

การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมแม่เหล็กต่อสมบัติ
ของรอยต่อเทอร์เบดิ่งค้ำเหล็กกล้าคาร์บอน JIS - Z3141 SPCEN

INFLUENCE OF MAG WELDING PARAMETERS ON JIS - 3141
SPCEN CARBON STEEL TAILORED BLANK JOINT PROPERTIES

สมศักดิ์ เชาวลิต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

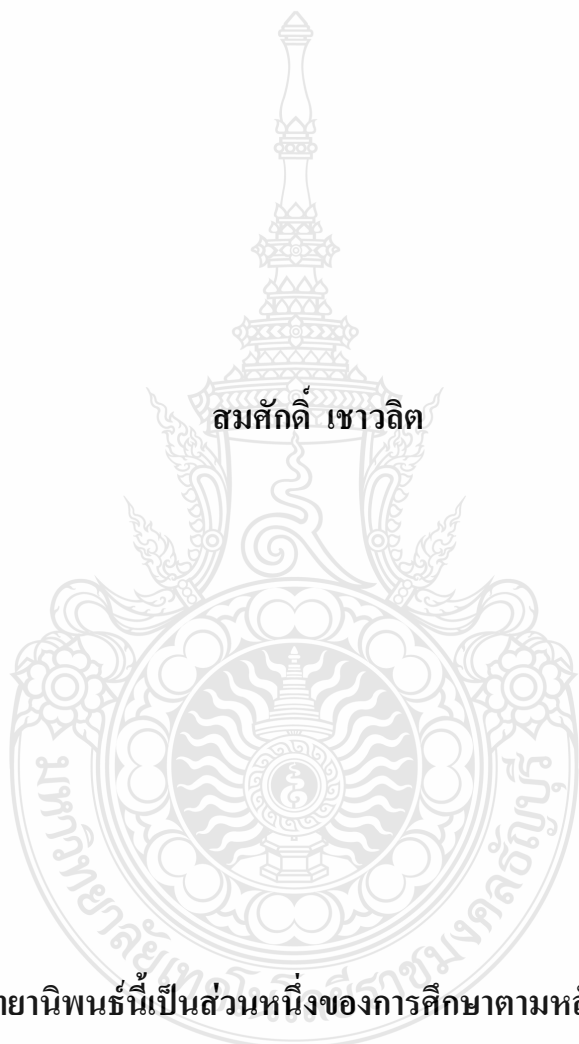
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมแม่เหล็กต่อสมบัติ ของรอยต่อเทอร์เบดิงค์
เหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPCEN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษาที่ 2555
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Influence of MAG Welding Parameter on SPCEN Carbon Steel Tailored
Blank Joint Properties

SOMSAK CHAOWALIT



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
PROGRAM IN MECHANICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI
ACADEMIC YEAR 2012
COPYRIGHT OF RAJAMANGALA UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY THANYABURI**

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมแม่เหล็กต่อสมบัติ
ของรอยต่อเทอร์เบตติ้งเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPEN
Influence of MAG Welding Parameter on SPEN Carbon Steel
Tailored Blank Joint Properties

นักศึกษา นายสมศักดิ์ เชาวลิต รหัสนักศึกษา 1151704301100-0

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สถาพร ทองวิก

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.

ปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ดร.มนูศักดิ์ จานทอง)

..... กรรมการ
(ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทรัมย์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.สถาพร ทองวิก)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์)

คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด)
วันที่ ...เดือนพ.ศ. 2555

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมแม่เหล็กต่อสมบัติ ของรอยต่อเทเลอร์แบบลิ้งค์เหล็กกล้าคาร์บอน JIS -3141 SPCEN
ชื่อ นามสกุล	นายสมศักดิ์ เชาวลิต
สาขา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สถาพร ทองวิก, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงษ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

เทเลอร์แบบลิ้งค์ คือ รอยต่อโลหะที่โลหะทั้งสองมีความหนาแตกต่างและถูกใช้ในการลดน้ำหนักโดยรวมของโครงสร้างรถยนต์ในงานอุตสาหกรรมการเชื่อมแม่เหล็กเป็นหนึ่งในกระบวนการเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมรอยต่อเทเลอร์แบบลิ้งค์เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ทำให้ได้แนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ ใช้เวลาในการเชื่อมสั้น และมีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานต่ำ ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการประยุกต์การเชื่อมแม่เหล็กในการเชื่อมรอยต่อเทเลอร์แบบลิ้งค์เหล็กกล้าคาร์บอน JIS 3141 SPCEN และศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อ

แผ่นเหล็กกรีดเย็นคาร์บอน JIS 3141 SPCEN ถูกจับยึดในตำแหน่งทำرابแบบต่อชน และทำการเชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมแม่เหล็กโดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปรในการเชื่อมคือกระแสไฟเชื่อม ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมและชนิดของแก๊สรอยต่อเชื่อมถูกนำไปผ่านกระบวนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบสมบัติของรอยต่อเช่นความแข็งแรงดึง ความแข็ง และ โครงสร้างจุลภาค

ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึง 690 MPa คือ กระแสไฟเชื่อม 70 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที และแก๊สผสม 80%Ar-20%CO₂ โดยใช้วิธีการเชื่อมแบบ ต่อชน การเพิ่มกระแสไฟและความเร็วเดินเชื่อมส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและความแข็งของโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้น โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 พื้นที่ คือ บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมแสดงเม็ดเกรนที่มีความเล็กและละเอียดกว่าเม็ดเกรนของโลหะหลักที่มีความกลมมนและขนาดใหญ่กว่า นอกจากนั้นบริเวณกระทร้อนแสดงขนาดเม็ดเกรนที่ใหญ่และหยาบ

คำสำคัญ: การเชื่อมแม่เหล็ก เทเลอร์แบบลิ้งค์ เหล็กกล้าคาร์บอน

Thesis Title	Influence of MAG Welding Parameters on JIS -3141 SPCEN Carbon Steel Tailored Blank Joint Properties
Name Surname	Mr. Somsak Chaowalit
Program	Mechanical Engineering
Thesis Advisor	Mr. Sathaporn Thongwik, Ph.D.
Thesis Co-Advisor	Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.
Academic Year	2012

ABSTRACT

Tailored blank is a metal joint that metals for the joint have a different thickness and the method applied to reduce the gross weight of the automobile structure. Metal Active Gas (MAG) welding is one of welding processes that takes produce the sound weld for tailored blank joint because this process less time and lower operating cost when compared to another processes. This research aimed to apply MAG welding to produce the weld of tailored blank JIS^o 3141 SPCEN carbon steel joint and related study on mechanical properties of the joint.

JIS^o 3141 SPCEN cold-draw carbon steel with difference thickness were clamped in a jig to be ready for a butt joint and welded the joint using MAG welding. The variation of the welding parameter such as welding current, welding speed and gas type were optimized. The welded joint was prepared and examined for the joint properties such as tensile strength, hardness and microstructure investigation.

The experimental results were concluded as follows the optimized welding parameter that produced the tensile strength of 690 MPa was from the welding current of 70A, the welding speed of 70 mm/min and the mixed gas of 80%Ar-20%CO₂. By butt joint increase of the welding current and speed had affected on the higher the tensile strength and the better hardness of the weld. Microstructure investigation of the joint showed 3 zones of difference grain size. The middle welded showed a smaller and finer grain size when compared to base metals. The grain size at the heat affected zone (HAZ) was the largest and the coarsest grain among 3 zones.

Keywords: MAG welding, teller blank, carbon steel

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณา และความช่วยเหลือ เป็นอย่างยิ่งจาก ดร.สถาพร ทองวิค และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ดร.มนุศักดิ์ จานทอง ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทร์มณี ผู้ทรงคุณวุฒิ กรรมการสอบ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่าง สูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบุคลากรของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถ นำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อคุณานายฉลาด เขาวลิต นางถัด เขาวลิต นายขาว เขาวลิต และนางกิมพราย เขาวลิต ตลอดจนญาติพี่น้องและเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความสนใจในการศึกษาระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตร-มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จนสำเร็จการศึกษา

สมศักดิ์ เขาวลิต

สารบัญ

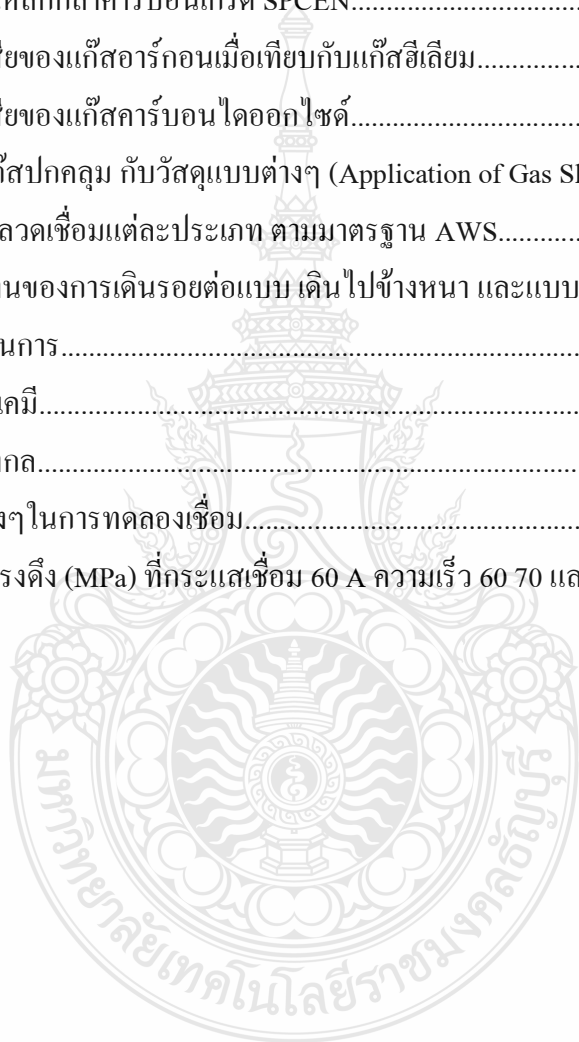
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เหล็กกล้า (Steel).....	4
2.2 กระบวนการเชื่อมโลหะ.....	7
2.3 การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW).....	10
2.4 กระแสเชื่อม (Welding Current).....	17
2.5 แรงดันอาร์ค.....	19
2.6 อัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อม.....	19
2.7 แก๊สคลุม (Shielding Gas).....	20
2.8 การเชื่อมเทเลอร์แบลิ่งค์ (Tailor Weld Blank).....	29
2.9 ลวดเชื่อม.....	30
2.10 จุดบกพร่องในงานเชื่อม.....	35
2.11 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgical Examination).....	38
2.12 การทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical Testing).....	41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีการดำเนินงาน.....	47
3.1 การดำเนินการ	47
3.2 เครื่องมือวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	50
3.3 การเตรียมชิ้นงานทดลอง.....	51
3.4 การกำหนดปัจจัยและการออกแบบการทดลอง.....	56
3.5 การตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อม.....	56
4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์.....	64
4.1 การตรวจสอบสมบัติเชิงกล (Macrostructure Investigation).....	66
4.2 การตรวจสอบโครงสร้างแบบจุลภาค (Microstructure Investigation).....	77
5 สรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	99
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	99
5.2 ข้อเสนอแนะในการทดลอง.....	100
รายการอ้างอิง.....	101
ภาคผนวก.....	103
ภาคผนวก ก รายละเอียดผลการทดลอง.....	104
ภาคผนวก ข คุณสมบัติลวดเชื่อม.....	121
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	123
ประวัติผู้เขียน	139

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าความแข็งแรงดึง ของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCCEN.....	6
2.2 ค่าความแข็ง ของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCCEN.....	6
2.3 ส่วนผสมเคมีเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCCEN.....	7
2.4 ข้อดีและข้อเสียของแก๊สอาร์กอนเมื่อเทียบกับแก๊สฮีเลียม.....	26
2.5 ข้อดีและข้อเสียของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์.....	27
2.6 ประยุกต์ใช้แก๊สปกคลุม กับวัสดุแบบต่างๆ (Application of Gas Shielded in GMAW).....	28
2.7 กลุ่มรหัสของลวดเชื่อมแต่ละประเภท ตามมาตรฐาน AWS.....	32
2.8 การเลือกใช้งานของการเดินรอยต่อแบบ เดินไปข้างหน้า และแบบเดินถอยหลัง.....	36
3.1 แผนการดำเนินการ.....	48
3.2 ส่วนผสมทางเคมี.....	50
3.3 คุณสมบัติทางกล.....	50
3.4 ข้อกำหนดต่างๆในการทดลองเชื่อม.....	56
4.1 ค่าความแข็งแรงดึง (MPa) ที่กระแสเชื่อม 60 A ความเร็ว 60 70 และ 80 mm/min.....	63



สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์.....	8
2.2 กระบวนการเชื่อมโลหะแบบทิก (TIG - GTAW).....	8
2.3 กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding Process : SAW).....	9
2.4 กระบวนการเชื่อมพลาสมา (Plasma Arc Welding : PAW).....	9
2.5 กระบวนการเชื่อมโลหะด้วยก๊าซออกซิ-อะเซทิลีน.....	10
2.6 หัวเชื่อม (Welding Gun).....	11
2.7 ส่วนประกอบการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม.....	11
2.8 การอาร์คของการเชื่อมแบบ GMAW.....	12
2.9 การถ่ายโอนโลหะแบบสเปย์.....	14
2.10 การถ่ายโอนโลหะแบบหยด.....	15
2.11 การถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร.....	16
2.12 การถ่ายโอนโลหะแบบพัลส์.....	17
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมกับความเร็วในการป้อนลวด.....	17
2.14 รูปแบบของกระแสเชื่อมแบบพัลส์.....	18
2.15 รูปร่างของรอยเชื่อมจากการใช้แก๊สคลุมที่แตกต่างกัน.....	24
2.16 การใช้งาน TWB ในชิ้นส่วนต่างๆ ของรถยนต์.....	29
2.17 ลักษณะการเดินรอยต่อแบบเดินถอยหลัง (Backhand).....	34
2.18 ลักษณะการเดินรอยต่อแบบเดินไปข้างหน้า (Forehand).....	34
2.19 ข้อบกพร่องที่เกิดจากสภาวะการเชื่อมไม่ดี.....	35
2.20 ลักษณะรอยแยกของแนวเชื่อม.....	36
2.21 ลักษณะการซึมลึกที่ไม่สมบูรณ์.....	36
2.22 ลักษณะการเกิดรูพรุน.....	37
2.23 ลักษณะการแตก.....	37
2.24 โครงสร้างจุลภาคและมหภาคหลังผ่านกระบวนการเชื่อม.....	38
2.25 การหาขนาดโตเม็ดเกร็น.....	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.26 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง.....	41
2.27 หัวกดเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมที่มีมุมปลายแหลม 136 องศา.....	44
3.1 แผนการไหลแสดงกระบวนการในการทำโครงการ.....	49
3.2 แผนภาพการไหลแสดงกระบวนการทดลอง.....	49
3.3 เหล็กที่ใช้ในการทดลอง.....	51
3.4 ลำดับขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดลองเชื่อม.....	51
3.5 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมทดลอง.....	52
3.6 ลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง.....	53
3.7 ชุดผสมแก๊สคลุม.....	54
3.8 ชุดอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน.....	54
3.9 ลำดับขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงานทดลอง.....	55
3.10 ลักษณะการจับยึดชิ้นงาน.....	57
3.11 ชิ้นงานแบบลดขนาด.....	57
3.12 เครื่องทดสอบแรงดึง.....	58
3.13 ตำแหน่งของจุดทดสอบความแข็ง.....	59
3.14 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส.....	59
3.15 ชุดตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา.....	60
3.16 ตัดเตรียมชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา.....	60
3.17 การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา.....	61
3.18 การขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	62
3.19 การขัดผิวชิ้นงานด้วยผงขัดสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	62
3.20 การกัดกรดผิวชิ้นงานสำหรับตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	63
4.1 ชิ้นงานเชื่อมที่ระยะห่าง 0.15 mm กระแสเชื่อม 70 A ความเร็ว 70 mm/min.....	64
4.2 ชิ้นงานเชื่อมที่ระยะห่าง 0.10 mm กระแสเชื่อม 70 A ความเร็ว 70 mm/min.....	65
4.3 ชิ้นงานเชื่อมที่ระยะห่าง 0.00 mm กระแสเชื่อม 70 A ความเร็ว 70 mm/min.....	66
4.4 ตำแหน่งในการทดสอบความแข็ง.....	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.5	เปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งที่กระแสะเชื่อม 60 แอมแปร์..... 67
4.6	อุณหภูมิบริเวณต่างๆหลังผ่านกระบวนการเชื่อม..... 68
4.7	เปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งที่กระแสะเชื่อม 70 แอมแปร์..... 69
4.8	เปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งที่กระแสะเชื่อม 80 แอมแปร์..... 70
4.9	โครงสร้างมหภาคเหล็กกล้าคาร์บอน SPEN..... 72
4.10	เปรียบเทียบปริมาณเกรนไนต์ที่ 60 A 70 A และ 80 A..... 72
4.11	โครงสร้างทางจุลภาค 60 แอมแปร์ ความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที..... 73
4.12	โครงสร้างทางจุลภาค 60 แอมแปร์ ความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อนาที..... 76
4.13	โครงสร้างทางจุลภาค 60 แอมแปร์ ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อนาที..... 78
4.14	โครงสร้างทางจุลภาค 70 แอมแปร์ ความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที..... 80
4.15	โครงสร้างทางจุลภาค 70 แอมแปร์ ความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อนาที..... 82
4.16	โครงสร้างทางจุลภาค 70 แอมแปร์ ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อนาที..... 84
4.17	โครงสร้างทางจุลภาค 80 แอมแปร์ ความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที..... 86
4.18	โครงสร้างทางจุลภาค 80 แอมแปร์ ความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อนาที..... 88
4.19	โครงสร้างทางจุลภาค 80 แอมแปร์ ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อนาที..... 90
4.20	การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึง..... 92
4.21	การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน AWS D1.1M2006..... 92
4.22	ชิ้นงานหลังผ่านการทดสอบแรงดึง..... 93
4.23	ชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8..... 93
4.24	ชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึงตามมาตรฐานมาตรฐาน ASTM E8..... 94
4.25	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงกระแสะ 70 แอมแปร์ ความเร็ว 60 70 80 มิลลิเมตรต่อนาที..... 94
4.26	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลการทดสอบแรงดึง..... 95
4.27	ชิ้นงานกระแสะเชื่อม 80 แอมแปร์ ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อนาที..... 96
4.28	ชิ้นงานกระแสะเชื่อม 80 แอมแปร์ ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อนาที..... 97

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	คำอธิบาย	หน่วย
A	กระแสไฟ.....	แอมแปร์
A_0	พื้นที่หน้าตัด.....	ตารางเมตร
Ar	แก๊สอาร์กอน.....	-
AWS	มาตรฐานงานเชื่อมอเมริกา.....	-
ASTM	มาตรฐานอเมริกา.....	-
BM	บริเวณเนื้อโลหะ.....	-
C	แก๊สคาร์บอน.....	-
CO ₂	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์.....	-
d	ค่าเฉลี่ยเส้นทแยงมุม.....	มิลลิเมตร
EL	เปอร์เซ็นต์การยึดตัว.....	เปอร์เซ็นต์
F	แรงดึง.....	นิวตัน
HAZ	บริเวณกระทบร้อน.....	-
JIS	มาตรฐานการทดสอบญี่ปุ่น.....	-
mm	หน่วยความยาว.....	มิลลิเมตร
N	นิวตัน.....	นิวตัน
O	ออกซิเจน.....	-
S	ความเร็ว.....	มิลลิเมตรต่อนาที
TS	ค่าความต้านแรงดึง.....	เมกะปาสคาน
YP	จุดคราก.....	เมกะปาสคาน
WM	เนื้อโลหะเชื่อม.....	-

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ได้มีการพัฒนาและนำเอาเทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาใช้งานเพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพและรักษาสิ่งแวดล้อมหนึ่งในวิธีที่สามารถทำให้บรรลุจุดประสงค์ คือ การลดน้ำหนักรวมของรถยนต์ให้ต่ำลงซึ่งทำให้เครื่องยนต์ทำงานเต็มกำลังและประหยัดเชื้อเพลิง ตัวอย่างการลดน้ำหนัก เช่น การนำเอาอลูมิเนียมผสมเข้าแทนที่ชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กซึ่งส่งผลทำให้น้ำหนักโครงสร้างโดยรวมลดลงและทำให้โครงสร้างของรถยนต์นั้นมีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น หรือบางกรณีมีการนำเอาวัสดุชนิดเดียวกันที่มีความบางกว่ามาเชื่อมต่อเข้ากับวัสดุที่มีความหนากว่าหรือที่เรียกว่า “เทเลอร์แบล็งค์ (Tailored Bank)” วิธีการนี้ทำให้น้ำหนักของโครงสร้างลดลงแต่ความแข็งแรงของโครงสร้างมีค่าใกล้เคียงกับวัสดุหลักตัวเดิม ตัวอย่างการใช้วัสดุเทเลอร์แบล็งค์ เช่นการผลิตชิ้นส่วนประตูรถยนต์ ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นใช้วัตถุดิบเหล็กแผ่น 2 ชิ้น ที่มีความต่างกันเพื่อการลดน้ำหนักของตัวรถยนต์และลดวัตถุดิบในการผลิต โดยในการผลิตเหล็กแผ่นที่มีความหนาต่างกันถูกเชื่อมเข้าเป็นชิ้นงานเดียวกันก่อนนำไปขึ้นรูปป้อนเป็นประตูรถยนต์ โดยชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมแล้วต้องมีสมบัติการยึดตัวของแนวเชื่อมเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานการผลิตรถยนต์ อย่างไรก็ตามการเชื่อมวัสดุเทเลอร์แบล็งค์นั้นมีความยากลำบากเนื่องจากวัสดุมีค่าการการถ่ายเทความร้อนแตกต่างกัน ดังนั้นวิธีการเชื่อมที่สามารถควบคุมการถ่ายเทความร้อนได้ง่ายจึงถูกคิดค้นและประยุกต์ใช้เพื่อนำมาทำการเชื่อมวัสดุเทเลอร์แบล็งค์อย่างต่อเนื่อง [1]

การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW) เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมชนิดใหม่ที่ถูกนำมาใช้แทนกรรมวิธีการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ เนื่องจากสามารถทำการเชื่อมได้รวดเร็วและต่อเนื่องประหยัดเวลาในการทำความสะดวกเนื่องจากไม่มีสแลกปกคลุมแนวเชื่อม โดยในกรรมวิธีการเชื่อมแบบ GMAW ชนิดของกระแสเชื่อมและแก๊สคลุมเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อการถ่ายโอน โลหะ (Metal Transfer) และการป้องกันบรรยากาศจากภายนอกเข้ามาครอบงวนในขณะที่เชื่อมซึ่งมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตในแง่ของอัตราการเติมเนื้อเชื่อมการเกิดเม็ดโลหะ (Spatter) ที่ลดลงและคุณภาพในแง่ของสมบัติทางกลของเนื้อเชื่อมที่ดีขึ้น กระบวนการเชื่อม แม็ก (MAG) เป็นกระบวนการเชื่อมที่นำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มาคลุมแนวเชื่อมแทนแก๊สเฉื่อย เพราะมีต้นทุนค่าแก๊สถูกกว่า ซึ่งมีสมบัติที่เด่น คือ ให้อัตราการเติมเนื้อโลหะสูงจึงเคลื่อนที่หัวเชื่อมได้เร็ว มีผลกระทบต่อโลหะวิทยาการเชื่อมหรือการเปลี่ยนแปลงเกรนใหม่ไม่มากนัก เนื่องจากมีพื้นที่

กระทบบร้อนแคบ ไม่ต้องขัดสแลกที่ปกคลุมตะเข็บเชื่อม ตะเข็บเชื่อมเรียบสวยงามสามารถเชื่อมโลหะ ขนาดบางได้ [2]

ข้อมูลดังกล่าวที่ผ่านมารอต่อเทอร์เบลงค์ ได้มีการเชื่อมด้วยกรรมวิธีแบบต่างๆ เช่น ธรรมนุญ อิทรพล ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมเลเซอร์ ต่อสมบัติทางกลของรอยต่อ ชนเทอร์เบลงค์เหล็กเคลือบสังกะสี เกรด SGACD โดยกำหนดตัวแปรระยะห่าง ระหว่างแผ่น ความเร็วในการเชื่อม และกำลังของเลเซอร์ จากผลการทดลองพบว่า การเชื่อมแบบต่อชนแผ่น เทลเลอร์เบลงค์สามารถเชื่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดด้วยการเชื่อมเลเซอร์ กระแสที่ใช้ในการเชื่อม และความเร็วที่เหมาะสมส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานหลังการเชื่อม [3]

C.H. Cheng , M.Jie ได้ทำการศึกษาการเชื่อม โดยใช้วิธีการเชื่อมเลเซอร์ กับสแตนเลสเกรด AISI304 ที่ความหนา 1.0 และ 1.2 มิลลิเมตร โดยกำหนดตัวแปรคือ กำลังเลเซอร์ และความเร็วในการ เดินแนวเชื่อม จากผลการทดลองพบว่าตัวแปรต่างๆที่กำหนดส่งผลต่อสมบัติทางกลและ โครงสร้าง จุลภาคของชิ้นงานหลังทำการเชื่อมประกอบ เช่น ความแข็ง (Hardness Test) และความต้านทานแรง ดึง (Tensile Test) การยึดตัวของชิ้นงานบริเวณรอยเชื่อม รวมถึง โครงสร้างชิ้นงานที่เปลี่ยนไป [4]

ข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นจึงเป็นที่มาของหัวข้อการวิจัยที่ศึกษาถึงระยะห่างระหว่างแผ่น ชิ้นงานความเร็วในการเดินแนวเชื่อมและตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมในการเชื่อมเทอร์เบลงค์ โดยใช้ วิธีการเชื่อมเม็ก โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอน JIS-31441 SPEN ซึ่งเป็นโลหะที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย ในอุตสาหกรรมรถยนต์และสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมการผลิต อื่นอย่าง เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในการเชื่อมเทอร์เบลงค์เหล็กกล้า JIS-3141 SPEN เพื่อให้ได้สมบัติที่เหมาะสมกับการผลิต

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของแนวเชื่อมเทอร์เบลงค์ เหล็กกล้า JIS-3141 SPEN

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ชิ้นงานทดลองเชื่อมเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPEN ขนาดความหนา 1.0 มิลลิเมตรและ 1.2 มิลลิเมตร

1.3.2 การเชื่อมชิ้นงานทดลอง ใช้กรรมวิธีการเชื่อมแม็กโดยใช้ลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร ทำการเดินแนวเชื่อมโดยใช้หุ่นยนต์ภายใต้เครื่องหมายการค้า MOTOMAN สำหรับการเดินแนวเชื่อม โดยทำการเดินแนวเชื่อมเพียง 1 ด้าน

1.3.3 แก๊สคลุมขณะเชื่อมเป็นแก๊สผสมระหว่างแก๊สอาร์กอน 80 เปอร์เซ็นต์กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลของแก๊สคลุม 17 ลิตร/นาที

1.3.4 กำหนดค่ากระแสเชื่อมที่ 60 70 และ 80 แอมแปร์

1.3.5 กำหนดช่วง ความเร็วในการเชื่อม 60 70 และ 80 มิลลิเมตรต่อนาที

1.3.6 มุมของหัวเชื่อม 45 องศา

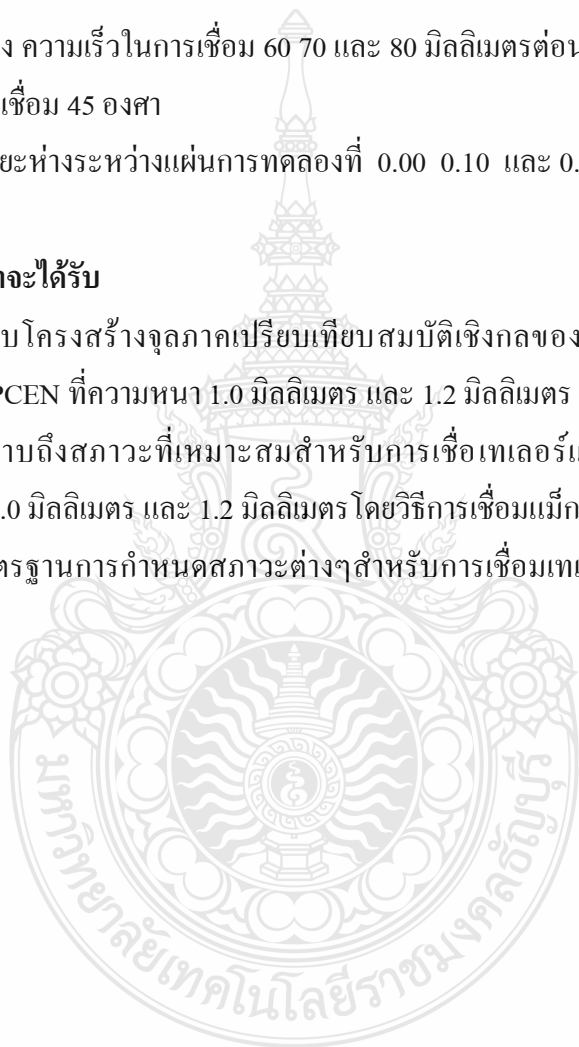
1.3.7 กำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นการทดลองที่ 0.00 0.10 และ 0.15 มิลลิเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบโครงสร้างจุลภาคเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของแนวเชื่อม เทเลอร์แบลิ่งค์ เหล็กกล้า JIS-3141 SPCEN ที่ความหนา 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร

1.4.2 เพื่อให้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมเทเลอร์แบลิ่งค์เหล็กกล้า JIS-3141 SPCEN ที่ความหนา 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร โดยวิธีการเชื่อมแม็ก

1.4.3 ใช้เป็นมาตรฐานการกำหนดสถานะต่างๆ สำหรับการเชื่อมเทเลอร์แบลิ่งค์เหล็กกล้า JIS-3141 SPCEN



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้การดำเนินโครงการในครั้งนี้บรรลุตามจุดประสงค์ที่วางไว้ ผู้ดำเนินโครงการได้กำหนดเนื้อหาของทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการดังนี้

2.1 เหล็กกล้า (Steel)

เหล็กกล้า หมายถึง เหล็กที่มีธาตุคาร์บอนเป็นส่วนผสม โดยจะยึดถือหลักที่ว่าในเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่ต่ำกว่า 1.7 เปอร์เซ็นต์ หรือ 2.0 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่าเหล็กกล้า (ถ้ามีคาร์บอนผสมอยู่มากกว่า 1.7 เปอร์เซ็นต์ หรือ 2.0 เปอร์เซ็นต์ จัดเป็นเหล็กหล่อ) นอกจากธาตุคาร์บอนแล้วยังมีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่ด้วย แต่อยู่ในลักษณะเป็นธาตุเจือปน (Impurities) เช่น ธาตุซิลิคอน แมงกานีส กำมะถัน ฟอสฟอรัส เป็นต้น เหล็กกล้า เป็นเหล็กที่ถูกนำไปใช้ในงานต่างๆ มากมาย เนื่องจากเหล็กกล้านั้นมีสมบัติในการรับแรงต่างๆ ได้ดี เช่น แรงกระแทก แรงดึง แรงอัด และแรงเฉือน ซึ่งธาตุผสมส่วนใหญ่จะเป็นทั้งโลหะและอโลหะ เช่น โมลิบดีนัม ทังสเตน เป็นต้น และจัดแบ่งตามปริมาณของคาร์บอนที่ผสมอยู่ ออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ [1]

2.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel)

เป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของธาตุคาร์บอนเป็นหลักอาจจะมีธาตุอื่นผสมอยู่ได้บ้างเล็กน้อย เช่น ธาตุซิลิคอน แมงกานีส กำมะถัน ฟอสฟอรัส โดยทั่วไป เหล็กกล้าคาร์บอนสามารถแบ่งออกได้หลายชนิดตามปริมาณของธาตุคาร์บอนที่ผสม อยู่ในเนื้อเหล็กซึ่งจะส่งผลให้เหล็กมีสมบัติแตกต่างกันออกไป รวมถึงการนำไปใช้งานมีลักษณะแตกต่างกันด้วย เหล็กกล้าคาร์บอนสามารถแบ่งออกได้หลายชนิดตามปริมาณของธาตุคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็ก ซึ่งจะส่งผลให้เหล็กมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป รวมถึงการนำไปใช้งานมีลักษณะแตกต่างกัน โดยจะแบ่งได้ 3 ชนิด [1]

1) เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel)

เหล็กกล้าคาร์บอนสูง เป็นเหล็กกล้าที่ปริมาณธาตุคาร์บอนผสมอยู่ในเนื้อสูงสุด คือมีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.56 - 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กำหนดมาตรฐานอเมริกัน คือ AISI 1056 - 1090 กำหนดมาตรฐานเยอรมัน คือ St170 เป็นเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรงสูง นำไปผลิตเป็นเครื่องมือคมตัดต่างๆ เช่น มีดคิ่ง ดอกสว่าน ดอกคว้านละเอียด ดอกทำเกลียว ใบเลื่อย ตะไบ ซึ่งเครื่องมือคมตัดต่างๆ เหล่านี้ นำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูป ตามขนาดและรูปร่าง แล้วนำชิ้นงานไปปรับปรุงสมบัติ

ด้วยความร้อน โดยการนำไปชุบแข็ง (Hardening) ซึ่งจะทำงานมีความแข็งสูงมาก แต่เมื่อได้รับแรงกระทำจะเปราะหักได้ง่าย [1]

2) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel)

เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เป็นเหล็กกล้าที่มีปริมาณธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้นมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ คือมีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.31 - 0.55 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กำหนดตามมาตรฐานอเมริกัน คือ AISI 1031 - 1055

กำหนดตามมาตรฐานเยอรมัน คือ St 50 สามารถนำไปปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน โดยการนำไปชุบแข็ง (Hardening) คือนำชิ้นงานไปเผาให้ร้อนเพื่อให้เหล็กเปลี่ยนโครงสร้างเป็น ออสเทนไนต์ (Austenite) ซึ่งการจะใช้อุณหภูมิสูงขนาดไหนขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุคาร์บอนที่ผสมอยู่ จากนั้นทำให้เย็นตัวลงโดยเร็ว เหล็กจะเปลี่ยนโครงสร้างเป็นมาเทนไซต์ (Martensite) ซึ่งเหล็กมีความแข็งเพิ่มขึ้น เหล็กกล้าชนิดนี้นำไปใช้ผลิตชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่ต้องการความแข็งแรง เช่น เพลาส่งกำลัง เฟืองในเครื่องจักรต่างๆ [1]

3) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel)

จัดได้ว่าเป็นเหล็กกล้าที่มีปริมาณธาตุคาร์บอนผสมอยู่ในเนื้อเหล็กน้อยที่สุด คือมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.10 - 0.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีปริมาณธาตุคาร์บอนผสมอยู่น้อย ทำให้มีความแข็งแรงต่ำไม่สามารถนำไปทำการชุบแข็งได้ เหมาะสำหรับนำไปใช้งานที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก เช่น นำไปรีดเป็นแผ่น ทำถังบรรจุของเหลว เป็นเหล็กเส้นใช้ในงานก่อสร้าง ส่วนเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.10 เปอร์เซ็นต์ ไม่เหมาะสำหรับงานเชื่อมเพราะเมื่อเชื่อมแล้วจะทำให้มีโอกาสเกิดความบกพร่องในเนื้อเชื่อมได้มาก เช่น รูพรุน (Porosity) [1]

สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPEN ที่ใช้ในการทดลองเชื่อม เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น (Cold Rolled Steel) ซึ่งจัดเป็นเหล็กกล้าประเภทคาร์บอนต่ำ เหมาะสำหรับนำไปใช้ในการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแบบต่างๆ ได้เป็นอย่างดีเป็นเหล็กแผ่นที่มีลักษณะค่อนข้างนิ่มเหมาะสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ได้เป็นอย่างดี สามารถนำเหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPEN ไปทำการพ่นสีหรือชุบได้หลังผ่านกระบวนการต่างๆ ซึ่งตามมาตรฐานญี่ปุ่น JIS G3141:2005 ได้กำหนดสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. สมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) [13]

1.1 ค่าการทดสอบแรงดึง (Tensile Strength)

ตารางที่ 2.1 ค่าความแข็งแรงดึง ของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPEN [13]

Symbol of quality	Tensile Strength		Elongation %				
	N/mm ²						
SPCEN	Discrimination According To Nominal Thickness (mm)						
	0.25 or over	0.25 or over to 0.4	0.4 or over to 0.6	0.6 or over to 1.0	1.0 or over to 1.6	1.6 or over to 2.5	2.5 or over
	270 minimum	36 minimum	38 minimum	40 minimum	41 minimum	42 minimum	43 minimum

1.2 ค่าความแข็ง (Hardness)

ตารางที่ 2.2 ค่าความแข็ง ของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPEN [13]

Symbol of temper grade	Hardness	
	HRB	HV
1/8 hard	50 to 71	95 to 130
1/4 hard	65 to 80	115 to 150
1/2 hard	74 to 89	135 to 185
Full hard	85 minimum	170 minimum

2. ค่าส่วนผสมทางเคมี (Chemical Composition)

เหล็กกล้าคาร์บอน SPEN ส่วนผสมทางเคมี ดัง ตารางที่ 2.3 ซึ่ง SPCE เป็นคุณลักษณะเฉพาะทางเคมี ส่วน N (Non - Aging) หมายถึง การเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกล และทาง

กายภาพน้อยมาก หรือ ไม่เกิดขึ้นเลยตลอดระยะเวลาที่ทิ้งไว้ เป็นเหล็กที่มีลักษณะนิ่ม สามารถปั๊มขึ้นรูปได้ (ตามคุณภาพของเหล็ก) เหมาะสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรมรถยนต์ เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อะไหล่และเครื่องใช้ต่างๆ สามารถชุบหรือพ่นสีได้

ตารางที่ 2.3 ส่วนผสมเคมีเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCC [13]

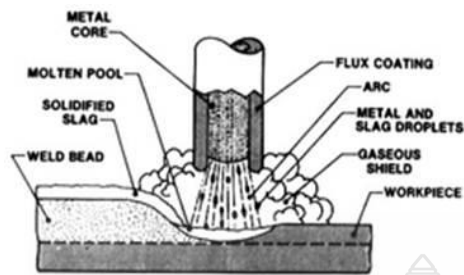
Symbol Of Quality	C	Mn	P	S
SPCC	0.08 Max	0.40 Max	0.030 Max	0.030 Max

2.2 กระบวนการเชื่อมโลหะ

กระบวนการเชื่อมโลหะ (Welding Processes) เกิดขึ้นมาตั้งแต่ในอดีตในยุคที่มนุษย์รู้จักการนำโลหะมาประยุกต์เป็นเครื่องมือเครื่องใช้และกระบวนการเชื่อม ได้วิวัฒนาการและ พัฒนาการมาเป็นลำดับ ซึ่งการเชื่อมได้ถูกคิดค้นกระบวนการเชื่อมใหม่ๆ เพิ่มขึ้นมากมาย โดยอาศัยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีขั้นสูงสมัยใหม่ประกอบกับประสบการณ์ ได้ปรับปรุงเพิ่มเติมพัฒนากระบวนการเชื่อม ที่มีอยู่ก่อนเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพงาน ตรงตามความต้องการของผู้ใช้และลักษณะงาน ไม่ว่าจะเป็นงานผลิตหรืองานซ่อมบำรุงก็ตาม โดยพยายามให้เป็นกระบวนการเชื่อมที่มีประสิทธิภาพสมบูรณ์มากที่สุด [2]

2.2.1 กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

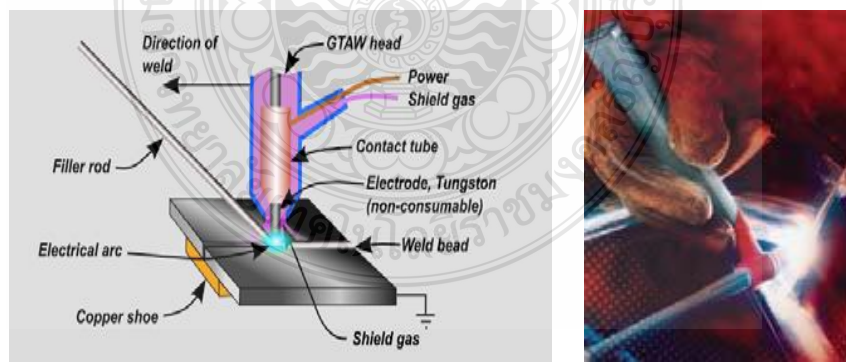
การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal Arc Welding) หรือ SMAW ลวดเชื่อมที่มีสารปกคลุมหุ้มอยู่นี้ จะทำหน้าที่เป็นตัวอาร์คกับโลหะ งานทำให้เกิดความร้อนจนกระทั่งโลหะงานหลอมละลายในขณะเดียวกัน ความร้อนที่ได้จากการอาร์คจะหลอมละลายตัวมันเองด้วย และหยดลงเติมลงในบ่อหลอมละลายเมื่อเย็นตัวลงจะกลายเป็นแนวเชื่อมส่วนฟลักซ์หรือสารปกคลุม เมื่อได้รับความร้อนก็จะหลอมละลายเกิดเป็นควันปกคลุมแนวเชื่อมเพื่อไม่ให้ออกซิเจนในอากาศเข้าไปรวมตัวกับน้ำโลหะเหลวและฟลักซ์ที่หลอมละลายลงในบ่อหลอมละลายก็ยังช่วยดึงสารมลทินหรือสิ่งสกปรกลอยขึ้นมาจากน้ำโลหะเมื่อเย็นตัวลงจะกลายเป็นสแลก (Slag) ปกคลุมแนวเชื่อมอยู่เพื่อควบคุมให้แนวเชื่อมเย็นตัวอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ แสดงในภาพที่ 2.1 [8]



ภาพที่ 2.1 กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ [8]

2.2.2 กระบวนการเชื่อมโลหะแบบทิก (TIG - GTAW)

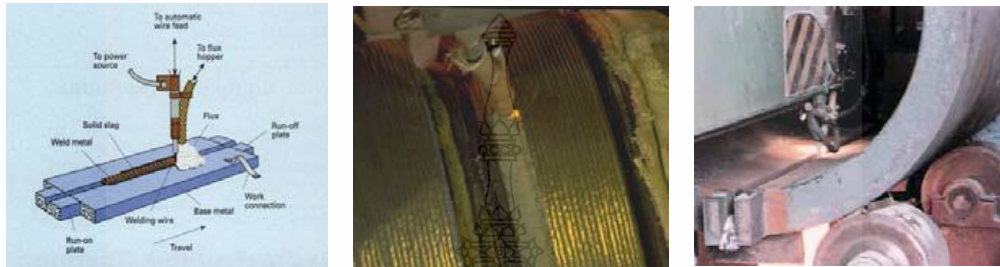
ความร้อนที่ทำให้โลหะหลอมละลายเกิดจากการอาร์ค ระหว่างแท่งทังสเตนอิเล็กโทรด์ กับชิ้นงาน ขณะเดียวกันบริเวณที่เกิดการอาร์คจะมีแก๊สเฉื่อย ปกคลุมบริเวณนั้น เพื่อป้องกันออกซิเจน ไนโตรเจน และความชื้นในอากาศเข้ามาพร้อมกับโลหะที่กำลังหลอมละลายเรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน จนกระทั่งความร้อนจากการอาร์คหลอมละลายโลหะชิ้นงานในบริเวณดังกล่าวจนเกิดเป็นบ่อหลอมละลาย ดังนั้นเมื่อบ่อหลอมละลายเกิดขึ้นในบริเวณรอยต่อใด ๆ ก็จะทำให้ชิ้นงานนั้นหลอมติดกัน แต่เนื่องจากแท่งทังสเตนอิเล็กโทรด์เป็นวัสดุที่ไม่ละลายหรือไม่สิ้นเปลือง จึงจำเป็นต้องเติมโลหะลวดเชื่อมลงไป ในบ่อหลอมละลายนั้นด้วย กรณีที่ทำการเชื่อมโลหะบางอาจไม่จำเป็นต้องเติมโลหะลวดเชื่อมใน ภาพที่ 2.2 [8]



ภาพที่ 2.2 กระบวนการเชื่อมโลหะแบบทิก (TIG - GTAW) [8]

2.2.3 กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding Process : SAW)

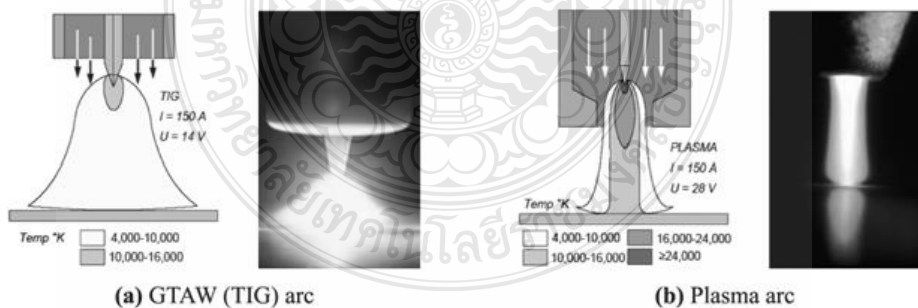
การเชื่อมใต้ฟลักซ์จะอาศัยความร้อนจากการอาร์คระหว่าง ลวดเชื่อมเปลี่ยนกับ ชิ้นงาน โดยมีฟลักซ์ชนิดเม็ด ปกคลุมบริเวณช่วงระหว่างการอาร์ค ฟลักซ์ชนิดเม็ดที่อยู่ใกล้รอยเชื่อม หลอมละลายปกคลุมบริเวณที่ทำการเชื่อมเพื่อป้องกันอากาศภายนอกทำปฏิกิริยา แสดงในภาพที่ 2.3 [8]



ภาพที่ 2.3 กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding Process : SAW) [8]

2.2.4 กระบวนการเชื่อมพลาสมา (Plasma Arc Welding : PAW)

เป็นกระบวนการเชื่อมด้วยไฟฟ้าแบบหนึ่ง มีลักษณะคล้ายกับการเชื่อมอาร์ค ทั้งสแตนเลสคลุมหรือการเชื่อม TIG ความร้อนจากเปลวอาร์คถูกบังคับให้เคลื่อนที่ผ่านนอซซีล (Constricted Arc) จากแท่งอิเล็กโทรดทั้งสแตนไปยังชิ้นงาน (Transferred Arc) หรือระหว่างแท่งอิเล็กโทรดทั้งสแตนรู้งับเปลวอาร์ค (Constricting Orifice) แสดงในภาพที่ 2.4 [8]

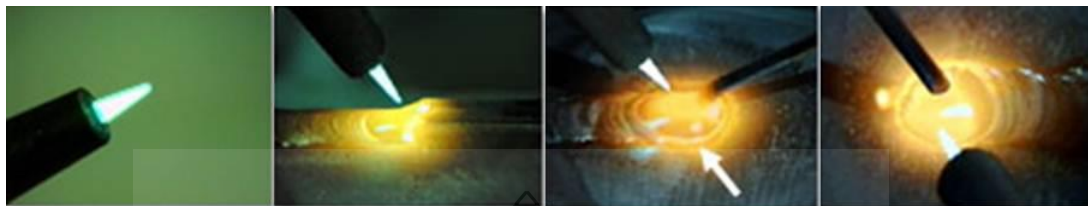


ภาพที่ 2.4 กระบวนการเชื่อมพลาสมา (Plasma Arc Welding : PAW) [8]

2.2.5 การเชื่อมโลหะด้วยแก๊สออกซิ-อะเซทิลีน (The Oxy-acetylene Welding Process)

เป็นกระบวนการเชื่อมโลหะแบบหลอมละลาย โดยใช้เปลวไฟจากการผสมระหว่างแก๊สออกซิเจน (O_2) กับแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) ได้เปลวไฟที่มีความร้อนแรง (ประมาณ 3,100 -

3,500 °C) เผาโลหะบริเวณแนวที่จะเชื่อมให้หลอมละลายเชื่อมเข้าด้วยกัน โดยไม่ต้องใช้แรงอัด จะเติมลวดเชื่อมหรือไม่เติมก็ได้ขึ้นอยู่กับชิ้นงาน แสดงในภาพที่ 2.5 [8]

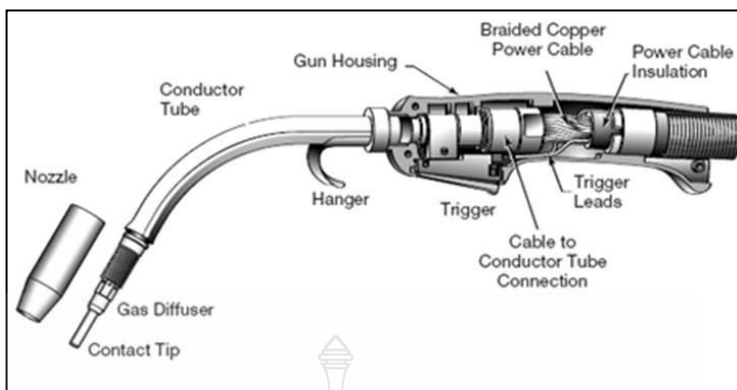


ภาพที่ 2.5 กระบวนการเชื่อมโลหะด้วยก๊าซออกซิ-อะเซทิลีน [8]

2.3 การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW)

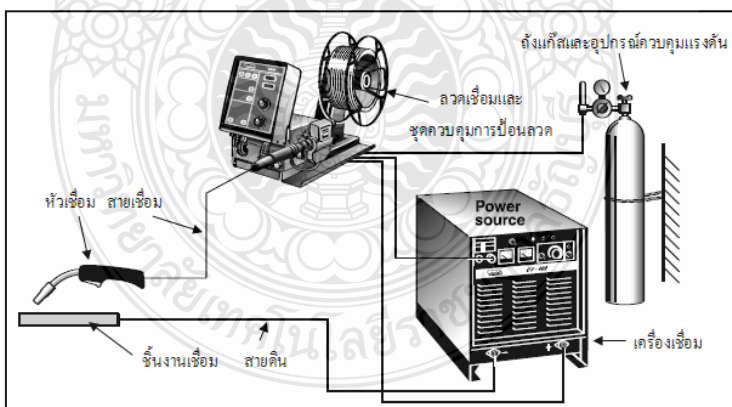
การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม เป็นการเรียกชื่อโดยรวมและจะใช้ชื่อแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของแก๊สคลุม เช่น การเชื่อมมิก (Metal Inert Gas Arc Welding : MIG) เป็นกระบวนการจะใช้แก๊สอาร์กอน (Ar) แก๊สฮีเลียม (He) หรือแก๊สผสมระหว่างอาร์กอนและฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมขณะเชื่อม การเชื่อมแม็ก (Metal Active Gas Arc Welding : MAG) เป็นการพัฒนาโดยการนำเอาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สอื่นๆ มาผสมกับแก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สคลุมขณะเชื่อม ส่วนการเชื่อมคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) คือ การใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซคลุมขณะเชื่อมเพียงอย่างเดียว กระบวนการจะเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมสั้นเปลือยขนาดเล็กจากม้วนลวด ซึ่งจะถูกป้อนผ่านหัวเชื่อมหรือปืนเชื่อม (Torches or Welding Gun) ออกมาอย่างต่อเนื่องผ่านท่อนำลวดและท่อนำกระแส (Contact Tip) ลวดเชื่อมจะสัมผัสกับผิวท่อนำกระแส ทำให้กระแสเชื่อมไหลเข้าสู่ลวดเมื่อปลายลวดเชื่อมแตะกับผิวโลหะชิ้นงานจะเกิดการอาร์คขึ้น ความร้อนจากการอาร์คจะหลอมผิวโลหะชิ้นงาน และปลายลวดเชื่อมให้เป็นหยดโลหะถ่ายโอนสู่บ่อหลอมเหลวและบริเวณรอบเปลวอาร์ค เพื่อทำหน้าที่เป็นม่านป้องกันไม่ให้ออกซิเจนหรือแก๊สอื่น ในบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับเปลวอาร์คและโลหะที่กำลังหลอมเหลว

ลักษณะการถ่ายโอนโลหะของลวดเชื่อมจะขึ้นอยู่กับขนาดของลวดเชื่อม ชนิดของแก๊สคลุมและระดับกระแสเชื่อม กระบวนการนี้จะแตกต่างจากการเชื่อมทิก (TIG) เพราะสามารถปฏิบัติการเชื่อมโดยใช้มือเพียงข้างเดียวก็ควบคุมการเคลื่อนที่หัวเชื่อม แสดงในภาพที่ 2.6 และมุมของหัวเชื่อมได้ องค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมคือ อัตราการเติมเนื้อโลหะ (Deposition Rate) ของลวดเชื่อมลงสู่บ่อหลอมเหลวได้มากกว่า จึงเคลื่อนที่หัวเชื่อมได้เร็ว ทำให้ปริมาณความร้อนจากการอาร์คเข้าสู่ชิ้นงานได้น้อยบริเวณกระทบร้อน (Heat Effected Zone) แผ่กระจายเพียงแคบๆ งานจึงบิดตัวไม่มาก ทำให้สามารถเชื่อมงานบางได้ดี



ภาพที่ 2.6 หัวเชื่อม (Welding Gun) [9]

