

การศึกษาตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมต่อสมบัติของรอยต่อท่อต่าง
ชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L/AISI316

INFLUENCE STUDY OF GAS TUNGSTEN ARC WELDING
PARAMETERS ON DISSIMILAR AISI304L/AISI316 STAINLESS
STEEL TUBE JOINTS PROPERTIES

ไพโรจน์ บุญเกิด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสกลุ่มต่อสมบัติของรอยต่อที่ต่าง
ชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L/AISI316

ไพโรจน์ บุญเกิด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมต่อสมบัติของรอยต่อ
ท่อต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L/AISI316

Influence Study of Gas Tungsten Arc Welding Parameters on
Dissimilar AISI304L/AISI316 Stainless Steel Tube Joints Properties

ชื่อ - นามสกุล

นายไพโรจน์ บุญเกิด

สาขาวิชา

วิศวกรรมการผลิต

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.

ปีการศึกษา

2558

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, D.Ing.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทน์มณี, Ph.D.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยยะ ปราณิตพลกรัง, D.Eng.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 12 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมต่อสมบัติของรอยต่อท่อต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L/AISI316
ชื่อ - นามสกุล	นายไพโรจน์ บุญเกิด
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

รอยต่อวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L/AISI316 เป็นชิ้นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารเนื่องจากรอยต่อนี้สามารถทำให้เกิดรอยต่อมีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานการกัดกร่อนพอเพียง และมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ ด้วยเหตุนี้การศึกษาหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อวัสดุต่างชนิดจึงมีการศึกษาและพัฒนาต่อเนื่อง งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อชนระหว่างท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L/AISI316

ในการดำเนินการศึกษานี้จะใช้วัสดุในการทดลอง คือ ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L/AISI316 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 mm. และความหนา 1.2 mm. ถูกเตรียมให้มีขนาดยาว 190 mm. รอยต่อชนถูกทำการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมด้วยตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วย การเชื่อมเดินแนวไม่เติมลวดเชื่อม กระแสเชื่อม 25-65 A.และความเร็วเดินแนวเชื่อม 80-110 mm/min ซึ่งงานที่ผ่านการเชื่อมถูกเตรียมด้วยวิธีทางกลเพื่อทดสอบและตรวจสอบสมบัติต่างๆ ของรอยต่อชนประกอบด้วย การทดสอบความแข็งแรงดึง การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค และมีการทดสอบความแข็ง

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึง การยึดตัวลดต่ำลง และค่าความแข็งของโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบช่องว่างระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรท์ทุติยภูมิ ได้ส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงดึง การยึดตัวและความแข็งของโลหะเชื่อม ตัวแปรเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดความแข็งแรงดึง 606.18 N/mm² การยึดตัว 45.19 % และค่าความแข็งของโลหะเชื่อม 190 HVพบได้ที่ตัวแปรของการเชื่อมที่กระแสเชื่อม 45 A. ความเร็วเดินเชื่อม 90 mm/min

คำสำคัญ: การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม รอยต่อชนท่อต่างชนิด เหล็กกล้าไร้สนิม

Thesis Title	Influence Study of Gas Tungsten Arc Welding Parameters on Dissimilar AISI304L/AISI316 Stainless Steel Tube Joints Properties
Name – Surname	Mr. Pairoj Boonkerd
Program	Manufacturing Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.
Academic Year	2015

ABSTRACT

The AISI304L/316 stainless steel tube joint is an important part in the food production industry because this joint has good properties: high strength, medium erosion resistance, and low production cost. These properties led to the continual study and development of the optimized welding parameters on a dissimilar tube joint. This research aimed to study an effect of gas tungsten arc welding (GTAW) parameters on joint strength of AISI304L/AISI316 stainless steel tubes.

The material used in this experiment were AISI304L/AISI316 stainless steel tubes with a diameter of 38 mm. The 1.2 mm. thickness tubes were mechanically prepared to be 190 mm. long. The experimental work was carried out by using GTAW on tube joints with various welding parameters. These parameters included welding without filler metal, a welding current of 25-65 A., and a welding speed of 80-110 mm/min. The welded joints were mechanically prepared and investigated for tensile shear strength, macro and microstructure, and hardness of the welded joints.

The experimental results showed that increasing the welding current decreased tensile shear strength and joint elongation but increased the welded metal hardness. The secondary dendrite arm spacing of the microstructure increased tensile strength of the joint, joint elongation, and the welded metal hardness. The optimized welding parameters were found to have a tensile strength of 606.18 N/mm², a joint elongation of 45.19 %, and a welded metal hardness of 190 HV, Was a welding current of 45 A and the welding speed of 90 mm/min were also found.

Keywords: gas Tungsten arc welding, dissimilar tube joint, stainless steel

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ชัยยะ ปราณิตพลกรัง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล คณะกรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทรัมย์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่โปรแกรมวิชาช่างโลหะ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ศูนย์กลางนครราชสีมา ที่ให้คำแนะนำ ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์สถานที่ และให้ความช่วยเหลือ ตลอดช่วงเวลา ของการศึกษาและทำการวิจัยนี้

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ-คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะวิชาการจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และ ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ไพโรจน์ บุญเกิด



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูป.....	(10)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	13
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	14
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	14
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless).....	16
2.2 การเกิดปฏิกิริยาโครเมียม.....	19
2.3 ปริมาณธาตุโครเมียม – นิกเกิล.....	19
2.4 ปฏิกิริยาจากโมลิบดีนัม.....	20
2.5 โลหะวิทยาในกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิม.....	20
2.6 การเกิดเกรนโตในเหล็กโครเมียม.....	20
2.7 การเชื่อมทิก(Gas Tungsten – Arc Welding).....	22
2.8 กระแสเชื่อม(Welding Current).....	23
2.9 วัสดุที่ใช้ในการเชื่อมทิก.....	27
2.10 ตำแหน่งของท่าเชื่อมตามมาตรฐาน AWS A3.0M.....	33
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	40
3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	42
3.3 การเตรียมชิ้นงานทดสอบรอยเชื่อม.....	44
3.4 การตรวจสอบโครงสร้างกายภาพทางโลหะวิทยา.....	46
3.5 การทดสอบความแข็ง.....	49
3.6 การทดสอบการต้านทานต่อความแข็งแรงดึง.....	49
3.7 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีและวิเคราะห์ปริมาณธาตุ.....	50
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	52
4.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลต่อสมบัติของโลหะเชื่อมรอยต่อชน ต่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ AISI 304L.....	52
4.1.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลต่อโครงสร้างมหภาค.....	52
4.1.2 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลต่อความกว้างของ รอยเชื่อม.....	54
4.1.3 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลต่อโครงสร้างจุลภาค.....	55
4.1.4 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลต่อระยะห่างระหว่างแขน เคนไดรท์ทุติยภูมิ.....	58
4.1.5 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีบริเวณ โลหะเชื่อม.....	59
4.1.6 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลต่อการทดสอบความแข็ง.....	61
4.1.7 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลต่อการต้านทานความแข็ง แรงดึง.....	63
4.1.8 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลต่อการวิเคราะห์ส่วนผสม ทางเคมี.....	67
4.2 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมของรอยต่อชนต่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ AISI 304L ต่อสมบัติของโลหะเชื่อม.....	68
4.2.1 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลต่อโครงสร้าง มหภาค.....	68

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อความกว้างของ รอยเชื่อม.....	69
4.2.3 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อ โครงสร้างจุลภาค	70
4.2.4 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อระยะห่างระหว่าง แขนคานไคร้ทุติยภูมิ.....	72
4.2.5 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อการทดสอบ ความแข็ง	73
4.2.6 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อการต้านทาน ความแข็งแรงดึง.....	73
4.2.7 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อลักษณะ รอยฉีกขาด.....	75
4.2.8 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อส่วนผสมทางเคมี	77
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	78
5.1 สรุปผลการวิจัย	78
5.2 ข้อเสนอแนะ	78
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก.....	82
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	83
ประวัติผู้เขียน	112

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมในเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มหลัก	21
ตารางที่ 2.2 การแบ่งชนิดของลวดทั้งสแตนเลสและส่วนผสมของลวดทั้งสแตนเลส	32
ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	41



