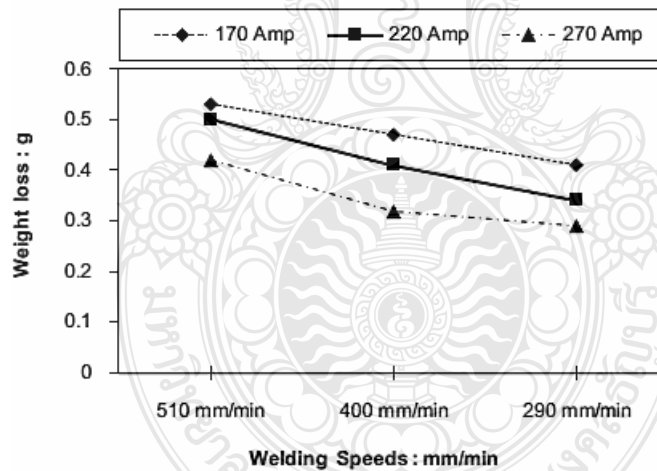
การเตรียมชิ้นงานทดสอบทำการตัดด้วยเครื่องตัดหล่อเย็นจำนวน 2 ชิ้นตัวอย่าง ตัวอย่างแรกทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ทำการขัดด้วยกระดาษทรายจากเบอร์หยาบจนถึงละเอียด จากนั้นทำการขัดผิวมันด้วยผงอลูมินา แล้วทำการกัดผิวหน้าด้วยกรดที่มีอัตราส่วนผสมของ HNO_3 , ความเข้มข้น 68% ปริมาณ 50 มิลลิลิตร HCl ความเข้มข้น 35% ปริมาณ 25 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร เวลากัดผิวหน้า 10 วินาที จากนั้นทำการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) ส่วนผสมทางเคมีและการกระจายตัวของธาตุผสมในแนวเชื่อม ทำการตรวจสอบบริเวณพื้นที่แนวเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) รุ่น JEOL Scanning Electron Microscope JSM-5410LV เชิงปริมาณที่เกิดจากผลของการ

ปรับตัวแปรในการเชื่อมจากนั้นทำการทดสอบความแข็งของแนวเชื่อมโดยทำการกดจากแนวเชื่อมลงสู่โลหะฐาน ดังภาพที่ 3 (ก) และชิ้นงานทดสอบการสึกหรอตัดชิ้นงานขนาด 10x10x10 มม. ทำการทดสอบขัดสีแบบหมุน สัมผัสโดยออกแบบชุดจับยึดชิ้นงานทดสอบ ดังภาพที่ 3 (ข) บนเครื่องขัดอัตโนมัติซึ่งสามารถควบคุมความเร็ว รอบในการหมุน เวลา และแรงในการกดชิ้นงาน การทดสอบทำการกดชิ้นงานลงบนกระดาษทราย (SiC-No.80) แรงกดทดสอบ 25N ความเร็วรอบจาน หมุน 150 rev./min และความเร็วรอบชุดจับชิ้นงานหมุน 90 rev./min เวลาทดสอบ 16 นาที ก่อนและหลังทำการทดสอบทำการชั่งน้ำหนักเก็บผลเพื่อเปรียบเทียบปริมาณ

ผลการวิจัย

การศึกษาการเชื่อมพอกผิวแข็งบนลูกโรลเลอร์ที่ผ่านการสึกหรอจากการใช้งานจริงโดยการเชื่อมนี้มุ่งหวัง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็ง การทดลองใช้กระบวนการเชื่อมลวดไส้ฟลักซ์ (Flux-Cored Arc Welding) โดยปราศจากแก๊สในการปกคลุมแนวเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อม 170-270A ความเร็ว ในการเดินเชื่อมที่ 290-510 mm/min จากนั้นนำลูกโรลเลอร์ที่ผ่านกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งตัดทดสอบสมบัติ ทางกลและศึกษาโครงสร้างจุลภาคส่วนผสมทางเคมี ด้วยเทคนิค SEM จากนั้นทำการเปรียบเทียบตลอดจน วิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