เนื่องจากกระบวนการเชื่อมแบบ GMAW มีระบบการป้อนลวดเติมแบบต่อเนื่องทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมกึ่งอัตโนมัติได้ (Semi-Automatic Control) ทั้งยังเป็นกระบวนการที่มีข้อได้เปรียบหลายประการกว่ากระบวนการเชื่อมแบบอื่น อาทิเช่น การเชื่อมที่อัตราการป้อนเติมที่สูง (High Deposition Rate) หรือลดความจำเป็นทางการกำจัด สลักของแนวเชื่อมออกไป ถึงแม้จะมีข้อจำกัดบางประการสำหรับกระบวนการนี้ เช่น การมีอุปกรณ์โดยรวมของกระบวนการที่มากกว่า บางกระบวนการ แต่ก็ยังคงทำให้กระบวนการเชื่อมแบบ GMAW นี้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภท



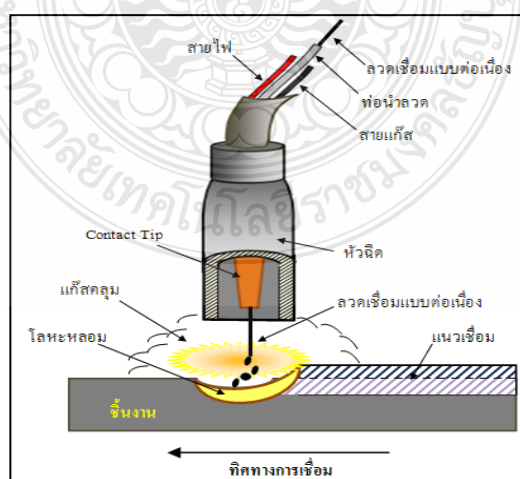
ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม [9]

ส่วนประกอบการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม เริ่มจากลวดเชื่อมจากม้วนลวดจะถูกป้อนด้วยลูกกลิ้งของกลไก ป้อนลวด ผ่านท่อนำลวดและท่อนำกระแสออกมาที่ปากหัวฉีด เมื่อปลายลวด

เชื่อมแต่ละกับผิวชิ้นงานจะเกิดการอาร์คขึ้น ความร้อนจากการอาร์คจะหลอมผิวชิ้นงานและปลายเชื่อมเป็นหยดโลหะ ถ่ายโอนผ่านอาร์คเข้าสู่บ่อหลอมเหลวเพื่อเติมประสานรอยเชื่อม ขณะเดียวกันแก๊สคลุมจะไหลผ่านหัวฉีด (Nozzle) พุ่งออกมาปกคลุมรอบบริเวณการอาร์ค เพื่อป้องกันความเสียหายของรอยเชื่อมจากบรรยากาศรอบนอกที่จะ เข้าทำปฏิกิริยากับโลหะเชื่อมที่กำลังหลอมเหลว การอาร์คจะเกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลาปฏิบัติการเชื่อมเพราะใช้ลวดเชื่อมแบบสั่นเปลืองและการป้อนลวดเชื่อมเป็นไปอย่างอัตโนมัติ ส่วนการเคลื่อนที่หัวเชื่อมใช้มือถือหรือกลไกแล้วแต่ว่าจะเป็นวิธีการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติหรืออัตโนมัติ แสดงในภาพที่ 2.7 [9]

2.3.1 ระบบการอาร์ค (Arc)

ในกรรมวิธีการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม ความร้อนที่หลอมลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานจะเกิดจากการอาร์คระหว่างปลายลวดเชื่อมเปลือยกับชิ้นงานเชื่อมการอาร์ค จะเกิดขึ้นได้เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกลุ่มอะตอมของแก๊สที่มีประจุไฟฟ้า (Ionized Gas) โมเลกุลและอะตอมของแก๊สจะแตกตัวออกทำให้มีสภาพไม่เป็นกลาง (Ionized) เพราะสูญเสียอิเล็กตรอนไปจากประจุไฟฟ้าบวก (Positive Charge) อีออนแก๊สที่เป็นบวกจะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ส่วนอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ปริมาณความร้อนประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ จะถูกส่งผ่านโดยอิเล็กตรอนและคงจะเป็นการส่งผ่านของอีออนบวก (Positive Ion) ความร้อนจากการอาร์คจะหลอมลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงาน ปลายลวดเชื่อมส่วนที่หลอมถูกถ่ายโอน (Transfer) ผ่านการอาร์คเข้าสู่บ่อหลอมเหลว บริเวณกระทันร้อนและลวดเชื่อมจะถูกปกคลุมให้พ้นจากบรรยากาศรอบนอก โดยแก๊สที่ไหลพุ่งออกจากหัวเชื่อมแสดงในภาพที่ 2.8 ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการอาร์คของกระบวนการเชื่อมนี้จะสูงกว่าการเชื่อมอาร์คแบบอื่นๆ [9]



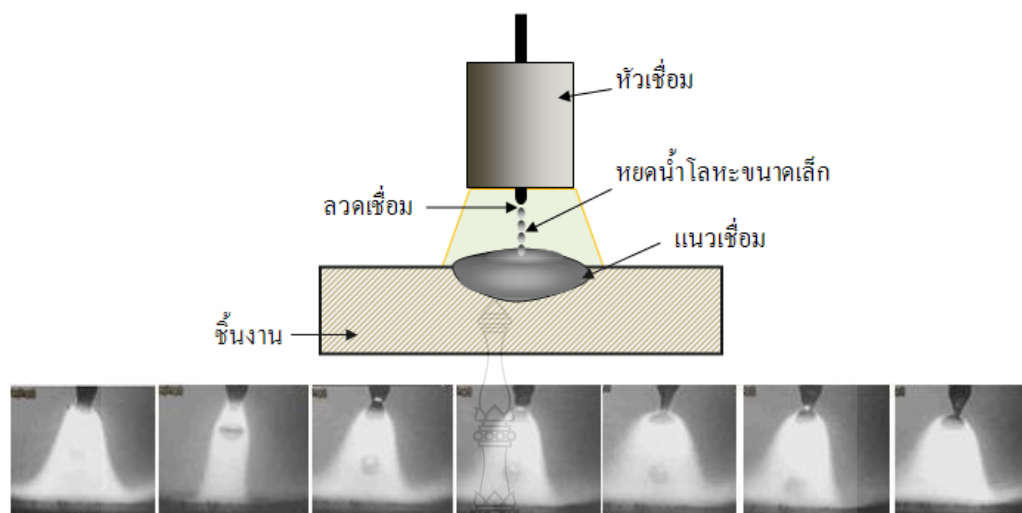
ภาพที่ 2.8 การอาร์คของการเชื่อมแบบ GMAW [9]

2.3.2 การถ่ายโอนโลหะ (Metal Transfer)

การถ่ายโอนโลหะ หมายถึง การที่โลหะลวดเชื่อมหลอมเป็นหยดและ หลุดออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านการอาร์คเข้าสู่บ่อหลอมละลายบน โลหะชิ้นงานซึ่งการถ่ายโอนให้ได้หยดของโลหะจะเกิดจากแรงที่กระทำต่อหยดโลหะที่ปลายลวดเชื่อม โดยปฏิกริยารวมกันระหว่างแรงและส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม ชนิดของก๊าซคลุม กระแสเชื่อม แรงดันเชื่อม และขนาดของลวดเชื่อม โดยแรงที่กระทำต่อหยดโลหะ คือ แรงตึงผิว (Surface Tension) พลาสมาอาร์ค (Plasma Arc) ความเร็ว (Velocity) แรงโน้มถ่วง (Gravity) แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnetic Force) และพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จะเป็นตัวกำหนดลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะที่แตกต่างกันออกไป ทำให้เกิดรูปแบบการถ่ายโอนโลหะลักษณะต่างๆ ดังนี้

1) การถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์ (Spray Transfer) [9]

กระบวนการถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์จะ เกิดจากการหลอมของปลายลวดเชื่อมเป็นหยดโลหะขนาดเล็ก วัฏจักรการถ่ายโอนจะเริ่มขึ้น เมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมละลายแล้ว ก่อตัวเป็นหยดโลหะขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อม หยดโลหะจะเรียวเล็กลงตรงส่วนที่ต่ออยู่ระหว่างปลายลวดเชื่อม และหยดโลหะนี้จะถูกแยกตัวหรือถูกบีบให้หลุดออก (Pinched-Off) จากปลายลวดเชื่อมด้วยแรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Forces) หยดโลหะถูกถ่ายโอนอย่างรวดเร็ว ผ่านพลาสมาอาร์คลงสู่บ่อหลอมเหลวอย่างคงที่และต่อเนื่องตลอดเวลาที่ กระแสเชื่อมยังไหลผ่านลวดเชื่อมอยู่ ปริมาณหยดโลหะที่ถ่ายโอนอาจต่ำกว่าหรือสูงกว่าเป็นหลายร้อยหยดในเวลาหนึ่งวินาที กระบวนการถ่ายโอนแบบสเปรย์ต้อง ใช้ความหนาแน่นของกระแสสูงเพื่อลวดเชื่อมได้หลอมเป็นหยดขนาดเล็กกว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมอย่างรวดเร็ว หยดที่มีขนาดเล็กนี้จะไม่มีผลต่อเสถียรภาพของการอาร์ค การไหลพุ่งของหยดโลหะจึงเป็นเส้นตรงจากศูนย์กลางปลายลวดเชื่อมสู่บ่อหลอมละลาย ทำให้กำหนดทิศทางการถ่ายโอนได้ตามต้องการ ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่งานสูงแม้ลวดเชื่อมจะมีขนาดใหญ่ก็สามารถหลอมเป็นหยดขนาดเล็กได้ทันที ส่งผลให้เกิดการหลอมลึกของแนวเชื่อมมาก แสดงในภาพที่ 2.9

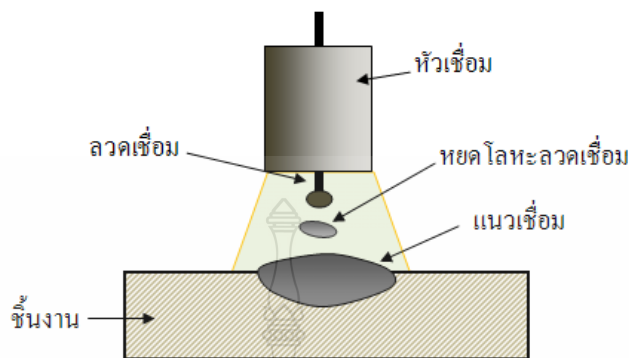


ภาพที่ 2.9 การถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์ [9]

2) การถ่ายโอนโลหะแบบหยด (Globular Transfer) [9]

วัฏจักรของการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่จะเริ่มเมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมเหลวให้เป็นหยดโลหะ จากนั้นเกิดการก่อตัวเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นกว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมประมาณ 1.5 ถึง 2 เท่า ก่อนจะหลุดจากปลายของลวดเชื่อมแล้วถ่ายโอนผ่านการอาร์คสู่บ่อหลอมละลายด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ซึ่งจะทำให้อัตราการเติมเนื้อโลหะมากและมีความร้อนสูงกว่าการถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร กระแสและแรงดันเชื่อมที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่จะมีค่าต่ำ แต่ก็อยู่ในช่วงที่สูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร คือ กระแสจะไม่เกินระดับของกระแสช่วงเปลี่ยน (Transition Current) ดังนั้นพฤติกรรมการถ่ายโอนโลหะแบบนี้ จึงอยู่ระหว่างการถ่ายโอนแบบลัดวงจรและแบบละออง แต่ไม่ใช่วิธีการถ่ายทั้งสองแบบ ลักษณะการถ่ายโอนเป็นการผสมกันระหว่างแบบลัดวงจรและแบบละอองแต่มีขนาดหยดใหญ่กว่าแบบละออง อัตราการถ่ายโอนโลหะต่อวินาทีที่กระแสต่ำจะมีเพียง 2-3 หยดเท่านั้น ขณะที่หยดโลหะขนาดเล็กจำนวนมากถูกถ่ายโอนไปแล้วตอนที่กระแสเพิ่มขึ้น เมื่อหยดโลหะมีขนาดใหญ่พอแล้วก็จะแยกตัวออกจากปลายลวด ถ่ายโอนผ่านการอาร์คลงสู่บ่อหลอมเหลวหยดโลหะจะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอและเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเอง เนื่องจากแรงทางกายภาพของการอาร์ค (Physical Force) จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หยดโลหะนี้กลมไม่สม่ำเสมอ โดยหยดที่มีขนาดใหญ่กว่าจะไปแตะกับบ่อหลอมเหลวทำให้เกิดการลัดวงจร การถ่ายโอนโลหะแบบหยดสู่บ่อหลอมเหลวจะใช้แรงโน้มถ่วงมากกว่าแรงที่เกิดจากการอาร์ค ดังนั้น กระบวนการถ่ายโอนแบบนี้จึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการงานเชื่อมคุณภาพสูง มีขอบ

เขตใช้งานจำกัดเพราะปริมาณความร้อนใช้งานต่ำ สามารถทำการเชื่อมได้ดีกับงานที่อยู่ในแนวราบ และแนวระดับ ใช้ระดับกระแสและแรงดันเชื่อมสูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจรแสดงในภาพที่ 2.10



ก) แบบจำลองการถ่ายโอนโลหะแบบหยด



ข) ขั้นตอนการหลอม

ค) ขั้นตอนการหยด

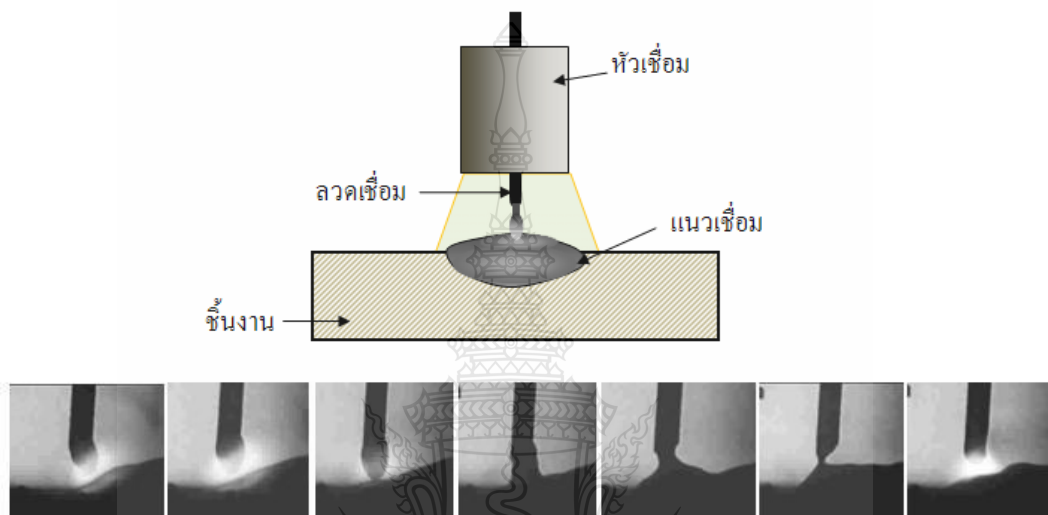
ง) ขั้นตอนการหลุดไป

ภาพที่ 2.10 การถ่ายโอนโลหะแบบหยด [9]

3) การถ่ายโอนแบบลัดวงจร (Short Circuit Transfer) [9]

วัฏจักรการถ่ายโอนเกิดขึ้นเมื่อปลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานถูกทำให้เกิดการอาร์คขึ้น และมีอุณหภูมิสูงพอที่จะหลอมปลายลวดเป็นหยดโลหะขนาดเล็กขณะเดียวกันลวดเชื่อมจะถูกป้อนเข้าสู่บ่อหลอมเหลวด้วยอัตราเร็วสูงทำให้หยดโลหะบนปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมเหลวก่อนจะแยกออกจากปลายลวดเชื่อม ทำให้เกิดการลัดวงจรไฟฟ้า (Short Circuit) โดยที่การอาร์คจะดับไปชั่วขณะ จังหวะที่ลัดวงจรอยู่นี้กระแสจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ปลายลวดเชื่อมที่หลอมเป็นหยดจะถูกบีบรัดออกแล้วถ่ายโอนสู่บ่อหลอมเหลวด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ซึ่งหยดโลหะที่ปลายลวดเชื่อมจะเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างช่องว่างปลายลวดเชื่อมกับบ่อหลอมเหลว เมื่อหยดโลหะหยดแรกหลุดจากปลายลวดเชื่อมแล้วก็จะเริ่มต้นอาร์คใหม่อีกครั้งหนึ่ง สภาวะอย่างนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันไปอย่างรวดเร็วมาก คือ มีความถี่ของการลัดวงจรราว 20 ถึง 200 ครั้งต่อวินาที

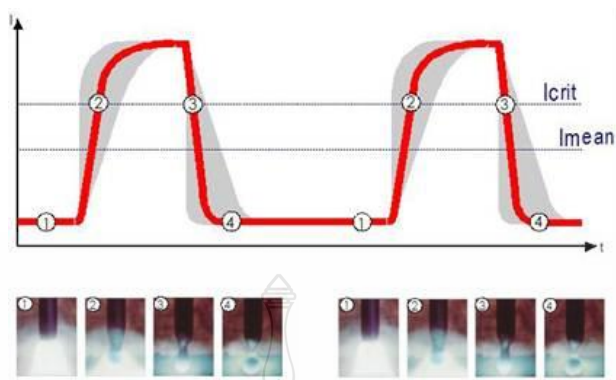
กระแสและแรงดันเชื่อมจะตั้งอยู่ในช่วงต่ำจึงมีปริมาณความร้อนเข้าสู่งานน้อย สามารถใช้ลวดเชื่อมขนาดเล็กได้ งานเชื่อมบิตตัวน้อย รอยหลอมทะลุและประกายโลหะกระเด็นไม่มาก การถ่ายโอนแบบลัดวงจร สามารถเชื่อมงานได้หลายขนาดของความหนาและความเหมาะสมกับการเชื่อมงานหน้าตัดบาง ถ้าใช้กระแสตรงกลับขั้ว (DCRP) สามารถเชื่อมได้ทุกความหนา และสามารถเชื่อมได้ทั้งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง และอลูมิเนียม แสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 การถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร [9]

4) การถ่ายโอนแบบพัลส์ (Pulse Spray Transfer) [9]

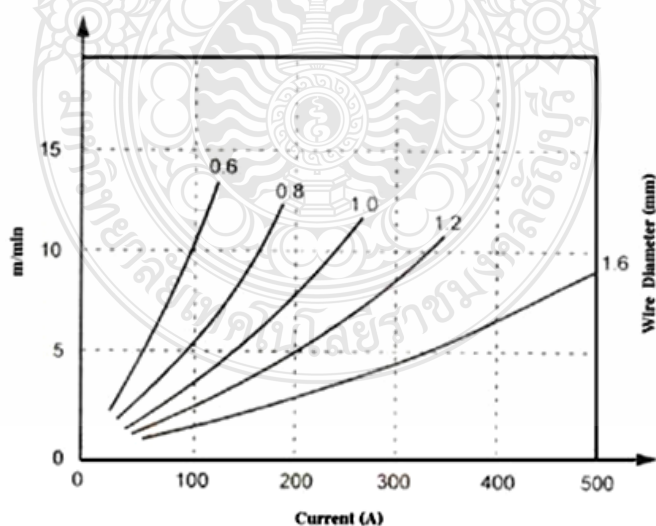
เป็นกระบวนการที่พัฒนามาแทนการถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์เพราะมีข้อจำกัดการใช้งาน แต่ยังคงรักษาการถ่ายโอนที่เป็นลักษณะแบบสเปรย์อยู่ การพัลส์ของกระแสเชื่อมจากระดับต่ำสุดถึงระดับสูงสุดที่ 60 ไซเคิลต่อวินาที จังหวะการพัลส์แต่ละครั้ง จะทำให้ปลายลวดเชื่อมเป็นหยดโลหะได้ 1 หยด และถ่ายโอนผ่านอาร์คสู่บ่อหลอมเหลวด้วยความถี่สม่ำเสมอต่อเนื่องกัน ระดับกระแสต่ำสุดจะตั้งในช่วงการถ่ายโอนแบบละออง การถ่ายโอนหยดโลหะจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสพัลส์ถึงระดับสูงสุด หลังจากถ่ายโอนหยดโลหะแล้วกระแสจะลดลงต่ำสุดตามที่ตั้งไว้ กระแสต่ำช่วยคงให้การอาร์คเกิดอยู่ตลอดเวลา ช่วงจังหวะนี้การถ่ายโอนโลหะไม่เกิดขึ้น การพัลส์ของกระแสสูงแล้วต่ำลงจะมีผลต่อการควบคุมปริมาณความร้อนเข้าสู่งานเชื่อม โดยความร้อนเฉลี่ยต่ำกว่าการถ่ายโอนแบบละออง จึงเหมาะกับการเชื่อมงานในทุกตำแหน่งท่าเชื่อม งานบิตตัวน้อย สามารถใช้ลวดเชื่อมขนาดใหญ่ได้ และการถ่ายโอนหยดโลหะผ่านการอาร์คยังคงเป็นหยดขนาดเล็กอยู่ จึงประหยัดกว่าการใช้ลวดเชื่อมขนาด แสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 การถ่ายโอนโลหะแบบพัลส์ [9]

2.4 กระแสเชื่อม (Welding Current)

กระแสเชื่อม คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องเชื่อมผลิตออกมา ซึ่งสามารถอ่านได้โดยตรงจากแอมป์มิเตอร์ของเครื่องเชื่อม ในกระบวนการเชื่อมมิกแมก กระแสเชื่อมสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วของการป้อนลวด (Wire Feeder) ถ้าป้อนลวดเร็วขึ้นกระแสเชื่อมที่ผลิตออกมาก็มากขึ้นด้วย แต่ถ้าป้อนลวดช้าลงกระแสเชื่อมก็ลดลงเช่นกัน แสดงในภาพที่ 2.13 โดยในกระบวนการเชื่อมดังกล่าวสามารถแบ่งชนิดของกระแสเชื่อม เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทดังนี้



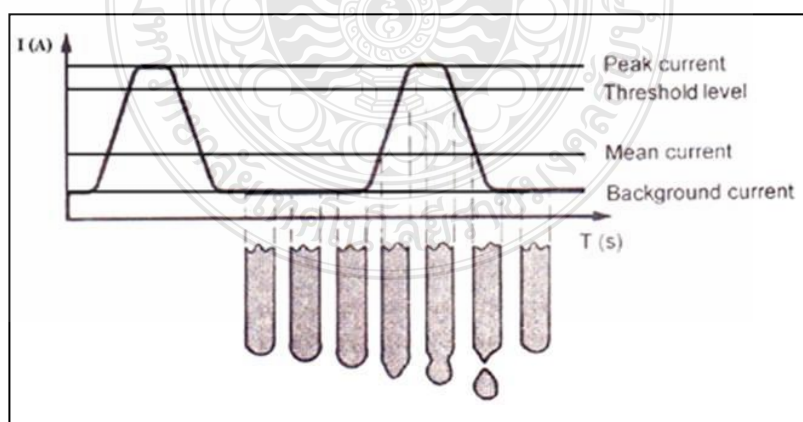
ภาพที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมกับความเร็วในการป้อนลวด [9]

2.4.1 กระแสเชื่อมแบบมาตรฐาน (Standard Arc Current)

กระแสเชื่อมแบบมาตรฐาน เป็นลักษณะของกระแสเชื่อมโดยทั่วไป ซึ่งกระแสในขณะที่เชื่อมโดยเฉลี่ยตลอดการเชื่อมจะมีค่าคงที่ สำหรับกระบวนการเชื่อมแม่เหล็ก กระแสไฟเชื่อมจากเครื่องเชื่อมจะถูกส่งไปสู่ที่นำลวดภายในหัวเชื่อมผ่านไปยังลวดเชื่อมสู่ชิ้นงาน ซึ่งการกำหนดค่ากระแสในการเชื่อม ในทางปฏิบัติ จะนิยมตั้งค่ากระแสเชื่อมโดยพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดที่ใช้เชื่อม หรือจากความหนาของชิ้นงานเชื่อมเป็นหลัก [9]

2.4.2 กระแสเชื่อมแบบพัลส์ (Pulsed Arc Current)

กระแสเชื่อมแบบพัลส์ เป็นกระแสที่เกิดจากการเปิดปิดวงจร (Switching) ระหว่างกระแสต่ำสุดกับกระแสสูงสุด ดังนั้น ในเครื่องเชื่อมตัวเดียวจึงมีต้นกำเนิดแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ให้กระแสต่ำสุด (Background Current) และส่วนที่ให้กระแสสูงสุด (Peak Current) เพื่อให้ได้กระแสพัลส์ที่เหมาะสม การตั้งค่ากระแสในการเชื่อมจะต้องตั้งค่ากระแสสูงสุดให้สูงกว่าระดับกระแสช่วงเปลี่ยน (Threshold Level) ของการถ่ายโอนแบบละอองและค่าของกระแสต่ำสุดต้องตั้งในช่วงการถ่ายโอนแบบหยด ในขณะที่อาร์คช่วงกระแสค่าสูงจะเป็นการถ่ายโอนน้ำโลหะให้พุ่งเข้าสู่บ่อหลอมละลายโลหะถูกแรงบีบรัดแยกตัวออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านอาร์คสู่บ่อหลอมเหลวที่วงรอบพัลส์และเกิดขึ้นซ้ำๆกันอย่างต่อเนื่องในช่วงประมาณ 30-300 ครั้งต่อวินาที ลงสู่บ่อหลอมละลาย ส่วนช่วงกระแสค่าต่ำจะเป็นการรักษาการอาร์คให้คงที่และต่อเนื่องลักษณะของรูปแบบของกระแสพัลส์ แสดงในภาพที่ 2.14 [9]



ภาพที่ 2.14 รูปแบบของกระแสเชื่อมแบบพัลส์ [9]

2.5 แรงดันอาร์ค

แรงดันอาร์คหรือแรงดันเชื่อมหาได้จากความยาวอาร์คระหว่างปลายลวดเชื่อมกับงานเชื่อม ในระบบแรงดันที่จะปรับแรงดันเชื่อมที่ป้อนด้านหน้าเครื่องเชื่อม และเครื่องเชื่อมจะรักษาแรงดันให้คงที่จะปรับแรงดันเชื่อมที่ป้อนด้านหน้าเครื่องเชื่อมและ เครื่องเชื่อมจะรักษาแรงดันให้คงที่ตามจำนวนที่ตั้งไว้ ซึ่งยังคงให้ความยาวอาร์คที่แน่นอน แรงดันอาร์คที่ต้องใช้งานขึ้นอยู่กับขนาดของลวด ชนิด แก๊สคลุม ตำแหน่งแนวเชื่อม ชนิดรอยต่อ และขนาดความหนาของ โลหะงานเชื่อม แม้ว่าความยาวอาร์คจะไม่ถูกกำหนดหรือตั้งไว้แต่ก็จะให้คุณสมบัติของตะเข็บเชื่อม เหมือนกับที่แรงดันอาร์คปกติ ถ้าใช้คาร์บอนไดออกไซด์และฮีเลียมจะให้แรงดันสูงกว่ากรณีใช้อาร์คออน เมื่อตัวแปรอื่นๆ ถูกตั้งไว้คงที่ถ้าเพิ่มแรงดันอาร์คสูงขึ้นตะเข็บเชื่อมจะกว้างและแบนราบ

ระยะซึมลึกจะเพิ่มขึ้นจนถึงระยะที่ดีที่สุดจากนั้นก็ลดลง การเชื่อมรอยต่อที่เว้นระยะเชื่อม ควรเลือกใช้แรงดันสูงเพราะให้ระยะซึมลึกดีและเกิดสะพานเชื่อมต่อได้ดี แต่แรงดันอาร์คสูงก็เป็นสาเหตุให้การเกิดประกายโลหะมาก ความพรุนรอยจิกกินลึก เมื่อแรงดันอาร์ค (ลดความยาวอาร์ค) ตะเข็บเชื่อมจะแคบและนูน ระยะซึมลึกดีกว่าระยะซึมลึกที่ได้จากแรงดันเชื่อมที่เหมาะสมที่สุด แต่ถ้าแรงดันอาร์คต่ำเกินไปลวดเชื่อมจะหลอมติดกับชิ้นงาน เกิดความพรุนและรอยเกย ที่ขอบตะเข็บเชื่อม

2.6 อัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อม

อัตราการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อม 1 หน่วยเวลา อัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะถูกควบคุมโดยช่างเชื่อม กรณีเป็นการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ ถ้าเป็นการเชื่อมแบบ อัตโนมัติจะถูกควบคุมด้วยกลไกจักรกล อัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะมีผลกระทบต่อระยะซึมลึกของรอยเชื่อม ขนาดตะเข็บเชื่อมและลักษณะตะเข็บเชื่อมแสดงถึงระยะซึมลึกที่เป็นผลกระทบจากการเพิ่มหรือลดอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมเมื่อลดอัตราเร็วลง อัตราการเติมเนื้อโลหะต่อหน่วยความยาวจะเพิ่มขึ้นทำให้บ่อหลอมเหลวมี่ขนาดใหญ่และตื้น เนื้อโลหะเชื่อมจะล้าหน้าลวดเชื่อมไปเล็กน้อยระยะเชื่อมจึงเป็นผลให้ระยะซึมลึกตื้น ตะเข็บเชื่อมจะกว้างและนูนมาก

การลดอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะเพิ่มความสูงของตะเข็บเชื่อม แต่ถ้าอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมช้าเกินไปจะเกิดรอยเกยของโลหะที่ขอบรอยเชื่อม ความร้อนจะเข้าสู่งานสูงมากมีผลให้บริเวณกระทบร้อนกว้าง การหลอมตัวของโลหะชิ้นงานไม่ดีมีระยะซึมลึกมากเกินไป ความพรุนในเนื้อโลหะเชื่อมมากมีสารมลทินฝังอยู่ภายในตะเข็บเชื่อมขรุขระ

ถ้าอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมมากเกินไป การถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่โลหะชิ้นงานลดลงทำให้การหลอมของโลหะชิ้นงานได้ไม่ดี ตะเข็บเชื่อมกว้างสูงและนูน ระยะซึมลึกตื้น และถ้าใช้อัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมเร็วเกินไป จะเกิดรอยกินลึกที่ขอบตะเข็บเชื่อมเพราะการเติมเนื้อโลหะหลอมเหลวไม่เต็มร่องรอยต่อ เกิดประกายโลหะมากตะเข็บเชื่อมไม่สม่ำเสมอ เพราะโลหะชิ้นงานหลอมเหลวได้น้อยเกินไป

2.7 แก๊สคลุม (Shielding Gas)

ในกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม จะมีผลต่อสมบัติของเนื้อเชื่อมโลหะเชื่อมแก๊สที่ใช้คลุมบ่อหลอมเหลวจะช่วยป้องกันความเสียหายและการปนเปื้อนจากการสัมผัสกับบรรยากาศรอบนอก ขณะที่เกิดการอาร์ค อากาศที่ปกคลุมรอบๆ บริเวณการอาร์คจะถูกแทนที่ด้วยแก๊สคลุมเพื่อป้องกันไม่ให้ แก๊สไนโตรเจน (N) แก๊สออกซิเจน (O_2) และความชื้นในบรรยากาศเข้าไปรวมตัวกับบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อม การเชื่อมเหล็กกล้าที่มีแก๊สออกซิเจนมากเกินไป จะทำให้แก๊สออกซิเจนรวมตัวกับคาร์บอนในเหล็กและจะอยู่ในรูปของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ฝังอยู่ในเนื้อเหล็กทำให้เกิดเป็นรูพรุน ส่วนแก๊สไฮโดรเจน (H_2) จากไอน้ำและน้ำมันแทรกอยู่ในเนื้อเหล็กเกิดเป็นรูพรุนหรือเป็นสาเหตุของการแตกร้าวได้แนวเชื่อม ซึ่งจากสาเหตุของการรวมตัวของแก๊สดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยใช้แก๊สคลุม กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สปกคลุม แก๊สคลุมมีผลต่อคุณสมบัติของเนื้อโลหะเชื่อมแก๊สคลุมบ่อหลอมเหลว จะช่วยป้องกันความเสียหายและการปนเปื้อนจากการสัมผัสกับบรรยากาศรอบนอกที่มีส่วนประกอบของแก๊สไนโตรเจน ไฮโดรเจน ออกซิเจนและไอน้ำแก๊ส เหล่านี้ถือเป็นมลทินที่เป็นสาเหตุของความบกพร่องในตะเข็บเชื่อม โดยจะรวมตัวเข้ากับเนื้อโลหะเชื่อมที่กำลังจะแข็งตัว ขณะเดียวกันก็ก่อให้เกิดออกไซด์โลหะและสแลกหลอมรวมตัวเข้ากับเนื้อโลหะเชื่อมที่กำลังจะแข็งตัว ขณะเดียวกันก็ก่อให้เกิดออกไซด์โลหะและสแลกหลอมรวมกับอะตอมไฮโดรเจนทำให้เนื้อโลหะเชื่อมมีความต้านแรงสูงขึ้น นำไปสู่การแตกร้าว และความพรุนของตะเข็บเชื่อม นอกจากจากแก๊สคลุมจะมีผลต่อความต้านแรงของรอยต่อและความบกพร่องในเนื้อโลหะเชื่อมแล้ว ยังมีผลต่อคุณสมบัติการเชื่อมอาร์คด้านอื่นหลายประการด้วยกัน เช่น การเกิดประกายโลหะมากน้อยเพียงใดขณะเชื่อม ระยะการซึมลึก ความเสถียรของการอาร์คและกระบวนการถ่ายโอนโลหะในแบบต่างๆ ได้ การใช้แก๊สคลุมเพียงชนิดเดียวไม่สามารถทำให้เกิดการถ่ายโอนโลหะแบบต่างๆ หรือใช้กับโลหะทุกชนิดได้ การเชื่อมวัสดุบางชนิดหรือการถ่ายโลหะบางแบบ ต้องการแก๊สผสม แม้ว่าจะเป็นวัสดุชนิดเดียวกันแต่ถ้าคลุมด้วยแก๊สผสมจะให้คุณภาพตะเข็บเชื่อมดีกว่า ได้ผลคุ้ม

ค่าใช้จ่ายและช่วยแก้ปัญหาข้อบกพร่องจากการใช้แก๊สปกคลุมชนิดเดียวแม้ราคาแพงกว่า แต่ให้ผลการเชื่อมที่ดีกว่าหลายประการ

นอกจากแก๊สคลุมจะมีผลต่อความต้านทานแรงดึง ของรอยต่อและความบกพร่องในเนื้อโลหะเชื่อมแล้ว ยังมีผลต่อสมบัติการเชื่อมอาร์กด้านอื่นหลายประการด้วยกัน เช่น การเกิดประกายโลหะมากน้อยเพียงใดขณะเชื่อม ระยะซึมลึก ความเสถียรของการอาร์กและการเกิดกระบวนการถ่ายโอนโลหะในแบบต่างๆ อากาศจะมีส่วนผสม โดยปริมาณของแก๊สดังนี้ ออกซิเจน ไนโตรเจน อาร์กอน และแก๊สอื่นๆ จะมีคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน รวมอยู่ด้วย และยังมีไอน้ำอยู่กับ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ จากธาตุทั้งหมดที่กล่าวมานี้ แก๊สที่ทำให้เกิดปัญหาต่อการเชื่อมมากที่สุดคือ ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน

ออกซิเจน เป็นธาตุที่มีปฏิกิริยาสูงมากสามารถรวมกับธาตุอื่นในโลหะก่อให้เกิดสภาพของ ออกไซด์ขึ้น ออกไซด์ที่เกิดจากออกซิเจนสามารถขจัดได้โดยใช้ตัวดีดออกซึ่งมีส่วนผสมอยู่ในลวดเชื่อมได้แก่ธาตุซิลิกอน แมงกานีส ธาตุเหล่านี้เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเปลี่ยนเป็นรูป แผลกบางๆ ลอยอยู่บนผิวบ่อหลอมเหลว หากไม่มีการผสมธาตุดีดออกซิโดเซอร์เข้าไปในลวดเชื่อม ออกซิเจน รวมตัวกับเนื้อเชื่อมแล้วเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบอื่นแทรกซึมเข้ากับเนื้อโลหะเชื่อม มีผลให้ คุณสมบัติทางกลของตะเข็บเชื่อมลดลง

ไนโตรเจน เป็นธาตุสำคัญตัวหนึ่งที่เกิดปัญหาในการเชื่อมเหล็กกล้า เพราะขณะที่มันกำลัง หลอมเหลวสามารถชักนำเอาไนโตรเจนจำนวนมากเข้าไปรวมตัวกับมันเอง ดังนั้นในขณะที่เนื้อโลหะ กำลังเย็นตัวใน ไนโตรเจนจะเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการตกตะกอนกลายเป็นเหล็กไนโตร ทำให้เหล็กมีความต้านทานแรงดึงครากและแรงดึง สูงเพิ่มขึ้น มีความแข็งมากขึ้น และความเหนียวลดลง จึงมีความต้านทานต่อแรงกระแทกต่ำ อาจนำไปสู่ความแตกร้าวของแนวเชื่อมได้

ไฮโดรเจน ที่เป็นแก๊สอันตรายต่องานเชื่อมเช่นเดียวกันกับแก๊ส สองชนิดที่กล่าวมาแล้วแม้จะมีปริมาณไม่มากก็ตาม แต่จะส่งผลต่อการอาร์กทำให้การอาร์กนั้นไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งคุณภาพของเนื้อเชื่อมโลหะด้วย

เพื่อป้องกันผลกระทบจากการสัมผัสของออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน ในบรรยากาศเข้าทำปฏิกิริยากับเนื้อโลหะเชื่อม ต้องจัดให้มีแก๊สคลุมบ่อหลอมเหลวและแก๊สคลุมที่นำมาใช้ครั้งแรกกับกระบวนการเชื่อมอาร์ค โลหะแก๊สคลุม ได้แก่ แก๊สเฉื่อย เพราะอะตอมของก๊าซเฉื่อยมีความเสถียรในตัวเองไม่ทำปฏิกิริยากับธาตุอื่น จึงเหมาะกับการใช้เป็นแก๊สคลุมบ่อหลอมเหลว

แก๊สคลุมเพียงชนิดเดียวไม่สามารถทำให้เกิดการถ่ายโอนโลหะแบบต่างๆ หรือใช้กับโลหะทุกชนิดได้ การเชื่อมวัสดุบางชนิดหรือการถ่ายโอนโลหะบางแบบ ต้องการก๊าซผสม แม้เป็นวัสดุชนิด

เดียวกันแต่ถ้าคลุมด้วยแก๊สผสมจะทำให้คุณภาพตะเข็บเชื่อมดีกว่าได้ผลคุ้มค่าใช้จ่าย และช่วยแก้ปัญหาข้อบกพร่องจากการใช้ก๊าซคลุมชนิดเดียวแม้ราคาแก๊สผสมจะแพงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ให้ผลการเชื่อมที่ดีกว่าหลายประการด้วยกันจึงนิยมใช้แพร่หลาย [3]

2.7.1 แก๊สคลุมที่ใช้ในงาน

1. แก๊สเฉื่อย (Inert Gas)

เป็นแก๊สที่ไม่เกิดปฏิกิริยารวมตัวกับสารอื่น ได้แก่ แก๊สอาร์กอน (Argon : Ar) และแก๊สฮีเลียม (Helium : He) หรือแก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สฮีเลียม แก๊สดังกล่าวสามารถใช้ได้โดยโดยไม่ต้องผสมกับแก๊สอื่น หรืออาจผสมกับแก๊สอื่นเพื่อให้แนวเชื่อมมีสมบัติที่ดีขึ้น [3]

2. แอกทีฟแก๊ส (Active Gas)

แอกทีฟแก๊ส ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide : CO₂) หรือเป็นแก๊สผสมกันระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแอกทีฟแก๊สบางตัว เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊สไนโตรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือแก๊สไฮโดรเจน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่การเชื่อม 3 ประการ คือ

1) การทำให้อุณหภูมิที่มีประจุไฟฟ้าแตกตัวให้อิออน (Ionization Potential) เป็นการสร้างพลังงานที่จำเป็นในการดึงเอาอิเล็กตรอน (Electron) ออกจากอะตอมของแก๊ส (Gas Atom) การแตกตัวให้อิออน ณ อุณหภูมิของการอาร์ค มีผลต่อการส่งถ่ายพลังงานความร้อน (Heat Energy) ไปยังบริเวณที่เกิดการอาร์คของพลังงาน Ionization Potential ที่สูงขึ้น ซึ่งต้องใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงในการทำให้อะตอมของแก๊สแตกตัวให้อิออนมาก ตัวอย่าง กรณีแก๊สฮีเลียมซึ่งมีค่า Ionization Potential 24.5 eV หมายความว่า ต้องใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24.5 โวลต์ ในการทำให้อะตอมของแก๊สฮีเลียมแตกตัวสูงกว่าแก๊สอาร์กอนซึ่งมีค่า Ionization Potential ที่ 15.7 eV ดังนั้น การใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมจะทำให้เริ่มต้นอาร์คได้ง่ายกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สคลุม [3]

2) การนำความร้อน (Thermal Conductivity) แก๊สคลุมบางชนิดมีความสามารถในการนำความร้อนต่ำ เช่น แก๊สอาร์กอน ส่งผลทำให้การอาร์คเกิดความเข้มข้นสูงเฉพาะจุดและเป็นบริเวณแคบ ขณะที่แก๊สฮีเลียมมีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดีเลิศ จึงเป็นเหตุให้เปลวอาร์คที่ได้จากการใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมสามารถแผ่ขยายกว้างและในขณะที่เดียวกันศูนย์กลางของเปลวอาร์คจะเจาะทะลุลงไปยังส่วนล่างของรอยเชื่อม ส่งผลทำให้แนวเชื่อมที่ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมสามารถหลอมลึกกว่าการใช้แก๊สอาร์กอน [4]

3) การทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม (Reactivity) แก๊สอาร์กอน จัดเป็นแก๊สเฉื่อยดังนั้นจึงไม่มีการทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม แต่อย่างไรก็ตามแก๊สที่ทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลายได้แก่

- แก๊สไฮโดรเจน (Hydrogen) เป็นแก๊สที่ดึงเอาคาร์บอนให้เกิดขึ้นให้น้อยลงและลดออกไซด์ที่จะไปรวมตัวกับบ่อหลอมละลาย แต่อย่างไรก็ตาม แก๊สไฮโดรเจนถ้าใช้เป็นส่วนผสมของแก๊สคลุมในการเชื่อมเหล็กแข็ง (Hardened Steel) จะส่งผลเสียต่องานเชื่อม เช่น เกิดการแตกร้าวใต้แนวเชื่อม (Under Bead Cracking) ได้ง่าย

- แก๊สออกซิเจน (Oxygen) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) แก๊สทั้งสองจัดอยู่ในกลุ่มของแก๊สทำปฏิกิริยา (Reactive Gas) เรียกว่า Oxidizers Gas ทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลายในรูปของออกไซด์ (Oxides)

- แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นแก๊สที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงและ กระแสเชื่อมสูง จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีแต่เนื่องจากไม่ใช่เป็นแก๊สเฉื่อย ดังนั้น ในขณะที่เชื่อมทำปฏิกิริยากับเหล็กคาร์บอน (Carbon Steel) [4]

2.7.2 สมบัติของแก๊สคลุม (Properties of Shielding Gas)

โดยทั่วไป แก๊สคลุมที่นำไปใช้ในการเชื่อมจะมีสมบัติในการนำความร้อนและทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สคลุมกับธาตุต่างๆ ที่ผสมอยู่ใน โลหะงานและลวดเชื่อม สรุปได้ดังนี้

1) สมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) การนำความร้อนของแก๊สที่อุณหภูมิสูง การอาร์ค มีผลต่อแรงดันอาร์ค (Arc Voltage) และพลังงานความร้อนที่จ่ายให้กับการเชื่อม กล่าวคือ ขณะที่แก๊สคลุมมีการนำความร้อนเพิ่มขึ้น แรงดันที่ใช้เชื่อมก็ต้องเพิ่มขึ้นด้วยเพื่อให้สามารถรักษาการอาร์คได้ เช่น แก๊สฮีเลียมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีการนำความร้อนสูงกว่าแก๊สอาร์กอน จึงมีการถ่ายพลังงานความร้อนให้กับงานเชื่อมมาก ดังนั้น แก๊สฮีเลียมและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จึงต้องมีแรงดันสูงเพื่อรักษาอาร์คให้สม่ำเสมอ [4]

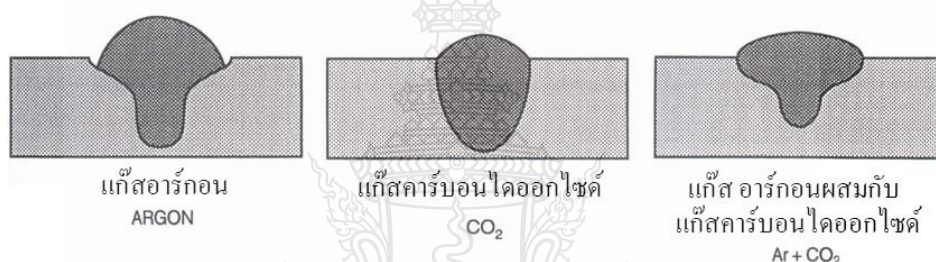
2) แก๊สที่นำมาเป็นแก๊สคลุมต้องเข้ากันได้และเหมาะสมกับชนิดของลวดเชื่อมและชิ้นงานเชื่อม เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคลุมที่ผสมด้วยแก๊สออกซิเจน ไม่ใช่เชื่อมอลูมิเนียม เพราะเกิดอลูมิเนียมออกไซด์ขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตาม แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สผสมด้วยแก๊สออกซิเจนใช้กับการเชื่อมเหล็กกล้าได้ดี ในการเชื่อม GMAW แก๊สคลุมที่ผสมกับแก๊สออกซิเจน จะช่วยให้การอาร์คสม่ำเสมอแก๊สออกซิเจนจะทำหน้าที่ Oxidizing ได้ดีกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้แก๊สออกซิเจน โดยทั่วไปจะผสมกับแก๊สอาร์กอนไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณขณะเดียวกันลวดเชื่อมที่ใช้ต้องผสมธาตุ Deoxidizing ลงไปด้วยเพื่อไม่ให้เกิดรูพรุนกับรอยเชื่อม [4]

3) รูปแบบของการส่งผ่านโลหะขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สคลุมด้วย กล่าวคือ การเลือกใช้แก๊สคลุมยังขึ้นอยู่กับรูปแบบของการถ่ายโอนโลหะและการหลอมลึกลับ เช่น การถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์ไม่เกิดขึ้นเมื่อใช้แก๊สคลุมที่ผสมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดย

ปริมาณ เพียงแต่จะเกิดการถ่ายโอนโลหะที่คล้ายกับการถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์ และเมื่อใช้แก๊สคลุมที่ผสมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในเปอร์เซ็นต์สูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณ ต้องใช้กระแสและแรงดันเพิ่มมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถรักษาการอาร์คให้คงที่และสม่ำเสมอได้ ส่งผลให้แนวเชื่อมไม่เรียบและมีเม็ดโลหะเกิดขึ้นมาก [4]

2.7.3 ชนิดของแก๊สคลุม (Type of Shielding Gas)

แก๊สนำมาปกคลุมโดยทั่วไป ของกระบวนการเชื่อมแบบอาร์ค (Arc Welding) มีหลายกระบวนการเชื่อมที่ต้องใช้แก๊สคลุมในขณะที่เชื่อม สำหรับแก๊สคลุมที่มีใช้ในเมื่องไทยนั้นมีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ในโครงการครั้งนี้ผู้ดำเนินโครงการได้เลือกใช้แก๊สคลุมสำหรับการทดลอง 3 ชนิด ดังนี้



ภาพที่ 2.15 รูปร่างของรอยเชื่อมจากการใช้แก๊สคลุมที่แตกต่างกัน [9]

1) แก๊สอาร์กอน (Argon) มีความหนาแน่น 1.665 กก./ลบ.ม. ผลิตได้จากอากาศที่มีอยู่ในบรรยากาศประมาณ 0.9 เปอร์เซ็นต์ แก๊สอาร์กอนเป็นอออนไนส์แก๊สที่ดี มีน้ำหนักมากกว่าอากาศสามารถผลิตได้โดยการแยกอากาศเหลว ลักษณะแก๊สจะมีในรูปแบบของแก๊สเหลวและแก๊สดัง การเก็บแก๊สอาร์กอนเหลวจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -184 องศาเซลเซียสเล็กน้อย สามารถใช้เป็นแก๊สคลุมได้ทั้งในสภาพบริสุทธิ์และผสมกับแก๊สอื่นๆ เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการเหมาะสำหรับใช้เชื่อมโลหะเหล็กและโลหะนอกกลุ่มเหล็ก ลักษณะของเปลวอาร์คที่เกิดขึ้นจะเรียบนิ่งและพุ่งเป็นลำตรงทำให้ได้แนวเชื่อมที่แคบแต่ลึก ให้รูปร่างการหลอมลึกเหมือนแก้วไวน์ แสดงในภาพที่ 2.15 ลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะจะเป็นได้ทั้งแบบสเปรย์และแบบพัลส์ ดังนั้นจึงช่วยให้การเชื่อมไม่มีเม็ดโลหะกระเด็น และจะมีข้อดีข้อเสีย ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อดีและข้อเสียของแก๊สอาร์กอนเมื่อเทียบกับแก๊สฮีเลียม [4]

ข้อดี	ข้อเสีย
<ol style="list-style-type: none"> 1) การอาร์กเสียงเงียบและสม่ำเสมอ 2) เริ่มต้นอาร์กกระทำได้ง่าย มี Ionization Potential 15.7 eV 3) ใช้แรงเคลื่อนอาร์กต่ำและระยะอาร์กสั้น ให้ผลดีกับการเชื่อมโลหะบาง 4) ให้ปฏิกิริยาทำความสะอาดได้ดีซึ่งเหมาะที่จะนำไปเชื่อมโลหะประเภทอลูมิเนียมและแมกนีเซียม 5) ใช้อัตราการไหลแก๊สต่ำเนื่องจากแก๊สหนักกว่าอากาศ 1.4 เท่า 6) ราคาถูกและหาได้ง่าย 7) มีความต้านทานต่อการเป่าของอากาศ 8) เหมาะสำหรับการเชื่อมโลหะต่างชนิด 9) ควบคุมบ่อหลอมละลายได้ง่ายเมื่อเชื่อมทำเหนือศีรษะและทำตั้ง 10) ลดการเกิดโอโซนซึ่งเป็นมลพิษต่อสภาพแวดล้อม 	<p>ไม่เหมาะในการนำไปใช้สำหรับงานเชื่อมที่มีความหนาหลายๆ</p>

1) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) มีความหนาแน่น 1.849 กก./ลบ.ม. เป็นแก๊สที่ให้ความร้อนได้สูงมากในบริเวณขอบรอบนอกของเปลวอาร์ก เมื่อสัมผัสกับแกนนำของกระแสจะช่วยให้เกิดพลังที่เข้มข้นสูงขึ้น มีผลทำให้เกิดการหลอมลึกได้สูง และจะเกิดการแตกตัวเมื่ออยู่ภายใต้เปลวอาร์ก และถึงแม้ว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นแอคทีฟแก๊สที่ให้แก๊สออกซิเจนแต่รอยเชื่อมที่ได้มีความสมบูรณ์ปราศจากรูพรุนและตำหนิ โดยปกติแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะนิยมใช้ในการเชื่อมแบบแม็กซี (MAG-C) หรือใช้ผสมกับแก๊สเฉื่อยเช่น แก๊สอาร์กอนเรียกว่าการเชื่อมแบบแม็กเอ็ม (MAGM) เพื่อนำไปใช้สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าคาร์บอนผสมต่ำ เนื่องจากเป็นแก๊สที่หาง่าย ราคาถูก คุณภาพรอยเชื่อมดีและติดตั้งง่ายแต่ประสิทธิภาพของการเติมเนื้อโลหะของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะต่ำ เพราะเกิดการสูญเสียไปเป็นเม็ดโลหะ ซึ่งส่งผลถึงต้นทุนราคารวมทั้งหมดเมื่อเชื่อมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับงานที่ต้องการสมบัติทนต่อแรงกระแทกสูงการใช้แก๊สอาร์กอนผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเหมาะสมกว่าใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดเดียวและจะมีข้อดีข้อเสีย แสดงในตารางที่ 2.2 [4]

ตารางที่ 2.5 ข้อดีและข้อเสียของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ [4]

ข้อดี	ข้อเสีย
1) ให้การหลอมลึกของแนวเชื่อมดี	1) เกิด Oxidation ทำลายคุณสมบัติของแนวเชื่อมและไม่เหมาะสมสำหรับเชื่อมวัสดุที่นอกเหนือจากเหล็กกล้า
2) เชื่อมด้วยความเร็วสูงได้	2) เชื่อมค่อนข้างยากกว่าเมื่อเทียบกับแก๊สอาร์กอน
	3) เกิดเม็ดโลหะกระเด็นมากทำให้สิ้นเปลืองลวดเชื่อม
	4) มีผลต่อการเกิดไอโซน ซึ่งจะเป็นมลพิษต่อสภาพแวดล้อม

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแก๊สที่มีคุณสมบัติไม่ติดไฟไม่เป็นพิษไม่มีกลิ่นและไม่มีสี นอกจากนี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ยังหนักกว่าอากาศประมาณ 1.5 เท่า เกรดของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังสามารถแบ่งออกได้หลายเกรดตามลักษณะส่วนประกอบและความบริสุทธิ์ได้แก่ เกรดอาหาร (Food Grade) เกรดการแพทย์ (Medical Grade) และเกรดอุตสาหกรรม (Industrial grade) การต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกใช้งานในแต่ละถังไม่ควรให้มีอัตราการไหลออกจากถังเกิน 25 C.F.H. (12 ลิตร/นาท) ถ้าหากมีความต้องการเกินกว่าที่กำหนดควรใช้ระบบ Manifold หรือใช้ Flow Meter ให้ความร้อนดีกว่าเพราะถ้าหากอัตราการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป ทำให้เกิดการแข็งตัวของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อุดตัน หรือดึงเอาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหลวออกมาจากถังบรรจุด้วย

