

**การศึกษาอิทธิพลของแก๊สคลุมการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติรอยต่อ
ชนเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400**

**Effect Study of Gas Metal Arc Welding Shielding Gas on SUS 304
Stainless Steel and SS400 Carbon Steel Butt Joint Properties**

ยอดเปรม ภูคำเน็ด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาอิทธิพลของแก๊สคลุมการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติ
รอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

ยอดเปรม ฎุกำเนิด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์

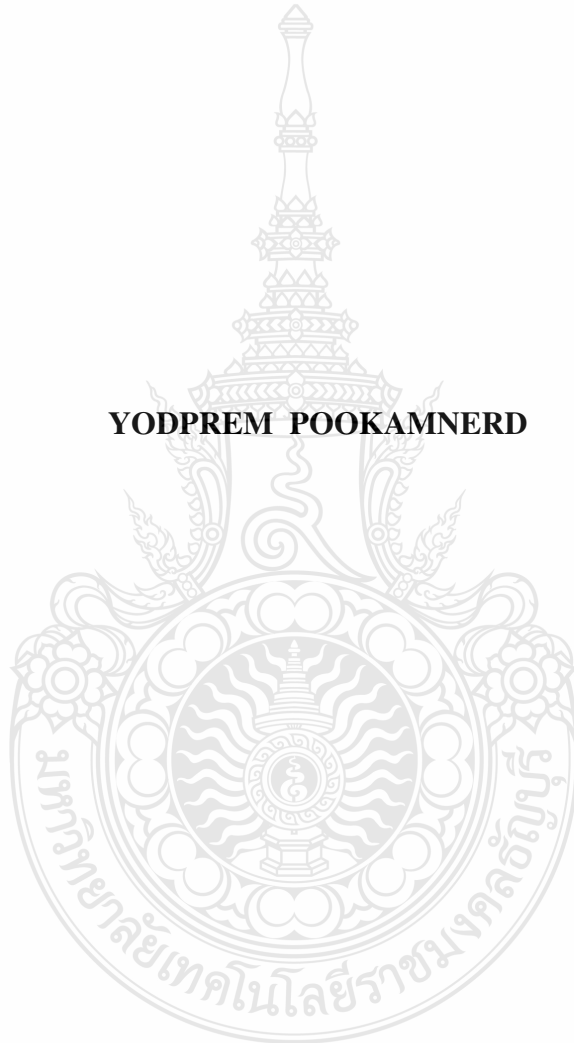
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**EFFECT STUDY OF GAS METAL ARC WELDING SHIELDING GAS ON
SUS 304 STAINLESS STEEL AND SS 400 CARBON STEEL BUTT JOINT
PROPERTIES**

YODPREM POOKAMNERD



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

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาอิทธิพลของแก๊สคลุมการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติรอยต่อ
ชนเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400
Effect Study of Gas Metal Arc Welding Shielding Gas on SUS 304 Stainless
Steel and SS400 Carbon Steel Butt Joint Properties

ชื่อ - นามสกุล นายยอดเปรม ภูกำเนิด
สาขาวิชา วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, D.Eng.)



กรรมการ

(อาจารย์สมพงษ์ พิริยานต์, Ph.D.)



กรรมการ

(อาจารย์ชัยยะ ปราณิตพลกรัง, D.Eng.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 17 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของแก๊สคลุมการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติรอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400
ชื่อ-นามสกุล	นายยอดเปรม ภูกำเนิด
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมรอยต่อโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นสิ่งท้าทายมากกว่าการเชื่อมรอยต่อโลหะชนิดเดียวกันเนื่องจากความแตกต่างของสมบัติของโลหะฐานที่ต้องทำการเชื่อม ในการเชื่อมรอยต่อสมบูรณ์ที่แสดงความแข็งแรงดึงสูงสุดต้องมีการหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์สูงสุดจากรอยต่อ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของชนิดแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

วัสดุในการทดลอง คือ เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400ขนาด $100 \times 200 \times 3 \text{ mm}^3$ รอยต่อชนถูกเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมด้วยกระแสเชื่อม 100-120 A และความเร็วเดินเชื่อม 300-450 mm/min แก๊สปกคลุม คือ 95%Ar+5%He, 95% Ar+5% N₂และ 95% Ar+5% O₂ รอยต่อชนที่ถูกเชื่อมนำไปทำการทดสอบความแข็งแรงดึง ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาค

ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ แก๊สคลุมที่เหมาะสมที่ให้ความแข็งแรงดึง 548 MPa คือ 95%Ar-5%N₂ เมื่อเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 100A และความเร็วเชื่อม 350mm/min ความแข็งแรงของรอยต่อชนเพิ่มขึ้นเมื่อส่วนผสมแก๊สคลุมมีการเปลี่ยนแปลงเป็นฮีเลียม ออกซิเจน และไนโตรเจนตามลำดับ ไนโตรเจนในแก๊สคลุมทำให้ช่องว่างระหว่างแกนเดนไดรท์ในโลหะเชื่อมมีความละเอียดและส่งผลทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าคาร์บอน การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม

Thesis Title Effect Study of Gas Metal Arc Welding Shielding Gas on SUS 304 Stainless Steel and SS400 Carbon Steel Butt Joint Properties

Name - Surname Mr. Yodprem Pookamnerd

Program Manufacturing Engineering

Thesis Advisor Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.

AcademicYear 2014

ABSTRACT

Gas metal arc welding (GMAW) of dissimilar carbon steel/stainless steel joint is generally more challenging than that of similar metals joint because of difference in the properties of the parent metals to be welded. In order to get a sound joint that shows a maximum tensile strength, various GMAW process parameters were optimized for taking full advantage of the joints. Therefore, this research aimed to study an effect of GMAW shielding gas type on SS400 carbon steel and SUS 304 stainless steel butt joint properties.

Materials used in this study were SS400 carbon steel and SUS304 stainless steel and had a dimension of 100x200x3 mm³. Butt joint was welded by GMAW using a welding current of 100-120 A and a welding speed of 300-450 mm/min. Shielding gases of GMAW process was 95% Ar+5% He, 95% Ar + 5% N₂ and 95 % Ar+5% O₂. Welded butt joints were investigated for tensile strength, hardness and microstructure.

The experimental results were concluded as follows. Optimized shielding gas that produced a maximum tensile strength of 548 MPa was 95% Ar - 5% N₂ with a welding current of 100 A and a welding speed of 350 mm/min. The tensile strength of the butt joint was increased when the shielding gas was mixed with He, O₂ and N₂, respectively. The present of the N₂ in a shielding gas produced finer inter-dendrite arm spacing in a weld metal and affected directly to increase a tensile strength of the butt joint.

Keywords : stainless steel, carbon steel, gas metal Arc welding

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยจากความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ดร.ชัยยะ ปราณิตพลกรัง คณะกรรมการสอบและ ดร.สมพงษ์ พิริยานต์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ขอขอบคุณบุคลากร-คณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และขอขอบคุณบุคลากร-คณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ที่สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ และให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ-คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา บ่มเพาะวิชาการจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และ ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ยอดเปรม ภูกำเนิด



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(13)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม.....	5
2.2 เหล็กกล้าคาร์บอน.....	8
2.3 การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม.....	12
2.4 ชนิดของรอยต่อชน.....	17
2.5 การทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อม.....	17
2.6 การตรวจสอบทางโลหะวิทยา.....	19
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	25
3.1 วัสดุทดลอง.....	25
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	28
3.3 การทดสอบสมบัติทางกล.....	31
3.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา.....	33
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 อิทธิพลของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมที่มีผลต่อกระแสเชื่อม.....	40
4.1.1 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม	40
4.1.2 ความต้านทานแรงดึงกับแก๊สปกคลุมและกระแสเชื่อมต่างกัน.....	45
4.1.3 การเปรียบเทียบขนาดของเดน ไครต์.....	47
4.1.4 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายนิกชาติระหว่างกระแสเชื่อม กับแก๊สปกคลุมต่างกัน	48
4.1.5 การเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของแก๊สปกคลุมต่างกัน.....	52
4.1.6 การเปรียบเทียบความแข็งจุลภาคของแนวเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุมต่างกัน	54
4.1.7 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิคEDS-Line scan ของรอยเชื่อม	56
4.1.8 สรุปผลการทดลอง อิทธิพลของแก๊สปกคลุมที่มีผลต่อสมบัติของ รอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 และเหล็กกล้าไร้สนิมSUS304	57
4.2 อิทธิพลของแก๊สปกคลุม 95% Ar+5%N ₂ ที่มีผลต่อความเร็วเดินเชื่อม.....	58
4.2.1 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายนิกชาติด้านข้าง	58
4.3 การเปรียบเทียบขนาดของเม็ดเกรนที่มีผลต่อความเร็วเดินเชื่อมของแก๊ส ปกคลุมแนวเชื่อม 95%Ar + 5%N ₂	64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	68
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	68
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	69
รายการอ้างอิง.....	70
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	88

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม.....	7
ตารางที่ 2.2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าตาม AISI และ ASME.....	11
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุเชื่อม.....	26
ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์.....	26



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตน้ำตาล.....	1
รูปที่ 2.1 (a) ผลของโครเมียม17% ต่อแผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์ ที่ปริมาณคาร์บอนต่ำ เพื่อไรท์มีความเสถียรทุกช่วงอุณหภูมิ (b) ส่วนของแผนภาพสมดุลเหล็ก โครเมียม นิกเกิล คาร์บอน ที่โครเมียม18% และนิกเกิล 8% ที่ปริมาณคาร์บอนต่ำ ออสเทนไนท์มีความเสถียรที่อุณหภูมิห้อง	6
รูปที่ 2.2 (a) เหล็กกล้าไร้สนิมมาแทนซิติคที่ประกอบด้วยคาร์ไบด์ปฐมภูมิและคาร์ไบด์ขนาดเล็กๆที่เกิดจากการอบคืนไฟ ภาพขยาย 350 เท่า (b) เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก ภาพขยาย 500 เท่า	6
รูปที่ 2.3 (a) แผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์ (b) ส่วนของแผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์แสดงปฏิกิริยายูเทคตอย.....	9
รูปที่ 2.4 หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ	12
รูปที่ 2.5 รูปแบบของกระบวนการเชื่อม	13
รูปที่ 2.6 การอาร์กของกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่ใช้แก๊สปกคลุม	14
รูปที่ 2.7 รูปแบบโครงสร้างของแนว.....	15
รูปที่ 2.8 (ก) ช่องว่างระหว่างแกนเดนไดรท์ทุติยภูมิ และ (ข) โครงสร้างเดนไดรท์.....	16
รูปที่ 2.9 แผนผังส่วนประกอบการเย็นตัวของเดนไดรต์ของดครงสร้างจุลภาคเหล็กหล่อ.....	16
รูปที่ 2.10 ชนิดของรอยต่อ.....	17
รูปที่ 2.11 ความเค้น(Tensile) ความเค้นดัด(Bending) ความเค้นอัด(Compressive) และความเค้นเฉือน(Shear)	18
รูปที่ 2.12 เครื่องทดสอบแรงดึงแบบใช้กลไกของสกรูหรือไฮดรอลิกส์.....	18
รูปที่ 2.13 ลักษณะหวักดทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ส.....	19
รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด.....	20
รูปที่ 2.15 อานาจแยกแยะของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด.....	21
รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการหล่อเรซินและการจัดกระจายทราย	22
รูปที่ 3.1 ขนาดชิ้นงานทดลอง.....	25
รูปที่ 3.2 การออกแบบขั้นตอนการเชื่อมรอยต่อชน	26
รูปที่ 3.3 แก๊สปกคลุมในการเชื่อม	27

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.4 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการวิจัย.....	27
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนเชื่อม.....	28
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงาน	29
รูปที่ 3.7 การตรวจสอบทางกายภาพ.....	29
รูปที่ 3.8 เครื่องตัดชิ้นงานมีระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็น.....	30
รูปที่ 3.9 การออกแบบการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบ.....	31
รูปที่ 3.10 ชิ้นทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8M-04 Type Unnotched.....	31
รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบแรงดึง.....	32
รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers).....	33
รูปที่ 3.13 ระยะเวลาทดสอบความแข็ง	33
รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยผงแบลคคาไลท์ (Bakelite).....	34
รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการฉีดกระจายทราย	34
รูปที่ 3.16 ขั้นตอนการกักกรดโครงสร้าง.....	35
รูปที่ 3.17 กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบซูม (Stereo Microscopes).....	36
รูปที่ 3.18 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง.....	37
รูปที่ 3.19 ตำแหน่งตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	37
รูปที่ 3.20 ตำแหน่งการวัดขนาดระยะห่างระหว่างเดนไดรต์.....	37
รูปที่ 3.21 ตำแหน่งตรวจสอบถ่ายภาพรอยแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด	38
รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด	39
รูปที่ 3.23 ตำแหน่งวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อม	39
รูปที่ 3.24 เครื่องตรวจสอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด	39
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผิวหน้าแนวกระแสมเชื่อม 100 A ของแก๊สปกคลุมต่างกัน (ก) 95%Ar 5%He (ข) 95%Ar + 5%N ₂ และ(ค) 95% + 5%O ₂	41
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบผิวหน้าแนวกระแสมเชื่อม 110 A ของแก๊สปกคลุมต่างกัน (ก) 95%Ar 5%He (ข) 95%Ar + 5%N ₂ และ(ค) 95% + 5%O ₂	42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผิวหน้าแนวกระแสเชื่อม 120 A ของแก๊สปกคลุมต่างกัน (ก) 95%Ar 5%He (ข) 95%Ar + 5%N ₂ และ(ค) 95% + 5%O ₂	43
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบทางกายภาพของแนวเชื่อมระหว่างกระแสเชื่อมกับแก๊สคลุมต่างกัน	44
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับแก๊สปกคลุมและกระแสเชื่อมต่างกัน	46
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดตัวกับแก๊สปกคลุมและกระแสเชื่อมต่างกัน	46
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบขนาดของเดน ไดรต์กับกระแสเชื่อมและแก๊สปกคลุมต่างกัน	47
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายฉีกขาดของกระแสเชื่อม 100 A กับแก๊สปกคลุม ต่างกัน	49
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายฉีกขาดของกระแสเชื่อม 110 A กับแก๊สปกคลุม ต่างกัน	49
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายฉีกขาดของกระแสเชื่อม 120 A กับแก๊สปกคลุม ต่างกัน	50
รูปที่ 4.11 ลักษณะการพังทลายฉีกขาดของค่าความแข็งแรงดึงสูง ที่กระแสเชื่อม 100 A แก๊สปก คลุม 95%Ar + 5%N ₂	51
รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปกคลุม 95%Ar + 5%He (AF=Acicular ferrite)	52
รูปที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปกคลุม 95%Ar + 5%N ₂ (AF=Acicular ferrite)	53
รูปที่ 4.14 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปกคลุม 95%Ar + 5%O ₂ (AF=Acicular ferrite)	54
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบความแข็งของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปก คลุมต่างกัน (FL=เส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย, WM=โลหะเชื่อม)	55
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบความแข็งของกระแสเชื่อม 110 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปก คลุมต่างกัน (FL=เส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย, WM=โลหะเชื่อม)	55
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบความแข็งของกระแสเชื่อม 120 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปก คลุมต่างกัน (FL=เส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย, WM=โลหะเชื่อม)	56

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.18 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อมที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกระแสเชื่อม 100 A แก๊สปกคลุม 95%Ar + 5%N ₂	56
รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบผิวหน้าแนวเชื่อมที่กระแส 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 300, 400 และ 450 mm/min ของแก๊สปกคลุม 95%Ar + 5% N ₂	58
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงกับความเร็วเดินเชื่อมที่แก๊สปกคลุม 95%Ar + 5% He	60
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงกับความเร็วเดินเชื่อมที่แก๊สปกคลุม 95%Ar + 5% O ₂	60
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงกับความเร็วเดินเชื่อมที่แก๊สปกคลุม 95%Ar + 5% N ₂	61
รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายนิกขาดของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300, 400 และ 450 mm/min โดยใช้แก๊สปกคลุม 95%Ar + 5% N ₂	62
รูปที่ 4.24 ลักษณะการพังทลายนิกขาดของค่าความแข็งแรงดึงต่ำที่กระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 450 mm/min แก๊สปกคลุม 95%Ar + 5% N ₂	63
รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบขนาดของเดนไดรต์กับความเร็วเดินเชื่อม 300 – 350 mm/min แก๊สปกคลุม 95%Ar + 5% N ₂	63
รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบขนาดเดนไดรต์บริเวณโลหะเชื่อมของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300, 400 และ 450 mm/min แก๊สปกคลุม 95%Ar + 5% N ₂	64
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ขนาดของเม็ดเกรนความเร็วเดินแนวเชื่อม 450 mm/min ที่มีผลต่อลักษณะการพังทลายนิกขาดของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 95%Ar + 5% N ₂	65
รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบขนาดของเม็ดเกรนความเร็วเดินแนวเชื่อม 350 กับ 450 mm/min ที่มีผลต่อลักษณะการพังทลายนิกขาดของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 95%Ar + 5% N ₂	66
รูปที่ 4.29 การเปรียบเทียบความแข็งที่ความเร็วเดินเชื่อม 350 กับ 450 mm/min ที่กระแสเชื่อม 100 A แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 95%Ar + 5% N ₂	67

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

GMAW	กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding)
HAZ	บริเวณกระทบร้อน (Heat Affect Zone)
WM	บริเวณแนวเชื่อม (Weld Metal)
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope)
A	กระแสนเชื่อม
SUS304	Ferrite of Stainless Steel
SS400	Carbon Steel
He	ฮีเลียม
Ar	อาร์กอน
N ₂	ไนโตรเจน
O ₂	ออกซิเจน

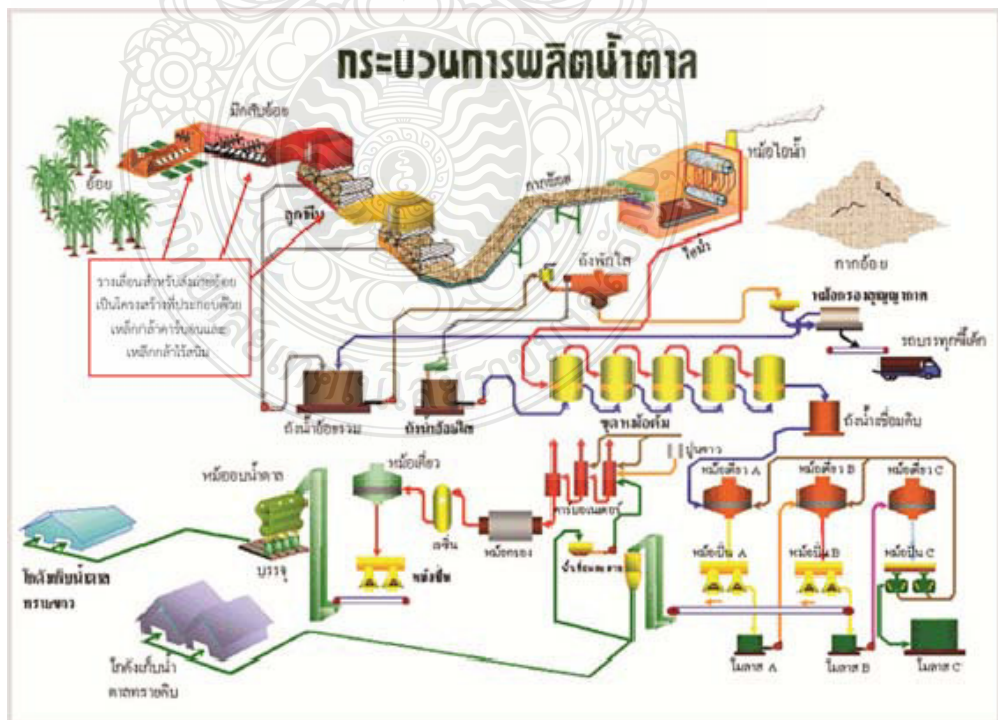


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

รอยต่อเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นหนึ่งในรอยต่อที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล เนื่องจากเป็นรอยต่อที่ออกแบบมาเพื่อนำข้อดีของเหล็กกล้าทั้งสองมาใช้ได้อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด ข้อดีของเหล็กกล้าไร้สนิมเมื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารคือ มีความสามารถในการต้านทานการเกิดสนิมสูง แต่ขณะเดียวกันมีราคาแพง เมื่อนำเอามาผลิตเป็นโครงสร้างรับแรงบางตัว อาจเป็นการสิ้นเปลือง เช่น โครงสร้างของรางเลื่อนในการส่งถ่ายอ้อยสดเข้าสู่กระบวนการการผลิตน้ำตาลทรายขาวดังแสดงในรูปที่ 1 ชั้นส่วนที่ต้องสัมผัสกับอ้อยอาจออกแบบได้โยการใช้เหล็กกล้าไร้สนิม ขณะเดียวกัน โครงสร้างที่ทำเป็นเสารับแรง หรือ โครงสร้างของรางเลื่อนรับแรงอาจทำจากเหล็กกล้าชนิดอื่น ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำในการออกแบบเนื่องจากจะทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรง และแข็งแกร่งเพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้รอยต่อของเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตน้ำตาล [1]

อย่างไรก็ตามการเชื่อมรอยต่อของเหล็กและเหล็กกล้าอาจเกิดขึ้นได้ยาก เนื่องจากวัสดุทั้งสองนั้นมีสมบัติต่างๆ แตกต่างกัน เช่น การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal expansion) จุดหลอมเหลว (Melting temperature) และการนำความร้อน (Thermal conductivity) เป็นต้น สมบัติเหล่านี้มักก่อปัญหาที่ทำให้การเชื่อมรอยต่อของเหล็กและเหล็กกล้าเป็นไปได้ยาก ดังนั้นการเลือกวิธีการเชื่อมจึงต้องพิจารณาด้วยความละเอียดเพิ่มขึ้น [2]

การเชื่อมรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลอาจแบ่งออกได้ 2 กลุ่มใหญ่ คือ การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded metal arc welding: SMAW) และการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding: GMAW) แต่เนื่องจากการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์นั้นไม่กระบวนกรเชื่อมที่ยุงยากกว่าและสามารถทำเป็นกรเชื่อมแบบอัตโนมัติได้ยาก ในงานอุตสาหกรรมจึงมักใช้กรบวนกรเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมทดลองวิจัยและพัฒนาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในงานต่อไป นอกจากนั้นกรเชื่อมอาร์กโลหะสามารถทำการเชื่อมได้รวดเร็วและต่อเนื่องประหยัดเวลาในการทำความสะอาดเพราะไม่มีสแลกปกคลุมแนวเชื่อม [3] และเป็นกรบวนกรเชื่อมที่มีคุณภาพสูง นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะแนวเชื่อมมีความแข็งแรง เกิดข้อบกพร่องในแนวเชื่อมน้อย เมื่อใช้กรบวนกรเชื่อมนี้แล้วมีผลดีต่อสมบัติของชิ้นงาน ต่อรอย และโครงสร้างของแนวเชื่อม

หนึ่งในตัวแปรสำคัญที่ทำให้แนวเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมมีคุณภาพ คือ การเลือกแก๊สที่เหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อและโลหะในแต่ละชนิด ที่ผ่านมามีกรทำการศึกษเพื่อหาชนิดของแก๊สที่ทำให้เกิดรอยต่อที่มีประสิทธิภาพสูงมากมาย เช่น อรศิริ จันทรเมือง [4] ได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาชนิดของแก๊สที่เหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โดยการเปรียบเทียบชนิดและอัตรากรไหลของกรแก๊สที่ผลต่อสมบัติรอยต่อ หรือฉัตรทอง ไสแสง [5] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของแก๊สปกคลุมสำหรับการเชื่อมรอยต่อเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก เกรด 304 โดยทำการเปลี่ยนแปลงแก๊ส โดยการเพิ่มแก๊สไนโตรเจน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเข้าผสมกับแก๊สอาร์กอน

อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองที่มีการรายงานไว้ข้างต้นนั้นเป็นการศึกษาอิทธิพลของแก๊สปกคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อวัสดุชนิดเดียวกันเท่านั้น หากพิจารณารอยต่อของวัสดุต่างชนิด เช่น รอยต่อของเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่าไม่ได้มีการรายงานไว้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาอิทธิพลของแก๊สปกคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิม โดยมีสมมติฐานเบื้องต้น คือ การเพิ่มปริมาณแก๊สอื่นๆ นอกจากแก๊สอาร์กอนจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพการเติมเนื้อโลหะเข้าสู่รอยต่อในรูปแบบที่มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และทำการศึกษาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้า

คาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ที่คาดว่าจะทำให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของแก๊สปกคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (GMAW) ในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง โดยประยุกต์ให้เป็นการเชื่อมแบบอัตโนมัติ

1.3.2 การเชื่อมรอยต่อชนทำราบระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ขนาดความกว้าง 100 mm ความยาว 200 mm ความหนา 3 mm

1.3.3 ใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม แก๊สผสม 3 ชนิด คือ 95%Ar+5%He, 95%Ar+5%N₂ และ 95%Ar+5%O₂ กำหนดอัตราการไหลของแก๊สที่ 10 l/min

1.3.4 กระแสเชื่อมที่ใช้ในช่วงระหว่าง 100–120 A

1.3.5 ความเร็วเดินเชื่อมที่ใช้ 300-450 mm/min

1.3.6 ศึกษาสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบแรงดึง และความแข็งไมโครวิกเกอร์ส์

1.3.7 ศึกษาโครงสร้างจุลภาค, โครงสร้างมหภาค และลักษณะการพังทลายฉีกขาด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 แก้ปัญหาในการดำเนินงานของหน่วยงานที่ทำการวิจัย โดยการเพิ่มศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการเลือกแก๊สปกคลุมในการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ด้วยการเชื่อมมิก ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1.4.2 เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไป โดยการพัฒนาองค์ความรู้พื้นฐานของการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304

1.4.3 บริการความรู้แก่ภาคธุรกิจเพื่อนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ โดยการจัดเตรียมข้อมูล วิธีการ และผลการทดลองเบื้องต้น ที่สามารถนำเสนอให้แก่ภาคอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล และสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อทำการผลิตได้ทันที

1.4.4 เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยคาดว่าผลการทดลองที่ได้จะเป็นหนึ่งทางเลือกในการใช้เป็นข้อมูลพิจารณาการเลือกใช้แก๊สคลูมในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลูม เพื่อลดเวลาการทำการทดลอง เพื่อให้ได้ตัวแปรการเชื่อมที่มีความเหมาะสมต่อไป และทำให้ได้แนวเชื่อมที่มีประสิทธิภาพสูงที่มีต้นทุนการผลิตต่ำขึ้น



บทที่ 2

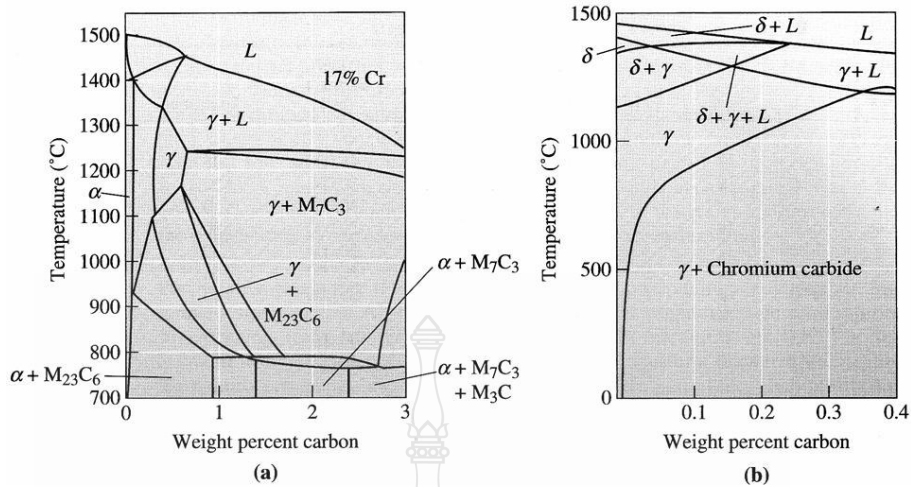
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม

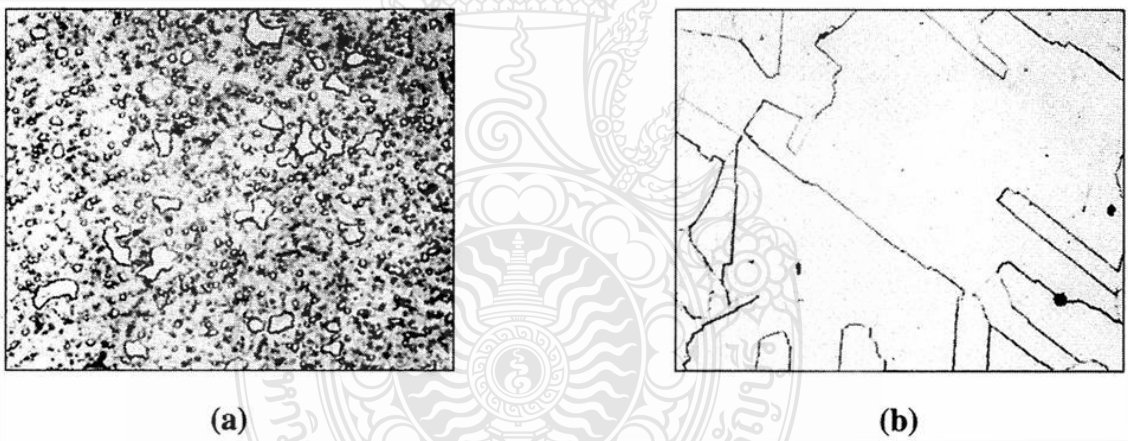
เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นเหล็กกล้าที่มีสมบัติต้านทานการกัดกร่อนอย่างดียเยี่ยม มีปริมาณโครเมียมผสมอยู่ไม่ต่ำกว่า 11% โครเมียมนี้ทำให้เกิดฟิล์มออกไซด์บางๆ ปกคลุมอยู่เหนือผิวชิ้นงาน นอกจากนี้โครเมียมทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เฟอไรต์เสถียร (Ferrite stabilizing element) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (a) โครเมียมทำให้พื้นที่ออสเทนไนต์ของแผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบต์ลดขนาดลง และทำให้พื้นที่เฟอไรต์เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปสามารถแบ่งชนิดของเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 1 ได้ดังนี้

- เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก (Ferritic Stainless Steel) มีปริมาณโครเมียมสูงสุดไม่เกิน 30% และมีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่า 0.12% เนื่องจากว่าเป็นโครงสร้าง BBC เหล็กกล้าชนิดนี้จึงมีความแข็งแรง และความเหนียวที่ดี มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก ไม่สามารถทำการอบชุบได้ มีความต้านทานการกัดกร่อนดีเยี่ยม ความสามารถในการขึ้นรูปปานกลาง ราคาไม่แพง

- เหล็กกล้าไร้สนิมมาเทนซิติก (Martensitic Stainless Steel) จากรูป 2.1 (a) พบว่าหากทำการให้ความร้อนเหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของโครเมียม 17% และคาร์บอน 0.5% ที่อุณหภูมิ 1200°C เหล็กกล้าจะเปลี่ยนโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ 100% หากทำการชุบในน้ำมันเหล็กกล้าไร้สนิมจะเปลี่ยนโครงสร้างเป็นมาเทนไซต์ได้ เหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการชุบแข็งแล้ว หากนำไปทำการอบคืนไฟจะทำให้ได้ค่าความแข็งและความแข็งแรงที่สูงดังแสดงในรูปที่ 2.2 (a) หากปริมาณคาร์บอนมีค่าต่ำกว่า 17% จะทำให้พื้นที่ของออสเทนไนต์ค่อนข้างเล็ก ปริมาณโครเมียมที่ต่ำทำให้ปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วง 0.13-1.0% ทำให้ได้มาเทนไซต์ที่มีค่าความแข็งที่แตกต่างไปตามปริมาณการผสม เหล็กกล้าไร้สนิมมาเทนซิติกใช้สำหรับทำใบมีดคุณภาพสูง ตลับลูกปืน และวาล์วต่างๆ



รูปที่ 2.1 (a) ผลของโครเมียม 17% ต่อแผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์ ที่ปริมาณคาร์บอนต่ำ เพื่อไรท์มีความเสถียรทุกช่วงอุณหภูมิ (b) ส่วนของแผนภาพสมดุลเหล็ก โครเมียม นิกเกิล คาร์บอน ที่โครเมียม 18% และนิกเกิล 8% ที่ปริมาณคาร์บอนต่ำ ออสเทนไนท์มีความเสถียรที่อุณหภูมิห้อง [6]



รูปที่ 2.2 (a) เหล็กกล้าไร้สนิมมาเทนเชติกที่ประกอบด้วยคาร์ไบด์ปฐมภูมิและคาร์ไบด์ขนาดเล็กๆ ที่เกิดจากการอบคืนไฟ ภาพขยาย 350 เท่า (b) เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก ภาพขยาย 500 เท่า [6]

- เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก (Austenetic Stainless Steel) ธาตุที่เติมในเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติกเป็นธาตุที่ทำให้ออสเทนไนท์มีความเสถียรเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ของออสเทนไนท์ในแผนภาพสมดุลเหล็ก-โครเมียม-คาร์บอนเพิ่มขึ้น และทำให้พื้นที่ของเฟอไรท์เกือบหายไปจากแผนภาพสมดุลเหล็ก-โครเมียม-คาร์บอนดังแสดงในรูปที่ 2.1 (b) หากปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 0.03% คาร์ไบด์จะไม่ก่อตัวขึ้น ทำให้ที่อุณหภูมิห้องนั้น โครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิมประกอบไปด้วยออสเทนไนท์ทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 2.2 (b) เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติกที่มี

โครงสร้าง FCC มีความสามารถในการยืดตัวเนื่องจากแรงดึง ความสามารถในการขึ้นรูป และความต้านทานการกัดกร่อนดีเยี่ยม ความแข็งแรงของเหล็กกล้าชนิดนี้ได้มาจากการเพิ่มความแข็งแรงด้วยสารละลายของแข็ง และเมื่อนำไปทำการขึ้นรูปเย็นจะทำให้ได้ความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติกมีสมบัติไม่เป็นแม่เหล็ก แต่เนื่องจากการผสมโครเมียมและนิกเกิลซึ่งเป็นธาตุที่มีราคาแพงลงไปในั้นราคาของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้จึงมีราคาแพง เกรดที่นิยมใช้กันสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติกคือ เกรด 304 ซึ่งมีปริมาณโครเมียม 18% และนิกเกิล 8% บางครั้งเรียกว่าเกรด 18-8 ตามปริมาณของธาตุผสมทั้งสอง ปัญหาการใช้งานของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติกคือ การเกิดเซนซิไทเซชัน (Sensitization) คือ เมื่อนำเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติกไปใช้งานที่อุณหภูมิประมาณ 480-860°C โครเมียมคาร์ไบด์จะก่อตัวและตกผลึกมาที่ขอบเกรนทำให้ปริมาณของโครเมียมในเกรนมีปริมาณลดลงและทำให้ความต้านทานการกัดกร่อนลดลงดังนั้นจึงควรระมัดระวังในการใช้งาน

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม [6]

Steel	% C	% Cr	% Ni	Others	Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% Elongation	Condition
Austenitic:								
201	0.15	17	5	6.5% Mn	95,000	45,000	40	Annealed
304	0.08	19	10		75,000	30,000	30	Annealed
					185,000	140,000	9	Cold-worked
304L	0.03	19	10		75,000	30,000	30	Annealed
316	0.08	17	12	2.5% Mo	75,000	30,000	30	Annealed
321	0.08	18	10	0.4% Ti	85,000	35,000	55	Annealed
347	0.08	18	11	0.8% Nb	90,000	35,000	50	Annealed
Ferritic:								
430	0.12	17			65,000	30,000	22	Annealed
442	0.12	20			75,000	40,000	20	Annealed
Martensitic:								
416	0.15	13		0.6% Mo	180,000	140,000	18	Quenched and tempered
431	0.20	16	2		200,000	150,000	16	Quenched and tempered
440C	1.10	17		0.7% Mo	285,000	275,000	2	Quenched and tempered
Precipitation hardening:								
17-4	0.07	17	4	0.4% Nb	190,000	170,000	10	Age-hardened
17-7	0.09	17	7	1.0% Al	240,000	230,000	6	Age-hardened

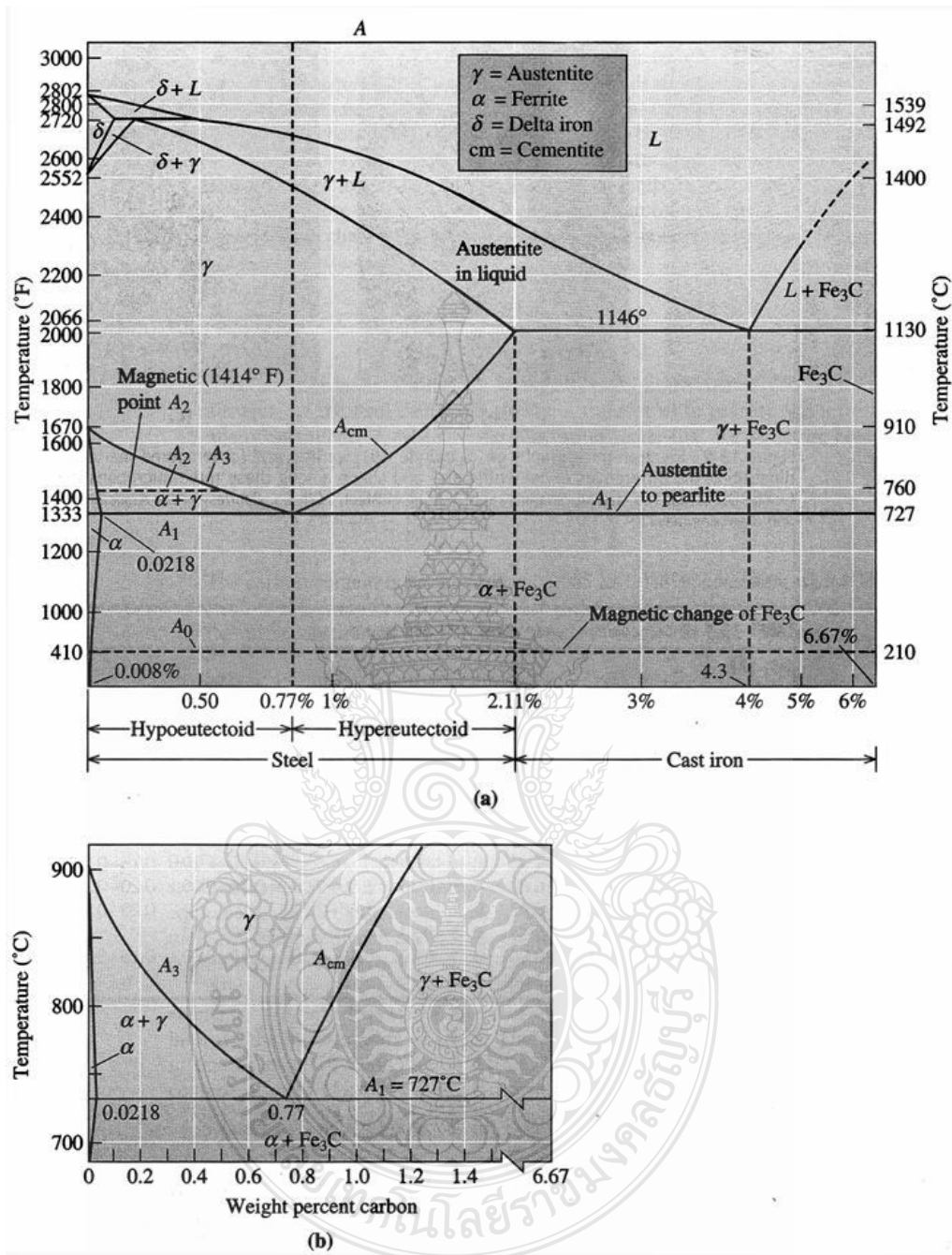
- เหล็กกล้าไร้สนิมชุบแข็งเพื่อให้เกิดการตกผลึก (Precipitation Hardening Stainless Steel) มีธาตุผสมประกอบไปด้วยอลูมิเนียม นิโอเบียม หรือแทนทาลัม ผลิตได้โดยการให้ความร้อนแก่เหล็กกล้าให้เปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์แล้วชุบให้เกิดมาเทนไซต์ จากนั้นให้ความร้อนอีกครั้ง

เพื่อทำให้เกิดการตกผลึกของสารประกอบ เช่น Ni₃Al จากมาเทนไนท์ ลักษณะการเกิดแบบนี้ทำให้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีความแข็งแรงสูง

- เหล็กกล้าไร้สนิมดิวเพล็กซ์ (Duplex Stainless Steel) คือ เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีเฟสประกอบด้วย 50% เฟอไรต์ และ 50% ออสเทนไนท์ ผลิตได้จากการควบคุมส่วนผสมทางเคมีและวิธีการอบชุบในขั้นตอนการผลิตอย่างดี เหล็กกล้าไร้สนิมดิวเพล็กซ์ที่ประกอบไปด้วยสองเฟสทำให้ได้สมบัติที่ดีของเฟสทั้งสองแบบ เช่น สมบัติทางกล ความต้านทานการกัดกร่อน ความสามารถในการขึ้นรูป และความสามารถในการเชื่อม ซึ่งเป็นสมบัติที่หาได้ยากในเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดอื่นๆ

2.2 เหล็กกล้าคาร์บอน [6]

ในแผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์ในรูปที่ 2.3 บอกได้ว่าเหล็กกล้า (Steel) คือ โลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 2.11% ขณะที่เหล็กหล่อ คือ โลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนเกิน 2.11% ในเหล็กกล้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ เหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.77% เหล็กกล้ายูเทคตอยที่มีปริมาณคาร์บอน 0.77% และเหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคตอยที่มีปริมาณคาร์บอน 0.77-2.11% ในแผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์ช่วงของเหล็กกล้านี้มีเส้นอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่สำคัญ คือ



รูปที่ 2.3 (a) แผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์ (b) ส่วนของแผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์ แสดงปฏิกิริยาเตกตอย [6]

- เส้น A_0 คือ เส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแม่เหล็กของซีเมนไตท์จากพาราแมเนติก (Paramagnetic) เป็นเฟอร์โรแมเนติก (Ferromagnetic) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เกิดที่อุณหภูมิประมาณ 210°C

- เส้น A_1 คือ เส้นปฏิกิริยาแยกตัวจุดตัดระหว่างเส้นปฏิกิริยาแยกตัวและส่วนผสมยูเทคตอย คือ จุดยูเทคตอย ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนประมาณ 0.77%

- เส้น A_2 คือ เส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแม่เหล็กของเฟอร์ไรต์จากพาราแมเนติก (Paramagnetic) เป็นเฟอร์โรแมเนติก (Ferromagnetic) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เกิดที่อุณหภูมิประมาณ 760°C

- เส้น A_3 คือ เส้นอุณหภูมิช่วง $727-910^{\circ}\text{C}$ คือ เส้นแสดงการเปลี่ยนเฟสระหว่างออสเทนไนต์เป็นเฟอร์ไรต์ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

- เส้น A_{cm} คือ เส้นอุณหภูมิช่วง $727-1146^{\circ}\text{C}$ คือ เส้นแสดงการเปลี่ยนเฟสระหว่างออสเทนไนต์เป็นซีเมนไตต์ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

อย่างไรก็ตามการแบ่งแยกชนิดของเหล็ก โดยใช้แผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์นั้นเป็นการแบ่งแยกโดยการยึดเอาโครงสร้างจุลภาคเป็นหลัก ซึ่งเป็นวิธีการที่ค่อนข้างลำบากสำหรับวิศวกรในการนำไปใช้งานจริง ด้วยเหตุนี้สมาคมเหล็กและเหล็กกล้าแห่งอเมริกา (American Iron and Steel Institute: AISI) และสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งอเมริกา (American Society of Mechanical Engineering: ASME) จึงได้คิดค้นระบบในการแบ่งกลุ่มเหล็กกล้าในการนำไปใช้งานโดยการกำหนดตัวเลขขึ้นมาใช้ในการเรียก 4 ตัว ให้ตัวเลขสองตัวแรกหมายถึงธาตุผสมหลักในเหล็กกล้า นั้น ขณะที่ตัวเลขสองตัวสุดท้ายหมายถึงปริมาณคาร์บอนในเหล็ก เช่น ตัวอย่าง เหล็กกล้า AISI1040 คือ เหล็กกล้าคาร์บอน (ตัวเลข 10) ที่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.4% (ตัวเลข 40) เหล็กกล้า SAE10120 คือ เหล็กกล้าคาร์บอน (ตัวเลข 10) ที่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 1.2% (ตัวเลข 120) เป็นต้น ตัวอย่างของเหล็กกล้าชนิดต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

นอกจากนั้น เหล็กกล้าสามารถแบ่งกลุ่มได้ตามส่วนผสมทางเคมี หรือรูปแบบการผลิตเหล็กกล้านั้นๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้ เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณไม่เกิน 2% และประกอบไปด้วยซิลิกอนไม่เกิน 0.6% และแมงกานีสไม่เกิน 1.65% หรือเหล็กกล้าดีคาบูไรซ์ (Decarburized steel) ที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.05% เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำพิเศษ (Ultra-low carbon steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณไม่เกิน 0.03% และซิลิกอนและแมงกานีสเล็กน้อย เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณ 0.04-0.15% เป็นวัสดุในการทำตัวถังและโครงสร้างรถยนต์ และการใช้งานอื่นๆ มากมาย

เหล็กกล้าละมุน (Mild steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณคาร์บอน 0.15-0.30% ใช้สำหรับงานก่อสร้างอาคาร ทำสะพานต่างๆ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium carbon steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณคาร์บอน 0.30-0.60%

ใช้ในการสร้างชิ้นส่วนเครื่องจักร รถแทรกเตอร์ อุปกรณ์ในงานเหมืองแร่ต่างๆ เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High carbon steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณคาร์บอนมากกว่า 0.60% ใช้ในการสปริง ล้อรถไฟ เป็นต้น

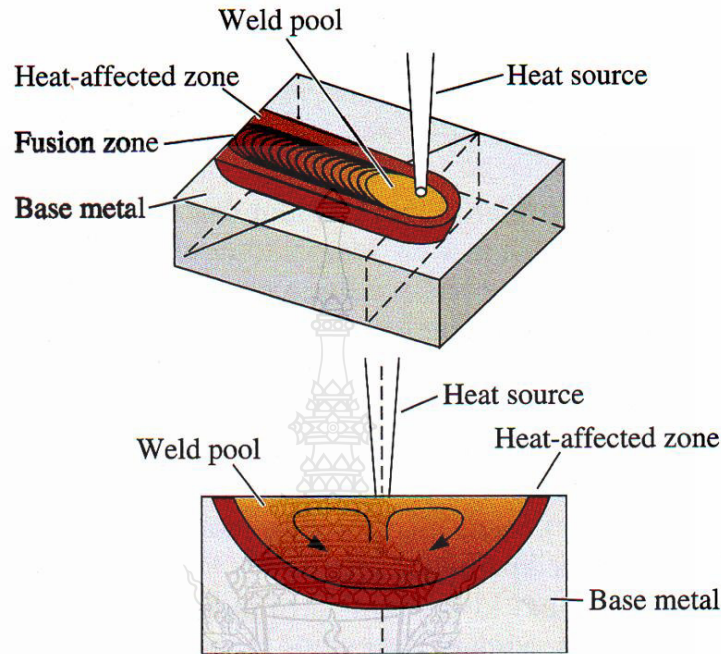
เหล็กกล้าผสม (Alloy steel) คือ เหล็กกล้าที่มีธาตุผสมหลักตัวอื่นๆ เข้ามาเพิ่ม นอกเหนือจากคาร์บอน เช่น ในตารางที่ 13.1 เหล็กกล้าที่ตัวเลขขึ้นต้นด้วยเลข 4 ถึง 9 มีธาตุผสมหลักอื่นๆ เช่น ซิลิกอน นิกเกิล หรือ โครเมียมเพิ่มเข้ามา เพื่อปรับปรุงสมบัติตามต้องการ ขณะที่ตัวเลขสองตัวสุดท้ายเป็นตัวแสดงปริมาณคาร์บอนในเหล็กกล้าผสมดังแสดงในเหล็กกล้าคาร์บอน

ตารางที่ 2.2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าตาม AISI และ ASME [6]

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

2.3 การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม

2.3.1 ความหมายการเชื่อม [7]



รูปที่ 2.4 หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ [7]

การเชื่อมโลหะ คือ การต่อชิ้นโลหะเข้าด้วยกันโดยอาศัยความร้อนในการหลอมละลายรอยต่อระหว่างโลหะสองชิ้นให้หลอมละลายเข้าด้วยกันและเปลี่ยนเป็นโลหะชิ้นเดียวกัน โดยขณะที่โลหะที่บริเวณรอยต่อเกิดการหลอมละลายเข้าด้วยกันนั้น อาจเติมโลหะผสมบางตัวในลักษณะที่เรียกว่าลวดเชื่อม (Filler metal) ลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติบางตัวในแนวเชื่อมให้ดีขึ้น ตัวอย่างการเชื่อมโลหะอย่างง่ายแสดงในรูปที่ 2.4 ความร้อนจากแหล่งจ่ายความร้อน (Heat source) ถูกส่งผ่านไปที่บริเวณรอยต่อระหว่างโลหะสองแผ่น (Base metals) ทำให้เกิดการหลอมละลายรวมกันที่บริเวณบ่อเชื่อม (Weld pool) และเมื่อเคลื่อนที่แหล่งให้ความร้อนไปตามแนวรอยต่อ จะทำให้เกิดแนวเชื่อมขึ้น โดยบริเวณบ่อเชื่อมหรือพื้นที่หลอมละลาย (Fusion zone) นี้ จะก่อให้เกิดการแข็งตัวเป็นแนวเชื่อมที่มีโครงสร้างแตกต่างจากโลหะหลัก (Base metal) ในการเชื่อมพื้นที่สำคัญอีกพื้นที่ที่มีความสำคัญ คือ พื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (Heat affected zone) พื้นที่นี้อยู่ถัดออกไปจากพื้นที่การหลอมละลาย เป็นพื้นที่ๆ ไม่มีการหลอมละลาย แต่ความร้อนที่เกิดจากพื้นที่หลอมละลายทำให้โครงสร้างบริเวณนี้เกิดการเปลี่ยนแปลง และส่งผลทำให้สมบัติของโลหะเปลี่ยนแปลงไป

เทคโนโลยีการเชื่อมในปัจจุบันได้แบ่งการเชื่อมออกเป็น 2 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 คือ การเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion welding) และการเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid state welding) การเชื่อมแบบหลอมละลาย หรือบางครั้งเรียกว่า การเชื่อมหลอมละลายแบบดั้งเดิม (Conventional fusion welding) ความหมายของการเชื่อมแบบหลอมละลายนี้มีลักษณะเดียวกันดังอธิบายในรูปที่ 2.4 การเชื่อมหลอมละลายสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายวิธี ขณะที่การเชื่อมในสภาวะของแข็ง คือ การเชื่อมในสภาวะที่โลหะหลักไม่เกิดการหลอมละลาย แต่อาศัยความร้อนที่เกิดจากแรงทางกลทำให้โลหะเกิดการเชื่อมประสานกัน

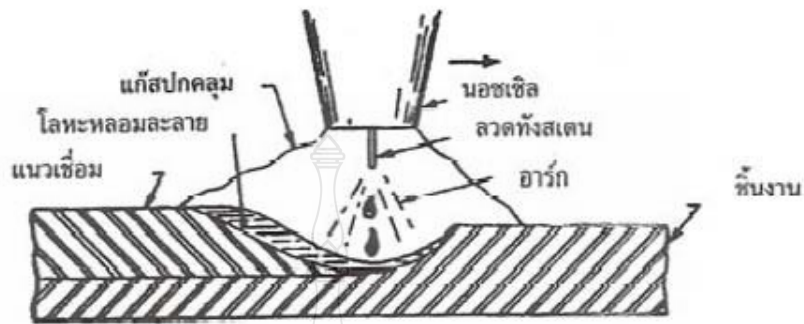


รูปที่ 2.5 รูปแบบของกระบวนการเชื่อม [7]

2.3.2 การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม [8]

กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เป็นกระบวนการเชื่อมที่ใช้ลวดเชื่อมสั้นเปลือยขนาดเล็กจากม้วนลวดซึ่งจะถูกป้อนผ่านหัวเชื่อม (Torch or Welding Gun) ออกมาอย่างต่อเนื่องผ่านท่อนำลวดและท่อนำกระแสเชื่อม (Contact Tip) ลวดเชื่อมจะสัมผัสกับผิวท่อนำกระแสทำให้กระแสเชื่อมไหลเข้าสู่ลวดเชื่อม เมื่อปลายลวดเชื่อมแตะกับผิวโลหะชิ้นงานจะเกิดการอาร์กขึ้นความร้อนจากอาร์กจะหลอมผิวโลหะชิ้นงานและปลายลวดเชื่อมให้เป็นหยด โลหะถ่ายโอนสู่บ่อหลอมเหลวของรอยเชื่อม ในขณะเดียวกันแก๊สจากท่อบรรจุจะไหลเข้าที่จ่ายสู่หัวฉีดพุ่งออกมาปกคลุมบ่อหลอมเหลวและบริเวณรอบเปลวอาร์ก เพื่อทำหน้าที่เป็นม่านป้องกันไม่ให้ออกซิเจนหรือแก๊สอื่นในบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับเปลวอาร์กและโลหะที่กำลังหลอมเหลวแก๊สปกคลุมที่เลือกใช้

ได้แก่ แก๊สเฉื่อย (Inert Gas) แอกทีฟแก๊ส (Active Gas) อันรีแอกทีฟแก๊ส (Unreactive Gas) และ แก๊สผสม (Mix Gas)



รูปที่ 2.6 การอาร์กของกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่ใช้แก๊สปกคลุม [8]

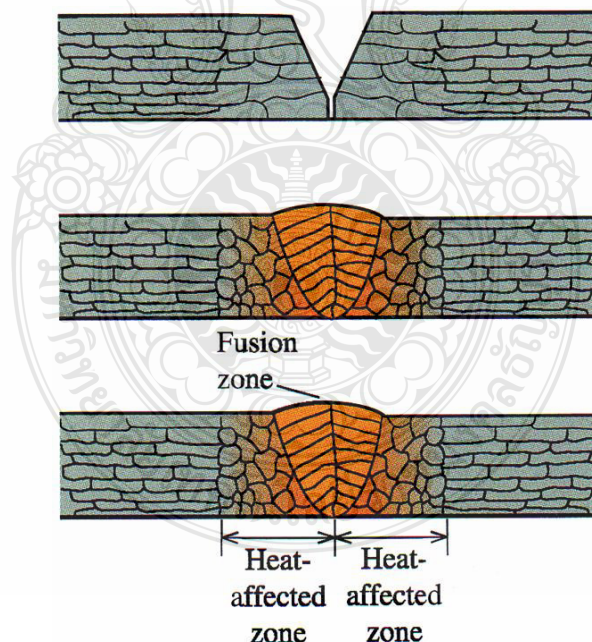
รูปที่ 2.6 แสดงหลักการอาร์กในกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ความร้อนที่หลอมละลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานได้จากการอาร์กระหว่างปลายลวดเชื่อมเคลื่อนที่กับชิ้นงาน เชื่อมการอาร์กจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกลุ่มอะตอมของแก๊สที่มีประจุไฟฟ้า (Ionized Gas) โมเลกุลและอะตอมของแก๊สจะแตกตัวออกทำให้มีสภาพไม่เป็นกลาง (Ionized) เพราะสูญเสียอิเล็กตรอนไปจากประจุไฟฟ้าบวก (Positive Charge) อิออนแก๊สที่เป็นบวก จะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ส่วนอิเล็กตรอนไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ปริมาณความร้อนประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ จะถูกส่งผ่านโดยอิเล็กตรอนและยังคงส่งผ่านของอิออนบวก (Positive Ions) ความร้อนจากการอาร์ก จะหลอมโลหะชิ้นงานและลวดเชื่อม ปลายลวดเชื่อมส่วนที่หลอมเหลวจะถูกถ่ายโอน (Transfer) ผ่านการอาร์กเข้าสู่บ่อหลอมเหลวบริเวณกระทบความร้อน และลวดเชื่อมจะถูกปกคลุมให้พ้นจากบรรยากาศรอบนอกโดยแก๊สที่ไหลพุ่งออกจากหัวฉีด ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการอาร์กของกระบวนการนี้จะสูงกว่ากระบวนการอาร์กแบบอื่น

2.3.3 โครงสร้างแนวเชื่อม

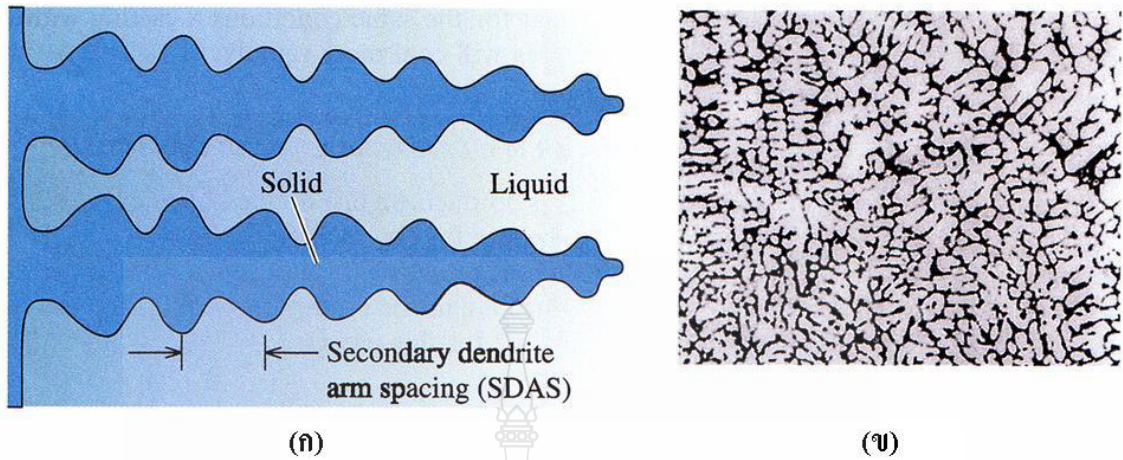
รูปที่ 2.7 แสดงรูปของโครงสร้างของชิ้นงานรอยต่อชนที่ผ่านกระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลาย ก่อนการเชื่อม รูปแบบเกรนของโลหะหลักจะมีลักษณะเป็นเกรนที่มีความยาว (Columnar grain) ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการผลิตคือ การรีด ทำให้เม็ดเกรนถูกดึงและอัดให้มีขนาดที่ยาวขึ้น เมื่อทำการเชื่อมโดยทำให้บริเวณรอยต่อของวัสดุ 2 แผ่นเกิดการหลอมละลายและเติมเต็มบริเวณรอยต่อด้วยการเติมลวดเชื่อม และเมื่อปล่อยให้เกิดการเย็นตัว โลหะหลอมเหลวบริเวณรอยต่อจะเกิดการหลอมละลาย และก่อตัวใหม่ตามพื้นฐานการเกิดการแข็งตัวของโลหะ เกิดเป็นโครงสร้างเดนไดรต์บริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมบริเวณพื้นที่การหลอมละลาย (Fusion) พื้นที่

บริเวณนี้นับว่าเป็นจุดบกพร่องของแนวเชื่อม เนื่องจากโครงสร้างเดนไดรต์ที่เกิดขึ้นนี้ มีความแข็งแรงและเปราะสูงกว่าโครงสร้างเกรนยาวในโลหะหลัก เมื่อนำชิ้นงานไปใช้งานอาจเกิดการพังทลายได้นอกจากนั้นที่บริเวณขอบของพื้นที่การหลอมละลายและโลหะหลัก โครงสร้างของโลหะบริเวณนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนที่แผ่ออกมาจากบริเวณการหลอมละลาย โครงสร้างเกรนโลหะที่บริเวณนี้จะมีความกลมมนมากกว่าบริเวณอื่นๆ ของแนวเชื่อม เรียกบริเวณนี้ว่า เขตที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (Heat Affected Zone: HAZ)

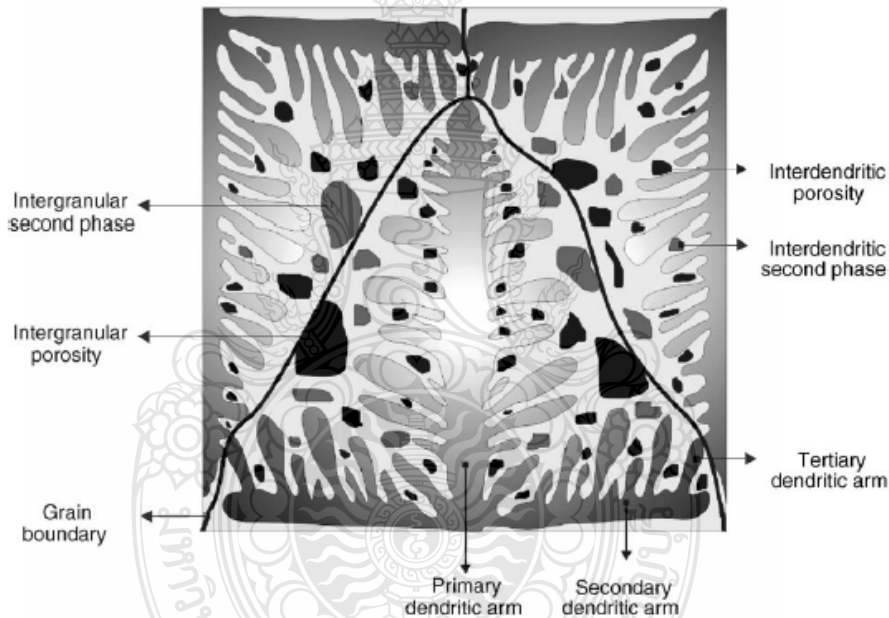
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของ โครงสร้างเดนไดรต์ใน โลหะที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสจากของเหลวเป็นของ แข็ง ซึ่งเป็นลักษณะคล้ายกับการเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสบริเวณแนวเชื่อม ลักษณะสำคัญที่เป็นเป้าหมายของการศึกษาครั้งนี้ คือ บริเวณช่องว่างระหว่างแกนเดนไดรต์ทุติยภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ก) ซึ่ง ถ้าช่องว่างระหว่างแกนเดนไดรต์ทุติยภูมินี้มีค่าลดลงได้ หรือมีรูปร่างของเดนไดรต์ที่เปลี่ยนเป็นเม็ดเกรนที่มีความกลมมนจะส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงและค่าร้อยละการยืดตัวของโลหะเพิ่มขึ้นได้ และรูปที่ 2.9 แสดงแผนผังส่วนประกอบการเย็นตัวของเดนไดรต์ของโครงสร้างจุลภาคเหล็กหล่อ



รูปที่ 2.7 รูปแบบโครงสร้างของแนวเชื่อม [6]



รูปที่ 2.8 (ก) ช่องว่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิ และ (ข) โครงสร้างเดนไดรต์ [6]



รูปที่ 2.9 แผนผังส่วนประกอบการเย็นตัวของเดนไดรต์ของโครงสร้างจุลภาคเหล็กหล่อ [9]

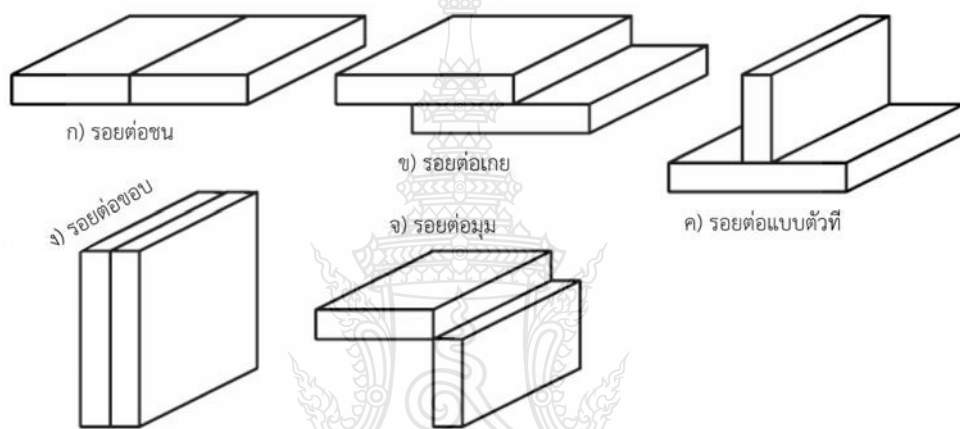
2.3.4 การเชื่อมโลหะต่างชนิด (Welding dissimilar metals) [10]

การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนติกกับเหล็กกล้าคาร์บอนในการเชื่อมรอยต่อของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนติกกับเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าผสมต่ำจะต้องใช้อุณหภูมิต่ำหรือปานกลางหรือไม่เกินประมาณ 700 F โดยทั่วไปจะใช้ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมที่ส่วนผสมของเหล็กกล้าผสมสูง เพื่อป้องกันการเกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์ในการเชื่อมกับเหล็กกล้าคาร์บอน และในขณะเดียวกันเป็นการป้องกันความเค้นตกค้างของเฟอร์ไรต์เพื่อป้องกันการเกิดร้าวขณะร้อน (Hot crack) วิธีการเชื่อมรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนกับเหล็กกล้าไร้สนิมวิธีการนี้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในการเชื่อมต่อเหล็กกล้าคาร์บอนกับเหล็กกล้าไร้สนิมชิ้นส่วนท่อ

ลำเรียงเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าผสมต่ำ โดยทำการเชื่อมรองพื้นซ้อนทับแนวเชื่อมทำการเชื่อมทางด้านผิวเหล็กกล้าคาร์บอนและจะต้องมีความหนาพอสมควรที่จะเชื่อมลวดเติมและไม่ส่งผลกระทบต่อทางด้านโลหะขึ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน (Base meta)

2.4 ชนิดของรอยต่อ

2.4.1 พื้นฐานของรอยต่องานเชื่อมหลอมละลายในงานอุตสาหกรรมได้แก่ เช่น รอยต่อชน รอยต่อเกลย รอยต่อรูปแบบตัวที รอยต่อขอบ และรอยมุม แสดงดังในรูปที่ 2.10 เป็นต้น



รูปที่ 2.10 ชนิดของรอยต่อ

2.5 การทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อม

2.5.1 นิยามศัพท์สมบัติเชิงกล [11]

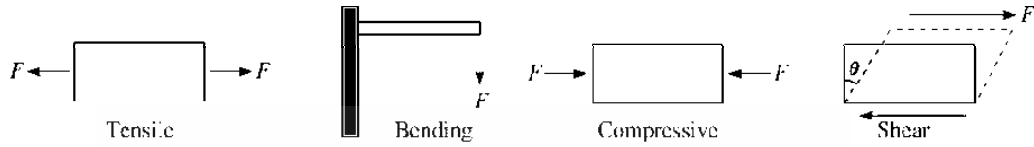
กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ ได้อธิบายหลักการของนิยามศัพท์สมบัติเชิงกล ไว้ในหนังสือ วัสดุวิศวกรรม ในบทที่ 6 หน้าที่ 131

ความเค้น (Stress) คือแรงกระทำต่อหน่วยพื้นที่ โดยความเค้นที่เกิดขึ้นอาจเป็น ความเค้นดึง ความเค้นอัด ความเค้นเฉือน ความเค้นดัด แสดงดังรูปที่ 2.11

ความเครียด (Strain) คือการเปลี่ยนแปลงขนาดต่อหน่วยความยาวเริ่มต้น ความเค้น มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) หรือปาสคา (Pa) ส่วนความเครียดมีหน่วยเป็นนิ้ว/นิ้ว (in./in) หรือเซนติเมตร/เซนติเมตร (cm/cm)

ความเครียดยืดหยุ่น (Elastic strain) หมายถึง การที่วัสดุหดกลับสู่สภาพเดิม หลังจากถูกแรงกระทำให้เปลี่ยนรูปไป ความเครียดยืดหยุ่นจะเกิดขึ้นทันทีเมื่อให้แรงกระทำและ

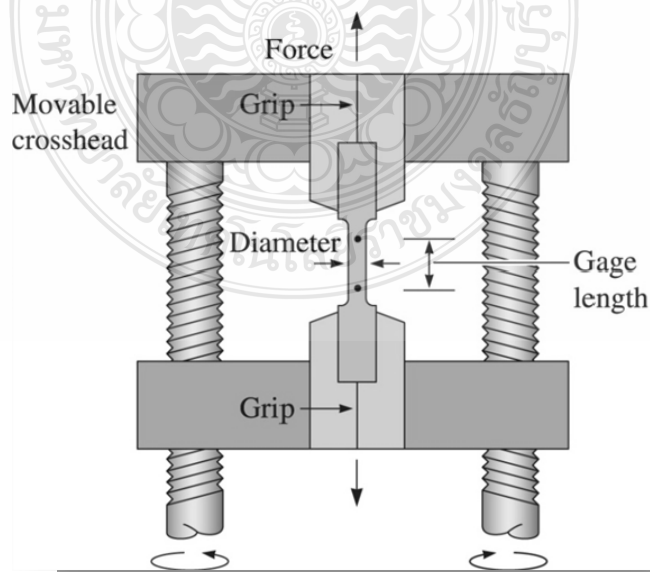
หายไปเมื่อหยุดให้แรงกระทำต่อวัสดุ วัสดุที่อยู่ในสภาวะความเครียดยืดหยุ่นนี้จะไม่เกิดการเปลี่ยนรูปถาวร (Permanent deformation)



รูปที่ 2.11 ความเค้นดึง (Tensile) ความเค้นดัด (Bending) ความเค้นอัด (Compressive) และความเค้นเฉือน (Shear) [11]

2.5.2 การทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมากเพื่อหาสมบัติเชิงกลของวัสดุ การทดสอบทำได้โดยการวัดความต้านทานแรงดึงของวัสดุซึ่งมีแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ อัตราการเกิดความเครียดในการทดสอบแรงดึงมีค่าน้อยมากประมาณ 10^{-4} ถึง 10^{-2} S^{-1} รูปแบบทดสอบแสดงในรูปที่ 2.12 ชิ้นทดสอบมาตรฐานมีขนาด 0.505 นิ้ว และมีความยาวเกจ 2 นิ้วยึดติดเข้ากับเครื่องทดสอบที่อาจเป็นเครื่องทดสอบแบบยูนิเวอร์แซล (Universal testing machine) ที่สามารถทดสอบแรงดึงและแรงอัดได้โดยมีแรง F เป็นแรงดึงขึ้นงาน ใช้เกจวัดความเครียด (Strain gage) หรือเรียกว่า “เอกซ์เทนโซมิเตอร์ (Extensometer)” เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณการยืดตัวของชิ้นงานทดสอบระหว่างการรับแรงดึงเพื่อหาอัตราความยาวที่เปลี่ยนแปลง (Δl) ต่อความยาวเดิม (l_0)



รูปที่ 2.12 เครื่องทดสอบแรงดึงแบบใช้กลไกของสกรูหรือไฮดรอลิกส์ [11]

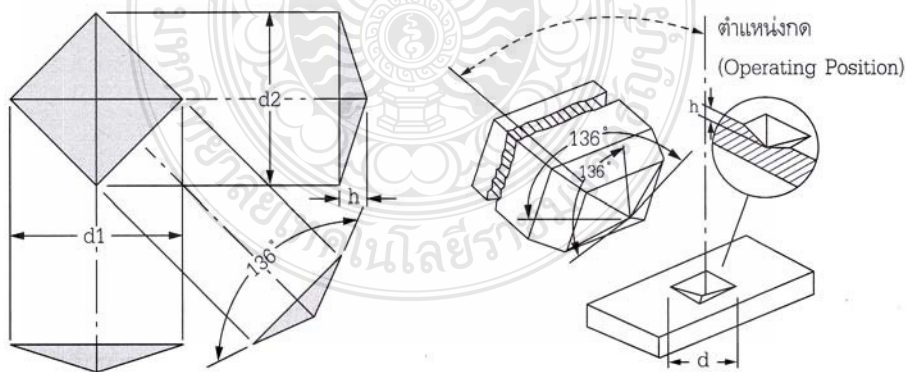
2.5.3 การทดสอบความแข็ง

กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ [11] ได้อธิบายหลักการทดสอบความแข็งเป็นการทดสอบเพื่อวัดความต้านทานการเกิดรอยขีดข่วนหรือรอยกดบนผิววัสดุด้วยวัสดุที่มีความแข็งมากกว่า ขณะที่ชูชาติ ศิวังสงค์ [12] ได้เขียนบรรยายอธิบายหลักการ คำว่า ความแข็งจุลภาค (Micro-Hardness) เป็นขนาดของรอยกดที่เกิดขึ้นจากการทดสอบขนาดเล็กมากในการทดสอบความแข็งจุลภาคทั่วไปใช้แรงกดที่ 1 กรัมแรง (gmf) ถึง 2 กิโลกรัมแรง หรือไม่เกิน 1 กิโลกรัมแรง โดยทำการวัดขนาดรอยกดด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย ตั้งแต่ 100 เท่า ถึง 500 เท่า เป็นต้น

การแบ่งแยกประเภทของการทดสอบความแข็งจุลภาคสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- 1) การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers Test)
- 2) การทดสอบความแข็งจุลภาคแบบนูป (Micro-Knoop Test)
- 3) การทดสอบความแข็งแบบอัลตราโซนิกไมโครวิกเกอร์ส (Ultrasonic Micro-Vicker Test)

ในบทนี้ขออธิบายเฉพาะการทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส โดยชูชาติ ศิวังสงค์ ได้อธิบายหลักการทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส คือ หัวกดทดสอบเป็นรูปทรงพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมมุมแหลม 136° โดยทดสอบกดลงบนผิวของวัสดุใช้แรงกดทดสอบตั้งแต่ 1 กรัม ถึง 2 กิโลกรัม (kgf) และทำการวัดขนาดของรอยกดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่มีกำลังขยายตั้งแต่ 100 เท่า ถึง 500 เท่า แสดงดังรูปที่ 2.13



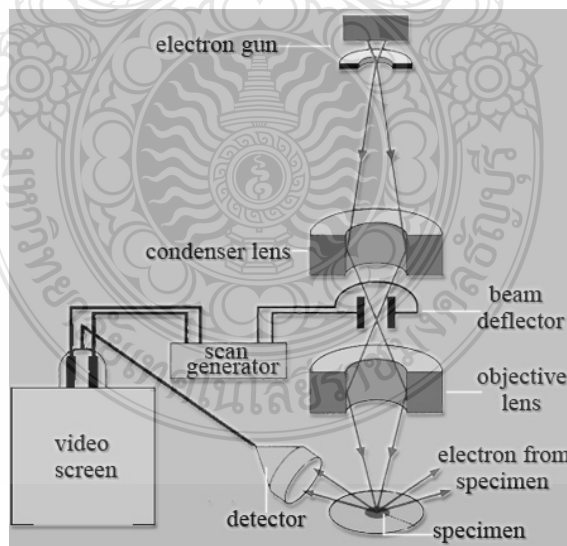
รูปที่ 2.13 ลักษณะหัวกดทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ส [12]

2.6 การตรวจสอบทางโลหะวิทยา

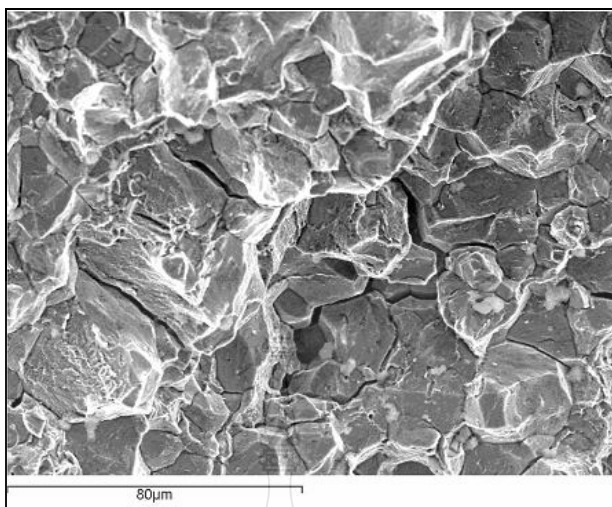
2.6.1 ในเว็บไซต์ <http://www.nano.kmitl.ac.th/> [13] ได้อธิบายหลักการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope : SEM) คือ การสร้าง

ภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของ ตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งรูปที่ได้จากเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดนี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาพื้นฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกวาดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอตริทัศน์ได้เลย แสดงดังรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด [13]

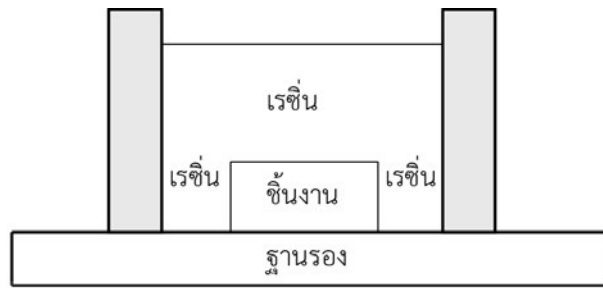


รูปที่ 2.15 อานาจแยกแยะของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด [13]

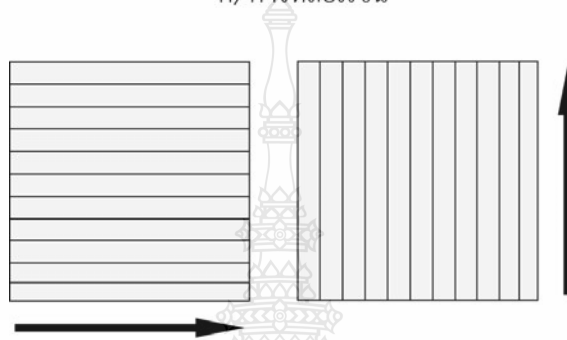
ข้อดี ของเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด คือ ภาพโครงสร้างที่เห็นจากเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดจะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ อีกทั้งวิธีการใช้งานเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดจะมีความรวดเร็วและใช้งานง่าย

2.6.2 ขั้นตอนการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค

การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบนั้นควรตัดให้เกิดพื้นที่หน้าตัด และการตัดดังกล่าวต้องหลีกเลี่ยงให้เกิดความร้อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ก็เพราะความร้อนดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างที่ผิวหน้าตัดนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้การตรวจสอบนั้นเกิดการผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ขนาดของชิ้นงานตรวจสอบควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 mm หรือ 1 นิ้ว และความสูงไม่น้อยกว่า 15 mm แต่ถ้าเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าต้องมีขนาด 25 x 25 x 20 mm ทั้งนี้เพื่อให้การขัดผิวกระทำได้ง่าย แต่ถ้าชิ้นตรวจสอบมีขนาดเล็กมากก็ควรหุ้มชิ้นตรวจสอบด้วยเรซิน โดยให้หน้าตัดของชิ้นตรวจสอบอยู่ด้านล่างของนอกระชินเพื่อที่จะทำการกลึงปาดหน้าผิวหน้าให้มีความสม่ำเสมอและเป็นระนาบเดียวกัน โดยขนาดของเรซินนั้นก็ควรมีขนาดใหญ่กว่าหรือใกล้เคียงกับชิ้นตรวจสอบ แสดงดังในรูปที่ 2.16 (ก) และรูปที่ 2.16 (ข) แสดงทิศทางและวิธีการขัดกระดาษ โดยทำการขัดกระดาษไปในทิศทางแนวเดียวกันจากนั้นทำการขัดขวางตั้งฉากกับรอยขัดกระดาษทรายรอยเดิม



ก) การหล่อเรซิน



ข) ทิศทางการจัดกระจายไฟเบอร์

รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการหล่อเรซินและการจัดกระจายไฟเบอร์

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 Kacar and Baylan [14] ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคและสมบัติของรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมทนซัลฟิวเรตและอะลูมิเนียม โดยการใช้การเชื่อมอาร์กเชื่อมหัวปลั๊กซ์ และใช้ลวดเชื่อมในการเชื่อม 2 ชนิด คือ ลวดเชื่อม E2209-17 และ E308L-16 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 mm ตัวแปรการเชื่อมกำหนดใช้ตามข้อบ่งใช้ของผู้ผลิตลวดเชื่อม และก่อนการเชื่อมชิ้นงานถูกให้ความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียสแล้วทำการเชื่อมทันที ชิ้นงานเชื่อมที่ได้ถูกนำมาทำการทดสอบความแข็งแรงดึง ความแข็ง ความต้านทานการกระแทก การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และการทดสอบความต้านทานการกัดกร่อน ผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม E2209-17 ซึ่งเป็นลวดเหล็กกล้าไร้สนิมผิวเคลือบมีค่าต่ำกว่าลวดเชื่อม E308L-16 เล็กน้อย ค่าความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อมมีค่าที่ยอมรับได้แม้ทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอัตราการเย็นตัวที่เร็ว ความต้านทานการกัดกร่อนมีค่าต่ำ พื้นที่ที่กระตือรือร้นถูกสารกัดกร่อนอย่างรุนแรง การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าลวดเชื่อมทั้งสองสามารถเชื่อมรอยต่อโลหะทั้งสองได้

2.7.2 Bala-Srinivasan *et al.* [15] ทำการศึกษาการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมผิวเคลือบเข้ากับเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยการเชื่อมอาร์กเชื่อมหัวปลั๊กซ์เกรด E2209 และ E309 ขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 3.15 mm และมีตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วยกระแสเชื่อม 110-120A แรงดันเชื่อม 22-24V ความเร็วเชื่อม 120-150 mm/min ผลการทดลองพบว่าความแข็งและความต้านทานแรงกระทำของโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม E2209 มีค่าสูงกว่าโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม E309 โลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม E309 นั้นมีค่าความต้านทานการกัดกร่อนต่ำแสดงการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting corrosion) สูง ขณะที่โลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วย E2209 แสดงการเกิดฟิล์มพาสซีฟป้องกันการกัดกร่อนได้ดี ผลการทดลองสรุปว่าถึงแม้ลวดเชื่อม E309 มีความเหมาะสมต่อการเชื่อมรอยต่อของเหล็กกล้าทั้งสองมากกว่าเนื่องจากความสะดวกในการเลือกกระแสเชื่อมแต่ในผลการทดลองนี้พิสูจน์ว่าลวดเชื่อม E2209 นั้นมีความเหมาะสมมากกว่า

2.7.3 Naffakh *et al.* [16] ทำการศึกษาการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออกสเตนดิก 310 เข้ากับอินโคเนล 657 โดยการเชื่อมอาร์คลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ โดยใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ 4 ชนิด ที่มีอินโคเนลเห็นโลหะผสมหลักประกอบด้วยลวดเชื่อม อินโคเนล 82 อินโคเนล A อินโคเนล 617 และลวด 310 โดยการพิจารณาเปรียบเทียบค่าการทดสอบการแตกร้าาขณะร้อน (Hot cracking) และสมบัติทางกลของโลหะเชื่อม สำหรับการทดสอบการแตกร้าาขณะร้อนลวดเชื่อมอินโคเนล A แสดงค่าแนวโน้มในการแตกร้าาขณะร้อนน้อยที่สุด ขณะที่การทดสอบความแข็งแรงดึง ขึ้นทดสอบเกิดการพังทลายที่ด้านของโลหะที่มีความแข็งแรงต่ำกว่า คือ อินโคเนล 657 รอยต่อที่เชื่อมด้วยอินโคเนล A แสดงค่าความแข็งแรงและความสามารถในการยืดตัวสูงสุด ขึ้นทดสอบความแข็งแรงดึงส่วนใหญ่เกิดการพังทลายแบบเหนียว (Ductile pattern) แต่ลวดเชื่อมอินโคเนล 617 แสดงการพังทลายแบบผสม คือเหนียวและเปราะ ผลการทดลองสรุปว่าในการเชื่อมรอยต่อระหว่างอินโคเนล 657 และเหล็กกล้าไร้สนิม 310 ลวดเชื่อมที่มีความเหมาะสมในการใช้เชื่อมมากที่สุดคือ ลวดเชื่อมอินโคเนล A

2.7.4 Lee *et al.* [17] ทำการศึกษาการเชื่อมวัสดุต่างชนิด โดยทำการเชื่อมโลหะนิกเกิลผสมกับเหล็กกล้าไร้สนิม 304L โดยมีการเติม Ti ลงไปในโลหะเชื่อมขณะทำการเชื่อม เพื่อศึกษาผลกระทบต่อความสามารถในการเชื่อม โครงสร้าง และสมบัติทางกลของรอยต่อ โดยการใช้การเชื่อมอาร์คลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ รอยต่อในการทดลองคือรอยต่อชนบากร่องตัววี ในการเชื่อมทำการเชื่อมแบ่งออกเป็นแนวเชื่อมสามชั้น และแต่ละชั้นทำการเชื่อมแนวเดียว (Single pass) เท่านั้น ในการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของไททาเนียมทำได้โดยการเพิ่มส่วนผสมทางเคมีโดยการใช้ผงโลหะเฟอโรไททาเนียมในลวดเชื่อม ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณไททาเนียมทำให้โครงสร้างจุลภาคบริเวณหลอมละลายมีการเปลี่ยนแปลงจากกิ่งเดนไดรต์เป็นเดนไดรต์ที่มีความสมมาตรอิกิวแอกซ์ (Equiaxed dendrite) ความยาวของช่องว่างระหว่างแขนเดนไดรต์ปฐมภูมิ (Primary dendrite arm spacing: PDAS) มีค่าสั้นลง นอกจากนั้นทำให้ปริมาณเฟสออสติไนต์ไททาเนียม

ออกไซด์ และปริมาณเฟสที่มีปริมาณนิโอเบียมสูงลดลง ความแข็งของพื้นที่หลอมละลายมีความแข็งแรงลดลง การเพิ่มปริมาณไททานเนียมทำให้เกิดการเพิ่มร้อยละการยึดตัวของโลหะเชื่อม ถึงแม้ว่าค่าความแข็งแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามหากมีปริมาณไททานเนียมสูงถึง 0.91% ส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง นอกจากนั้นทำให้ค่าความสามารถในการเชื่อมลดลง

2.7.5 Lee *et al.* [18] ทำการศึกษาเพื่อหาค่าการพังทลายจากการเกิดความล้า (Fatigue) และการเกิดการคืบตัว (Creep) ของรอยต่อเชื่อมมีกรอยต่อชนเหล็กกล้าผสม 9Cr-1Mo และเหล็กกล้าไร้สนิม 316L โดยในการเชื่อมต้องมีการเชื่อมชั้นผิวที่ด้านของเหล็กกล้าผสม 9Cr-1Mo ก่อนด้วยลวดเชื่อมที่ใช้เป็นโลหะเชื่อมก่อนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมตัวเดียวกัน ชิ้นงานที่ได้นำมาทำการทดสอบความล้าคืบตัว (Creep fatigue testing) ที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และให้แรงคงที่ 30 MPa ผลการทดลองที่ได้ถูกนำไปทำการเปรียบเทียบกับรอยต่อที่เป็นโลหะชนิดเดียวพบว่า รอยต่อวัสดุต่างชนิดกันมีค่าการพังทลายที่วิกฤตกว่า คือทนต่อความล้าคืบตัวที่ค่าต่ำกว่า

2.7.6 Das *et al.* [19] ทำการศึกษาความสามารถในการเชื่อมของรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค 304L และเหล็กกล้าไร้สนิม 403 โดยการเชื่อมทิก (GTAW) โดยการใช้ลวดเชื่อม ERNiCr-3 โดยการเชื่อม 2 รูปแบบ คือ การเชื่อมแนวบัพเฟอด้้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 อีกแบบการเชื่อมแนวบัพเฟอด้้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 พร้อมทำการอบหลังการเชื่อม (post-weld heat-treatment) ผลการทดลองพบว่าพื้นที่ที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 มีความเหนียวและสามารถยึดตัวคล้ายกับด้านที่ทำการอบหลังการเชื่อม ผลการทดลองระบุว่าหากทำการเชื่อมลักษณะนี้ ไม่จำเป็นต้องทำการอบชุบหลังการเชื่อมเพราะว่ากระบวนการเชื่อมที่ออกแบบนั้นมีวัฏจักรความร้อนที่ส่งผลคล้ายการอบชุบให้แก่ชิ้นงานแล้ว

การศึกษาผลงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษางานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับวัสดุต่างชนิดกันด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ เพื่อนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงดึง ความแข็ง และลักษณะการพังทลาย และได้มีการศึกษาอิทธิพลตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติทางกล และโลหะวิทยา ของแนวเชื่อม

บทที่ 3

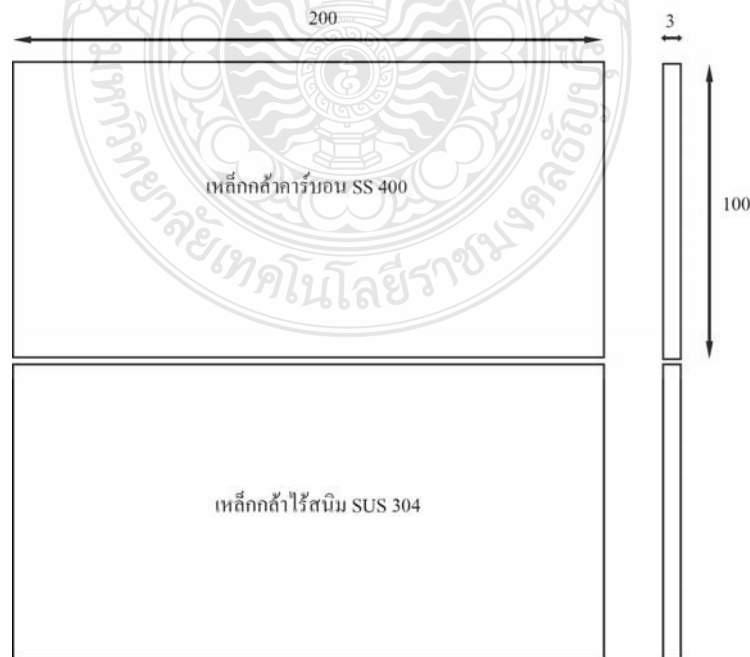
วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินวิจัยการศึกษาอิทธิพลของแก๊สปกคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิม ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (GMAW) ในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง โดยประยุกต์ให้เป็นการเชื่อมแบบอัตโนมัติ เชื่อมรอยต่อชนท่าราบ ทำการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของแก๊ส จากนั้นนำชิ้นงานเชื่อมไปทดสอบสมบัติทางกลและตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยศึกษาสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบแรงดึงเฉือน และความแข็งแรงไมโครวิกเกอร์ และศึกษาโครงสร้างจุลภาคและมหภาค มีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 มีความหนา 3 mm ความกว้าง 100 mm ความยาว 200 mm มีค่าความต้านทานแรงอยู่ที่ประมาณ 792 MPa แสดงดังรูปที่ 3.1 และส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 3.1

3.1.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 มีความหนา 3 mm ความกว้าง 100 mm ความยาว 200 mm มีค่าความต้านทานแรงอยู่ที่ประมาณ 510 MPa แสดงดังรูปที่ 3.1 และส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 3.1



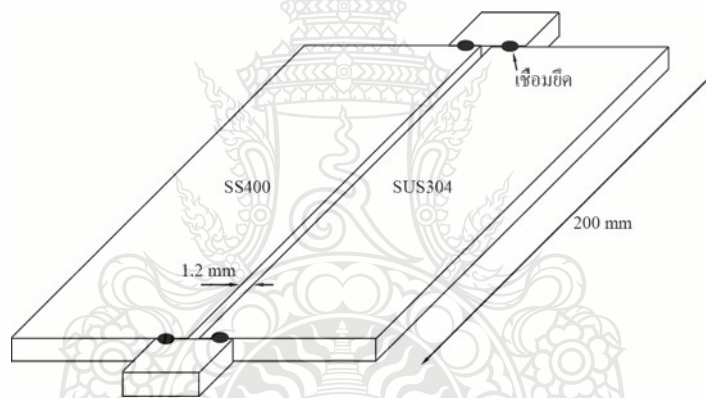
รูปที่ 3.1 ขนาดชิ้นงานทดลอง (หน่วย: mm)

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุเชื่อม (wt%)

วัสดุ	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
SUS304	0.02	0.44	1.32	0.045	0.002	18.67	8.04	0.02
SS400	0.05	0.01	0.2	0.007	0.009	-	-	-

3.1.3 การออกแบบรอยต่อ

ลักษณะรอยต่อเป็นแบบรอยต่อชนทำราบมีระยะห่างระหว่างรอยต่อ 1.2 mm ทำการเชื่อมยึดหัวและท้ายแสดงดังรูปที่ 3.2 แล้วเชื่อมด้วยลวดเชื่อมเปลือย E309 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 mm มาตรฐาน AWS.A5.9 โดยเปลี่ยนแปลงตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปร คือ ชนิดของแก๊ส กระแสเชื่อม และ ความเร็วเดินเชื่อม แสดงการออกแบบรอยต่อดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การออกแบบขั้นตอนการเชื่อมรอยต่อชน (หน่วย: mm)

3.1.4 ลวดเชื่อม

การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง คือ ลวดเชื่อมประเภทเปลือยตัน (Solid wire) สำหรับการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW) เป็นลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS.A5.9 ER 309 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 mm โดยมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (wt%)

ลวดเชื่อม	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
E309	0.05	0.46	1.97	0.021	0.002	13.66	23.29	0.03	0.03

3.1.5 ชนิดของแก๊สปกคลุมที่ใช้ในการเชื่อม

ชนิดของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 3 ชนิด คือ 95%Ar+5%He, 95%Ar+5%N₂ และ 95%Ar+5%O₂ โดยกำหนดอัตราไหลของแก๊สคงที่ 10 ลิตรต่อนาที แสดงตัวอย่างแก๊สปกคลุมดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แก๊สปกคลุมในการเชื่อม

3.1.6 เครื่องเชื่อม

เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงานมีเครื่องหมายการค้า Fronius รุ่น Vario Star 457 และมีช่วงระดับของกระแสเชื่อมอยู่ที่ 35-500 แอมแปร์ น้ำหนักของเครื่องในการเคลื่อนย้ายประมาณ 146 กิโลกรัม แสดงดังรูป 3.4

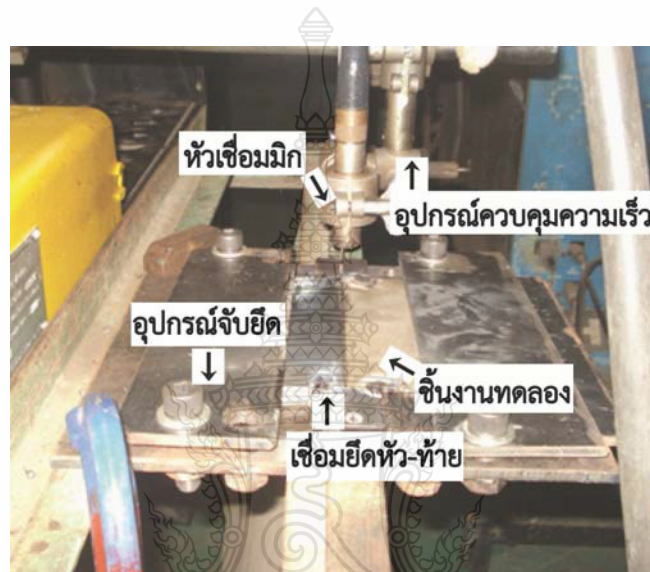


รูปที่ 3.4 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการวิจัย

3.2 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนออกแบบการเตรียมชิ้นงานเชื่อม

1) เตรียมชิ้นงานในการทดลองให้ได้ขนาดที่กำหนด และทำการเชื่อมยึดหัว-และท้ายแสดงดังในรูปที่ 3.5 และนำชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 มาทำการจับยึดบนอุปกรณ์จับยึดให้แน่น โดยอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อให้ชิ้นงานมั่นคง ในระหว่างทำการเชื่อม

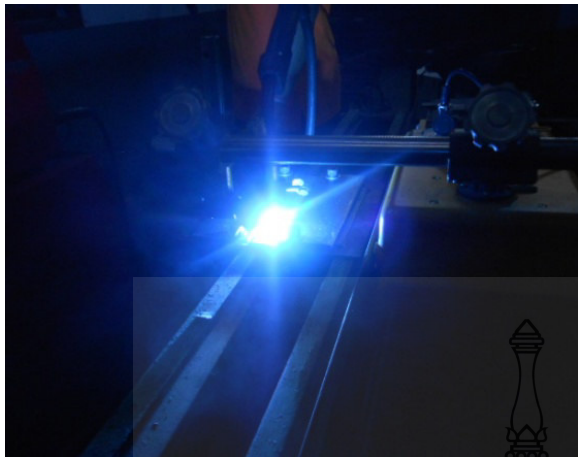


รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนเชื่อม

3.2.2 การออกแบบตัวแปรการเชื่อม

การออกแบบการทดลองตามความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปร คือ ชนิดของแก๊ส กระแสเชื่อม และ ความเร็วในการเชื่อม ทำการเชื่อมชิ้นงานทดลองด้วยกระบวนการเชื่อม GMAW ด้วยลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ER309 ขนาดลวดเชื่อมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร กำหนดอัตราการไหลของแก๊สให้คงที่คือ 10 ลิตรต่อนาที โดยทำการเชื่อมตามตัวแปรที่กำหนด 3 ตัวแปร คือ

- 1) กระแสเชื่อม 3 ค่า คือ 100, 110 และ 120 A
- 2) ความเร็วเดินเชื่อม 4 ค่า คือ 300, 350, 400 และ 450 mm/min
- 3) ชนิดของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 3 ชนิด คือ 95%Ar+5%He, 95%Ar+5%N₂ และ 95%Ar+5%O₂ ทำการเชื่อมชิ้นงานทดลองในท่าราบโดยการต่อชนแสดงดังรูปที่ 3.6 (ก) และ (ข)



(ก) ลักษณะการเชื่อมชิ้นงานทดลอง



(จ) ชิ้นงานหลังจากผ่านการเชื่อม

รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงาน

3.2.3 การเก็บข้อมูล

นำชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมมาทำการตรวจสอบทางกายภาพเบื้องต้นด้วยตาเปล่า สังเกตการกระเด็นของเม็ดโลหะ ความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม และการวัดขนาดความหนาของแนวเชื่อม ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การตรวจสอบทางกายภาพ