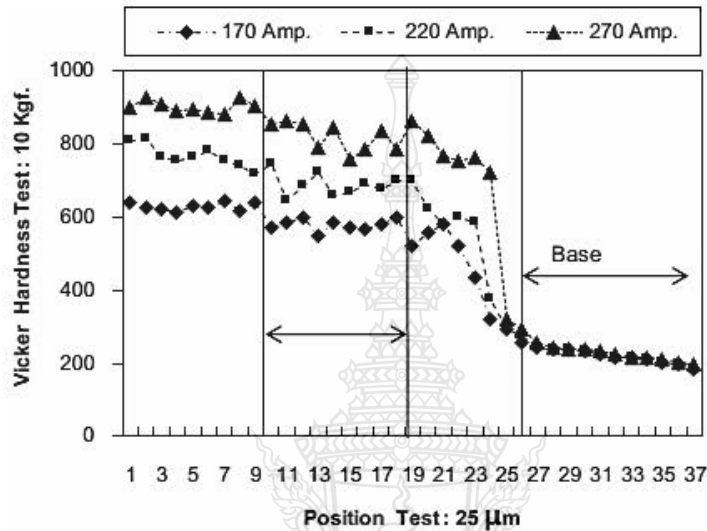
1. ผลการตรวจสอบสมบัติทางกลของแนวเชื่อม



ภาพที่ 4 แสดงผลการตรวจสอบอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อม 170-270 A ความเร็วในการเดินเชื่อมที่ 290-510 mm/min

การตรวจสอบอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมแสดงขั้นตอนและวิธีการดังภาพที่ 3 (ข) ทำการเปรียบเทียบ กระแสไฟเชื่อมและความเร็วในการเชื่อม ดังแสดงในภาพที่ 4 ผลการทดลองพบว่าที่ความเร็วในการเชื่อม 510 mm/min ที่กระแสไฟในการเชื่อม 170-270 A อัตราการสึกหรอสูงสุด 0.53 กรัม 0.50 กรัม และ 0.42 กรัม ตามลำดับ และเมื่อลดความเร็วในการเชื่อมลงที่ความเร็วในการเชื่อม 400 mm/min พบว่าอัตราการสึกหรอลดลง

ของทุกกระแสเชื่อมแต่ลักษณะการสึกหรอยังพบว่าที่กระแสไฟในการเชื่อม 170 A อัตราการสึกหรอมีค่าสูงสุดที่ 0.47 กรัม จากการทดลองนี้พบว่าที่ความเร็วในการเชื่อมต่ำสุดอัตราการสึกหรอลดลงของทุกกระแสไฟเชื่อม แต่ที่กระแสไฟในการเชื่อม 270 A ที่ความเร็วในการเชื่อม 290 mm/min อัตราการสึกหรอต่ำสุดที่ 0.29 กรัม



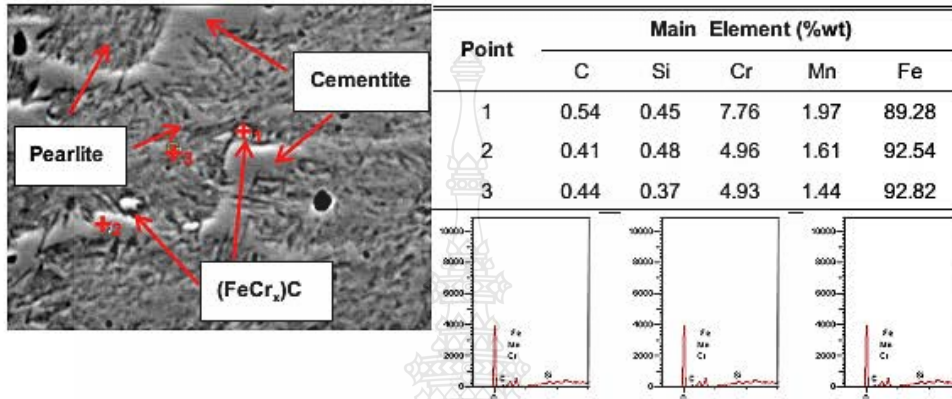
ภาพที่ 5 ผลการตรวจสอบความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อม 170-270 A
ความเร็วในการเดินเชื่อมที่ 290 mm/min