2) แก๊สผสมระหว่าง อาร์กอนกับคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้แก๊สผสมระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีจุดประสงค์สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กคาร์บอนผสมต่ำ เพื่อให้การอาร์คมีความร้อนสูงทำให้กินบริเวณกว้างขึ้น การหลอมลึกมากขึ้นและสามารถช่วยลดการเกิดเม็ดโลหะได้ดีกว่าการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนเล็กน้อยเข้าไปในแก๊สอาร์กอน ทำให้ได้คุณสมบัติของการถ่ายโอนแบบสเปรย์ที่เกิดขึ้นเหมือนกับการผสมด้วยแก๊สออกซิเจนลงในแก๊สอาร์กอนจำนวนเล็กน้อยในกระบวนการเชื่อมแบบ GMAW ที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผสมเข้าไปในแก๊สชนิดอื่น เมื่อกระแสไฟเชื่อมสูงขึ้นเล็กน้อยเกิดการถ่ายโอนแบบสเปรย์ที่สม่ำเสมอ การอาร์คนิ่ง ทำให้มีเม็ดโลหะกระเด็นและเขม่าควันที่เกิดขึ้นในขณะที่เชื่อมน้อย ในการผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกินกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ ได้การถ่ายโอนแบบสเปรย์ที่ไม่สม่ำเสมอและอาจเกิดเป็นการถ่ายโอนแบบลัดวงจรหรือแบบหยุดแทน

อัตราการไหลของแก๊สคลุม อัตราการไหลของการคลุมจะต้องมากพอสำหรับคลุมการอาร์คและบ่อหลอมเหลวไว้ได้โดยไม่ให้บรรยากาศรอบนอกเข้าไปทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมแต่ไม่ควรให้อัตราการไหลของแก๊สสูงเกินไป เพราะจะเกิดการปั่นป่วนของแก๊สในบ่อหลอมเหลวได้ อัตราการไหลเป็นตัวแปรปฐมภูมิ ที่ต้องเลือกก่อนปฏิบัติการเชื่อมซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สคลุมกระบวนการถ่ายโอนโลหะ วัสดุงานเชื่อมขนาดลวดเชื่อม ตำแหน่งแนวเชื่อมและระยะ โพล์ลวดของลวดเชื่อม

อีกตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการเลือกใช้อัตราไหลของแก๊สคลุมคือ ระยะ โพล์ลวด ถ้าระยะ โพล์ลวดมาก (หัวเชื่อมห่างจากผิวงาน) จะลดประสิทธิภาพการคลุมของแก๊ส แต่ถ้าระยะ โพล์ลวดน้อยเกินไป เมื่อโลหะเชื่อมหลอมเหลวจะกระเด็นมากทำให้อายุการใช้งานของหัวฉีดแก๊สสั้น แก๊สคลุมจะลอยหนีออกจากบ่อหลอมเหลวซึ่งเป็นตัวแปรที่ควรนำมาพิจารณาต่อการเลือกใช้อัตราการไหลของแก๊สคลุมด้วย หากแก๊สคลุมไม่พอจะส่งผลต่อคุณภาพตะเข็บเชื่อมและเกิดรอยร้าวได้ การอาร์คจะมีเสียงดัง เกิดความพรุนและประกายโลหะมาก [4]

ตารางที่ 2.6 การประยุกต์ใช้แก๊สปกคลุม กับวัสดุแบบต่างๆ (Application of Gas Shielded in GMAW) [3]

ชนิดแก๊ส	พฤติกรรมทางเคมี	การนำไปใช้
Ar	Inert	ใช้กับโลหะทุกชนิดยกเว้นเหล็กกล้า
He	Inert	ใช้กับการเชื่อม Al, Mg และ Cu-alloys ให้ความร้อนเข้าสู่งานสูง (heat input) และลดการเกิดความพรุน
Ar+He 20-30% ถึง 60-80%	Inert	ใช้ในการเชื่อม Al, Mg และ Cu-alloys ให้ความร้อนเข้าสู่งานสูง และลดการเกิด ความพรุน ลักษณะของการอาร์คจะดีกว่าการใช้ He 100%
N ₂	Unreactive	ให้ความร้อนเข้าสู่งานสูง เหมาะสำหรับ เชื่อมทองแดง

ตารางที่ 2.6 การประยุกต์ใช้แก๊สปกคลุม กับวัสดุแบบต่างๆ (Application Of Gas Shielded in GMAW [3] (ต่อ)

ชนิดก๊าซ	พฤติกรรมทางเคมี	การนำไปใช้
Ar+1-2% O ₂	Slightly Oxidizing	ใช้ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าเจือ
Ar+3-5% O ₂	Oxidizing	ใช้เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าเจือ ต่ำบางประเภท
CO ₂	Oxidizing	ใช้เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าเจือ ต่ำบางประเภท
Ar+20-50% CO ₂	Oxidizing	ใช้เชื่อมเหล็กกล้าได้หลายประเภท ส่วนมากใช้กับการถ่ายโอนแบบลัดวงจร
Ar+10% CO ₂ +5% O ₂	Oxidizing	ใช้เชื่อมเหล็กกล้าได้เกือบทุกประเภท นิยมใช้ในยุโรป
CO ₂ +20% O ₂	Oxidizing	ใช้เชื่อมเหล็กกล้าได้เกือบทุกประเภท นิยมใช้ในประเศญี่ปุ่น
90% He+7.5% Ar+ 2.5% CO ₂	Slightly	ใช้เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ต้องการความ ทนทานต่อการกัดกร่อนที่ดี โดยใช้กับ การถ่ายโอนแบบลัดวงจร

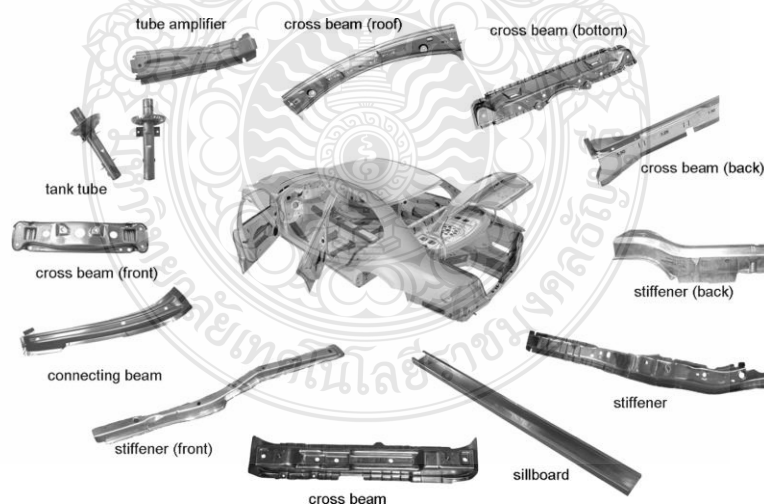
การเลือกแก๊สคลุมสำหรับโลหะงานเชื่อม มีหลากหลายชนิดการเลือกใช้มีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง คือ โลหะงานเชื่อม ราคา แก๊สคลุมและคุณภาพงานเชื่อมที่ต้องการ แสดงในตารางที่ 2.6 [4]

สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ให้ได้มีประสิทธิภาพสูงสุดควรเลือกวิธีการเชื่อมแบบการถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจรและแบบละออง สำหรับการถ่ายโอนโลหะแบบละออง แก๊สคลุมรอยเชื่อมจะเป็นแก๊สผสม คือ อาร์กอน กับออกซิเจน สาเหตุที่ต้องใช้แก๊สผสมก็เพื่อทำให้เกิดการถ่ายโอนโลหะแบบละอองและออกซิเจน ยังช่วยให้การอาร์กมีความเสถียร มีรอยกินลึกข้างตะเข็บเชื่อมน้อย สามารถใช้อัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมสูง แต่การเชื่อมเหล็กกล้าส่วนมากใช้แก๊สผสมระหว่าง อาร์กอนกับคาร์บอนไดออกไซด์ หรือคาร์บอนไดออกไซด์อย่างเดียว เฉพาะงานที่ต้องการเชื่อมด้วยอัตราเร็ว การเชื่อมสูงและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่ใช้กับกระบวนการถ่ายโอนโลหะแบบละอองการเชื่อม

เหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าเจือดำที่ใช้การถ่วงน้ำหนักแบบตัดวงจรมี ใช้การเชื่อมแบบต่อชนหน้าฉาก ซึ่งเหมาะสมกับการเชื่อมเหล็กแผ่นบางที่มีความหนาตั้งแต่ 0.8 ถึง 3.2 มิลลิเมตร

2.8 การเชื่อมเทอร์เบลิ่งค์ (Tailor Weld Blank) [5]

เทอร์เบลิ่งค์ คือกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยนำเหล็กแผ่นที่มีความหนาแตกต่างกัน รวมไปถึงเหล็กที่มีสมบัติ หรือชั้นเคลือบที่ต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.16 มาเชื่อมต่อให้เป็นเหล็กแผ่นชิ้นเดียวกันก่อนที่นำไปทำการขึ้นรูป แนวคิดในการรวมเหล็กประเภทต่างๆ เข้ามาเป็นแผ่นเดียวกันด้วยการเชื่อม ถูกพัฒนาเพื่อผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรม โดยนำเหล็กที่มีสมบัติแตกต่างกันมาต่อกันให้อยู่ในบริเวณที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ดีที่สุด วิธีนี้ไม่เพียงแต่ช่วยลดน้ำหนักของชิ้นส่วนให้ลดลง แต่ยังช่วยให้สามารถผลิตชิ้นส่วนได้โดยลดการใช้อุปกรณ์ยึดต่างๆ ด้วยกระบวนการนี้ถูกนำไปใช้และพัฒนาอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยมีแรงผลักดันมาจากข้อบังคับทางด้านสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งต้องการให้ออกแบบรถยนต์ที่มีน้ำหนักเบา เพื่อประหยัดพลังงาน และก่อให้เกิดมลภาวะน้อยลง พร้อมกับการปรับปรุงโครงสร้างของตัวรถให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น ชิ้นส่วนที่ผลิตจากเทอร์เบลิ่งค์ ได้แก่ โครงสร้างประตูรถ ประตูด้านใน รางวางแท่นเครื่องยนต์ เสากลางโครงรถยนต์ โครงหน้าต่าง แสดงในภาพที่ 2.16 เป็นต้น



ภาพที่ 2.16 การใช้งาน TWB ในชิ้นส่วนต่างๆ ของรถยนต์ [14]

2.9 ลวดเชื่อม

ลวดเชื่อมที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมแม่เหล็ก ต้องเลือกลวดเชื่อมที่มีสมบัติเดียวกันหรือมีส่วนผสมทางเคมี ใกล้เคียงกับวัสดุที่ทำการเชื่อม จึงจะให้แนวเชื่อมมีคุณภาพ และส่วนผสมทางเคมี บอกถึงค่าในการทดสอบที่ได้มาตรฐาน ลวดเชื่อมที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมอาร์ก โลหะแก๊สคลุมต้องมีความบริสุทธิ์ทางเคมีสูง การเลือกใช้ลวดเชื่อมที่ถูกต้องเพื่อ ป้องกันความบกพร่องที่ เกิดแก่ตะเข็บเชื่อมให้มีน้อยที่สุด คุณภาพของตะเข็บเชื่อมที่ดีไม่ได้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมเท่านั้น ยังมีความสะอาดผิวลวดเชื่อมและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อมที่สม่ำเสมอ เพื่อป้องกันสนิมที่ผิวลวดเชื่อมจะเคลือบด้วยทองแดง ทองแดงที่เคลือบก็ไม่มีผลต่อส่วนผสมของเนื้อ โลหะตะเข็บเชื่อมแต่อย่างใด

ข้อสำคัญอีกประการหนึ่งก็คือความต้านแรงของลวดเชื่อมซึ่งกำหนดจากความต้านแรงดึงของเนื้อ โลหะเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมด้วยลวดชนิดนั้นๆ โดยความต้านแรงดึงอาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่อนำไปเชื่อม เพราะออกซิเจนจากบรรยากาศและความชื้นทำให้ผิวลวดเชื่อมเป็นออกไซด์ได้ การขับลวดออกจากม้วนที่ไม่คงที่ การอาร์คจึงไม่สม่ำเสมอเพราะกระแสไฟไหลผ่านไม่สะดวก จึงควรเก็บรักษาม้วนลวดเชื่อมให้ดี [6]

2.9.1 การเลือกใช้ลวดเชื่อม

การเลือกใช้ลวดเชื่อมต้องพิจารณาชนิดโลหะงานเชื่อม ส่วนผสมทางเคมีและคุณสมบัติทางกลเป็นตัวประกอบหลักการเลือกลวดเชื่อมที่ถูกต้องเหมาะสมได้งานเชื่อมที่สมบูรณ์แบบ ถ้าไม่รู้ชนิดโลหะงานเชื่อมก็ใช้วิธีตรวจสอบด้วยตาเปล่า ชั่งน้ำหนัก การดูแม่เหล็ก ทดสอบด้วยสก็ดประกายไฟ การแตกหักและทางเคมี ข้อพิจารณาในการเลือกใช้ลวดเชื่อมมีดังนี้

- 1) สมบัติทางกลของโลหะชิ้นงาน ลวดเชื่อมที่เลือกใช้ต้องมีความต้านแรงดึงที่เข้ากันได้กับโลหะชิ้นงาน
- 2) ส่วนผสมทางเคมีของโลหะชิ้นงาน ส่วนผสมทางเคมีของโลหะชิ้นงานต้องเหมาะสมกับส่วนผสมทางเคมีของโลหะลวดเชื่อมและเข้ากันได้กับส่วนผสมของโลหะชิ้นงาน เฉพาะอย่างยิ่งงานที่ต้องการความต้านทานต่อการกัดกร่อน การนำความร้อนหรือ ไฟฟ้า วัสดุงานเชื่อมที่ไม่ใช่เหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิม และเหล็กกล้าเจือผสมอื่นๆควรเลือกส่วนผสมทางเคมีที่เข้ากันได้
- 3) ความหนาและรูปร่างของโลหะชิ้นงาน งานเชื่อมที่มีความหนาและรูปร่างแตกต่างกันเมื่อนำมาเชื่อมต่อประกอบเข้าด้วยกันต้องการความเหนียวสูงสุดเพื่อป้องกันงานเชื่อมเกิดร้าวโลหะ งานเชื่อมควรมีคุณสมบัติด้านความเหนียวที่มากพอ และมีสมบัติด้านการยืดหยุ่นที่ดี เพื่อให้แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ด้านคุณภาพ

4) สภาพการใช้งานและข้อกำหนดรายละเอียด สภาพการใช้งานเชื่อม อาจแตกต่างกัน เช่นที่อุณหภูมิต่ำ-สูง หรือรับแรงกระแทก ดังนั้นลวดเชื่อมต้องมีส่วนผสมที่เข้ากันได้กับโลหะงานเชื่อม ต้องเลือกใช้ลวดเชื่อมที่มีคุณสมบัติด้านความเหนียวและต้านทานต่อการกระแทก

2.9.2 ขนาดลวดเชื่อม [6]

ลวดเชื่อมของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม เป็นเส้นยาวทำเป็นม้วนหรือขด เพื่อใช้งานเชื่อมได้อย่างต่อเนื่อง ม้วนลวดจะมีน้ำหนักราว 0.9 ถึง 27 กิโลกรัม ลวดเชื่อมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กเมื่อเทียบกับลวดเชื่อมที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมแบบอื่น โดยมีขนาดตั้งแต่ 0.8 ถึง 1.6 มิลลิเมตร (0.030 ถึง 1/16 นิ้ว) ซึ่งเป็นขนาดที่นิยมใช้กันแพร่หลาย และยังมีลวดเชื่อมขนาดเล็กที่สุดคือ 0.5 มิลลิเมตร (0.020 นิ้ว) และโตสุด 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) เพราะเป็นลวดเชื่อมขนาดเล็ก จึงต้องใช้กระแสเชื่อมสูง เพื่อให้อัตราการหลอมเหลวลวดเชื่อม อยู่ในช่วง 40 ถึง 255 มิลลิเมตร/วินาที (100 ถึง 600 นิ้ว/นาที) ดังนั้นลวดเชื่อมต้องสะอาด ไม่เป็นสนิม ไม่มีฝุ่นละออง น้ำมันหรือสารมลทิน ซึ่งเกาะติดผิวลวดเชื่อม เพราะเป็นสาเหตุของการเกิดจุดบกพร่องในเนื้อโลหะเชื่อม เช่น ความพรุน และรอยร้าว และยังมีผลต่อปริมาณโลหะที่ได้รับจากการหลอมเป็นสัดส่วนที่สูงสุดเท่าใด

ตารางที่ 2.7 กลุ่มรหัสของลวดเชื่อมแต่ละประเภท ตามมาตรฐาน AWS [6]

AWS specification	โลหะ
A 5.7	ทองแดงและทองเหลืองเชื่อม
A 5.9	เหล็กกล้าไร้สนิม
A 5.10	อะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมเชื่อม
A 5.14	ไทเทเนียมและไทเทเนียมเชื่อม
A 5.16	เหล็กกล้าคาร์บอน
A 5.19	แมกนีเซียม
A 5.24	เซอร์โคเนียมและเซอร์โคเนียมเชื่อม
A 5.28	เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

การแบ่งชนิดลวดเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สปกคลุมจะอาศัยพื้นฐานด้านส่วนผสมทางเคมีของเนื้อโลหะเชื่อมเป็นหลัก แต่ลวดเชื่อมเหล็กกล้าต้องมีข้อพิจารณาสองประการคือส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมและคุณสมบัติทางกลของเนื้อโลหะเชื่อม สำหรับลวดเชื่อมเหล็กกล้าต้นจะกำหนดรายละเอียดมาตรฐาน AWS 5.18 และ AWS 5.28 ซึ่งการออกรหัสเป็นทั้งตัวอักษรและตัวเลขควบคู่กันไป แสดงในตารางที่ 2.7 [6]

การแบ่งชนิดลวดเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สปกคลุมจะอาศัยพื้นฐานด้านส่วนผสมทางเคมีของเนื้อเชื่อมโลหะ เป็นหลัก แต่ลวดเชื่อมเหล็กกล้าต้องมีข้อพิจารณาสองประการ คือ ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม และ สมบัติทางกลของเนื้อโลหะเชื่อม สำหรับลวดเชื่อมเหล็กกล้าต้นจะกำหนดรายละเอียดตามมาตรฐาน AWS 5.18 และ AWS 5.28 ซึ่งการออกรหัสเป็นทั้งตัวอักษร และที่เป็นแบบตัวเลข ควบคู่กัน ดังนี้

ER XX S X

E (Electrode)	หมายถึง ลวดเชื่อมอาร์คหรือลวดเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมอาร์คโลหะปกคลุม
R (Welding rod)	หมายถึง ลวดเชื่อมเติมได้เช่นเดียวกับลวดที่ใช้ในการเชื่อมทิก
XX	หมายถึง ตัวเลขที่บอกถึงความต้านทานแรงดึงของเนื้อโลหะเชื่อม
S (Solid wire)	หมายถึง ลวดตันตัวอักษร T หมายถึงลวดไส้พริกซ์
X	หมายถึง ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม

ลวดเชื่อม AWS สามารถจำแนกการใช้งานดังนี้ [3]

ER 70S – 1 เป็นลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนชนิดลวดตัน ที่มีซิลิกอนเจือปนน้อยที่สุดในลวดเชื่อมกลุ่มเหล็กกล้าด้วยกัน ลวดเชื่อมนี้ปกติจะใช้กับก๊าซคลูมอาร์กอน หรือ อาร์กอนผสมออกซิเจนเล็กน้อย ลวดเชื่อมชนิดนี้มีดีออกไซด์น้อย สามารถใช้คาร์บอนไดออกไซด์ผสมเป็นก๊าซคลูมได้ หากไม่ต้อง การคุณภาพงานเชื่อมสูงมากนักและ ต้องการลดต้นทุนงานเชื่อม

ER 70S– 2 เป็นลวดเชื่อมเหล็กกล้าที่เคลือบผิวด้วย ไทเทเนียม เซอร์โคเนียมและอะลูมิเนียมจำนวนเล็กน้อย บวกกับธาตุเจือที่ใช้เป็นตัว ออกซิไดเซอร์ อยู่เดิมแล้ว คือ แมงกานีส และซิลิกอน โดยน้ำหนักลวดนี้ออกมา จะเหมาะกับการใช้ในการเชื่อมเหล็กกล้าละมุน หรือเหล็กที่มีผิวสกปรกโดยใช้การถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ คาร์บอนผสม

ER 70S – 3 เป็นลวดเชื่อมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดสำหรับการเชื่อมอาร์คโลหะปกคลุม คิดเป็นปริมาณถึง 2 ใน 3 ของลวดเชื่อมต้นทั้งหมด ลวดเชื่อมชนิดนี้มีธาตุเจือที่เป็นตัว ดีออกไซด์

เซอร์เปอร์เซนต์ต่ำ ได้คุณภาพงานเชื่อมพอใช้เมื่อใช้แก๊สคลุม อาร์กอน – ออกซิเจน หรือ อาร์กอนผสม คาร์บอนไดออกไซด์ งานเชื่อมคุณภาพดีเมื่อเชื่อม ออกซิเจนต่ำ และ ลวดเชื่อมมีออกซิไดเซอร์ และใช้แก๊สคลุมอาร์กอน – ออกซิเจน หรือ อาร์กอน – คาร์บอนไดออกไซด์

ER 70S – 4 เป็นลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของธาตุเจอร์เมเนียม และ แมงกานีสมากกว่า ลวดเชื่อม ER 70S – 3 ลวดเชื่อมนี้ให้ความต้านแรงดึงสูงและ ตะเข็บเชื่อมเรียบ ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแก๊สคลุม หรือมีการใช้ตัวกำจัดออกซิเจนมากกว่า ไม่เหมาะกับงานเชื่อม ที่รับแรงกระแทก

ER 70S – 5 เป็นลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมธาตุเจอร์เมเนียม แมงกานีส และอะลูมิเนียม เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดเซอร์ ธาตุอะลูมิเนียมที่เจือเข้าไปจะต้องใช้กระแสเชื่อมสูง และก๊าซคลุมเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ บ่อหลอมเหลวมี ความเป็นของไหลได้สูง เหมาะกับใช้เชื่อมเหล็กที่มีคราบสนิม คราบน้ำมัน หรือคราบสกปรกอื่นๆ โดยไม่เกิดความพรุน และ ทำให้คุณภาพของงานเชื่อมลดต่ำลง แต่ไม่เหมาะกับงานเชื่อมที่รับแรงกระแทก

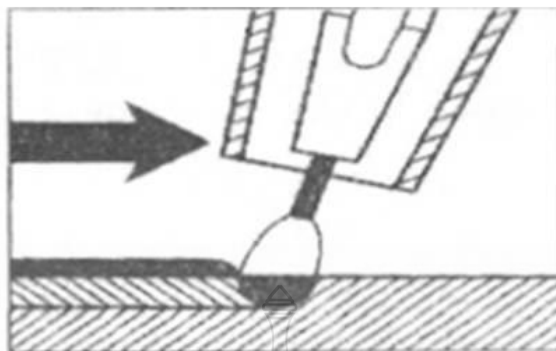
ER 70S – 6 เป็นลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของธาตุเจอร์เมเนียมที่ใช้เป็นตัวออกซิไดเซอร์สูง ได้แก่ แมงกานีส และซิลิกอน แต่ไม่เกิน 1.85 เปอร์เซ็นต์ และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ใช้เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนได้ ทุกชนิด เว้นแต่ Rimmed Steel แก๊สคลุมเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ลักษณะตะเข็บเชื่อมดีและผิวตะเข็บเชื่อมเรียบมีประกายโลหะ กระเด็นน้อย เหมาะกับการนำไปเชื่อมโลหะแผ่นทั่วไป หรือ ชิ้นงานที่มีผิว สกปรก ก็สามารถ เชื่อมได้ แต่คุณภาพงานเชื่อมขึ้นอยู่กับสารมลทินที่ผิวงานด้วย เช่นกัน

ER 70S – 7 ลวดเชื่อมชนิดคล้ายกับ ER 70S – 3 แต่มีแมงกานีสเจือ 2 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่าซึ่งจะใช้แรงเกาะยึด และ ตะเข็บ เชื่อมดีกว่า ความต้านแรงดึงสูงสุด และแรงดึงครากสูงกว่า เล็กน้อย ขณะเดียวกัน อัตราเร็วการเชื่อม ก็สูงกว่า ER 70S 3 ก๊าซคลุมนี้ใช้ คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ แก๊สผสมอาร์กอน-ออกซิเจน หรือ อาร์กอน-คาร์บอนไดออกไซด์ เนื้อโลหะเชื่อมแข็งกว่า ER70S – 3 เล็กน้อยแต่ไม่แข็งกว่าเนื้อ โลหะเชื่อมของ ER 70S – 6

ER 70S – G เป็นลวดเชื่อมที่ไม่กำหนดรายละเอียด ของส่วนผสมทางเคมีใดๆ เพราะ ต้องการให้ผู้ซื้อกับผู้ผลิตตกลงกันเป็นการเฉพาะ ว่าต้องการส่วนผสมทางเคมีอะไรบ้าง และความ ด้านทานแรงดึงเท่าใดเป็นต้น

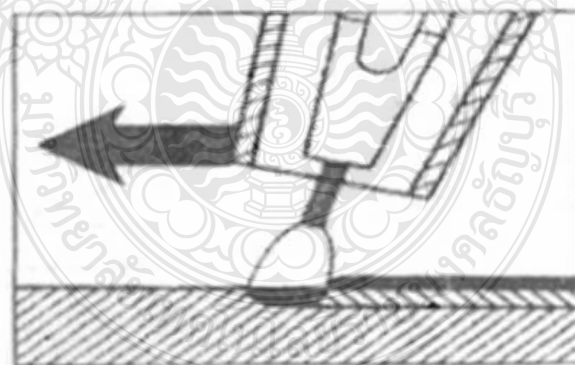
2.9.3 ทิศทางการเดินแนวเชื่อม สำหรับทิศทางในการเดินแนวเชื่อมจะมี 2 แบบ คือ

1) การเดินแนวแบบถอยหลัง (Dragging) หรือ Backhand Welding เป็นตัวแปรในการประสานรอยต่อที่เหมาะสม วัสดุงานที่มีความหนา การหลอมลึกมีมากกว่า แต่รอยุนมีความนูนกว่า แสดงในภาพที่ 2.17 ลักษณะการเดินรอยต่อแบบเดินถอยหลัง (Backhand)



ภาพที่ 2.17 ลักษณะการเดินรอยต่อแบบเดินถอยหลัง (Backhand) [9]

2) การเดินแนวแบบไปข้างหน้า (Pushing) เป็นตัวแปรในการประสานรอยต่อที่เหมาะสมกับงานบาง การหลอมเล็กน้อย มองรอยต่อได้ดี รอยเชื่อมแบนราบ แสดงในรูปที่ 2.18 ลักษณะการเดินรอยต่อแบบเดินไปข้างหน้า เทคนิคการเชื่อมเดินหน้า คือการเชื่อมเดินหัวเชื่อมไปทางด้านหน้าฝ่ามือ ลวดเชื่อมทำมุมกับงาน 30 – 45 องศา อยู่ด้านหน้าหัวเชื่อม ปกติใช้กับงานประเภท ทองเหลือง ทองแดง อะลูมิเนียม เหล็กแผ่นอาบสังกะสี เหล็กแผ่นที่มีความหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร การบัดกรีแข็ง และการเชื่อมบัดกรี เป็นต้น



ภาพที่ 2.18 ลักษณะการเดินรอยต่อแบบเดินไปข้างหน้า (Forehand) [9]

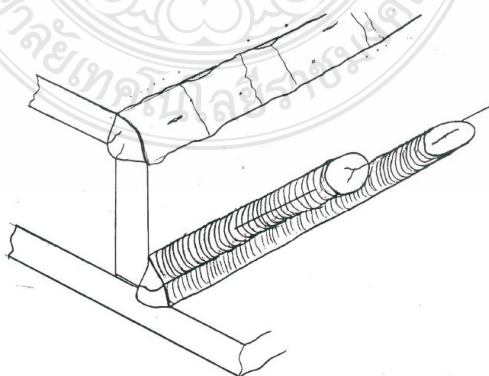
สำหรับรูปแบบในการประสานรอยต่อของแนวเชื่อมอาจใช้วิธีการเดินทั้งสองแบบ โดยสามารถพิจารณาเลือกใช้ตาม แสดงในตารางที่ 2.8 การเลือกใช้ในงานของการเดินรอยต่อแบบเดินไปข้างหน้าและแบบเดินถอยหลัง [6]

ตารางที่ 2.8 การเลือกใช้งานของการเดินรอยต่อแบบ เดินไปข้างหน้า และ แบบ เดินถอยหลัง [6]

การใช้งาน	Forehand	Backhand	หมายเหตุ
1. เชื่อมเหล็กแผ่นบางในแนวราบ	ดีกว่า	พอใช้	- มองเห็นรอยต่อต่ำกว่า แนวต่อแบน - การซึมลึกลึกน้อย
2. เชื่อมเหล็กหนาปานกลางและหนามาก	พอใช้	ดีกว่า	- การซึมลึกลึกมากกว่า - จำนวนเที่ยวในการเชื่อม น้อยกว่า
3. เชื่อมต่อแนวฉากและแนวขนาน แนวเดียว	ดีกว่า	พอใช้	- รอยต่อแนวเชื่อม
4. เชื่อมต่อฉากแนวระดับ ซ้อนแนว	ดีกว่า	พอใช้	- แบนราบมากกว่า

2.10 จุดบกพร่องในงานเชื่อม

การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม มีปัญหาการเกิดจุดบกพร่อง เช่นเดียวกับ กระบวนการเชื่อมอื่น ที่เกิดต่อตะเข็บเชื่อม ได้แก่ ความพรุน การหลอมไม่สมบูรณ์ การหลอมมากเกินไปรอยกินลึกข้างขอบตะเข็บเชื่อม จุดบกพร่องเหล่านี้ อาจเกิดจากการ ใช้เทคนิคปฏิบัติการเชื่อมที่ไม่ถูกต้อง หรือการเลือกใช้ตัวแปรต่างๆ สำหรับการเชื่อมที่ไม่สมดุลกัน ซึ่งอาจนำไปสู่การเกิดรอยร้าวของตะเข็บเชื่อมได้บางครั้งจุดบกพร่อง อาจเกิดเพราะการเลือกใช้โลหะ ขึ้นงานไม่เหมาะสม ลวดเชื่อมไม่สะอาดเป็นต้น ข้อบกพร่องบางกรณีสามารถแก้ไขได้โดยทันทีในขณะที่เชื่อม แต่บางกรณีต้องแก้ไขหลังการเชื่อมที่สิ้นสุดลง ข้อบกพร่องส่วนใหญ่เกิดขึ้น ในแนวเชื่อมที่ด้อยคุณภาพ

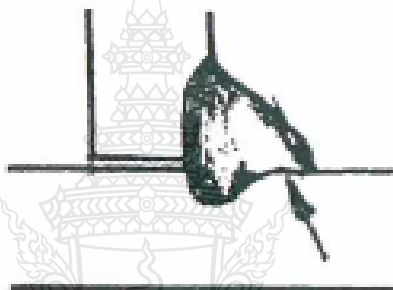


ภาพที่ 2.19 ข้อบกพร่องที่เกิดจากสภาวะการเชื่อมไม่ดี [12]

ปัญหาจุดบกพร่องนี้ทำให้คุณภาพงานเชื่อมลดลงซึ่งสาเหตุและวิธีการแก้ไขจุดบกพร่องในงานเชื่อมพอสรุปได้ ดังนี้

2.10.1 รอยเกย

รอยเกยเป็นเนื้อโลหะเชื่อมที่เกยอยู่บนขอบรอยต่อ หรือยื่นตรงด้านล่างของรอยเชื่อมจาก สาเหตุเพราะการหลอมของเนื้อโลหะเชื่อมกับขอบปากชิ้นงานเชื่อมไม่สมบูรณ์ ซึ่งการเกยเกิด ทั้งสองด้านของขอบปาก กรณีการเชื่อมร่องเกย นำไปสู่จุดเริ่มต้นของการเกิดรอยร้าว ควรใช้หินเจียรนัยเนื้อโลหะเชื่อมเกยนั้นออก การเกิดรอยเกยอาจมาจากสาเหตุเดียวหรือหลากหลายสาเหตุรวมกัน เช่น ใช้ลวดเชื่อมที่ผิดขนาด มุมอาร์คของลวดเชื่อมไม่เหมาะสม หรือระยะอาร์คสั้นไป ดังแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.20 ลักษณะรอยเกยของแนวเชื่อม [12]

2.10.2 การหลอมไม่สมบูรณ์

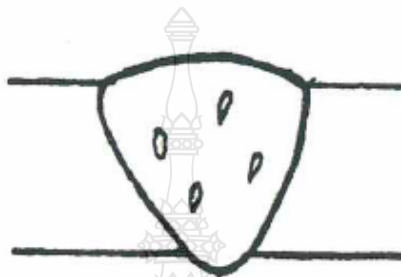
การหลอมไม่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นเมื่อเนื้อโลหะเชื่อมมีการหลอมรวมกับโลหะชิ้นงานได้ไม่สมบูรณ์เป็นเนื้อเดียวกันและอาจ เกิดกับตะเข็บเชื่อมด้วยกัน เมื่อใช้การเชื่อมเติมหลายเที่ยวเพื่อเติมรอยต่อให้เต็ม นอกจากนี้การหลอมไม่สมบูรณ์ของเนื้อโลหะเชื่อมของเนื้อโลหะเชื่อมกับโลหะชิ้นงานอาจเกิดมาจากการซึมลึกไม่พอ ซึ่งปัญหามากเมื่อใช้การถ่างโอนโลหะแบบลัดวงจรถ้าเว้นรอยต่อกว้าง ควรใช้การถ่างโอนแบบลัดวงจรเมื่อต้องการให้การซึมลึกดี



ภาพที่ 2.21 ลักษณะการซึมลึกที่ไม่สมบูรณ์ [12]

2.10.3 การเกิดรูพรุน

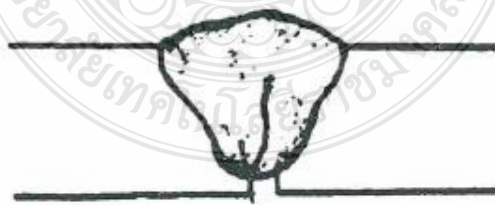
ความพรุนหรือฟองอากาศที่เกิดในเนื้อโลหะเชื่อม อาจอยู่รวมกันหรือกระจายกัน อยู่ตลอดความยาวตะเข็บเชื่อม ความพรุนทำให้งานไม่แข็งแรง และความพรุนนี้อาจอยู่ภายในหรือบน ผิวตะเข็บเชื่อม หรือทั้งสองกรณี สาเหตุของการเกิดความพรุนนี้มีหลากหลายข้อด้วยกัน เช่น อัตรา การไหลของแก๊สคลุมไม่พอ แก๊สมีความชื้นหรือสกปรก แรงดันเชื่อมสูงเกินไป ระยะ โพล์ลวดมากเกินไป ผิวชิ้นงานสกปรก เป็นต้น



ภาพที่ 2.22 ลักษณะการเกิดรูพรุน [12]

2.10.4 การแตก

การแตกของชิ้นงานเชื่อมมีสาเหตุหลายประการด้วยกันคือ วิธีการเชื่อมที่ไม่เหมาะสม เทคนิคการเชื่อมไม่ดี การร้าวในการเชื่อมโดยปกติจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การร้าว ขณะเย็น และ การร้าวขณะร้อน (Cold and Hot Cracking) โดยเกิดรอยร้าวตามขวางและยาวของ ตะเข็บเชื่อมรอยร้าวตามขวางจะเกิดขึ้นจากกับแกนงานเชื่อม เมื่องานหดตัวตามยาว มีความเครียด เกิดขึ้นเกินความแข็งแรงและความเปราะของงานเชื่อม ส่วนรอยร้าวตามยาวสาเหตุมาจากรอยต่อมีแรงดัน สูง และมีอัตราการเย็น ตัวสูง



ภาพที่ 2.23 ลักษณะการแตก [12]

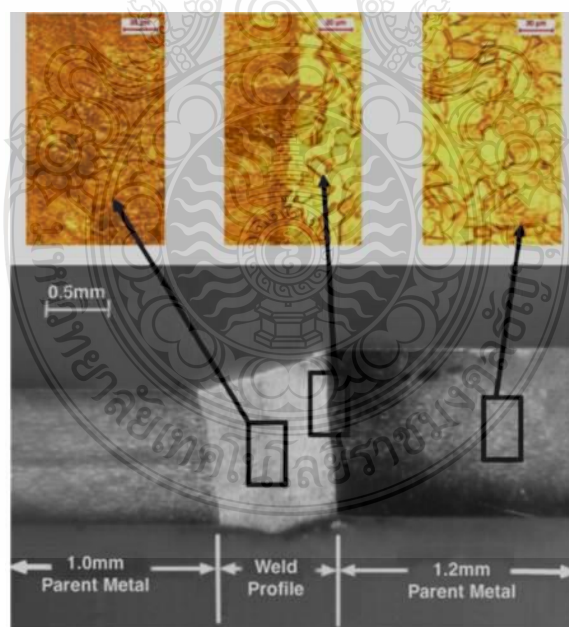
2.11 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหวิทยา (Metallurgical Examination)

2.11.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macrostructure Examination)

เป็นการตรวจสอบทางกายภาพหรือใช้กล้องจุลทรรศน์ ที่มีกำลังขยายต่ำกว่า 10 เท่า จุดประสงค์ของการตรวจสอบเพื่อดูความสมบูรณ์ของ งานเชื่อมความแตกต่างรูปร่าง ของแนวเชื่อม การแบ่งเขตชั้นของรอยเชื่อมการหลอมลึกความกว้างของบริเวณที่ได้รับ อิทธิพลทางความร้อน (HAZ) ตลอดจนลักษณะจุดบกพร่องต่างๆของรอยเชื่อมสำหรับการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคในโครงการนี้ได้กำหนดตามมาตรฐาน ASTM E304 [7]

2.11.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure Examination)

กระทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงกว่า 10 เท่าถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงจากหลอดไฟจะให้กำลังขยายไม่เกิน 2,000 เท่าแต่ถ้าเป็นกล้องที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนสามารถให้กำลังขยายได้สูงถึง 100,000 เท่า หรือมากกว่านี้ จุดประสงค์ของการตรวจสอบเพื่อดู กระจายตัวและ ลักษณะเกรนของโครงสร้างบริเวณแนวเชื่อม (WM) เขตบริเวณรับอิทธิพลจากความร้อน (HAZ) และ บริเวณเนื้อโลหะเดิม (BM) เป็นต้น สำหรับการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคในโครงการนี้ได้กำหนดตามมาตรฐาน ASTM E407



ภาพที่ 2.24 โครงสร้างจุลภาคและมหภาคหลังผ่านกระบวนการเชื่อม [11]

การทดสอบงานเชื่อมโลหะด้วยวิธีการทาง โลหะวิทยา (Metallographic Testing of Welds) การทดสอบงานเชื่อมโลหะด้วยวิธีการทางโลหะวิทยา หมายถึง การตัดชิ้นทดสอบจากชิ้นงานตัวอย่าง หรือจากผลิตภัณฑ์ นำมาขัดหยาบ ขัดละเอียด ขัดมัน และกัดกรด เพื่อส่องดู โครงสร้างเนื้อเชื่อมและ บริเวณผลกระทบร้อนเปรียบเทียบกับ โครงสร้างเดิม โดยใช้แว่นขยายหรือกล้องจุลทรรศน์ช่วย ตรวจสอบด้วยสายตาเพื่อการตัดสินใจ

ทฤษฎีโลหะวิทยางานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสมที่เกี่ยวข้อง หลักการ แข็งตัวของเนื้อเชื่อม ในการเชื่อมโลหะแบบหลอมละลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเชื่อมเหล็กกล้า คาร์บอนจะมีหลักการแข็งตัวของโลหะเนื้อเชื่อมเช่นเดียวกับการหล่อ โลหะ คือ โลหะงาน ได้รับความ ร้อนมีอุณหภูมิสูงจนถึง จุดหลอมเหลว และมีการแข็งตัวด้วยอัตราการเย็นตัวที่ค่อนข้างสูง ทำให้มีผล ต่อการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างเนื่องจากอะตอมของคาร์บอน ไม่มีเวลาที่แพร่กระจายใน โครงสร้าง ทำให้ไปรวมตัวกับเหล็กเป็นเหล็กคาร์ไบด์ ซึ่งเป็น โครงสร้างที่แข็งและเปราะ เกิดดพรงอากาศฝังใน เนื้อเชื่อมหรืออาจเป็นสารฝังในอื่นๆ ดังนั้น ตำหนิต่างๆ ที่พบในงานหล่อโลหะจึงมีโอกาสพบในงาน เชื่อมเช่นเดียวกัน

โครงสร้างบริเวณผลกระทบร้อนการเชื่อม (Heat Affected Zone : HAZ) การเปลี่ยนแปลง ทางโลหะวิทยาเนื่องจากผลของความร้อนจากการเชื่อมจะเกิดที่บริเวณเนื้อ โลหะที่ติดชิดกับเนื้อเชื่อม เรียกว่า บริเวณผลกระทบร้อนการเชื่อม ซึ่งจะกินบริเวณกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนเข้า จากกระบวนการเชื่อม ความหนาและค่าสมบัติการนำความร้อนของโลหะงาน โลหะที่มีค่าการนำ ความร้อนสูง (Heat Thermal Conductivity) จะมีบริเวณผลกระทบร้อนการเชื่อมกว้าง ในการเชื่อม เหล็กกล้าได้แบ่งชนิดของเหล็กกล้า (Steels) ที่ใช้ในงานเชื่อมออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าผสม (Alloy Steels) [7]

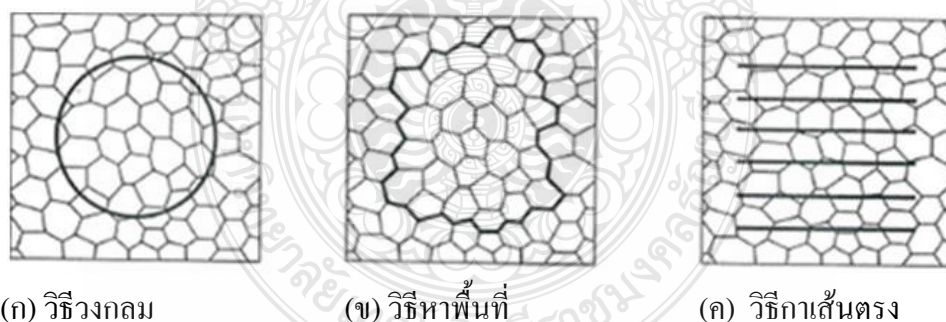
การหาขนาดของเม็ดเกรน โครงสร้างเม็ดเกรนจากการหล่อ การอบอ่อน การชุบแข็ง การ อบชุบโซนการเพิ่มคาร์บอน โซนไนไตรต์ โซนความลึกของความแข็ง การเปลี่ยนรูป และการก่อตัว ใหม่ที่เม็ดเกรน เช่น ในขณะขึ้นรูปขณะเย็น การตกผลึกใหม่ ประเภทการแยกตัวและรูปร่างการ แยกตัวของโครงสร้างที่เป็นอโลหะ การแทรกตัวของซัลไฟในเหล็กกล้าตัดง่าย การแยกตัวของเกล็ด แกรไฟต์หรือแกรไฟต์รูปกลมในเหล็กหล่อ

สำหรับในการหาขนาดของเม็ดเกรน ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติทางกลของวัสดุโลหะ เช่น ความแข็ง ความเค้นครากและความต้านแรงดึง ด้วยเหตุนี้ความรู้เกี่ยวกับขนาดและการกระจายของเม็ดเกรนจึงสามารถบ่งบอกคุณสมบัติของวัสดุในทางปฏิบัติได้เป็นอย่างมาก ส่วนมากแล้ว มีการหาค่าเฉลี่ยของขนาดเม็ดเกรนเพื่อพัฒนาวิธีการมาตรฐาน ต่อไป

2.11.3 วิธีการหาขนาดความโตของเม็ดเกรนแบบวงกลม เป็นภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคที่ชัดเจนแล้วที่เขียนวงกลมด้วยเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่วงกลม จากนั้นการนับจำนวนเม็ดเกรน ที่อยู่ในวงกลม และจำนวนเม็ดเกรนที่ถูกเส้นรอบวงลากผ่านซึ่งผลจะออกมาเป็นจำนวนรวมที่เม็ดเกรน ที่อยู่ในพื้นที่วงกลม ภาพที่เห็นมีกำลังขยายซึ่งจะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดเม็ดเกรน

2.11.4 วิธีการหาขนาดความโตเม็ดเกรนแบบหาพื้นที่ มีการขีดเส้นตามแนวช่วงเม็ดเกรนที่มีมุมเป็นเหลี่ยมเกือบเป็นมุมฉาก และขนาดพื้นที่ จะหาด้วยวิธีการระนาบเรขาคณิต (Plane Geometry) จากจำนวนของเม็ดเกรนที่ถูกขีดด้วยจำนวนของเม็ดเกรน จะทำให้สามารถคำนวณพื้นที่เฉลี่ยของเม็ดเกรนได้

2.11.5 วิธีการหาขนาดของความโตเม็ดเกรนแบบวิธีการลากเส้นตรง มีวิธีการแบบขีดเส้นตรงตามความยาว ตามจำนวนเม็ดเกรน ต่อตารางนิ้ว จำนวนของเม็ดเกรนที่ถูกตัดผ่านและที่กำลังขยาย ได้ขนาดความโตของเม็ดเกรน ซึ่งโดยปกติใช้วิธีการลากเส้นตรง 5 ถึง 10 เส้น ดังแสดงในภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 การหาขนาดความโตเม็ดเกรน [10]

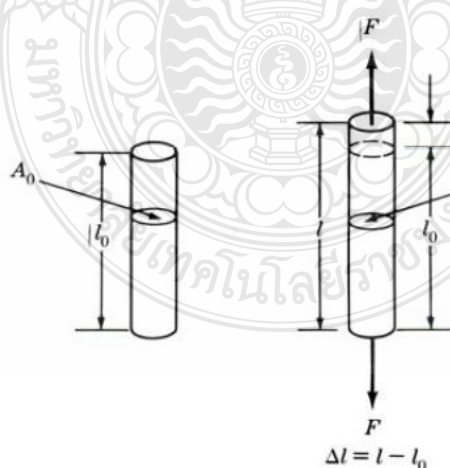
2.12 การทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical Testing)

สมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ของโลหะเพื่อการนำไปใช้งานทางด้านวิศวกรรมว่า มีความแข็งแรง และมีความอ่อน ความแข็งของวัสดุเป็นอย่างไร มีความเหมาะสมที่ใช้งานหรือไม่ถ้า

เอาโลหะมาดึงในทิศทางเดียว จะทำให้โลหะเปลี่ยนรูปได้ และถ้าเลิกดึงแล้วโลหะนั้นกลับมามีอยู่ในสภาพเดิมหรือมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเรียกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบยืดหยุ่นทางกลับกันถ้ากลับสู่สภาพเดิม 100 เปอร์เซ็นต์ ไม่เรียกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบถาวรขึ้น (Plastic Deformation) ในระหว่างที่เกิดการเปลี่ยนรูปนี้จะตอมเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่ การเปลี่ยนแปลงแบบนี้บางครั้งก็เป็นสิ่งที่วิศวกรต้องการมากเพราะสามารถนำไปผลิตสิ่งของต่างๆ ได้ถ้าไม่มีการแตกหักและเป็นไปตามที่ต้องการ เช่น การผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ต่างๆ จากเหล็กกล้า เช่น กันชน กะโปรง และประตูรถยนต์ เป็นต้น สามารถอัดขึ้นรูปโดยไม่แตกกร้าว

2.12.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)

การทดสอบแรงดึงแนวเชื่อม เป็นการทดสอบหาค่าความต้านแรงดึง (Tensile Strength) และพลังงานที่รอยต่อเชื่อมหรือเนื้อเชื่อมที่สามารถรับภาระได้ โดยการดึงขึ้นทดสอบตามมาตรฐานด้วยแรงคงที่จนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดจากกัน กระทำได้โดยทดสอบด้วยแรงดึงในแนวตามยาวของเนื้อเชื่อม (All Weld Metal) โดยใช้ชิ้นงานทดสอบแบบลดขนาด เนื้อเชื่อมต้องเตรียมจากงานแผ่นเชื่อมต่อชน หรืองานเชื่อมท่อโดยรอบ จุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงของงานเชื่อม (Strength of Weld) และสมบัติทางกลด้านอื่นๆ เช่น ความแข็งแรงที่จุดคราก (Yield Strength) เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent Elongation) เป็นต้น การเตรียมชิ้นงานทดสอบใช้มาตรฐาน AWS D1.1/D1.1 M:2006 ส่วนวิธีการทดสอบในโครงการนี้ได้กำหนดตามมาตรฐาน ASTM E8



ภาพที่ 2.26 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง [10]

ในการทดสอบแรงดึงนั้นจะเป็นผลให้เกิดความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ในชิ้นงานทดสอบ ความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นนี้พิจารณาว่าเป็นความเค้นทางวิศวกรรม และความเครียดทางวิศวกรรม และความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการที่ชิ้นงานถูกดึงด้วยแรงดึงอย่างช้าๆ ในแนวแกน โดยขนาดแรงดึงและความยาวของชิ้นงาน เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงของการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 2.26 และสามารถเขียนสมการหาความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรม ได้ดังนี้

ความเค้นทางวิศวกรรม

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.1)$$

เมื่อ

- σ = ความเค้นทางวิศวกรรม
- F = แรงดึง
- A_0 = พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นงาน

ความเครียดทางวิศวกรรม

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2.2)$$

เมื่อ

- ϵ = ความเครียดทางวิศวกรรม
- ΔL = ความยาวที่เปลี่ยนไป
- L_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน

โดยทั่วไปนิยมใช้ค่าความเค้นและความเครียดในการบอกสมบัติทางกลที่ตำแหน่งใดๆ ในการทดสอบแรงดึง ทั้งนี้เพื่อที่กำจัดความสับสนคลาดเคลื่อนและความไม่สามารถเปรียบเทียบค่าที่วัดได้อันเกิดจากปัญหาของการใช้แรงดึงและความยาวสุทธิที่เปลี่ยนไปในการทดสอบ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงาน

ในการทดสอบแรงดึงจะใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) โดยชิ้นงาน ถูกยึดที่หัวจับชิ้นงาน (Grip) บนและล่าง ส่วนน้ำมันไฮดรอลิกจากปั๊ม ไหลเข้าตามท่อด้านล่าง ดันลูกสูบแทนหัวจับด้านบนให้ดึงแทนหัวจับตัวล่าง เพื่อดึงชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน ในขณะที่ดึงชิ้นทดสอบนั้น ความดันของน้ำมันไฮดรอลิกในท่อบนจะดันให้ระบบกลไกทางกลของเกจวัดซึ่งบอก

ความเค้น (Stress) และดันให้ตัวเขียนเส้นภาพความเค้นแรงดึงและความเครียด ของชิ้นทดสอบ จนกระทั่งชิ้นทดสอบถูกดึงขาดออกจากกัน

ขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบแรงดึงรอยต่อเชื่อม ตามมาตรฐาน ASME Section IX กำหนดขอบเขตการยอมรับผลการทดสอบ หรือเกณฑ์การตัดสินผลการทดสอบแรงดึงไว้ใน QW-153 Acceptance Criteria-Tension Tests ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดของแนวเชื่อมต้องไม่ต่ำกว่า

- ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดของโลหะงาน (Base Metal)
- ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดของโลหะงานที่มีความแข็งแรงต่ำกว่า กรณีที่เชื่อมต่อกับวัสดุต่างชนิดกันและวัสดุมีค่าความแข็งแรงดึงต่างกัน
- ค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุดของเนื้อเชื่อม (Weld Metal) เมื่อข้อกำหนดให้เนื้อเชื่อมมีความแข็งแรงสูงกว่าโลหะงานเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง
- ถ้าชิ้นทดสอบแตกในส่วนบริเวณเนื้อโลหะงานนอกบริเวณเนื้อเชื่อม หรือนอกผิวหน้าร่วมระหว่างเนื้อเชื่อมกับงาน (Weld Interface) จะต้องมีความแข็งแรงดึงไม่ต่ำกว่าเกินกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความแข็งแรงดึงปกติของเนื้อโลหะงาน

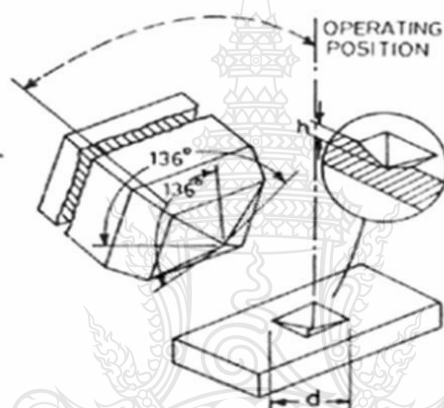
2.12.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing) [7]