สารบัญรูป

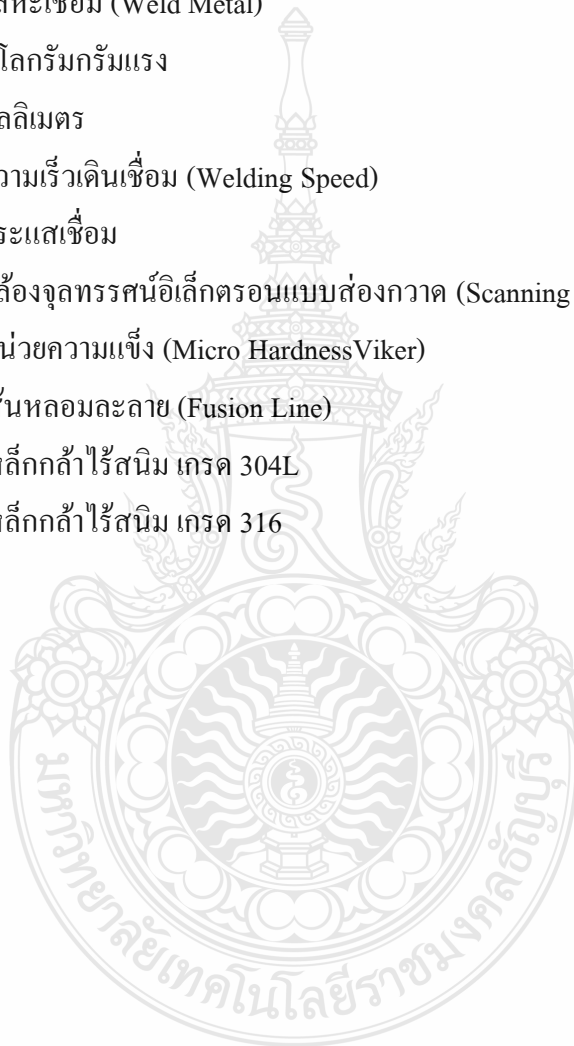
	หน้า
รูปที่ 2.1 การเกิดปฏิกิริยาโครเมียม	19
รูปที่ 2.2 วิธีการเชื่อมทิก	22
รูปที่ 2.3 ลักษณะปลายลวดทั้งสเดน	31
รูปที่ 2.4 ตำแหน่งการเชื่อมของการเชื่อมต่อแบบรอยต่อชน	34
รูปที่ 2.5 ตำแหน่งการเชื่อมของการเชื่อมต่อแบบรอยต่อชนรูปตัวที	36
รูปที่ 3.1 ขนาดชิ้นงานก่อนทำการทดลอง	40
รูปที่ 3.2 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง.....	41
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเชื่อมอาร์กทั้งสเดนของรอยต่อชน	42
รูปที่ 3.4 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ.....	43
รูปที่ 3.5 การเชื่อมยึดชิ้นงานทดสอบ.....	43
รูปที่ 3.6 ลักษณะการจับยึดชิ้นงานและการตั้งค่า.....	44
รูปที่ 3.7 การออกแบบการตัดชิ้นงานทดสอบสมบัติรอยเชื่อม.....	45
รูปที่ 3.8 กระบวนการตัดชิ้นงานทดสอบรอยเชื่อม.....	46
รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการกัดชิ้นรอย.....	47
รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาค	48
รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาค	48
รูปที่ 3.12 อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบความแข็ง.....	49
รูปที่ 3.13 การทดสอบการต้านทานต่อความแข็งแรงดึง	50
รูปที่ 3.14 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีและวิเคราะห์ปริมาณธาตุ	51
รูปที่ 4.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสเดนแก่สปกคลุมต่อการตรวจสอบ โครงสร้าง มหภาค.....	53
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมต่อความกว้างรอยเชื่อม	54
รูปที่ 4.3 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสเดนแก่สปกคลุมต่อการตรวจสอบ โครงสร้าง จุลภาค.....	56
รูปที่ 4.4 โครงสร้างจุลภาคโลหะเชื่อมต่อกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสเดนแก่สปกคลุม.....	57

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมต่อระยะห่างแกนเดนไดรต์ทูดิพโพลีเมอร์ โโลหะเชื่อม	59
รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์การกระจายพลัง	60
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณบริเวณโลหะเชื่อม.....	61
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมต่อการทดสอบความแข็ง	63
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมต่อความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัว	64
รูปที่ 4.10 กระแสเชื่อมต่อลักษณะรอยฉีกขาด.....	65
รูปที่ 4.11 กระแสเชื่อมต่อลักษณะการพังทลาย.....	66
รูปที่ 4.12 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อลักษณะการพังทลาย.....	67
รูปที่ 4.13 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อโครงสร้างมหภาค.....	69
รูปที่ 4.14 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อความกว้างรอยเชื่อม.....	70
รูปที่ 4.15 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อโครงสร้างจุลภาค โโลหะเชื่อม	71
รูปที่ 4.16 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อระยะห่างระหว่าง แกนเดนไดรต์ทูดิพโพลีเมอร์	72
รูปที่ 4.17 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อการทดสอบความแข็ง	73
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงและอัตราการ ยืดตัว	74
รูปที่ 4.19 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อลักษณะรอยฉีกขาด.....	76
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมที่ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมี.....	77

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

GTAW	การเชื่อมอาร์คทังสเตนแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม(Gas Tungsten Arc welding)
BM	โลหะฐาน (Base Metal)
HAZ	พื้นที่กระทบร้อน (Heat Affect Zone)
WM	โลหะเชื่อม (Weld Metal)
Kgf	กิโลกรัมกรัมแรง
mm	มิลลิเมตร
mm/min	ความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed)
A	กระแสเชื่อม
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope)
HV	หน่วยความแข็ง (Micro Hardness Viker)
FL	เส้นหลอมละลาย (Fusion Line)
AISI 304L	เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304L
AISI 316	เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 316



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เหล็กกล้าไร้สนิมถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากคุณสมบัติความต้านทานการกัดกร่อน และประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยมในการทำงานที่มีอุณหภูมิต่ำ [1] ยกตัวอย่าง เช่น ในอุตสาหกรรมอาหารที่พื้นผิวของสแตนเลสมีการสัมผัสกับอาหารโดยตรง (food contact surface) สำหรับรอยเชื่อมที่ทำให้เกิดลักษณะพื้นผิวที่มีบทบาทสำคัญต่อการสะสมของจุลินทรีย์และรอยเชื่อมที่ได้จะต้องสามารถตอบสนองมาตรฐานค่าความหยาบของผิว (surface roughness : Ra) ของอุตสาหกรรมอาหาร [2] เนื่องจากรูปร่างของท่อที่มีลักษณะยาวและความหนาของผนังท่อ ในการปฏิบัติงานระบบท่อมักเกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อม ซึ่งจะทำการเชื่อมบนเส้นรอบวงแบบการต่อชนพบได้บ่อยกับการปฏิบัติงานในระบบท่อ

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการเชื่อมรอยต่อวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม 316LN และ โลหะผสมอินโคเนล 800 โดยการเชื่อมทิก (GTAW) เพื่อศึกษาหาค่าการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะเชื่อม ขอบของพื้นที่ที่กระทบร้อนกับโลหะเชื่อม และพื้นที่ที่กระทบร้อนของแนวเชื่อม ที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงและถูกนำไปทำการใช้งานที่อุณหภูมิสูงหลังจากการเชื่อม ผลการทดลองพบว่า โลหะเชื่อมมีการแข็งตัวเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ และแสดงโครงสร้างที่เป็นเซลล์ลวด บริเวณโลหะเชื่อมด้านโลหะผสมอินโคเนล 800 มีผลลึกลงในโลหะเชื่อมที่เกิดจากฟลักซ์ที่ใช้ในการเชื่อม แต่บางส่วนหลุดออกไปได้เนื่องจากการเชื่อมภายใต้สภาวะแก๊สเฉื่อย [3] และทำการศึกษาเพื่อหาค่าการพังทลายจากการเกิดความกล้า (Fatigue) และการเกิดการคืบตัว (Creep) ของรอยต่อเชื่อมมีกรอต่อชนเหล็กกล้าผสม 9Cr – 1 Mo และมีเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ผลการทดลองที่ได้ถูกนำไปทำการเปรียบเทียบกับรอยต่อที่เป็นโลหะชนิดเดียวพบว่ารอยต่อวัสดุต่างชนิดนั้นมีค่าการพังทลายที่วิกฤตว่าคือทนต่อความล้าคืบตัวที่ต่ำกว่า [4] ซึ่งมีทำการศึกษาความสามารถในการเชื่อมของรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนติก 304L และเหล็กกล้าไร้สนิม 403 โดยการเชื่อมทิก (GTAW) โดยใช้ลวดเชื่อม ERNiCr-3 โดยการเชื่อม 2 รูปแบบ คือ การเชื่อมแนวบัพเฟอร์ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 อีกแบบการเชื่อมแนวบัพเฟอร์ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 ผลการทดลองพบว่า พื้นที่ที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 มีความเหนียวและสามารถยึดตัวคล้ายกับด้านที่ทำการอบ

หลักการเชื่อมหากทำการเชื่อมลักษณะนี้ไม่จำเป็นต้องทำการอบชุบหลังการเชื่อมเพราะว่ากระบวนการเชื่อมที่ออกแบบนั้นมีวัฏจักรความร้อนที่ส่งผลคล้ายการอบชุบให้แก่ชิ้นงานแล้ว [5]

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรในการเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติซ่อมบำรุงในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนของรอยต่อชนท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ 304L ที่มีผลต่อสมบัติทางกล

1.2.2 ศึกษาและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างโลหะวิทยากับสมบัติทางกลของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ 304L