การตรวจสอบอัตราการสูญเสียของแนวเชื่อม พบว่าที่ความเร็วในการเชื่อม 290 mm/min ให้อัตราการสูญเสียแนวเชื่อมต่ำสุดดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบความแข็งแนวเชื่อมเฉพาะกระแสไฟในการเชื่อมที่ 170-270 A ที่ความเร็วในการเดินเชื่อม 290 mm/min พบว่าความแข็งแนวเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อม 270 A ความแข็งแนวเชื่อมสูงสุดและแนวเชื่อมชั้นที่ 2 หรือแนวเชื่อมทับหน้าให้ค่าความแข็งสูงกว่าแนวเชื่อมชั้นที่ 1 โดยมีความแข็งเฉลี่ยชั้นที่ 903HV และ 819HV ของชั้นที่ 1 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อม จากนั้นเมื่อลดกระแสไฟในการเชื่อมลดลงเป็น 220 A ค่าความแข็งของแนวเชื่อมมีค่าลดลงดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งค่าเฉลี่ยความแข็งต่ำกว่ากระแสไฟเชื่อมที่ 270 A ส่งผลให้อัตราการสูญเสียแนวเชื่อมจากการตรวจสอบการสึกหรอสูงขึ้น และจากการทดลองนี้พบว่ากระแสไฟในการเชื่อมลดลงแนวโน้มของค่าความแข็งมีค่าลดลงดังแสดงในผลการทดลอง แต่ยังคงพบว่าแนวเชื่อมทับหน้าหรือแนวเชื่อมชั้นที่ 2 ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งสูงกว่าแนวเชื่อมชั้นที่ 1 สาเหตุอาจเกิดจากแนวเชื่อมชั้นที่ 1 เกิดการเงาจางระหว่างลวดเชื่อมกับโลหะฐานสูงเกินไป ส่งผลให้ค่าความแข็งมีค่าลดลง

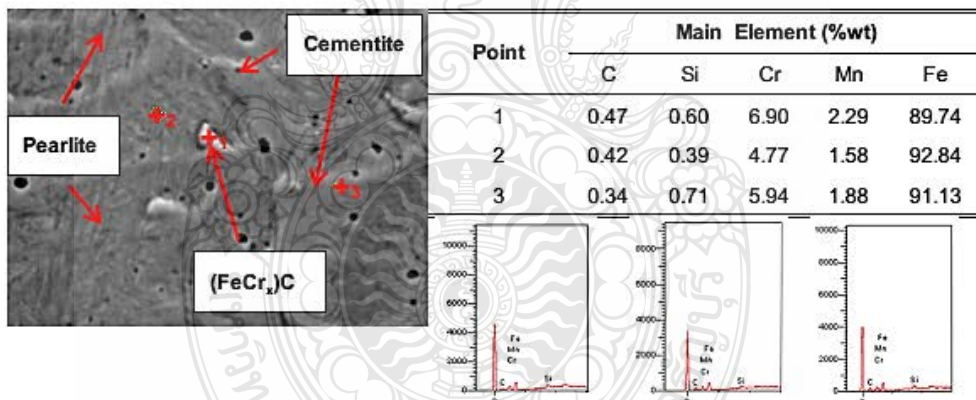
2. การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเคมี

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยลวดเชื่อมกลุ่มเหล็ก (Fe-8.5%Cr-0.5%C-1.5%Mn) ซึ่งเป็นลวดกลุ่มที่ตกผลึกแล้วความแข็งของแนวเชื่อมสูงจากโครงสร้างมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเคมีของการทดลองนี้ทำการตรวจสอบแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสไฟในการเชื่อม 170-270 A ความเร็วในการเชื่อม 290 mm/min เพราะจากการตรวจสอบมีสมบัติทางกลสูงสุด

จึงนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Qualitative) ดังแสดงในภาพที่ 6-8 โดยทำการตรวจสอบ 3 จุดเพื่อทำการเปรียบเทียบส่วนผสมทางเคมีของแต่ละจุด ภาพที่ 6 แสดงโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อม 270 A ความเร็วในการเชื่อม 290 มม./นาที



ภาพที่ 6 โครงสร้างจุลภาค ส่วนผสมทางเคมี และสเปกตรัมของแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 270 A
ความเร็วเดินเชื่อม 290 mm/min



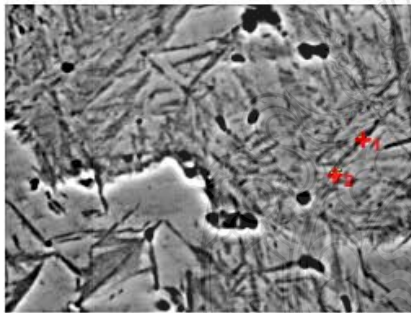
ภาพที่ 7 โครงสร้างจุลภาค ส่วนผสมทางเคมี และสเปกตรัมของแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 220 A
ความเร็วเดินเชื่อม 290 mm/min