วิธีการทดสอบความแข็ง โดยการวัดความแข็งด้วยหัวกดเพชรที่มีลักษณะเป็นรูปปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม ที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา เป็นเวลา 5-10 วินาที สามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่อ่อนมากที่ค่าความแข็งประมาณ 5 kgf/mm^2 จนถึงโลหะที่มีค่าความแข็งมาก ๆ ประมาณ 1500 kgf/mm^2 โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด เปลี่ยนก็เฉพาะแรงกดเท่านั้น โดยมีตั้งแต่ 1-120 kgf ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะที่ทดสอบ สำหรับกรณีในงานเชื่อม การทดสอบความแข็งที่นิยมใช้คือการทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers Test) เนื่องจากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์สจะเหมาะสำหรับการวัดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยเชื่อม จุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถของงานเชื่อมในการต้านทานต่อการแปรรูปถาวรเมื่อถูกแรงกดจากหัวกดที่กระทำลงบนผิวของชิ้นงานทดสอบ การเตรียมชิ้นงานและวิธีการทดสอบโครงการนี้กำหนดตามมาตรฐาน ASTM E92

วัตถุประสงค์ของการทดสอบความแข็งจุลภาค ในการส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูโครงสร้างจุลภาคของผลึก บางครั้งอาจพิจารณาแยกแยะได้ยากกว่าเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์หรือซีเมนไต์หรือมีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ผสมอยู่หรือไม่ การทดสอบความแข็งของผลึกที่เม็ดเกรนสามารถตัดสินใจ เปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคว่าเป็นโครงสร้างจุลภาคที่แข็ง เช่น มาร์เทนไซต์ หรือซีเมน

ไตต์หรือไม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณเนื้อเชื่อมจะต้องขัดโครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยา โดยผิวต้องเรียบมันและผ่านการกัดครดมาก่อนเพื่อจะให้เห็นโครงสร้างของผลึกที่แตกต่างกันได้

การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ เป็นการใช้อั้วกดเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมที่มีมุมปลายแหลม 136 องศา กดลงบนผิววัสดุชิ้นงานทดสอบด้วยแรงกดคงที่ขนาด 1 กรัมแรง ถึง 2 กิโลกรัมแรง จากนั้นวัดขนาดรอยกดด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายระหว่าง 100X ถึง 500X ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุดในงานเชื่อม โดยความลึกของรอยกดประมาณ 1/7 ของความยาวเส้นทแยงมุม แสดงในภาพที่ 2.27



ภาพที่ 2.27 หัวกดเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมที่มีมุมปลายแหลม 136 องศา [10]

การคำนวณหาความแข็งจุลภาคแบบไมโครวิกเกอร์ส จากภาพที่ 2.27 การคำนวณหาความแข็งจุลภาคแบบไมโครวิกเกอร์ส ใช้สูตรในการคำนวณเช่นเดียวกับค่าความแข็งวิกเกอร์ส (HV) ประเภทของการทดสอบความแข็งจุลภาค

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$HV = \frac{\text{แรงกดทดสอบ (F)}}{\text{พื้นที่รอยกดบนผิวทดสอบ (S)}} \quad (2.3)$$

$$\text{พื้นที่ผิวรอยกดรูปพีระมิด S} = \frac{d^2 \sin(\alpha/2)}{2} \quad (2.4)$$

เมื่อ 0.102 คือ ค่าคงที่ ที่คูณเข้าเพื่อการเปลี่ยนหน่วยจาก kgf/mm^2 เป็น N/mm^2 ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{HV} &= \frac{0.102 \times 2 F \sin(136^\circ/2)}{d^2} \\ &= \frac{0.1891 F}{d^2} \quad \text{N/mm}^2 \end{aligned} \quad (2.5)$$

เมื่อ $F =$ แรงค้ำ (N)

$d =$ ค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมของรอยกด (mm) $= (d_1 + d_2)/2$

การทดสอบความแข็งจุลภาคสามารถใช้วัดความแข็งแผ่นโลหะบาง ผิวชุบแข็งและผิวชุบเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า แยกออกเป็น 3 วิธีดังนี้

1. การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers Test)
2. การทดสอบความแข็งจุลภาคแบบนู่น (Micro knoop test)
3. การทดสอบความแข็งแบบอัลตราโซนิกไมโครวิกเกอร์ส (Ultrasonic micro-vickers test)

ข้อดีของการวัดความแข็งแบบจุลภาค

1. วัดความแข็งโลหะแผ่นบางมากๆ
2. วัดความแข็งผิวชุบแข็งโดยการเติมคาร์บอนหรือผิวไนไตรดิง (Nitriding)
3. ใช้วัดความแข็งของเฟสต่างๆ ในโครงสร้างจุลภาค
4. วัดความแข็งใกล้ขอบของเกรนหรือในเกรนที่ต้องการ
5. ใช้วัดความแข็งผิวเคลือบจากการชุบโลหะด้วยเคมี ไฟฟ้า
6. วัดผิวเคลือบจากกรรมวิธีการเคลือบชั้น (Cladding)

การทดสอบความแข็งโครงสร้างจุลภาคกำหนดมาตรฐานไว้ใน ASTM E384 “Standard Test Method for Micro Hardness of Materials” สามารถใช้ประเมินผลความแข็งตามหน้าตัดของแนวเชื่อม ตำแหน่งเนื้อเชื่อม บริเวณผลกระทบร้อนและเนื้อโลหะงาน ความหนาของแนวเชื่อมและชั้นทดสอบต้องอยู่ภายในขอบเขตที่มาตรฐานแนะนำ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. ใช้กำหนดความแข็งของโครงสร้างจุลภาคจากส่วนผสมของธาตุในเหล็กกล้าหรือโลหะผสมอื่นๆ เช่น เพื่อค้นหาตำแหน่งของคาร์ไบด์ หรือโครงสร้างมาร์เทนไซต์ เป็นต้น

2. ใช้ทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างแนวเชื่อมบริเวณเนื้อเชื่อม และบริเวณผลกระทบอื่นจากการเชื่อม เพื่อตรวจสอบหาแนวโครงสร้างมาร์เทนไซต์ซึ่งมีผลทำให้เปราะและแตกร้าวง่าย



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

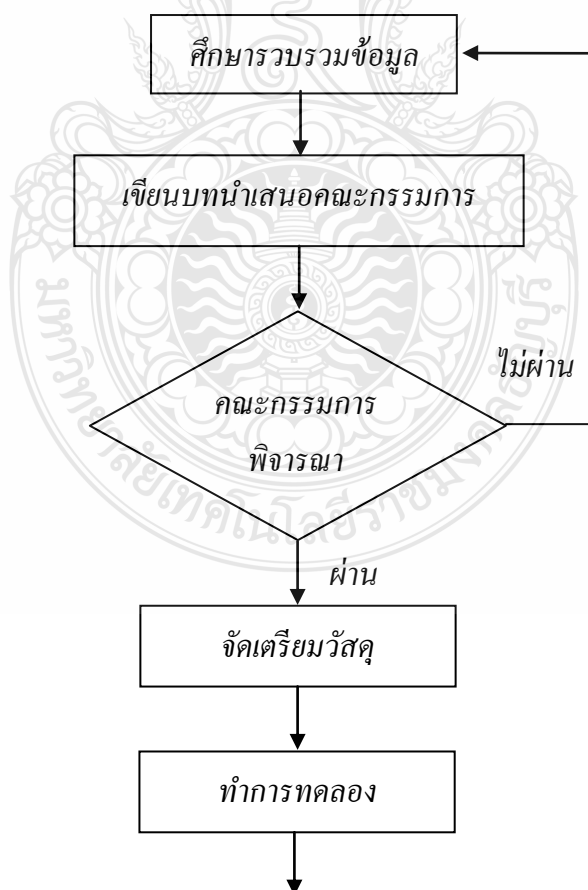
3.1 การดำเนินการ

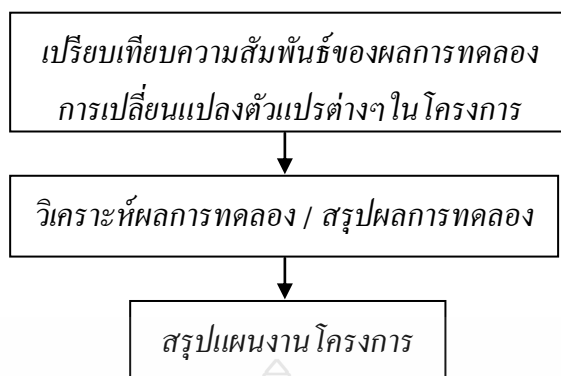
โครงการนี้ใช้กรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก (Metal Active Gas Welding) โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPCEN เป็นชิ้นงานทดลองเชื่อม โดยกำหนดรอยต่อเป็นแบบต่อชนทำราบ โดยเตรียมงานตามมาตรฐานงานเชื่อม AWS D1.1/D1.1M:2006 การเชื่อมเป็นแบบอัตโนมัติโดยใช้กระแส แบบมาตรฐานใช้แก๊สคลุม ขณะทำการเชื่อม โดยสำหรับการวิจัยในครั้งนี้เป็นแก๊สผสมระหว่างแก๊สอาร์กอน (Ar) 80 เปอร์เซ็นต์ กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 20 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นเชื่อมตามสภาวะต่างๆที่กำหนด วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองจากลักษณะ ทางกายภาพ การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา และการทดสอบสมบัติทางกล ดังนั้น การดำเนินการ โครงการครั้งนี้ได้ดำเนินงานตามขั้นตอน ดังนี้

- 3.1.1 ศึกษาโครงการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนแนวคิด และจุดประสงค์ของโครงการ
- 3.1.2 จัดเตรียมเครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
- 3.1.3 กำหนดปัจจัยและออกแบบการทดลอง
- 3.1.4 เตรียมชิ้นงานตามมาตรฐานที่กำหนดและทดลองเชื่อมตามแผนการทดลอง
- 3.1.5 เตรียมชิ้นงานทดสอบและทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนด
- 3.1.6 บันทึกข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผลของการทดลองจากข้อมูลของปัจจัยที่ทำการศึกษาที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของงานเชื่อม แสดงในตารางที่ 3.1

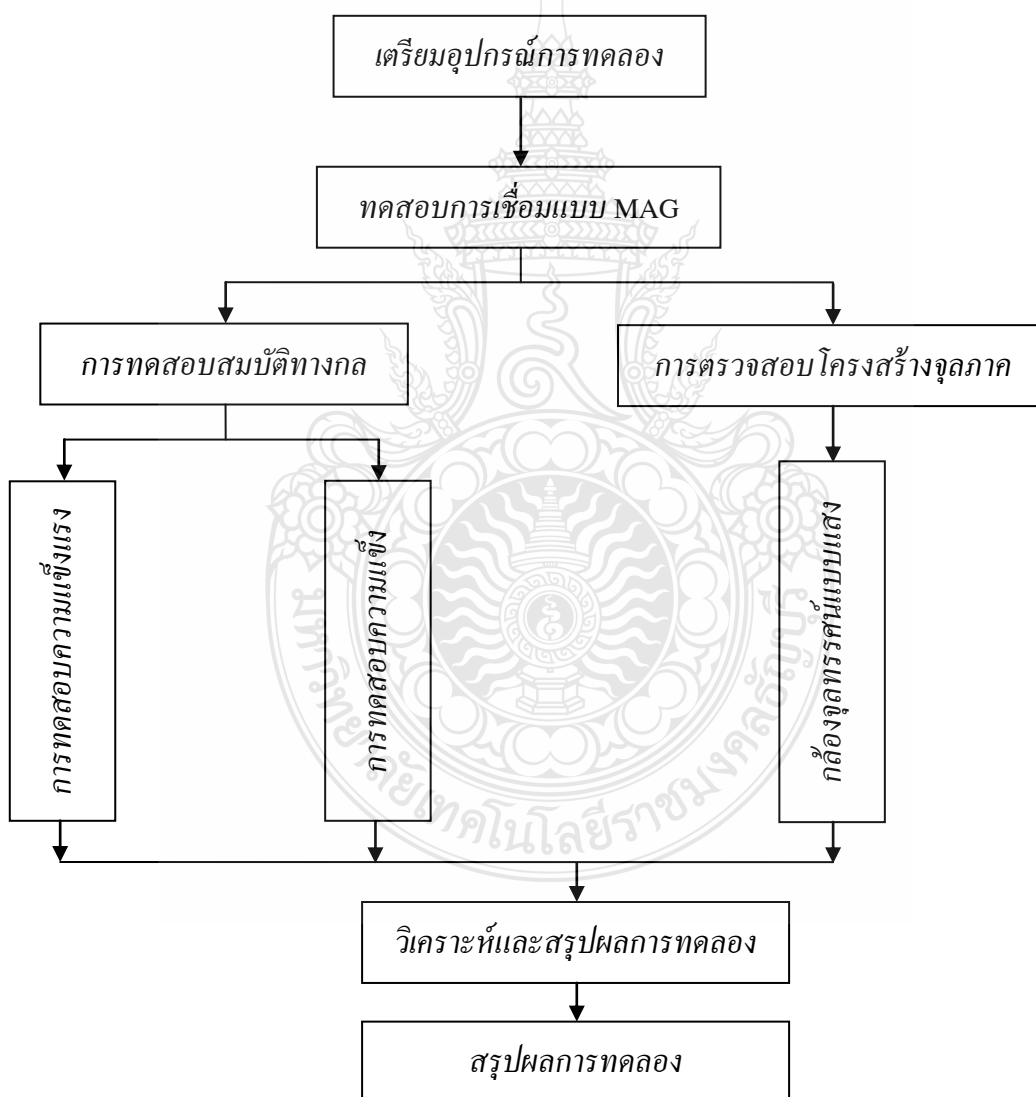
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินการ

กิจกรรม	2554				2555				2556			
	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ.	มี.ค	เม.ย	พ.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค
1.สำรวจหัวข้อโครงการ	←	→										
2.เสนอหัวข้อโครงการ			←	→								
3.ศึกษาค้นคว้าข้อมูล				←	→							
4. ออกแบบการทดลอง						←	→					
5. ทดลองและเก็บข้อมูล							←	→				
6. วิเคราะห์ข้อมูล									←	→		
7. สรุปผลการทดลอง											←	→
8. จัดทำรูปเล่ม			←	→	←	→	←	→	←	→	←	→





ภาพที่ 3.1 แผนภาพการไหลแสดงกระบวนการในการทำโครงการ



ภาพที่ 3.2 แผนการไหลแสดงกระบวนการทดลอง

3.2 เครื่องมือวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล-ธัญบุรีและบริษัทไทยซัมมิต โอโตพาร์ท อินดัสตรี จำกัด ประกอบด้วย

3.2.1 วัสดุทดลองเชื่อม

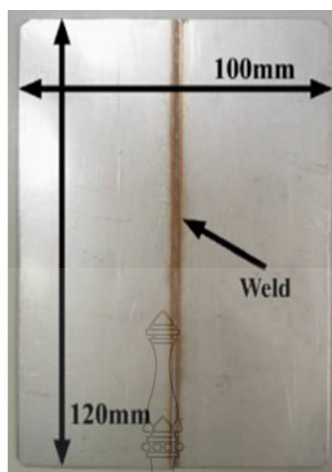
เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPCEN เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ มีขนาดในการทดลอง คือ แผ่นความหนา 1.0 มิลลิเมตร กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร และแผ่นความหนา 1.2 มิลลิเมตร กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน JIS Z3121 ซึ่งปัจจุบันนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยานยนต์ รายละเอียดส่วนผสมทางเคมีอื่นๆ แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมี

ความหนา (mm.)	Chemical Composition (wt %)			
	C	Si	P	S
1.0	0.001	0.001	0.023	0.011
1.2	0.001	0.001	0.023	0.011

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติทางกล

ความหนา (mm)	ความแข็งแรงดึง		
	YP.(MPa)	TS.(MPa) (%)	EL (%)
1.0	148	282	49
1.2	172	296	51



ภาพที่ 3.3 เหล็กที่ใช้ในการทดลอง

3.3 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

การเตรียมชิ้นงานทดลองได้กำหนดรอยต่อตามมาตรฐาน JIS Z3121 โดยตัดชิ้นงานทดลองเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCCN ให้ได้ขนาด $120 \times 50 \times 1.0$ มิลลิเมตร และ $120 \times 50 \times 1.2$ มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องตัดชิ้นงาน (Power Shear) สำหรับการตัดชิ้นงานเพื่อลดขนาดในเบื้องต้นก่อน หลังจากนั้นทำการแต่งชิ้นงานบริเวณรอยตัดในส่วนตำแหน่งขอบที่มีครีบก้นแหลมคมออกเพื่อการควบคุมคุณภาพของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมทดลอง โดยใช้เครื่องกัด (Milling) ทำการวัดขนาดยืนยันอีกครั้งด้วยเวอร์เนียสคาลิปเปอร์ แสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ลำดับขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดลองเชื่อม

3.3.1 เครื่องเชื่อม

เครื่องเชื่อมเป็นชุดเครื่องเชื่อมหุ่นยนต์ เครื่องหมายการค้า MOTOMAN รุ่น MOTO-WELD-SR350 ควบคุมตัวแปรการเชื่อมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์และซอฟต์แวร์ของเครื่องเชื่อมซึ่งมีคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องซึ่ง เป็นเครื่องเชื่อม ที่มีสมบัติเฉพาะสำหรับการเชื่อมแบบมิกแม็กและสามารถควบคุมและกำหนดตัวแปรการเชื่อมต่างๆได้ตามความต้องการ ซึ่งส่วนประกอบของหุ่นยนต์ในงานเชื่อมจะเป็นแบบแกนหมุน และสามารถที่กำหนดวิถีในการเชื่อมได้หลายลักษณะ ซึ่งมี ส่วนประกอบ ที่สำคัญคือ ส่วนของหุ่นยนต์ ประกอบไปด้วยระบบทางโครงสร้าง เช่น ฮาร์ดแวร์ ระบบขับเคลื่อนสายพาน เพลา มอเตอร์ สำหรับการขับเคลื่อนไปยังตำแหน่งต่างๆ ส่วนถัดมาคือตู้คอนโทรล เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ ภายในตู้ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม และโปรแกรมควบคุมการทำงานชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ แสดงใน ภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมทดลอง

3.3.2 ลวดเชื่อม [14]

ลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมทดลอง เป็นลวดเชื่อมประเภทเปลือยตัน (Solid Wire) สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ตามมาตรฐาน ASME/AWS A5.18 ER70S-6 เครื่องหมายการค้า HUATONG ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร ซึ่งใช้หลักการพิจารณาเลือกขนาดลวดเชื่อมตามมาตรฐาน AWS ซึ่งได้กำหนดรายละเอียดมาตรฐาน ของลวดเชื่อมแต่ละประเภทไว้ คือ AWS Spec. A5.18 เหมาะสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนทุกชนิด ER 70S-6 เป็นลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของธาตุเจือที่ใช้เป็นตัวค้ำออกซิเดชันสูง ซึ่งใช้เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนได้ทุกชนิด ลักษณะตะเข็บเชื่อมตีผิวตะเข็บเรียบ มีประกายโลหะกระเด็นน้อย เหมาะสำหรับการเชื่อมโลหะแผ่นด้วยกรรมวิธีเชื่อมอาร์ก

โลหะปกคลุม มีส่วนผสมทางเคมี และ สมบัติทางกล เป็นขนาดลวดเชื่อมที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการเชื่อมมิกแม็กวัสตุที่มีขนาดบางใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ไม่สูงมากนัก ซึ่งเป็นขนาดลวดเชื่อมเดียวกันกับการทดลองของ ตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ และ บวร โโชค ผู้พัฒนา ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของลวดเชื่อมที่มีผลกระทบต่ออัตราการหลอมละลายในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม ซึ่งพบว่าช่วงกระแสที่ใช้เชื่อม 50 – 140 แอมแปร์ ใช้ขนาดลวดเชื่อมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อมที่ 0.8 – 0.9 มิลลิเมตร แสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง

3.3.3 แก๊สคลุม

แก๊สคลุมที่ใช้ คือแก๊สอาร์กอน 80 เปอร์เซ็นต์ ผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณการผสมที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายโอนแบบละออง [1] จุดประสงค์เพื่อให้การอาร์กมีความเสถียรภาพ การถ่ายโอนโลหะจากลวดเชื่อมไปยังชิ้นงานได้ดี กำหนดให้เป็นแก๊สผสมเพื่อใช้เป็นแก๊สคลุมขณะเชื่อม โดยผ่านชุดผสมแก๊ส อัตโนมัตินภายใต้เครื่องหมายการค้า PRAXAIR ซึ่งใช้สำหรับผสมแก๊สอาร์กอนกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงในภาพที่ 3.7 โดยกำหนดอัตราการไหลของแก๊สคลุมขณะเชื่อม 17 ลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลเดียวกับ ยงยุทธ คุลยกุล, ประภาส เมืองจันทร์บุรี ใช้ในการวิเคราะห์อัตราส่วนที่เหมาะสมของแก๊สคลุม โดยวิธีการเชื่อมแม็กเหล็กกล้าคาร์บอน [4]



ภาพที่ 3.7 ชุดผสมแก๊สคลุม

3.3.4 อุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงาน

ตัวอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานถูกออกแบบขึ้นเพื่อให้มีความเหมาะสมและสามารถทำการจับยึดชิ้นงานให้ได้ดีที่สุด โดยทำการออกแบบให้ตัวจับยึดและสามารถกำหนดระยะห่างระหว่างชิ้นงานได้ ตัวจับยึดชิ้นงานมีสกรู เพื่อใช้สำหรับการปรับระยะและยึดวัสดุงานที่ทำการเชื่อมประสานได้อย่างเหมาะสม แสดงใน ภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ชุดอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

3.3.5 การเชื่อมชิ้นงานทดลอง

ติดตั้งอุปกรณ์การเชื่อมแบบอัตโนมัติ โดยมีวิธีการคือ ประกอบหัวเชื่อมเข้ากับชุดอุปกรณ์เชื่อมแบบอัตโนมัติ ปรับมุมของหัวเชื่อมและความเร็วในการเดินแนวเชื่อม (Welding Speed) ตามเงื่อนไขที่มีการกำหนดไว้ แสดงในภาพที่ 3.9 (ก)-(จ) หลังจากนั้นตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการเชื่อม ศึกษาคุณสมบัติ และเงื่อนไข คือ กระแสในการเชื่อม ความเร็ว หลังจากนั้นทำการยึดชิ้นงานกับจิ๊กเชื่อมให้แน่นเพื่อป้องกันชิ้นงานขยับในขณะที่ทำการเชื่อม ทำการเชื่อมตามสภาวะต่างๆ ตามที่กำหนด แสดงในภาพที่ 3.9 (ค)



(ก) การประกอบหัวเชื่อม



(ข) การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อม



(ค) การเดินแนวเชื่อมโดยอัตโนมัติ

ภาพที่ 3.9 ลำดับขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงานทดลอง

3.4 การกำหนดปัจจัยและการออกแบบการทดลอง

จุดประสงค์ของการทดลองในครั้งนี้ เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่ควบคุมได้ คือ ชนิดของกระแสเชื่อมความเร็วในการเชื่อมและระยะห่างที่เหมาะสม ของชิ้นงานเชื่อม ว่ามีผลต่อลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลต่องานเชื่อมอย่างไรซึ่งผู้โครงการได้กำหนดปัจจัยสำคัญที่จะทำการศึกษาโดยอ้างอิงมาจากการทดลองจริง และทฤษฎีและงานวิจัยเชิงวิชาการ ได้ดัง แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.4 ข้อกำหนดต่างๆ ในการทดลองเชื่อม

ตัวแปรการเชื่อม	สภาวะที่ควบคุม	สภาวะที่ควบคุม	สภาวะที่ควบคุม
1. กระแสเชื่อม	60 แอมแปร์	70 แอมแปร์	80 แอมแปร์
2. อัตราการไหลของแก๊สคลุม	17 ลิตร/นาที	17 ลิตร/นาที	17 ลิตร/นาที
3. ระยะห่างระหว่างชิ้นงาน	0.00 มิลลิเมตร	0.10 มิลลิเมตร	0.15 มิลลิเมตร
4. อัตราความเร็วในการเดินแนวเชื่อม	60 มิลลิเมตร/นาที	70 มิลลิเมตร/นาที	80 มิลลิเมตร/นาที

3.5 การตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อม

3.5.1 การทดสอบสมบัติทางกล

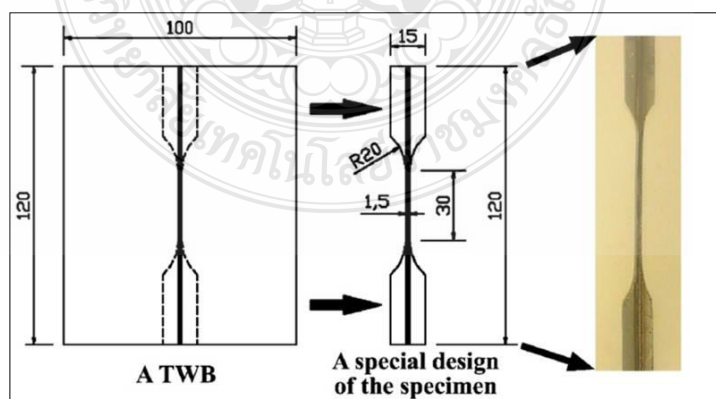
สำหรับงาน โครงการ ในครั้งนี้จะทำการกำหนดการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงาน หลังผ่านกระบวนการเชื่อม 2 ประเภท คือ

1) การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing) ใช้เครื่องทดสอบแรงดึง เครื่องหมายการค้า Testometric รุ่น M500-50kN เป็นเครื่องสำหรับทดสอบแรงดึงสามารถป้อนค่าพารามิเตอร์ได้โดยตรงจากหน้าจอ การประมวลผลการทดสอบจะเป็นลักษณะของตัวเลขและกราฟโดยในงานโครงการครั้งนี้ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงสูงสุดของงานเชื่อม (Ultimate Tensile Strength) ความแข็งแรงดึงที่จุดคราก (Yield Strength) และเปอร์เซ็นต์ในการยืดตัว (Percent Elongation) ในแนวตามยาวของเนื้อโลหะเชื่อม (All Weld Metal) ในการทดสอบ ชิ้นงานถูกยึดที่หัวจับชิ้นงานบนและล่างดังแสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ลักษณะการจับยึดชิ้นงาน

หลังจากนั้นทำการกดปุ่มควบคุมเพื่อให้เครื่องทดสอบทำการดึงชิ้นงานให้ขาดออกจากกัน ซึ่งตัวเกจวัดชี้บอกความเค้น และค้นให้ตัวเขียนเส้นภาพความเค้นแรงดึงและความเครียด (Stress – Strain) ของชิ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบถูกดึงขาดออกจากกัน สำหรับการเตรียมชิ้นงานทดสอบแบบลดขนาดตามมาตรฐานการทดสอบแรงดึงของแนวเชื่อม AWS D1.1M2006 Section 4 ที่ว่าด้วยการเตรียมชิ้นงานทดสอบแนวเชื่อม ทำการดึงชิ้นงานด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเป็นค่าความเร็วที่ C.H.Cheng^a ใช้เป็นความเร็วในการทดสอบแรงดึงเพื่อวิเคราะห์ Stress-Strain ในการเชื่อมเทเลอร์แบลิ่งค์ (Tailor-Welded Blanks) โดยใช้วัสดุ AISI-304 แสดงในภาพที่ 3.11

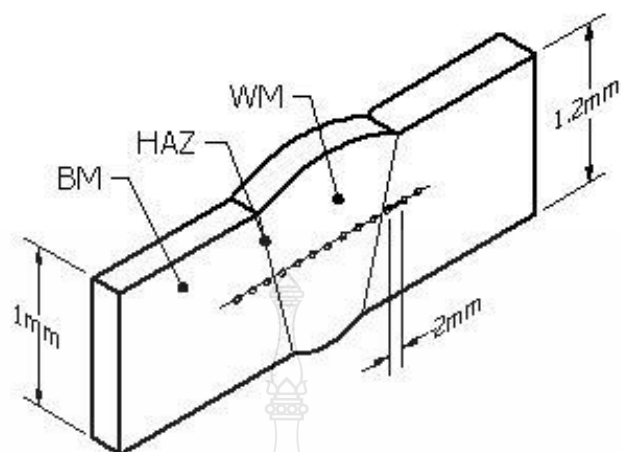


ภาพที่ 3.11 ชิ้นงานแบบลดขนาด



ภาพที่ 3.12 เครื่องทดสอบแรงดึง

2) ทดสอบความแข็ง เครื่องทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งของชิ้นทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers) เครื่องหมายการค้า MATSUZAWA รุ่น MXT 70 สามารถอ่านผลการทดสอบจากเครื่องโดยตรงเป็นตัวเลขดิจิทัล การวัดความแข็งใช้หัวกดเพชรที่มีลักษณะเป็นพีรามิดฐานสี่เหลี่ยม สำหรับในงานโครงการครั้งนี้ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งของชิ้นงานหลังจากทำการเชื่อม การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็ง (Hardness Test) ใช้ชิ้นงานชิ้นเดียวกันกับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาโดยกำหนดตำแหน่งทดสอบบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld Metal) เขตได้รับอิทธิพลทางความร้อน (HAZ) เนื้อโลหะงาน (Base Metal) แสดงในภาพที่ 3.13 วิธีการวัดความแข็งใช้หัวกดเพชรที่มีลักษณะเป็น พีรามิดฐานสี่เหลี่ยม ที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ใช้แรงกด 10 kgf กดแช่เป็นเวลา 5 วินาที สามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่นิ่มมากที่สุดที่ค่าความแข็งประมาณ 5 kgf/mm^2 จนถึงที่มีค่าความแข็งมากที่สุดประมาณ 1500 kgf/mm^2 โดยมีค่าแรงกดตั้งแต่ 1 - 120 kgf ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะที่ทดสอบ สำหรับกรณีในงานเชื่อม การทดสอบความแข็งที่นิยมใช้คือการทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers Test) เนื่องจากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์สเหมาะสำหรับการวัดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยเชื่อม จุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถของงานเชื่อมในการต้านทานต่อการแปรรูปถาวรเมื่อถูกแรงกดจากหัวกดที่กระทำลงบนผิวของชิ้นงานทดสอบ การเตรียมชิ้นงานและวิธีการทดสอบในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตามมาตรฐาน ASTM E92 โดยกำหนดระยะห่างระหว่างจุด 2 มิลลิเมตร [4]



ภาพที่ 3.13 ตำแหน่งของจุดทดสอบความแข็ง [4]



ภาพที่ 3.14 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส

3.5.2 การตรวจสอบ โครงสร้างทางโลหะวิทยา ประกอบด้วย โครงสร้างจุลภาค ตามมาตรฐาน ASTM E304 และ E407 ตามลำดับสำหรับการตรวจสอบ โครงสร้างทางโลหะวิทยาต้องทำการตัดชิ้นงานทดสอบให้มีขนาดเล็กจากชิ้นงานเชื่อมจริง หลังจากนั้นทำการอัดขึ้นเรือน ขัดเตรียมผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ต่างๆ ทำการกัดกรดสำหรับการส่องดูโครงสร้างจุลภาค ตามลำดับ

1) เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา กล้องจุลทรรศน์เครื่องหมายการค้า OLYMPUS เป็นเครื่องมือสำหรับตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและ

จุลภาคประกอบด้วยส่วนหลักๆสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นกล้องจุลทรรศน์และส่วนที่เป็นอุปกรณ์ประมวลผลและบันทึกข้อมูล แสดงในภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 ชุดตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา

2) การเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

ในส่วนของการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยานั้น ใช้วิธีการตรวจสอบ คือ การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ซึ่งชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบเป็นชิ้นงานเดียวกันกับการตรวจสอบความแข็ง การเตรียมชิ้นงานมีวิธีการดำเนินงาน คือ นำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมเรียบร้อยแล้ว มาตัดชิ้นงานเพื่อเหมาะสมกับการตรวจสอบโครงสร้างต่อไป แสดงในภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 ตัดชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

หลังจากที่มีการเตรียมชิ้นงานให้เหมาะสมแล้ว ก่อนที่นำชิ้นงานไปขัดต้องทำการฝังชิ้นงานกับพลาสติก เสียก่อนด้วยวิธีการขึ้นรูปตัวเรือนแบบร้อน (Hot Mounting) ซึ่งใช้เวลาต่อชิ้นประมาณ 15 นาที ในการฝังชิ้นงานในพลาสติกวางชิ้นงานให้ผิวหน้าที่จะทำการตรวจสอบ โครงสร้างคว่ำลงแล้วจึงเทพลาสติก (มีลักษณะเป็นผงหยาบ) ลงในกระบอกจากนั้นทำการปิดกระบอกเพิ่มแรงดันทำการ ขึ้นเรือน แบบอัตโนมัติ เมื่อครบเวลา 15 นาที จึงถอดแบบเอาชิ้นงานออก ดังแสดงเครื่องขึ้นเรือน (Hot Mounting) แสดงในภาพที่ 3.17 ซึ่งเป็นเครื่องแบบอัตโนมัติ



ภาพที่ 3.17 การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบ โครงสร้างทาง โลหะวิทยา

การเตรียมชิ้นงานสำหรับตรวจสอบ โครงสร้างทาง โลหะวิทยา โดยนำชิ้นงานที่ตัดได้ขนาดแล้ว มาเตรียมเป็นชิ้นงานตรวจสอบ โดยมีวิธีการดังนี้

1) การตัดชิ้นงานเชื่อมที่ต้องการตรวจสอบ โครงสร้างต้องหลีกเลี่ยงให้เกิดความร้อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ก็เพราะว่าความร้อนดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างที่ผิวหน้าตัดนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้การตรวจสอบนั้นเกิดข้อผิดพลาด สำหรับขนาดของชิ้นตรวจสอบกำหนดให้ขนาด 10 มิลลิเมตร \times 25 มิลลิเมตร ทั้งนี้ เพื่อให้การขัดผิวกระทำได้ง่ายโดยไม่ต้องทำตัวเรือน

2) การขัดผิวชิ้นงานตรวจสอบ ขัดด้วยกระดาษทราย ตั้งแต่เบอร์ 220 จนถึงเบอร์ 1,200 ตามลำดับ ในการขัดวางกระดาษทรายลงบนกระดาษเรียบแล้วขัดผิวตรวจสอบลงบนกระดาษทรายนั้นในขณะเดียวกันเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ น้ำชำระสิ่งสกปรกซึ่งได้แก่ผงโลหะและซิลิโคนคาร์ไบด์ออกให้หมด การขัดผิวตรวจสอบควรใช้แรงพอประมาณ ไม่ควรออกแรงขัดมากเกินไป

ทั้งนี้ส่งผลให้โครงสร้างของชิ้นตรวจสอบเกิดความบกพร่องจนทำให้การตรวจสอบโครงสร้างเกิดขึ้นผิดพลาดได้ แสดงในภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 การขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

3) การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจากอะลูมินา (Alumina Oxide) โดยผงขัดใช้ขนาดตั้งแต่ 0.05 ไมครอนด้วยจานหมุนที่ห่อหุ้มด้วยผ้าสักหลาด ใช้ผงขัดผสมกับน้ำเทลงบนสักหลาดแล้วขัดผิวจนเป็นมัน แสดงในภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 การขัดผิวชิ้นงานด้วยผงขัดสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

4) การกัดด้วยน้ำยา (Etching) ชิ้นงานตรวจสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปกัดด้วยน้ำยาซึ่งใช้กรดไนตริกร้อยละ 2.5 ผสมกับแอลกอฮอล์ หลังจากการกัดครดนำไปล้างน้ำและเป่าให้แห้งแล้วเคลือบด้วยแลคเกอร์ แสดงในภาพที่ 3.20 หลังจากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgical Inspection) ต่อไป



ภาพที่ 3.20 การกัดครดผิวชิ้นงานสำหรับตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

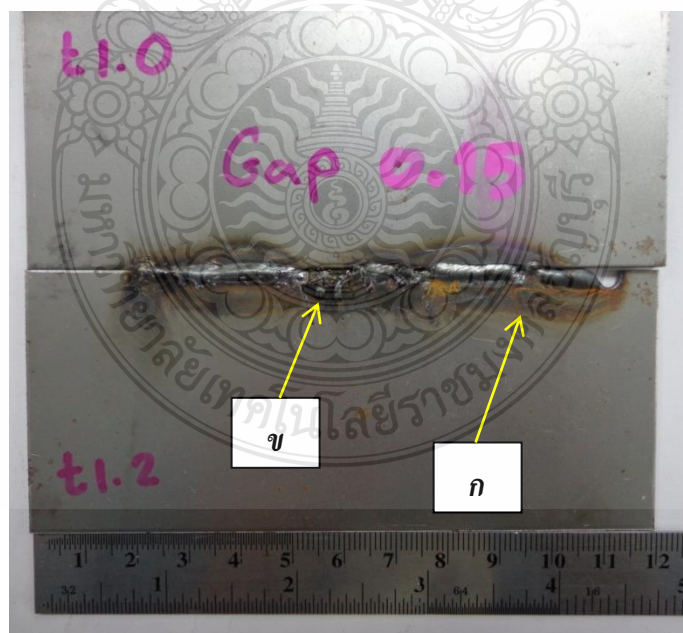
การวิจารณ์ผลและสรุปผลการตรวจสอบแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการตรวจสอบทางกลและอีกส่วนเป็นการศึกษาโครงสร้างจุลภาค เพื่อดูลักษณะความแตกต่าง ของแนวเชื่อมความต้านทานแรงดึง ความแข็งบริเวณแนวเชื่อมและภายในรอยเชื่อม เขตที่ได้รับอิทธิพล จากความร้อนและบริเวณเนื้อ โลหะเดิม ตรวจสอบลักษณะของเกรนบริเวณเนื้อเชื่อมหลังจากผ่านกระบวนการเชื่อม

บทที่ 4

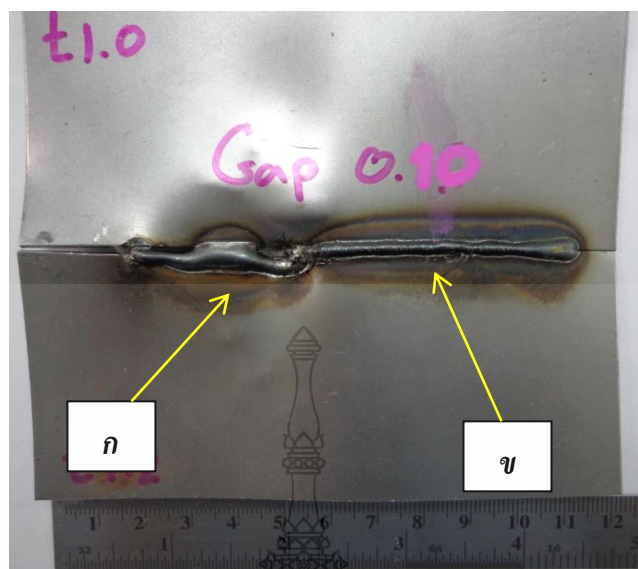
ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

การดำเนินโครงการ เพื่อศึกษาโครงสร้างสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมเทเลอร์แบลิ่งค์ เหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPEN ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก โดยกำหนดกระแสเชื่อมเป็น 3 ระดับ คือ 60 70 และ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 60 70 และ 80 มิลลิเมตรต่อนาที กำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นชิ้นงาน 0.00 0.10 และ 0.15 มิลลิเมตรตามลำดับ ได้ผลของการทดลองมีดังนี้

การทดลองที่กระแสเชื่อมต่างๆ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างแผ่น 0.15 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่า ไม่สามารถทำการเดินแนวเชื่อมได้อย่างสมบูรณ์ทุกๆ กระแส และความเร็วที่กำหนดไว้ เป็นเงื่อนไข ในการเดินแนวเชื่อมตามที่กำหนดได้ อีกทั้งลักษณะของชิ้นงานมีการทะลุ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ตำแหน่ง ก ชิ้นงานทดลองตรงบริเวณจุดเริ่มต้นมีการทะลุ หลังจากนั้นก็เกิดการอาร์คตลอดแนวของการเดินแนวเชื่อม ตามที่แสดงในตำแหน่ง ข เมื่อตรวจสอบดูการหลอมละลายพบว่า ชิ้นงานไม่มีการหลอมละลายติดกันเลย



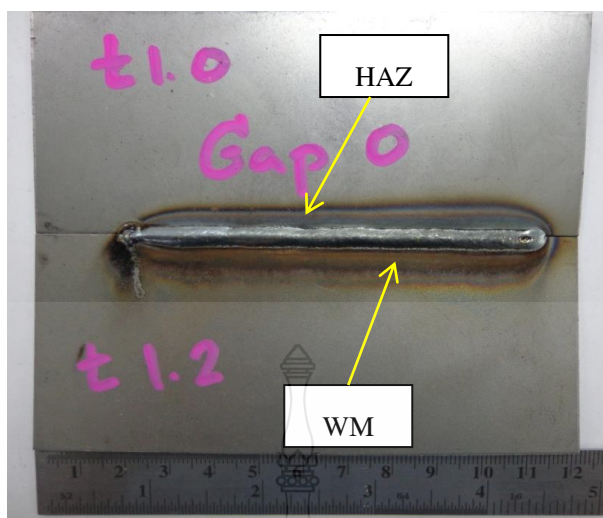
ภาพที่ 4.1 ชิ้นงานเชื่อมที่ระยะห่าง 0.15 mm กระแสเชื่อม 70 A ความเร็ว 70 mm/min



ภาพที่ 4.2 ชิ้นงานเชื่อมที่ระยะห่าง 0.10 mm กระแสเชื่อม 70 A ความเร็ว 70 mm/min

หลังจากนั้นทำการทดลองโดยการเดินแนวเชื่อมที่ระยะห่างระหว่างชิ้นงาน 1.0 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่าพบ ตรงบริเวณของการเริ่มต้นในการเดินแนวเชื่อม พบแนวเชื่อมที่มีขนาดใหญ่ ดังแสดงที่ จุด ก ทั้งนี้เนื่องมาจากการถ่ายเทความร้อนที่ไม่สมบูรณ์ ระหว่างชิ้นงานที่มีขนาดบางและแตกต่างกันในส่วนของความหนา หลังจากนั้น ขนาดของแนวเชื่อมมีการลดขนาดลง ดังแสดงที่จุด ข ซึ่งเหตุผลที่เกิดขึ้นพบว่าความร้อนสะสมที่ต่ำลงส่งผลต่อการประสานและการหลอมละลายของแนวเชื่อม

หลังจากนั้นทำการทดสอบระยะห่างระหว่างชิ้นงานโดยใช้วิธีการต่อชน พบว่าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ ความกว้างของแนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับ ภาพที่ 4.1 และ 4.2 แล้ว ทั้งนี้เนื่องมาจากชิ้นมีขนาดบาง และมีความแตกต่างกันด้านความหนาทำให้จะต้องมีการถ่ายโอนความร้อนที่เหมาะสม ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวตรงกันกับงานวิจัยของ Andy, et al. ที่ได้ทำการศึกษาวิจัย ขบวนการเชื่อมแผ่นเหล็กกล้าชุบสังกะสี ด้วยกระบวนการ GMAW-P ในการเชื่อมงานความหนา 1.2 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วและกระแสแตกต่างกัน โดยใช้แก๊สคลุมคืออาร์กอนผสมคาร์บอนไดออกไซด์ 80 เปอร์เซ็นต์ กับ 20 เปอร์เซ็นต์ ใช้ลวดเชื่อมขนาด 0.8 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่าระยะห่างระหว่างแผ่นการทดลองที่มีขนาดบาง ควรใช้วิธีการเชื่อมประสานแบบต่อชน ซึ่งต่อไปในการวิจัย ใช้การทดลองแบบ การต่อชน กำหนดระยะห่างที่ 0.00 มิลลิเมตร ซึ่งสำหรับเงื่อนไขการทดสอบตัวแปรอื่นๆ แสดงในภาคผนวก ก

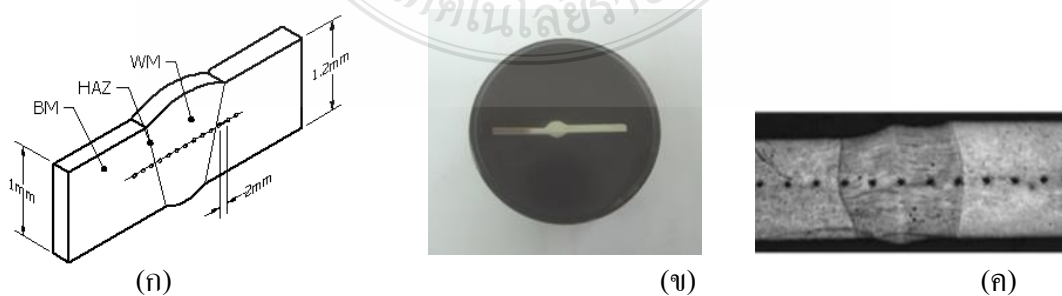


ภาพที่ 4.3 ชิ้นงานเชื่อมที่ระยะห่าง 0.00 mm กระแสเชื่อม 70 A ความเร็ว 70 mm/min

4.1 การตรวจสอบสมบัติเชิงกล (Macrostructure Investigation)

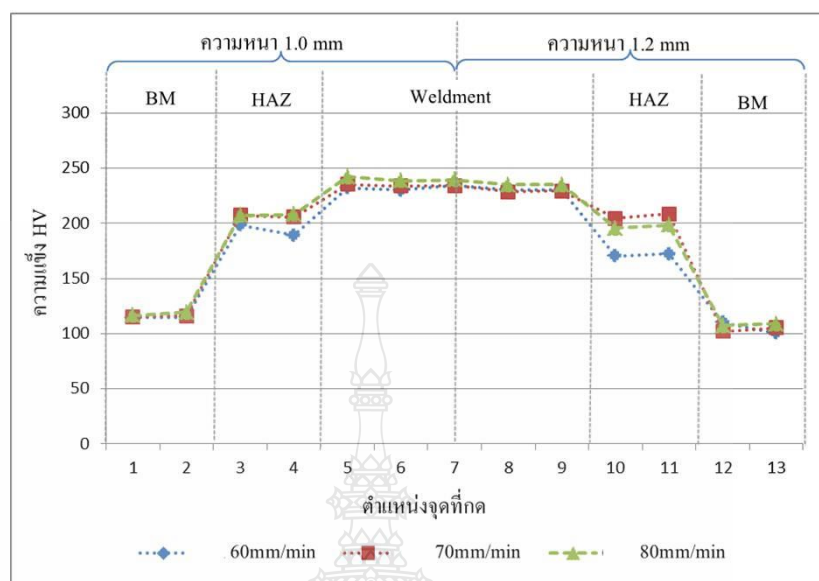
4.1.1 การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing)

ผลการทดลองในการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์สโดยพบว่า ความแข็งของเนื้อโลหะงาน (BM) ต่ำกว่าบริเวณเนื้อเชื่อม (WM) เล็กน้อย ส่วนบริเวณเขตที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (HAZ) ให้ค่าความแข็งใกล้เคียงกับบริเวณเนื้อเชื่อม ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า บริเวณดังกล่าวเมื่อได้รับอิทธิพลความร้อนในขณะที่เชื่อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจึงส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนของแก๊สคลุมขณะเชื่อมเป็นแก๊สผสมระหว่างแก๊สอาร์กอน 80 เปอร์เซ็นต์ กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยลักษณะของการทดสอบความแข็งแสดงในภาพที่ 4.3 หลังจากนั้นมาทำการพิจารณาค่าความแข็งต่างๆที่ได้จากผลการทดลองทั้ง 2 ด้าน คือ พิจารณาที่ความหนาเหล็ก 1.0 มิลลิเมตร และที่ความหนาเหล็ก 1.2 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.4 ตำแหน่งในการทดสอบความแข็ง

1. ค่าความแข็งที่กระแสดเชื่อม 60 แอมแปร์

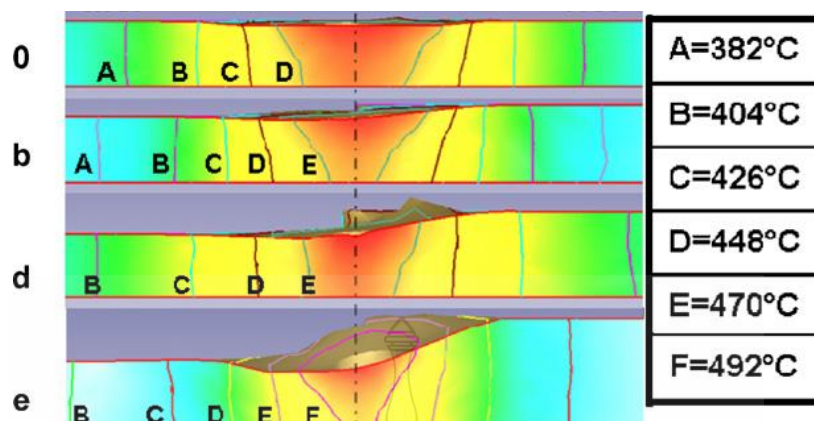


ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งที่กระแสดเชื่อม 60 แอมแปร์

ภาพที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงานหลังจากกระบวนการเชื่อม โดยใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ 60 แอมแปร์ ใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 60 70 และ 80 มิลลิเมตรต่อนาที

พิจารณาที่ กระแสดเชื่อม 60 แอมแปร์ / 60 มิลลิเมตรต่อนาที

พบว่าค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่ด้านความหนาเหล็ก 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งทั้งสองด้านไม่แตกต่างกันมาก หลังจากกระบวนการเชื่อม โดยค่าความแข็งของเนื้อโลหะงานบริเวณเนื้อเชื่อม และบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน มีค่าความแข็งที่แตกต่างกัน ซึ่งชิ้นงานหลังจากกระบวนการเชื่อมและได้รับการถ่ายเทความร้อนพบว่าค่าความแข็งในแต่ละจุดมีค่าแตกต่างกันไป ตามภาพที่ 4.6 คือบริเวณ เนื้อโลหะงาน มีค่าความแข็งใกล้เคียงกันกับความแข็งเริ่มต้นและมีค่าความแข็งที่ต่ำที่สุด บริเวณเนื้อเชื่อมมีค่าความแข็งมากที่สุดเนื่องจากมีปริมาณความร้อนสูงสุด และถัดมาเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ L.Fratini และ G.Buffa ที่ทำการวิจัยการเชื่อม เทเลอร์แบบสิ่ง โดยวิธี friction stir ของอลูมิเนียมเกรด AA7075 พบว่าชิ้นงานหลังจากกระบวนการเชื่อมมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิและส่งผลให้เกิดความแตกต่างกันด้านความแข็งในแต่ละจุด ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 อุณหภูมิบริเวณต่างๆหลังผ่านกระบวนการเชื่อม [15]

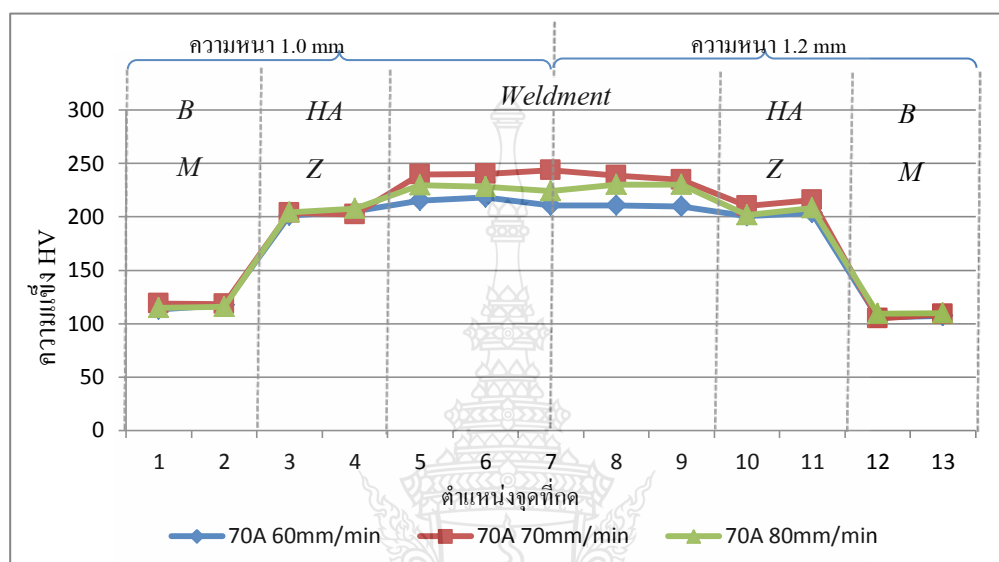
พิจารณาที่ กระแสเชื่อม 60 แอมแปร์ / 70 มิลลิเมตรต่อนาที

ทำการพิจารณาที่ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าค่าความแข็งทั้ง 3 จุดที่ทำการทดสอบมีแนวโน้มน่าและทิศทางเหมือนกันกับที่ความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อนาที กล่าวคือ บริเวณเนื้อโลหะมีค่าความแข็งน้อยสุด ถัดมาเป็นบริเวณพื้นที่ผิวกระทันร้อน และแข็งสุดเป็นบริเวณแนวเชื่อม แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ข้อมูลความแข็งของทั้งสองเงื่อนไข พบว่าบริเวณ กระทันร้อน และบริเวณ เนื้อโลหะเชื่อมที่ 70 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าความแข็งที่สูงกว่า 70 มิลลิเมตรต่อนาที ทั้งนี้จากกราฟและผลการทดลองที่ได้ตรงกันกับงานวิจัยของ Gartner ที่ทำการเชื่อมแผ่นเหล็กกล้าชุบสังกะสีที่ขนาดความหนา 1.5 และ 2 มิลลิเมตร รอยต่อของชิ้นงานมีทั้งรอยต่อชนและต่อจาก ซึ่งจากการทดลองพบว่าระยะห่างระหว่างชิ้นงาน กระแสเชื่อม และอัตราความเร็วต่อเที่ยวในการเดินแนวเชื่อม ล้วนมีผลต่อสมบัติทางกล และ โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม