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนของรอยต่อชนท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ 304L ในการเชื่อมทดลอง

1.3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ 304L มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 38 มิลลิเมตร ยาว 190 มิลลิเมตร และหนา 1.2 มิลลิเมตร

1.3.2 ใช้การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนด้วยแก๊สปกคลุมชนิดอาร์กอน(Ar) กระแสที่ใช้เป็นกระแสตรง (DC) โดยใช้ในการเชื่อมอัตโนมัติ

1.3.3 กำหนดให้รอยต่อชนแบบไม่บากหน้างาน

1.3.4 ศึกษาตัวแปรการเชื่อม

1) กระแสในการเชื่อม 25, 35, 45, 55 และ 65 แอมแปร์

2) ความเร็วเดินเชื่อม ได้แก่ 80, 90, 100 และ 110 มิลลิเมตรต่อนาที

1.3.5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและมหภาค

1.3.4 การตรวจสอบสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบความแข็ง ไมโครวิเกอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1.4.1 ทราบถึงตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนของรอยต่อชนท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ 304L

1.4.2 เพื่อทราบถึงโครงสร้างทางโลหะวิทยาที่ส่งผลต่อสมบัติทางกล

1.4.3 เพื่อให้เป็นทางเลือกในการประยุกต์ใช้ในระบบท่อลำเลียงวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร

1.4.4 เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยคาดว่าผลการทดลองที่ได้เป็นหนึ่งทางเลือกในการใช้ข้อมูลพิจารณาการใช้การเชื่อมอาร์ทั้งสแตน เพื่อลดเวลาการทำงานการเลือกใช้ตัวแปรการเชื่อมต่างๆ เพื่อให้ได้ตัวแปรที่เหมาะสมต่อไป และทำให้แนวเชื่อมประสิทธิภาพสูงที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless) [6]

วัตถุประสงค์ทั่วไปของการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าทนความร้อน คือ วัสดุเพื่อต้านทานการกัดกร่อนและทนต่อความร้อนได้ดี ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะกว้างๆต่างกัน โดยธาตุโลหะในเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าทนความร้อนจะก่อตัวสร้างสมบัติทางกลและทางฟิสิกส์ขึ้นเพื่อใช้งานเฉพาะ เช่น ความคงทนต่อกรดและเคมีบางชนิดทนต่อสภาวะการใช้งานที่มีความร้อน เพื่อให้วัสดุนี้มีอายุการใช้งานยืนยาว ปกติเราจะคุ้นเคยกับเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าทนความร้อนจากตารางมาตรฐาน

เหล็กกล้าทนความร้อนมีโครเมียมเล็กน้อย ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ เหล็กกล้าไร้สนิมพื้นฐานเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีโครเมียมเล็กน้อย ประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ โครเมียมเข้ารวมกับเนื้อเหล็กกล้าก่อให้เกิดการต้านทานการกัดกร่อนและการเกิดสนิม ณ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปกติจะมีธาตุคาร์บอนอยู่ประมาณ 0.20 เปอร์เซ็นต์ หรือ น้อยกว่า ยกเว้นในเหล็กกล้าบางชนิดซึ่งต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษมากเพื่อการใช้งาน เช่น แบร็งก์ ไบเม็ด เป็นต้น อย่างไรก็ตามเพื่อคุณภาพความเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมในเหล็กกล้าชนิดนี้ เมื่อคาร์บอนเพิ่มขึ้นโครเมียมต้องถูกเพิ่มขึ้นด้วยธาตุต่างๆ เช่น นิกเกิล(Ni) โมลิบดีนัม(Mo) ไนโอเบียมหรือโคลัมเบียม(Nb) ไทเทเนียม(Ti) อะลูมิเนียม(Al) กำมะถัน(S) ทองแดง(Cu) และ ซีลีเนียม(Se) เป็นธาตุเจือเพื่อสร้างคุณสมบัติพิเศษในโลหะ

ความคงทนหรือการไม่เกิดสนิมบนเหล็กกล้าที่ขึ้นสืบเนื่องจากการผสมโครเมียมในเหล็กกล้ารวมตัวกับออกซิเจนเปลี่ยนโครเมียมออกไซด์เป็นฟิล์มบางๆเคลือบผิวป้องกันการกัดกร่อน ถ้าฟิล์มโครเมียมออกไซด์บนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ต้านทานการกัดกร่อนถูกทำให้สึกลงออกซิเจนในบรรยากาศจะเข้าไปรวมตัวสร้างปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นโครเมียมออกไซด์อีกและป้องกันการกัดกร่อน โดยต่อเนื่องและภายใต้บรรยากาศที่ลดลง ฟิล์มโครเมียมออกไซด์บนผิวถูกทำลายลง การเปลี่ยนรูปของโครเมียมก็ไม่สามารถก่อตัวขึ้นใหม่ได้ เหล็กกล้าไร้สนิมจึงต้องมีความคงทนต่อสภาวะการกัดกร่อน เหล็กกล้าไร้สนิมถูกเลือกใช้สำหรับงานที่ต้องการความแข็งแรงสูงพิเศษทนการขัดสี (Abrasion) กัดเซาะ(Erosion) มีสมบัติแม่เหล็กดูดติดสวยงามและทำความสะอาดง่ายผิวเรียบเนียนปลอดภัยโรค ทั่วไปแบ่งเหล็กกล้าไร้สนิมเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

2.1.1 กลุ่มออสเทนไนติก(Austenitic Stainless Steels)

แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มออสเทนไนติก โครเมียม นิกเกิล และแมงกานีส (Chromir-m-Nickel-Manganese Stainless Steels) จัดอยู่ในหมวด 200 เช่น 201, 202 และกลุ่มออสเทนไนติกโครเมียม นิกเกิล(Chromir-m-Nickel-Manganese Stainless Steels) จะอยู่ในหมวด 300 เช่น 301, 302, 303,304, 305, 308, 309, 310, 314, 316, 317, 321, 347 เป็นต้น มีคุณสมบัติเหนียว แรงล้าต่ำและแรงดึงสูง ขึ้นรูปได้ดี เชื่อมได้ดีแต่ไม่สามารถชุบแข็งได้ และแม่เหล็กดูดไม่ติดหรืออาจดูดติดเบาๆ หลังจากอบอ่อนใช้สำหรับงานเย็น

2.1.2 กลุ่มมาร์เทนซิติค(Martensitic Stainless Steels)

เป็นเหล็กกล้าผสม ชนิด โครเมียมเป็นธาตุหลักที่ค่อนข้างสูง(Chromium Stainless Steels) ชุบได้แข็ง ความแข็งแรงสูง แม่เหล็กดูดติดได้ดี จัดอยู่ในหมวด 400 เช่น 403, 410, 416, 420, และ 431 ทั่วไปเลือกใช้สำหรับงานทนการขัดสี(Abrasion) และสึกกร่อน(Wear) ไม่ทนการกัดกร่อน(Corrosion) ขึ้นรูปและเชื่อมได้พอใช้ แต่หลังการขึ้นรูปหรือเชื่อมจำเป็นต้องอบอ่อนเพื่อป้องกันการแตกร้าว ความแข็งทำให้เกิดความแข็งแรงสูงและทนต่อการกัดกร่อนได้ระดับหนึ่ง ขณะที่เหล็กกล้ามาร์เทนซิติคได้รับความร้อน ณ อุณหภูมิชุบแข็ง โครเมียมคาร์ไบด์ถูกละลายและคาร์บอนที่กระจายออกจากโครงสร้างโลหะด้วยเช่นกัน ถ้าการชุบรววดเร็วเพียงพอ ธาตุคาร์บอนจะไม่สามารถกลับเข้าไปรวมกับโครเมียมได้อีก โครเมียมจึงมีจำนวนเพียงพอที่ทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติคทนการกัดกร่อนได้

2.1.3 กลุ่มเฟอร์ริค(Ferritic Stainless Steels)

เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มเฟอร์ริคนี้ เมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อนจะไม่เกิดความแข็งในโลหะงาน สามารถตัดงอขึ้นรูปได้ ซึ่งอยู่ในหมวด 400 เช่น 405, 430, 430F, 430F Se, 446 ปกติใช้เพื่อทนทานการกัดกร่อนและการเกิดสนิมที่อุณหภูมิสูงมากกว่าจะรับภาระแรงดึงมากๆ สามารถเชื่อมได้ ชัดเงาได้เหมือนกับงานชุบโครเมียม แม่เหล็กดูดติดได้ทุกสภาวะ ความแข็งปกติสูงสุดอยู่ที่ 25 HRC

2.1.4 กลุ่มพรีซิพิตชัน ฮาร์ดเค็นนิง Preclpitation(Hardening Stainless Steels)

โลหะกลุ่มนี้แบ่งเป็น 3 กลุ่มได้แก่ เกรดออสเทนไนติก เกรดกึ่งออสเทนไนติก และเกรดมาร์เทนซิติค หรือ มาร์เอจิง (Maraging) โดยโครงสร้างจุลภาคมีความแตกต่างกันหลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อนเพื่อปรับสภาวะ โลหะเหล่านี้ไม่แสดงความต่างฐานะในผลึก