สมบัติทางกลสูงสุดเมื่อเทียบกับ กระแสไฟในการเชื่อมอื่นจากการตรวจสอบพบว่าส่วนผสมทางเคมีบริเวณจุดที่ 1 ส่วนผสมหลักประกอบด้วยโครเมียมสูงถึง 7.76% รองลงมาเป็นคาร์บอน 4.54% และแมงกานีส 1.97% ตามลำดับ ซึ่งจากการสังเกตพบว่าปริมาณโครเมียมสูงอาจสนับสนุนให้เกิดสารประกอบระหว่างโครเมียมกับคาร์บอนที่มีความแข็งสูง จากนั้นทำการตรวจสอบบริเวณจุดที่ 2 และจุดที่ 3 พบว่าสัดส่วนผสมทางเคมีลดลง ดังแสดงในผลการตรวจสอบ ดังภาพที่ 6 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสไฟสูงสุด 270 A ที่พลังงานในการเชื่อมสูงสุดส่งผลต่อการหลอมละลายแนวเชื่อม ส่งผลต่อการแข็งตัวของแนวเชื่อมซึ่งโครงสร้างสุดท้ายของแนวเชื่อมเกิดโครงสร้างโปรยูเทคตอยซีเมนไทต์ (Pro-Eutctoid-Fe₃C) สลับกับเดนไดรต์ของเฟอร์ไรต์ (Dendrit- α + Fe₃C) และมีลักษณะคล้ายเหล็กคาร์ไบด์ก่อตัวขึ้นบริเวณแนวเชื่อมทำให้สมบัติทางกลของแนวเชื่อม

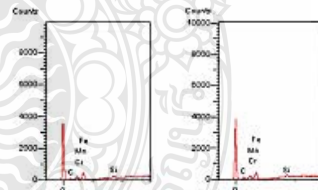
สูง

ภาพที่ 7 แสดงโครงสร้างจุลภาค ส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 220 A ความเร็วเดินเชื่อม 290 mm/min ทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อม การตรวจสอบสมบัติทางกล ค่าความแข็งแนวเชื่อมเฉลี่ยต่ำและอัตราการสึกหรอสูงกว่ากระแสไฟเชื่อมที่ 270 A และเมื่อทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีแนวเชื่อมยังพบว่าธาตุผสมหลักในแนวเชื่อมอุดมไปด้วยโครเมียม แมงกานีส ซิลิคอน และคาร์บอน แต่ปริมาณต่ำกว่าที่กระแสไฟในการเชื่อม 270 A ภายในโครงสร้างจุลภาคยังพบลักษณะคล้ายเหล็กคาร์ไบด์เกิดขึ้น และลักษณะเฟสที่เกิดขึ้นภายในเหมือนกับกระแสไฟในการเชื่อม 270 A ซึ่งอาจเกิดจากกระแสไฟเชื่อมต่ำส่งผลต่อความร้อนในแนวเชื่อมทำให้การกระจายตัวของธาตุผสมแนวเชื่อมลดลง

ภาพที่ 8 แสดงโครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสไฟในการเชื่อม 170 A ซึ่งเป็นกระแสไฟในการเชื่อมต่ำสุดสำหรับการทดลองนี้ การตรวจสอบสมบัติทางกลมีค่าความแข็งแนวเชื่อมต่ำสุดและอัตราการสูญเสียของแนวเชื่อมสูงสุดเมื่อเทียบกับกระแสไฟในการเชื่อมอื่นสังเกตจากผลการทดลองที่ 4 และภาพที่ 5 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมลักษณะคล้ายเข็ม (Needle like) คล้ายโครงสร้างเบนไนต์ ที่เกิดจากการเย็นตัวเร็วซึ่งโครงสร้างเรียงตัวสลับกันระหว่างโครงสร้างสีขาวกับโครงสร้างสีดำภายในแนวเชื่อม การตรวจสอบความแข็งแนวเชื่อมเฉลี่ย 628 HV ของชั้นที่ 2 มีค่าความแข็งแนวเชื่อมต่ำสุดเมื่อเทียบกับกระแสไฟเชื่อมอื่น ส่งผลให้อัตราการสึกหรอสูงสุด และยังพบว่าไม่ปรากฏอนุภาคที่คล้ายเหล็กคาร์ไบด์เกิดขึ้นภายในแนวเชื่อม สังเกตส่วนผสมทางเคมีปริมาณของธาตุหลักมีค่าลดลง ซึ่งอาจเกิดจากที่กระแสไฟเชื่อมต่ำส่งผลให้อัตราการเย็นตัวสูงส่งผลให้อัตราการแพร่ของธาตุหลักมีค่าลดลง



Point	Main Element (%wt)				
	C	Si	Cr	Mn	Fe
1	0.41	0.47	5.08	1.71	92.33
2	0.38	0.45	4.82	1.69	92.66