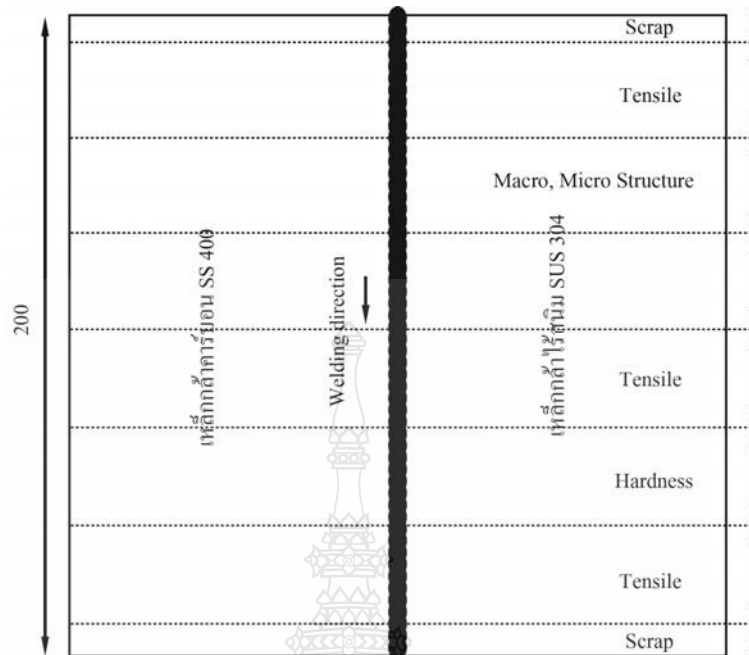
3.2.4 ขั้นตอนการออกแบบการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบ

ขั้นตอนการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบโดยทำการออกแบบการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบหลังจากทำการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 กับเหล็กกล้า

คาร์บอนSS400 โดยจะทำตัดแบ่งชิ้นงานเชื่อมด้วยเครื่องตัดชิ้นงานมีระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็น แสดงดังในรูปที่ 3.8 เพื่อทำการทดสอบสมบัติทางกลของแนวเชื่อมรอยต่อชนและ โครงสร้างทาง โลหะวิทยา เริ่มต้นการตัดแบ่งชิ้นงานจะทำการตัดในทิศทางตั้งฉากกับแนวเชื่อมและตัดชิ้นงาน ส่วนขอบด้านใดด้านหนึ่งทิ้งแล้วตัดจะทำการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบแรงดึง (Tensile testing) ทั้งหมด 3 ชิ้น โดยตำแหน่งการตัด มี 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งเริ่มต้นแนวเชื่อม ตำแหน่งตรงกลาง แนวเชื่อม และตำแหน่งสิ้นสุดการเชื่อม แสดงดังในรูปที่ 3.9 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงจะทำการตัด โกลัๆ กับชิ้นงานทดสอบแรงดึงแสดงดังในรูปที่ 3.9 และชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบโครงสร้างทาง โลหะวิทยาประกอบไปด้วย การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคจะใช้ชิ้น ทดสอบชิ้นเดียวกัน โดยจะทำการตัดแบ่งชิ้นงานเชื่อมตรงตำแหน่งระหว่างชิ้นงานตัดแบ่งทดสอบ แรงดึงแสดงดังในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 เครื่องตัดชิ้นงานมีระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็น

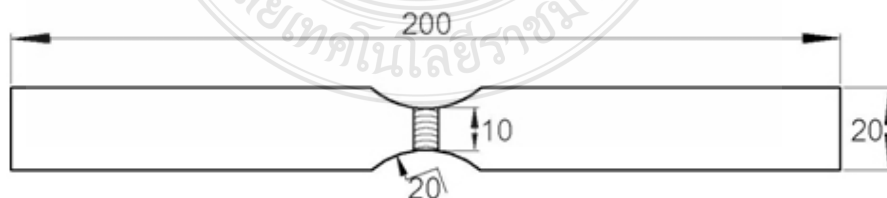


รูปที่ 3.9 การออกแบบการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบ

3.3 การทดสอบสมบัติทางกล

3.3.1 การทดสอบแรงดึง

นำชิ้นงานที่เชื่อมที่ผ่านการตัดแบ่งด้วยเครื่องตัดชิ้นงานมีระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็น มาทำการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง ทำการกัดชิ้นทดสอบด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติตามมาตรฐาน ASTM E8M-04 Type Unnotched [20] โดยกำหนดขนาดบริเวณแนวเชื่อมแสดงดังรูปที่ 3.10 และทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงแสดงดังรูปที่ 3.11 ใช้อัตราความเร็วในการดึงที่ 1 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วทำการบันทึกผลค่าแรงดึง



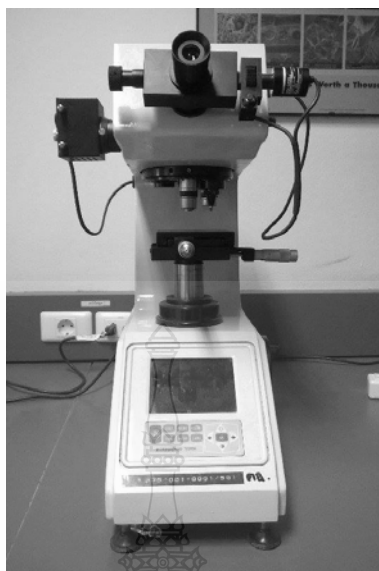
รูปที่ 3.10 ชิ้นทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8M-04 Type Unnotched



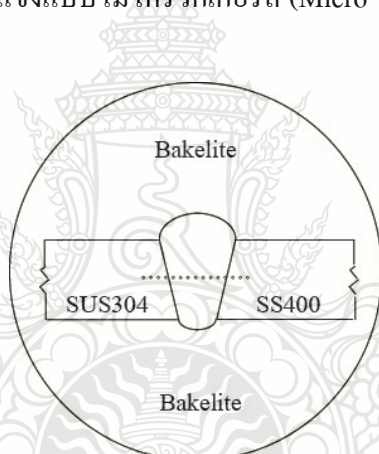
รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบแรงดึง

3.3.2 การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส

ขั้นตอนนี้ขึ้นงานตรวจสอบถูกเตรียมเพื่อให้สามารถนำชิ้นตรวจสอบนั้นไปทำการทดสอบความแข็งได้โดยนำไปขัดด้วยกระดาษทรายน้ำตั้งแต่เบอร์ 360 - 1200 ตามลำดับ ทรายเพื่อให้ น้ำชำระสิ่งสกปรกออกให้หมดและทำให้ผิวรอยกดมีความมันวาวมากที่สุด โดยแสดงขั้นตอนการขัดกระดาษดังรูปที่ 3.15 และขัดจนถึงกระดาษทรายเบอร์สุดท้ายล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์เป่าแห้งด้วยลมและทำการทดสอบความแข็งของแนวเชื่อมจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E92-82 [21] โดยใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers) เครื่องหมายการค้า Controls Digital รุ่น DM 2 สามารถอ่านผลการทดสอบจากเครื่องโดยตรงเป็นตัวเลขดิจิทัลแสดงดังรูปที่ 3.12 โดยใช้เครื่องทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์สกดลากผ่านเป็นเส้นตรงขวางแนวเชื่อมทางด้านวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ผ่านบริเวณรอยเชื่อมมาทางด้านวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 มีระยะห่างของรอยกด 0.1 mm โดยใช้แรงในการกด 100 gf และเวลาในการกดแช่ 10 วินาที ดังในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers)

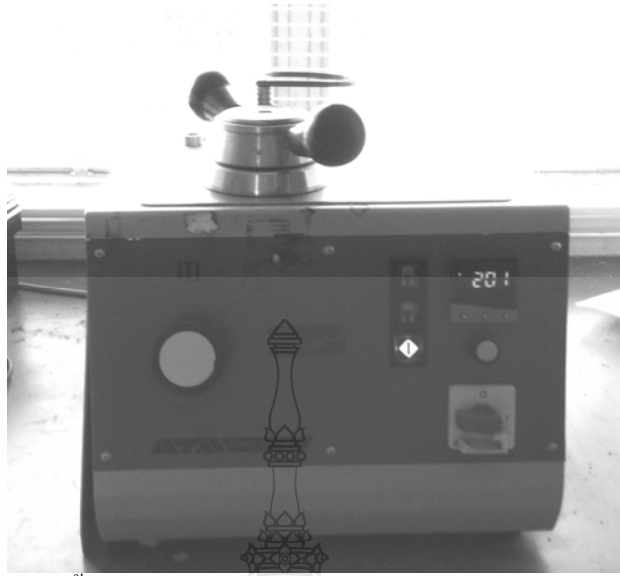


รูปที่ 3.13 ระยะเวลาทดสอบความแข็ง

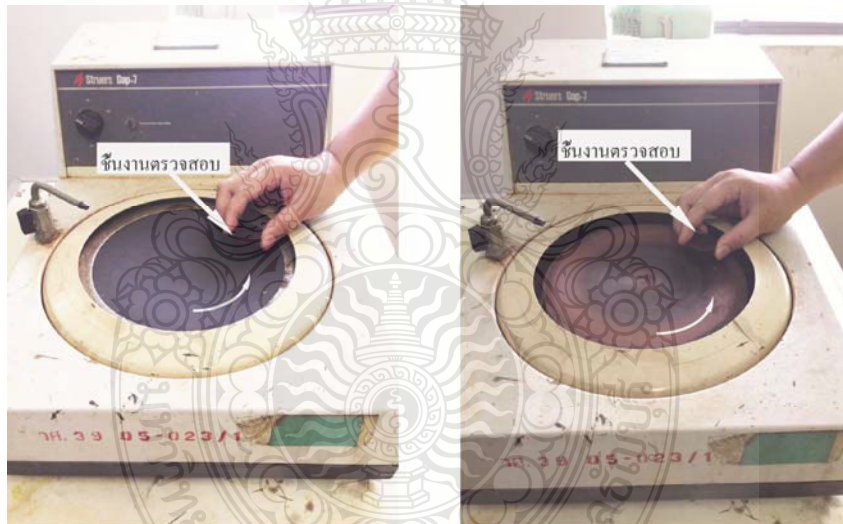
3.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

3.4.1 การตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม

การตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบซูม (Stereo -Microscopes) ที่มีกำลังขยายต่ำกว่า 10 เท่า นำชิ้นงานส่วนที่ผ่านการตรวจสอบมาตัดแบ่งชิ้นส่วนตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงานมีระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นชิ้นงานขณะทำการตัดแสดงดังในรูปที่ 3.9 นำชิ้นงานมาอัดขึ้นรูปร้อนด้วยผงแบคคาไลต์ (Bakelite) แสดงดังในรูปที่ 3.14 ทำการขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ ตั้งแต่เบอร์ 360-1200 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.15 (ก) จากนั้นจะนำไปขัดผิวด้วยผงขัดผงเพชร (Diamond) ที่มีขนาดตั้งแต่ 1-3 ไมครอน บนจานขัดผ้าสักหลาดแสดงดังรูปที่ 3.15 (ข) แสดงทิศทางการขัดกระดาษและผ้าสักหลาดดังรูปที่ 3.15 (ค) แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์เป่าแห้งด้วยลมแสดงดังในรูปที่ 3.16 (ค)



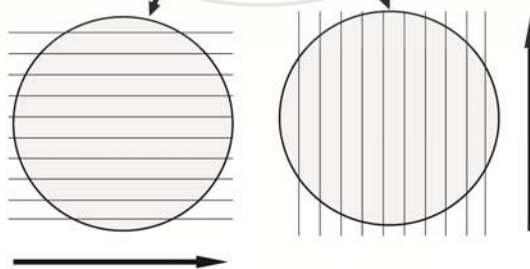
รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยผงแบคคาไลต์ (Bakelite)



ก) ขั้นตอนการขัดกระดาษทราย

ข) ขั้นตอนการกดมันด้วยผ้าสักหลาด

ขนาดชิ้นงานตรวจสอบ

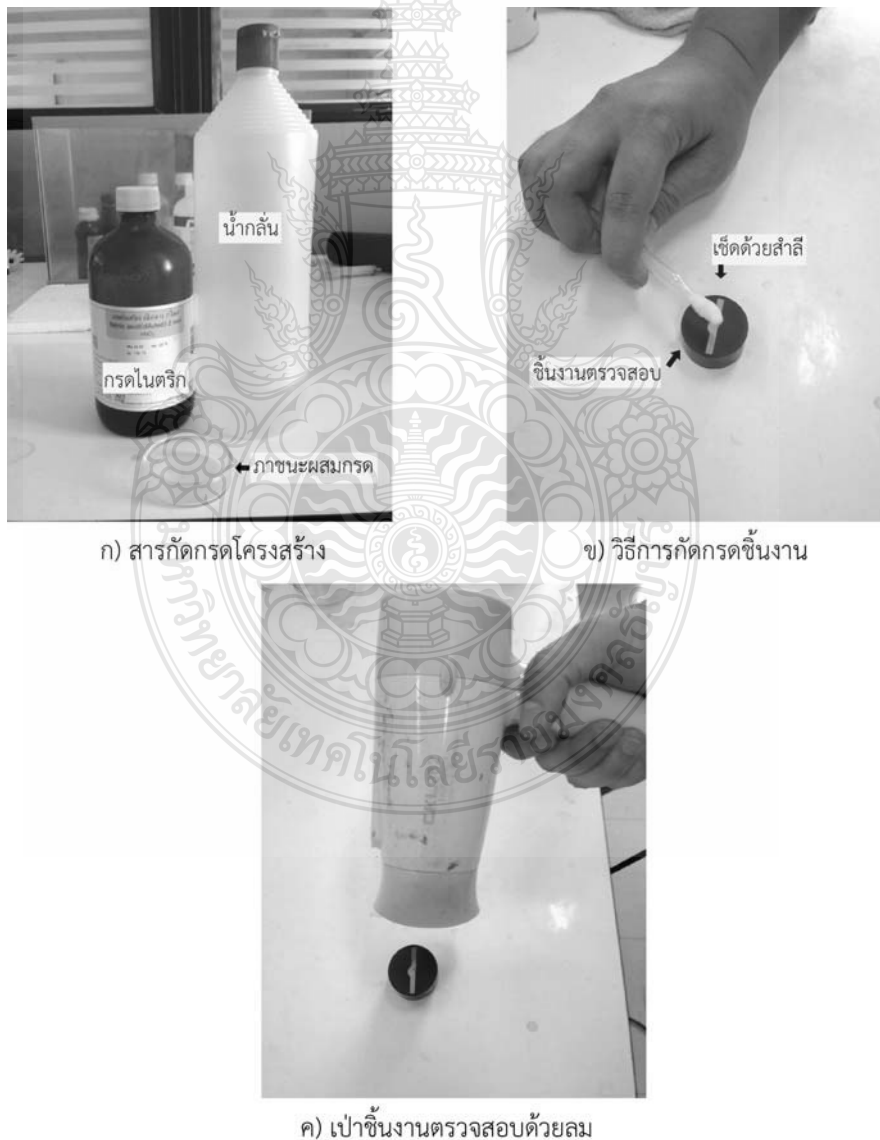


ค) ทิศทางการขัดกระดาษทราย

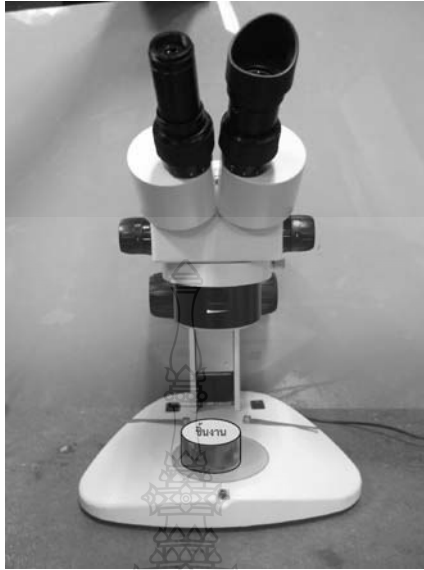
รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการขัดกระดาษทราย

3.4.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม

การกัดกรดดูโครงสร้างสารที่ใช้ในการกัดกรด ประกอบด้วย เอทานอล (95%) 100 mL กรดไนตริก 1-5 mL แสดงดังในรูปที่ 3.16 (ก) โดยใช้สำลีจุ่มสารกัดกรดโครงสร้างที่ผ่านการผสมแล้วทำการเช็ดทาสารกัดโครงสร้างลงบนชิ้นงานเบาๆ ประมาณ 10 วินาที ในขั้นตอนนี้ควรใช้แรงในเช็ดทาสารกัดกรดลงบนชิ้นงานให้น้อยที่สุดเพื่อป้องกันการเกิดรอยขีดขูดจากการเช็ดทาสารกัดโครงสร้างลงบนชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 3.16 (ข) จากนั้นล้างกรดด้วยน้ำและเอทานอลและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลมจนแห้งแสดงดังรูปที่ 3.16 (ค) และทำการตรวจสอบดูจุดบกพร่องบริเวณแนวเชื่อม (Weld zone) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบซูม (Stereo Microscopes) แสดงดังรูปที่ 3.17



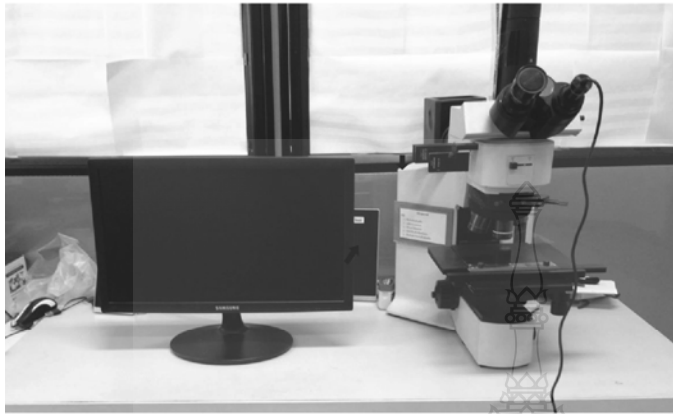
รูปที่ 3.16 ขั้นตอนการกัดกรดโครงสร้าง



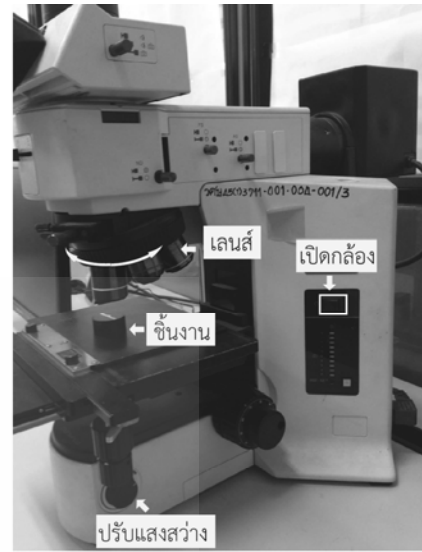
รูปที่ 3.17 กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบซูม (Stereo Microscopes)

3.4.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) เครื่องหมายการค้า Zeiss รุ่น AX10 Imager A1m ที่กำลังขยาย 50-1000 เท่า แสดงดังรูปที่ 3.18 (ก) เบื้องต้นขอกล่าวการใช้กล้องจุลทรรศน์แสดงดังรูปที่ 3.18 (ข) โดยนำชิ้นงาน ส่วนที่ตรวจ โครงสร้างมหภาคมาตรวจดูโครงสร้างจุลภาคเพื่อดูการกระจายตัวลักษณะของ โครงสร้างเดนไดรต์บริเวณแนวเชื่อม (Weld zone) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affect zone) แสดงดังรูปที่ 3.19 และทำการวัดขนาดระยะห่างระหว่างเดนไดรต์แสดงดังรูปที่ 3.20 เริ่มต้นทำการ เปิดกล้องแล้วนำชิ้นงานมาวางบนแท่นวางวัตถุแล้วทำการปรับวัตถุให้ได้ระยะโฟกัสที่มองเห็นแล้ว ทำการปรับแสงสว่างให้มองเห็น โครงสร้างและทำการปรับเลือกเลนส์ตามที่ต้องถ่ายภาพ โครงสร้าง จุลภาคแสดงส่วนประกอบดังรูปที่ 3.18 (ข)และทำการการบันทึกผลและวิเคราะห์ในบทต่อไป

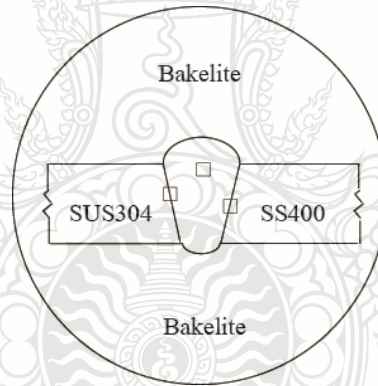


ก) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

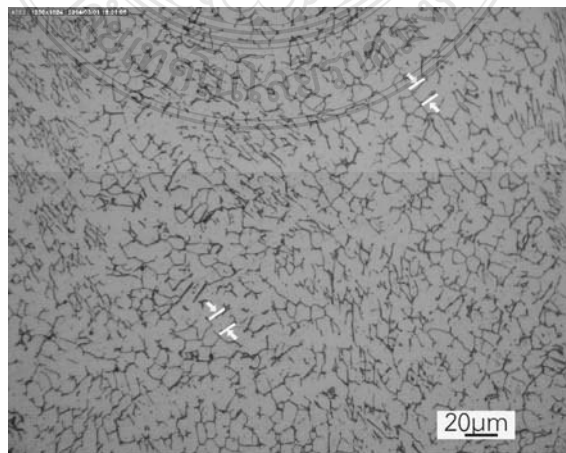


ข) ตำแหน่งการปรับของกล้องจุลทรรศน์

รูปที่ 3.18 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง



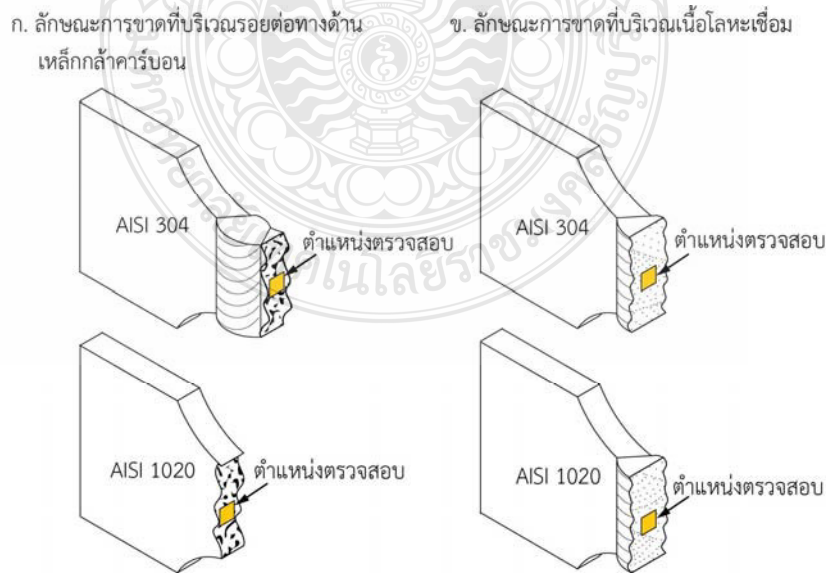
รูปที่ 3.19 ตำแหน่งตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค



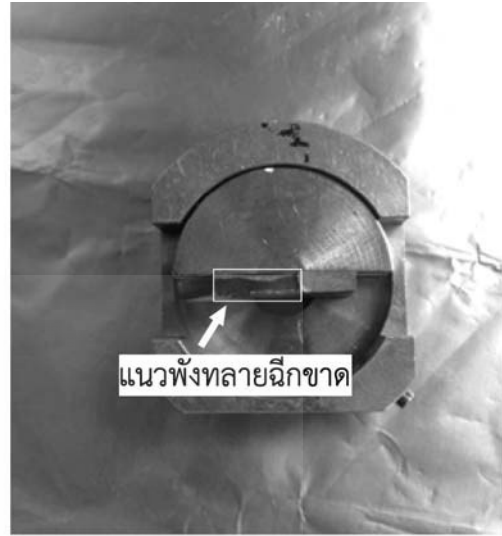
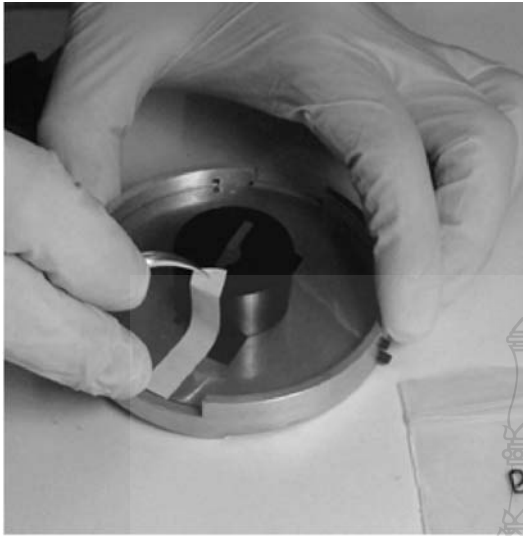
รูปที่ 3.20 ตำแหน่งการวัดขนาดระยะห่างระหว่างเดนไดรต์

3.4.4 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope : SEM)

นำชิ้นงานทดสอบที่ผ่านทดสอบแรงดึงมาทำการตัดให้มีขนาดกว้างยาวไม่เกิน 25 x 25 mm โดยใช้เครื่องตัดชิ้นงานที่มีระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นขณะทำการตัดเพื่อให้ได้ขนาดของชิ้นตรวจสอบตามข้อกำหนดของเครื่องตรวจสอบแล้วนำชิ้นงานที่ผ่านการตัดลดขนาดนำไปตรวจบริเวณที่พังทลายแสดงตำแหน่งตรวจสอบดังรูปที่ 3.21 (ก) บริเวณการฉีกขาดทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ (ข) บริเวณการฉีกขาดบริเวณ โลหะเชื่อมและทำการเตรียมชิ้นงานถ่ายภาพรอยพังทลายแสดงดังรูปที่ 3.22 (ข) และทำการถ่ายภาพรอยพังทลายลักษณะด้วยกำลังขยายของตำแหน่งการตรวจสอบตั้งแต่ 15 เท่า - 200,000 เท่า ด้วยเครื่องตรวจสอบจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดรุ่นJSM-5410LV แสดงดังรูปที่ 3.24 เพื่อดูความแตกต่างของรอยพังทลายลักษณะ และการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อมนำชิ้นงานเชื่อมที่ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่เปรียบเทียบแก่สเปกตรัม 3 ชนิด โดยใช้ชิ้นงานเดียวกันกับชิ้นงานที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคมาทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan และมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตรวจสอบแสดงดังในรูปที่ 3.22 (ก) และทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่บริเวณตำแหน่งเส้นหลอมละลายทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนกับโลหะเชื่อมโดยลากเส้นทางด้านซ้ายผ่านเส้นหลอมละลายเข้ามาทางด้านโลหะเชื่อมเพื่อดูปริมาณเส้นกราฟของธาตุเพื่อนำมาวิเคราะห์กับค่าความต้านทานแรงดึงและรอยฉีกขาด โดยแสดงตำแหน่งการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.21 ตำแหน่งตรวจสอบถ่ายภาพรอยแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด



ก) เตรียมชิ้นงานวิเคราะห์EDS-Line scan

ข) เตรียมชิ้นงานถ่ายภาพรอยพังทลายฉีกขาด

รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด



รูปที่ 3.23 ตำแหน่งการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อม



รูปที่ 3.24 เครื่องตรวจสอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

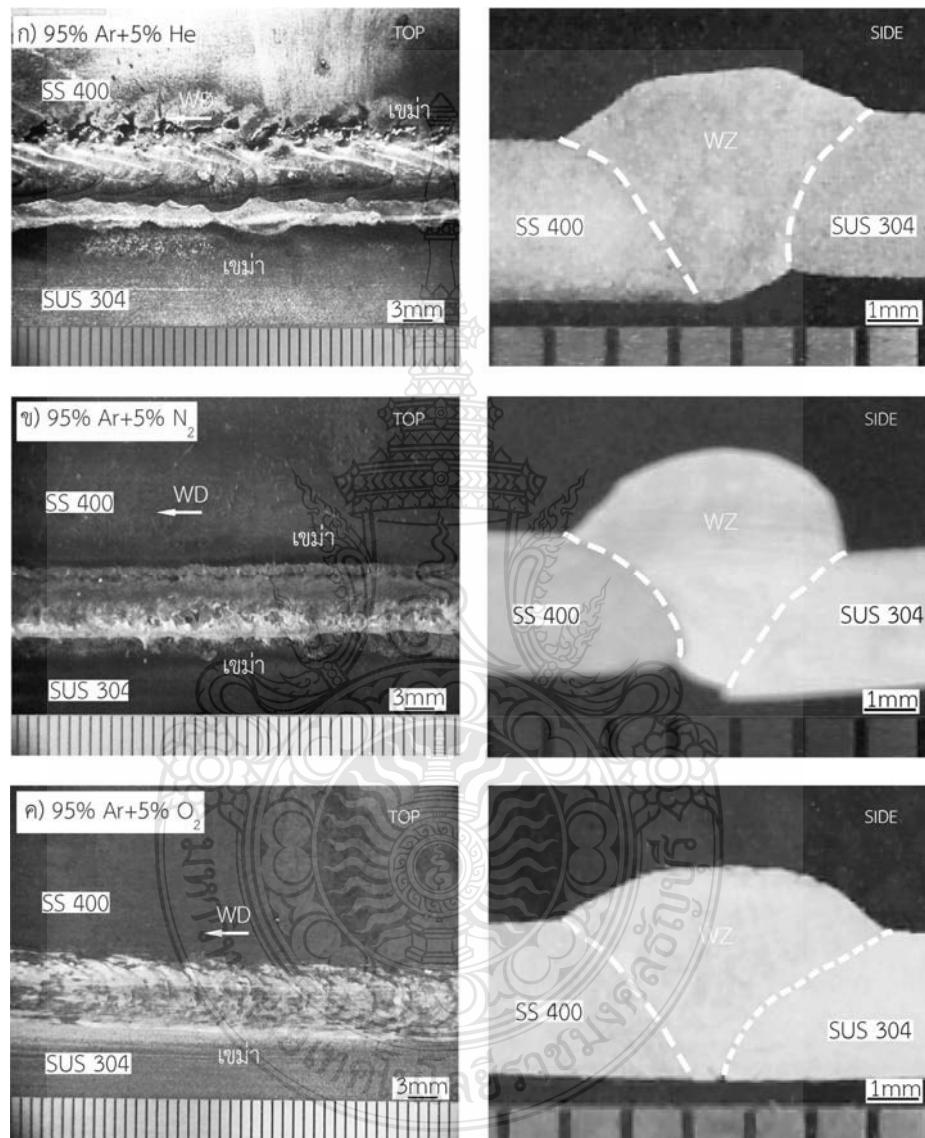
การศึกษาอิทธิพลของแก๊สปกคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิม โดยกำหนดแก๊สปกคลุม 3 ชนิด ประกอบด้วย 95% Ar+5% He 95% Ar+5% N₂ และ 95% Ar+5% O₂ ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

4.1 อิทธิพลของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมที่มีผลต่อกระแสเชื่อม