2.1.4.1 เกรดออสเทนไนติกผลึกแข็ง(Austenitic Precipitation-Hardening Stainless Steels) โครงสร้างโลหะยังคงเป็นออสเทนไนติก ณ อุณหภูมิห้องโดยตลอดและหลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อน เพราะว่าโครงสร้างไม่สามารถเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ได้ ณ อุณหภูมิห้อง มีความแข็งแรงต่ำที่สุดของเกรดออสเทนไนติก เหล็กกล้าไร้สนิมผลึกแข็ง

2.1.4.2 เกรดกึ่งออสเทนไนติกผลึกแข็ง(Semiaustenitic Precipitation-Hardening Stainless Steels) มีนิกเกิลต่ำกว่า แต่คาร์บอนสูงกว่าเกรดออสเทนไนติกเมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อนเพื่อปรับสภาวะที่ 927-1035 °C (1700-1900 °F) ผลึกส่วนหนึ่งของคาร์บอนรวมกับคาร์ไบด์ โลหะผสมสูงผันแปรส่วนผสมที่อุณหภูมิ MS เปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์เมื่อเย็นถึงอุณหภูมิห้องหรือต่ำกว่า 0-75 °C มาร์เทนไซต์เปลี่ยนรูปและถูกอบคืนไฟหรืออบเป็นสมบัติครั้งสุดท้าย

2.1.4.3 เกรดมาร์เทนซิติกผลึกแข็ง(Martensitic Precipitation-Hardening Stainless Steels) หรือ มาร์เอจิง(Maraging) องค์ประกอบโลหะลดลงหรือถูกปรับแต่ง ทำให้โครเมียมต่ำ ไม่ยึดตัว ด้านการกัดกร่อนได้น้อยเกรดมาร์เทนซิติกนี้ไม่สามารถใช้กับงานอุณหภูมิสูงได้เหมือนเกรดกึ่งออสเทนไนติก เพราะว่า เกรดนี้มักจะคลาดเคลื่อน ได้มากหรืออ่อนมากไป โดยการเปลี่ยนกลับคืน หรือ การรักษาสภาวะออสเทนไนต์ หรืออนุภาคเกินอายุ

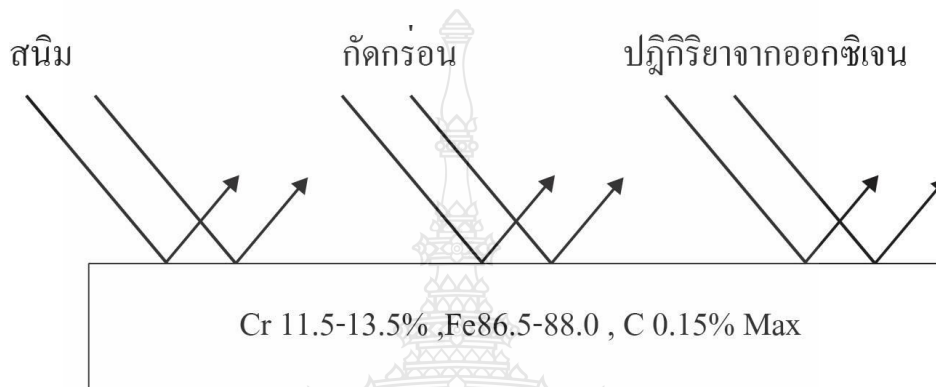
2.1.5 กลุ่มดูเพล็กซ์(Duplex Stainless Steel)

เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมกึ่งออสเทนไนติกและกึ่งเฟอร์ริติก มีสมบัติทางกลดี เหนียว เหมือนออสเทนไนติก ทนการแตกร้าวจากความเค้นกัดกร่อน(Stress Corrosion Cracking) และสนิมจุดตามด(Pitting) โครเมียม นิกเกิล และ โมลิบดีนัมมีความสมดุล โดยมีไนโตรเจนเล็กน้อย เป็นวัสดุสำหรับงานอุตสาหกรรมเคมี โรงกลั่น อุปกรณ์ขนถ่ายเหลว ก๊าซ ที่ต้องการความคงทนมากกว่าเหล็กสแตนเลสออสเทนไนติก เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์สามารถเชื่อมได้ดีทนการแตกที่อุณหภูมิสูง(Hot Crack) กระแสไฟเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมที่มีผลกระทบต่อโลหะชนิดนี้เหมือนกับออสเทนไนติกเช่นกัน แต่ทนการกัดกร่อนจากเคมีและน้ำเค็มได้ดีกว่า เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนไนติก 308 และ 316L ซึ่งยังมีเหล็กกล้าไร้สนิมพิเศษอีกกลุ่มหนึ่ง ได้แก่ ออสเทนไนติกไนโตรเจนสูงและเฟอร์ริติกบริสุทธิ์สูง ทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะการใช้งานที่ต่างกัน กล่าวคือ ออสเทนไนติกไนโตรเจนสูง (High Nitrogen Austenitic Stainless Steel) มีไนโตรเจนในเนื้อโลหะไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีความแข็งแรงทนต่อการแรงดึงได้สูงระยะยาวในที่อุณหภูมิต่ำและสูง ขยายตัวน้อย ตัวอย่างเช่น SUS 304N1, 304N2, 304LN, 316N, 316LN และ 317LN

เหล็กกล้าไร้สนิมมีองค์ประกอบเหล็กกล้า(Fe) และโครเมียม(Cr) เป็นหลัก การผลิตเหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่โครเมียมจะมีอยู่ประมาณ 11.5 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่า

2.2. การเกิดปฏิกิริยาโครเมียม

เมื่อโครเมียมประมาณ 11.5 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่ารวมตัวกับเนื้อเหล็ก ผิวชิ้นงาน เหล็กกล้าไร้สนิมโครเมียมจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เปลี่ยนเป็นโครเมียมออกไซด์ที่ละเอียดเคลือบ เป็นฟิล์มบางๆ ฟิล์มโครเมียมออกไซด์นี้เป็นตัวต่อต้านไม่ให้เนื้อเหล็กเกิดปฏิกิริยากับออกซิเดชั่น (Oxidation) เปลี่ยนเป็นสนิมหรือผุกร่อน เหล็กที่สามารถต้านทานการผุกร่อนได้ดี



รูปที่ 2.1 การเกิดปฏิกิริยาโครเมียม

2.3 ปริมาณธาตุโครเมียม – นิกเกิล

เมื่อเพิ่มนิกเกิลในอัตราส่วนที่ถูกต้อง ผลที่เกิดขึ้นจะได้เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 300 ทั่วไป เรียกชื่อว่า “โครมนิกเกิล” โดยให้โครเมียมเป็นตัวเลขส่วนแรกนิกเกิลเป็นตัวประกอบ ดังนั้นจึงใช้ตัวเลขเรียกแทนชื่อ เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม 18/8 เพราะมีโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ และแม่เหล็กดูไม่ติด ประโยชน์ของนิกเกิลในเหล็กกล้าไร้สนิม

- 1) ทำให้ทนการกัดกร่อนได้ดีมากขึ้น
- 2) ลดการนำความร้อน
- 3) เพิ่มความคงทนต่อแรงกระแทก
- 4) เพิ่มความเหนียว
- 5) เพิ่มความคงทนต่อการล้าตัว
- 6) เพิ่มความต้านทานกระแสไฟฟ้า

2.4 ปฏิกริยาจากโมลิบดีนัม

ปกติโมลิบดีนัม(Mo) อยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมเบอร์ 316 และ 317 ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ คือ

- 1) เพิ่มความคงทน ณ อุณหภูมิสูง
- 2) เพิ่มความคงทน การผุกร่อนหรือกัดกร่อนแบบจุดตามด(Pitting in corrosion)

2.5 โลหะวิทยาในกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิมมาเทนซิติค โครเมียมประมาณ 11.5 เปอร์เซ็นต์ ถึง 17 เปอร์เซ็นต์ เป็นธาตุหลักสามารถแข็งเพิ่มได้โดยชุบลม(Air hardening) ได้ความแข็งเปราะ ดังนั้นเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติคกลุ่มนี้ต้องให้ความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม ได้แก่ นัมเบอร์ 410, 414, 416 และ 420

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริค โครเมียมประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ ถึง 27 เปอร์เซ็นต์ ปกติเหนียวและอ่อน ไม่มี ความแข็ง เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้เมื่อได้รับความร้อนและเย็นตัวลง ณ อุณหภูมิปกติ โครงสร้างของอะตอมจะเหมือนกับเหล็กกล้า จึงตั้งชื่อว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริค บางตัวของกลุ่ม 400 มีโครเมียมอยู่โดดๆ มีความเปราะเมื่อถูกเชื่อมก็จัดอยู่ในประเภทนี้เหมือนกัน ต้องให้ความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม ได้แก่ นัมเบอร์ 430, 422 และ 446