พิจารณาที่ กระแสเชื่อม 60 แอมแปร์ / 80 มิลลิเมตรต่อนาที

และเมื่อทำการตรวจสอบ ความแข็งที่ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าทุกๆบริเวณที่ทำการตรวจสอบค่าความแข็ง กล่าวคือ บริเวณเนื้อ โลหะเดิม บริเวณกระทันร้อน และบริเวณเนื้อ โลหะเชื่อม มีค่าสูงกว่าที่ความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที แต่ต่ำกว่าที่ความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อนาที ทั้งนี้เนื่องมาจาก ปริมาณความร้อนที่สะสมบนชิ้นงานส่งผลโดยตรงต่อสมบัติความแข็ง ซึ่งจากผลการทดลองในครั้งนี้ สอดคล้องกันกับผลงานวิจัยของ ฉัตรชัย ไสแสง ซึ่งพบว่าอิทธิพลของพารามิเตอร์ การเชื่อมต่อสมบัติทางกล และ โครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 พบว่าการเชื่อมชิ้นงานที่กระแสเดียวกัน ทำให้โลหะได้รับพลังงานความร้อนเข้า (Heat Input) ในปริมาณที่น้อยจึงส่งผลต่อลักษณะ

การกระจายออกไปยังบริเวณ กระทบร้อนได้ในปริมาณที่น้อย จึงทำให้โครงสร้างบริเวณกระทบร้อนเกิดการเปลี่ยนแปลงได้น้อยเช่นกัน อีกทั้งการเชื่อมที่ใช้ความเร็วในระดับสูง ทำให้โลหะมีการเย็นตัวที่รวดเร็วมากซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติความแข็งของการเชื่อม อีกทั้งหากความเร็วที่ใช้ไม่มีความเหมาะสมทำให้คุณภาพของชิ้นงานต่ำลงไปด้วย เช่น รอยกัดแห้ว รูพรุน เชื่อมทะลุ



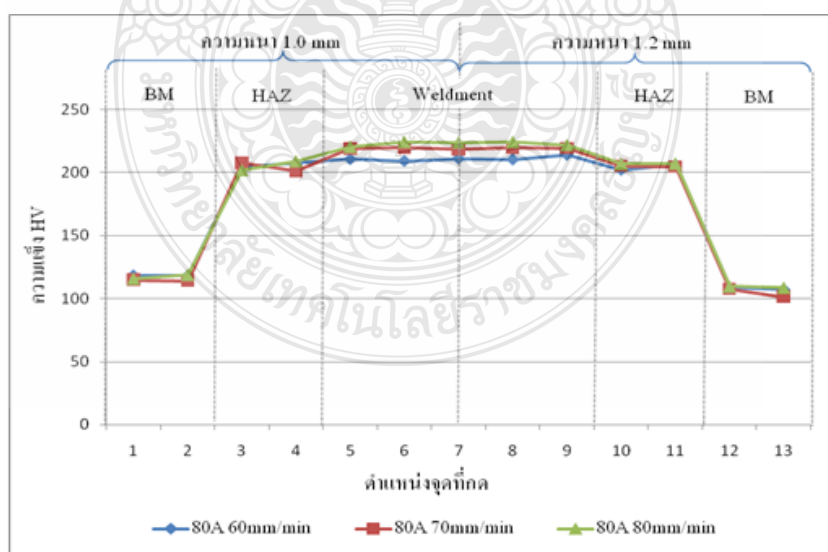
ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งที่กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์

พิจารณาที่ กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ และ 80 แอมแปร์

เมื่อทำการพิจารณา ค่าความแข็งที่กระแสเชื่อม ที่ 70 แอมแปร์ และ 80 แอมแปร์ ที่ความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที 70 มิลลิเมตรต่อนาที และ 80 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าทิศทางการค่าความแข็งทั้ง 3 จุด มีทิศทางเหมือนกันกับที่กระแสเชื่อม 60 แอมแปร์ แต่ที่ กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ ใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าความแข็งสูงที่สุด ทั้ง 3 จุด คือ

พิจารณาที่กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ พบว่ามีทิศทางและแนวโน้มสำหรับการเปลี่ยนค่าความแข็งเหมือน 60 แอมแปร์ ซึ่งจากผลการทดลองเพื่อหาค่าความแข็งของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการเชื่อม โดยใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ 70 แอมแปร์ ความเร็วเชื่อมที่ 60 70 และ 80 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าความแข็งของแนวเชื่อมด้านความหนาเหล็ก 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร ค่าความแข็งทั้งสองด้านไม่แตกต่างกันมาก หลังผ่านกระบวนการเชื่อม ค่าความแข็งของเนื้อโลหะบริเวณเนื้อเชื่อม และบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน มีค่าความแข็งที่แตกต่างกันไป ที่ความหนาเหล็กด้าน 1.0 มิลลิเมตร โดยค่าความแข็งบริเวณเนื้อโลหะ มีค่าความแข็งสูงสุดที่ 118 HV

ที่กระแสไฟขนาด 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความแข็งต่ำสุดบริเวณเนื้อโลหะมีค่าเท่ากับ 113 HV ที่ใช้กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ และความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับค่าความแข็งแรงบริเวณเนื้อเชื่อม ค่าความแข็งสูงสุดที่ 243 HV ที่กระแสไฟขนาด 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความแข็งต่ำสุดบริเวณเนื้อเชื่อม มีค่าเท่ากับ 209 HV ที่ใช้กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ และความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที ลำดับต่อมาทำการพิจารณาค่าความแข็งของชิ้นงานทดลองบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน มีค่าความแข็งสูงสุด 207 HV ที่กระแสไฟขนาด 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที และค่าความแข็งต่ำสุดบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน มีค่าเท่ากับ 201 HV ใช้กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ และความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับที่ขนาดความหนาเหล็กด้าน 1.2 มิลลิเมตร โดยค่าความแข็งบริเวณเนื้อโลหะ ความแข็งสูงสุดอยู่ 109 HV กระแสไฟขนาด 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที ความแข็งต่ำสุดบริเวณเนื้อโลหะ มีค่า 104 HV กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ และความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับค่าความแข็งแรงบริเวณเนื้อเชื่อมค่าความแข็งสูงสุด 243 HV กระแสไฟขนาด 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที และ ค่าความแข็งต่ำสุดบริเวณเนื้อเชื่อม มีค่าเท่ากับ 209 HV ที่ใช้กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ และความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับลำดับต่อมาจะทำการพิจารณาค่าความแข็งของชิ้นงานทดลองบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน มีค่าความแข็งสูงสุด 215 HV กระแสไฟขนาด 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที



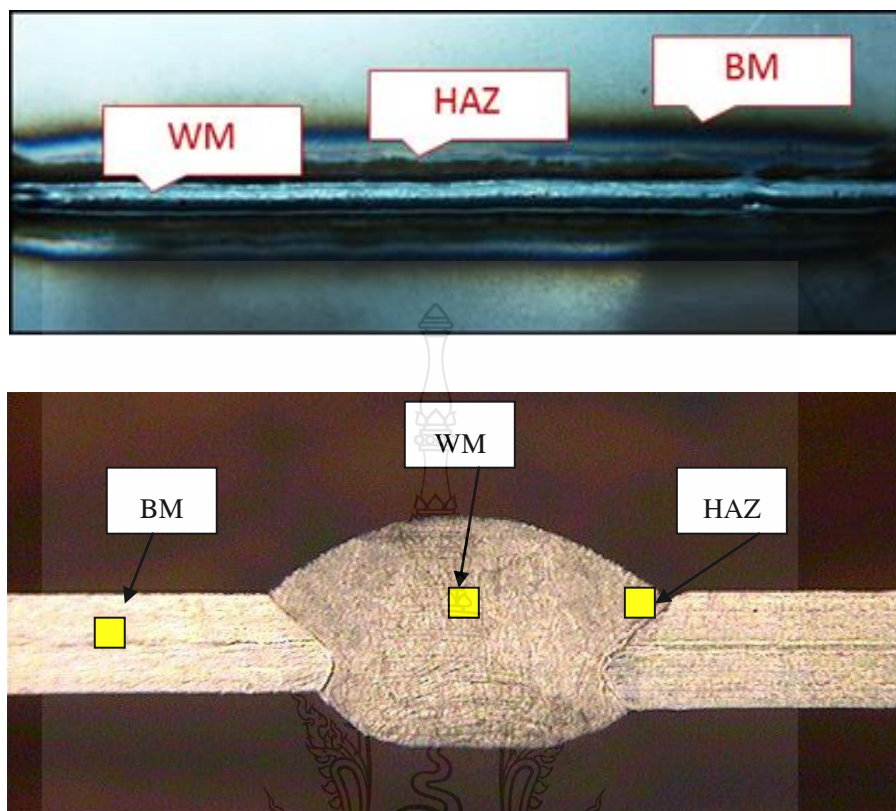
ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งที่กระแสเชื่อม 80 แอมแปร์

พิจารณาที่กระแสเชื่อม 80 แอมแปร์ โดยใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ 60 70 และ 80 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่ด้านความหนาเหล็ก 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร พบว่าค่าความแข็งทั้งสองด้าน ไม่แตกต่างกันมาก หลังผ่านกระบวนการเชื่อม โดยค่าความแข็งของเนื้อโลหะงานบริเวณเนื้อเชื่อม และบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน มีค่าความแข็งที่แตกต่างกันไป ที่ขนาดความหนาเหล็กด้าน 1.0 มิลลิเมตร โดยค่าความแข็งบริเวณเนื้อโลหะ มีค่าความแข็งสูงสุดอยู่ที่ 118 HV ที่กระแสไฟขนาด 80 แอมแปร์ และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที และค่าความแข็งต่ำสุดบริเวณเนื้อโลหะ มีค่าเท่ากับ 114 HV ใช้กระแสเชื่อม 80 แอมแปร์ และความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับค่าความแข็งแรงบริเวณเนื้อเชื่อม มีค่าความแข็งสูงสุดอยู่ที่ 224 HV กระแสไฟขนาด 80 แอมแปร์ และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อ นาที ค่าความแข็งต่ำสุดบริเวณเนื้อเชื่อม ใช้กระแสเชื่อม 80 แอมแปร์ ความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อ นาที สำหรับลำดับต่อมาทำการพิจารณาค่าความแข็งของชิ้นงานทดลองบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความ ร้อน มีค่าความแข็งสูงสุดอยู่ที่ 209 HV กระแสไฟขนาด 80 แอมแปร์ และความเร็วในการเดินแนว เชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อ นาที และ ค่าความแข็งต่ำสุดบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน มีค่าเท่ากับ 201 HV ใช้กระแสเชื่อม 80 แอมแปร์ และความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อ นาที

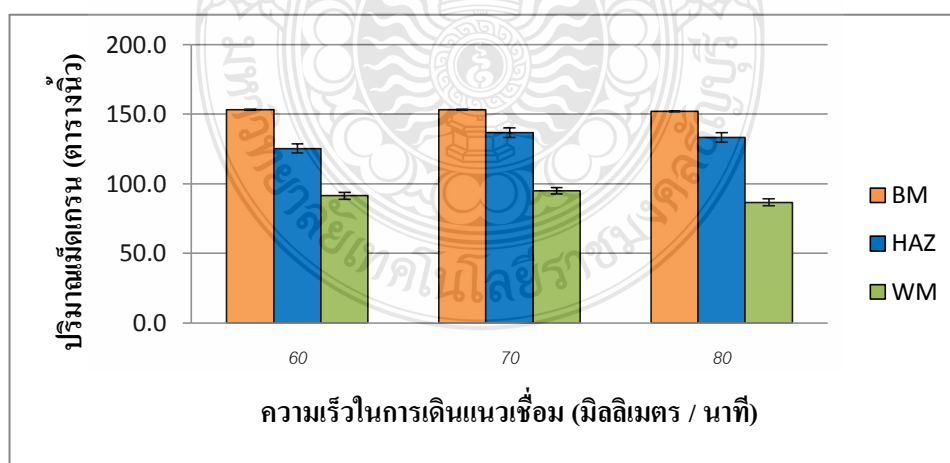
สำหรับที่ขนาดความหนาเหล็กด้าน 1.2 มิลลิเมตร โดยค่าความแข็งบริเวณเนื้อโลหะ มีค่า ความแข็งสูงสุดอยู่ที่ 109 HV ที่กระแสไฟขนาด 80 แอมแปร์ และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อ นาที ค่าความแข็งต่ำสุดบริเวณเนื้อโลหะ มีค่า 101 HV กระแสเชื่อม 80 แอมแปร์ และ ความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อ นาที สำหรับค่าความแข็งแรงบริเวณเนื้อเชื่อม มีค่าความแข็งสูงสุดอยู่ที่ 224 HV กระแสไฟขนาด 80 แอมแปร์ และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อ นาที และค่า ความแข็งต่ำสุดบริเวณเนื้อเชื่อม มีค่าเท่ากับ 209 HV ที่ใช้กระแสเชื่อม 80 แอมแปร์ และความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อ นาที สำหรับลำดับต่อมาทำการพิจารณาค่าความแข็งของชิ้นงานทดลองบริเวณที่ได้รับ อิทธิพลจากความร้อน มีค่าความแข็งสูงสุดอยู่ที่ 207 HV กระแสไฟขนาด 80 แอมแปร์ และความเร็ว ในการเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อ นาที และค่าความแข็งต่ำสุดบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน มีค่าเท่ากับ 202 HV กระแสเชื่อม 80 แอมแปร์ และความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อ นาที

4.2 การตรวจสอบโครงสร้างแบบจุลภาค (Microstructure Investigation)

สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของโครงสร้างแบบจุลภาค การวัดขนาดของเกรนและการจัด กลุ่ม No. ของเกรน ใช้โปรแกรม Soft Ware Image Pro Express Version

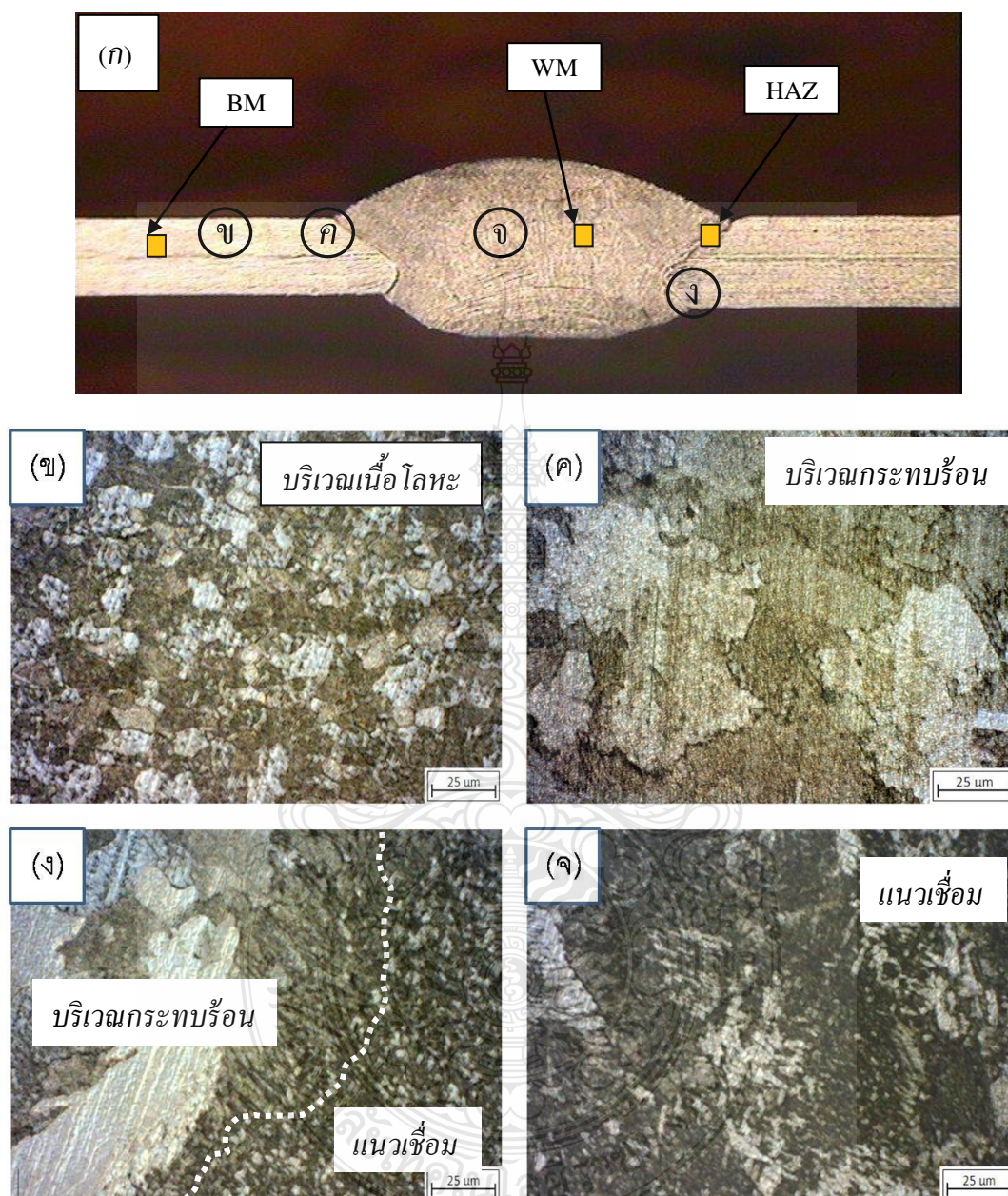


ภาพที่ 4.9 โครงสร้างมหภาคเหล็กกล้าคาร์บอน SPCEN



ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณเกรนไซด์ที่ 60A 70A และ 80A

4.2.1 โครงสร้างระดับจุลภาคที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ 60 มิลลิเมตรต่อนาที



(ก) โครงสร้างมหภาค (ข) บริเวณเนื้อโลหะ (ค) บริเวณกระตบร้อน
(ง) บริเวณกระตบร้อน (จ) บริเวณแนวเชื่อม

ภาพที่ 4.11 โครงสร้างทางจุลภาค 60 แอมแปร์ ความเร็วใน 60 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ 4.11 แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อเทเลอร์แบบลงค์ ที่ทำการเชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้า 60 แอมแปร์ โดยมีแผ่นทางด้านซ้ายเป็นแผ่นบาง และแผ่นหนาที่ด้านขวา ตำแหน่ง ก ข ค และ จ ในภาพแสดงความหมายดังนี้ ก คือ โครงสร้างมหภาค ข คือบริเวณเนื้อโลหะ ค คือบริเวณกระทบร้อน ง คือบริเวณกระทบร้อนฝั่งหนาและสุดท้าย จ คือ บริเวณแนวเชื่อม จุดต่างๆเหล่านี้ถูกนำมาทำการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคเพื่อหาขนาดเกรน และการกระจายตัวของเกรน ได้ผลการทดลองที่น่าสนใจ ดังต่อไปนี้

ความเร็วในการเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงาน โดยโครงสร้างของชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ต่างๆ คือ บริเวณเนื้อโลหะ บริเวณกระทบร้อน บริเวณอินเทอร์เฟซระหว่างบริเวณกระทบร้อนกับแนวเชื่อม และ บริเวณแนวเชื่อม

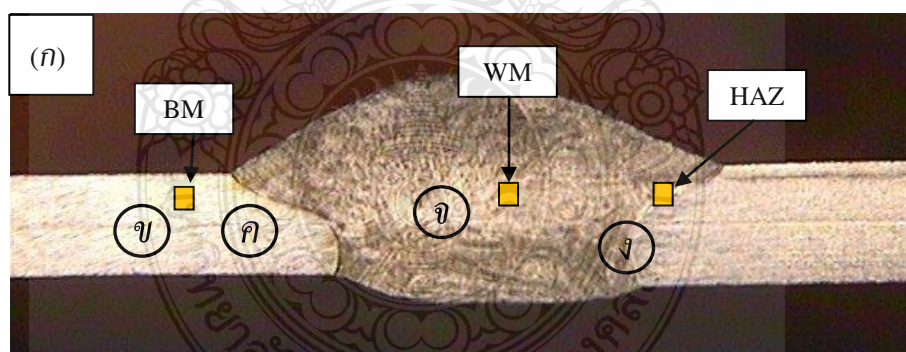
ภาพที่ 4.11 (ข) แสดงโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะ จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างมีการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนอย่างสม่ำเสมอในบริเวณเนื้อโลหะ และโครงสร้างเม็ดเกรนมีขนาดเล็ก ลักษณะกลมมนกระจายอยู่ในบริเวณเนื้อโลหะ ซึ่งจะอยู่ในกลุ่มของ Grain Size เมื่อเทียบกับมาตรฐาน JIS พบว่าอยู่ในกลุ่ม No.6.5 เป็นโครงสร้างแบบปกติทั่วไปของเหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPEN เดิมจะมีปริมาณเกรนไซส์โดยเฉลี่ยที่ 140 ต่อตารางนิ้ว ซึ่งมีปริมาณเกรนไซส์ที่น้อยที่สุดแต่มีความ โดดสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ ส่งผลให้บริเวณนี้มีค่าความแข็งที่ต่ำสุดตาม

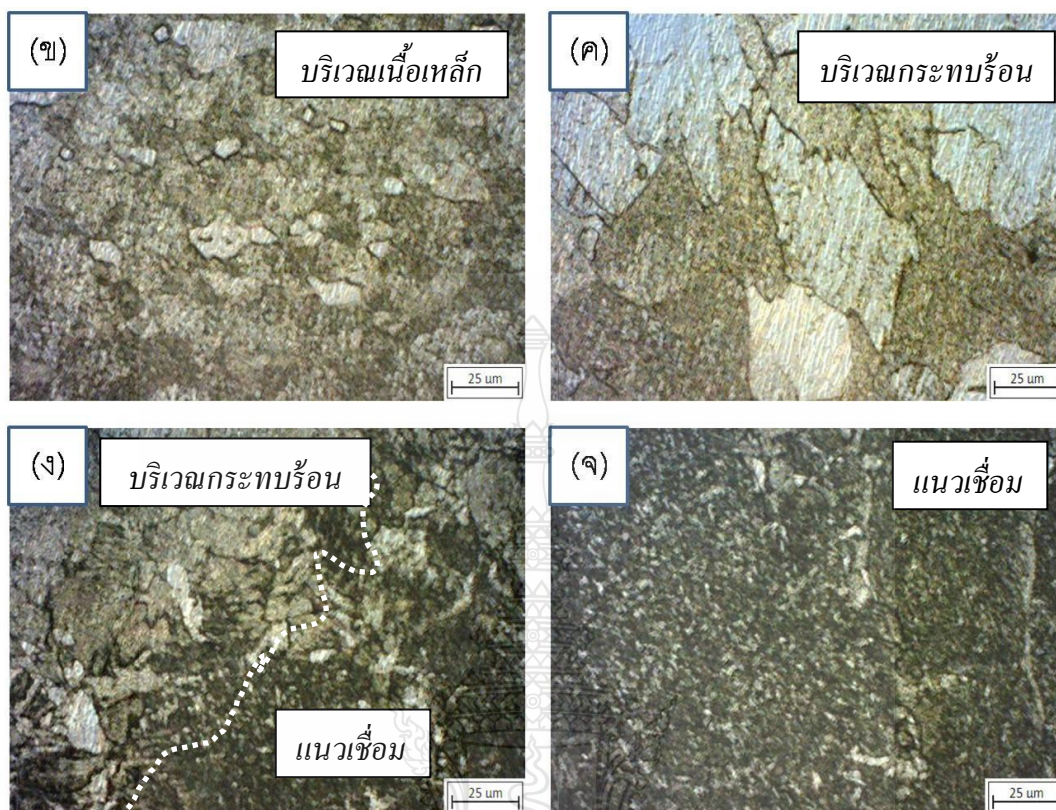
ภาพที่ 4.11 (ค) แสดงโครงสร้างบริเวณกระทบร้อน จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างบริเวณกระทบร้อนจะมีการเรียงตัวของเม็ดเกรนดีกว่าบริเวณเนื้อโลหะ (ภาพที่ 4.26 (ข)) เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากความร้อนจึงทำให้เม็ดเกรนมารวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยเม็ดเกรนจะมีลักษณะค่อนข้างกลม แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่สม่ำเสมอในบริเวณกระทบร้อนหลังจากทำการพิจารณาและแบ่งกลุ่มขนาดของ Grain Size บริเวณพื้นที่ผิวกระทบร้อน ตามเงื่อนไขในการเชื่อมต่างๆ พบว่าในส่วนของบริเวณกระทบร้อนกลุ่ม Grain Size พบว่าอยู่ในกลุ่ม No.7.5 เป็นโครงสร้างที่ผสมผสานกันระหว่าง โครงสร้างเหล็กเดิม และโครงสร้างที่เปลี่ยน ไปเนื่องจากกระบวนการเชื่อม หลังจากนั้นมาทำการพิจารณาปริมาณ Grain Size โดยเฉลี่ยบริเวณจุดบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนพบว่าปริมาณโดยเฉลี่ยของ Grain Size อยู่ที่ 120 ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเมื่อพิจารณากราฟค่าความแข็งเพื่อเปรียบเทียบกับจุด ข แล้วเหล็กเริ่มมีการเปลี่ยนโครงสร้างและเปลี่ยนกลุ่ม Grain Size ปริมาณ Grain Size เริ่มมีขนาดน้อยลงและเล็กกว่าบริเวณจุด ข จากที่ขนาดของเกรนมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้บริเวณนี้มีค่าความแข็งที่สูงกว่าบริเวณ ข หรือเนื้อโลหะเดิม

ภาพที่ 4.11 (ง) แสดงโครงสร้างบริเวณอินเทอร์เฟส โดยมีขอบเขตระหว่างบริเวณกระทร้อน กับ บริเวณขอบแนวเชื่อม เป็นบริเวณที่ใช้เม็ดเกรนร่วมกันระหว่างบริเวณกระทร้อนกับบริเวณแนวเชื่อม โดยจะแบ่งขอบเขตกันได้อย่างชัดเจน โดยลักษณะเม็ดเกรนบริเวณกระทร้อนมีขนาดใหญ่และเรียงตัวกันไม่สม่ำเสมอ ส่วนเม็ดเกรนบริเวณแนวเชื่อม มีลักษณะละเอียด และเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ ในบางจุดเม็ดเกรนบริเวณกระทร้อนจะมีการแทรกตัวของเม็ดเกรนเข้ามาอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม

ภาพที่ 4.11 (จ) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งมีลักษณะเม็ดเกรนที่ละเอียดและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในบางจุดมีเม็ดเกรนของบริเวณกระทร้อน มาแทรกตัวอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม และบางจุดมีเม็ดเกรนขนาดใหญ่ ซึ่งการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่ค่อยสม่ำเสมอ เนื่องจากมีการเย็นตัวลงที่แตกต่างกันในบริเวณแนวเชื่อมสำหรับในลำดับต่อมา ทำการพิจารณาค่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อม หลังจากพิจารณา พบว่า Grain Size อยู่ในกลุ่มโครงสร้าง No.10 ซึ่งเป็นกลุ่มโครงสร้างที่มีการยึดเกาะกันอย่างหนาแน่นและการเรียงตัวกันสม่ำเสมอ ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าขนาดเกรนไซส์ บริเวณเนื้อเชื่อมมีขนาดที่เล็กที่สุดมีปริมาณ 90 ต่อตารางนิ้ว

4.2.2 การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที





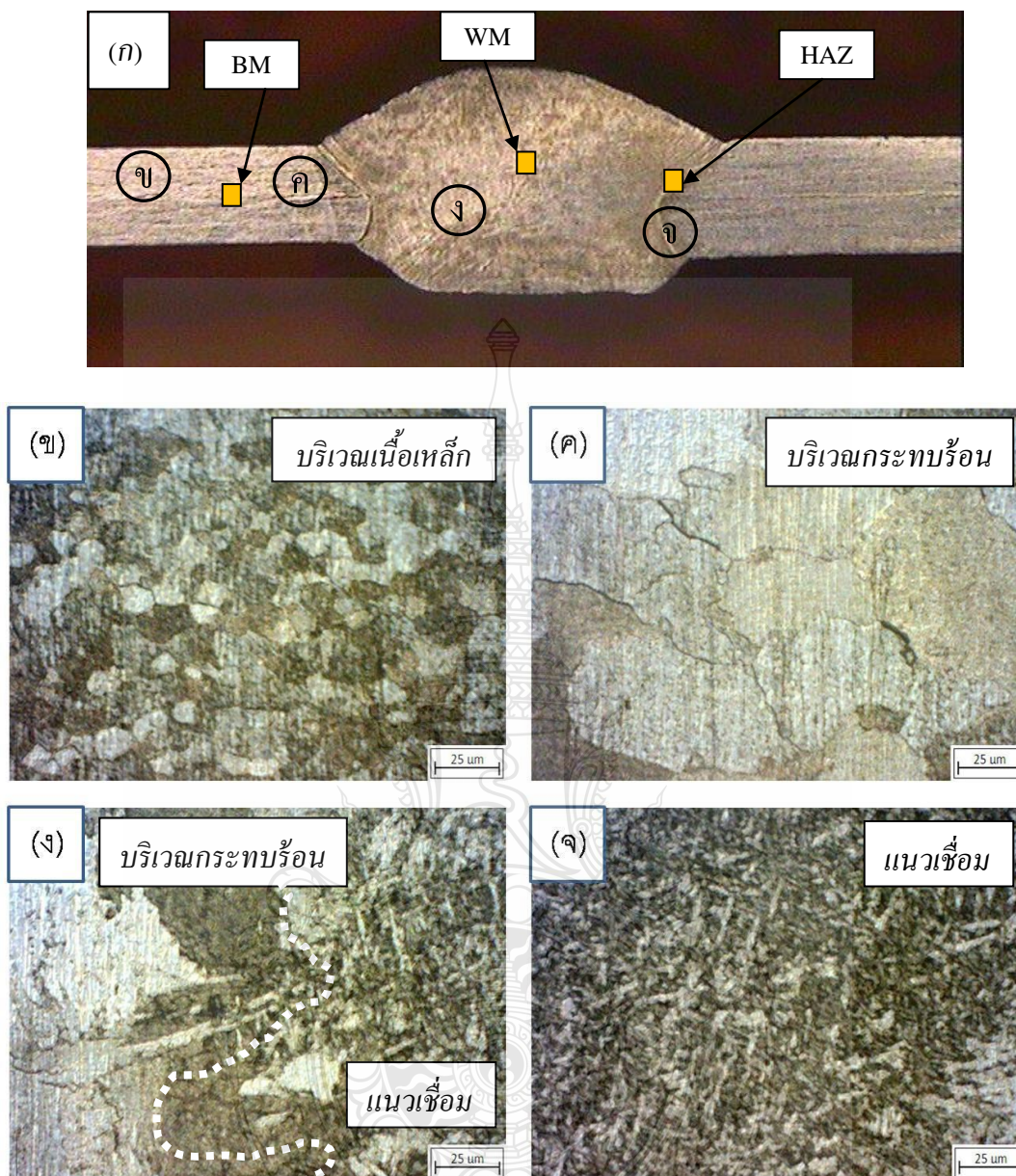
(ก) โครงสร้างมหภาค (ข) บริเวณเนื้อโลหะ (ค) บริเวณกระดาษร้อน
(ง) บริเวณกระดาษร้อน (จ) บริเวณแนวเชื่อม

ภาพที่ 4.12 โครงสร้างทางจุลภาค 60 แอมแปร์ ความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ 4.12 แสดงโครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมเม็ก ที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในภาพที่ 4.12 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงาน โดยโครงสร้างของชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ต่างๆ คือ บริเวณเนื้อโลหะ บริเวณกระดาษร้อน บริเวณอินเทอร์เฟซระหว่างบริเวณกระดาษร้อนกับแนวเชื่อม และบริเวณแนวเชื่อม แสดงในภาพที่ 4.12 (ข) แสดงโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะ จากการตรวจสอบพบว่าลักษณะของเม็ดเกรนมีขนาดเล็กและกลมมนกระจายอยู่ในบริเวณเนื้อโลหะ ซึ่งมีการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนอย่างสม่ำเสมอในบริเวณเนื้อโลหะ เนื่องจากบริเวณนี้ไม่ได้รับอิทธิพลจากการเชื่อม จึงทำให้เม็ดเกรนมีลักษณะคล้ายกับเม็ดเกรนของเนื้อโลหะที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเชื่อมซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบที่จุดเดียวกันกับที่ความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าจุดนี้ไม่มีความ

แตกต่างกันมากนักในส่วนของคุณาเกรน การเรียงตัว และขนาดของคุณาเกรน แสดงในภาพที่ 4.12 (ค) แสดงโครงสร้างบริเวณกระทกร้อน จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างบริเวณกระทกร้อนมีขนาดเม็ดเกรนที่ใหญ่และค่อนข้างกลม การเรียงตัวของเม็ดเกรนและมีค่าความแข็งมากกว่าบริเวณเนื้อโลหะ ภาพที่ 4.12 (ข) เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากความร้อน แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่สม่ำเสมอในบริเวณกระทกร้อนแต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับที่ใช้กระแสไฟเดียวกันคือ 60 แอมแปร์ แต่มีความแตกต่างกันในส่วนของคุณาเร็วพบว่าบริเวณกระทกร้อนทั้ง 2 เงื่อนไขในการเชื่อมประกอบเริ่มมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่ส่งถ่ายไปยังชิ้นงานที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจากผลการทดลองนี้จะตรงกันกับผลงานวิจัยของ Rajashekhar S.Sharma ที่ทำการศึกษาระบวนการเชื่อมเลเซอร์ เทเลอร์แบบลค์ เหล็ก 780 ที่ความหนา 1.0 และ 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่าจากการใช้กำลังเลเซอร์ที่ 2 กิโลวัตต์ เริ่มต้นใช้ความเร็วที่ 70 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความเร็วเป็น 80 มิลลิเมตรต่อนาที และ 90 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานบริเวณกระทกร้อนเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่แตกต่างกันไป หลังจากนั้นได้สรุปงานวิจัยในครั้งนี้ไว้ว่า ความร้อนที่แตกต่างกันส่งผลต่อขนาดโครงสร้างของคุณาเกรนและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และยังสามารถสรุปไว้ว่าบริเวณ พื้นที่ผิวกระทกร้อนมีการเสียหายได้ง่ายสุดและมากกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากโลหะเชื่อมเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว อัตราการเย็นตัวอย่างรวดเร็วขณะอุณหภูมิสูงมีผลต่อขนาดของคุณาเกรนและสมบัติทางกลของเนื้อโลหะ ซึ่งแปรผันตามอุณหภูมิที่แตกต่างกันไป แสดงในภาพที่ 4.12 (ง) แสดงโครงสร้างบริเวณอินเทอร์เฟซ โดยมีขอบเขตระหว่างบริเวณกระทกร้อน กับ บริเวณขอบแนวเชื่อม เป็นบริเวณที่ใช้เม็ดเกรนร่วมกันระหว่างบริเวณกระทกร้อนกับบริเวณแนวเชื่อม โดยแบ่งขอบเขตกันได้อย่างชัดเจน โดยลักษณะเม็ดเกรนบริเวณกระทกร้อนมีขนาดใหญ่และเรียงตัวกันไม่สม่ำเสมอ ส่วนเม็ดเกรนบริเวณแนวเชื่อม มีลักษณะละเอียด และเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ ในบางจุดเม็ดเกรนบริเวณกระทกร้อนมีการแทรกตัวของเม็ดเกรนเข้ามาอยู่ในบริเวณแนวเชื่อมมากกว่าปกติ แสดงในภาพที่ 4.12 (จ) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งมีลักษณะเม็ดเกรนที่ละเอียด และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และในบางจุดมีลักษณะเม็ดเกรนที่แตกต่างไปจากบริเวณอื่น อาจมีสาเหตุมาจากการเย็นตัวเร็วของการเชื่อมและการเติมเนื้อโลหะเข้าไปผสมกับเนื้อโลหะเดิม

4.2.3 การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที

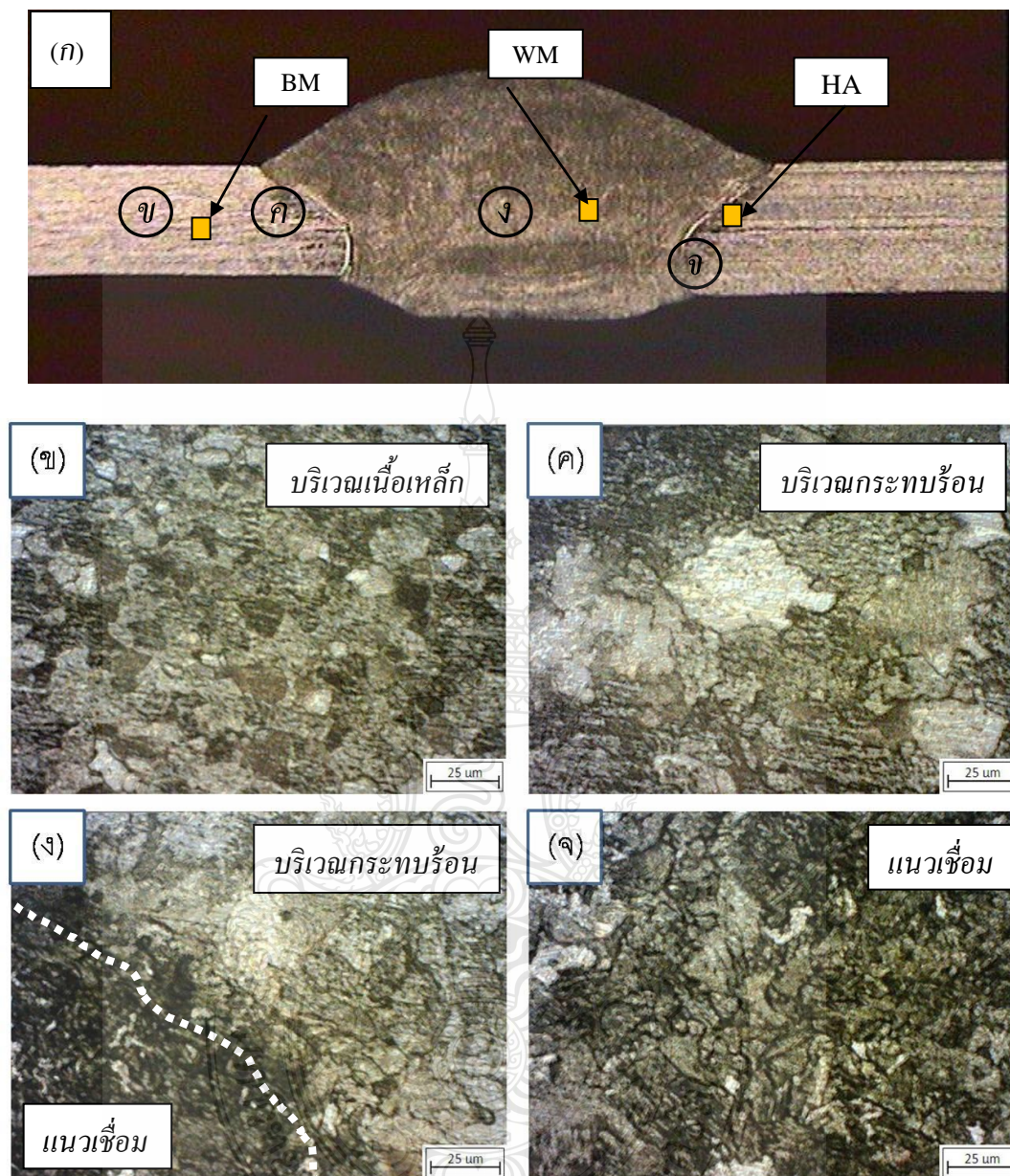


(ก) โครงสร้างมหภาค (ข) บริเวณเนื้อโลหะ (ค) บริเวณกระทบร้อน
(ง) บริเวณกระทบร้อน (จ) บริเวณแนวเชื่อม

ภาพที่ 4.13 โครงสร้างทางจุลภาค 60 แอมแปร์ ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ 4.13 แสดงโครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแม่เหล็ก ที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในภาพที่ 4.13 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงาน โดยโครงสร้างของชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ต่างๆ คือ บริเวณเนื้อโลหะบริเวณกระทะร้อน บริเวณอินเทอร์เฟซระหว่างบริเวณกระทะร้อนกับแนวเชื่อม และบริเวณแนวเชื่อม แสดงในภาพที่ 4.13 (ข) แสดงโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะ จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างมีลักษณะเม็ดเกรนที่ขนาดเล็กและกลมมน พร้อมทั้งมีการกระจายตัวของเม็ดเกรนอย่างสม่ำเสมอ แต่มีการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบในบริเวณเนื้อโลหะ เนื่องจากบริเวณนี้ไม่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากแนวเชื่อมจึงทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงและเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเร็วที่ผ่านมา คือ 60 มิลลิเมตรต่อนาที และ 70 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าบริเวณนี้มีรูปแบบที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งอยู่ในกลุ่มของเกรนไซส์เดียวกัน แสดงในภาพที่ 4.13 (ค) แสดงโครงสร้างบริเวณกระทะร้อน จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างบริเวณกระทะร้อนมีการเรียงตัวของเม็ดเกรนดีกว่าบริเวณเนื้อโลหะ (ภาพที่ 4.13 (ข)) เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากความร้อนจึงทำให้เม็ดเกรนมารวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยเม็ดเกรนมีลักษณะค่อนข้างกลม แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่สม่ำเสมอในบริเวณกระทะร้อน แสดงในภาพที่ 4.13 (ง) แสดงโครงสร้างบริเวณอินเทอร์เฟซ โดยมีขอบเขตระหว่างบริเวณกระทะร้อน กับบริเวณขอบแนวเชื่อมเป็นบริเวณที่ใช้เม็ดเกรนร่วมกันระหว่างบริเวณกระทะร้อนกับบริเวณแนวเชื่อม โดยแบ่งขอบเขตกันได้อย่างชัดเจน โดยลักษณะเม็ดเกรนบริเวณกระทะร้อนมีขนาดใหญ่และเรียงตัวติดกัน ส่วนเม็ดเกรนบริเวณแนวเชื่อม มีลักษณะละเอียด และกระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอ แต่มีบางจุดที่เม็ดเกรนบริเวณกระทะร้อนเข้ามาแทรกตัวอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งเม็ดเกรนมีขนาดค่อนข้างใหญ่ เนื่องจากบริเวณมีการเย็นลงก่อนที่เม็ดเกรนมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แสดงในภาพที่ 4.13 (จ) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งมีลักษณะเม็ดเกรนที่ละเอียด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งยังมีเม็ดเกรนของบริเวณกระทะร้อน มาแทรกตัวอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม โดยมีการกระจายตัวอยู่ทั่วบริเวณแนวเชื่อมซึ่งเกรนมีขนาดค่อนข้างใหญ่การจัดกลุ่มโครงสร้างของเกรนอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับที่ ความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที และ 70 มิลลิเมตรต่อนาที อยู่ในกลุ่ม No. 10 มีปริมาณเกรนไซส์โดยเฉลี่ยที่ 90 -100 ต่อดารานี้

4.2.4 การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที



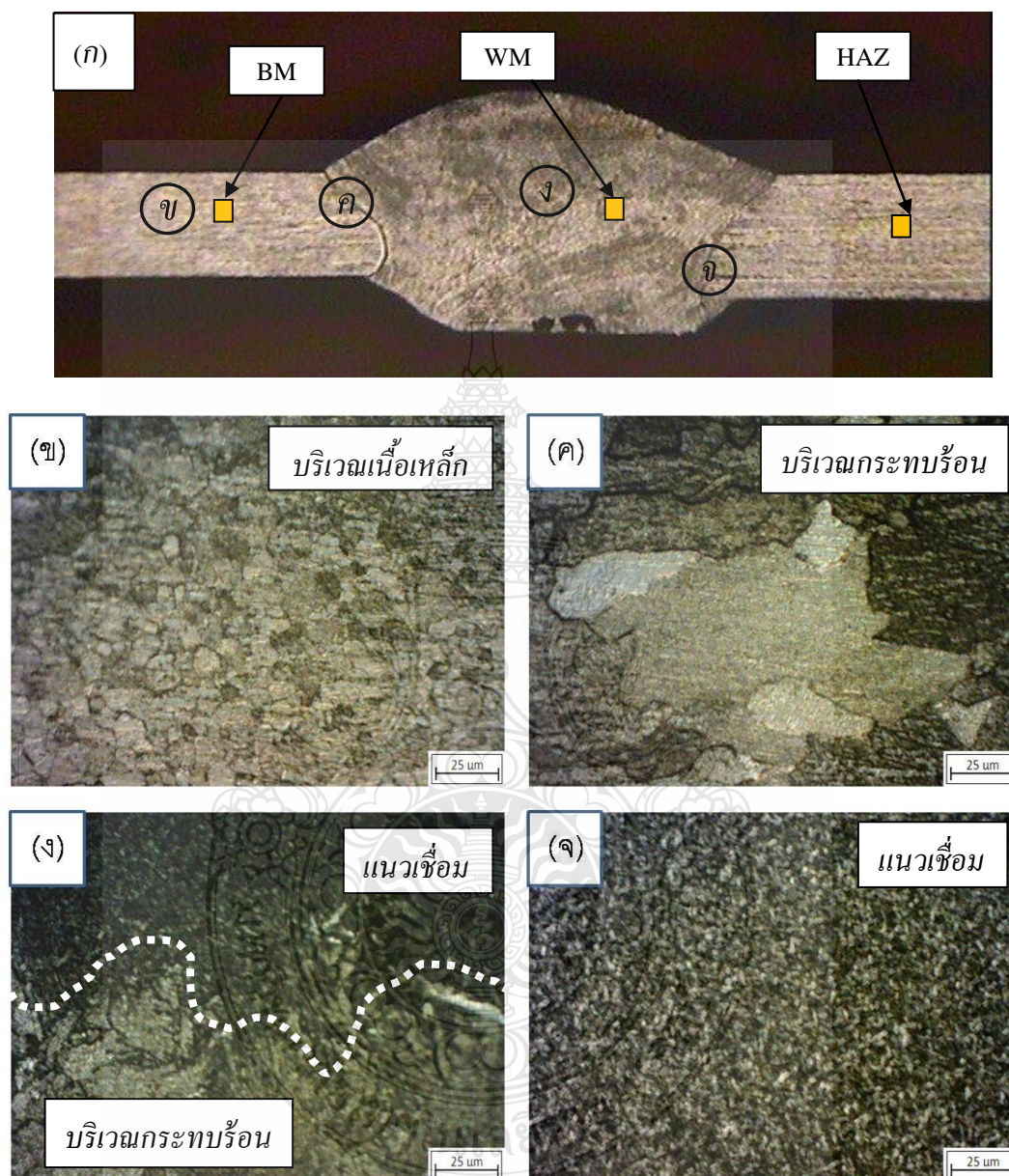
(ก) โครงสร้างมหภาค (ข) บริเวณเนื้อโลหะ (ค) บริเวณกระทบบร้อน
(ง) บริเวณกระทบบร้อน (จ) บริเวณแนวเชื่อม

ภาพที่ 4.14 โครงสร้างทางจุลภาค 70 แอมแปร์ ความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ 4.14 แสดงโครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแม่เหล็กที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในภาพที่ 4.14 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาค

ของชิ้นงาน โดยโครงสร้างของชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ต่างๆ คือ บริเวณเนื้อโลหะ บริเวณกระทืบร้อน บริเวณอินเทอร์เฟซระหว่างบริเวณกระทืบร้อนกับแนวเชื่อม และ บริเวณแนวเชื่อม แสดงในภาพที่ 4.14 (ข) แสดงโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะ จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างของเม็ดเกรนมีขนาดเล็กลักษณะกลมมน การเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนอย่างสม่ำเสมอในบริเวณเนื้อโลหะ เนื่องมาจากบริเวณนี้ไม่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนของแนวเชื่อมจึงทำให้ลักษณะของเม็ดเกรนไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงและเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ กระแสเชื่อม 60 แอมแปร์ พบว่าไม่ค่อยมีความแตกต่างกันมากนัก แสดงในภาพที่ 4.14 (ค) แสดงโครงสร้างบริเวณกระทืบร้อน จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างบริเวณกระทืบร้อนมีการรวมตัวกันของเม็ดเกรนจึงทำให้เม็ดเกรนบริเวณนี้มีขนาดใหญ่ขึ้นและการเรียงตัวก็ดีกว่าบริเวณเนื้อโลหะ แสดงในภาพที่ 4.14 (ง) แสดงโครงสร้างบริเวณอินเทอร์เฟซ โดยมีขอบเขตระหว่างบริเวณกระทืบร้อน กับ บริเวณขอบแนวเชื่อม เป็นบริเวณที่ใช้เม็ดเกรนร่วมกันระหว่างบริเวณกระทืบร้อนกับบริเวณแนวเชื่อมโดยแบ่งขอบเขตกันได้ชัดเจน โดยลักษณะเม็ดเกรนบริเวณกระทืบร้อนมีขนาดใหญ่และเรียงตัวกันไม่สม่ำเสมอ ส่วนเม็ดเกรนบริเวณแนวเชื่อม มีลักษณะละเอียด และเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ แสดงในภาพที่ 4.14 (จ) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งมีลักษณะเม็ดเกรนที่ละเอียดและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในบางจุดมีเม็ดเกรนของบริเวณกระทืบร้อน มาแทรกตัวอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม และบางจุดมีเม็ดเกรนขนาดใหญ่ ซึ่งการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่ค่อยสม่ำเสมอ เนื่องจากมีการเย็นตัวลงที่แตกต่างกันในบริเวณแนวเชื่อม และจากผลการทดลองที่เกิดขึ้นทำการเปรียบเทียบกับที่สภาวะการเชื่อม 60 แอมแปร์ พบว่าที่กระแสการเชื่อม 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 60 มิลลิเมตรต่อนาที ขนาดของเกรนมีขนาดที่เล็กลงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งที่ได้จากการทดสอบ กล่าวคือขนาดของเกรนที่มีการจัดเรียงตัวกันหนาแน่นขึ้นมีขนาดเกรนที่เล็กลง ส่งผลให้สมบัติทางกล หรือค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นตามมา ซึ่งจากข้อมูลความสัมพันธ์ เบื้องต้นตรงกับผลงานการวิจัยของ E.Bayraktar และ D.Kaplan ในงานวิจัย คุณสมบัติทางกลและโลหะวิทยา ของชิ้นงานหลังการเชื่อม เลเซอร์เทเลอร์เบลนค์ เหล็กกล้าคาร์บอนที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน 3 เกรด คือ Fe360-a ความหนา 4 มิลลิเมตร IF-Ti ความหนา 0.8 มิลลิเมตร และ HR60 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร จากนั้นทำการทดสอบโดยกำหนดตัวแปรในการเชื่อมต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ ระหว่างการทดสอบความแข็งแรงกด การทดสอบความต้านแรงดึง และตรวจสอบ โครงสร้างทางโลหะวิทยา เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ ของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการเชื่อมเลเซอร์ ซึ่งจากการทดลองพบว่า คุณสมบัติทางกล และ โครงสร้างทางโลหะวิทยา มีความสัมพันธ์กัน อย่างชัดเจน

4.2.5 การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดิน
แนวเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที

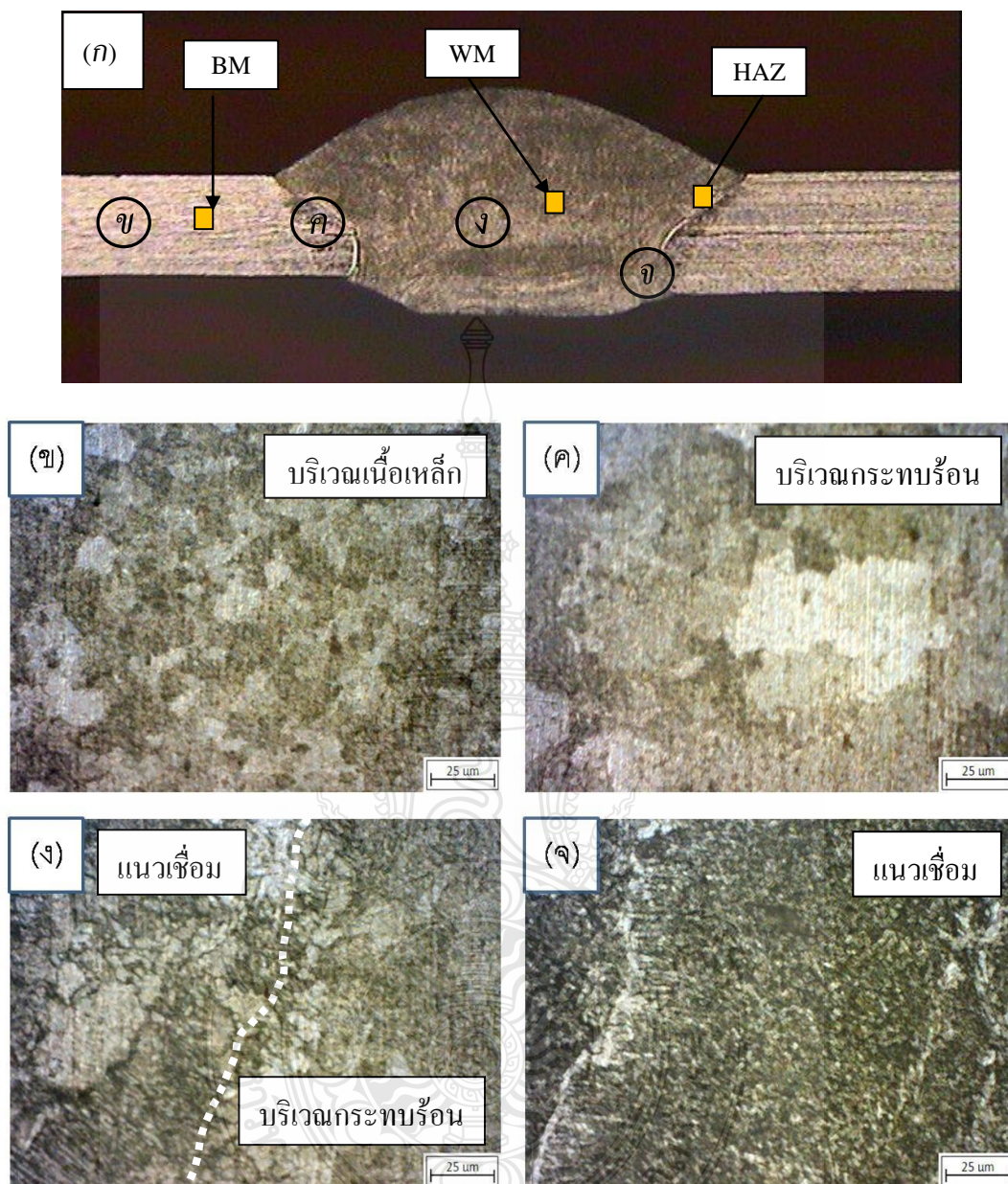


- (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) บริเวณเนื้อโลหะ (ค) บริเวณกระทบร้อน
(ง) บริเวณกระทบร้อน (จ) บริเวณแนวเชื่อม