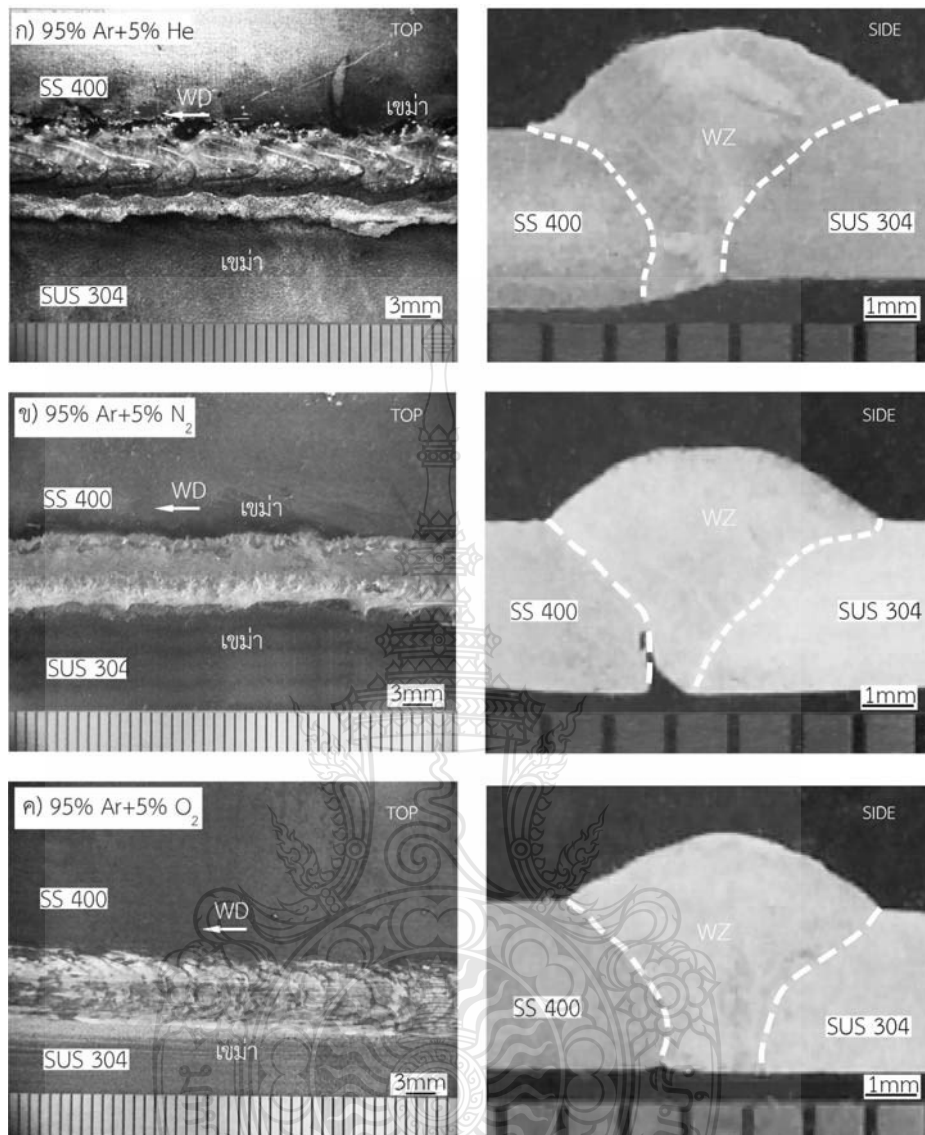
4.1.1 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม

รูปที่ 4.1 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่ทำการเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม 3 ชนิด ประกอบด้วย 95% Ar+5% He 95% Ar+5% N₂ และ 95% Ar+5% O₂ ทำการเชื่อมด้วยกระแส 100 A กำหนดความเร็วเดินเชื่อม 350 mm/min และกำหนดอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมคงที่ 10 L/min ผลการตรวจสอบพบว่าชิ้นงาน ที่ทำการเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% He ลักษณะแนวเชื่อมคล้ายกับลูกศรปลายแหลม และที่ผิวแนวเชื่อมมีคราบเขม่าเกิดขึ้นทั้ง 2 ด้าน ของวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าไร้สนิม แต่ไม่พบการกระเด็นของเม็ดโลหะเชื่อมเกิดทั้ง 2 ด้าน ของวัสดุโลหะชิ้นงาน แสดงดังในรูปที่ 4.1 (ก) และเมื่อทำการตัดขวางชิ้นงานเชื่อมเพื่อตรวจสอบจุดบกพร่องในรอยเชื่อม ปรากฏว่าไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมแสดงดังรูปที่ 4.1 (ก) ด้านข้าง (Side view) ขณะที่ชิ้นงานทำการทดลองเชื่อมด้วยแก๊ส 95% Ar+5% N₂ แสดงดังรูปที่ 4.1 (ข) พบว่าแนวเชื่อมมีคราบเขม่าเหมือนกับแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% He แต่ที่ผิวแนวเชื่อมมีลักษณะคล้ายกับฟองอากาศขณะที่ผิวหน้ารอยตัดขวางของแนวเชื่อมไม่พบจุดบกพร่อง และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงแก๊สปกคลุมคือ 95% Ar+5% O₂ พบว่าผิวแนวเชื่อมมีลักษณะโค้งครึ่งวงรีเมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% He และ 95% Ar+5% N₂ แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.1 (ค) และเมื่อทำการตัดขวางเพื่อตัดดูผิวรอยเชื่อมเพื่อจุดบกพร่อง พบว่าไม่ปรากฏจุดบกพร่องเกิดขึ้นบนผิวรอยเชื่อมแสดงดังรูปที่ 4.1 (ค) ด้านข้าง และรูปที่ 4.2 ผิวรอยเชื่อมที่กระแส 110 A พบว่า ผิวแนวเชื่อมที่ทำการเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม 3 ชนิด แสดงดังรูปที่ 4.2 (ก) (ข) และ (ค) มีลักษณะคล้ายกับผิวรอยเชื่อมที่กระแส 100 A คือ เกิดคราบเขม่าเกิดขึ้นและเกล็ดของแนวเชื่อมของแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ มีลักษณะของผิวขรุขระ ขณะที่ผิวหน้ารอยตัดขวางของแนวเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% He และ 95% Ar+5% O₂ พบว่ามีความสมบูรณ์แสดงดังในรูปที่ 4.2 (ก) และ (ค) แต่ที่ผิวหน้ารอยตัดขวางของแนวเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ พบว่าบริเวณรอยต่อชนทางด้านเหล็กกล้า

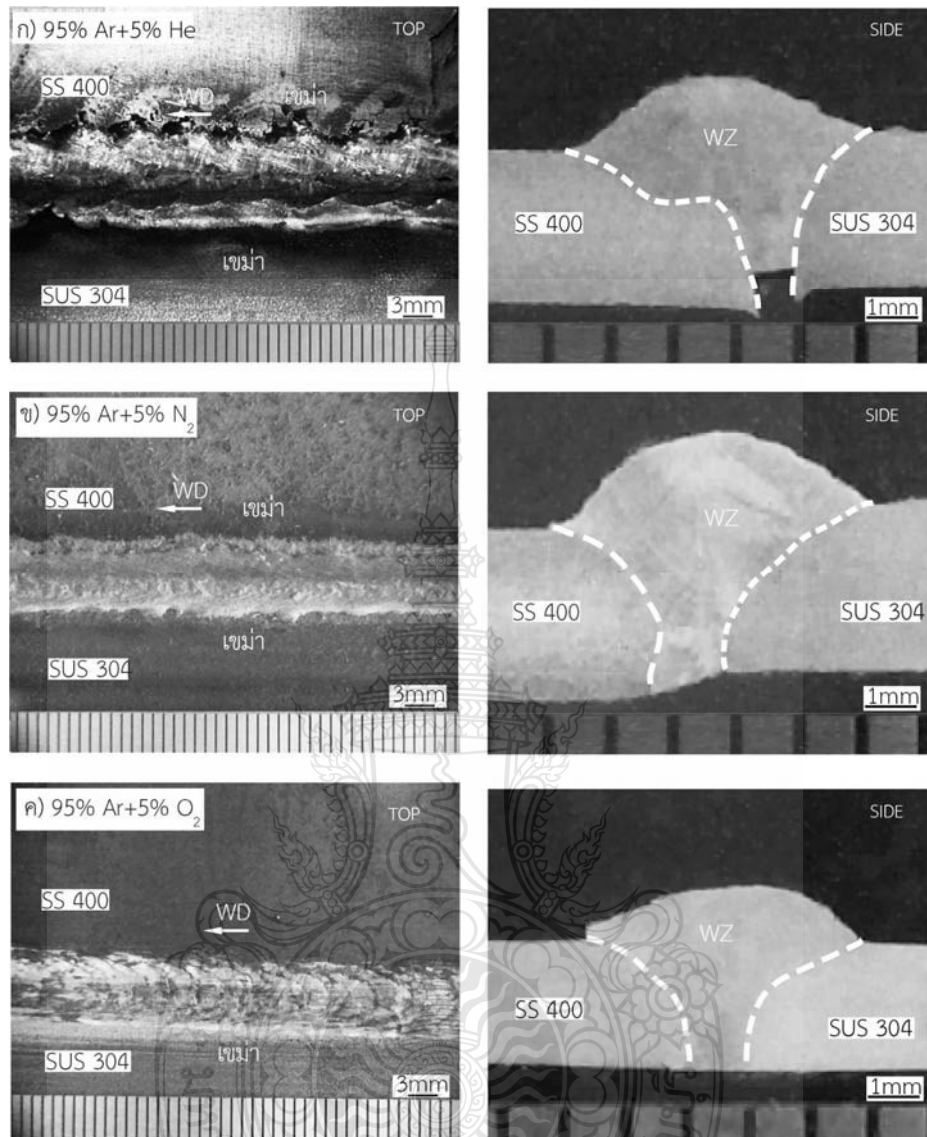
คาร์บอนบริเวณรากแนวเชื่อมพบช่องว่างเกิดการหลอมไม่ติดบางส่วน (Lack of fusion) ระหว่างเนื้อโลหะเชื่อมกับกับโลหะชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 4.2 (ข) สาเหตุการเกิดจุดบกพร่องการป้อนกระแสเชื่อมและความเร็วในการเดินเชื่อมเข้าไปในบริเวณรอยเข็มน้อยหรือต่ำเกินไป [22]



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผิวหน้าแนวกระแสดเชื่อม 100 A ของแก๊สปกคลุมต่างกัน (ก) 95% Ar+5% He (ข) 95% Ar+5% N₂ และ(ค) 95% Ar+5% O₂



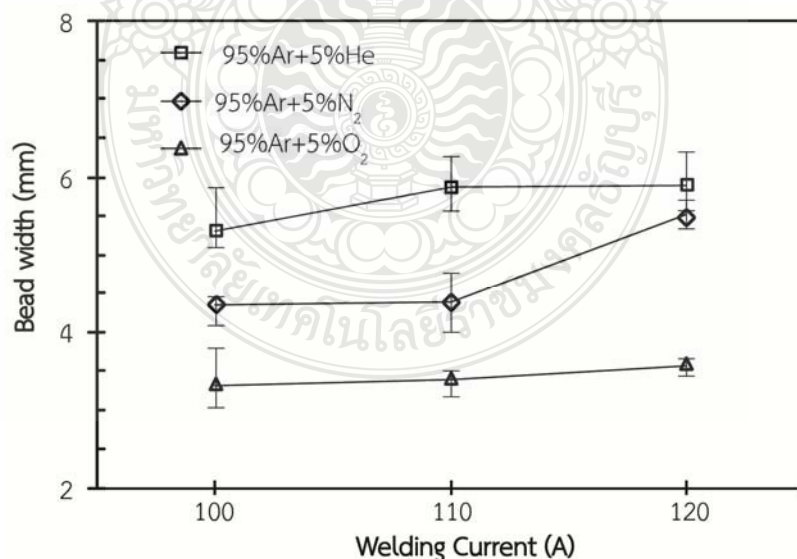
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบผิวหน้าแนวกระแสดูเชื่อม 110 A ของแก๊สปกคลุมต่างกัน (ก) 95% Ar+5% He (ข) 95% Ar+5% N₂ และ (ค) 95% Ar+5% O₂



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผิวหน้าแนวเชื่อมที่กระแส 120 A ของแก๊สปกคลุมต่างกัน (ก) 95% Ar+5% He (ข) 95% Ar+5% N₂ และ (ค) 95% Ar+5% O₂

รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผิวหน้าแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น 120 A โดยการปรับเปลี่ยนแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมต่างกันพบว่า ชิ้นงานที่เชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม 95% Ar+5%He ที่กระแสเชื่อมสูงขึ้นลักษณะผิวแนวเชื่อมไม่พบเกิดแนวเชื่อมแหลมเหมือนลูกศรเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสเชื่อมที่ต่ำดังรูปที่ 4.1 (ก) ขณะที่ทางด้านผิวหน้ารอยตัดขวางของแนวเชื่อมพบการหลอมลึกไม่สมบูรณ์ที่ฐาน (Incomplete root penetration) แสดงดังรูปที่ 4.3 (ก) และเมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานที่เชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ ผิวแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นเกิดแหลมแสดงดังในรูปที่ 4.3 (ข) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับใช้กระแสเชื่อมที่ต่ำกว่า 120 A ผิวหน้าแนวเชื่อมมี

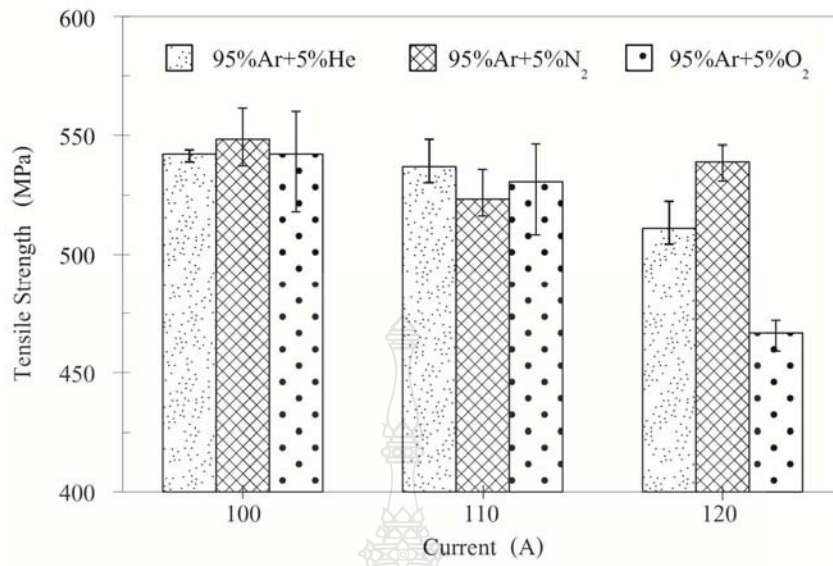
ลักษณะคล้ายฟองอากาศแสดงดังในรูปที่ 4.1 (ข) และ 4.2 (ข) อย่างไรก็ตามผิวแนวเชื่อมของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% O₂ มีลักษณะเป็นเกล็ดแต่ไม่แหลมเหมือนชิ้นงานที่เชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% He และเมื่อพิจารณาตรวจสอบผิวหน้ารอยเชื่อมตัดขวางของแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ และ (ค) 95% Ar+5% O₂ พบว่าไม่เกิดจุดบกพร่องในรอยเชื่อมซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.3 (ข) และ (ค) ในขณะที่ทำการวัดค่าความของแนวเชื่อมของชิ้นงานเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุมต่างกัน และปรับเพิ่มกระแสเชื่อมสูงขึ้นแสดงดังในรูปที่ 4.4 พบว่าชิ้นงานเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% He ให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อมสูงกว่าชิ้นงานเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ และ 95% Ar+5% O₂ มีค่าความกว้างอยู่ระหว่าง 5-6 mm และค่าความกว้างของเชื่อมสูงขึ้นตามกระแสเชื่อม ในขณะที่ชิ้นงานเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ ให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อม 4-5 mm และมีค่าความกว้างของแนวเชื่อมสูงขึ้นตามกระแสเชื่อมและการใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 95% Ar+5% O₂ พบว่า มีค่าความกว้างของแนวเชื่อมต่ำกว่าการใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมระหว่าง 95% Ar+5% N₂ กับ 95% Ar+5% He และค่าความกว้างของแนวเชื่อมที่ต่ำกว่า มีค่าประมาณอยู่ในระหว่าง 3-3.5 mm แต่พบว่ามิลักษณะคล้ายกันในการใช้แก๊สปกคลุมทั้ง 3 ชนิด คือ เมื่อใดที่ใช้กระแสสูงค่าความกว้างของแนวเชื่อมก็สูงตามการใช้กระแสเชื่อมซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jia, Xu et al. [23] ได้ศึกษาวิธีการจำลองวิธีประมาณค่าตัวแปรความร้อนที่ป้อนเข้าในการเชื่อมแก๊สปกคลุมที่มีผลต่ออิทธิพลความกว้างความลึกของบ่อหลอมละลาย



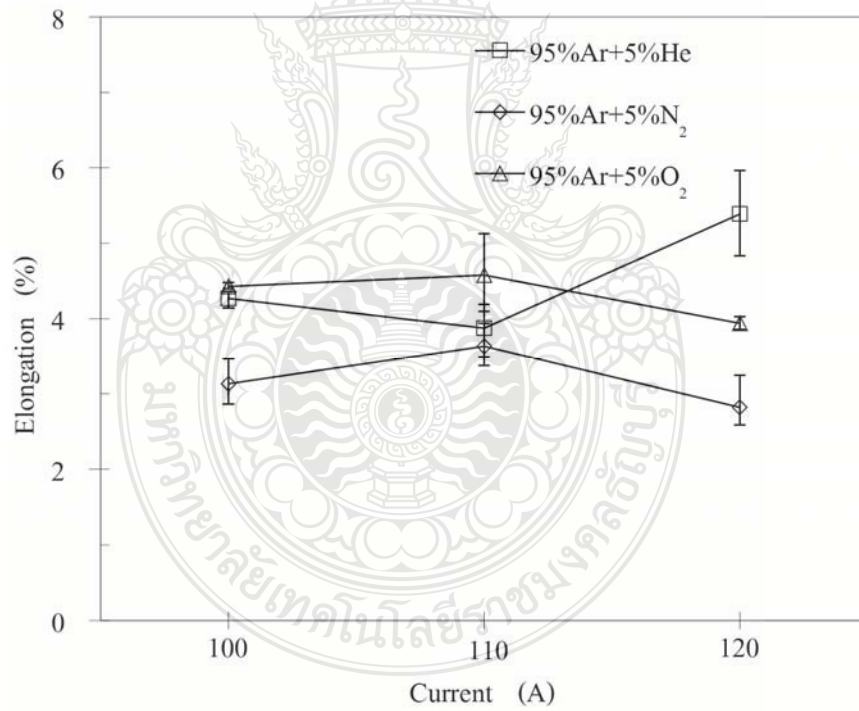
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบทางกายภาพของแนวเชื่อมระหว่างกระแสเชื่อมกับแก๊สปกคลุมต่าง ๆ

4.1.2 ความต้านทานแรงดึงกับแก๊สปกคลุมและกระแสเชื่อมต่างกัน

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงกับแก๊สปกคลุมและกระแสเชื่อมต่างกัน พบว่า การเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิมSUS304 ที่กระแสเชื่อม 100 A แก๊สที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยสูงคือ แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ โดยมีค่าความต้านทานแรงดึงประมาณ 548 MPa มีค่าสูงกว่าโลหะขึ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 แต่มีค่าน้อยกว่าโลหะขึ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมSUS304 ขณะที่แก๊สปกคลุมระหว่าง 95% Ar+5%He กับ 95% Ar+5% O₂ มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 542 MPa และเมื่อพิจารณาค่าการยึดตัวที่กระแสเชื่อม 100 A แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่าแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมที่ 95% Ar+5% N₂ มีค่าการยึดตัวประมาณ 3.13 % ซึ่งมีค่าการยึดตัวต่ำกว่าแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมระหว่าง 95% Ar+5%He กับ 95% Ar+5% O₂ โดยมีค่าการยึดตัวอยู่ที่ 4.27 และ 4.43 % แสดงดังในรูปที่ 4.6 และเมื่อทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงที่กระแสเชื่อมเพิ่มสูงคือ 110 A พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงของแก๊สปกคลุมทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มของค่าความต้านทานแรงดึงลดลงแต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างแก๊สทั้ง 3 ชนิด ที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 95% Ar+5% N₂ ให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดแต่พบค่าการยึดตัวของแก๊สปกคลุมทั้ง 3 ชนิด ที่กระแสเชื่อม 110 A มีค่าการยึดตัวใกล้เคียงกันโดยมีค่าการยึดตัวอยู่ระหว่าง 3.6 -4.5 % แสดงดังในรูปที่ 4.6 และเมื่อทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงที่กระแสเชื่อมสุดท้ายในการวิจัย คือกระแสเชื่อม 120 A พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าลดต่ำลงของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมระหว่าง 95% Ar+5%He กับ 95% Ar+5% O₂ ขณะที่แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 95% Ar+5% N₂ มีแนวโน้มของค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบพิจารณาค่าความต้านทานแรงดึงที่กระแสเชื่อม 100-120 A พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นซึ่งได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar and Shahi [24] ได้ศึกษาผลกระทบของความร้อนที่ป้อนเข้าที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลในการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมรอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ผลการทดลองกล่าวคือ เมื่อใช้ความร้อนที่ป้อนเข้าต่ำส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูง

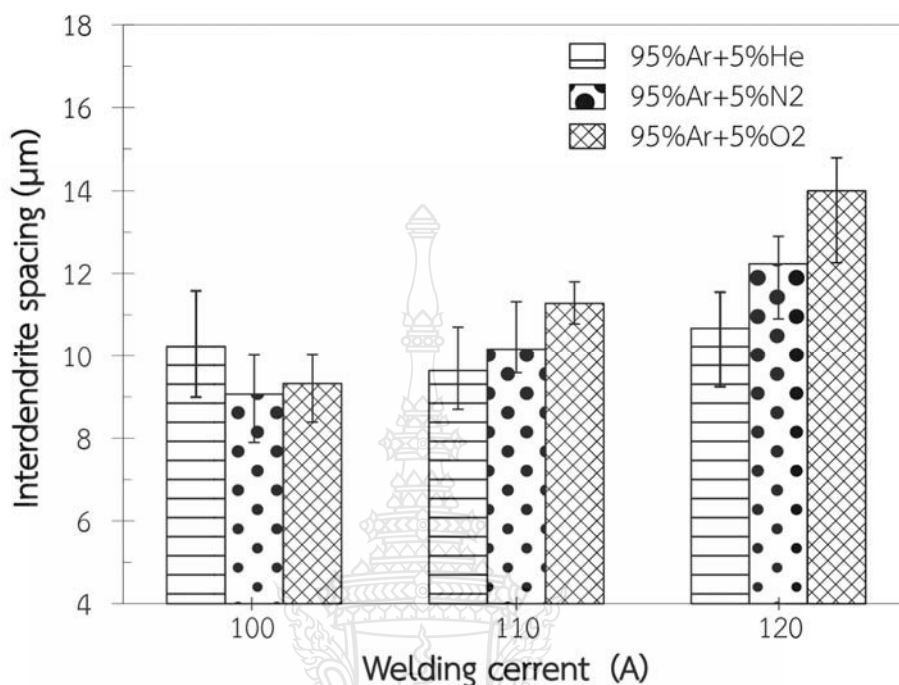


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับแก๊สปกคลุมและกระแสเชื่อมต่างกัน



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดตัวกับแก๊สปกคลุมและกระแสเชื่อมต่างกัน

4.1.3 การเปรียบเทียบขนาดของเดนไดรต์



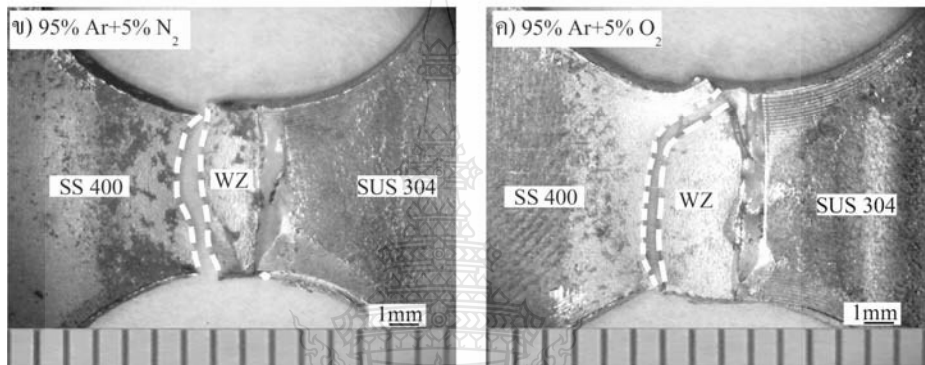
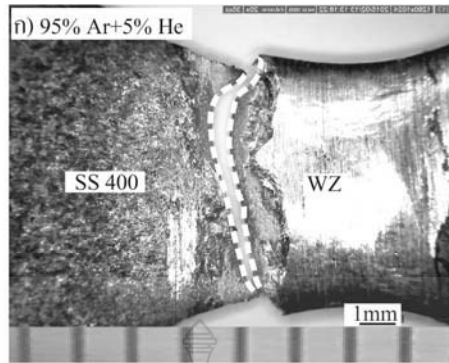
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบขนาดของเดนไดรต์กับกระแสเชื่อมและแก๊สปกคลุมต่างกัน

รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของเดนไดรต์กับกระแสเชื่อมและแก๊สปกคลุมต่างกัน พบว่า การเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ของแก๊สปกคลุมทั้ง 3 ชนิด ที่กระแส 100 A ขนาดของเดนไดรต์มีค่าอยู่ระหว่าง 9.07-10.03 μm เมื่อพิจารณาของแก๊สปกคลุมที่ให้ค่าขนาดของเดนไดรต์สั้นหรือเล็ก คือแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ มีขนาดเท่ากับ 9.07 μm และเมื่อผู้วิจัยได้ทำการทดลองเชื่อมโดยการเพิ่มกระแสเชื่อมสูงขึ้น 110 A และทำการตรวจวัดขนาดของเดนไดรต์ พบว่าขนาดของเดนไดรต์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมีค่าของขนาดเดนไดรต์ของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมทั้ง 3 ชนิด มีค่าขนาดเดนไดรต์อยู่ระหว่าง 9.63-11.28 μm แสดงดังในรูปที่ 4.7 ที่กระแสเชื่อม 110 A และทำการวัดตรวจสอบขนาดเดนไดรต์ชิ้นงานทดลองเชื่อมที่กระแส 120 A พบว่าขนาดของเดนไดรต์มีค่าอยู่ที่ประมาณ 10.67-14.00 μm แสดงดังในรูปที่ 4.7 ที่กระแสเชื่อม 120 A เปรียบเทียบกับกระแสเชื่อมที่ต่ำกว่าที่กระแส 100-110 A มีค่าของขนาดเดนไดรต์ใหญ่ขึ้น การเพิ่มขึ้นของขนาดเดนไดรต์ที่ใหญ่ขึ้นส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงต่ำแสดงดังรูปที่ 4.5 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar and Shabi [24] ที่ได้กล่าวว่าความร้อนที่ป้อนเข้าในการเชื่อมเพิ่มขึ้นส่งผลต่อขนาดเดนไดรต์และช่องว่างระหว่างเดนไดรต์ในโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้น และอธิบายสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของขนาดเดนไดรต์

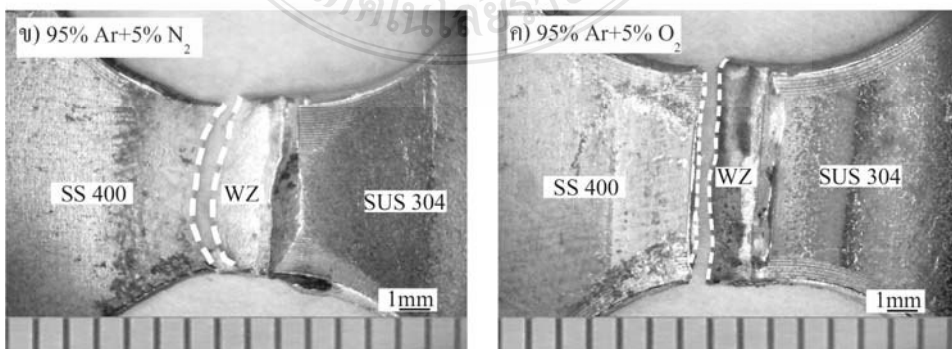
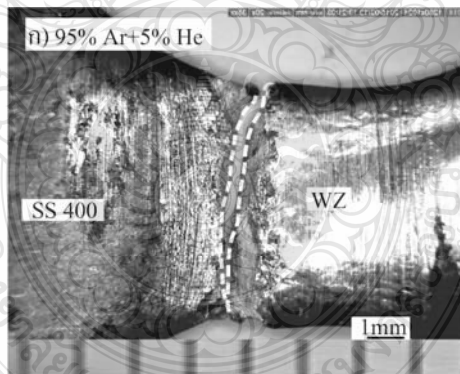
สามารถนำมาประกอบกับความร้อนที่ป้อนเข้าต่ำ อัตราการเย็นตัวค่อนข้างสูงเนื่องจากการไล่ระดับความร้อนเกิดขึ้นในโลหะเชื่อมจะใช้เวลาในการเติบโตของขนาดเดนไดรต์ค่อนข้างน้อยซึ่งในทางกลับกันความร้อนที่ป้อนเข้าในโลหะเชื่อมสูงส่งผลให้อัตราการระบายความร้อนช้าทำให้มีเวลาเหลือสำหรับเดนไดรต์ที่จะเติบโตเข้าไปใกล้บริเวณหลอมละลายและสอดคล้องกับงานวิจัยของ Unnikrishnan, Idury et al [25] ที่แสดงค่าเฉลี่ยของขนาดของเดนไดรต์เล็กหรือสั้นที่กระแสเชื่อมต่ำ และขนาดของเดนไดรต์ใหญ่ที่กระแสเชื่อมสูงในการศึกษาผลกระทบของความร้อนที่ป้อนเข้าส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาค ความเค้นตกค้าง และการกัดกร่อนของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค 304L

4.1.4 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายจิกขาดระหว่างกระแสเชื่อมกับแก๊สปกคลุมต่างกัน

รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายจิกขาดของกระแสเชื่อม 100 A กับแก๊สปกคลุมต่างกัน พบว่า การพังทลายจิกขาดของแก๊สปกคลุมทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ 95% Ar+5%He แสดงดังในรูปที่ 4.8 (ก) 95% Ar+5% N₂ แสดงดังในรูปที่ 4.8 (ข) และ 95% Ar+5% O₂ แสดงดังในรูปที่ 4.8 (ค) มีลักษณะการพังทลายจิกขาดเกิดขึ้นทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ของแก๊สปกคลุมทั้ง 3 ชนิด แต่ลักษณะรูปร่างการจิกขาดของแก๊สปกคลุม 95% Ar+5%He และ 95% Ar+5% N₂ มีทิศทางการจิกขาดคล้ายเส้นตรงขณะที่ชิ้นงานพังทลายจิกขาดของแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% O₂ มีลักษณะการพังทลายจิกขาดเกิดขึ้นตรงรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเฉียงยาวตามรอยต่อทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แสดงดังรูปที่ 4.8 (ค) ขณะที่ชิ้นงานเชื่อมที่กระแส 110 A ด้วยแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 95% Ar+5%He พบว่าลักษณะรอยจิกขาดเกิดขึ้นทางด้านบริเวณรอยต่อเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 มีลักษณะทิศทางการจิกขาดเป็นแนวเส้นตรงเมื่อเปรียบเทียบลักษณะชิ้นงานเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 95% Ar+5% N₂ ลักษณะการพังทลายจิกขาดของชิ้นงานทดสอบมีลักษณะของแนวการพังทลายจิกขาดเป็นแบบเส้นโค้งแสดงดังในรูปที่ 4.9 (ข) ขณะที่ชิ้นงานที่ใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 95% Ar+5% O₂ ลักษณะชิ้นงานทดสอบมีลักษณะของรอยจิกขาดเกิดขึ้นทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 เป็นแนวยาวเส้นตรงแสดงดังในรูปที่ 4.9 (ค)

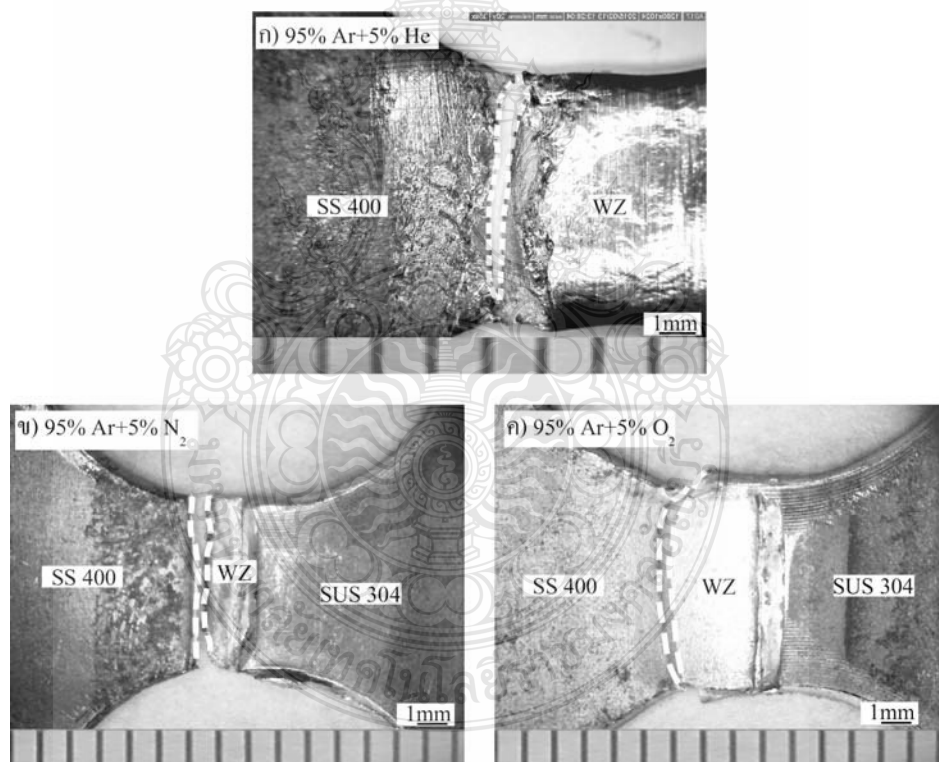


รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายนิกขนาดของกระแสเชื่อม 100 A กับแก๊สปกคลุมต่างกัน