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนไนติก มีโครเมียมและนิกเกิลผสมตั้งแต่ 18/8 แปลงสูงขึ้นไปเป็น 25/20 เช่น 308, 308L, 316, 310 และ 347 เหล็กกล้าไร้สนิม กลุ่มนี้ไม่ต้องให้ความร้อนก่อนเชื่อมและหลังการเชื่อม

2.6 การเกิดเกรนโตในเหล็กโครเมียม

ชนิดของเกรนในออสเทนไนติกจะไม่เหมือนกับเกรนของเหล็กโครเมียมมาร์เทนซิติคและโครเมียมเฟอร์ริคที่เกิดขึ้นโดยตรงที่ไม่ใช่ตัวการหลักที่ทำให้เกิดผลึกเป็นคาร์ไบด์เกรนโต โดยเกรนจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงหรือเกินกว่า 1650 °F (898-900 °C) โดยมีเกรนจะมีขนาดโตและเปราะมากขึ้น ความเปราะนั้นจะเพียงพอต่อการทำลายความเป็นเฟอร์ริค เพราะเฟอร์ริคจะผูกสัมพันธ์กับความเหนียวของเหล็กกล้าความโตของเกรน(Grain growth) ที่เกิดในเหล็กกล้าโครเมียมต่ำ (โครเมียมไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์) ทำให้ลดลงได้โดยผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ 1600 °F (898-900 °C) ความเสียหายเนื่องจากเกรนโตที่เกิดในเหล็กโครเมียมมากกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถแก้ไขได้

เทคนิคการเชื่อมให้ใช้ลวดเชื่อมขนาดเล็ก กระแสไฟเชื่อมต่ำ หลังจากเชื่อมปล่อยให้แนวเชื่อมเย็นตามปกติ ความร้อนจะลดลงช้าๆเป็นการอบอ่อนแนวเชื่อมชั้นล่างๆของแนวเชื่อม โลหะงาน

ชนิดมาร์เทนซิติคกลุ่ม 400 ต้องอุ่นก่อนเชื่อมและให้ความร้อนหลังเชื่อม อุณหภูมิอุ่นประมาณ 400 °F (240-250 °C) อุณหภูมิแนวเชื่อมแต่ละชั้นให้รักษาระดับไว้ที่ 80 เปรอร์เซ็นต์ ของอุณหภูมิอุ้งงานครั้งแรก เมื่อเชื่อมเสร็จสมบูรณ์ให้อบหรือให้ความร้อนอีกครั้ง และทิ้งให้เย็นช้าๆ เพื่อเป็นการอบอ่อน

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมในเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มหลัก[7]

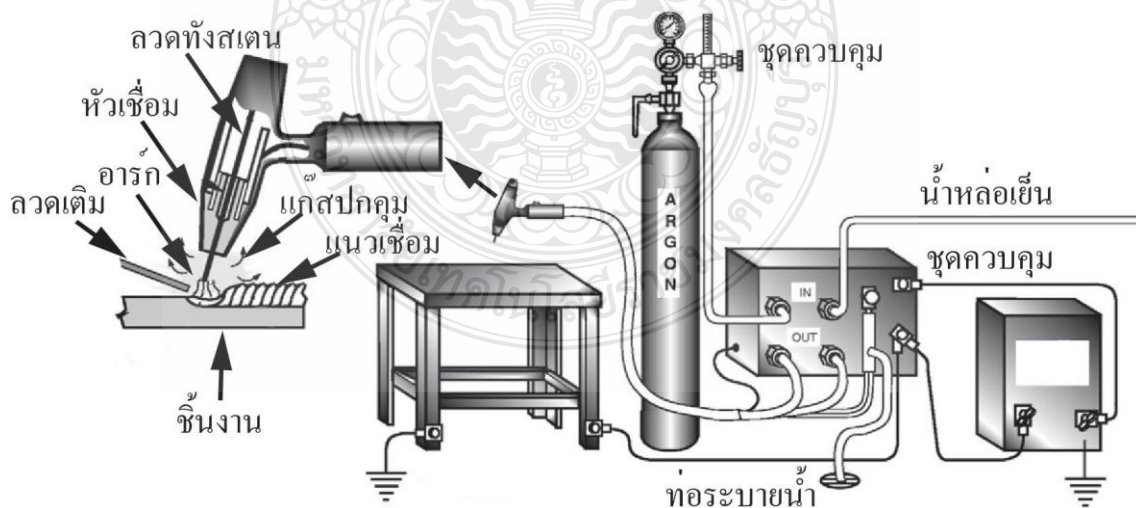
AISI Type Number	C% Carbon	Mn% Manganese	Si% Silicon	Cr% Chromium	Ni% Nickel	Other Elements
Austenitic ออสเทนไนติก						
201	0.15	5.5/7.5	1.00	16.00/18.00	3.50/5050	N ₂ 0.25 Max.
202	0.15	7.5/10.0	1.00	17.00/19.00	4.00/6.00	N ₂ 0.25 Max.
301	0.15	2.00	1.00	16.00/18.00	6.00/8.00	-
302	0.15	2.00	1.00	17.00/19.00	8.00/10.00	-
302B	0.15	2.00	2.00/3.00	17.00/19.00	8.00/10.00	-
303	0.15	2.00	1.00	17.00/19.00	8.00/10.00	S 0.15 Min.
303Se	0.15	2.00	1.00	17.00/19.00	8.00/10.00	Se 0.15 Min.
304	0.08	2.00	1.00	18.00/20.00	8.00/12.00	-
304L	0.03	2.00	1.00	18.00/20.00	8.00/12.00	-
305	0.12	2.00	1.00	17.00/19.00	10.00/13.00	-
308	0.08	2.00	1.00	19.00/21.00	10.00/12.00	-
309	0.20	2.00	1.00	22.00/24.00	12.00/15.00	-
309S	0.08	2.00	1.00	22.00/24.00	12.00/15.00	-
310	0.25	2.00	1.50	24.00/26.00	19.00/22.00	-
310S	0.08	2.00	1.50	24.00/26.00	19.00/22.00	-
314	0.25	2.00	1.50/3.00	23.00/26.00	19.00/22.00	-
316	0.08	2.00	1.00	16.00/18.00	10.00/14.00	Mo 2.00/3.00
316L	0.03	2.00	1.00	16.00/18.00	10.00/14.00	Mo 2.00/3.00
317	0.08	2.00	1.00	18.00/20.00	11.00/15.00	Mo 3.00/4.00
321	0.08	2.00	1.00	17.00/19.00	9.00/12.00	Ti 5xC Min.
347	0.08	2.00	1.00	17.00/19.00	09.00/13.00	Cb+Ta10xC Min.
348	0.08	2.00	1.00	17.00/19.00	09.00/13.00	Cb+Ta10xC Min

2.7 การเชื่อมทิก(Gas Tungsten – Arc Welding) [8]

ทิก ย่อมาจาก Tungsten Inert Gas สมาคมการเชื่อมสหรัฐอเมริกา(American Welding Society หรือ AWS.) เรียกกระบวนการเชื่อมนี้ว่า Gas Tungsten Arc Welding โดยใช้คำย่อว่า GTAW. ซึ่งก็คือวิธีการเชื่อมที่ใช้ลวดทังสแตนเป็นตัวอาร์ค และใช้แก๊สเฉื่อยปกคลุมบริเวณอาร์ค บางตำราอาจเรียกกระบวนการเชื่อมนี้ว่า Heliarc หรือ Heliweld ซึ่งเป็นชื่อดั้งเดิมของกระบวนการนี้โดยใช้แก๊สฮีเลียมปกคลุมแนวเชื่อม และยังเป็นชื่อทางการค้าของของบริษัทเครื่องเชื่อมทิก(TIG) ในประเทศสหรัฐอเมริกาด้วยสำหรับในยุโรปเรียกกระบวนการนี้ว่า WIG (W หมายถึง Woffram หรือ ทาตุทังสแตน)

2.7.1 วิธีการเชื่อมทิก

การเชื่อมทิกเป็นกระบวนการเชื่อมโลหะแบบหลอมละลายที่ได้รับความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดทังสแตน(Non – Consumable Electrode) กับชิ้นงานเชื่อม โดยที่แก๊สเฉื่อยหรือแก๊สปกคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลาย เพื่อป้องกันอากาศภายนอกทำปฏิกิริยากับบริเวณดังกล่าว ในบริเวณอาร์คมีความร้อนสูงถึงประมาณ 11,000 °F(6093 °C) ใช้ในการเชื่อมทังสแตนทำหน้าที่อาร์ค และผลิตความร้อนเท่านั้น จะไม่เติมลงในแนวเชื่อม การเชื่อมจะเติมลวดเชื่อมหรือไม่เติมก็ได้



รูปที่ 2.2 วิธีการเชื่อมทิก[9]