ภาพที่ 4.15 โครงสร้างทางจุลภาค 70 แอมแปร์ ความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ 4.15 แสดงโครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแม่เหล็ก ที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในภาพที่ 4.15 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่ โดยโครงสร้างของชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ต่างๆ คือ บริเวณเนื้อโลหะ บริเวณกระทะร้อน บริเวณอินเทอร์เฟซระหว่างบริเวณกระทะร้อนกับแนวเชื่อม และ บริเวณแนวเชื่อม แสดงในภาพที่ 4.15 (ข) แสดงโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะ จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างของเม็ดเกรนมีการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนอย่างสม่ำเสมอในบริเวณเนื้อโลหะ และโครงสร้างเม็ดเกรนมีขนาดเล็ก ลักษณะกลมมนกระจายอยู่ในบริเวณเนื้อโลหะ แสดงในภาพที่ 4.15 (ค) แสดงโครงสร้างบริเวณกระทะร้อน จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างบริเวณกระทะร้อนมีการเรียงตัวของเม็ดเกรนดีกว่าบริเวณเนื้อโลหะ (ภาพที่ 4.15 (ข)) เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากความร้อนจึงทำให้เม็ดเกรนมารวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยเม็ดเกรนมีลักษณะค่อนข้างกลม แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่สม่ำเสมอในบริเวณกระทะร้อน แสดงในภาพที่ 4.15 (ง) แสดงโครงสร้างบริเวณอินเทอร์เฟซ โดยมีขอบเขตระหว่างบริเวณกระทะร้อน กับ บริเวณขอบแนวเชื่อม เป็นบริเวณที่ใช้เม็ดเกรนร่วมกันระหว่างบริเวณกระทะร้อนกับบริเวณแนวเชื่อม โดยแบ่งขอบเขตกันได้อย่างชัดเจน โดยลักษณะเม็ดเกรนบริเวณกระทะร้อนมีขนาดใหญ่และเรียงตัวกันไม่สม่ำเสมอ ส่วนเม็ดเกรนบริเวณแนวเชื่อม มีลักษณะละเอียด และเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ และไม่ค่อยมีเม็ดเกรนบริเวณกระทะร้อนไปแทรกตัวอยู่ แสดงในภาพที่ 4.15 (จ) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งมีลักษณะเม็ดเกรนที่เล็ก และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และจากการตรวจสอบไม่พบโพรงอากาศในบริเวณแนวเชื่อม ในบางจุดมีเม็ดเกรนของบริเวณกระทะร้อน มาแทรกตัวอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม แต่ก็ได้รับความร้อนจึงทำให้เม็ดเกรนมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอไปทั่วบริเวณ และที่กระแสเชื่อมที่ 70 แอมแปร์ ใช้ความเร็วในการเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่า ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าแนวเชื่อมมีคุณภาพที่สมบูรณ์ที่สุด กว่าทุกๆ เงื่อนไขที่กำหนดในการทดลอง ทั้งในส่วนของความแข็งแรงกด ความต้านทานแรงดึง ความปกติสมบูรณ์ ของแนวเชื่อมและ โครงสร้างจุลภาค

4.2.6 การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที



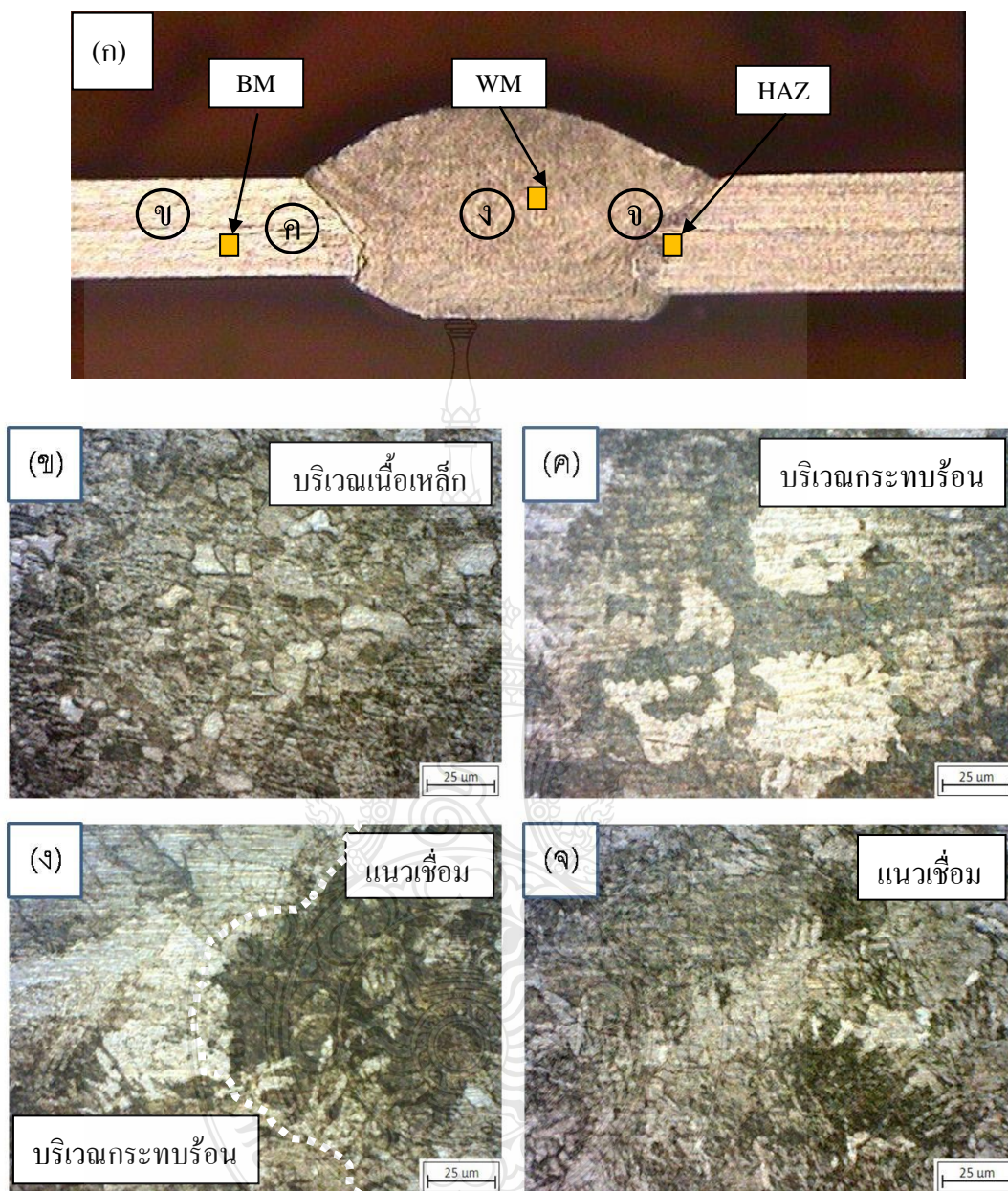
(ก) โครงสร้างมหภาค (ข) บริเวณเนื้อโลหะ (ค) บริเวณกระทบร้อน
 (ง) บริเวณกระทบร้อน (จ) บริเวณแนวเชื่อม

ภาพที่ 4.16 โครงสร้างทางจุลภาค 70 แอมแปร์ ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ 4.16 แสดงโครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแม่เหล็ก ที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในภาพที่ 4.16 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงาน โดยโครงสร้างของชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ต่างๆ คือ บริเวณเนื้อโลหะ บริเวณกระทกร้อน บริเวณอินเทอร์เฟซระหว่างบริเวณกระทกร้อนกับแนวเชื่อม และ บริเวณแนวเชื่อม แสดงในภาพที่ 4.16 (ข) แสดงโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะ จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างเม็ดเกรนของเนื้อโลหะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและเม็ดเกรนก็มีขนาดเล็ก แต่มีการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบอยู่ในบริเวณเนื้อโลหะ และเนื่องจากบริเวณนี้ไม่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากการเชื่อมจึงทำให้ลักษณะของเม็ดเกรน ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงจากเดิม

แสดงในภาพที่ 4.16 (ค) แสดงโครงสร้างบริเวณกระทกร้อน จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างบริเวณกระทกร้อนจะมีการเรียงตัวของเม็ดเกรนดีกว่าบริเวณเนื้อโลหะ (ภาพที่ 4.16 (ข)) เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากความร้อนจึงทำให้เม็ดเกรนมารวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยเม็ดเกรนมีลักษณะค่อนข้างกลม แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่สม่ำเสมอในบริเวณกระทกร้อน แสดงในภาพที่ 4.16 (ง) แสดงโครงสร้างบริเวณอินเทอร์เฟซ โดยมีขอบเขตระหว่างบริเวณกระทกร้อนกับ บริเวณขอบแนวเชื่อม เป็นบริเวณที่ใช้เม็ดเกรนร่วมกันระหว่างบริเวณกระทกร้อนกับบริเวณแนวเชื่อมโดยจะแบ่งขอบเขตกันได้อย่างชัดเจน โดยลักษณะเม็ดเกรนบริเวณกระทกร้อนจะมีขนาดใหญ่ และเรียงตัวกันไม่สม่ำเสมอ ส่วนเม็ดเกรนบริเวณแนวเชื่อม มีลักษณะละเอียด และเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ ในบางจุดเม็ดเกรนบริเวณกระทกร้อนมีการแทรกตัวของเม็ดเกรนเข้ามาอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม จึงทำให้ขนาดของเม็ดเกรนในบางส่วนมีขนาดใหญ่ แสดงในภาพที่ 4.16 (จ) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งจะมีลักษณะเม็ดเกรนที่ละเอียด และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในบางจุดมีเม็ดเกรนของบริเวณกระทกร้อน มาแทรกตัวอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม จึงทำให้บางจุดมีเม็ดเกรนขนาดใหญ่ ซึ่งการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่ค่อยสม่ำเสมอ เนื่องจากมีการเย็นตัวลงที่แตกต่างกันในบริเวณแนวเชื่อม

4.2.7 การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที

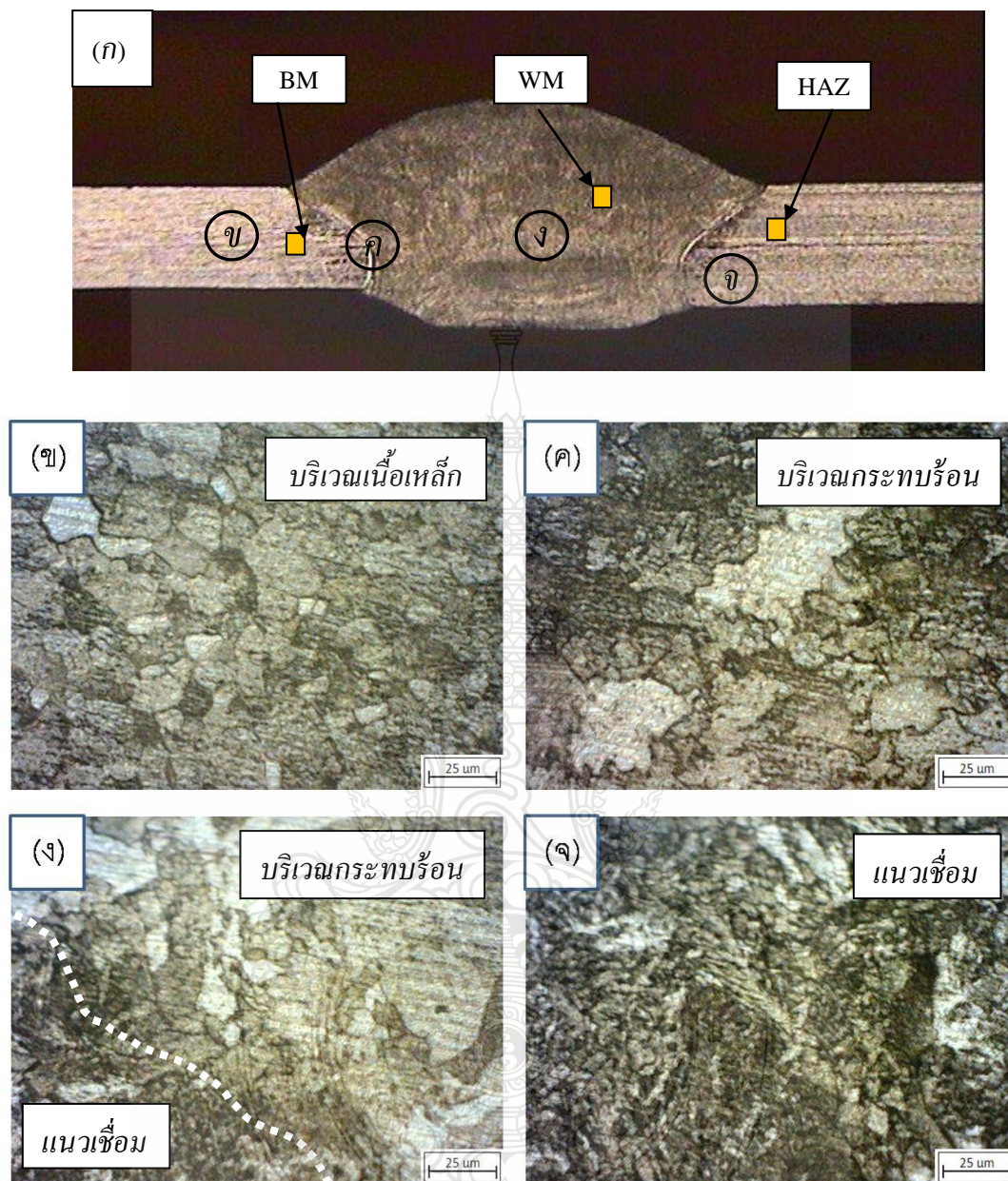


(ก) โครงสร้างมหภาค (ข) บริเวณเนื้อโลหะ (ค) บริเวณกระแทบร้อน
 (ง) บริเวณกระแทบร้อน (จ) บริเวณแนวเชื่อม

ภาพที่ 4.17 โครงสร้างทางจุลภาค 80 แอมแปร์ ความเร็ว 60 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ 4.17 แสดงโครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแม่เหล็กที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในภาพที่ 4.17 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงาน โดยโครงสร้างของชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ต่างๆ คือ บริเวณเนื้อโลหะ บริเวณกระทกร้อน บริเวณอินเทอร์เฟซระหว่างบริเวณกระทกร้อนกับแนวเชื่อม และ บริเวณแนวเชื่อม แสดงในภาพที่ 4.17 (ข) แสดงโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะ จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างของเม็ดเกรนมีการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนอย่างสม่ำเสมอในบริเวณเนื้อโลหะ และโครงสร้างเม็ดเกรนมีขนาดเล็ก ลักษณะกลมมนกระจายอยู่ในบริเวณเนื้อโลหะ และเนื่องด้วยบริเวณนี้ไม่ได้รับอิทธิพลจากความของแนวเชื่อมจึงทำให้เม็ดเกรนมีลักษณะคล้ายกับเม็ดเกรนของเหล็กก่อนที่จะทำการเชื่อม แสดงในภาพที่ 4.17 (ค) แสดงโครงสร้างบริเวณกระทกร้อน จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างบริเวณกระทกร้อนจะมีการเรียงตัวของเม็ดเกรนดีกว่าบริเวณเนื้อโลหะ (ภาพที่ 4.17 (ข)) เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากความร้อนจึงทำให้เม็ดเกรนมารวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยเม็ดเกรนมีลักษณะค่อนข้างกลม แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่สม่ำเสมอในบริเวณกระทกร้อนและ จากผลการทดลองทำการเปรียบเทียบกับที่ กระแสเชื่อม 60 แอมแปร์ และ 70 แอมแปร์ พบว่าบริเวณพื้นผิวกระทกร้อนของที่กระแสเชื่อม 80 แอมแปร์ เริ่มที่มีความแตกต่างจาก 2 เงื่อนไขที่ผ่านมาทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้น ในการทดลองเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีขนาดบาง และมีความแตกต่างในสำหรับสัดส่วนความหนาของชิ้นงานพบว่า เกรนเริ่มมีการเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ แสดงในภาพที่ 4.17 (ง) แสดงโครงสร้างบริเวณอินเทอร์เฟซ โดยมีขอบเขตระหว่างบริเวณกระทกร้อน กับ บริเวณขอบแนวเชื่อม เป็นบริเวณที่ใช้เม็ดเกรนร่วมกันระหว่างบริเวณกระทกร้อนกับบริเวณแนวเชื่อมโดยแบ่งขอบเขตกันได้อย่างชัดเจน โดยลักษณะเม็ดเกรนบริเวณกระทกร้อนมีขนาดใหญ่และเรียงตัวกันไม่สม่ำเสมอ ส่วนเม็ดเกรนบริเวณแนวเชื่อม มีลักษณะละเอียด และเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ ในบางจุดเม็ดเกรนบริเวณกระทกร้อนมีการแทรกตัวของเม็ดเกรนเข้ามาอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม แสดงในภาพที่ 4.17 (จ) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมซึ่งมีลักษณะเม็ดเกรนที่ละเอียด และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในบางจุดมีเม็ดเกรนของบริเวณกระทกร้อน มาแทรกตัวอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม และบางจุดจะมีเม็ดเกรนขนาดใหญ่ ซึ่งการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่ค่อยสม่ำเสมอ เนื่องจากมีการเย็นตัวลงที่แตกต่างกันในบริเวณแนวเชื่อม

4.2.8 การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที

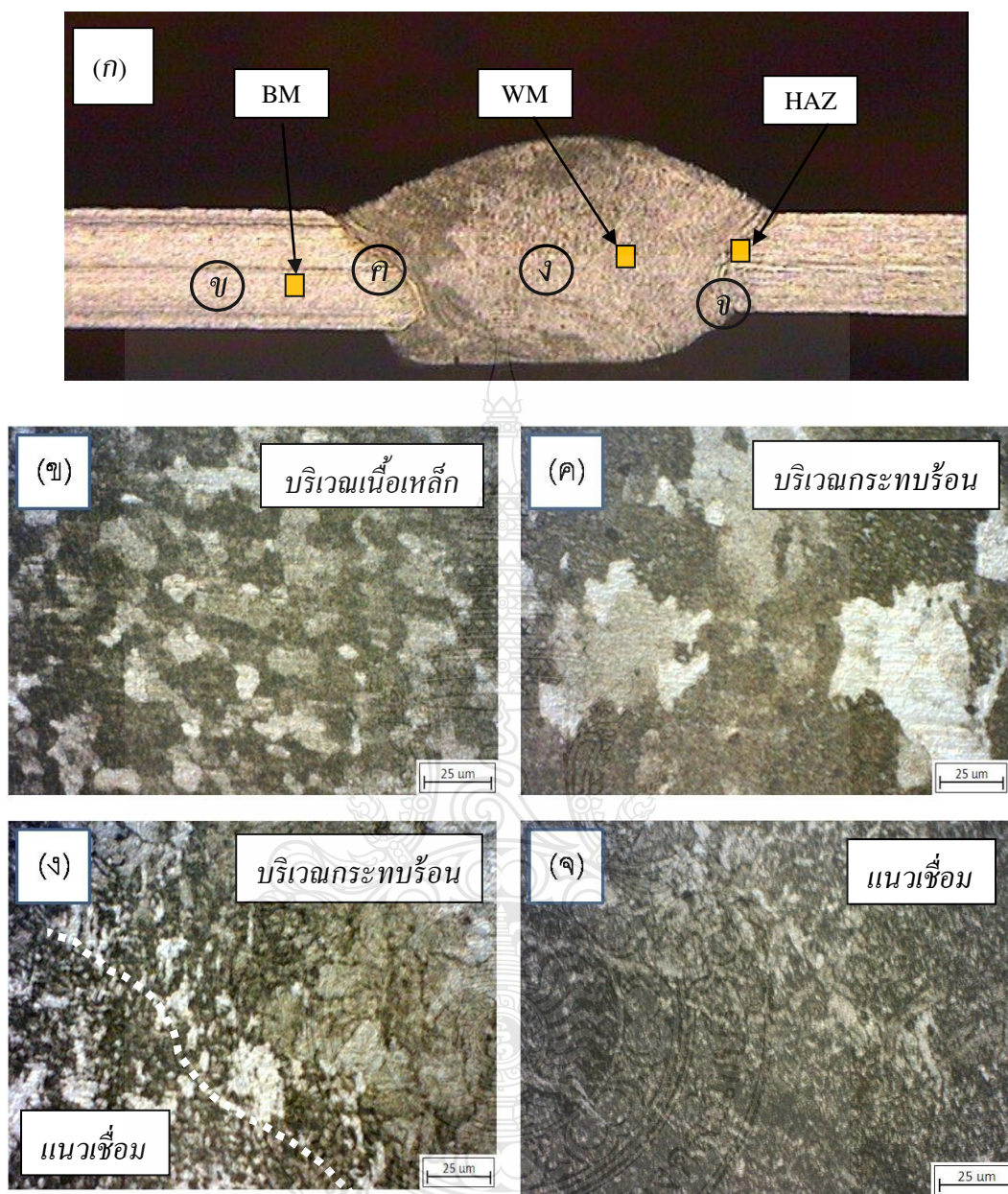


(ก) โครงสร้างมหภาค (ข) บริเวณเนื้อโลหะ (ค) บริเวณกระทบร้อน
 (ง) บริเวณกระทบร้อน (จ) บริเวณแนวเชื่อม

ภาพที่ 4.18 โครงสร้างทางจุลภาค 80 แอมแปร์ ความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ 4.18 แสดงโครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแม่เหล็ก ที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในภาพที่ 4.18 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่ โดยโครงสร้างของชิ้นงานสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ต่างๆ คือ บริเวณเนื้อโลหะ บริเวณกระทกร้อน บริเวณอินเทอร์เฟซระหว่างบริเวณกระทกร้อนกับแนวเชื่อม และ บริเวณแนวเชื่อม แสดงในภาพที่ 4.18 (ข) แสดงโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะ จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างของเม็ดเกรนมีลักษณะกลมมน เม็ดเกรนก็มีขนาดเล็ก แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนอย่างสม่ำเสมอในบริเวณเนื้อโลหะ แสดงในภาพที่ 4.18 (ค) แสดงโครงสร้างบริเวณกระทกร้อน จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างของเม็ดเกรนบริเวณกระทกร้อนนั้น มีขนาดใหญ่และเรียงตัวดีกว่าบริเวณเนื้อโลหะ แต่มีลักษณะกลมมนคล้ายกัน แสดงในภาพที่ 4.18 (ง) แสดงโครงสร้างบริเวณอินเทอร์เฟซ โดยมีขอบเขตระหว่างบริเวณกระทกร้อน กับ บริเวณขอบแนวเชื่อม ซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้เม็ดเกรนร่วมกันระหว่างบริเวณกระทกร้อนกับบริเวณแนวเชื่อม โดยจะแบ่งขอบเขตกันได้อย่างชัดเจน โดยลักษณะเม็ดเกรนบริเวณกระทกร้อนมีขนาดใหญ่และเรียงตัวกันไม่สม่ำเสมอ ส่วนเม็ดเกรนบริเวณแนวเชื่อมจะมีลักษณะละเอียด และเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ ในบางจุดเม็ดเกรนบริเวณกระทกร้อนจะมีการแทรกตัวของเม็ดเกรนเข้ามาอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม จึงทำให้บางจุดมีขนาดเม็ดเกรนที่ใหญ่ แสดงในภาพที่ 4.18 (จ) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งมีลักษณะเม็ดเกรนที่ละเอียด และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในบางจุดมีเม็ดเกรนของบริเวณกระทกร้อน มาแทรกตัวอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม และบางจุดมีเม็ดเกรนขนาดใหญ่ ซึ่งการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่ค่อยสม่ำเสมอ เนื่องจากมีการเย็นตัวลงที่แตกต่างกันในบริเวณแนวเชื่อม

4.2.9 การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที



(ก) โครงสร้างมหภาค (ข) บริเวณเนื้อโลหะ (ค) บริเวณกระตบร้อน
 (ง) บริเวณกระตบร้อน (จ) บริเวณเนื้อเหล็ก

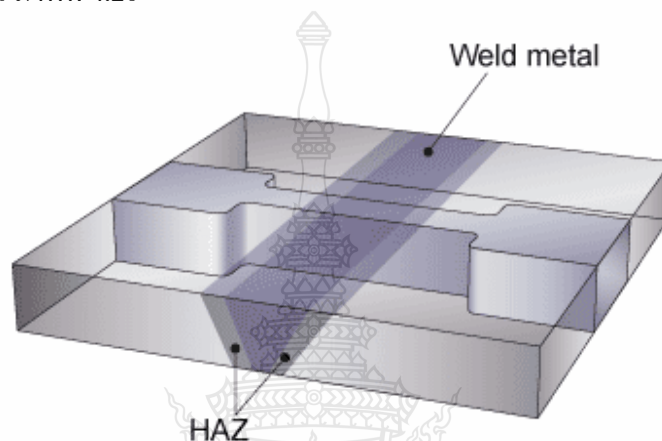
ภาพที่ 4.19 โครงสร้างทางจุลภาค 80 แอมแปร์ ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ 4.19 แสดงโครงสร้างของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแม่เหล็กที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในภาพที่ 4.19 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานในภาพที่ 4.19 (ข) แสดงโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะ จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างมีการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนอย่างสม่ำเสมอในบริเวณเนื้อโลหะ และโครงสร้างเม็ดเกรนมีขนาดเล็ก ลักษณะกลมมนกระจายอยู่ในบริเวณเนื้อโลหะซึ่งหลังจากจัดกลุ่มเกรนแล้ว อยู่กลุ่มเดียวกันกับที่ กระแส 60 แอมแปร์ และ 70 แอมแปร์ แสดงในภาพที่ 4.19 (ค) แสดงโครงสร้างบริเวณกระทะร้อน จากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างบริเวณกระทะร้อนมีการเรียงตัวของเม็ดเกรนดีกว่าบริเวณเนื้อโลหะ (ภาพที่ 4.19 (ข)) เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากความร้อนจึงทำให้เม็ดเกรนมารวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยเม็ดเกรนมีลักษณะค่อนข้างกลม แต่มีการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่สม่ำเสมอในบริเวณกระทะร้อน แสดงในภาพที่ 4.19 (ง) แสดงโครงสร้างบริเวณอินเทอร์เฟซ โดยมีขอบเขตระหว่างบริเวณกระทะร้อน กับ บริเวณขอบแนวเชื่อม เป็นบริเวณที่ใช้เม็ดเกรนร่วมกันระหว่างบริเวณกระทะร้อนกับบริเวณแนวเชื่อม โดยแบ่งขอบเขตกันได้อย่างชัดเจน โดยลักษณะเม็ดเกรนบริเวณกระทะร้อนมีขนาดใหญ่และเรียงตัวกันไม่สม่ำเสมอ ส่วนเม็ดเกรนบริเวณแนวเชื่อม มีลักษณะละเอียด และเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ และจากการตรวจสอบพบว่ามีเม็ดเกรนของผิวโลหะเข้าไปแทรกตัวอยู่เป็นจำนวนมาก แสดงในภาพที่ 4.19 (จ) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งมีลักษณะเม็ดเกรนที่ละเอียด และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แต่มีเม็ดเกรนของบริเวณกระทะร้อน มาแทรกตัวอยู่ในบริเวณแนวเชื่อม และบางจุดมีเม็ดเกรนขนาดใหญ่ ซึ่งการกระจายตัวของเม็ดเกรนไม่ค่อยสม่ำเสมอ เนื่องจากมีการเย็นตัวลงที่แตกต่างกันในบริเวณแนวเชื่อม

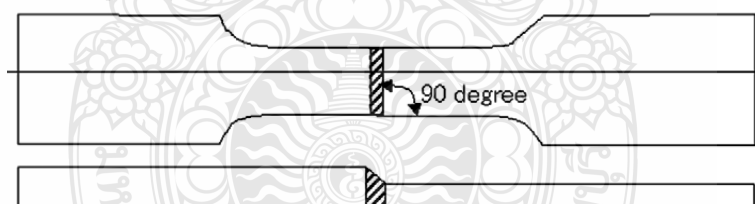
จากผลการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPEN โดยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก ผลจากการตรวจสอบทางโลหะวิทยาแสดงให้เห็นและสรุปได้ว่า เมื่อมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยในการเชื่อม คือ ค่ากระแส และ ความเร็วในการเชื่อม ที่แตกต่างกันส่งผลต่อโครงสร้างทางโลหะวิทยาและการหลอมละลายของโลหะ กล่าวคือ เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกล และ โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการเชื่อมพบว่า การกำหนดปัจจัยต่างๆในการเชื่อมส่งผลต่อคุณภาพของงานเชื่อมด้วย เช่น แนวเชื่อมที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ รวมถึงการไม่ซึมลึกของแนวเชื่อมกับชิ้นงาน และเมื่อมาทำการพิจารณาลักษณะของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการเชื่อม โดยการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคก็ให้ผลเช่นเดียวกัน กล่าวคือ ในขณะที่ค่าตัวแปรงานเชื่อมต่างได้ปรับเปลี่ยนไป คุณภาพของงานเชื่อมก็จะแตกต่างกันด้วย

4.1.2 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)

การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) ชิ้นงานหลังจากผ่านกระบวนการเชื่อมเทเลอร์-แบงก์ ด้วยกรรมวิธีเชื่อมแม่เหล็กแบบต่อชนที่ความหนาเหล็ก 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร แสดงในภาพที่ 4.15 โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPCEN ตามสภาวะงานเชื่อมต่างๆที่กำหนดข้างต้น ซึ่งใช้มาตรฐานการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1 M : 2004 ดังแสดงใน ภาพที่ 4.20



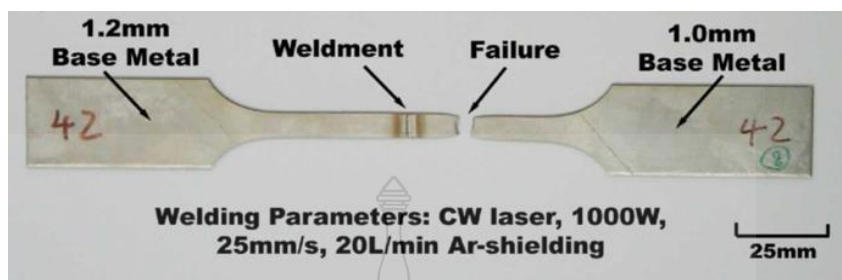
ภาพที่ 4.20 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึง



ภาพที่ 4.21 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน AWS D1.1M2006

ซึ่งหลังจากการทดสอบแรงดึง ตามเงื่อนไขต่างๆ พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแม่เหล็ก โดยใช้วิธีแบบเทเลอร์-แบงก์ ที่ความหนาเหล็ก 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงดึงขาดที่ความหนาเหล็ก 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งจากผลการทดลองทำให้ไม่สามารถทราบความต้านแรงดึงที่แท้จริงของแนวเชื่อมได้ ซึ่งจากผลการทดสอบแรงดึงเบื้องต้นผลการทดลองลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกันกับผลการทดลอง C.H. Cheng^a , และ L.C.Chan^a ที่ทำการทดลองเชื่อม Laser Tailor-Blanks โดยใช้สแตนเลส (Stainless) ที่มีความหนาต่างกันคือ 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร

เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่า Stress-Strain แต่จากการทดสอบแรงดึงในเบื้องต้น C.H. Cheng^a พบปัญหาชิ้นงานขาดที่สแตนเลส แผ่นบางเหมือนกัน ดังภาพที่ 4.22



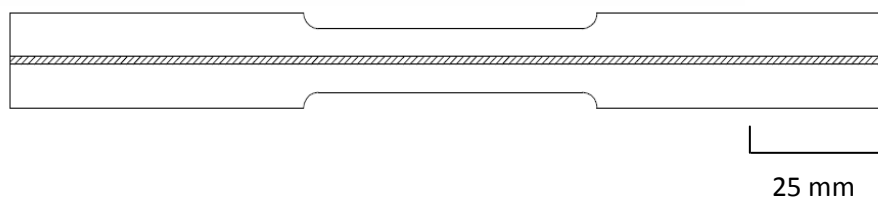
ความหนา 1.0 มิลลิเมตร

ความหนา 1.0 มิลลิเมตร

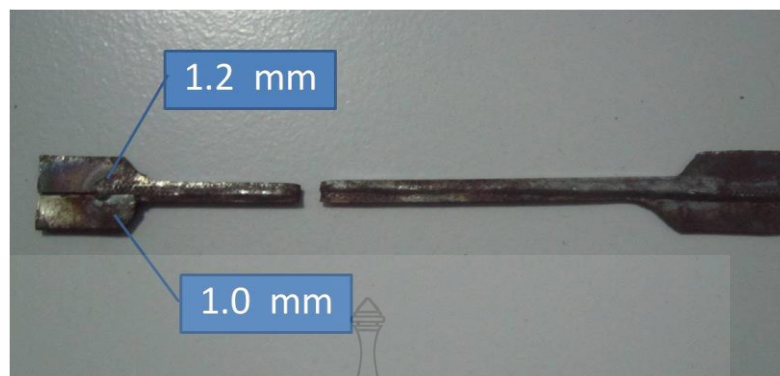


ภาพที่ 4.22 ชิ้นงานหลังผ่านการทดสอบแรงดึง [11]

หลังจากนั้นทำการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดลองใหม่โดยใช้วิธีทดสอบตามแนวตั้งฉากของแนวเชื่อม ดังแสดงในภาพที่ 4.23 ชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงดึง



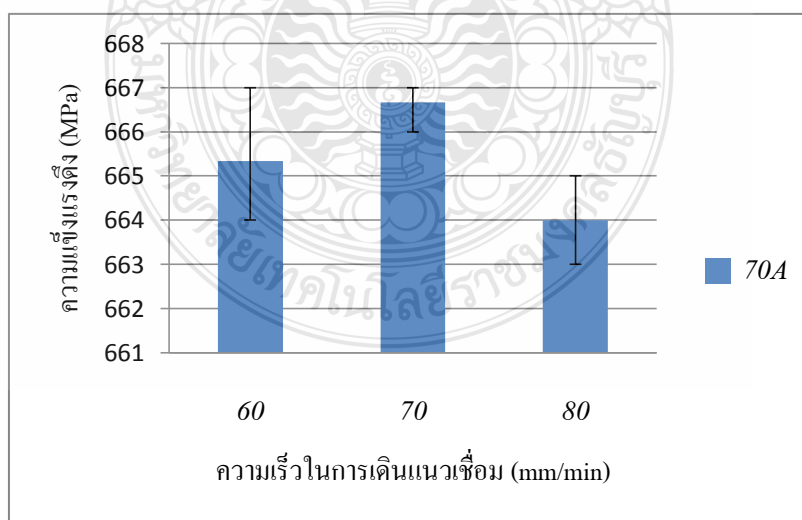
ภาพที่ 4.23 ชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8



ภาพที่ 4.24 ชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึงตามมาตรฐานมาตรฐาน ASTM E8

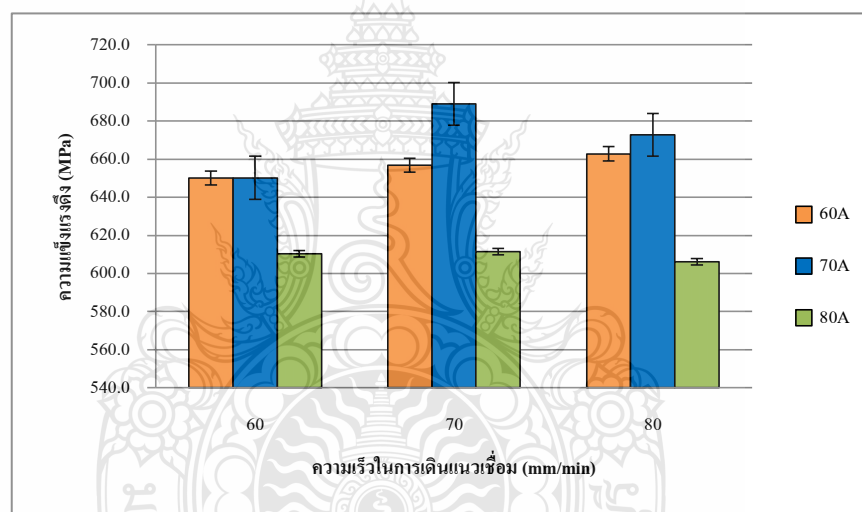
ตารางที่ 4.1 ค่าความแข็งแรงดึง (MPa) ที่กระแสเชื่อม 60 A ความเร็ว 60 70 และ 80 mm/min

กระแสไฟ (A)	ความเร็ว (mm/min)	ชั้นที่ 1 (MPa)	ชั้นที่ 2 (MPa)	ชั้นที่ 3 (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
70	60	667	664	665	664
	70	664	667	668	667
	80	662	663	663	663



ภาพที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึง ที่กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ ความเร็ว 60 70 80 มิลลิเมตรต่อนาที

จากการทดสอบแรงดึงและการวิเคราะห์ผลการทดลองและเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 617 MPa พบว่าชิ้นงาน หลังผ่านกระบวนการเชื่อมแม่เหล็กแบบต่อชน และเตรียมชิ้นงานลดขนาดตามมาตรฐานการทดสอบแรงดึง ที่กระแสไฟ 60 70 และ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 60 70 และ 80 มิลลิเมตรต่อนาที มาทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบ พบว่าที่กระแสไฟในการเดินแนวเชื่อม 70 แอมแปร์ และใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 70 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดคือ 689 MPa จากการทดลองโดยใช้กระแสเชื่อมที่ 90 แอมแปร์ พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีทิศทางที่ต่ำลง ดังแสดงในภาพที่ 4.25 และเมื่อนำชิ้นทดสอบหลังผ่านกระบวนการทดสอบแรงดึงที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ โดยใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 80 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีค่าแรงดึงต่ำสุดพบว่า ชิ้นงานมีลักษณะของการเกิดจุดบกพร่องขึ้นในการทดลองการเชื่อม ดังแสดงในภาพที่ 4.28



ภาพที่ 4.26 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลการทดสอบแรงดึง

กระแสไฟ 60 แอมแปร์

พิจารณาค่าความแข็งแรงดึงที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ พบว่ากระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 80 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดที่ 662 MPa และในทางกลับกันที่กระแสไฟเชื่อม 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 60 มิลลิเมตรต่อนาที ได้ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดคือ 650 MPa ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าที่กระแสเชื่อมเดียวกัน แต่มีความแตกต่างกันของความเร็วในการเดินแนวเชื่อม จะส่งผลให้ได้ค่าความแข็งแรงดึงที่แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดลองในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ B.H. Choi^a และ B.K. Choi^b ที่ทำการศึกษา

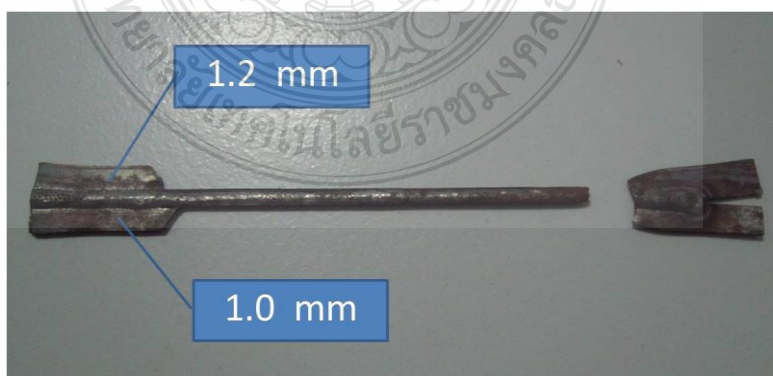
เกี่ยวกับ ผลกระทบจากเงื่อนไขในการเชื่อมต่อสมบัติทางกลของชิ้นงาน โดยกำหนด กระแสเชื่อม 130 แอมแปร์ 135 แอมแปร์ 140 แอมแปร์ 145 แอมแปร์ ความเร็ว 4, 5.5, และ 8 cm/min พบว่า ที่กระแสเชื่อมเดียวกัน แต่ใช้ความเร็วในการเชื่อมที่แตกต่างกัน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีค่าแตกต่างกันออกไป

กระแสไฟ 70 แอมแปร์

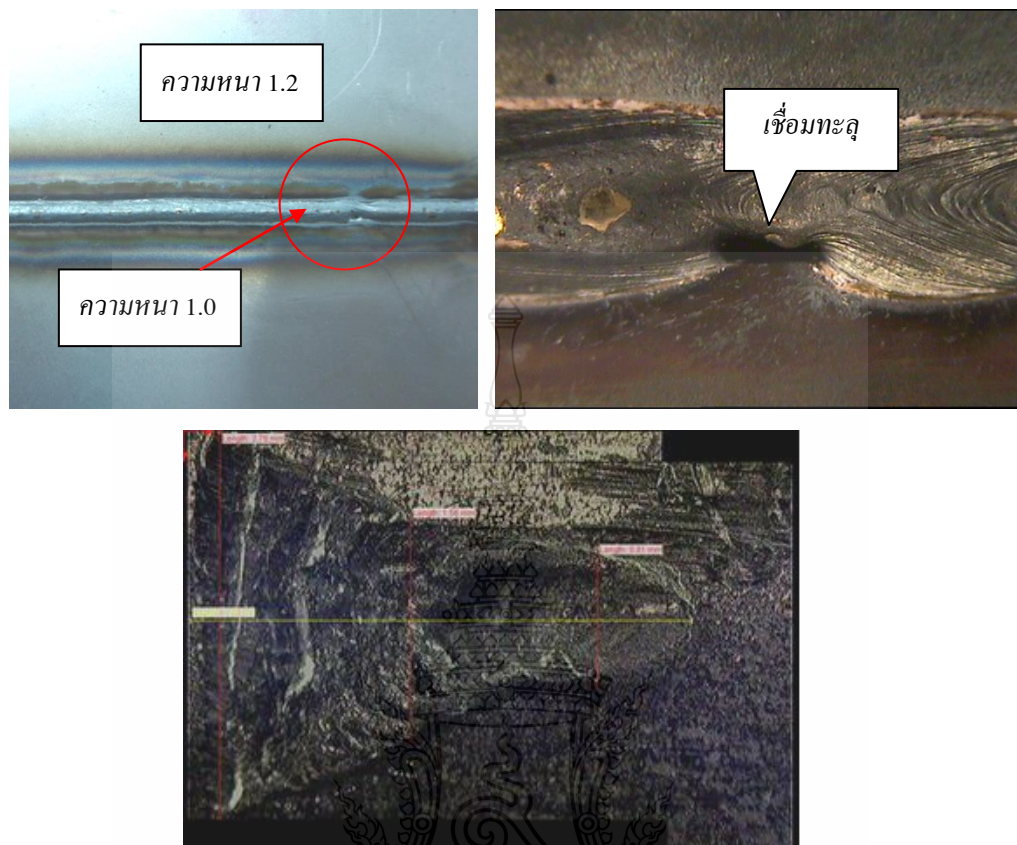
ค่าการเพิ่มขึ้นที่กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ มีค่าเหมือนกับที่ใช้กระแส 60 แอมแปร์ และเมื่อเปรียบเทียบกับที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ พบว่าทุกๆ ค่าความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ที่กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ มีค่าสูงกว่าที่กระแสเชื่อม 60 แอมแปร์ โดยจากการทดลองมีค่าสูงที่สุดที่ ความเร็ว 70 มิลลิเมตรต่อนาที คือ 689 MPa

กระแสไฟ 80 แอมแปร์

เมื่อทำการพิจารณาค่าความแข็งแรงดึงที่กระแสไฟที่ 80 แอมแปร์ พบว่าทิศทางของค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ กระแสเชื่อมที่ 70 แอมแปร์ แต่สูงกว่ากระแส 60 แอมแปร์ ดังแสดงในภาพที่ 4.23 เมื่อนำชิ้นทดสอบกระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อ นาที มาพิจารณา ซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีค่าแรงดึงต่ำสุดพบว่า ชิ้นงานมีลักษณะของการเกิดจุดบกพร่องขึ้น ในการทดลองการเชื่อม ดังแสดงในภาพที่ 4.24 นำไปทดสอบแรงดึงพบว่ามี การ ขาดตรงบริเวณแนวเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ได้ค่าการทดสอบแรงดึงที่ต่ำกว่าเงื่อนไขการเชื่อมอื่นๆ คือมีค่าการทดสอบแรงดึงอยู่ที่ 606 MPa ซึ่งลักษณะการขาดของชิ้นงานเป็นดังแสดงในภาพที่ 4.25 หลังจากนั้นทำการผ่า ชิ้นงานดังกล่าวตามแนวยาวเพื่อวิเคราะห์ลักษณะจุดบกพร่อง พบว่ามีลักษณะการหลอมละลายที่แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ ซึ่งจากการวัดค่ามีความยาว 3.86 มิลลิเมตร และความกว้างสูงสุดที่ 2.78 มิลลิเมตร แคบสุดอยู่ที่ 0.91 มิลลิเมตรตามลำดับ



ภาพที่ 4.27 ชิ้นงานกระแสเชื่อม 80 แอมแปร์ ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อนาที



ภาพที่ 4.28 ชิ้นงานกระแสเชื่อม 80 แอมแปร์ ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อนาที

ซึ่งจากผลการทดลอง เพื่อตรวจสอบค่าความต้านแรงดึง (Tensile) ในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCCN แบบเทอร์เบลนซ์ พบว่าเงื่อนไขต่างๆที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล ของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการเชื่อมมิก ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าที่ กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ ให้ค่าสูงสุดในทุกๆ ความเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับ ค่ากระแสที่ 60 แอมแปร์ และ 80 แอมแปร์ จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกันกับ Sushanta Kumar Panda และ D.Ravi Kumar ที่ทำการวิจัยและศึกษา คุณสมบัติความต้านแรงดึงในการเชื่อมเลเซอร์ เทอร์เบลนซ์ เหล็กกล้าคาร์บอน ที่ความหนาเหล็ก 1.0 และ 1.5 มิลลิเมตร ด้วยกำลังเลเซอร์ และความเร็วที่แตกต่างกัน พบว่าค่าความต้านแรงดึงจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการเชื่อมที่เหมาะสม และสำหรับจุดบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมหรือแนวเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ Sushanta Kumar Panda ได้ทำการวิเคราะห์ ด้วย Finite Element พบว่าจุดดังกล่าวมีลักษณะสีแดง ในความหมายคือชิ้นงานจุดดังกล่าวง่ายต่อการแตกร้าว และส่งผลต่อผลการทดสอบความต้านแรงดึง

จากผลการทดลองทั้งหมด ที่สภาวะการเชื่อมต่างๆ พบว่าที่สภาวะการเชื่อมที่ดีที่สุด คือ ที่กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ ใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความแข็งสูงสุด มีความสมบูรณ์ของ โครงสร้างจุลภาค และค่าความต้านแรงดึงที่สูงที่สุด ตามลำดับ



บทที่ 5

สรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัย เพื่อศึกษาโครงสร้างสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมเทเลอร์เบงค์ เหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPEN แบบต่อชนด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก กำหนดกระแสเชื่อมเป็น 3 ระดับ คือ 60 70 และ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 60 70 และ 80 มิลลิเมตรต่อนาที สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากผลการทดลองในการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส ที่ขึ้นงานผ่านกระบวนการเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็กขึ้นงานแบบต่อชนที่ความหนาเหล็ก 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPEN ที่การเชื่อมโดยใช้กระแสไฟ 70 แอมแปร์ และ ใช้ความเร็วในการเชื่อมเดินแนว 70 มิลลิเมตรต่อนาที ขึ้นงานมีค่าความแข็งมากที่สุด โดยสรุปคือ ค่าความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อม (WM) จะมีความแข็งที่ 243 HV และบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (HAZ) มีค่าความแข็งที่ 215 HV ที่ด้านความหนา 1.2 มิลลิเมตร ส่วนสุดท้ายบริเวณเนื้อโลหะ (BM) มีค่าที่ 118 HV ที่ด้านความหนา 1.0 มิลลิเมตร

5.1.2 จากผลการทดลองในการทดสอบแรงดึง ที่ขึ้นงานผ่านกระบวนการเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็กขึ้นงานแบบต่อชนที่ความหนาเหล็ก 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPEN ที่การเชื่อมโดยใช้กระแสไฟ 70 แอมแปร์และใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 70 มิลลิเมตรต่อนาทีที่มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดคือ 689 MPa และเมื่อทำการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคพบว่า ขึ้นงานผ่านกระบวนการเชื่อมแม่เหล็กแบบต่อชนที่ความหนาเหล็ก 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPEN ที่สภาวะการเชื่อมด้วยใช้กระแสไฟ 70 แอมแปร์และความเร็วในการเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที มีลักษณะเกรนบริเวณแนวเชื่อมเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ และสมบูรณ์มากที่สุด

5.1.3 กระแสไฟที่เหมาะสมสำหรับการเดินแนวเชื่อม และค่าความเร็วที่เหมาะสม ที่มีผลต่อคุณภาพและสมบัติทางกลของขึ้นงานหลังจากผ่านกระบวนการเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็กขึ้นงานแบบต่อชนที่ความหนาเหล็ก 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตรโดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอน JIS-3141 SPEN จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการเชื่อมที่ใช้กระแสไฟ 70 แอมแปร์ และความเร็วในการเชื่อมที่ 70 มิลลิเมตรต่อนาที ขึ้นงานหลังการเชื่อมสามารถที่ทนแรงดึงได้สูงสุดที่ 698 MPa และสามารถรับ แรงกดได้ที่ 243 HV

5.1.4 หลังจากทำการทดลองเชื่อมแม่เหล็กแบบ เทเลอร์แบบลงค์ ที่ความหนาเหล็ก 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร พบว่า ระยะห่างระหว่างชิ้นงานที่เหมาะสมในการเชื่อมประสาน ควรทำการเชื่อมประสานแบบต่อชน ซึ่งส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสม การเดินแนวเชื่อม มีความสม่ำเสมอ ของขนาดแนวเชื่อม และไม่ส่งผลต่อคุณภาพของแนวเชื่อม

5.2 ข้อเสนอแนะในการทดลอง

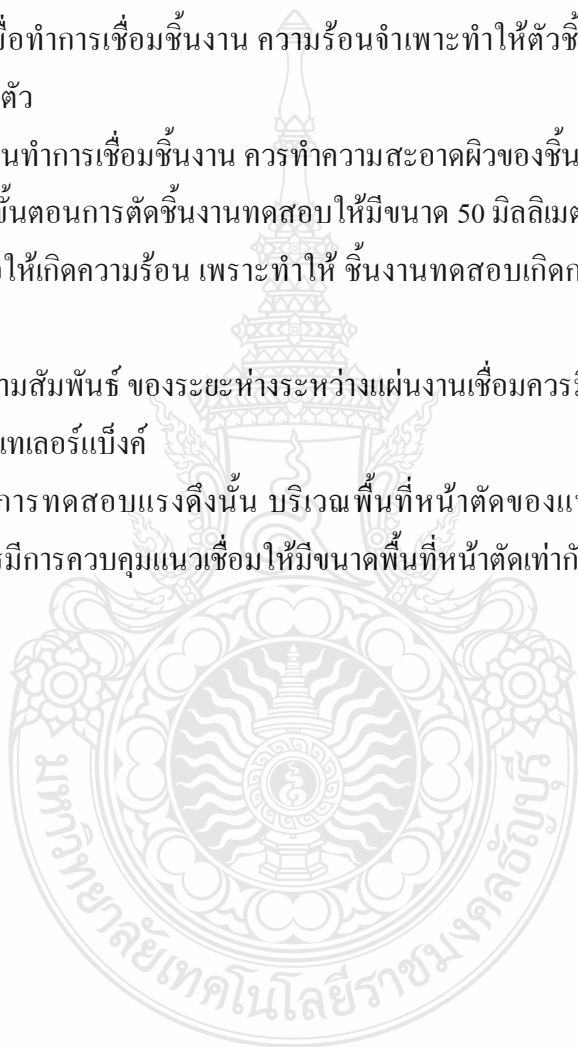
5.2.1 เมื่อทำการเชื่อมชิ้นงาน ความร้อนจำเพาะทำให้ตัวชิ้นงาน บิดตัว ควรทำจิกกด เพื่อไม่ให้ชิ้นงานบิดตัว

5.2.2 ก่อนทำการเชื่อมชิ้นงาน ควรทำความสะอาดผิวของชิ้นงานทดลองให้สะอาด

5.2.3 ในขั้นตอนการตัดชิ้นงานทดสอบให้มีขนาด 50 มิลลิเมตร x 120 มิลลิเมตร ไม่ควรใช้วิธีตัดชิ้นงานที่ก่อให้เกิดความร้อน เพราะทำให้ ชิ้นงานทดสอบเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างตรงบริเวณรอยตัด

5.2.4 ความสัมพันธ์ ของระยะห่างระหว่างแผ่นงานเชื่อมควรมีการกำหนดให้สอดคล้องกันในการเชื่อมแบบเทเลอร์เบ็งค์

5.2.5 ในการทดสอบแรงดึงนั้น บริเวณพื้นที่หน้าตัดของแนวเชื่อมมีขนาดไม่เท่ากัน ตลอดแนวเชื่อม ควรมีการควบคุมแนวเชื่อมให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดแนวเชื่อม



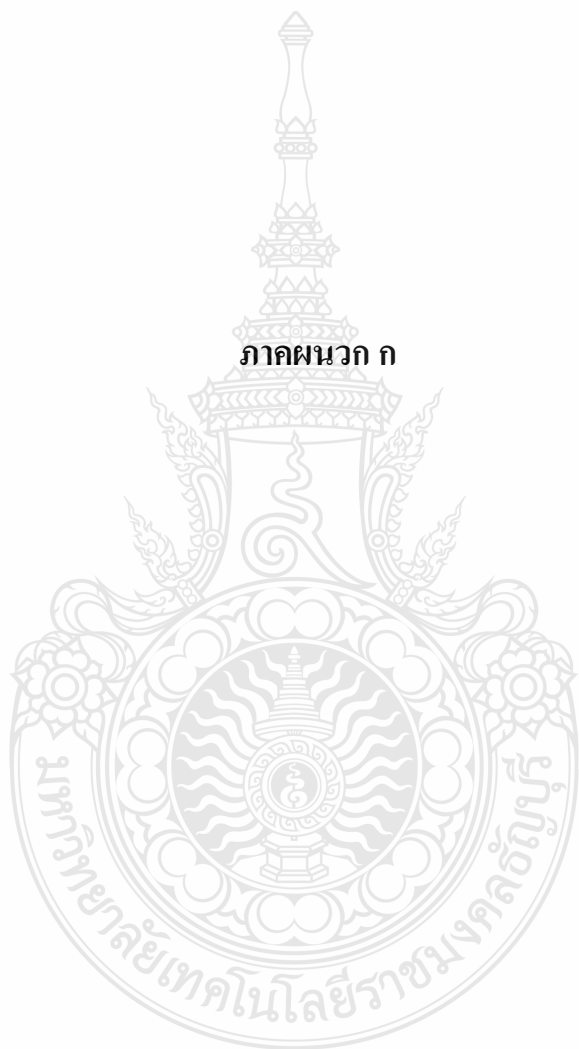
รายการอ้างอิง

- [1] ธรรมนูญ อินทรพล,กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ 2551. อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมเลเซอร์ต่อสมบัติทางกลของรอยต่อชนแผ่นเทเลอร์แบบลิ้งค์เหล็กเคลือบสังกะสีเกรดSGACD. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [2] สมบูรณ์ เต็งหงส์เจริญ. 2542. เอกสารคำสอน วิชา 04-441-101 กระบวนการเชื่อม.
- [3] มานะศิษฐ์ พิมพ์สาร. 2542. คู่มือการเชื่อม มิก-แม็ก. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนดีอี.
- [4] ยงยุทธ ดุลยกุล, ประภาศ เมืองจันทร์บุรี 2551.ศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระแสเชื่อมและส่วนผสมของแก๊สคลุมที่แตกต่างกันโดยวิธีการเชื่อมแม็ก.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [5] มนัส สติรจิน. มิถุนายน 2538. เหล็กกล้า (STEEL). พิมพ์ครั้งที่ 4 สถานที่พิมพ์ โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย
- [6] สมบูรณ์ เต็งหงส์เจริญ. 2553. ลวดเชื่อม. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- [7] ชวลิต เชียงกุล. กุมภาพันธ์ 2542. โลหะวิทยา. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [8] กระบวนการเชื่อมโลหะ.
http://www.mtec.or.th/images/users/78/55FAO_Arc_metal/01_Welding.pdf
(18 พฤศจิกายน 2554)
- [9] การเชื่อมแม็ก. <http://www.sipotec.ac.th/bunchoo/welding2/ppt/MAG>. (10 ธันวาคม 2554)
- [10] การทดสอบความแข็ง. [http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318\(51\)/MY318-7](http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318(51)/MY318-7).
- [11] C.H.Cheng^a, M.Jie^b. **True stress-strain analysis on weldment of heterogeneous tailor-welded blanks-a novel approach for forming simulation**, Ph.D. Thesis, Department of Industrial and systems Engineering, Michigan Dearborn University, 2006
- [12] คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2541. คู่มือการเชื่อมโลหะ 1 พิมพ์ครั้งที่ 1 สถานที่พิมพ์ โรงพิมพ์ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ
- [13] JIS Handbook 1998, Japanese Standards Association 4-1-24, Akasaka, Minato-ku, Tokyo, 107-8440 Japan.