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายนิกขนาดของกระแสเชื่อม 110 A กับแก๊สปกคลุมต่างกัน

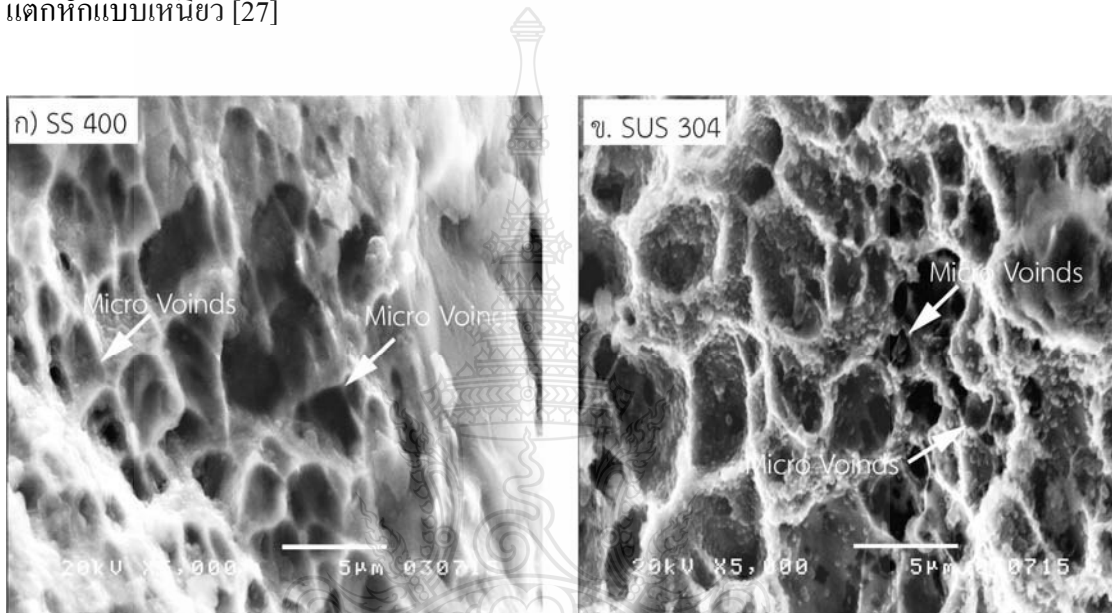
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายนิกษาดของกระแสเชื่อม 120 A กับแก๊สปกคลุมต่างกัน พบว่าลักษณะการพังทลายนิกษาดของแก๊สปกคลุม 95% Ar+5%He และ 95% Ar+5% N₂ แสดงดังรูปที่ 4.10 (ก) และ (ข) มีลักษณะรอยนิกษาดเป็นแนวเส้นตรงทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 ขณะที่ชิ้นงานเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% O₂ ลักษณะการพังทลายนิกษาดเกิดขึ้นทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 มีลักษณะแนวนิกษาดมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง เมื่อเปรียบเทียบรอยพังทลายนิกษาดของแก๊สปกคลุมทั้ง 3 ชนิด และกระแสเชื่อมทั้ง 3 ชนิด พบว่าการพังทลายนิกษาดเกิดขึ้นทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 ซึ่ง Jafarzadegan, Abdollahzadeh et al. [26] ได้อธิบายสาเหตุของรอยนิกษาดเกิดขึ้นตรงบริเวณส่วนที่อ่อนสุดของบริเวณรอยเชื่อมซึ่งสอดคล้องกับชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึงแสดงดังในรูปที่ 4.8 รูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายนิกษาดของกระแสเชื่อม 120 A กับแก๊สปกคลุมต่างกัน

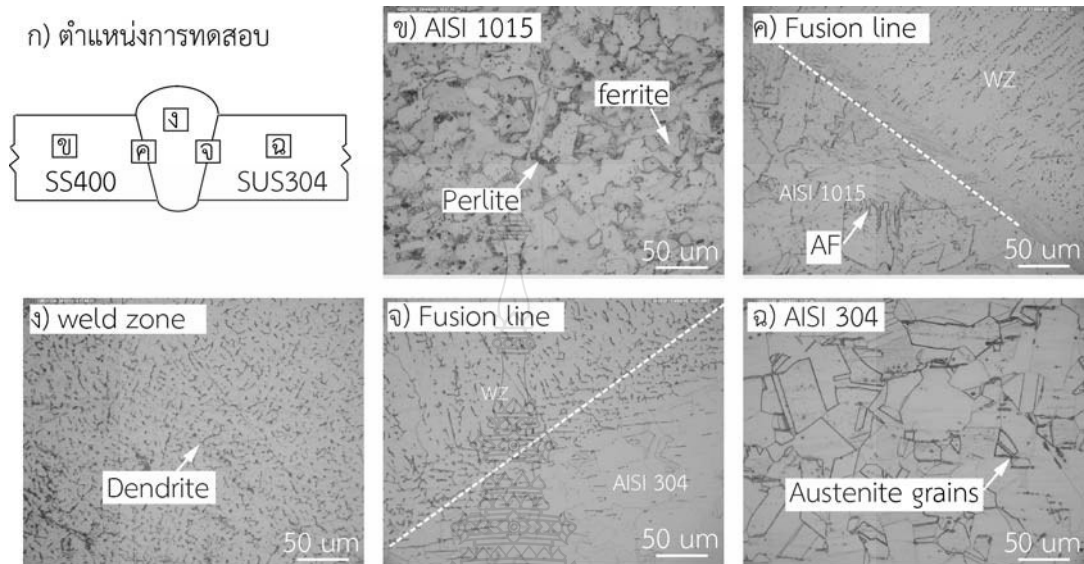
รูปที่ 4.11 แสดงการตรวจสอบลักษณะการพังทลายนิกษาดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของชิ้นงานที่มีค่าความต้านแรงดึงสูงที่กระแสเชื่อม 100 A ของแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ พบว่ารอยพังทลายนิกษาดทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 มีลักษณะของ

ช่องว่างขนาดเล็ก (Micro voids) แสดงดังลูกศรสีขาวชี้ในรูปที่ 11 (ก) และชิ้นงานที่เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่ผ่านการตรวจสอบพื้นผิวรอยฉีกขาดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด พบว่าเกิดช่องว่างขนาดเล็กแสดงดังลูกศรสีขาวชี้ในรูปที่ 11 (ข) ซึ่งคล้ายกับพื้นผิวทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบด้วยสายตาพบว่าช่องว่างที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 มีลักษณะช่องว่างละเอียด (Equiaxed microvoids) เป็นการแตกหักแบบเหนียว [27]



รูปที่ 4.11 ลักษณะการพังทลายฉีกขาดของค่าความแข็งแรงดึงสูง ที่กระแสเชื่อม 100 A แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ ต่างกัน

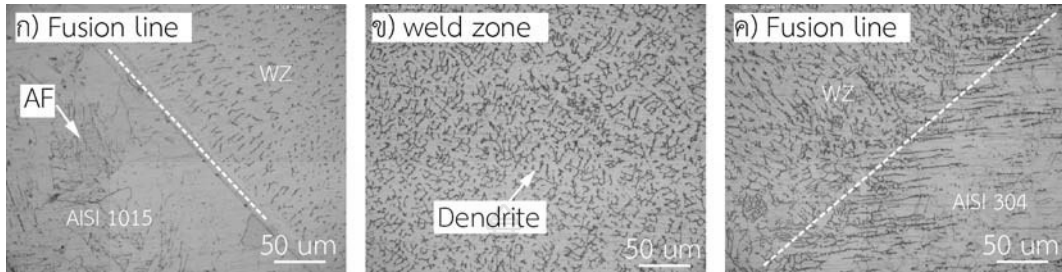
4.1.5 การเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของแก๊สปกคลุมต่างกัน



รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของกระแทกเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% He (AF=Acicular ferrite)

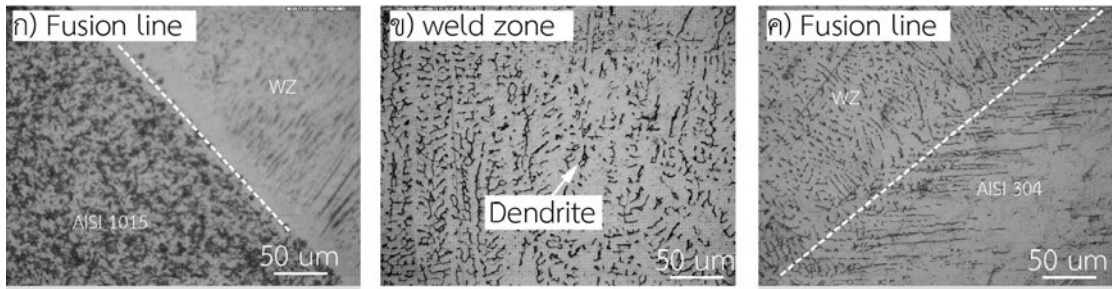
รูปที่ 4.12 แสดงการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของกระแทกเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm/min แก๊สปกคลุม 95% Ar+5%He ของชิ้นงานที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูง โดยแสดงตำแหน่งการตรวจสอบองค์ประกอบรอยเชื่อมและโลหะเชื่อมทั้ง 2 ชนิด แสดงดังในรูปที่ 4.12 (ก) ผลการตรวจสอบพบว่าที่ตำแหน่ง (ข) แสดงโครงสร้างพื้นฐานของโลหะชิ้นงานเชื่อม เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ประกอบไปด้วยพื้นที่สีเทา (Ferrite) [26] แสดงดังลูกศรสีขาวชี้และพื้นที่สีดำ (Perlite) [26] แสดงดังลูกศรสีขาวชี้ ดังในรูปที่ 4.12 (ข) และมีขนาดเม็ดเกรนละเอียด (Equiaxed grains) เฉลี่ยโดยประมาณ 9 μm และที่ชิ้นงานโลหะชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 พบโครงสร้างจุลภาคเป็นแบบออสเทนไนต์เกรนขนาดใหญ่ (Large equiaxed) [26, 28] แสดงดังในรูปที่ 4.12 (ค) และที่ตำแหน่งตรวจสอบ (ง) ระหว่างรอยต่อโลหะเชื่อมและโลหะชิ้นงานทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แสดงรอยต่อด้วยเส้นหลอมละลาย (Fusion line) สีขาวเส้นปะแสดงดังรูปที่ 4.12 (ค) พบว่ารอยต่อมีความสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่องแต่พบลักษณะโครงสร้างของเดนไดรต์มีลักษณะขนาดเล็กและอาจส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งที่สูงขณะที่ทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 บริเวณเส้นรอยต่อหลอมละลายพบเฟอไรต์รูปร่างคล้ายเข็ม (Acicular ferrite) [29] แสดงดังรูปที่ 4.2 (ค) ขณะที่บริเวณโลหะเชื่อมพบว่าการเกิดเป็นโครงสร้างเดนไดรต์กระจายตัวสม่ำเสมออยู่บริเวณโลหะเชื่อมแสดงดังในรูปที่ 4.12 (ง) ดังลูกศรสีขาวชี้ ขณะที่บริเวณเส้นหลอมละลาย

ทางด้านรอยต่อเหล็กกล้าไร้สนิมSUS304 เกิดโครงสร้างเดนไดรต์ขนาดเล็กละเอียดบริเวณเส้นหลอมละลายเส้นประสีขาวแสดงดังรูปที่ 4.12 (จ)



รูปที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm/min แก๊สปกคลุม 95% Ar+5%N₂ (AF=Acicular ferrite)

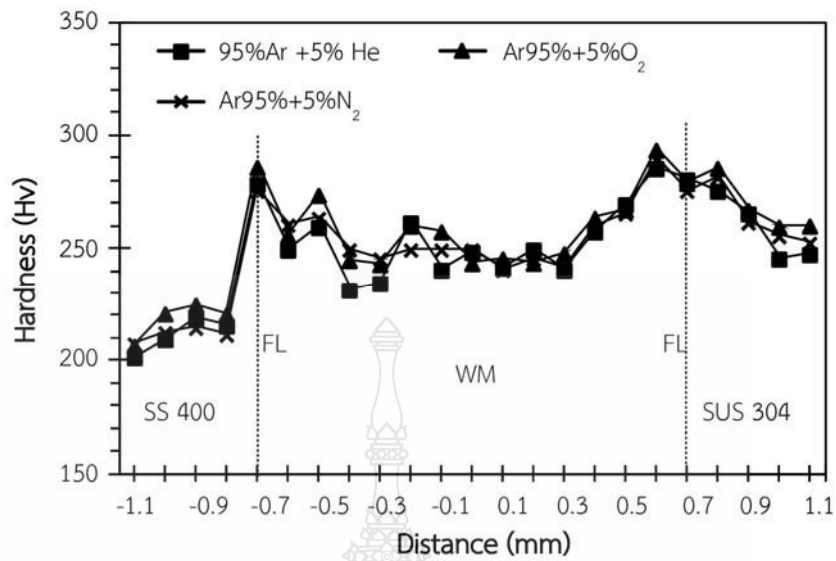
รูปที่ 4.13 แสดงการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 100 A ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 350 mm/min ที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงของแก๊สปกคลุม 95% Ar+5%N₂ นำมาตรวจสอบ พบว่า บริเวณรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 กับโลหะเชื่อมไม่พบจุดบกพร่องระหว่างเส้นหลอมละลายรอยต่อแสดงดังในรูปที่ 4.13 (ก) และเมื่อเปรียบเทียบตรงบริเวณเดียวกันกับแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% He พบว่ามีลักษณะโครงสร้างเฟอร์ไรต์รูปร่างคล้ายเข็มคล้ายกัน และเมื่อตรวจสอบบริเวณ โลหะเชื่อมพบว่าเกิดโครงสร้างของเดนไดรต์แต่ขนาดเล็กละเอียดเมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% He แสดงดังในรูปที่ 4.7 ขณะที่ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณเส้นหลอมละลายทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิมพบว่าออสเทนไนต์เกรนของเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะเปลี่ยนรูปร่างเป็นเส้นตรงวิ่งเข้าสู่เส้นหลอมละลายแสดงดังในรูปที่ 4.13 (ค) และเมื่อทำการตรวจสอบชิ้นงาน โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm ที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงของแก๊สปกคลุม 95% Ar+5%O₂ พบว่าบริเวณทางด้านเส้นหลอมละลายทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนและบริเวณทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิมไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้นทั้ง 2 ด้านแสดงดังในรูปที่ 4.14 (ก) และ(ค) ขณะที่ตรวจสอบบริเวณโลหะเชื่อมแสดงดังในรูปที่ 4.14 (ค) พบว่าโครงสร้างจุลภาคของเดนไดรต์มีขนาดใหญ่หรือโตกว่าชิ้นงานที่เชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% He กับ 95% Ar+5%N₂



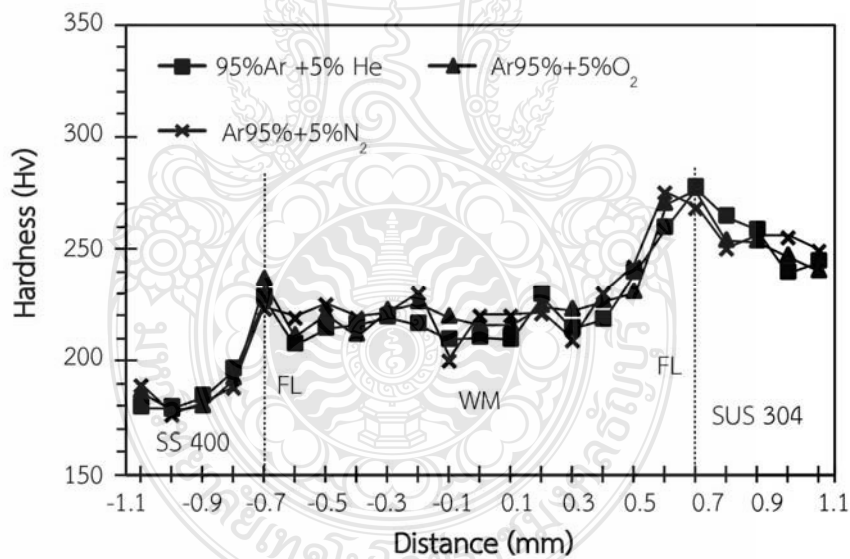
รูปที่ 4.14 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปกคลุม 95% Ar+5%O₂

4.1.6 การเปรียบเทียบความแข็งจุลภาคของแนวเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุมต่างกัน

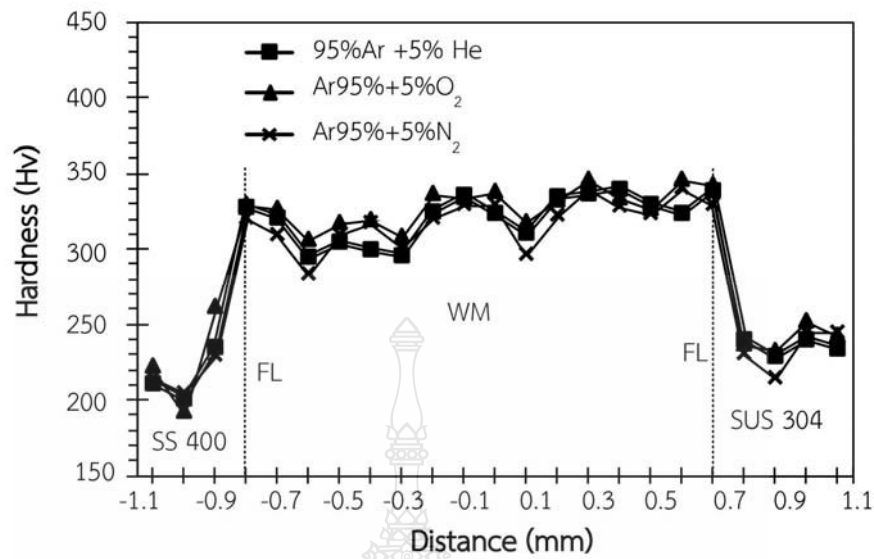
รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปกคลุมต่างกัน พบว่าค่าความแข็งบริเวณ โลหะเชื่อม (Weld metal) มีค่าความแข็งเฉลี่ยใกล้เคียงกันของแก๊สทั้ง 3 ชนิด มีค่าประมาณ 230-270 HV แต่เมื่อเปรียบเทียบบริเวณเส้นหลอมละลาย (Fusion line) ทั้ง 2 ด้าน มีค่าความแข็งสูงกว่าบริเวณ โลหะเชื่อมสาเหตุอาจเกิดจากการที่มีโครงสร้างจุลภาคละเอียดแสดงโครงสร้างละเอียดดังรูปที่ 4.12 (ค)และ(จ) ขณะที่โลหะชิ้นงานของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 มีค่าความแข็งประมาณ 200-220 HV ต่ำกว่าบริเวณโลหะเชื่อม ขณะที่ความแข็งโลหะชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าความแข็งประมาณ 240-260HV มีค่าความแข็งใกล้เคียงโลหะเชื่อม และรูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งของกระแสเชื่อม 110 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปกคลุมต่างกัน พบว่าค่าความแข็งบริเวณโลหะเชื่อมมีค่าความแข็งประมาณ 210-230 HV ขณะที่บริเวณเส้นหลอมละลายทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าความแข็งสูงกว่าบริเวณโลหะเชื่อมขณะที่บริเวณเส้นหลอมละลายทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 มีค่าความแข็งใกล้เคียงกับโลหะเชื่อม และเมื่อทำการทดสอบความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 120 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปกคลุมต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.17 พบว่าค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อมสูงกว่ามีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 240-340 HV เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณโลหะเชื่อมที่กระแสเชื่อม 100 และ 120 A แสดงดังรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 ขณะที่บริเวณเส้นหลอมละลายพบว่ามีค่าความแข็งสูงใกล้เคียงกับกระแสเชื่อมที่ 100 และ 120 แสดงดังรูปที่ 4.17 ที่ตำแหน่งเส้นประแสดงสัญลักษณ์ F1



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบความแข็งของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปกคลุมต่างกัน (FL=เส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย, WM=โลหะเชื่อม)



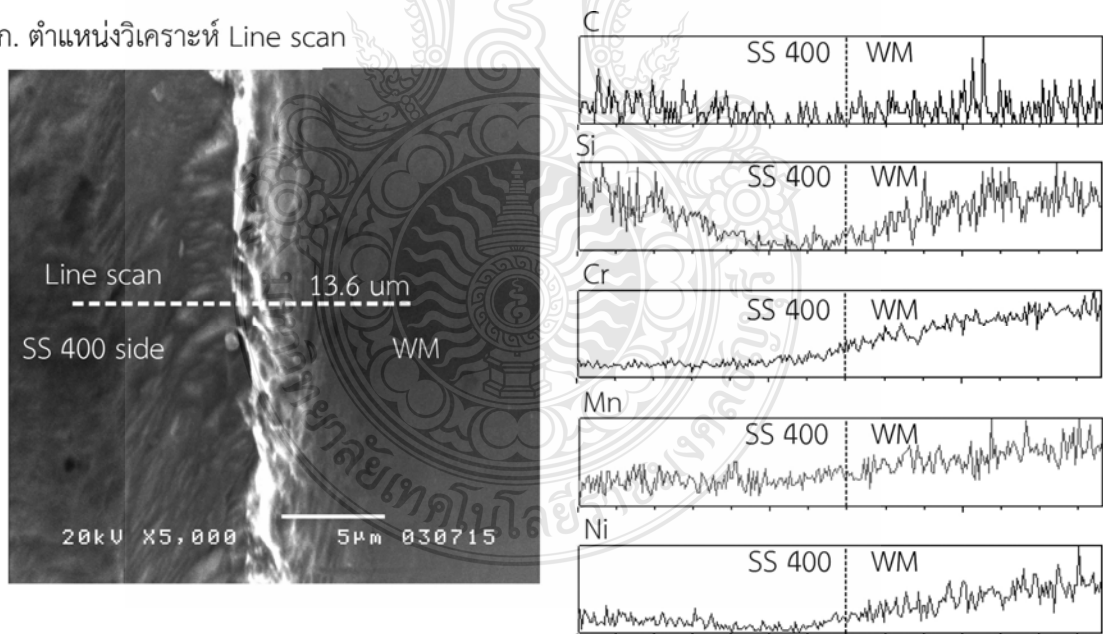
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบความแข็งของกระแสเชื่อม 110 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปกคลุมต่างกัน (FL=เส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย, WM=โลหะเชื่อม)



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบความแข็งของกระแสเชื่อม 120 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm แก๊สปกคลุมต่างกัน (FL=เส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย, WM=โลหะเชื่อม)

4.1.7 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อม

ก. ตำแหน่งวิเคราะห์ Line scan



รูปที่ 4.18 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อมที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกระแสเชื่อม 100 A แก๊สปกคลุม 95% Ar+5%N₂

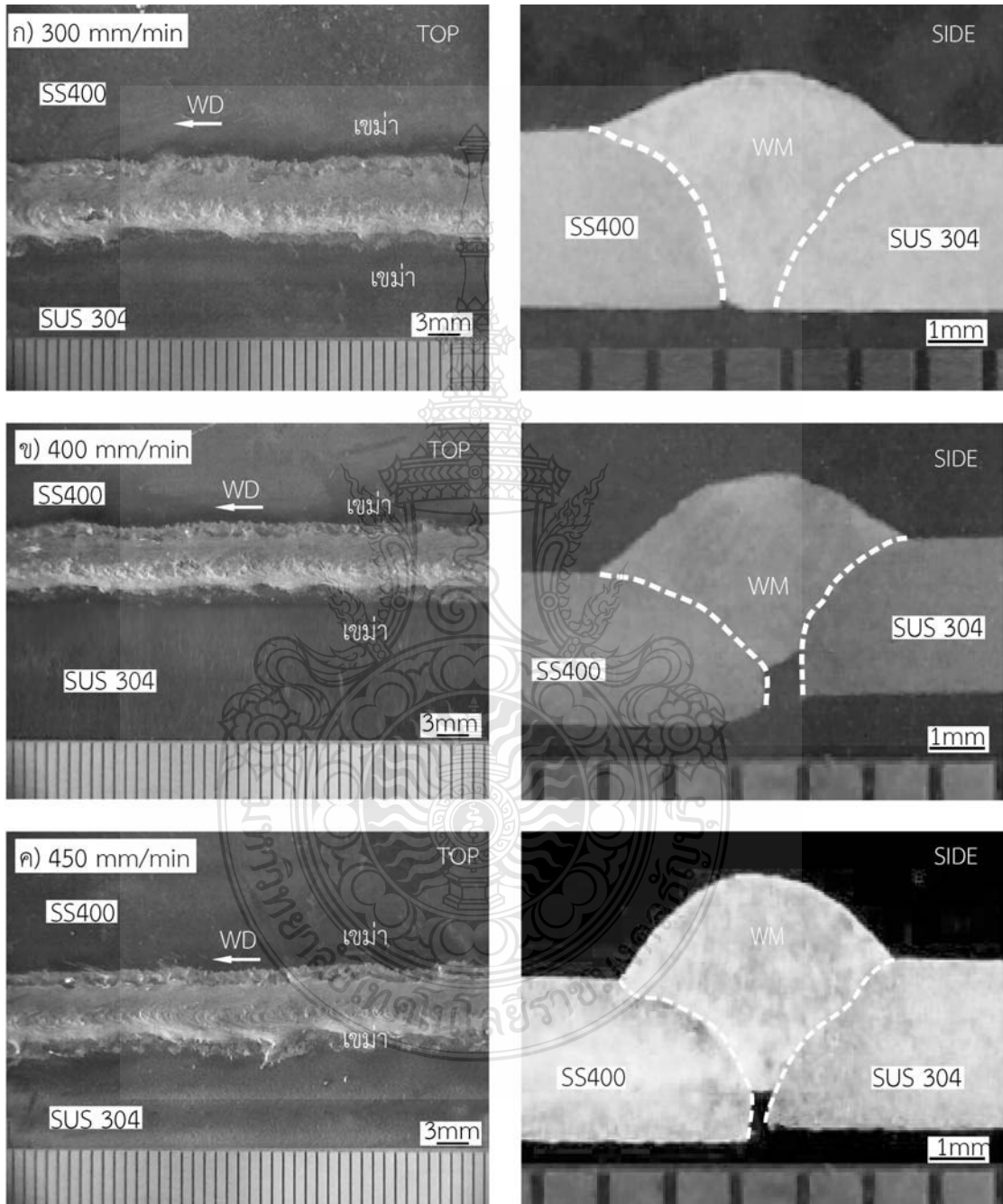
รูปที่ 4.18 แสดงการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของชิ้นงานที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อมที่ 350 mm/min แก๊สปกคลุม 95% Ar+5%N₂ โดยลากผ่านเป็นเส้นตรงทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนผ่านรอยต่อบริเวณเส้นหลอมละลายกับโลหะเชื่อมโดยมีความยาวประมาณ 16 μm ผลการตรวจสอบพบว่ามีธาตุหลักประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน (C) ซิลิกอน (Si) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) และนิกเกิล (N) และเมื่อทำการวิเคราะห์ของเส้นกราฟของธาตุคาร์บอนพบว่ามีปริมาณการกระจายตัวของธาตุคาร์บอนมีความสม่ำเสมอและทำการวิเคราะห์ของเส้นกราฟของธาตุซิลิกอนพบว่ามีปริมาณของธาตุซิลิกอนมีแนวโน้มของเส้นกราฟต่ำบริเวณเส้นหลอมละลายขณะที่ปริมาณของเส้นกราฟของธาตุโครเมียม แมงกานีส และนิกเกิลพบว่ามีแนวโน้มของปริมาณธาตุสูงเมื่อเข้าใกล้ทางด้านโลหะเชื่อมขณะที่ทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนพบว่ามีปริมาณของธาตุโครเมียม แมงกานีส และนิกเกิลต่ำและเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะการพังทลายถีกขาดบริเวณทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุโครเมียม แมงกานีส และนิกเกิลต่ำที่ผ่านการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan แสดงดังในรูปที่ 4.18

4.1.8 สรุปผลการทดลอง อิทธิพลของแก๊สปกคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 และเหล็กกล้าไร้สนิมSUS304

โดยกำหนดแก๊สปกคลุม 3 ชนิด ประกอบด้วย 95% Ar+5% He, 95% Ar+5% N₂ และ 95% Ar+5% O₂ และใช้กระแสในการเชื่อม 100-120 A ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm/min ผลการทดลองพบว่า ตัวแปรของแก๊สปกคลุมที่ให้ค่าความต้านทานดึงสูงประมาณ 548 MPa คือ แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ ที่กระแสเชื่อม 100 A มีขนาดของเดน ไครต์สั้นประมาณ 9.07 μm การพังทลายถีกขาดเกิดขึ้นทางด้านรอยเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 มีรูปร่างของช่องว่างขนาดเล็กเกิดขึ้นบนพื้นผิวรอยถีกขาดทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 กับทางด้าน โลหะเชื่อม และการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan บริเวณเส้นหลอมละลายทางด้านรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนSS400กับโลหะเชื่อมพบปริมาณของธาตุโครเมียม แมงกานีส และนิกเกิลสูงทางด้านโลหะเชื่อมส่งผลให้เกิดการพังทลายถีกขาดเกิดขึ้นทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 จากนั้นได้นำ แก๊สปกคลุม95% Ar+5% N₂ ไปทำการเชื่อมโดยปรับเปลี่ยนความเร็วเดินเชื่อม 300-450 mm/min และทำการทดสอบสมบัติทางกลและ โครงสร้างทางโลหะวิทยาผลการทดลองแสดงไว้ในหัวข้อที่4.2

4.2 อิทธิพลของแก๊สปกคลุม 95% Ar+5%N₂ ที่มีผลต่อความเร็วเดินเชื่อม

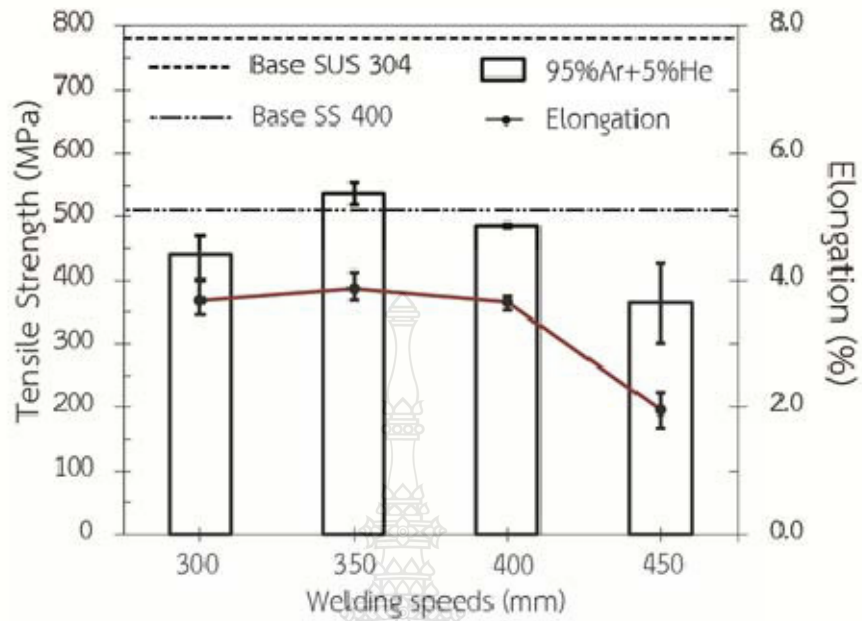
4.2.1 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายจิกขนาดด้านข้าง



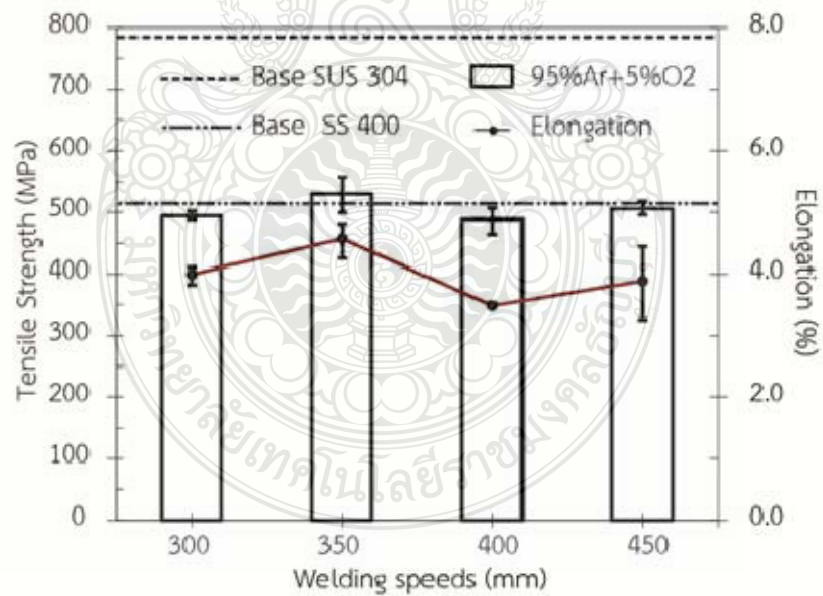
รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบผิวหน้าแนวเชื่อมที่กระแส 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 300, 400 และ 450 mm/min ของแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂

รูปที่ 4.19 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่กระแส 100 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 400 และ 450 mm/min ของแก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ พบว่าชิ้นงานที่ทดลองเชื่อมด้วยความเร็วเดินเชื่อมต่ำผิวหน้าหรือเกล็ดของชิ้นงานเชื่อมมีลักษณะคล้ายวงรีแสดงดังในรูปที่ 4.19 (ก) ขณะที่เพิ่มความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นที่ 350-450 mm/min พบว่าลักษณะรูปร่างผิวหน้าแนวเชื่อมหรือเกล็ดมีลักษณะแหลมขึ้นและมีความกว้างของแนวเชื่อมลดลงแสดงดังในรูปที่ 4.1 (ข) รูปที่ 4.19 (ข) และ(ค) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chuaiphan, W. and L. Srijaroenpramong และ [30] Feng, Li et al. [31] ขณะที่รูปร่างของรอยเชื่อมที่ผ่านการตัดขวางและตรวจสอบพบว่าที่ความเร็วเดินเชื่อมต่ำ 300-350 mm/min ผิวหน้ารอยตัดแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่องใดๆ แสดงดังในรูปที่ 4.19 (ก) และรูปที่ 4.1 (ข) ขณะที่ชิ้นงานเชื่อมด้วยความเร็วเดินเชื่อมสูง 400-450 mm/min พบผิวหน้ารอยตัดของแนวเชื่อมเกิดการหลอมลึกไม่สมบูรณ์ที่ฐาน (Incomplete root penetration) แสดงดังในรูปที่ 4.19 (ข)และ (ค)

รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงกับความเร็วเดินเชื่อม 300-450 mm/min กระแสเชื่อม 100 A และแก๊สปกคลุม 95%Ar+5%He พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินเชื่อม 300 mm/min มีค่าความต้านทานแรงดึงประมาณ 440 MPa เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมสูงขึ้น 350 mm/min ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 537 MPa มีค่าสูงกว่าค่าความต้านทานแรงดึงของ โลหะชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้น 400-450 mm/min ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อทำการเปลี่ยนเป็นแก๊สปกคลุม 95%Ar+5%O₂ ความเร็วเดินเชื่อม 300-450 mm/min พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงที่ความเร็วเดิน 300 mm/min มีค่าความต้านทานแรงดึงประมาณ 494 MPa เมื่อเพิ่มความเร็วเชื่อม 350 mm/min ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าสูงกว่าโลหะชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยมีค่าประมาณ 531 MPa และค่าความต้านทานมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วเชื่อมที่ 400-450 mm/min ดังแสดงในรูปที่ 4.21

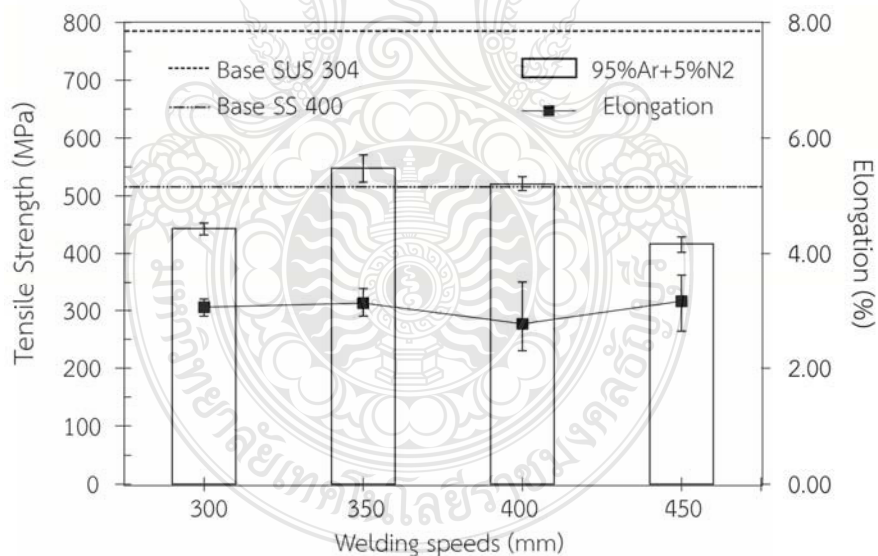


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงกับความเร็วเดินเชื่อมที่แก๊สปกคลุม 95%Ar+5%He



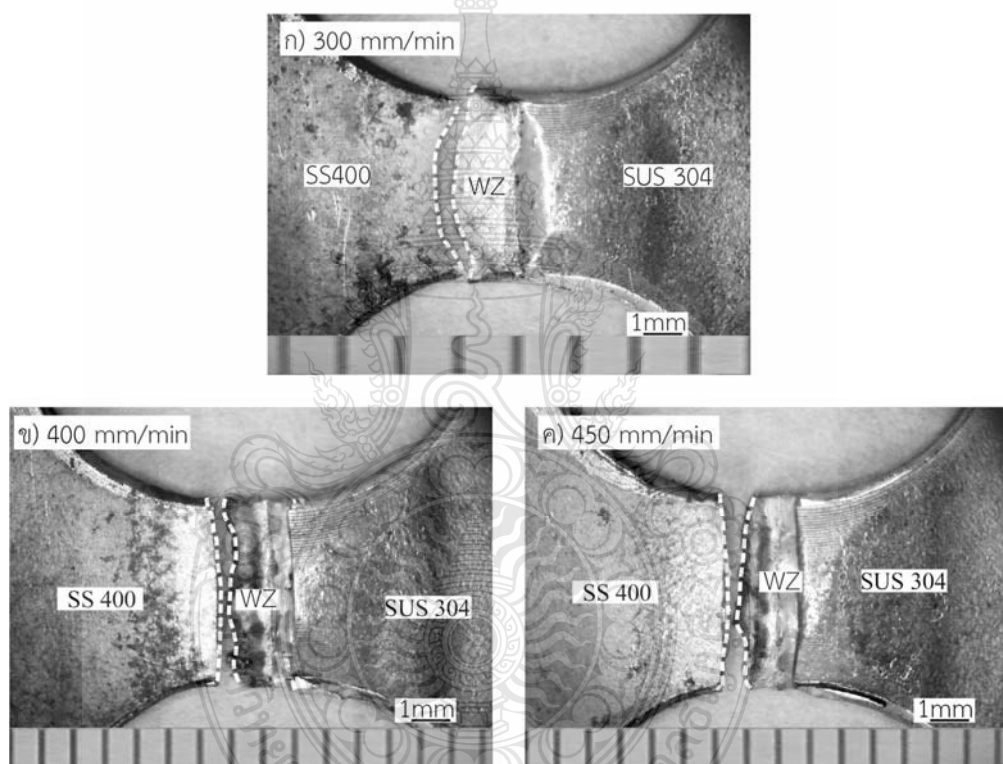
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงกับความเร็วเดินเชื่อมที่แก๊สปกคลุม 95%Ar+5%O₂

รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงกับความเร็วเดินเชื่อม 300-450 mm/min กระแสเชื่อม 100 A และแก๊สปกคลุม 95%Ar+5%N₂ พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงที่เชื่อมด้วยความเร็วเดิน 300 mm/min เริ่มต้น มีค่าความต้านทานแรงดึงประมาณ 443 MPa และเมื่อเพิ่มความเร็วเดินเชื่อม 350 mm/min ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงประมาณ 548 MPa ซึ่งสูงกว่าค่าความต้านทานแรงดึงของโลหะขึ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แต่จะมีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำกว่าชิ้นงานโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นที่ 400-450 mm/min พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มของค่าความต้านทานแรงดึงลดลง การลดลงของค่าความต้านทานแรงดึงที่ความเร็วเดินเชื่อมสูงอาจจะมีผลต่อการเกิดการหลอมลึกไม่สมบูรณ์ที่ฐานแสดงดังในรูปที่ 4.19 (ข) และ(ค) ขณะที่ค่าการยืดตัวของรอยเชื่อมที่ความเร็วเดินเชื่อมที่ 300-450 mm/min พบว่า มีค่าการยืดตัวใกล้เคียงกันแต่พบที่ความเร็วเชื่อม 400 mm/min มีค่าการยืดตัวต่ำซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการพังทลายนิคขาดของความเร็วเดินเชื่อมที่ 400 mm/min ที่มีลักษณะของแนวการนิคขาดเป็นเส้นตรงแสดงในรูปที่ 4.23 (ข)



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงกับความเร็วเดินเชื่อมที่แก๊สปกคลุม 95%Ar+5%N₂

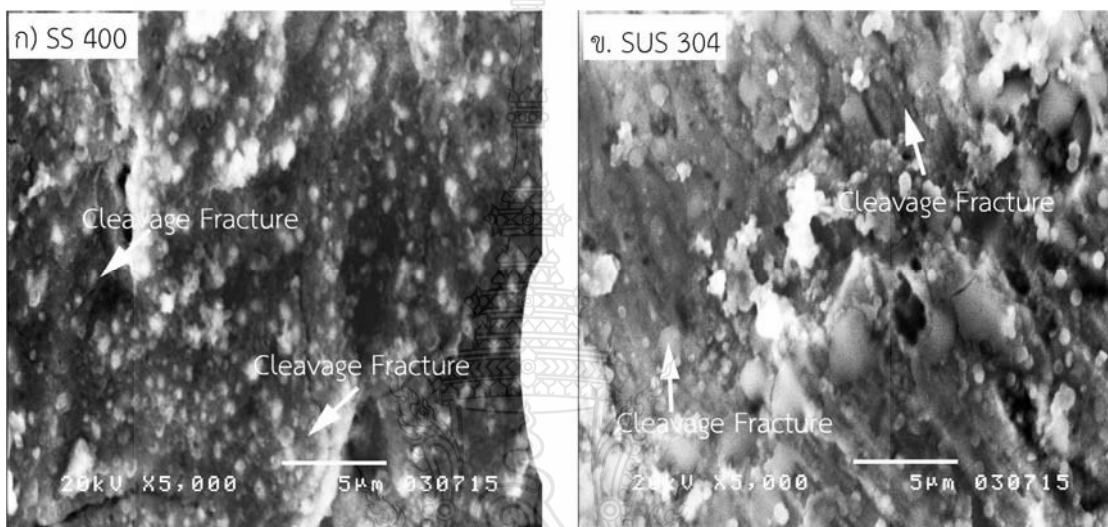
รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะการพังทลายนิกษาคของแก๊สปกคลุมแก๊สปกคลุม 95%Ar+5%N₂ ที่กระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300, 400 และ 450 mm/min ขณะที่ลักษณะการพังทลายนิกษาคที่ความเร็วเดิน 350 mm/min แสดงดังในรูปที่ 4.8 (ข) ผลการตรวจสอบลักษณะการพังทลายนิกษาคด้วยสายตา พบว่า ชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูง พบว่าลักษณะการพังทลายนิกษาคเกิดขึ้นทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แสดงดังในรูปที่ 4.8 (ข) ขณะที่ชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำลักษณะการนิกษาคมีลักษณะของแนวพังทลายเป็นแนวเส้นบริเวณตรงกลางแนวเชื่อมแสดงดังในรูปที่ 4.21 (ข) และ(ค)



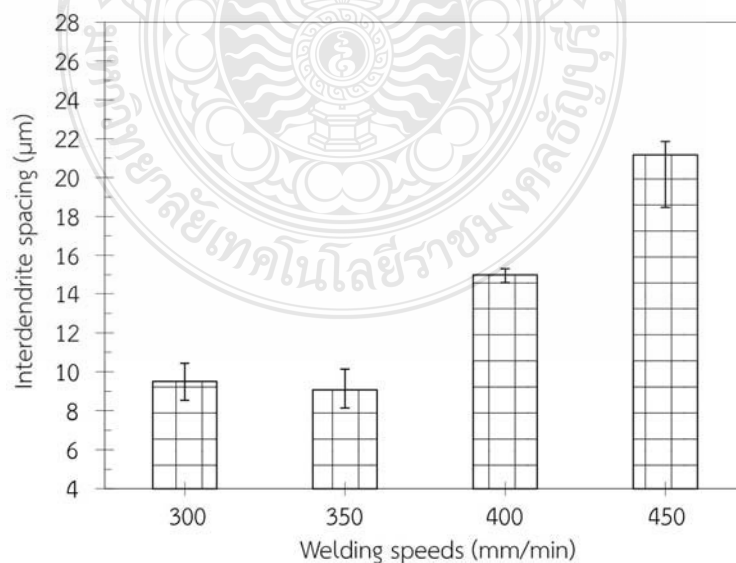
รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายนิกษาคของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300, 400 และ 450 mm/min โดยใช้แก๊สปกคลุมแก๊สปกคลุม 95%Ar+5%N₂

รูปที่ 4.24 ลักษณะการพังทลายนิกษาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดที่มีกำลังขยาย 5,000 เท่า ของชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงสูงที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 350 mm/min แสดงดังในรูปที่ 4.11 และลักษณะการพังทลายนิกษาคของชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่ความเร็วเดินเชื่อม 450 mm/min แสดงดังในรูปที่ 4.24 ที่กระแสเชื่อม 100 A แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ พบว่าชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงลักษณะพื้นผิวของการนิกษาคมีลักษณะเป็นช่องว่าง (Micro voids) ขนาดเล็กเกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการดึงนิกษาคระหว่าง

เหล็กกล้าคาร์บอนSS400 และเหล็กกล้าไร้สนิมSUS304 แสดงดังในรูปที่ 4.8 ขณะที่ขึ้นงานเชื่อมที่มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 450 mm/min พบว่าลักษณะพื้นผิวการพังทลายที่ฉีกขาดออกจากกันของรอยเชื่อมต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะพื้นรอยแยกราบเรียบ (Cleavage fracture) เกิดขึ้นทั้ง 2 ด้าน แสดงดังในรูปที่ 4.24 (ก) ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 และรูปที่ 4.24 (ข) ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมSUS304

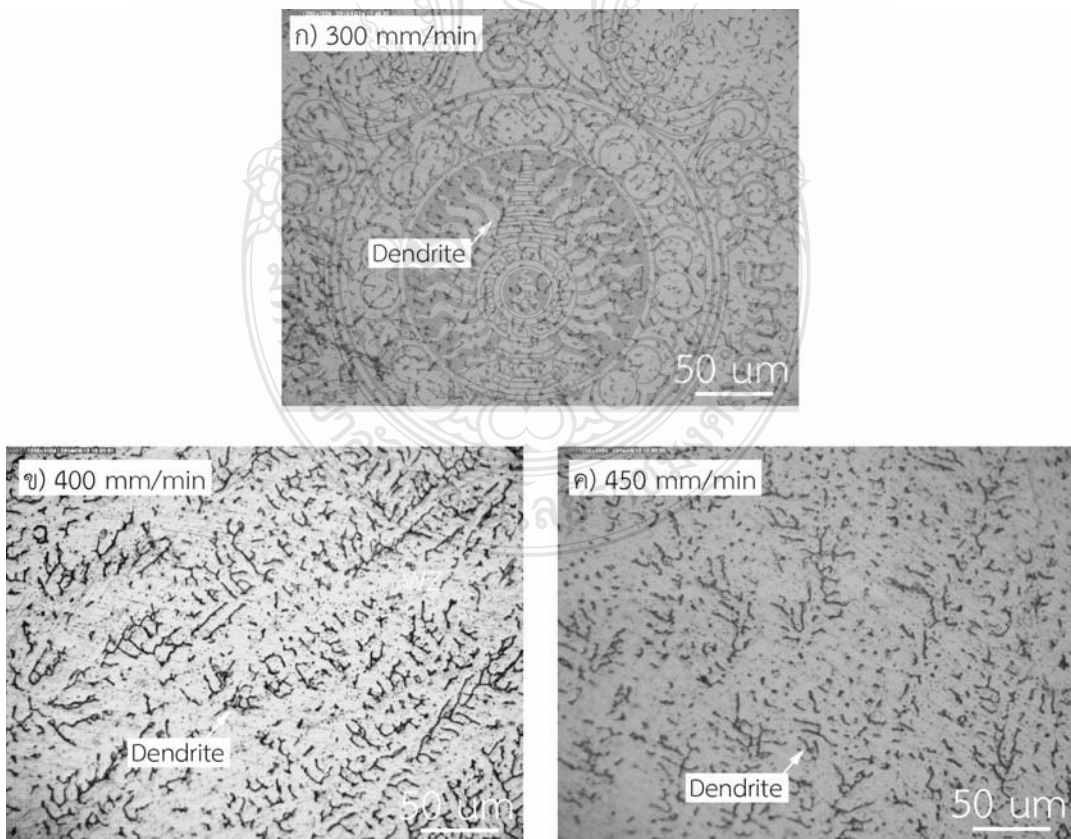


รูปที่ 4.24 ลักษณะการพังทลายฉีกขาดของค่าความแข็งแรงดึงต่ำที่กระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 450 mm/min แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบขนาดของเดนไดรต์กับความเร็วเดินเชื่อม 300-450 mm/min แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂

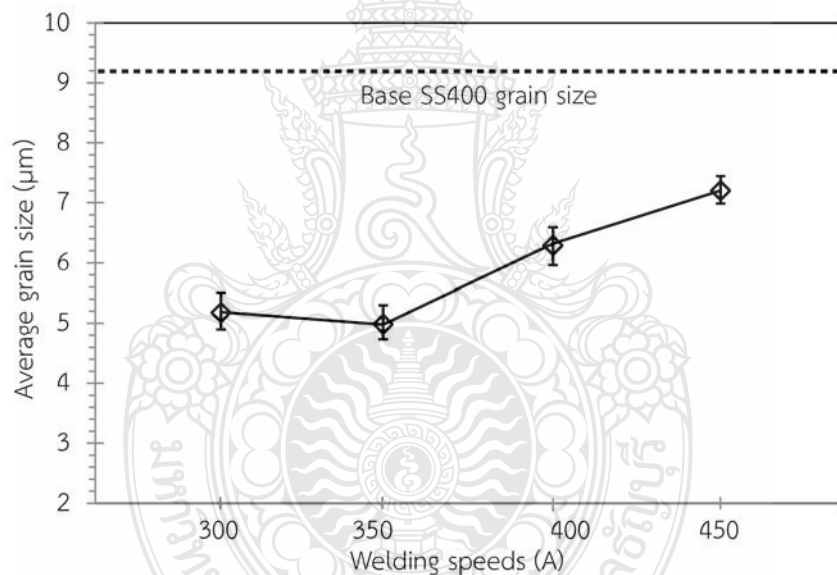
รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของเดนไดรต์ความเร็วเดินเชื่อม 300-450 mm/min พบว่า ช่องว่างขนาดเดนไดรต์ของการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิมSUS304 ที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินเชื่อมต่ำที่ 300-350 mm/min ขนาดช่องว่างของเดนไดรต์มีขนาดสั้นหรือเล็ก มีค่าของขนาดเดนไดรต์อยู่ระหว่างประมาณ 9.0-9.5 μm ขณะที่ทำการเชื่อมด้วยความเร็วเดินสูงขึ้นไป 400-450 mm/min ทำการวัดขนาดของเดนไดรต์พบว่าขนาดของเดนไดรต์มีขนาดโตหรือยาวขึ้นมีค่าของขนาดของเดนไดรต์ ประมาณ 15.00-21.17 μm ซึ่งผลการตรวจสอบการวัดขนาดของเดนไดรต์มีค่าของขนาดเดนไดรต์สอดคล้องกับงานวิจัย Kumar and Shahi [24] และขนาดของเดนไดรต์ที่มีขนาดสั้นหรือโตอาจจะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงสูงหรือต่ำแสดงดังในรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบขนาดเดนไดรต์บริเวณ โลหะเชื่อมของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 300 400 และ 450 mm/min แก๊สปกคลุม 95% Ar+5%N₂ พบว่าที่ความเร็วเดินเชื่อมต่ำขนาดของเดนไดรต์มีขนาดสั้นหรือเล็กแสดงดังในรูปที่ 4.26 (ก) ซึ่งสอดคล้องกับกราฟการวัดขนาดขณะที่ความเร็วเดินเชื่อมสูงขนาดของเดนไดรต์มีขนาดกว้างสูงขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.26 (ข) และ(ค)



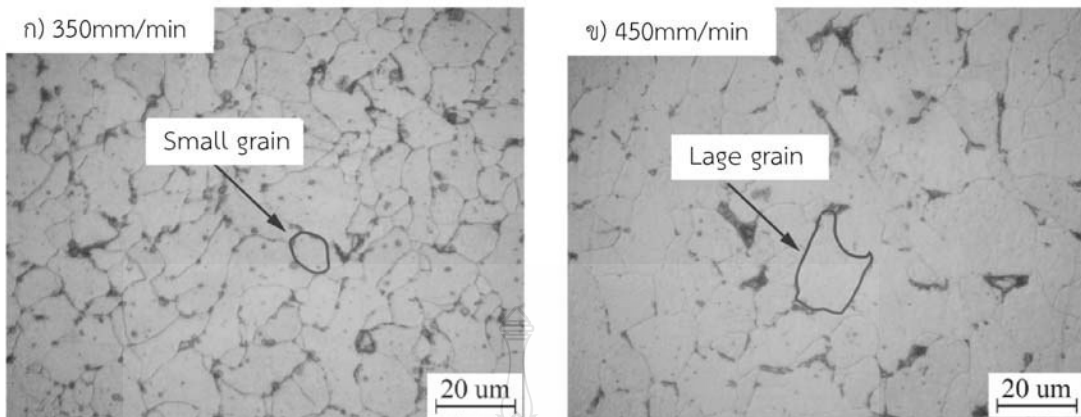
รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบขนาดเดนไดรต์บริเวณ โลหะเชื่อมของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 300 400 และ 450 mm/min แก๊สปกคลุม 95% Ar+5%N₂

4.3 การเปรียบเทียบขนาดของเม็ดเกรนที่มีผลต่อความเร็วเดินเชื่อมของแก๊สปกคลุม แนวเชื่อม 95% Ar+5% N₂

รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมและขนาดเกรนเฉลี่ยของรอยต่อชนที่เชื่อมด้วยกระแส 100 A โดยทำการตรวจสอบขนาดเกรนที่ระยะทดสอบระยะห่างจากเส้นหลอมละลาย (Fusion line) 1 mm พบว่าที่ความเร็วเดินต่ำ 300-350 mm/min เกรนโลหะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อความเร็วเดินเชื่อมต่ำมีค่าประมาณ 4.85 และ 5.2 μm ตามลำดับ จากนั้นขนาดเกรนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าแนวโน้มการลดลงของเกรนที่ได้จากการตรวจสอบสอดคล้องกับผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานที่เกิดการพังทลายลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.23



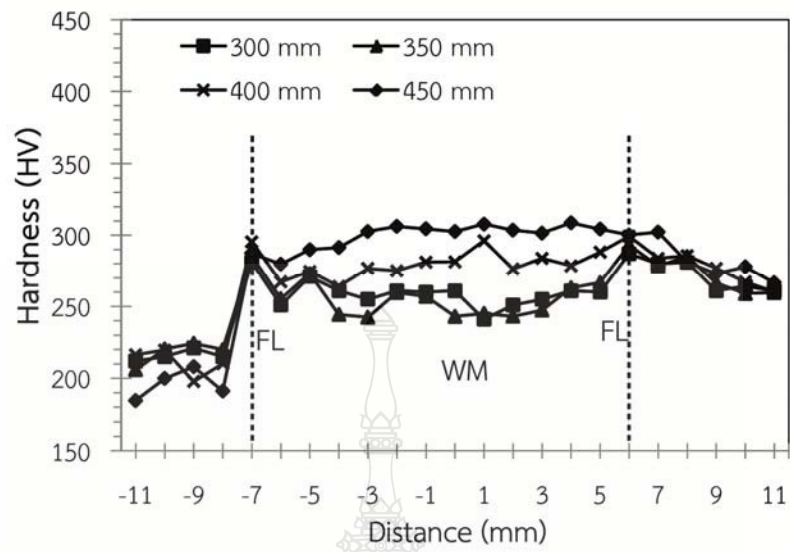
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ขนาดของเม็ดเกรนความเร็วเดินเชื่อม 300-450 mm/min ที่มีผลต่อลักษณะการพังทลายลักษณะของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 95% Ar+5% N₂



รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบขนาดของเม็ดเกรนความเร็วเดินเชื่อม 350 กับ 450 mm/min ที่มีผลต่อลักษณะการพังทลายหักขาดของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 95% Ar+5% N₂

รูปที่ 4.28 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่บริเวณกระทบร้อนซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดการพังทลายของชั้นทดสอบความต้านทานแรงดึงทำการวัดขนาดเกรนของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 350 mm/min แสดงเกรนที่มีขนาดเล็ก เรียกว่าไม่กลมมน และกระจายตัวสม่ำเสมอในพื้นที่หลักตั้งแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 4.28 (ก) มีขนาดเกรนเฉลี่ยประมาณ 5.1 μm ดังแสดงในรูปที่ 4.27 ขณะที่โครงสร้างจุลภาคในรูปที่ 4.28 (ข) ที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 450 mm/min ซึ่งเป็นความเร็วเดินสูงสุดในการศึกษาครั้งนี้แสดงเม็ดเกรนที่มีขนาดใหญ่กว่าประมาณ 7.51 μm เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างจุลภาคในรูปที่ 4.28 (ก) ซึ่งความเร็วเดินแนวเชื่อม 350 mm/min การตรวจสอบรูปร่างเกรนที่ได้ยืนยันผลการทดลองถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนบริเวณกระทบร้อนส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของรอยต่อ [32]

รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งของกระแสเชื่อม 100 A ความเร็วเดินเชื่อม 350-450 mm แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ พบว่าค่าความแข็งบริเวณ โลหะเชื่อม (WM) มีค่าความแข็งสูงเมื่อความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นสังเกตได้จากความเร็วเดินเชื่อมที่ 400-450 mm/min มีค่าประมาณ 270-300 HV แต่เมื่อเปรียบเทียบความเร็วเดินเชื่อมที่ 300-350 mm/min มีค่าความแข็งต่ำกว่าและอาจจะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงซึ่งแสดงดังในรูปที่ 4.20 ขณะที่บริเวณเส้นหลอมละลายที่ตำแหน่งเส้นประแสดงสัญลักษณ์ FI ทั้ง 2 ด้าน มีค่าความแข็งสูงกว่าบริเวณโลหะเชื่อมสาเหตุอาจเกิดจากการที่มีโครงสร้างจุลภาคละเอียดแสดงโครงสร้างละเอียด



รูปที่ 4.29 การเปรียบเทียบความแข็งที่ความเร็วเดินเชื่อม 350กับ450 mm/min ที่กระแสเชื่อม 100 A แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม95% Ar+5% N₂



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การดำเนินวิจัยการศึกษาอิทธิพลของแก๊สปกคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 และเหล็กกล้าไร้สนิมSUS304 ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (GMAW) ในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง โดยประยุกต์ให้เป็นการเชื่อมแบบอัตโนมัติ เชื่อมรอยต่อชนทำราบ ทำการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของแก๊ส นำชิ้นงานเชื่อมไปทดสอบสมบัติทางกลและตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยศึกษาสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบแรงดึงเหนือน และความแข็งไมโครวิกเกอร์ และศึกษาโครงสร้างจุลภาคและโครงสร้างมหภาค ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

5.1 สรุปผลการทดลอง

- 1) แก๊สปกคลุมที่ให้ค่าความต้านแรงดึงสูงของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 และเหล็กกล้าไร้สนิมSUS304 ของแก๊สทั้ง 3 ชนิดคือ แก๊สปกคลุม 95% Ar+5% N₂ มีค่าความต้านทานแรงดึงประมาณ 548 MPa
- 2) กระแสเชื่อมที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูง คือ กระแสเชื่อม 100A และการเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงลดลง
- 3) ขนาดเดนไดรต์เพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น
- 4) ความเร็วเดินเชื่อมที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูง คือ ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm/min เมื่อความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำ และค่าความแข็งของแนวเชื่อมสูงขึ้นตามกระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้น
- 5) ชิ้นงานเชื่อมที่ค่าความต้านทานแรงดึงสูงลักษณะพื้นผิวการพังทลายฉีกขาดมีช่องว่าง (Micro voids) ขนาดเล็กเกิดขึ้นทั้ง 2 ด้าน ขณะที่ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำลักษณะพื้นผิวการพังทลายฉีกขาดเป็นแบบราบเรียบ (Cleavage fracture)

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการดำเนินวิจัยการศึกษาอิทธิพลของแก๊สปกคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 และเหล็กกล้าไร้สนิมSUS304 ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (GMAW) พบปัญหาในระหว่างการทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและศึกษาค้นคว้าต่อไป จึงได้รวบรวมปัญหาและข้อเสนอแนะต่างๆเพื่อแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติม

5.2.1 ควรทดลองเชื่อมรอยต่อในรูปแบบอื่นๆ เช่น รอยต่อเกย รอยต่อแบบตัวที รอยต่อมุม และรอยต่อขอบ

5.2.2 ลองปรับเปลี่ยนวัสดุในการทดลองเช่น เหล็กกล้าไร้สนิมเกรดต่างๆ กับเหล็กกล้าคาร์บอนชนิดต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในพัฒนารอยต่อชนวัสดุต่างชนิด



รายการอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, "รายงานการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศ," <http://www.ocsb.go.th>, 12 สิงหาคม 2555.
- [2] T. A. Barnes and I. R. Pashby, "Joining techniques for aluminium spaceframes used in automobiles: Part I — solid and liquid phase welding," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 99, pp. 62-71, 3/1/ 2000.
- [3] ยงยุทธ ดุลยกุล, "การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระแสเชื่อมและส่วนผสมของแก๊สคลูมที่แตกต่างกันโดยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก," วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551.
- [4] อรศิริ จันทรเมือง, "การศึกษาผลกระทบของก๊าซที่ใช้สำหรับกระบวนการเชื่อม MIG กรณีศึกษา : การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI เบอร์ 304," กรุงเทพฯ, 2551.
- [5] นัทรทอง ไสแสง, "อิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด304," กรุงเทพฯ, 2548.
- [6] D.R. Askeland and P.P. Phule, *Science and Engineering of Materials*. Singapore: Cengage Learning, 2006.
- [7] กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ ประจักษ์ อ่างบุญตา และบุญส่ง จงกลณี, "รายงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2552 เรื่อง โครงสร้างจุลภาคและสมบัติของรอยเชื่อมวัสดุด้วยเทคโนโลยีการเชื่อมแบบใหม่," กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ2552.
- [8] ยงยุทธ ดุลยกุล นภิสพร มีมลล และประภาส เหมือนจันทร์บุรี, "การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระแสเชื่อมและส่วนผสมของแก๊สคลูมที่แตกต่างกันโดยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก," คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา, 2551.
- [9] W. R. Osório, J. E. Spinelli, N. Cheung, and A. Garcia, "Secondary dendrite arm spacing and solute redistribution effects on the corrosion resistance of Al-10wt% Sn and Al-20wt% Zn alloys," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 420, pp. 179-186, 3/25/ 2006.
- [10] A. Iron and S. I. C. o. S. S. Producers, *Welding of Stainless Steels and Other Joining Methods*: Committee of Stainless Steel Producers, American Iron and Steel Institute, 1979.

- [11] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ "ศิริชัย ต่อสกุล , อนินท์ มีมนต์ และนรพร กลั่นประชา, วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: เซนเกจเลนนิ่ง, หน้า 328-337,," ed, 2550.
- [12] ชูชาติ ด้วงสงค์, การทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ, 3 ed. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น) กทม, 2555.
- [13] วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. Scanning Eletron Microscopy (SEM) [Online].
- [14] R. Kaçar and O. Baylan, "An investigation of microstructure/property relationships in dissimilar welds between martensitic and austenitic stainless steels," *Materials & Design*, vol. 25, pp. 317-329, 6// 2004.
- [15] P. B. Srinivasan, V. Muthupandi, W. Dietzel, and V. Sivan, "An assessment of impact strength and corrosion behaviour of shielded metal arc welded dissimilar weldments between UNS 31803 and IS 2062 steels," *Materials & Design*, vol. 27, pp. 182-191, // 2006.
- [16] H. Naffakh, M. Shamanian, and F. Ashrafizadeh, "Dissimilar welding of AISI 310 austenitic stainless steel to nickel-based alloy Inconel 657," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 3628-3639, 4/1/ 2009.
- [17] H. T. Lee, S. L. Jeng, C. H. Yen, and T. Y. Kuo, "Dissimilar welding of nickel-based Alloy 690 to SUS 304L with Ti addition," *Journal of Nuclear Materials*, vol. 335, pp. 59-69, 10/1/ 2004.
- [18] H.-Y. Lee, S.-H. Lee, J.-B. Kim, and J.-H. Lee, "Creep-fatigue damage for a structure with dissimilar metal welds of modified 9Cr-1Mo steel and 316L stainless steel," *International Journal of Fatigue*, vol. 29, pp. 1868-1879, 9// 2007.
- [19] C. R. Das, A. K. Bhaduri, G. Srinivasan, V. Shankar, and S. Mathew, "Selection of filler wire for and effect of auto tempering on the mechanical properties of dissimilar metal joint between 403 and 304L(N) stainless steels," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 1428-1435, 2/1/ 2009.
- [20] A. K. Lakshminarayanan, K. Shanmugam, and V. Balasubramanian, "Effect of Autogenous Arc Welding Processes on Tensile and Impact Properties of Ferritic Stainless Steel Joints," *Journal of Iron and Steel Research, International*, vol. 16, pp. 62-16, 1// 2009.