2.7.2 การนำกระบวนการเชื่อมทิกไปใช้

กระบวนการเชื่อมทิกสามารถประยุกต์ใช้ได้หลายแบบ ได้แก่ การเชื่อมด้วยมือ (Manual), กิ่งอัตโนมัติ การเชื่อมทิก เป็นกระบวนการเชื่อมที่สามารถเชื่อมโลหะได้เกือบทุกชนิด ซึ่งรวมถึงโลหะผสม เช่น เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าผสม เหล็กกล้าไร้สนิม โลหะทนความร้อน อลูมิเนียม ทองแดงและทองแดงผสม เป็นต้น สำหรับตะกั่วและสังกะสีไม่ควรเชื่อมด้วยทิก เนื่องจากวัสดุทั้งสองมีจุดหลอมตัวต่ำซึ่งมีอุณหภูมิของจุดหลอมตัวที่แตกต่างกับอุณหภูมิของเปลวอาร์กมาก เมื่อหลอมละลายจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็น ไอส่วน โลหะที่มีจุดหลอมตัวสูงสามารถเชื่อมด้วยทิกได้ดี แต่ถ้าโลหะดังกล่าวเคลือบไว้ด้วยตะกั่ว สังกะสี ดีบุก แคดเมียมหรืออะลูมิเนียมจะต้องใช้วิธีเชื่อมที่พิเศษ วิธีป้องกันควรกำจัดวัสดุเคลือบบนโลหะออกก่อนที่จะทำการเชื่อมและเมื่อเชื่อมเสร็จแล้วจึงซ่อมแซมใหม่

การเชื่อมทิก กระบวนการเชื่อมที่สามารถเชื่อมโลหะบางได้ดี คือ มีความหนาตั้งแต่ 0.005 นิ้ว -1/8 นิ้ว แต่ถ้าโลหะมีความหนามากกว่า 1/4 นิ้ว ควรเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอื่นจะประหยัดกว่าเว้นแต่ว่างานนั้นต้องการคุณภาพสูงจึงเชื่อมด้วยทิก และในการเชื่อมอาจจะเชื่อมแบบซ้อนแนว (Multiple – Pass) ก็ได้ ซึ่งงานที่ต้องการคุณภาพสูง ได้แก่ งานอากาศยาน เป็นต้น สำหรับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนยังสามารถเชื่อมด้วยทิก อาจจะเป็นระบบเชื่อมด้วยมือหรืออัตโนมัติก็ได้

2.8 กระแสเชื่อม(Welding Current)

กระแสเชื่อมเป็นตัวควบคุมการซึมลึก ความเร็วของการเชื่อม อัตราการเติมลวดเชื่อมและคุณภาพของแนวเชื่อม ขึ้นอยู่กับกระแสเชื่อมทิกแบบพื้นฐานมีอยู่ 3 ชนิด คือ

2.8.1 กระแสไฟตรงต่อขั้วตรง (DCSP)

กระแสไฟตรงต่อขั้วตรง เป็นที่นิยมใช้ในการเชื่อมทิกมาก ซึ่งให้ผลดีแก่การเชื่อมโลหะทั่วไปและโลหะผสม ยกเว้นอะลูมิเนียมและแมกนีเซียม การเชื่อมแบบกระแสไฟตรงต่อขั้วตรงนั้นลวดทั้งสแตนจะต่อเข้ากับขั้วลบ ส่วนชิ้นงานเชื่อมจะต่อเข้ากับขั้วบวก ดังนั้นอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วทั้งสแตนสู่ชิ้นงาน ความร้อนเกิดขึ้นบนขั้วบวก (ชิ้นงาน) ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ของความ

ร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด และความร้อนที่เกิดขึ้นกับลวดทั้งสแตนเลสจึงมีน้อย ทำให้ลวดเชื่อมสามารถใช้กับ
กระแสเชื่อมได้สูง และลดการกัดกร่อนจากเปลวอาร์กและความร้อน ซึ่งเป็นการเพิ่มอายุการใช้งาน
ของลวดทั้งสแตน การเชื่อมด้วยกระแสไฟตรงต่อขั้วตรง จะให้แนวเชื่อมแคบและซึมลึกสูง ไม่
เหมาะสมกับการเชื่อมโลหะบางและไม่เกิดปฏิกิริยาทำความสะอาด (กำจัดออกไซด์) ถ้าจะเชื่อม
อะลูมิเนียมด้วยกระแสไฟตรงต่อขั้วตรง จะต้องใช้กลวิธีเชื่อมพิเศษ โดยจะต้องทำความสะอาดผิวงาน
ด้วยวิธีทางกลหรือทางเคมีอย่างดีก่อนเชื่อม

2.8.2 กระแสตรงต่อกลับขั้ว (DCRP)

การเชื่อมแบบกระแสตรงต่อกลับขั้ว นั้นลวดเชื่อมต่อเข้ากับขั้วบวกของเครื่องเชื่อม
ส่วนชิ้นงานต่อเข้ากับขั้วลบทำให้อิเล็กตรอนไหลจากชิ้นงานไปยังลวดเชื่อม ดังนั้นความร้อนจากการ
อาร์กส่วนใหญ่จะอยู่ที่ลวดทั้งสแตนและความร้อนส่วนน้อยจะอยู่ที่ชิ้นงาน เมื่อเชื่อมทิกด้วย
กระแสตรงต่อกลับขั้ว แนวเชื่อมจะกว้างและซึมลึกน้อยและต้องใช้ความชำนาญมากกว่าการเชื่อมด้วย
กระแสตรงต่อกลับขั้ว และใช้ลวดทั้งสแตนขนาดใหญ่กว่าเมื่อเชื่อมด้วยกระแสตรงต่อกลับขั้ว โดยใช้
กระแสเชื่อมเท่ากัน ข้อดีของการเชื่อมด้วยกระแสตรงต่อกลับขั้ว คือสามารถกำจัดออกไซด์จากผิวงาน
เชื่อมได้ดีเลิศ เนื่องจากไอออน (IONS) ที่เกิดจากการแตกตัวของแก๊สปกคลุม เป็นประจุบวกออกจาก
ลวดทั้งสแตนวิ่งกระแทกผิวหน้าของงานด้วยแรงที่มากพอแตกตัวออกไซด์ออกไป ซึ่งการกำจัด
ออกไซด์ผิวหน้างานลักษณะนี้เรียกว่า การเกิดปฏิกิริยาทำความสะอาด (Cleaning Action)

อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่ทำการเชื่อมด้วยกระแสตรงต่อกลับขั้วได้ยากเพราะบ่อหลอม
ละลายของอะลูมิเนียมมักจะเกาะติดกับลวดทั้งสแตนทำให้สกปรก อย่างไรก็ตามสำหรับกระแสตรง
ต่อกลับขั้ว นั้นจะให้ผลดีแก่การเชื่อมอะลูมิเนียมชนิดบาง (หนาไม่เกิน 0.025 นิ้ว) การเชื่อม
แมกนีเซียมด้วยกระแสตรงต่อกลับขั้ว นั้นไม่มีปัญหาในเรื่องความสกปรกที่ปลายลวดทั้งสแตน ดังนั้น
จึงสามารถเชื่อมแมกนีเซียมด้วยกระแสตรงต่อกลับขั้วได้หนาไม่เกิน 1/8 นิ้ว

2.8.3 กระแสไฟสลับ (AC)

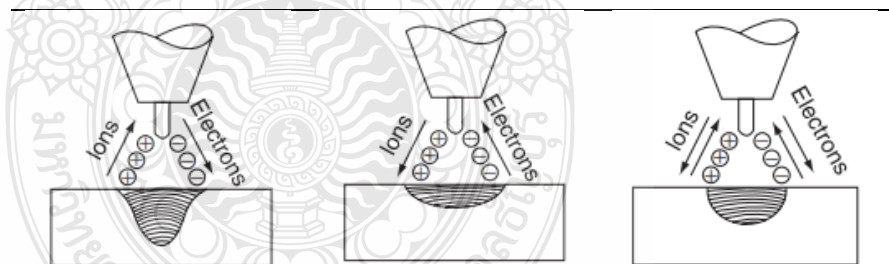
กระแสเชื่อมสลับเป็นกระแสเชื่อมที่ได้รวมเอากระแสตรงต่อกลับขั้วกับกระแส
ไฟตรงต่อขั้วตรง โดยใน 1 ไซเคิลจะเป็นกระแสตรงต่อกลับขั้ว ครึ่งหนึ่งและกระแสไฟตรงต่อขั้วตรง