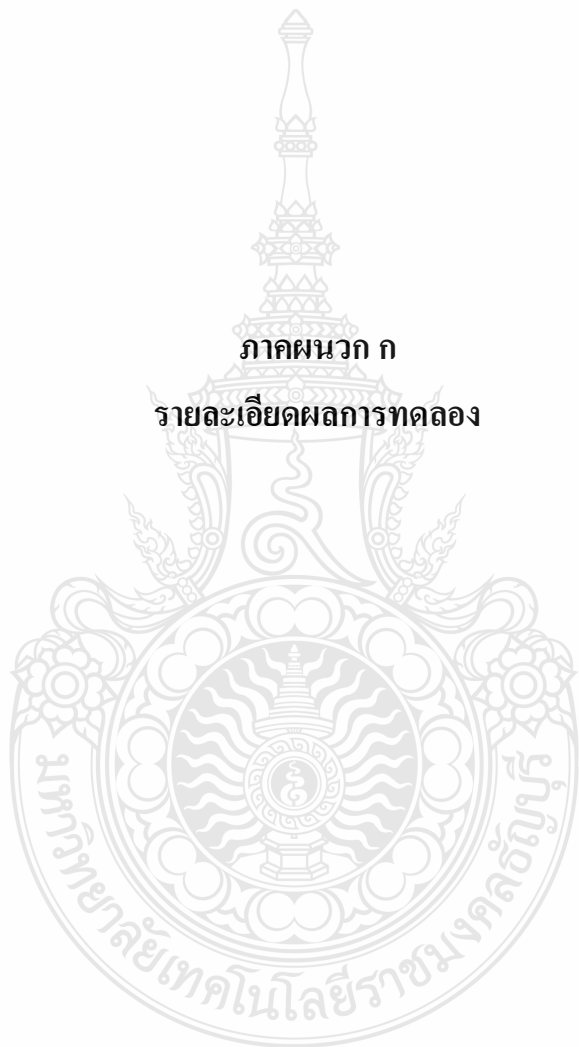
- [14] A.Meyer, B.Wietbrock . Increasing of drawing depth using tailor rolled blanks^o Numerical and experimental analysis,.Institute of Metal Forming Intzestr, Aachen , Germany
- [15] L.Fratini^a , G.Buffa^a ., Improving friction stir welding of blank of different thicknesses.,Dipartimento di Tecnologia Meccanica, Universita di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 palermo, Italy
- [16] Sushanta Kumar Panda^a , D.Ravi Kumar^a ., Characterization of tensile properties of tailor welded IF steel sheets and their formability in stretch forming, Department of Mechanical, Indian Institute, Journal of materials 183 (2007) 321-332

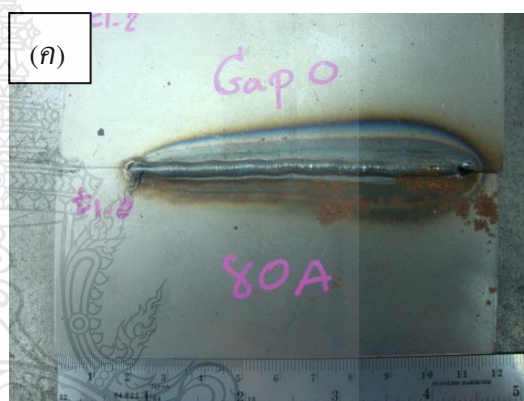
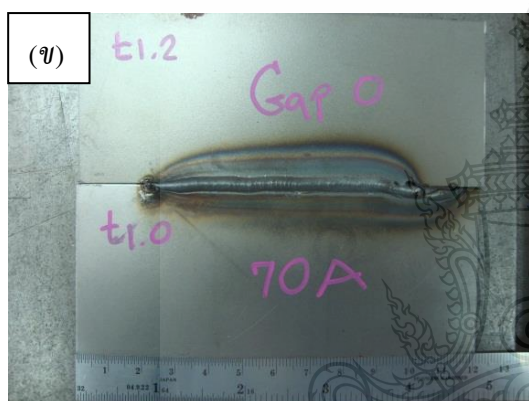
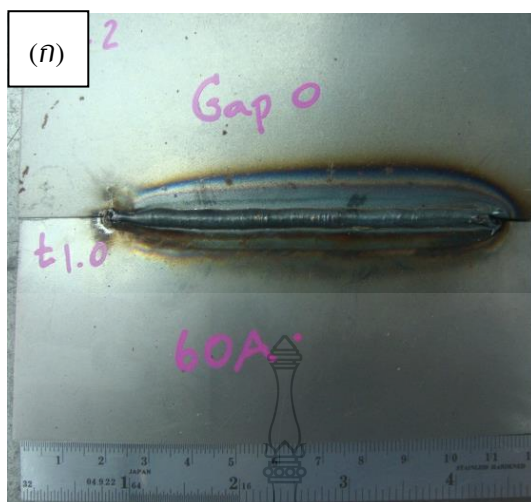


ภาคผนวก ก



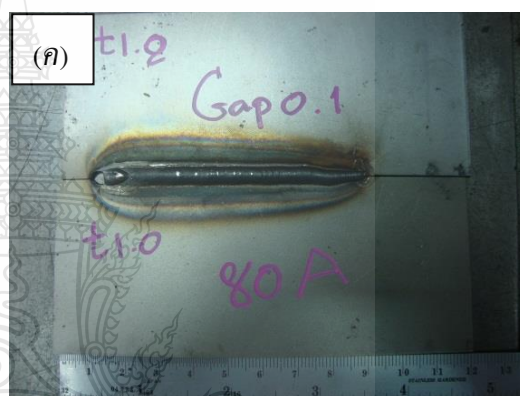
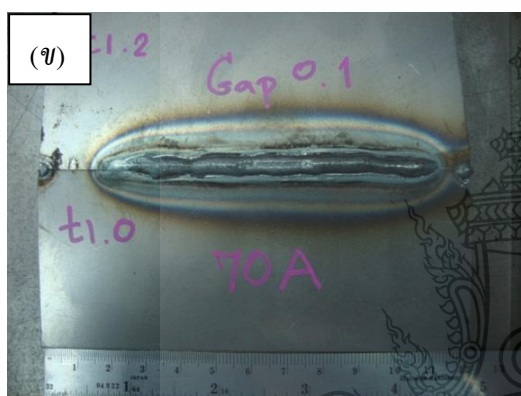
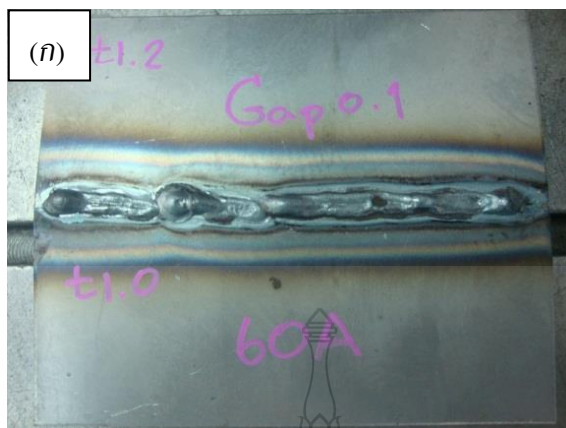
ภาคผนวก ก
รายละเอียดผลการทดลอง





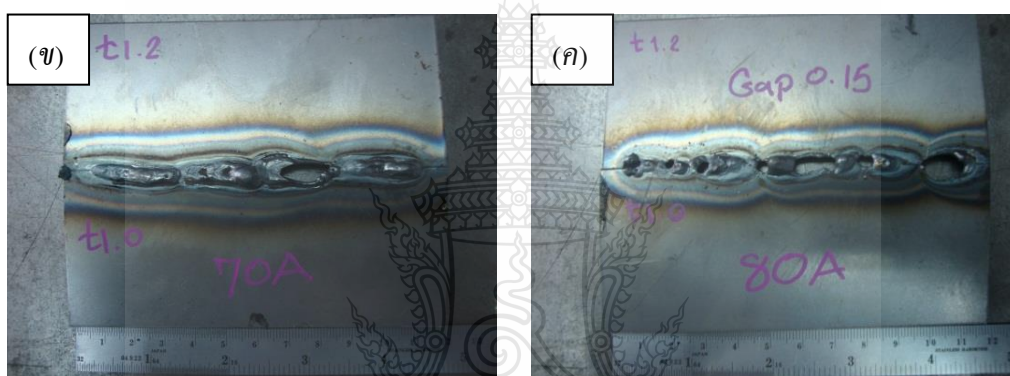
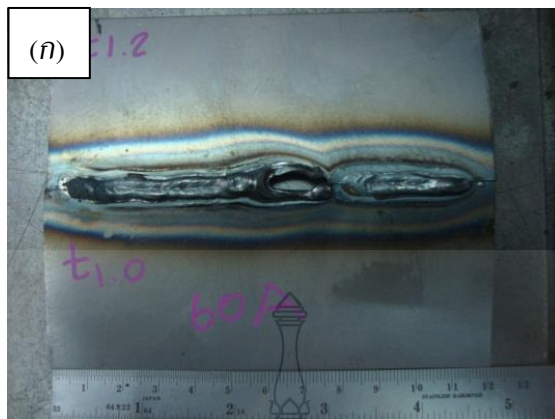
- (ก) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ข) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ค) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ ก.1 ชิ้นงานผ่านการเชื่อมที่ระยะห่าง 0.00 มิลลิเมตร



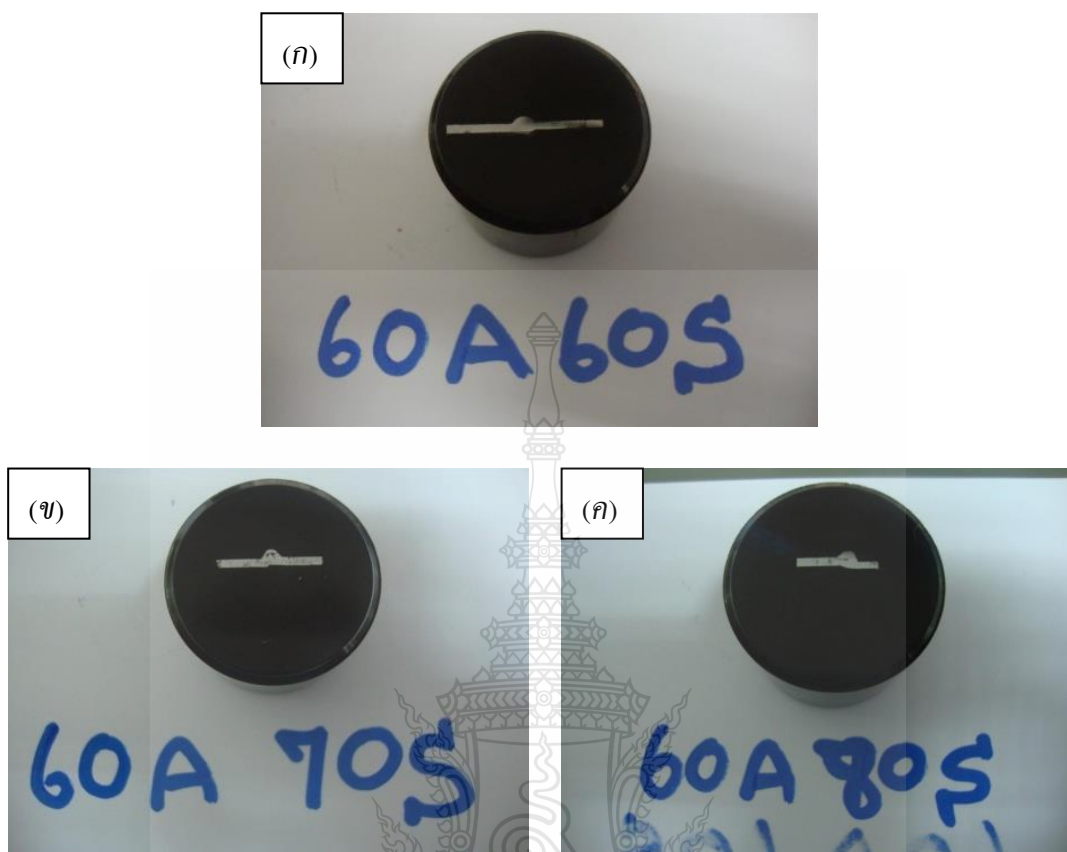
- (ก) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที
- (ข) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที
- (ค) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ ก.2 ชิ้นงานผ่านการเชื่อมที่ระยะห่าง 0.10 มิลลิเมตร



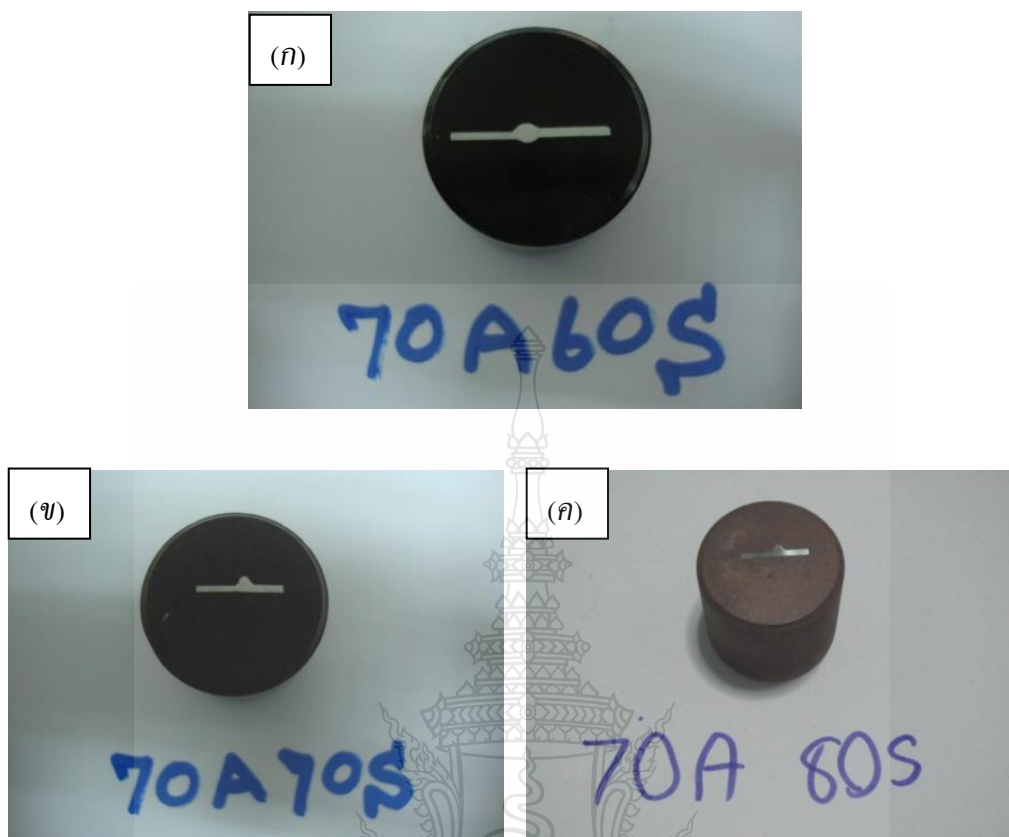
- (ก) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ข) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ค) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ ก.3 ชิ้นงานผ่านการเชื่อมที่ระยะห่าง 0.15 มิลลิเมตร



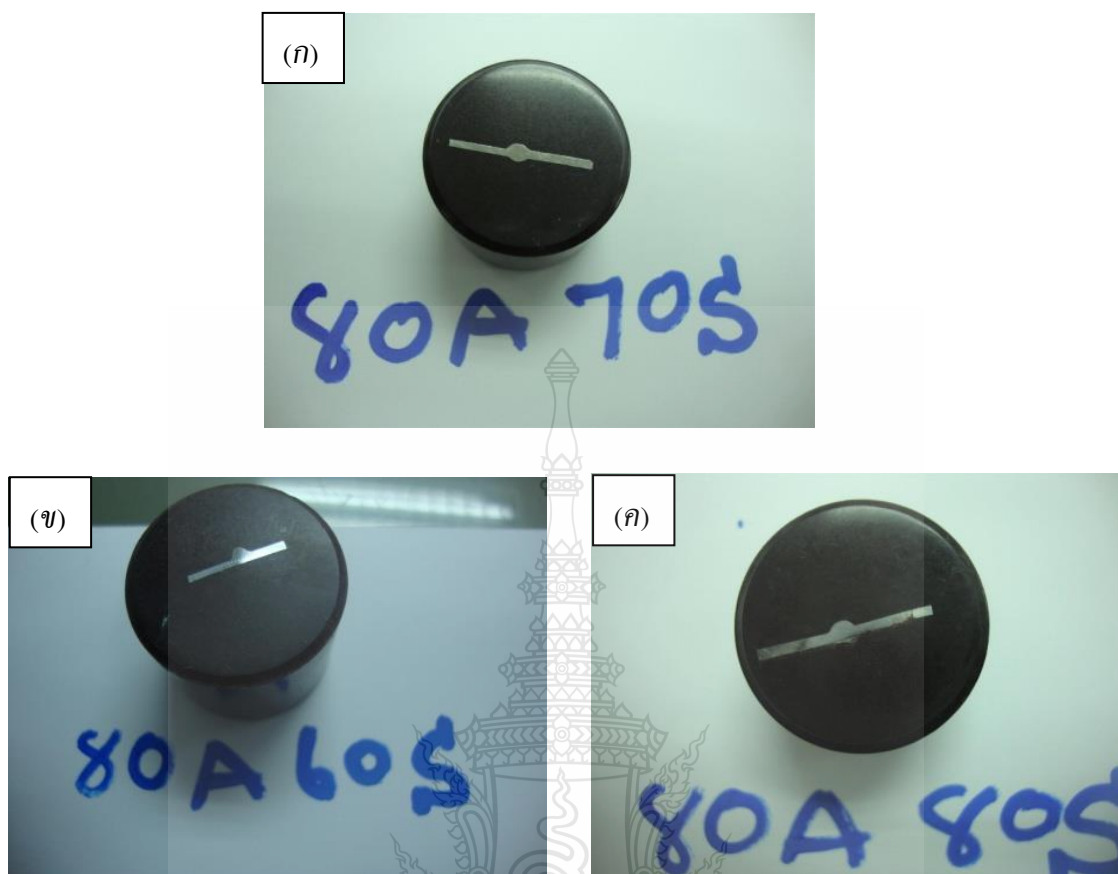
- (ก) ชั้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ข) ชั้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ค) ชั้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ ก.4 ชั้นงานผ่านการหล่อด้วยพลาสติก โดยวิธีการขึ้นเรือน (Mounting)



- (ก) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ข) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ค) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ ก.5 ชิ้นงานผ่านการหล่อด้วยพลาสติก โดยวิธีการขึ้นเรือน (Mounting)

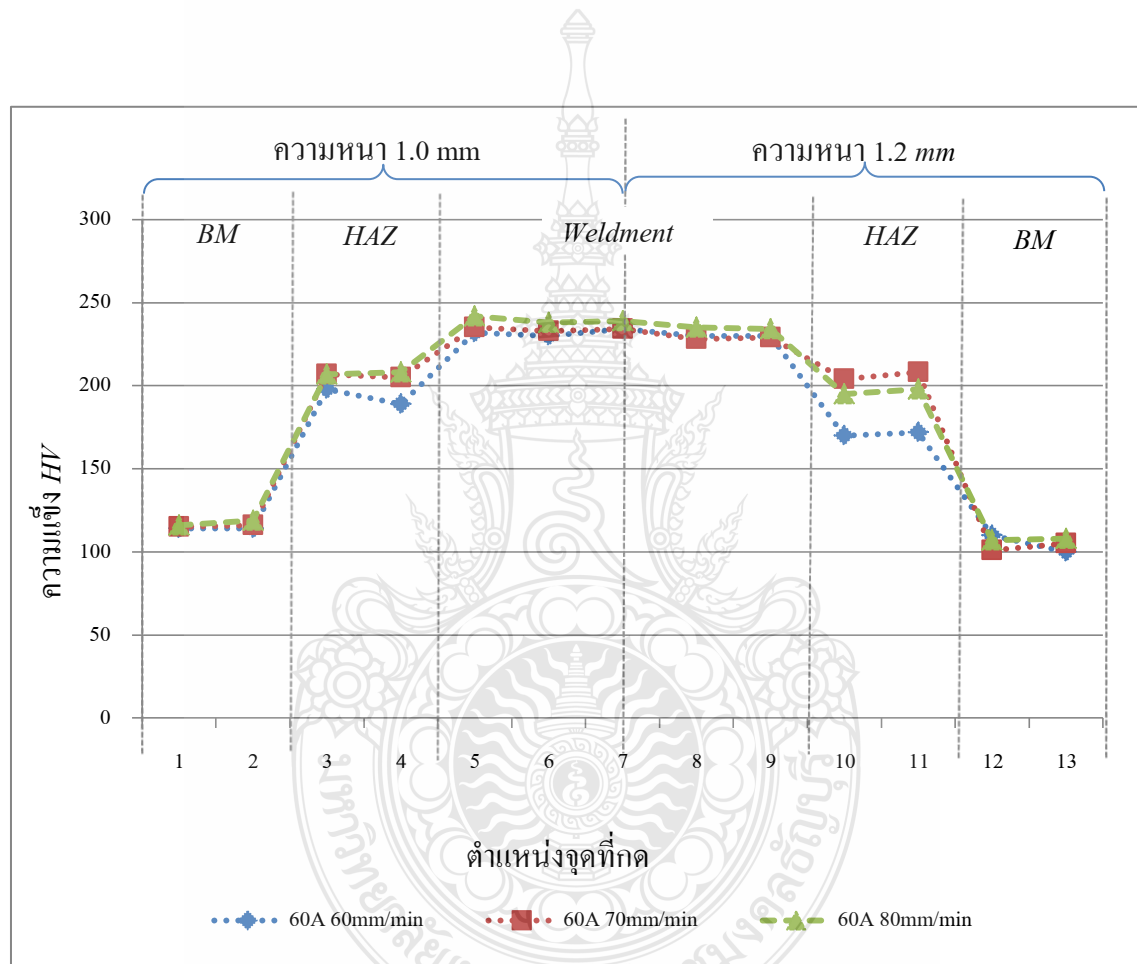


- (ก) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที
- (ข) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที
- (ค) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ ก.6 ชิ้นงานผ่านการหล่อด้วยพลาสติก โดยวิธีการขึ้นเรือน (Mounting)

ตารางที่ ก.1 ค่าความแข็ง ที่กระแสวิงเชื่อม 60 แอมแปร์ ความเร็ว 60 70 และ 80 mm/min

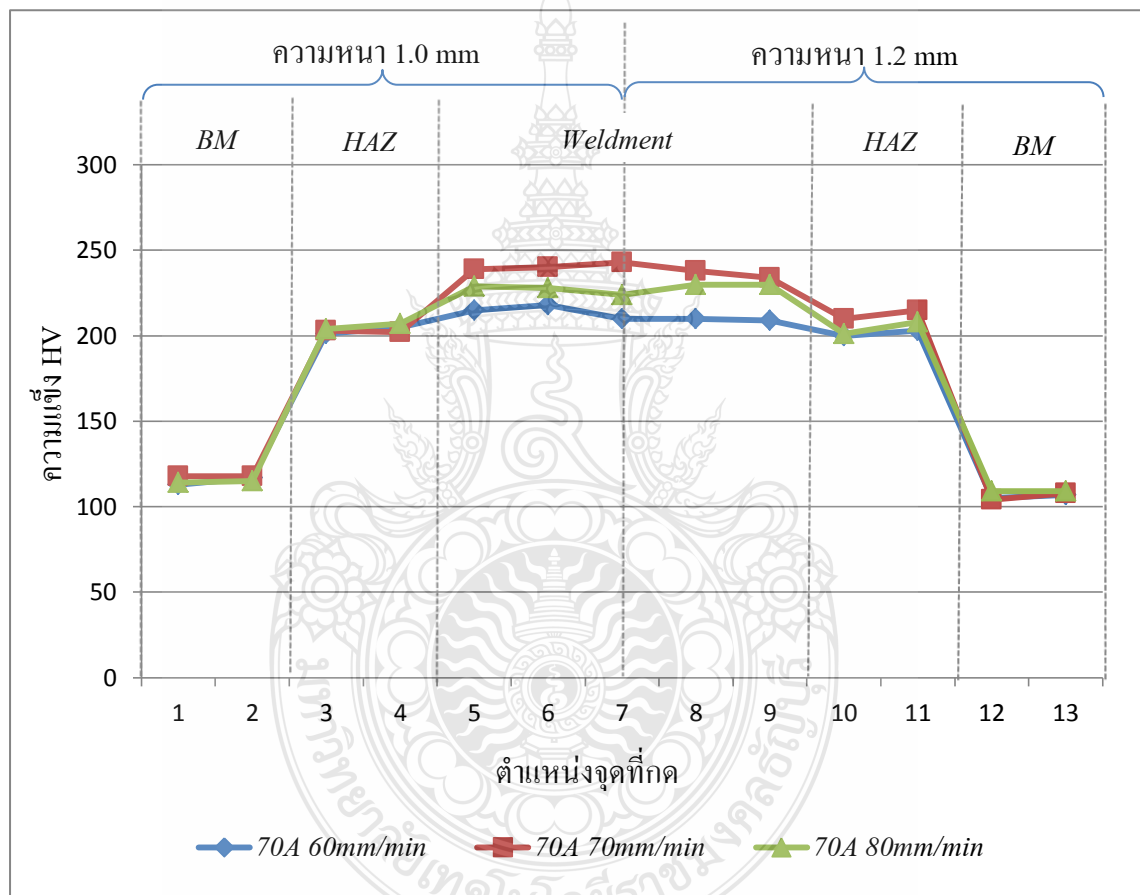
SPECPMENT	BASE METAL		HEAT		WELLD METAL					HEAT		BASE METAL	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
60/60	114	114	198	189	232	230	234	230	230	170	172	110	100
60/70	115	116	207	205	235	233	234	228	229	204	208	101	105
60/80	116	119	207	208	242	238	239	235	234	195	198	107	108



ภาพที่ ก.7 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งที่กระแสวิงเชื่อม 60 แอมแปร์

ตารางที่ ก.2 ค่าความแข็ง ที่กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์ ความเร็ว 60 70 และ 80 mm/min

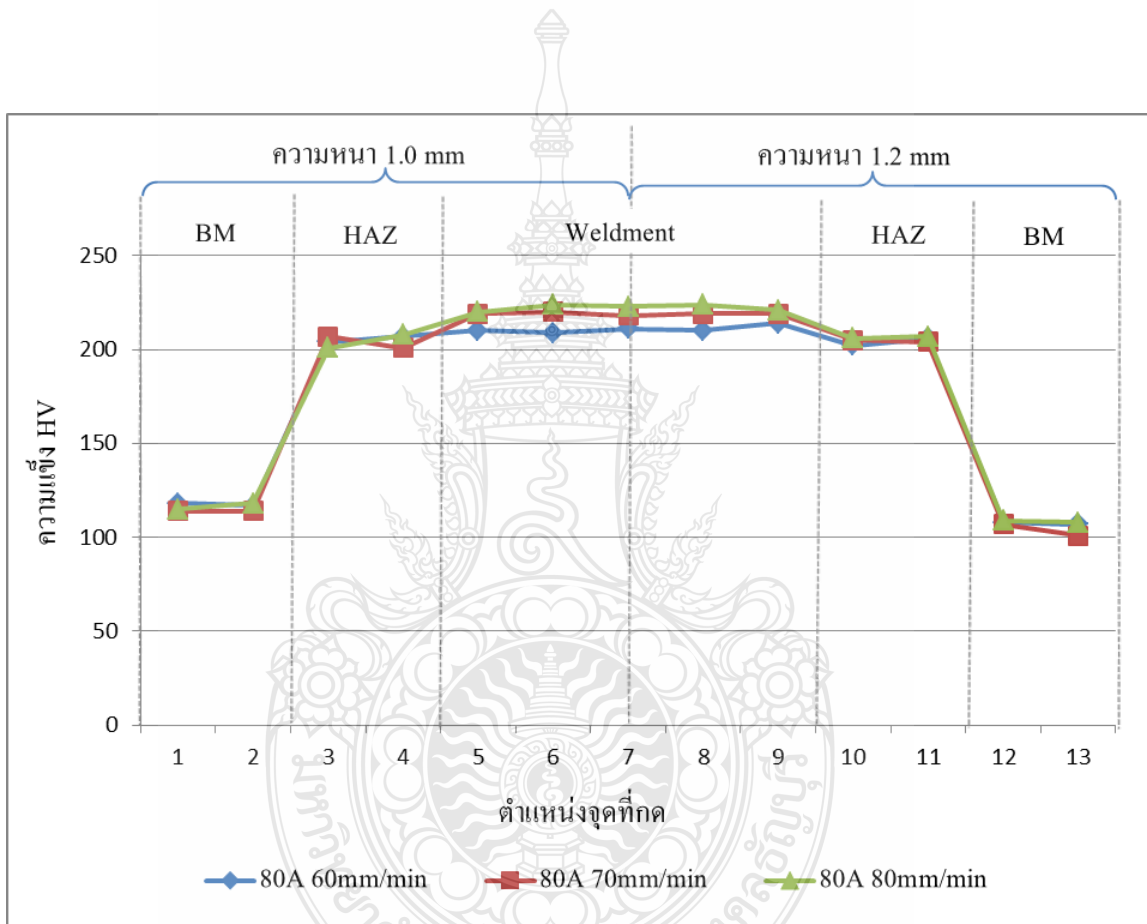
SPECPMENT	BASE METAL		HEAT		WELLD METAL					HEAT		BASE METAL	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
70/60	113	117	201	205	215	218	210	210	209	200	203	105	107
70/70	118	118	203	202	239	240	243	238	234	210	215	104	108
70/80	114	115	204	207	229	228	224	230	230	201	208	109	109



ภาพที่ ก.8 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งที่กระแสเชื่อม 70 แอมแปร์

ตารางที่ ก.3 ค่าความแข็ง ที่กระแสเชื่อม 80 แอมแปร์ ความเร็ว 60 70 และ 80 mm/min

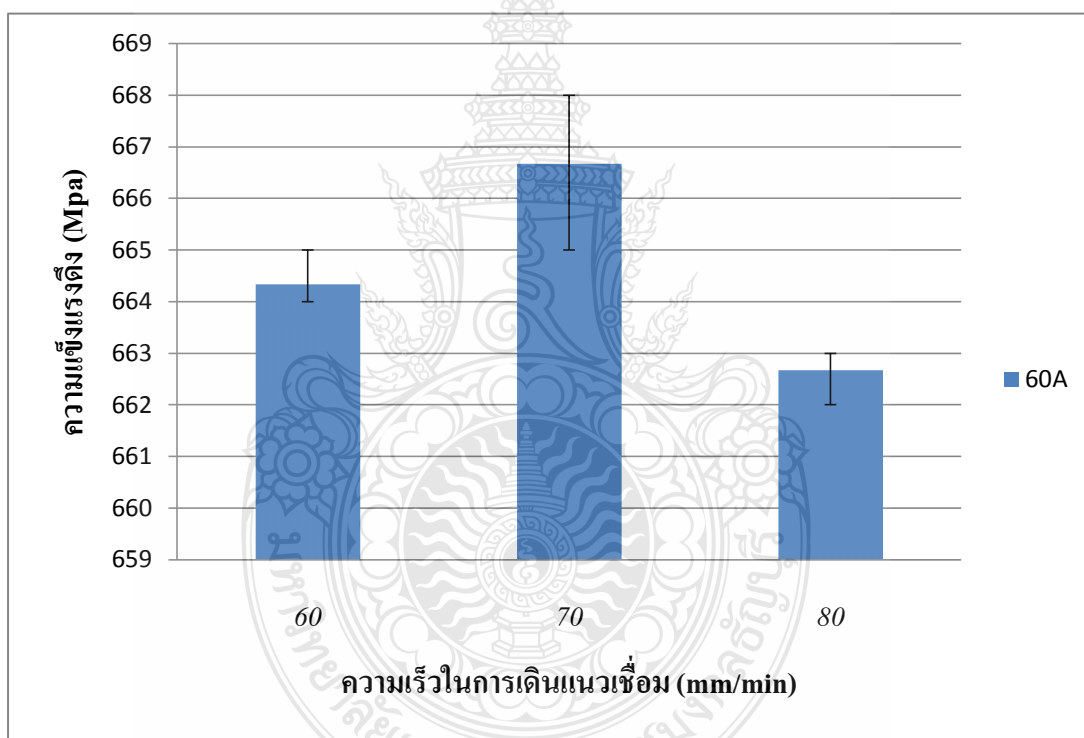
SPECPMENT	BASE METAL		HEAT AFFECT		WELLD METAL					HEAT AFFECT		BASE METAL	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
80/60	118	117	204	207	210	209	211	210	214	202	206	108	107
80/70	114	114	207	201	219	220	218	219	219	205	204	107	101
80/80	115	118	201	208	220	224	223	224	221	206	207	109	108



ภาพที่ ก.9 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งที่กระแสเชื่อม 80 แอมแปร์

ตารางที่ ก.4 ค่าความแข็งแรงดึง (MPa) ที่กระแทกเชื่อม 60 แอมแปร์ ความเร็ว 60 70 และ 80 mm/min

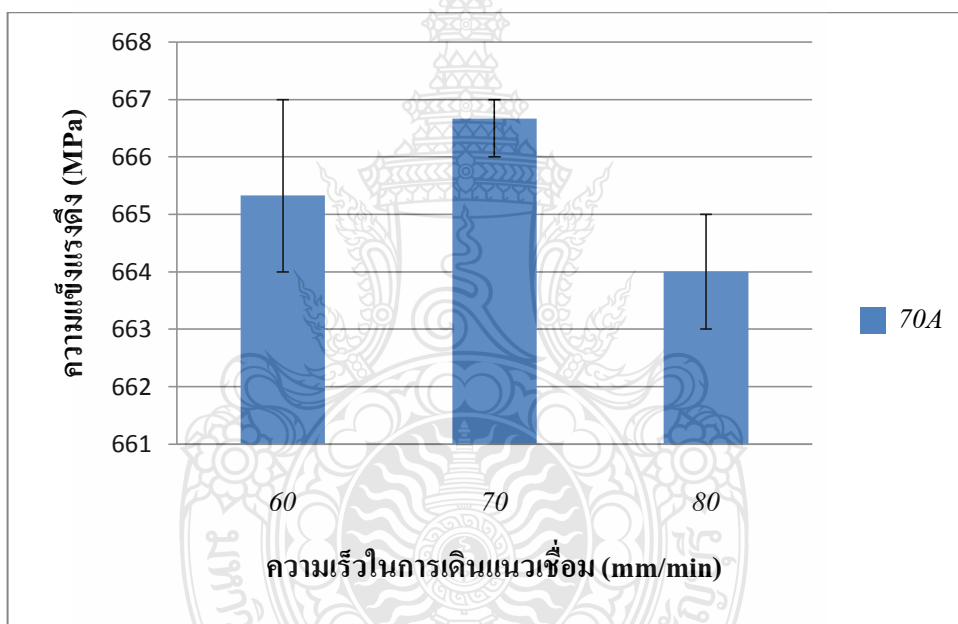
กระแสไฟ (A)	ความเร็ว (mm/min)	ชั้นที่ 1 (MPa)	ชั้นที่ 2 (MPa)	ชั้นที่ 3 (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
60	60	665	664	664	664
	70	665	667	668	667
	80	662	663	663	663



ภาพที่ ก.10 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึง ที่กระแทกเชื่อม 60 แอมแปร์ ความเร็ว 60 70 80 มิลลิเมตรต่อนาที

ตารางที่ ก.5 ค่าความแข็งแรงดึง (MPa) ที่กระแทกเชื่อม 60 แอมแปร์ ความเร็ว 60 70 และ 80 mm/min

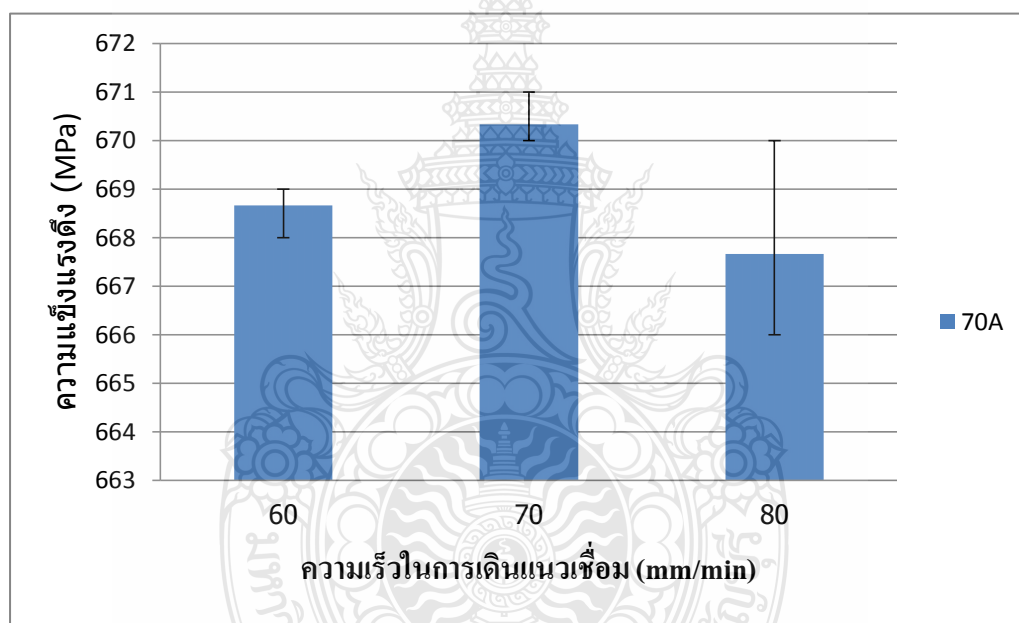
กระแสไฟ (A)	ความเร็ว (mm/min)	ชั้นที่ 1 (MPa)	ชั้นที่ 2 (MPa)	ชั้นที่ 3 (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
70	60	667	664	665	665
	70	667	667	666	667
	80	664	665	663	664



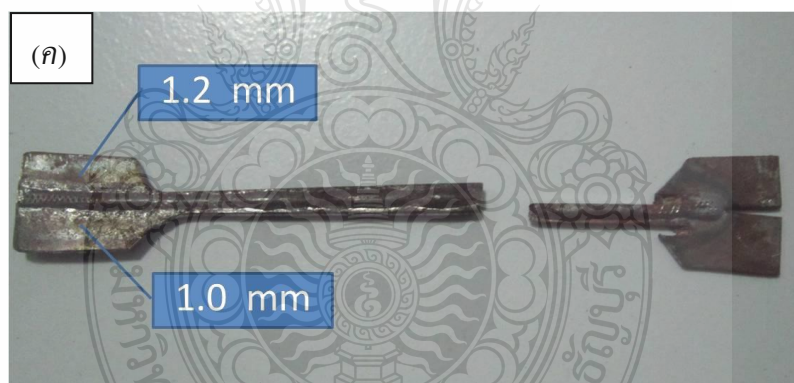
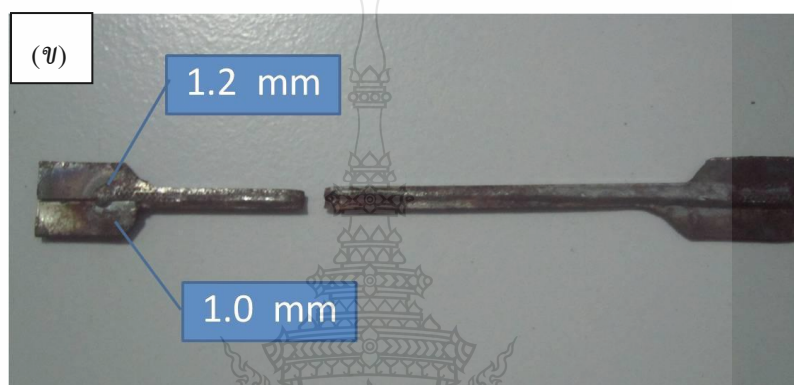
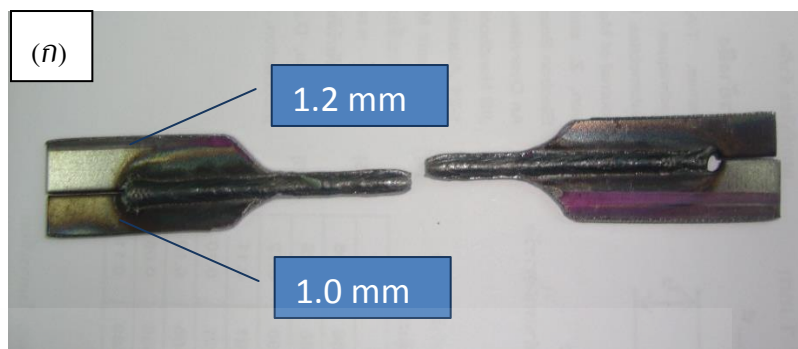
ภาพที่ ก.11 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึง ที่กระแทกเชื่อม 70 แอมแปร์ ความเร็ว 60 70 80 มิลลิเมตรต่อนาที

ตารางที่ ก.6 ค่าความแข็งแรงดึง (MPa) ที่กระแทกเชื่อม 80 แอมแปร์ ความเร็ว 60 70 และ 80 mm/min

กระแสไฟ (A)	ความเร็ว (mm/min)	ชั้นที่ 1 (MPa)	ชั้นที่ 2 (MPa)	ชั้นที่ 3 (MPa)	ค่าเฉลี่ย (MPa)
80	60	668	669	669	669
	70	670	670	671	670
	80	666	670	667	668

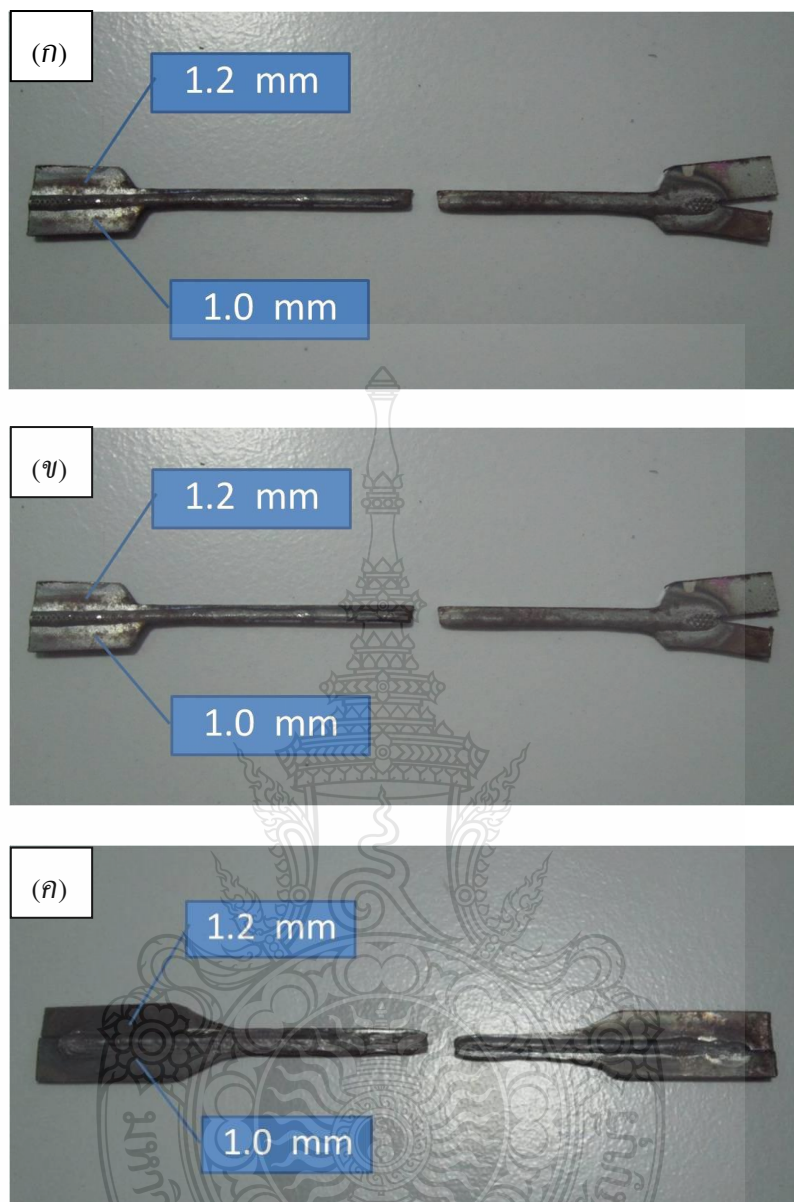


ภาพที่ ก.12 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึง ที่กระแทกเชื่อม 70 แอมแปร์ ความเร็ว 60 70 80 มิลลิเมตรต่อนาที



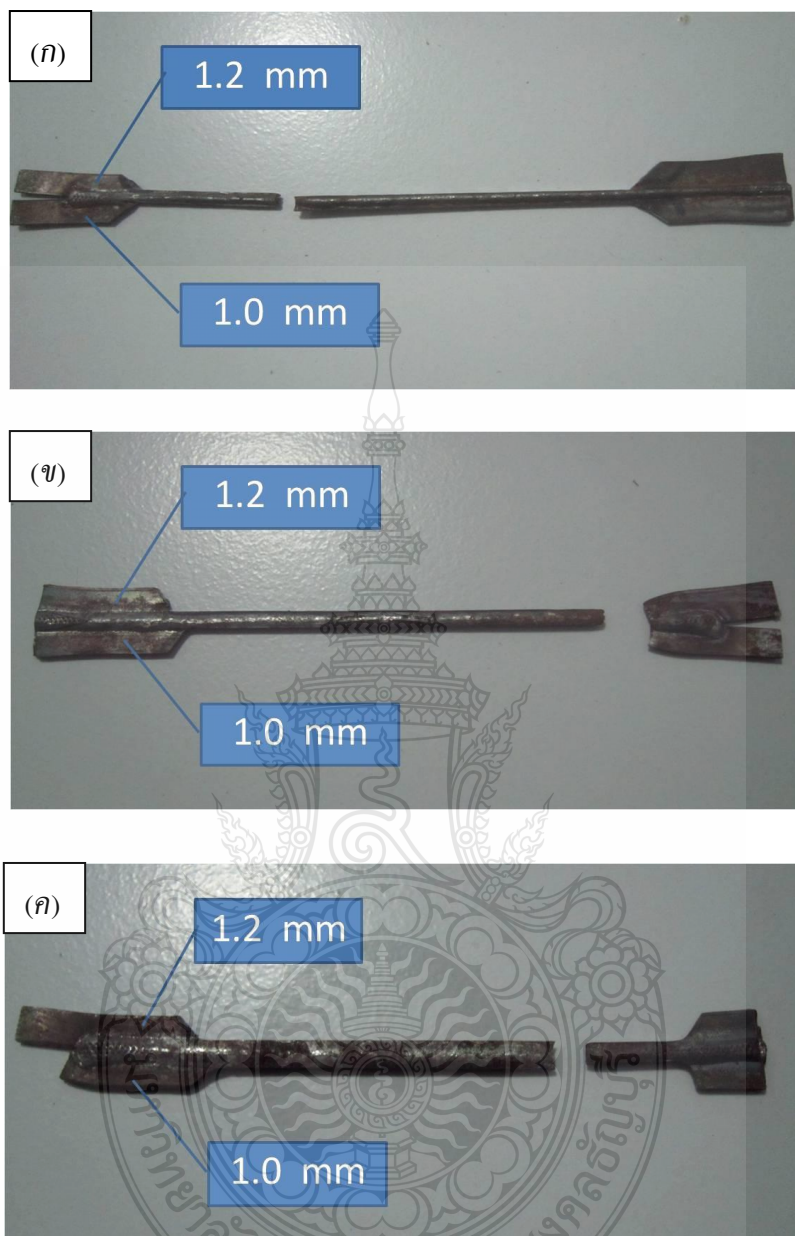
- (ก) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ข) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ค) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ ก.13 ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์ ที่ผ่านกระบวนการทดสอบแรงดึง