ภาพที่ 8 โครงสร้างจุลภาค ส่วนผสมทางเคมี และสเปกตรัมของแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 170 A
ความเร็วเดินเชื่อม 290 mm/min

สรุปและอภิปรายผล

การเชื่อมพอกผิวแข็งลูกโรลเลอร์ด้วยลวดเชื่อมไร้ฟลักซ์กลุ่มเหล็กที่ความเร็วในการเชื่อม 290-510 mm/min และกระแสไฟในการเชื่อมที่ 170-270 A บนผิวลูกโรลเลอร์จริงจากนั้นทำการตรวจสอบสมบัติทางกลและส่วนผสมทางเคมี การดำเนินงานสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การสึกหรอของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งลูกโรลเลอร์ที่กระแสไฟในการเชื่อม 170-270 A ความเร็วในการเชื่อมที่ 290-510 mm/min จากการตรวจสอบพบว่าอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมต่ำสุดที่กระแสไฟในการเชื่อม 270 A ความเร็วในการเชื่อมที่ 290 mm/min ที่อัตราการสึกหรอ 0.29 กรัม จากการทดลองพบว่ากระแสไฟในการ

เชื่อมลดลงและความเร็วในการเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นอัตราการสึกหรอมีค่าสูงขึ้น

2. ที่ความเร็วในการเชื่อม 290 mm/min กระแสไฟในการเชื่อม 270 A ให้ค่าความแข็งของแนวเชื่อมสูงสุดที่ 903HV รองลงมาเป็นกระแสไฟในการเชื่อม 220 A และ 170 A ตามลำดับ

3. การทดลองพบว่ากระแสไฟในการเชื่อมส่งผลต่อการกระจายตัวของธาตุผสมหลักในแนวเชื่อม ซึ่งพบว่ากระแสไฟในการเชื่อมสูงสุดที่ 270 A จากการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมมีส่วนผสมของธาตุหลักสูงสุดและยังพบลักษณะคล้ายเหล็กคาร์ไบด์กระจายตัวในแนวเชื่อม

4. จากการทดลองการเชื่อมพบว่าลักษณะรูปแบบการสึกหรอทั้งสามรูปแบบสามารถใช้ตัวแปรในการเชื่อมในการเชื่อมเดียวกันสำหรับการเชื่อมซ่อมได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] อติศักดิ์ ไสวอมร; ระพี กาญจนะ; และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. (2559). การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงของเครื่องเกี่ยวนาดข้าวโดยประยุกต์ใช้เทคนิค Failure Mode and Effect Analysis (FEMA). ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.พระนครศรีอยุธยา. แผ่นซีดีรอม. พระนครศรีอยุธยา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.*
- [2] Chung, R.J., Tang, X., Li, D.Y., Hinckley, B., and Dolman, K. (2009, June 15). Effects of titanium addition on microstructure and wear resistance of hypereutectic high chromium cast iron Fe-25wt.%Cr-4wt.%C. *Wear*. 267: 356-361.
- [3] Chang, C.M., Chen, Y.C., and Wu, W. (2010). Microstructural and abrasive characteristics of high carbon Fe-Cr-C hardfacing alloy. *Tribology International*. 43: 929-934.
- [4] Chang, C.M., Chen, L.H., Lin, C.M., Chen, J.H., Fan, C.M., and Wu, W. (2010, October 15). Microstructure and wear characteristics of hypereutectic Fe-Cr-C cladding with various carbon contents. *Surface and Coatings Technology*. 205: 245-250.
- [5] M. F. Buchely, J. C. Gutierrez, L. M. León, and A. Toro. (2005). The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear*. 259: 52-61.
- [6] Sitthipong, S., Towatana, P., Sitticharenchai, A., and Meengam, C. (2017, January 1). Abrasive Wear Behavior of Surface Hardfacing on Propeller Shafts AISI 4140 Alloy Steel. *Materials Today: Proceedings*. 4: 1492-1499.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ว่าที่ร้อยตรีอนุศักดิ์ สีลาชัย
วัน เดือน ปีเกิด	6 มีนาคม 2528
ที่อยู่	72/3 หมู่ที่ 7 ตำบลรามะสัก อำเภอโพธิ์ทอง จังหวัดอ่างทอง 14120
การศึกษา	ปริญญาตรีเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี ตำแหน่งเจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ตั้งแต่ พ.ศ. 2551 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	06-3251-5144
อีเมล	Anusak0602@hotmail.com