ครึ่งหนึ่ง ดังนั้นการกระทำของอิเล็กทรอนิกส์และอิออนบวกของแก๊ส จะกระทำกับชิ้นงานและลวดเชื่อม ในลักษณะที่สลับกันไปอย่างต่อเนื่อง จากรูปของกระแสสลับ 1 ไซเคิลจะประกอบด้วยลวดครึ่งหนึ่ง และบวกรีกครึ่งหนึ่งเช่นกัน จากการทดลองเชื่อมอะลูมิเนียมด้วยกระแสสลับรูปคลื่นกระแส (Sine Wave) จะไม่สมดุลกัน (Unbalance) ขนาดของคลื่นบวก (Reverse Polarity) จะน้อยกว่าคลื่นลบ ทั้งนี้ เนื่องจากออกไซด์ที่อยู่บนผิวของอะลูมิเนียม ทำหน้าที่เสมือนกับตัวเรียงกระแส (Rectifier) ที่ใช้ใน เครื่องเชื่อมโดยแปลงไฟสลับเป็นไฟตรง ออกไซด์บนผิวอะลูมิเนียมจะทำให้อิเล็กทรอนิกส์ไหลจาก ชิ้นงานสู่ลวดเชื่อมเป็นไปโดยยาก แต่อิเล็กตรอนจะไหลจากลวดเชื่อมสู่ชิ้นงานได้สะดวก จึงสรุปได้ ว่าใน 1 ไซเคิลจะเกิดขั้วตรงหรือขั้วลบ (Straight Polarity) มากกว่าการเกิดขั้วหรือขั้วบวก (Reverse Polarity) จากสาเหตุดังกล่าวจะทำให้เกิดกระแสดตรงไหลกลับเข้าไปในเครื่องเชื่อมและทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่หม้อแปลงใหญ่ภายในเครื่องเชื่อมซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงนั้นจะมี ผลทำให้เกิด ฉนวนที่เชื่อมขดลวดและแกนเหล็กเสียหายได้ง่าย และประสิทธิภาพของหม้อแปลง ลดลงในขณะที่ขดลวดและแกนเหล็กมีความร้อนสูง

การป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสูงกลับเข้าหม้อแปลงทำได้โดยการลดความสามารถ ของเครื่องให้ต่ำกว่าที่เครื่องกำหนดเอาไว้ เช่น เครื่องเชื่อมขนาด 200 แอมแปร์ ที่ 60 เฮอร์เซ็นต์ ดิวตี้ ไซเคิล ควรใช้กระแส 140 แอมแปร์ ที่ 30 เฮอร์เซ็นต์ ดิวตี้ ไซเคิล ซึ่งจะให้ผลดีแก่เครื่องเชื่อมหลาย อย่าง เช่น ป้องกันไม่ให้หม้อแปลงร้อนเกินไป รักษาชีวิตไซเคิล ให้ถูกต้อง และให้ความปลอดภัยแก่ เครื่องเชื่อม เมื่อเชื่อมอะลูมิเนียมและแมกนีเซียม อาจจะใช้แผ่นความต้านทานที่ทำด้วยนิกเกิลโครม ดักกระแสไฟตรงไม่ให้กลับเข้าเครื่องเชื่อม โดยการให้เปลี่ยนสภาพกลายเป็นความร้อนที่ตัวแผ่น ความต้านทานเสียเองแทนที่จะไปเกิดความร้อนที่หม้อแปลง การป้องกันไฟตรงย้อนกลับเข้าเครื่อง เชื่อมอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ คือ การต่อกับคาปาซิเตอร์ (Capacitors) เข้าวงจร ซึ่งคาปาซิเตอร์นี้จะ ไม่ยอมให้ไฟตรงวิ่งผ่านกลับเข้าเครื่องเชื่อมได้อีก การที่ไฟตรงย้อนกลับเข้าเครื่องเชื่อมผลิตไฟ กระแสสลับ จะทำให้คลื่นของไฟสลับจากการอาร์กไม่สมดุลในตำแหน่งที่คลื่นผ่านจุดศูนย์ การอาร์ก ที่เกิดขึ้นจะดับลงและติดขึ้นใหม่อีก ซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่เปลี่ยนทิศทางของกระแสและรูปที่ 4-15 เป็น คลื่นที่ได้จาก Oscilloscope จะเห็นว่าคลื่นบวกจะถูกตัดยอดออกไปและคลื่นของอาร์กที่เกิดขึ้นใน

ลักษณะนี้เป็นคลื่นที่มีขั้วบวกน้อยกว่าขั้วลบ ดังนั้นในการนำไปเชื่อมอะลูมิเนียมและแมกนีเซียม จึงเป็นไปได้ยากเพราะช่วงของการเกิดปฏิกิริยาทำความสะอาด (ขั้วบวก) ที่เกิดขึ้นมีน้อย

2.8.3.1 ความถี่สูง(High Frequency) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการอาร์กจะเกิดได้ง่ายและแน่นอนจะต้องใช้แรงดันไฟฟ้ามากกว่า 70-80 โวลต์ จึงจำเป็นต้องมีเครื่องผลิตความถี่สูง ซึ่งสามารถผลิตแรงดันได้หลายพัน โวลต์ด้วยขนาดกระแสเป็นมิลลิแอมแปร์เท่านั้น รวมเข้าไว้ใน วงจรของขดลวดทุติยภูมิในเครื่องเชื่อมด้วย เพื่อเป็นตัวผลิตแรงดันสูงชดเชยครึ่ง ไซเคลบวทที่ขาด หายไปบางส่วน และยังแรงพอที่จะไปขจัดออกไซด์ออกไปได้อีกด้วย ปกติแล้วมักจะเข้าใจกันว่า ความถี่สูงจะทำหน้าที่ให้เกิดปฏิกิริยาทำความสะอาด แต่ที่จริงแล้วความถี่สูงเป็นเพียงตัวทำหน้าที่ช่วย จุดเปลวอาร์กให้เกิดขึ้น โดยเฉพาะในครึ่ง ไซเคลบวทและเป็นผลทำให้เกิดการอาร์กที่สม่ำเสมอและ ทำให้การขจัดออกไซด์เป็นไปได้ผลเท่านั้น ความถี่สูงจะทำหน้าที่อาร์กในตอนแรกโดยที่ปลาย อิเล็กโทรดไม่ได้สัมผัสอยู่กับชิ้นงาน ซึ่งจำเป็นมากสำหรับการเชื่อมอะลูมิเนียมและแมกนีเซียม ซึ่งเป็นโลหะที่มีความไวสูงต่อสารที่ไม่บริสุทธิ์อื่นๆ นอกจากนี้ความถี่สูงยังได้ถูกนำมาใช้กับการเชื่อม เหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิม ทองเหลือง และอื่นๆอีกด้วย เมื่อใช้กระแสไฟตรงเชื่อม โดยความถี่สูงจะทำ หน้าที่เริ่มต้นอาร์กในตอนแรก และจะถูกตัดออกไปโดยอัตโนมัติเมื่อการอาร์กดำเนินไปได้แล้ว



ปฏิกิริยาทำความสะอาด	ไม่ดี	ดี	ทำครึ่งหนึ่งของไซเคล
ความร้อนในบริเวณอาร์ก	70% ที่ชิ้นงาน 30% ที่ลวดเชื่อม	30% ที่ชิ้นงาน 70% ที่ลวดเชื่อม	50% ที่ลวดเชื่อม 50% ที่ชิ้นงาน
การซึมลึก	ซึมลึกดีและแคบ	ซึมลึกลึกน้อยและกว้าง	ซึมลึกปานกลาง
ความสามารถของลวด	ดีเลิศ	ไม่ดี	ดี
ทั้งสแตน	e.g. 1/8 นิ้ว(3.2)400A	e.g. 1/4 นิ้ว(6.4)120A	e.g. 1/8 นิ้ว(3.2)225A

2.9 วัสดุที่ใช้ในการเชื่อมทิก

2.9.1 แก๊สปกคลุม(Shielding Gas)

แก๊สที่ใช้สำหรับปกคลุมแนวเชื่อมและบ่อหลอมละลายเพื่อไม่ให้อากาศโดยรอบทำปฏิกิริยา ได้แก่ ออกซิเจน ไนโตรเจน เป็นต้น จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลายในขณะที่เชื่อม ซึ่งวิธีนี้ได้ใช้กันมานานแล้ว เช่น วิธีเชื่อมแบบออกซิอะเซทิลีนได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ของแก๊สออกซิอะเซทิลีนกับออกซิเจนจากการเผาไหม้จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ไอน้ำ ซึ่งทำหน้าที่ปกคลุมแนวเชื่อมที่กำลังหลอมละลาย ในการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ แนวเชื่อมที่หลอมละลายและบริเวณอาร์กจะถูกปกคลุมด้วยแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ของฟลักซ์เช่นกันและยังทำให้การอาร์กสม่ำเสมอ การเชื่อมทิก นั้นไม่มีเปลวไฟและฟลักซ์ที่หุ้มลวดเชื่อมเกิดเป็นแก๊สปกคลุมบริเวณอาร์ก ดังนั้นจำเป็นต้องใช้แก๊สปกคลุมจากแหล่งภายนอก โดยทั่วไปแก๊สที่ใช้ปกคลุมในการเชื่อมทิก ได้แก่ อาร์กอนและฮีเลียม โดยจ่ายจากท่อหรือแบบท่อแยก(Manifold) ต่อไปยังจุดต่างๆภายในโรงงานก็ได้แต่แก๊สที่ใช้ นั้นจะต้องมีความบริสุทธิ์คือประมาณ 99.99 เปอร์เซ็นต์ และไม่มี ความชื้นปะปนอยู่ในปริมาณที่กำหนดบางครั้งอาจจะใช้แก๊สชนิดอื่นผสมกับแก๊สอาร์กอนเพื่อผลในการเชื่อม จะต้องเป็นแก๊สเกรดเชื่อมเท่านั้น(Welding Grade)