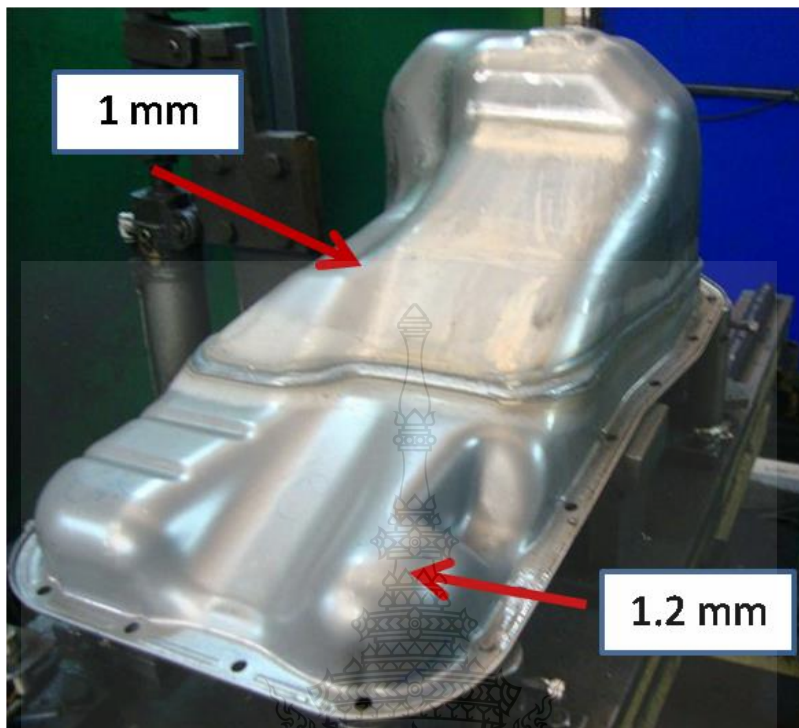
- (ก) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ข) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ค) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาพที่ ก.14 ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 70 แอมแปร์ ที่ผ่านกระบวนการทดสอบแรงดึง



- (ก) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ข) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที
 (ค) ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที

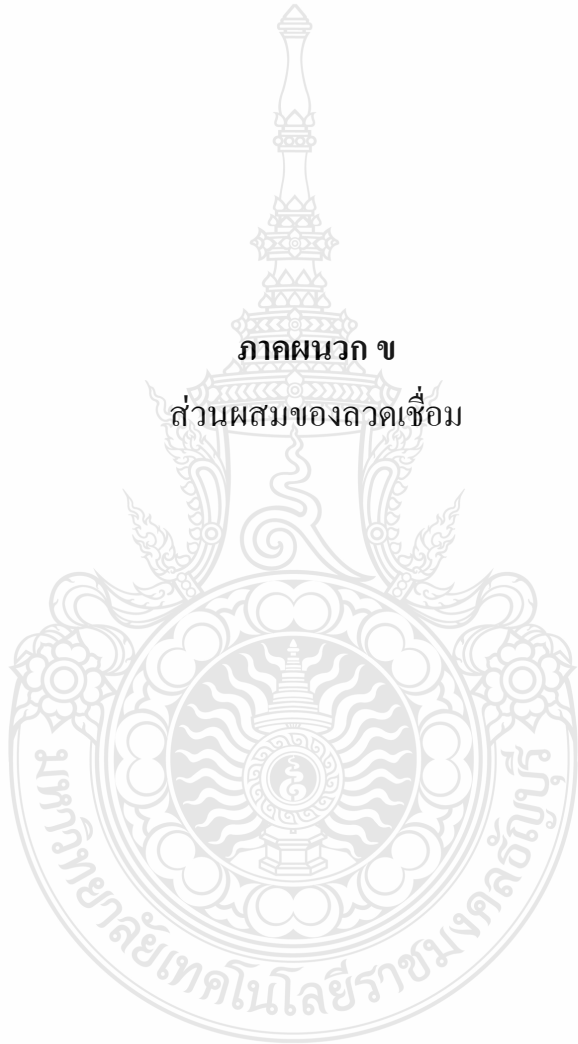
ภาพที่ ก.15 ชิ้นงานเชื่อมที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ ที่ผ่านกระบวนการทดสอบแรงดึง



ภาพที่ ก.16 ลักษณะตัวถังน้ำมันที่ใช้กรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็กของรอยต่อเทอร์เบลอร์แบบลิ้งค์



ภาคผนวก ข
ส่วนผสมของลาวดเชื่อม



ภาคผนวก ก คุณสมบัติของลวดเชื่อมตามมาตรฐาน AWS A5.18 ER70S-6

Gas Metal Arc Welding

MG-51T

Solid wire for mild steel and 490MPa high tensile strength steel

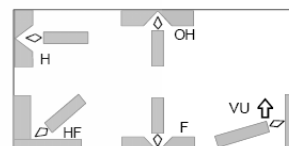
Classification: ASME / AWS A5.18 ER70S-6
JIS Z3312 YGW12

Features : •Suitable for butt and fillet welding in all positions
•Higher currents can be applied in vertical and overhead positions
•Suitable for pipe welding in all positions

Shielding gas: CO₂

Polarity: DC-EP

Welding positions:



Chemical composition of wire (%) as per AWS (Shielding gas: CO₂)

	C	Si	Mn	P	S	Cu
Example	0.10	0.88	1.56	0.011	0.012	0.24
Guaranty	0.06~ 0.15	0.80~ 1.10	1.40~ 1.85	≤0.025	≤0.030	≤0.50

Mechanical properties of all-weld metal as per AWS

	0.2%OS (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	IV (J)	Shielding gas
Example	470	560	32	-29°C: 70	CO ₂
	520	600	31	-29°C: 90	80%Ar-20%CO ₂
Guaranty	≥400	≥480	≥22	-29°C≥27	CO ₂

Recommended welding parameters

Dia.	0.9mm	1.0mm	1.2mm
F	50~200A	50~220A	80~350A
VU	50~140A	50~140A	50~160A
OH	50~120A	50~120A	50~140A

Approvals

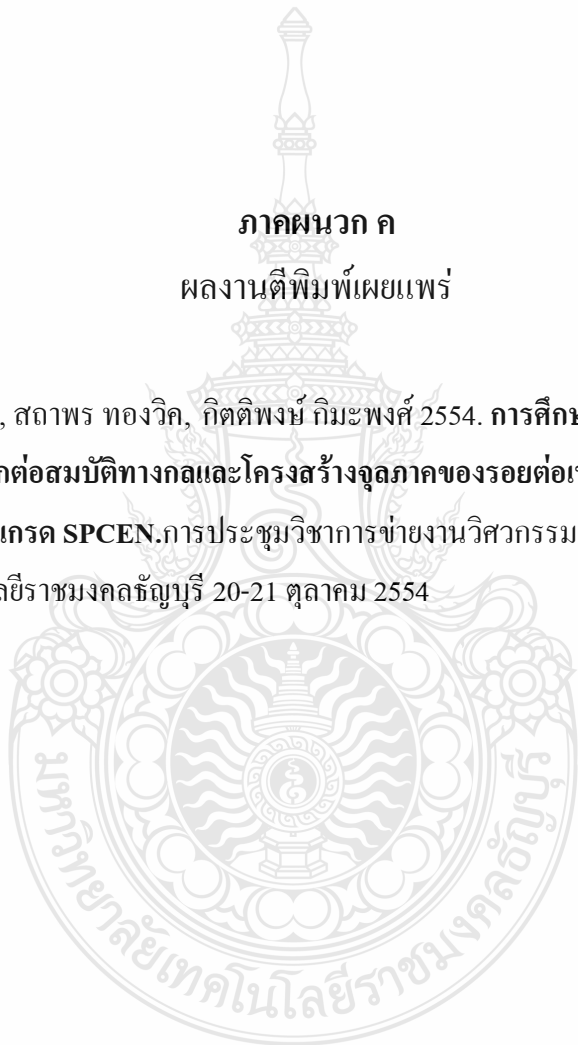
AB	LR	BV	NV	NK
3SA,3YSA	3S,3YS(H15)	SA3,3YM	IIIYMS	KSW53G(C)

Packages

Dia. (mm)	Type	Weight (kg)	Dia. (mm)	Type	Weight (kg)
0.9	Spool	20	1.2	Spool	20
	Pack	250		Pack	250
1.0	Spool	20			

ภาคผนวก ก
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

สมศักดิ์ เชาวลิต, สดาพร ทองวิค, กิตติพงษ์ กิมะพงส์ 2554. การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการ
เชื่อมแม่กต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเทอร์เบลิงค์เหล็กกล้า
คาร์บอนเกรด SPCEN.การประชุมวิชาการย้ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 20-21 ตุลาคม 2554



คณะกรรมการดำเนินการ
การประชุมข่างานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554

1. อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	มทร.ธัญบุรี	ประธานที่ปรึกษา
2. รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
3. รองอธิการบดีฝ่ายวางแผนและพัฒนา	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. ผู้อำนวยการกองคลัง	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. ผู้อำนวยการนโยบายแลแผน	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
7. คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการดำเนินงาน

1. อ.จกกล	สุภารัตน์	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. อ.สุพัศตรา	เกษราพงษ์	ม.ศรีปทุม	รองประธานกรรมการ
3. ผศ.ไพบูลย์	แย้มเฟื่อน	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
4. ผศ.กฤษทล	ทองสี	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. ผศ.ชลิตต์	มจรสมนตรี	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. ผศ.ไพฑูรย์	ประทีปสุข	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
7. ผศ.พัฒนพงศ์	อริยสิทธิ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
8. ผศ.มนตรี	น่วมจิตร	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
9. ผศ.สญชัย	เข้มเจริญ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
10. ผศ.สมชาย	เอี่ยมเจริญ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
11. อ.กวิพงษ์	นิสสัยพันธ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
12. อ.วิเชียร	เถื่อนเครือวัลย์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
13. ดร.สมศักดิ์	อิทธิโสภณกุล	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
14. ดร.ธรีณี	มณีศรี	ม.ศรีปทุม	กรรมการ
15. อ.ชนิน	ศรีวระมย์	ม.ศรีปทุม	กรรมการ
16. อ.จักรพันธ์	กัณหา	ม.ศรีปทุม	กรรมการ
17. อ.พิสุทธิ์	รัตนแสนวงศ์	ม.ศรีปทุม	กรรมการ

18. อ.ชรินทร์	จิตต์สว่าง	ม.ศรีปทุม	กรรมการ
19. ดร.ระพี	กาญจนะ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการเลขานุการ 1
20. อ.ชวลิต	มณีศรี	ม.ศรีปทุม	กรรมการเลขานุการ 2
21. ผศ.ดร.กิตติพงษ์	กิมะพงศ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ 1
22. อ.วรพจน์	พันธ์รุ่ง	ม.ศรีปทุม	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ

1. ผศ.ไพบุลย์	แย้มเฟื่อน	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. ผศ.ดร.ณฐา	คุปตัยเจียร	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
3. ผศ.ดร.ศวิกร	อ่างทอง	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. ผศ.ดร.ศิริชัย	ต่อสกุล	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. ผศ.นฤทธิ	กชฤทธิ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. ผศ.สุรัตน์	ตรัยวนพงศ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
7. ผศ.ชวลิต	แสงสวัสดิ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
8. ดร.กุลชาติ	จุลเพ็ญ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
9. ดร.ชัยยะ	ปราณีตพลกรัง	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
10. ดร.ระพี	กาญจนะ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
11. ผศ.ดร.กิตติพงษ์	กิมะพงศ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายจัดหารายได้สนับสนุน

1. อ.จกกล	สุภารัตน์	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. ดร.สมศักดิ์	อิทธิโสภณกุล	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
3. ผศ.สมศักดิ์	แก่นทอง	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. อ.กวิพงษ์	นิสสัยพันธุ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. อ.วิเชียร	เดือนเครือวัลย์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. อ.สมควร	แววดี	มทร.ธัญบุรี	กรรมการเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายสถานที่และยานพาหนะ

1. ผศ.ดร.ศิวกร	อ่างทอง	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. ผศ.สมศักดิ์	แก่นทอง	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
3. อ.ประจักษ์	อ่างนุญตา	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. อ.ปราโมทย์	พูนนายม	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. อ.ปรกช	สิริสุวัฒน์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. อ.บุญส่ง	จงกลณี	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
7. นายชเนรินทร์	รักศักดิ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
8. นายฉัฐพนธ์	ทองล้ำ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
9. นายสิทธิชัย	ยศลาย	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
10. นายเลิศชัย	ไม้เลี้ยง	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
11. นายกฤษดา	จันทร์เข้ม	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
12. นายสาโรจน์	อุ่ชสาร	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
13. นายดำรง	เต่าจันทร์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
14. นายมารุจน์	ติสันทา	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
15. อ.สมควร	แหวดี	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายการเงินและลงทะเบียน

1. ผศ.ศรีไร	จารุภิญโญ	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. อ.วรญา	วัฒนจิตศิริ	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
3. น.ส.บุญตา	หมั่นทองสุข	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. น.ส.บุษราภรณ์	จิตจำเนียร	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. น.ส.สุทธาทิพย์	ศรีวันนา	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. น.ส.อัมพิกา	ทนนชัย	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
7. นางกัณฑิมา	จองสุข	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
8. น.ส.สุทิสรา	จันทร์บุตร	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
9. น.ส.วัชรีย์	อุตตะมะ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ

คณะกรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์และสารสนเทศ

1. ผศ.สุรัตน์	ตรัยวนพงศ์	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. ผศ.ดร.กิตติพงษ์	กิมะพงษ์	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
3. อ.พันธุ์พงษ์	กงพันธ์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. อ.ศักดิ์ชัย	จันทศรี	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. อ.สุภเอก	ประมุลมาก	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. น.ส.จุฬาลักษณ์	คำแก้ว	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
7. น.ส.ชนาวดี	เนตรกรรม	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
8. น.ส.บุญตา	หมั่นทองสุข	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
9. อ.วราญา	วัฒนจิตศิริ	มทร.ธัญบุรี	เลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายพิธีการต้อนรับ

1. ดร.กุลชาติ	จุลเพ็ญ	มทร.ธัญบุรี	ประธานกรรมการ
2. ผศ.ไพฑูรย์	พูลสุขโข	มทร.ธัญบุรี	รองประธานกรรมการ
3. อ.ปราโมทย์	พูนนายม	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
4. น.ส.ชลธิชา	โพธิ์สิงห์	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
5. น.ส.นุชจรินทร์	ฝึกแฝง	มทร.ธัญบุรี	กรรมการ
6. อ.ปรกช	สิริสุวรรณ	มทร.ธัญบุรี	กรรมการและเลขานุการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

การประชุมข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ.ดร.จิตรา	รู้จักการพาณิชย์	รศ.ดร.ปราเมศ	ชุตินา
ผศ.ดร.ณัฐชา	ทวีแสงสกุลชัย	ผศ.ดร.ดาริชา	สุธีวงศ์
ผศ.ดร.ประมวล	สุธีจาร์วัฒน	ผศ.ดร.สมชาย	พัวจินดาเนตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร.ปฎิภาณ	จู้ยเจิม	ดร.ปุ่นณมี	สังกมล
ดร.สุดารัตน์	วงศ์กัรเกียรติ	ดร.สุวิภรณ์	วิชกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ดร.ชัยวัฒน์	นุ้มทอง	ดร.เพ็ญสุดา	พันธุธิดำ
ดร.ศิริรัตน์	หมื่นนวมิชกุล	ดร.สิรางค์	กลั่นคำสอน
อ.จันจิรา	กงชื่นใจ		

มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

ผศ.ชานนท์	มูลวรรณ	ดร.ศักดิ์ชาย	รักการ
อ.ประภาพรรณ	เกษราพงศ์	อ.จักรินทร์	กลั่นเงิน

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รศ.ดร.พรเทพ	ขอขจายเกียรติ	รศ.ดร.ศุภชัย	ประทุมนากุล
ผศ.ดร.ชาญณรงค์	สายแก้ว	ผศ.ดร.दनัยพงษ์	เชษฐโชติศักดิ์
ผศ.ดร.วีรพัฒน์	เศรษฐ์สมบูรณ์	ดร.ธนา	ราษฎร์ภักดี
ดร.ปาพจน์	เจริญอภิบาล		

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รศ.ดร.วิชัย	ฉัตรทินวัฒน์	รศ.ดร.วินลิน	เหล่าศิริถาวร
ผศ.ดร.คมกฤต	เล็กสกุล	ผศ.ดร.วัสสนัย	วรรณจักริยา
ผศ.ดร.สรวิชัย	จิ๋วสุทธีศิลป์	ผศ.ดร.อภิชาติ	โสภางค์
ผศ.ดร.อรุณพล	สมุทกุลปต์	ดร.กรกฎ	ไยบัวเทศ ทิพยาวงค์
ดร.ชมพูนุช	เกษมเศรษฐ์	ดร.วสวัชร	นาคเจียว
ดร.อนันรุท	ไชยจารุวิช		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ.คมสัน	จิระภัทรศิลป์	รศ.ดร.บวรโชค	ผู้พัฒนา
รศ.ดร.สิทธิชัย	แก้วแก้วกุล	รศ.สันติรัฐ	นันทะอาจ
ผศ.ดร.เจริญชัย	โหมพัตราภรณ์	ผศ.ดร.เตือนใจ	สมบูรณ์วิวัฒน์
ผศ.พจมาน	เตียวัฒนรัฐติกาล	ดร.ช่อแก้ว	จตุรานนท์
ดร.วิศิษฐ์ศรี	วิยะรัตน์	ดร.อิสรทัต	พึงอ้น
อ.ปรีชาญา	เพ็ญสุระ		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.วันชัย แหลมหล็กสกุล ดร.กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ รศ.ดร.ฤดี มสูจันท์
 ผศ.ดร.สกันธ์ กล่องบุญจิต ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพัสกุล
 ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข ดร.พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม
 ดร.ชุมพล ยวงใย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผศ.พิชัย จันทร์มณี ผศ.วิชาญ ช่วยพันธ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

ผศ.ณัฐศักดิ์ พรพุฒิสิริ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ดร.นเรศ อินตะวงค์ ดร.บรรเจิด แสงจันทร์
 ดร.ภาคภูมิ จารุภูมิ ผศ.มนวิภา อาวิพันธ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รศ.สุชาติ เย็นวิเศษ ผศ.เดช เหมื่อนขาว
 ผศ.สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผศ.ดร.พรศิริ จงกล ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย
 ดร.ปภากร สุนานนท์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์
 อ.นรา สมัตถภาพงศ์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รศ.ดร.จิรรัตน์	ธีระวราพฤกษ์	รศ.ดร.จิรศิริพงษ์	เจริญภัณฑารักษ์
ผศ.ดร.วุฒิชัย	วงษ์ทัศนีย์กร	ผศ.ดร.วรารัตน์	กั้งสัมฤทธิ์
ผศ.ดร.สวัสดิ์	ภาะระราช	ผศ.ดร.เสมอจิตร	หอมรสสุคนธ์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผศ.ดร.อุพงษ์	พงษ์เจริญ	ผศ.ศิษญา	สิมารักษ์
ดร.ขวัญนิจิ	คำเมือง	ดร.สมลักษณ์	วรรณฤมล
ดร.ภาณุ	บรูณจารุกร	อ.ธณิกานต์	ธงชัย
อ.ศรีสัจจา	วิทย์ศักดิ์		

มหาวิทยาลัยพระทุมธานี

ดร.ภาสพิรุพท์	ศรีสำเร็จ
---------------	-----------

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์	ศรีประทีป	ผศ.ดร.สุดสาคร	อินธิเดช
ผศ.ดร.บพิช	บุปผาโชติ	ดร.อรอุมา	ลาสุนนท์
ดร.นิตา	ชัยมูล		

มหาวิทยาลัยมหิดล

รศ.ดร.ดวงพรรณ	ศฤงคารินทร์	ผศ.ดร.วเรศรา	วีระวัฒน์
ดร.จิรพรรณ	เลียงโรคาพาธ	ผศ.ศุภชัย	นาทะพันธ์

มหาวิทยาลัยรังสิต

ผศ.ดร.ธนวรรณ	อัสวไพบูลย์	ผศ.ดร.เพียงจันทร์	จริงจิตร
ผศ.สินี	สุขกรมใส	ดร.พิชญ์	มัสปีติ
อ.ศิลป์ชัย	วัฒนเสย	อ.ต่อศักดิ์	อุทัยใจฟ้า
อ.พรรคพงษ์	แก่นณรงค์	อ.สายสุนีย์	พงษ์พัฒนศึกษา

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ผศ.ดร.กฤษดา	พิศัลยบุตร	ดร.เลิศเลขา	ชนะชัยขันธุ์
อ.นุกุล	อุบลบาน	อ.นันทวรรณ	อำเอียม

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รศ.ชนรัตน์	แต่วัฒนา	ผศ.ดร.ทศพล	เกียรติเจริญผล
ผศ.ดร.นิลวรรณ	ชุ่มฤทธิ์	ดร.ณัฐพงษ์	คงประเสริฐ
ดร.ศิริเดช	ชาตินิยม	ดร.พงษ์เพ็ญ	จันทนะ

มหาวิทยาลัยศรีประทุม

ผศ.พัฒน์พงศ์	อริยสิทธิ์	ดร.ชรีณี	มณีศรี
อ.จักรพันธ์	อริยสิทธิ์	อ.ชวลิต	มณีศรี
อ.ชนิน	ศรีวระมย์	อ.พิสุทธิ์	รัตนแสนวงษ์
อ.วรพจน์	พันธ์คง	อ.สุพัฒนตรา	เกษราพงษ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผศ.ดร.ประจวบ	กลุ่มจิตร	ผศ.จันทร์เพ็ญ	อนรรตนา นนท์
ผศ.ปฏิพัทธ์	หงษ์สุวรรณ	ผศ.วันชัย	ลีลากรวิวงศ์
ผศ.สุขุม	โฆษิตชัยมงคล	ผศ.สุวัฒน์	เฌรโต
ดร.กัญจนา	ทองสนิท	ดร.ณัฐพล	ศิริสว่าง
ดร.สิทธิชัย	แซ่แหล่ม		

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รศ.ดร.นิกร	ศิริวงศ์ไพศาล	รศ.วนิดา	รัตนมณี
รศ.สมชาย	ชูโณม	ผศ.ดร.กลางเดือน	โพชนา
ผศ.ดร.เจษฎา	วรรณสินธุ์	ผศ.ดร.ประภาส	เมืองจันทร์บุรี
ผศ.ดร.รัฐชนา	สินธวาลัย	ผศ.ดร.สุภาพรรณ	ไชยประพัทธ์
ผศ.ดร.เสกสรร	สุธรรมานนท์	ผศ.ดร.อรุณ	สังขพงศ์
ผศ.เจริญ	เจตวิจิตร	ผศ.พิเชฐ	ตระการชัยศิริ
ผศ.ยอดดวง	พันธ์นรา	ผศ.สงวน	ตั้งโพธิธรรม

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

อ.จิตลดา	ซิมเจริญ	อ.นิศากร	สมสุข
อ.วรลักษณ์	เสถียรรังษฤทธิ	อ.อัญชลี	สุพิทักษ์
อ.อรอุมา	กอสนาน		

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผศ.ดร.คณิศร	ภูนิคม	ผศ.ดร.นลิน	เพ็ชรทองข
ผศ.ดร.นุชสราร	เกียงกรกฎ	ผศ.ดร.ปรีชา	เกียงกรกฎ
ผศ.ดร.ระพีพันธ์	ปีตาอะโส	ผศ.ดร.สมบัติ	สินธุเชาวน์
ผศ.ดร.สุขอังคณา	ลี	ดร.ธราชดา	พันธ์นิกุล
ดร.จริยาภรณ์	อุ้นวงษ์	ดร.สัณณ์	โอพาพิริยะกุล

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ดร.กรกฎ เหมสถาปัตยกรรม

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

ผศ.ชัยพฤษ์ อาภาเวท
อ.เจษฎา วงศ์อ่อน
ผศ.ประยูร สุรินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รศ.ดร.ชัยยุทธ	ช่างสาร	รศ.มานพ	ตันตระบัณฑิตย์	
ผศ.ดร.กิตติพงษ์	กิมะพงษ์	ผศ.ดร.จตุรงค์		ลังกาพินธุ์
ผศ.ดร.ศิวกร	อ่างทอง	ผศ.ดร.วารุณี		อริวิริยะนันท์
ผศ.ดร.สมหมาย	ผิวสอาด	ผศ.ชวลิต		แสงสวัสดิ์
ดร.กุลชาติ	จุลเพ็ญ	ดร.ชัยยะ		ปราณีตพลกรัง
ดร.ณรงค์ชัย	โอเจริญ	ดร.ระพี		กาญจนะ
ดร.สรพงษ์	ภาสุปรีย์	ดร.สุมนมัลย์		เนียนกลาง
ผศ.สุรัตน์	ตรัยวพงศ์			



การศึกษานิวทริฟลัดตัวแปรการเชื่อมแม่เหล็กต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค
ของรอยต่อเทเลอร์แบบลิ้งค์เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCCN

Influence of Metal Active Gas Welding on SPCCN Steel Tailored Blank Joint Properties

สมศักดิ์ เชาวลิค^{1*}สถานพร ทองวิกิ กิตติพงษ์ กิมะพงษ์²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

E-mail: Somsak.cha@thaisummit.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อวัตถุประสงค์การเชื่อมแม่เหล็ก ในการเชื่อมรอยต่อชนแผ่นเทเลอร์แบบลิ้งค์ของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCCN และทำการศึกษาควแปรการเชื่อมที่เหมาะสม เช่น กระแสไฟในการเชื่อม ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ที่มีผลต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการเชื่อมแบบแม่เหล็กโดยใช้วิธีการต่อชน ผลจากการทดลองโดยสรุปพบว่า การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟ และความเร็วในการเดินแนว ส่งผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม รวมไปถึงความแข็งแรง และจากผลการทดสอบหาสมบัติทางกล ด้วย การทดสอบค่าการค้ำแรงดึงและการทดสอบความแข็ง พบว่าค่าสถานะที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเชื่อมเทเลอร์แบบลิ้งค์เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCCN ที่ความหนา 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร ใช้ กระแสไฟเชื่อม เท่ากับ 70 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งสามารถวัดค่าแรงดึงสูงสุดที่ 698.1MPa และความแข็งแรงของแนวเชื่อมสูงสุด 243.7 ซึ่งเป็นบริเวณจุดกึ่งกลางของแนวเชื่อม และจะมีค่าความแข็งแรงบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) 215.6 และจะมีความแข็งแรงลดลงในบริเวณเนื้อโลหะงาน (BM) ตามลำดับ

คำหลัก: การเชื่อมแม่เหล็ก; แผ่นเทเลอร์แบบลิ้งค์; เหล็กกล้าคาร์บอน

1. บทนำ

ปัจจุบันในกลุ่มธุรกิจอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ได้มีการพัฒนาและนำเอาเทคโนโลยีต่างๆเข้ามาประยุกต์ใช้โดยมีแรงผลักดันมาจาก ข้อบังคับในด้านสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยและการอนุรักษ์พลังงาน หนึ่งในวิธีที่สามารถทำให้บรรลุจุดประสงค์ ตามข้อบังคับที่กำหนด อุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ได้ทดลองใช้วิธีการต่างๆ มากมาย แต่วิธีการที่ทำให้เกิดผลที่ชัดเจนที่สุด คือความพยายามในการลดน้ำหนักโดยรวมของรถยนต์ให้น้อยลงซึ่งจะสามารถทำให้เครื่องยนต์ทำงานเต็มประสิทธิภาพ และประหยัดเชื้อเพลิง [1] ที่ผ่านมามีตัวอย่าง

การลดน้ำหนักของรถยนต์นั้นทำได้หลายวิธีการ เช่น การนำเอาวัสดุพอลิเมอร์มาใช้ในโครงสร้างรถยนต์แต่ข้อเสียของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะแล้วยังมีสมบัติทางกลบางตัวที่ด้อยกว่าโลหะ วัสดุประกอบ (Composite material) [2] ในกลุ่มของโลหะมีการนำวัสดุเบาหลายตัวเข้ามาแทนที่โลหะเดิม เช่น การนำอลูมิเนียมผสมเข้าแทนที่ชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็ก ซึ่งส่งผลทำให้น้ำหนักโครงสร้างโดยรวมลดลง และทำให้โครงสร้างของรถยนต์นั้นมีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น [1] หรือบางกรณีมีการนำเอาวัสดุชนิดเดียวกันที่มีความบางกว่ามาเชื่อมต่อกับวัสดุที่มีความหนา หรือที่เรียกว่า เทเลอร์แบบลิ้งค์ (Tailored bank) ซึ่งทำให้น้ำหนักของโครงสร้างลดลง แต่ความแข็งแรงของโครงสร้างมีค่าใกล้เคียงกับ วัสดุเหล็กตัวเดิม [3] ตัวอย่างการใช้รอยต่อเทเลอร์แบบลิ้งค์ เช่น การผลิตชิ้นส่วนประตูรถยนต์ เสากลางโครงรถยนต์ โครงหน้าคาง ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นใช้วัสดุเหล็กแผ่น 2 ชั้นที่มีความหนาต่างกันเพื่อการลดน้ำหนักของตัวรถยนต์และ วัสดุค้ำในการผลิต โดยในการผลิตเหล็กแผ่นที่มีความหนาต่างกันจะถูกเชื่อมเข้าเป็นชิ้นงานเดียวกัน ก่อนนำไปประกอบเป็นโครงสร้างของรถยนต์ โดยชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมแล้ว ต้องผ่านการตรวจสอบแนวเชื่อมเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานการผลิตรถยนต์ [3] อย่างไรก็ตามการเชื่อมวัสดุเทเลอร์แบบลิ้งค์นั้นมีความยากลำบาก เนื่องจากวัสดุมีการถ่ายเทความร้อนแตกต่างกัน ดังนั้นวิธีการเชื่อมที่สามารถควบคุมการถ่ายเทความร้อนได้ง่าย จึงมีถูกคิดค้นและประยุกต์ใช้เพื่อนำมาทำเชื่อมวัสดุเทเลอร์แบบลิ้งค์อย่างต่อเนื่อง

ในการเชื่อมรอยต่อเทเลอร์แบบลิ้งค์นั้นมีการดำเนินการเชื่อมด้วยวิธีการต่างๆ หลายวิธี [4] เช่น การเชื่อมรอยต่อชนด้วยเลเซอร์เซอร์ เป็น การเชื่อมแบบเต็ม (Full penetration) ซึ่งสามารถเชื่อมให้ได้รอยเชื่อมที่มีอัตราส่วนของความลึกต่อความหนาสูง ดังนั้นวิธีนี้จึงสามารถเชื่อมได้แนวเชื่อมที่ลึกและแคบ อัตราการเย็นตัวของแนวเชื่อมที่สูงมาก ทำให้ได้ความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่สูงกว่าการเชื่อมด้วยวิธีความ



ด้านทาน การเชื่อมรอยต่อด้วยความดันทานเป็นกระบวนการเชื่อมที่ใช้ลูกกรีด ซึ่งต้องอาศัยรอยเชื่อมที่ต่อเนื่องกันอัดเนื้อเหล็กเข้าด้วยกันขณะที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ได้แนวเชื่อมที่กว้างกว่าการเชื่อมด้วยเลเซอร์เล็กน้อย การเชื่อมแบบการเหนี่ยวนำความถี่สูงเป็นการเชื่อมแบบต่อชนใช้สำหรับงานเหล็กแผ่นการเชื่อมทำโดยนำเหล็กแผ่น 2 แผ่นมากลเข้าหากัน ครอบรอบด้วยตัวยึดตลอดแนวความยาวของเหล็กแผ่น และหน้าสัมผัสของชิ้นงานจะถูกกดด้วยแรงอัดในระหว่างการเชื่อม ซึ่งเหล็กจะหลอมติดกันปัจจุบันมีการใช้สำหรับงานเชื่อมที่มีความยาวของแนวเชื่อมสูง 1 เมตรรอยเชื่อมที่ได้จะมี ความสูงกว่าความหนาของเหล็กแผ่นประมาณ 50% ซึ่งต้องทำการขัดออกภายหลังการเชื่อม การเชื่อมด้วยลำแสงอิเล็กตรอนเป็นการเชื่อมแบบหลอมละลายเช่นเดียวกับวิธีอื่นๆ โดยทั่วไปใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 25 – 35 กิโลวัตต์ วิธีนี้เหมาะสำหรับการเชื่อมวัสดุที่หนา มีความกว้างรอยเชื่อมลำแสงอิเล็กตรอน 1.5 มิลลิเมตร บริเวณแนวเชื่อมรวมกับบริเวณพื้นที่ผลกระทบร้อนเท่ากับ 3.5 มิลลิเมตรและเมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อมด้วยเลเซอร์พบว่า การเชื่อมลำแสงอิเล็กตรอน สามารถเชื่อมได้โดยที่มีระยะห่างของแผ่นโลหะ (Gap) มากกว่าการเชื่อมด้วยเลเซอร์เล็กน้อย นอกจากนี้ยังทำการเชื่อมได้เร็วกว่าและ กระแสของอิเล็กตรอน ก็จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันการแผ่รังสี เอกซ์ที่ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อม

ด้วยข้อมูลการเชื่อมที่กล่าวมาพบว่ามีในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์นั้น ใช้วิธีการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สปกคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) ในการเชื่อมเทลเลอร์แปลงครีต่อของแผ่นโลหะน้อยมาก ด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สปกคลุมในการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และทำการศึกษาอิทธิพลการเชื่อมต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติและโครงสร้างของแนวเชื่อมต่อไป

2. วิธีการทดลอง

ตารางที่ 1 ตารางส่วนผสมทางเคมี

ความหนา (mm.)	Chemical Composition			
	C	Si	P	S
1.0	0.001	0.001	0.023	0.011
1.2	0.001	0.001	0.023	0.011

ตารางที่ 2 ตารางคุณสมบัติทางกล

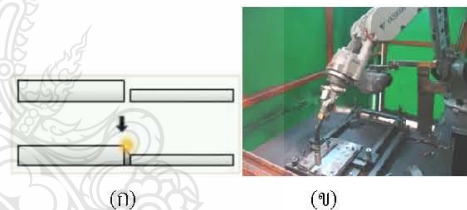
ความหนา (mm.)	ความแข็งแรงดึง		
	YP.(MPa)	TS.(MPa)	EL (%)
1.0	148	282	49
1.2	172	296	51

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด

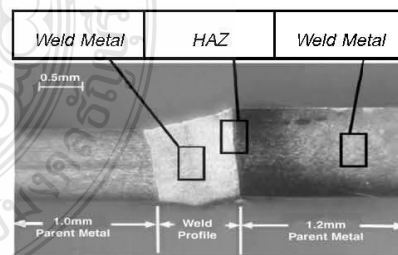
SPCEN ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งมีขนาดในการทดลองคือแผ่นความหนา 1.0 มิลลิเมตร กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร และแผ่นความหนา 1.2 มิลลิเมตร กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร รายละเอียดส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 แผ่นโลหะที่ผ่านการเตรียมถูกนำไปยึดในอุปกรณ์การจับยึดดังแสดงในรูปที่ 1 โดยกำหนดให้แผ่นที่มีความหนากว่าอยู่ที่ด้านซ้ายของทิศทางการเดินทางแนวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 การวางชิ้นงานบนจิ๊กเชื่อม



รูปที่ 2 (ก) การวางตำแหน่งชิ้นงานและ (ข) ตำแหน่งหัวเชื่อม



รูปที่ 3 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบความแข็ง

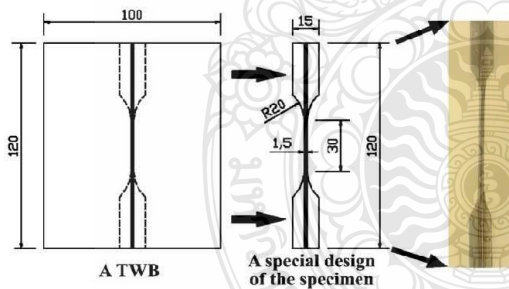
ชิ้นงานถูกทำการเชื่อมโดยวิธีการเชื่อมโดยวิธีการเชื่อมแม็ก (Metal Active Gas: MAG) ด้วยแปรงการเชื่อมประกอบด้วย กระแสเชื่อม 60 – 80 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 60 – 70 mm/min แก๊สปกคลุมอาร์กอน 80% และคาร์บอน 20% โดยใช้ลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน AWS A5.18ER70S-6 รอยต่อ



การเชื่อมเป็นรอยต่อชน โดยมีลำดับการทดลองตามหมายเลขใน ตารางที่ 3 หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพของการเชื่อม ดังนี้ การ ทดสอบความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อม (Tensile strength test) โดยทำ การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3 ขนาดของ ชิ้นงานอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E-8 ใช้ชิ้นงานทดสอบแบบลด ขนาด จุดประสงค์เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อม (Strength of weld) การทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ (Vickers micro hardness test) โดยการวัดด้วยหัวกดเพชรที่มีลักษณะเป็นรูปปิรามิด กดลงไปบนเนื้อโลหะเชื่อมด้วยแรงกด 500 กรัม ระยะเวลาในการกด แขน่ 20 วินาที ทำการวัดที่ปริมาณภาคตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางในการ เดินแนวเชื่อมตั้งแต่วัสดุหลักด้านแผ่นบางตัดโลหะเชื่อมไปถึงด้าน แผ่นบางตัด โลหะเชื่อมไปถึงด้านแผ่นหนาคงแสดงในรูปที่ 3

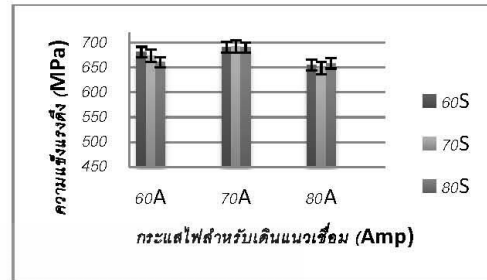
ตารางที่ 3 การออกแบบการทดลอง

กระแสไฟ (แอมแปร์)	อัตราเร็วการเดินแนวเชื่อม (mm/min)		
	1	2	3
60	60	70	80
70	60	70	80
80	60	70	80



รูปที่ 4 การเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์

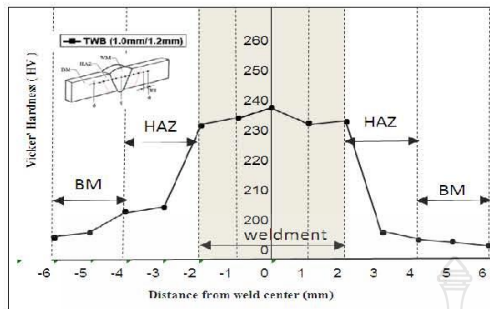


รูปที่ 5 ผลการทดสอบแรงดึง



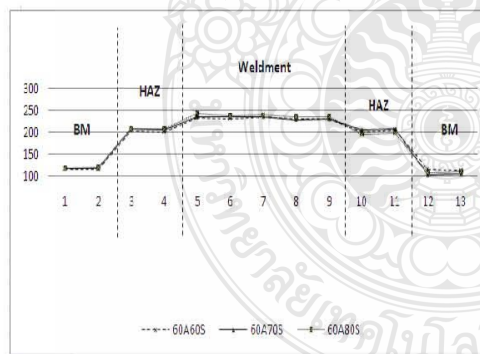
รูปที่ 6 ชิ้นงานหลังการทดสอบแรงดึง

รูปที่ 5 แสดงชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงของแนว เชื่อมโดยทำการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) ด้วยเครื่องทดสอบ หลังจากนั้นทำการบันทึกผลการทดสอบดังตารางที่ 4 จากผลการ ทดสอบพบว่า ที่สภาวะการเชื่อมที่ กระแสไฟ 70แอมแปร์ความเร็วใน การเดินแนวเชื่อม 70 มิลลิเมตรต่อนาที จะได้ค่าการทดสอบแรงดึง สูงสุดคือ 698.1.MPaและในทางกลับกัน ค่าความแข็งแรงจากการ ทดสอบแรงดึง ที่มีค่าน้อยที่สุดจะมีสภาวะการเชื่อม ที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ระดับ80มิลลิเมตรต่อ นาทีจากผลการทดสอบจะได้ค่าความแข็งแรงที่ 608.9MPa ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการพิจารณาผลการ ทดสอบหาค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน หลังผ่านกระบวนการเชื่อมที่สภาวะต่างๆดังที่กำหนดไว้ ดังที่แสดงใน ตาราง ที่ 3 การออกแบบการทดลองสำหรับการตรวจสอบค่าความ แข็งบริเวณจุดต่างๆของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อม 3 บริเวณ คือ บริเวณเนื้อเชื่อม(Weld metal) บริเวณอิทธิพลความร้อน (Heat affected zone)และบริเวณเนื้อโลหะงาน(Base metal) ดังแสดงชิ้นงาน หลังการ ทดสอบ ดังรูปที่ 9 จากผลการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรง บริเวณ เนื้อเชื่อมจะมีค่าความแข็งแรงสูงสุด และค่าความแข็งแรงบริเวณ อิทธิพลกระทันร้อนจะมีค่าความแข็งแรงที่ต่ำลงมา ส่วนค่าความแข็งแรง บริเวณเนื้อโลหะของชิ้นงานจะมีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุด ดังแสดงในรูป ที่ 8 ผลการทดสอบความแข็งแรง เมื่อพิจารณาบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม พบว่าความแข็งแรงที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกันทั้งด้าน ชิ้นงานทดสอบ แผ่นบางและแผ่นหนาในขณะที่กึ่งกลางของเนื้อโลหะเชื่อมนั้นมี ค่าสูงสุด จากข้อมูลความแข็งแรงอาจสรุปได้ว่า ค่าความแข็งแรงของโลหะ รอยต่อเทเลอร์เบสลิ้งค์ของแผ่นโลหะหนา 1.0 และ 1.2 มิลลิเมตร นั้น ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเฉพาะเนื้อ โลหะเชื่อมต่อไป

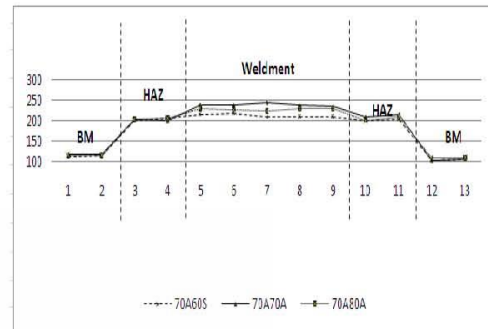


รูปที่ 7 ผลการทดสอบความแข็ง

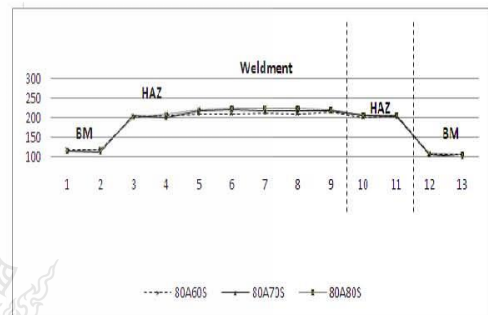
ทำการวิเคราะห์ความแข็งของชิ้นงานทดสอบตามสภาวะต่างๆ ของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมแม่เหล็กแบบค่อชน พบว่า ที่กระแสไฟในการเชื่อม 70 แอมแปร์ และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 70 มิลลิเมตรค่อนาที ชิ้นงานจะมีค่าความแข็งสูงสุดโดยสรุปคือ ค่าความแข็งบริเวณบริเวณเนื้อเชื่อม(Weld metal) จะมีความแข็งที่ 243.7 และบริเวณอิทธิพลความร้อน (Heat affected zone) จะมีค่าความแข็งที่ 201.3 ส่วนสุดท้ายบริเวณเนื้อโลหะงาน(Base metal) จะมีค่าที่ 118.3 และค่าสภาวะการเชื่อมที่มีค่าความแข็งน้อยสุดคือกระแสไฟในการเชื่อม 80 แอมแปร์และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่ 60 มิลลิเมตรค่อนาที ซึ่งค่าความแข็งบริเวณบริเวณเนื้อเชื่อม(Weld metal) จะมีความแข็งที่ 209.3 และบริเวณอิทธิพลความร้อน (Heat affected zone) จะมีค่าความแข็งที่ 204.9 ส่วนสุดท้ายบริเวณเนื้อโลหะงาน(Base metal) จะมีค่าที่ 108.4 ดังแสดงในรูปที่ 8



(ก)กระแสไฟ 60A

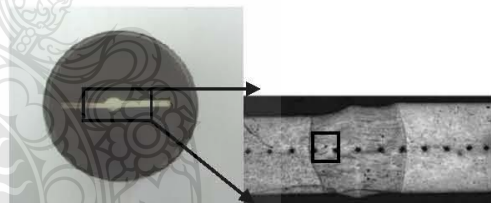


(ข) กระแสไฟ 70A



(ค)กระแสไฟ 80A

รูปที่ 8 ผลการทดสอบความแข็งตามสภาวะการเชื่อม



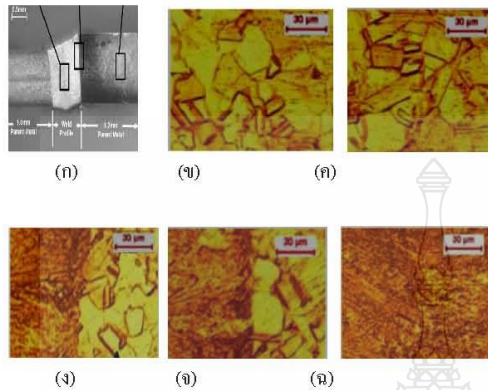
รูปที่ 9 (ก) ชิ้นงานทดสอบความแข็ง (ข) ชิ้นงานหลังจากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส

รูปที่ 10 (ก) จะแสดงโครงสร้างมหภาคที่ตำแหน่งต่างๆ รูปที่

10 (ข) โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานบริเวณเนื้อโลหะ ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าโครงสร้างเม็ดเกรนมีรูปร่างที่ไม่เป็นระเบียบและไม่กลมมนรูปที่ 10 (ค) คือขอบเขตระหว่างพื้นที่รับอิทธิพลความร้อนและบริเวณขอบแนวเชื่อม (Heat Affected Zone: HAZ) จะพบว่าเป็นโครงสร้างที่ผสมรวมกับโครงสร้างที่เกิดขึ้นใหม่ ทำให้บริเวณนี้ไม่มีความกลมมน แต่โครงสร้างจะมีลักษณะเป็นเกรนยาวแทรกเข้าไปในเนื้อโลหะเดิม สำหรับรูปที่ 10 (ง) จะแสดงโครงสร้างบริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมซึ่งจะพบว่าลักษณะของเกรนโลหะจะมีการเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นๆ และมีการบีบอัดตัวของเกรนมากขึ้น และเมื่อนำแนวเชื่อมไปทดสอบแรงดึง และ



ทดสอบความแข็ง บริเวณนี้จะไม่มีโอกาสเกิดความเสียหาย และจะมี
ความแข็งมากกว่าบริเวณอื่น



รูปที่10 โครงสร้างมหภาคและจุลภาคของชิ้นงาน

- (ก) โครงสร้างมหภาค
(ข) เกรนของแนวเชื่อมบริเวณเนื้อโลหะที่มีความหนา 1.0มม.
(ค) เกรนของแนวเชื่อมบริเวณเนื้อโลหะที่มีความหนา 1.2มม.
(ง) เกรนของแนวเชื่อมที่อยู่ระหว่างขอบแนวเชื่อมขอบแนวเชื่อมกับ
กึ่งกลางแนวเชื่อม ที่ความหนา 1.0มม.
(จ) เกรนของแนวเชื่อมที่อยู่ระหว่างขอบแนวเชื่อมขอบแนวเชื่อมกับ
กึ่งกลางแนวเชื่อม ที่ความหนา 1.2มม.
(ฉ) เกรนของแนวเชื่อมที่อยู่กึ่งกลางแนวเชื่อม

4.สรุปผลการทดลอง

สำหรับการงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์การเชื่อมแม่เหล็กในการเชื่อมแบบต่อชนรอยต่อชนแผ่นเทลเลอร์แบบลงค สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCEEN ที่มีความหนาของชิ้นงานทดลองที่ 1.0 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร และทำการศึกษาหาสภาวะต่างๆที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมคือ กระแสไฟที่เหมาะสมสำหรับการเดินแนวเชื่อม และค่าความเร็วที่เหมาะสม ที่มีผลต่อคุณภาพและสมบัติทางกลของชิ้นงานหลังจากผ่านกระบวนการเชื่อม จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า รอยต่อชนแผ่นเทลเลอร์แบบลงคสามารถทำการเชื่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการเชื่อมแม่เหล็ก ที่สภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมระหว่างความเร็วในการเชื่อม และกระแสไฟ ชิ้นงานหลังการเชื่อมสามารถที่จะทดสอบแรงดึงได้สูงสุดที่ 698.IMPa และสามารถที่จะรับ แรงกดได้ที่ 243.7 โดยการเชื่อมที่ใช้กระแสไฟ 70 แอมแปร์ และ ความเร็วในการเชื่อมที่ 70 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งหลังจากการทดลองในครั้งนี้สามารถที่จะสรุปได้ว่า กระแสไฟ และ ความเร็วในการเชื่อมจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของงานเชื่อม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2554 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kimapong K. and Watanabe T. 2004. Friction Stir Welding of Aluminum Alloy to Steel. *Welding Journal*, 83-10:277s-282.
- [2] Brandon D. and Kaplan W.D. *Joining Processes: An introduction*. 1997. John Wiley & Sona Ltd. New York. 1-12.
- [3] ธรรมบุญ อินทรพล,กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ 2551. อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมเลเซอร์ต่อสมบัติทางกลของรอยต่อชนแผ่นเทลเลอร์แบบดึงเหล็กเคลือบสังกะสีเกรด SGACD.การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์,มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 8-9 พฤษภาคม 2551.
- [4] กระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์,,<http://22subtaweetrading.igetweb.com/index.php?mo=14&newsid=33267>(Online),2008.Available:<http://www.subtaweetrading.igetweb.com>,(15 พฤศจิกายน 2550)
- [5] ชงอุท คุดกุล, ประภาศ เมืองจันทร์บุรี 2551.ศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระแสเชื่อมและส่วนผสมของแก๊สคลุมที่แตกต่างกัน โดยวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 8-9 พฤษภาคม 2551.
- [6] อนุสิทธิ์ อ้าไพบูลย์. ปัจจัยที่เหมาะสมของการเชื่อมแบบอาร์คโลหะก๊าซคลุม.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมกรมอุตสาหกรรม,ภูเก็ต,ประเทศไทย, 24-26 ตุลาคม 2550.
- [7] อนุสิทธิ์ อ้าไพบูลย์,วิทยา อินทร์สอน,พรชัย นัครชัยวัฒนา2551. การหาสภาวะที่เหมาะสมของเงื่อนไขการเชื่อมแบบแม่เหล็กเอ็ม.การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น 20-22 ตุลาคม 2551.
- [8] ชุต จุลอุทัย 2551.เทคโนโลยีการเชื่อมมิก/แม็ก ฟลักซ์คอร์ เล่ม 1.พิมพ์ที่ ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,กรุงเทพมหานคร
- [9] มานะศิษฐ์ พิมพ์สาร (2542).การเชื่อม MIG-MAG. กรุงเทพมหานคร.เอ็มแอนด์ซีดี.
- [10] C.H.Cheng,M.Jie,L.C.Chan,C.L.Chow.,True stress-strainanalysisonweldmentof heterogeneous tailor-welded blank-a novel approach for forming simulation. *International Journal of Mechanical Sciences* 49 (2007) 217-229

สารบัญ (ต่อ)

MPM110	ผลกระทบของสังกะสีในอิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งผลกับการกัดอาร์คเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 ด้วยเครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า อภิวัฒน์ มุตตามระ พิชัย จันทรัมย์ณี ศุภวัฒน์ ชูวาริ คงสิน เอื้อสถิตวงศ์	231
MPM112	ประสิทธิภาพการตัดเกจชิ้นงานพลาสติกด้วยเครื่องต้นแบบ พิชัย จันทรัมย์ณี ศุภวัฒน์ ชูวาริ กมลพงศ์ แจ่มกมล อุทัย วิมูลศักดิ์	232
MPM114	อิทธิพลของสภาวะการตัดเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304 ด้วยเลเซอร์ที่มีผลต่อความหยาบผิว นรา บุริพันธ์ ศิวกร อ่างทอง	233
MPM115	ของไหลอิเล็กทรอนิกส์ โอลอจิคอลและการประยุกต์ใช้ สุนนมาลย์ เนียมกลาง	234
MPM116	การปรับปรุงผลผลิตภาพการผลิตในโรงงานผลิตซีอิ๊ว นทีพัฒน์ ประยงค์พันธุ์ วิชัย รุ่งเรืองอนันต์	235
MPM119	การเชื่อมทิกประสิทธิภาพสูงโดยใช้แก๊สแอคทีฟเป็นแก๊สปกคลุม จรัญ ธรรมใจ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี อับดุล บิลละหิม	236
MPM120	การลดอุณหภูมิอากาศในกระบวนการกระเทาะเปลือกเพื่อเพิ่มร้อยละของข้าวต้น สมควร แววดี อภิชาติ อัจฉนาเสียว	237
MPM121	การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมแม่เหล็กต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเทอร์เบิ้ลส์เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCEEN สมศักดิ์ เชาวลิต สถาพร ทองวิก กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	238
MPM125	อิทธิพลของระยะลึกและรูปทรงบ่าของเครื่องมือเชื่อมต่อความแข็งแรงของรอยต่อ การเชื่อมเสียดทานแบบจุดระหว่างอลูมิเนียมผสม AA1100 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 อดิศร เปลี่นดิษฐ์ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	239
MPM126	อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมการเชื่อมอาร์คโลหะก๊าซคลุมต่อสมบัติของรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 430 สุวัฒน์ ภูภา กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	240

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายสมศักดิ์ เชาวลิต
วัน เดือน ปีเกิด 3 กรกฎาคม 2526
ที่อยู่ 18/4 หมู่ 6 ตำบลนาหวาง อำเภอหนองพิกุล จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160
การศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
สาขาวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี พ.ศ. 2545
ประสบการณ์การทำงาน พ.ศ.2549 - ปัจจุบัน บริษัท ไทยซัมมิท ออโต้พาร์ท อินดัสทรี จำกัด