- [21] A. International, "ASTM E92-82 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials " in *Section 3 - Metals Test Methods and Analytical Procedures*, ed. West Conshohocken: ASTM International 2003.
- [22] M. Jovanovic and G. Rihar, "Analysis of Ultrasonic Indications in Lack of Fusion Occurring in Welds," *ECNDT Poster 213*, vol. Poster 213, pp. 1-8, 2006.
- [23] X. Jia, J. Xu, Z. Liu, S. Huang, Y. Fan, and Z. Sun, "A new method to estimate heat source parameters in gas metal arc welding simulation process," *Fusion Engineering and Design*, vol. 89, pp. 40-48, 1// 2014.
- [24] S. Kumar and A. S. Shahi, "Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded AISI 304 stainless steel joints," *Materials & Design*, vol. 32, pp. 3617-3623, 6// 2011.
- [25] R. Unnikrishnan, K. S. N. S. Idury, T. P. Ismail, A. Bhadauria, S. K. Shekhawat, R. K. Khatirkar, *et al.*, "Effect of heat input on the microstructure, residual stresses and corrosion resistance of 304 L austenitic stainless steel weldments," *Materials Characterization*, vol. 93, pp. 10-23, 7// 2014.
- [26] M. Jafarzadegan, A. Abdollah-zadeh, A. H. Feng, T. Saeid, J. Shen, and H. Assadi, "Microstructure and Mechanical Properties of a Dissimilar Friction Stir Weld between Austenitic Stainless Steel and Low Carbon Steel," *Journal of Materials Science & Technology*, vol. 29, pp. 367-372, 4// 2013.
- [27] M. Mirzaei, R. Arabi Jeshvaghani, A. Yazdipour, and K. Zangeneh-Madar, "Study of welding velocity and pulse frequency on microstructure and mechanical properties of pulsed gas metal arc welded high strength low alloy steel," *Materials & Design*, vol. 51, pp. 709-713, 10// 2013.
- [28] A. R. Galvis E and W. Hormaza, "Characterization of failure modes for different welding processes of AISI/SAE 304 stainless steels," *Engineering Failure Analysis*, vol. 18, pp. 1791-1799, 10// 2011.
- [29] X. L. Wan, H. H. Wang, L. Cheng, and K. M. Wu, "The formation mechanisms of interlocked microstructures in low-carbon high-strength steel weld metals," *Materials Characterization*, vol. 67, pp. 41-51, 5// 2012.

- [30] W. Chuaiphan and L. Srijaroenpramong, "Effect of welding speed on microstructures, mechanical properties and corrosion behavior of GTA-welded AISI 201 stainless steel sheets," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 214, pp. 402-408, 2// 2014.
- [31] J. Feng, L. Li, Y. Chen, Z. Lei, H. Qin, and Y. Li, "Effects of welding velocity on the impact behavior of droplets in gas metal arc welding," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, pp. 2163-2172, 11// 2012.
- [32] Y. Shi, D. Chen, Y. Lei, and X. Li, "HAZ microstructure simulation in welding of a ultra fine grain steel," *Computational Materials Science*, vol. 31, pp. 379-388, 11// 2004.



ภาคผนวก





ภาคผนวก ก
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

การประชุมวิชาการ ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 11

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

THE 11th
INTERNATIONAL CONFERENCE
KASSETSART UNIVERSITY
KAMPHAENSAENCAMPUS



"ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์กำแพงแสน"

8-9 ธันวาคม 2557

ณ อาคารศูนย์เรียนรวม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

ผลงานทางวิชาการ 8 สาขา

1. พืชและเทคโนโลยีชีวภาพ
2. วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
3. วิศวกรรมศาสตร์
4. ศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
5. มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
6. วิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา
7. สัตว์และสัตวแพทย์
8. ส่งเสริมการเกษตร

รับสมัครและส่งผลงานภายใน

วันที่ 1 พฤษภาคม - 15 ตุลาคม 2557

กองบริการการศึกษา (กำแพงแสน)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

โทร. 034-281094-5 โทรสาร. 034-281096

<http://esd.psd.kps.ku.ac.th/conf2014/>
email : kpsrnp@ku.ac.th

นายวงศ์อนันต์ ณรงค์วัฒนาการ
นางลัดดา ตรงวงศา
นางমনยา เอกทัตร์
นางสุจิรา ปาจริยานนท์
นางจินตนา อินทรมงคล
นายอำพล จุปะมัตถา
นางนลินี อิ่มบุญตา

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รองศาสตราจารย์วิชัย กิจวัชรเวทย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์ภักดิ์ ภัทรประภานันท์
อาจารย์กมล อมรฟ้า
อาจารย์สิริัญญา ทองชาติ
อาจารย์นิภาวรรณ กุลสุวรรณ
อาจารย์ปรีดา ปราบภูมิก
อาจารย์จีระชัย สุภาสุทธากุล
อาจารย์คมกฤษณ์ ชัยโย

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรพจน์ เวศพันธุ์

ภาควิศวกรรมเกษตร

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รองศาสตราจารย์ ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.อนพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล
รองศาสตราจารย์วิชา หมั่นทำการ
อาจารย์ ดร.วันรัฐ อับดุลลาฮาซิม
อาจารย์ ดร.วัชรพล ชัยประเสริฐ
อาจารย์ ดร.อาทิตย์ พวงสมบัติ
อาจารย์นงลักษณ์ สมันตรัฐ
อาจารย์ศุภชัย กุลมดีวัฒน์
อาจารย์สิรินาฏ น้อยพิทักษ์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

รองศาสตราจารย์ ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์
รองศาสตราจารย์สาทิป รัตนภาสกร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรศิษฐ์ ทรุทัศน์วินท์
อาจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำรรค
อาจารย์ ดร.กระวี ตรีอำรรค
อาจารย์ ดร.เกรียงไกร แซ่มสีม่วง
อาจารย์ ดร.ศุภกิตต์ สายสุนทร
อาจารย์ ดร.นักรบ นาคประสม
อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช
อาจารย์ ดร.นฤมล บุญกระจ่าง

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รองศาสตราจารย์ ดร.บัญชา ขวัญยืน
รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒินิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ไชยเสถียรกุลชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศธร โสภานันท์
อาจารย์ ดร.สมชาย ตอนเจดีย์
อาจารย์ ดร.จิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี
อาจารย์ ดร.วิษุวัตก์ แท้สมบัติ
อาจารย์ ดร.ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์
อาจารย์ ดร.สถาพร เตมีพัฒน์พงษ์
อาจารย์ยุทธนา ตาละลึกขมณี

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารียา ฤทธิมา
อาจารย์ ดร.วิษณุ ศรีวงษา
อาจารย์ ดร.พรรณพิมพ์ พุทธรักษา มะเปี่ยม
อาจารย์ ดร.วัชร เลือติ
ดร.สานิตย์ดา เดียวตอย

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสิณี โสธรวิทย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ ชำชอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์
อาจารย์ ดร.กอบศักดิ์ กาญจนางค์กุล

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

อาจารย์ ดร.หยาดฝน ทนงการกิจ
อาจารย์ ดร.นฤมล จินดาพรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

อาจารย์ ดร.ณัฐดนัย ตันขวีวิรุฬห์
อาจารย์ ดร.หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศนพ กำเนิดทอง
ดร.ประสาน สถิติเรืองศักดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

อาจารย์ ดร.นันทวัฒน์ ชมหวาน
อาจารย์ ดร.ปนัดดา กลกิจวิวัฒน์
อาจารย์ ดร.สมชาย ประสงค์พันธ์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนาตล คงสมบูรณ์
อาจารย์ ดร.กิตติ ทรัพย์ประสม
อาจารย์ ดร.ทวีช พูลเงิน
อาจารย์ ดร.นที สุรียนานท์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพงษ์ สลธิเมธิกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรฤทธิ์ พุทธิพิพัฒน์ขจร
อาจารย์ ดร.กายรัฐ เจริญราษฎร์
อาจารย์ ดร.ปาริฉัตร เสริมวุฒิสาร
อาจารย์ ดร.ศิวตล เสถียรพัฒนากุล

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ชัยศรีเจริญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณณมถ เต็มดี
อาจารย์ ดร.กลางใจ สิทธิถาวร
อาจารย์ ดร.รวีศวี บานชื่น
อาจารย์ ดร.โสภณ ผู้มีจรรยา

อิทธิพลของความเร็วเดินแนวเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติรอยต่อชนเชื่อมเหล็กกล้าไร้
สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

Effect of Gas Metal Arc Welding Current on SUS304 stainless steel and SS400 Carbon Steel
Butt Joint Properties

ยอดเปรม ภูกำเนิด¹ เจษฎา แก้ววิชิต¹ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์¹
Yodprem Pookamnerd¹ Jesada Kaewwichit¹ Kittipong Kimapong¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการประยุกต์การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมในการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้
สนิม SUS 304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 และศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วเดินแนวที่มีผลต่อสมบัติของ
รอยต่อ ตัวแปรการเชื่อมในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300-450 mm/min กระแสเชื่อม
110 A และแก๊สปกคลุม คือ แก๊สผสมระหว่าง 95%Ar+5%He ผลการทดลองโดยสรุปพบว่า ความเร็วเดินเชื่อม
ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง และแสดงค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 520 MPa ที่ความเร็วเดินเชื่อม 350
mm/min การพังทลายที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีรูปร่างคล้ายคอขวดซึ่งเป็นการพังทลายแบบเหนียว ขณะที่
ค่าความแข็งแรงดึงต่ำรูปร่างการพังทลายคล้ายรูปสามเหลี่ยม ค่าความแข็งแรงสูงสุดของรอยต่อมีค่า 320 HV ที่
ตำแหน่งโลหะเชื่อม และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น

Abstract

This paper aims to apply a gas metal arc welding process for welding the butt joint between SUS304
stainless steel and SS400 carbon steel and study of welding speed variation affecting the joint
properties. Welding parameters in this study was consisted of a welding speed of 300-450 mm/min, a
welding current of 110 A and a mixed shielded gas of 95%Ar5%He. The summarized results are as
follows. The welding current affected to decrease the tensile strength of the joint and showed the
maximum tensile strength of 520 MPa with the welding speed of 350 mm/min. Fracture characteristic
of the maximum tensile strength joint showed a bottle neck-like fracture that implied a ductile behavior
and the minimum tensile strength joint showed a triangle-like fracture. The maximum hardness of the
joint that was about 320 HV was at the weld metal and was increased when the welding current was
increased.

Keywords: stainless steel, carbon steel, metal inert gas welding

E-mail address: yodprem@hotmail.com

¹ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12100

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Pathumthan 1210

คำนำ

รอยต่อโลหะต่างชนิดกันระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับเหล็กกล้าคาร์บอนมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เนื่องจากสมบัติพิเศษที่มีความต้านทานการกัดกร่อน เป็นเหตุผลหลักในการนำเหล็กกล้าไร้สนิมมาใช้แต่ปัญหาที่พบในการใช้งาน คือ เหล็กกล้าไร้สนิมมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดราคาของชิ้นส่วนลง จึงมีการนำเหล็กกล้าคาร์บอนเข้าไปทดแทนตำแหน่งของเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ไม่ต้องการสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนอย่างไรก็ตามการเชื่อมหลอมละลายวัสดุต่างชนิดนั้นเป็นไปได้ค่อนข้างยาก ปัญหาจากการเชื่อมต่อโลหะทั้งสองสามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากความแตกต่างของสมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางโลหะวิทยา

ที่ผ่านมา มีรายงานผลการศึกษาในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมสำคัญที่สามารถนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญในการเชื่อมรอยต่อวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิม ดังนี้ การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการเชื่อมที่ 90-120 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อมที่ 20-60 เซนติเมตรต่อ นาที โดยทำการเชื่อมบนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ พบว่าเมื่อเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมสูงขึ้นการซึมลึกของแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเพิ่มแรงดันไฟฟ้ากับการเพิ่มความเร็วในการเชื่อม แต่พบว่าเมื่อปรับเปลี่ยนตัวแปรในการเชื่อมจะส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม (Aini *et al.*, 2012) หรือการเปรียบเทียบกระบวนการเชื่อมระหว่าง การเชื่อมไฟฟ้า การเชื่อมทิก และการเชื่อมมิกในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 ด้วยลวดเชื่อม E308 L แล้วนำชิ้นงานมาทำการทดสอบความล้าพบว่าพื้นที่การพังทลายทั้งสามกระบวนการเกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ที่กระทบ ร้อน (Andrés *et al.*, 2011) หรือการศึกษาถึงอิทธิพลของแก๊สคลุมและตัวแปรของกรรมวิธีการเชื่อมแบบมิกปลา สชิง (MIG Brazing) โดยใช้แก๊สอาร์กอนผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนผสม 97.5% Ar + 2.5% Co₂ ผลการทดลองทำให้แนวเชื่อมเรียบและการซึมลึกดีขึ้น (Iordachescu and Quintino, 2008)

ข้อมูลผลการทดลองข้างต้นทำให้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดในการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และทำการศึกษาศึกษาอิทธิพล ความเร็วเดินเชื่อมที่ส่งผลต่อสมบัติรอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 กับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะ แก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) โดยศึกษาความแข็งแรงดึง และการตรวจสอบลักษณะการ พังทลายของชิ้นงาน ผลการทดลองที่ได้สามารถถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเชื่อมรอยต่อชนของโลหะต่าง ชนิดในอุตสาหกรรมแปรรูปสินค้าเกษตร เช่น อุตสาหกรรมกรมน้ำตาลได้

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุทดลองเชื่อมใช้เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก SUS 304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 ตัดให้มีขนาดกว้าง 75 mm ยาว 150 mm หนา 3 mm สมบัติทางเคมีดัง Table1 และนำชิ้นงานมาทำการจับยึดบน อุปกรณ์จับยึดเป็นรอยต่อชนโดยมีระยะห่างช่องว่าง (Gap) ของชิ้นงาน 1.2 mm ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะ แก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW) โดยการประยุกต์เอาหัวเชื่อมมิกประกอบติดตั้งกับเครื่องตัดแก๊สทำการเชื่อมแบบอัตโนมัติในตำแหน่งทำราบ ลวดเชื่อมที่ใช้ประเภทเปลือยตัน (Solid wire) สำหรับเชื่อมมิกเหล็กกล้าไร้สนิม AWS A5.9 ER309L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 mm ใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 95%Ar + 5%He กำหนดกระแสเชื่อม 300 A ความเร็วในการเดินเชื่อม 300-450 mm/min และทำการทดสอบสมบัติต่อของ รอยเชื่อมต่อไป

Material	Chemical composition (%)							
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
SUS 304	0.02	1.32	0.045	0.002	0.44	18.67	8.04	0.02
SS 400	0.05	0.2	0.007	0.009	0.01	0.05	0.017	0.02
ER309L	0.034	1.52	0.021	0.08	0.49	23.52	13.86	-

Table1 Chemical composition of Material

การทดสอบความแข็งแรงดึงนำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมรอยต่อจนทำการตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงานมีระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นและทำการกัดชิ้นทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (Lakshminarayanan *et al.*, 2009) ให้มีขนาดของชิ้นดังแสดงใน Figure 1 และทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile testing machine) โดยใช้ความเร็วในการดึง (Displacement speed) 1 mm/mim และ บันทึกวิเคราะห์ผลการทดสอบ

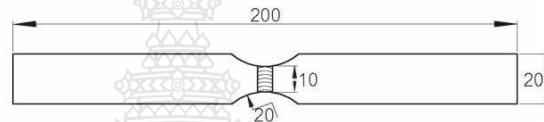


Figure 1 Specifications of the tensile test specimen.



Figure 2 (A) Hardness measurement location and (B) Location of microstructure investigation

การทดสอบความแข็งแรงทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 92 ทำการตัดชิ้นงานทดสอบตั้งฉากกับแนวเชื่อมนำมาขึ้นรูปด้วยเบสและขัดกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 240-1200 และโดยใช้เครื่องทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์วัดกึ่งกลางความหนาของชิ้นงานลากผ่านเป็นเส้นตรงขวางแนวเชื่อมทางด้านวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 ผ่านบริเวณรอยเชื่อมมาทางด้านวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก SUS 304 มีระยะห่างของรอยกัด 0.5 mm โดยใช้แรงในการกด 100 gf และเวลาในการกดแช่ 10 วินาที ดังแสดง Figure2 (A)

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคโครงสร้างจุลภาคและการแตกหักนำชิ้นงานทดสอบทำการขัดกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 240-1200 และผงเพชรขนาด 1 ไมโครเมตร และทำการกัดกรดโครงสร้างมหภาค (Macroetching) ด้วยสารละลายที่ประกอบด้วยไฮโดรคลอริก (HCL) 50 mL และน้ำกลั่น (H₂O) 50 mL สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก SUS-304 และสารละลายที่ประกอบด้วยกรดไนตริก (HNO₃) 5 mL น้ำและกลั่น (H₂O) 95 mL สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ตามมาตรฐาน ASTM E 407 การตรวจสอบลักษณะการพังทลายของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงและการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope : OM) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affect zone : HAZ) ห่างจากเส้นหลอมละลาย (fusion line) 1 mm และวัดขนาดเกรนด้วยโปรแกรม Material Plus 4.2 ตาม

มาตรฐาน ASTM E 1382-97/E112 ที่ตำแหน่งดัง Figure 2 (B) ซึ่งเป็นตำแหน่งการหักงอของชิ้นทดสอบแรงดึง และทำการวิเคราะห์วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

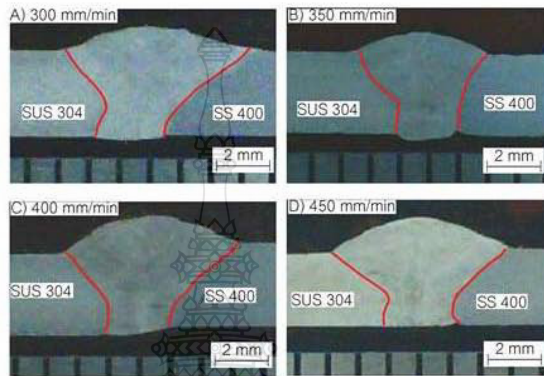


Figure 4 Macrostructure of welded joint produced by various welding speeds.

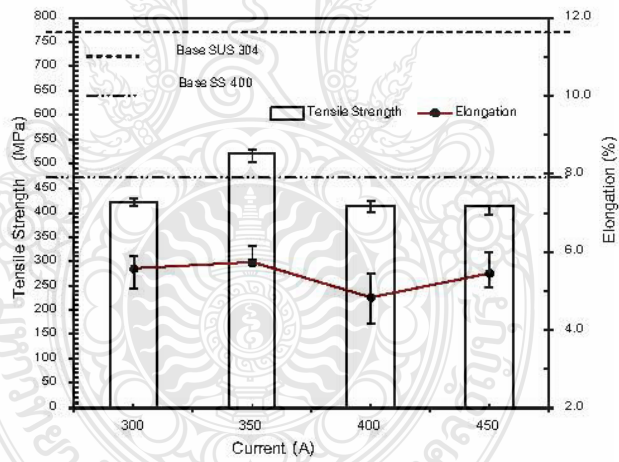


Figure 5 Tensile Strength at 300-450 mm/min

Figure 4 แสดงผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นงาน ที่ความเร็วเดินเชื่อม 300-450 mm/min ที่กระแสเชื่อม 110 A เพื่อตรวจสอบดูจุดบกพร่องในรอยเชื่อม พบว่าไม่พบจุดบกพร่องทุกสภาวะความเร็วเดินเชื่อม ดังแสดงใน Figure 4 (A)-(D) แนวเชื่อมมีแนวโน้มขนาดความกว้างและความนูนของโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้นเมื่อ

ความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น ซึ่งงานที่ได้จากการเชื่อมที่มีโครงสร้างมหภาคดังแสดงใน Figure 4 ถูกนำมาทำการทดสอบความแข็งแรงดึงและแสดงผลการทดสอบดัง Figure 5 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มต่ำกว่าโลหะชิ้นงาน (Base metal) เหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 และเมื่อเพิ่มความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 350 mm/min พบว่ามีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดประมาณ 520 MPa และยิ่งสูงกว่าค่าความแข็งแรงดึงของโลหะชิ้นงาน (Base metal) เหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 แสดงดัง Figure 5 ที่ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm/min เมื่อเพิ่มความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 400-450 mm/min พบว่าค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงต่ำกว่าค่าโลหะชิ้นงาน

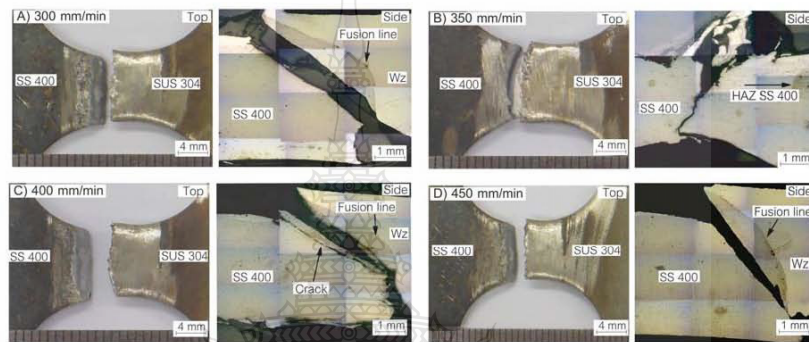


Figure 6 Macrofractographs of the Tensile Strength at 300-450 mm/min

Figure 6 แสดงรูปแบบการหักหลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงที่ให้ผลการทดสอบดัง Figure 5 ที่แสดงด้านบน (Top) และด้านข้าง (Side) ของชิ้นทดสอบ พบว่าที่ความเร็วเดินเชื่อม 300-400 mm/min และ 450 mm/min ลักษณะการหักหลายรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมคางหมู บริเวณพื้นที่กระแทกร้อนและท่ามุมประมาณ 45 องศา ดังแสดง Figure 6 (A) (C) และ (D) ลักษณะการหักหลายจุดเริ่มต้นเกิดขึ้นใกล้บริเวณขอบเขตรอยต่อแนวเชื่อม มีแนวโน้มทิศทางการแตกหักวิ่งผ่านเส้นหลอมละลายแสดงดังลูกศรใน Figure 6 (A) ทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แต่พบว่าที่ความเร็วเดินเชื่อมที่ 400 mm/min พบรอยแตก (Crack) เป็นแนวยาวแสดงดังลูกศรชี้ใน Figure 6 (C) ซึ่งสาเหตุของการหักหลายบริเวณพื้นที่กระแทกร้อนนี้ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความแข็งแรงของรอยเชื่อมต่ำ (Ramazani *et al.*, 2014) ขณะที่ความเร็วเดินเชื่อมที่สูงขึ้น คือ 350 mm/min พบการหักหลายที่บริเวณพื้นที่กระแทกร้อน

Figure 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินแนวเชื่อมและขนาดเกรนเฉลี่ยของรอยต่อเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 110 A โดยทำการตรวจสอบขนาดเกรนที่ระยะทดสอบระยะห่างจากเส้นหลอมละลาย (Fusion line) 1 mm พบว่าที่ความเร็วเดินต่ำ 300-350 mm/min เกรนโลหะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่าประมาณ 6.12 และ 4.85 μm ตามลำดับ จากนั้นขนาดเกรนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าแนวโน้มการลดลงของเกรนที่ได้จากการตรวจสอบสอดคล้องกับผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานที่เกิดการหักหลายที่พื้นที่กระแทกร้อนดังแสดงใน Figure 5 ที่แสดงค่าความแข็งแรงของชิ้นทดสอบที่ความเร็วเดินเชื่อม

ต่างๆ มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเกรนบริเวณพื้นที่กระทบร้อนมีค่าต่ำ และมีความแข็งแรงลดลงเมื่อขนาดเกรนมีค่าสูง

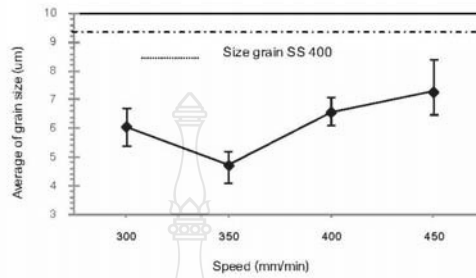


Figure 7 Relation of welding speed and average grain size in the HAZ

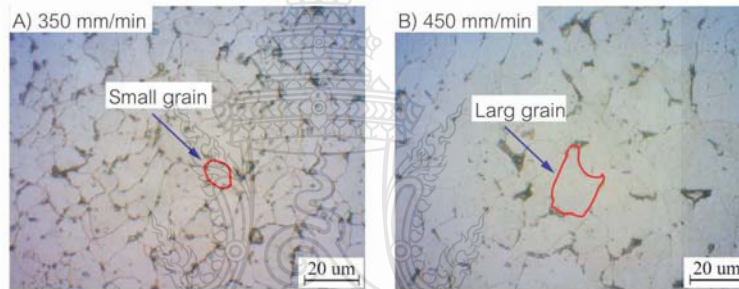


Figure 8 Typical austenite grains in HAZ (a) welding speed 350 mm/min (B) welding speed 450 mm/min

Figure 8 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่บริเวณพื้นที่กระทบร้อนซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดการพังทลายของชั้นทดสอบความแข็งแรงดึง ขนาดเกรนของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 350 mm/min แสดงเกรนที่มีขนาดเล็ก เรียวไม่กลมมน และกระจายตัวสม่ำเสมอในพื้นที่ดังกล่าวแสดงด้วยลูกศรใน Figure 8 (A) มีขนาดเกรนเฉลี่ยเท่ากับ 4.85 µm ดังแสดงใน Figure 7 ขณะที่โครงสร้างจุลภาคใน Figure 7 (B) ที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 450 mm/min ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดในการศึกษาครั้งนี้ แสดงเม็ดเกรนที่มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างจุลภาคใน Figure 7 (A) ซึ่งความเร็วเดินแนวเชื่อม 350 mm/min การตรวจสอบรูปร่างเกรนที่ได้ยืนยันผลการทดลองดัง Figure 5 และ 6 ถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกรนบริเวณพื้นที่กระทบร้อนและความแข็งแรงของรอยต่อที่มีค่าในทิศทางตรงกันข้ามกัน (Shi *et al.*, 2004)

Figure 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงไม่โครวิกเกอร์และตำแหน่งการทดสอบความแข็งแรงตามแนวที่ออกแบบไว้ใน Figure 2 (A) ของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 110 A ความเร็วเดินเชื่อม 300-450 mm/min ค่าความแข็งแรงของโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ที่ถูกกำหนดอยู่ด้านซ้ายของแนวเชื่อมมีค่าเฉลี่ย

ประมาณ 230 HV และค่าความแข็งของโลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่ถูกกำหนดอยู่ด้านขวาของแนวเชื่อมมีค่าเฉลี่ยประมาณ 280 HV ค่าความแข็งของรอยต่อมีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อตำแหน่งการวัดอยู่ที่พื้นที่กระทบร้อนโดยแสดงค่าความแข็งประมาณ 230-300 HV และ 280-320 HV สำหรับพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ตามลำดับ การเพิ่มความแข็งของโลหะบริเวณพื้นที่กระทบร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากโลหะมีขนาดเกรนที่เล็กและละเอียดกว่าโลหะฐาน อย่างไรก็ตามความแข็งสูงสุดสามารถพบได้เมื่อทำการวัดความแข็งที่โลหะเชื่อม โดยตำแหน่งที่แสดงค่าความแข็งสูงสุดประมาณ 320 HV ที่ตำแหน่งขอบของโลหะเชื่อมและพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 นอกจากนี้ข้อมูลการทดสอบความแข็งโลหะเชื่อมจากด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ถึง เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 แล้ว การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ สามารถพบได้ใน Figure 9 ที่แสดงค่าความแข็งของโลหะเชื่อมและพื้นที่กระทบร้อนมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งในบริเวณโลหะเชื่อมและพื้นที่กระทบร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะฐานเมื่อความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามกลไกไม่ได้ทำการศึกษาในการทดลองนี้ นอกจากนั้นสามารถกล่าวได้ว่าความแข็งของแนวเชื่อมมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วเดินเชื่อมเข้าความแข็งแนวเชื่อมลดลง เนื่องจากความเร็วในการเชื่อมทำให้ความร้อนบริเวณแนวเชื่อมสูงทำให้อัตราการเย็นตัวช้า (Gharibshahian, 2011)

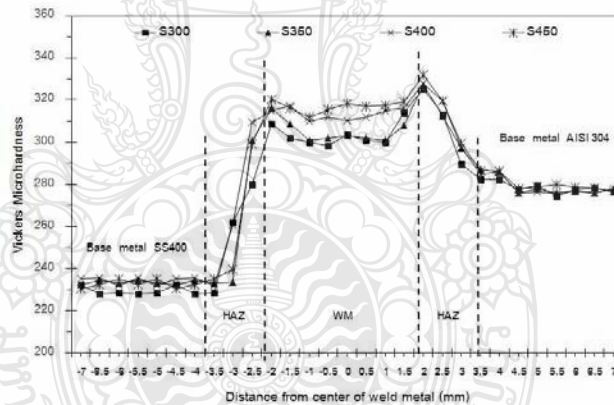


Figure 9 Microhardness profile of weld metal produced by different welding speed at different zones (base metal, HAZ and weld metal)

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงของรอยต่อของเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ที่มีผลต่อความเร็วเดินเชื่อมสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- 1 ความเร็วเดินเชื่อมส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดิ่งลดลง และแสดงค่าความแข็งแรงดิ่งสูงสุดที่ 520 MPa ที่ความเร็วเดินเชื่อม 350 mm/min
- 2 การพังทลายที่มีค่าความแข็งแรงดิ่งสูงสุดมีรูปร่างคล้ายคอคบวคซึ่งเป็นการพังทลายแบบเหนียว ขณะที่ค่าความแข็งแรงดิ่งต่ำรูปร่างการพังทลายคล้ายรูปสามเหลี่ยม
- 3 ค่าความแข็งแรงสูงสุดของรอยต่อมีค่า 320 HV ที่ตำแหน่งโลหะเชื่อม และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ศูนย์กลางนครราชสีมา แผนกวิชาช่างโลหะ และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุน จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประจำปี 2557

เอกสารอ้างอิง

- A K Lakshminarayanan K Shanmugam, V Balasubramanian. (2009) Effect of Autogenous Arc Welding Processes on Tensile and Impact Properties of Ferritic Stainless Steel Joints. *Journal of Iron and Steel Research, International*.16(1): 62-68
- Andres R. Galvis E, W. Hormaza. (2011) Characterization of failure modes for different welding processes of AISI/SAE 304 stainless steels. *Engineering Failure Analysis* 18: 1791-1799
- Anhua Liu, Xinhua Tang, Fenggui Lu. (2013) Study on welding process and prosperities of AA5754 Al-alloy welded by double pulsed gas metal arc welding. *Materials and Design* 50: 149-155
- A. Ramazani, K. Mukherjee, A. Abdurakhmanov, U. Prael, M. Schleser, U. Reisgen, W. Bleck. Micro-macro-characterisation and modeling of mechanical properties of gas metal arc welded
- Danut Iordachescu, Luisa Quintino. (2008) Steps toward a new classification of metal transfer in gas metal arc welding. *Journal of Materials Processing Technology* 202: 391-397
- Ehsan Gharibshahiyan, Abbas Honarbakhsh Raouf, Nader Parvin, Mehdi Rahimian. (2011) The effect of microstructure on hardness and toughness of low carbon welded steel using inert gas welding. *Materials and Design* 32: 2042-2048
- Izzatul Aini Ibrahim, Syarul Asraf Mohamat, Amalina Amir, Abdul Ghalib. (2012) The Effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) Processes on Different Welding Parameters. *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors* 41: 1502-1506
- Yaowu Shi, Dong Chen, Yongping Lei, Xiaoyan Li. (2004) HAZ microstructure simulation in welding of an ultra fine grain steel. *Computational Materials Science* 31: 379-388

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายยอดเปรม ภูกำเนิด
วัน เดือน ปีเกิด	16 ตุลาคม 2523
ที่อยู่	320 หมู่ 12 ตำบลหัวนาคำ อำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ 46120
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ประสบการณ์การทำงาน	อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
พ.ศ. 2553	
พ.ศ. 2554-ปัจจุบัน	