แก๊สปกคลุมที่กล่าวมาแล้วจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานและกระบวนการเชื่อม ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษาสมบัติและคุณลักษณะของแก๊สปกคลุมต่างๆ เสียก่อน

2.9.1.1 ชนิดของแก๊สปกคลุม

แก๊สปกคลุมที่นำมาใช้กับการเชื่อมทิก จะแตกต่างกับกระบวนการเชื่อมอื่นๆ บ้าง โดยทั่วไปแก๊สที่นำมาใช้ ได้แก่

1) อาร์กอน(Argon) อาร์กอนเป็นแก๊สเฉื่อยที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตออกซิเจน ซึ่งมีอยู่ในอากาศประมาณ 0.9 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าอาร์กอนปนอยู่ในอากาศน้อยมาก ดังนั้นการเตรียมอาร์กอนแต่ละลูกบาศก์ฟุต จะต้องใช้อากาศจำนวนมาก ราคาของแก๊สอาร์กอนจึงสูงกว่าออกซิเจนและไนโตรเจนมาก ในการเก็บแก๊สอาร์กอนอาจจะเก็บไว้ในสถานะของแก๊สหรือ

ของเหลวก็ได้ ดังสำหรับเก็บอาร์กอนเหลวจะต้องมีฉนวนที่ดีสามารถเก็บแก๊สอาร์กอนที่อุณหภูมิต่ำกว่า $-184\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-300\text{ }^{\circ}\text{F}$) เล็กน้อย

(1) ข้อดีของการใช้แก๊สอาร์กอน

แก๊สอาร์กอนมี Ionization Potential 15.7 โวลต์ (หมายความว่าต้องใช้แรงดันไฟฟ้าเคลื่อน 15.7 โวลต์ จึงทำให้อะตอมของแก๊สอาร์กอนแตกตัวเป็นไอออนมาก) และยังเป็นตัวนำความร้อนที่เร็วจึงทำให้การอาร์กเกิดความร้อนสูงและเป็นบริเวณแคบโดยแก๊สอาร์กอนจะทำให้การเริ่มต้นอาร์กง่าย ให้อาร์กที่เปลวเรียบและสม่ำเสมอ ซึ่งเหมาะกับการเชื่อมโลหะบางที่ควบคุมด้วยมือจะทำให้ให้ปฏิกิริยาการทำความสะอาดงานเชื่อมที่ดี จึงเหมาะแก่การเชื่อมโลหะที่มีออกไซด์ที่ผิวเช่น อะลูมิเนียมและแมกนีเซียมทำให้แก๊สอาร์กอนมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ และหนักกว่าอากาศประมาณ 1.4 เท่า หนักกว่าฮีเลียมประมาณ 10 เท่า จึงเป็นผลดีต่อการปกคลุมบริเวณอาร์กดังนั้นปริมาณการใช้แก๊สอาร์กอนปกคลุมบริเวณอาร์กจึงน้อยกว่าการใช้แก๊สฮีเลียม เมื่อใช้แก๊สอาร์กอนสามารถควบคุมบ่อหลอมละลายได้ง่าย และเหมาะกับการเชื่อมท่าแนวตั้งและท่าเหนือศีรษะซึ่งทำให้ราคาถูกและหาได้ง่าย ให้ผลดีกับการเชื่อมโลหะต่างชนิด

2) แก๊สฮีเลียม(Helium)

แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สเฉื่อยเป็นผลที่ได้จากกรรมวิธีผลิตแก๊สธรรมชาติ (Ionization Potential) 24.5 โวลต์ และมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าดีเลิศ จึงเป็นเหตุให้เปลวอาร์กที่ได้จากการใช้แก๊สฮีเลียมกระจายตัวเป็นวงกว้าง แต่ความเข้มของอาร์กลดลง การกระจายตัวเป็นวงกว้างของเปลวอาร์กจะทำให้งานเชื่อมเกิดความร้อนเป็นบริเวณกว้าง ในขณะที่เดียวกันศูนย์กลางของเปลวอาร์กจะทะลุลงไปจนถึงส่วนล่างของแนวเชื่อม ให้แนวเชื่อมที่ได้จากการใช้แก๊สฮีเลียมซึมลึกกว่าการใช้แก๊สอาร์กอน แรงดันไฟฟ้าที่ใช้แก๊สฮีเลียมจะเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะอาร์ก และความร้อนที่เกิดจากการอาร์กสูง เนื่องจากแก๊สฮีเลียมนั้นต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูงจึงมีพลังงานมาก และการอาร์กที่เกิดขึ้น ไม่นุ่มนวล แก๊สฮีเลียมมีน้ำหนักเบาคือประมาณ 1/7 เท่า ของอากาศแต่จะรวมตัวกับอากาศได้ช้า ดังนั้นการเชื่อมใช้แก๊สฮีเลียมปกคลุมแนวเชื่อมต้องใช้ปริมาณมากกว่าอาร์กอน 2-3 เท่า และโอกาสลอยตัวได้ง่าย

จากเหตุผลดังกล่าว การใช้แก๊สฮีเลียมจึงเหมาะกับการเชื่อมด้วยวิธีอัตโนมัติ ที่ให้ความเร็วในการเชื่อมสูง ไม่เกิดครุพุนและการกัดแหว่งขอบแนวเชื่อม รวมทั้งแนวเชื่อมที่ได้มีบริเวณผลกระทบจากความร้อน(Heat-Affected Zone) แคบ ดังนั้นการเชื่อมงานหนาหรืองานที่ต้องการความเร็วในการเชื่อมสูง ควรใช้แก๊สผสมระหว่างฮีเลียมกับอาร์กอนในอัตราส่วน 2 : 1 เพื่อตัดปัญหาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของระยะอาร์กและยังช่วยลดครุพุนภายในแนวเชื่อมอีกด้วย

(1) ข้อดีของการใช้แก๊สฮีเลียมเมื่อเทียบกับแก๊สอาร์กอน Heat Affected Zone แคบทำให้ความร้อนสูงเหมาะกับการเชื่อมโลหะหนาและโลหะที่นำความร้อนดีจึงให้ความเร็วเชื่อมสูงกว่าใช้แก๊สอาร์กอนจะมีการปกคลุมอาร์กได้ดีในการเชื่อมทำดิ่งและที่เหนือศีรษะทำให้การซึมลึกสูง เพราะความร้อนที่ป้อนให้สูง(Heat Input) เมื่อใช้เป็นแก๊สคูลมหลัง(Backing Gas) สำหรับแนวเชื่อมยึดใ้(Root) จะให้แนวเชื่อมราบแบน

3) แก๊สผสมอาร์กอน – ฮีเลียม แก๊สผสม อาร์กอน – ฮีเลียม เหมาะสำหรับการเชื่อมที่ต้องการควบคุมการอาร์กที่ดีและซึมลึกสูง เนื่องจากแก๊สอาร์กอนจะควบคุมอาร์กได้ดี ส่วนแก๊สฮีเลียมให้ความร้อนจะทำให้ การซึมลึกและความเร็วเชื่อมสูงซึ่งอัตราส่วนผสมของแก๊สทั้งสองที่นิยมใช้ ได้แก่ 75 เปอร์เซ็นต์ ฮีเลียม 25เปอร์เซ็นต์ อาร์กอน โดยปริมาตรหรือ 80 เปอร์เซ็นต์ ฮีเลียม 20 เปอร์เซ็นต์ อาร์กอน อัตราส่วนผสมของแก๊สทั้งสองนั้น ไม่ได้กำหนดไว้ตายตัวสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการ แก๊สผสม อาร์กอน – ฮีเลียม ได้นำไปใช้ในการเชื่อมอัตโนมัติกันอย่างกว้างขวาง

4) แก๊สผสม อาร์กอน-ไฮโดรเจน แก๊สผสม อาร์กอน-ไฮโดรเจนใช้สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม Inconel Monel และการเชื่อมที่มีปัญหาจากครุพุน ซึ่งแก๊สคูลมชนิดอื่นไม่สามารถแก้ปัญหาได้ แก๊สผสมชนิดนี้ให้ข้อดีในการเชื่อมคือเพิ่มความร้อนในการเชื่อมช่วยควบคุมรูปร่างของแนวเชื่อมและการไหลตัวของน้ำโลหะบ่อหลอมละลายดี และแนวเชื่อมสม่ำเสมอ แก๊สผสม อาร์กอน-ไฮโดรเจน ไม่ควรนำไปเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน หรือเหล็กกล้าผสมต่ำ ใช้ได้เฉพาะการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเท่านั้น ด้วยอัตราส่วนผสม ไฮโดรเจนสูง 15 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนที่ใช้กัน 95 เปอร์เซ็นต์ และอาร์กอน 5 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน

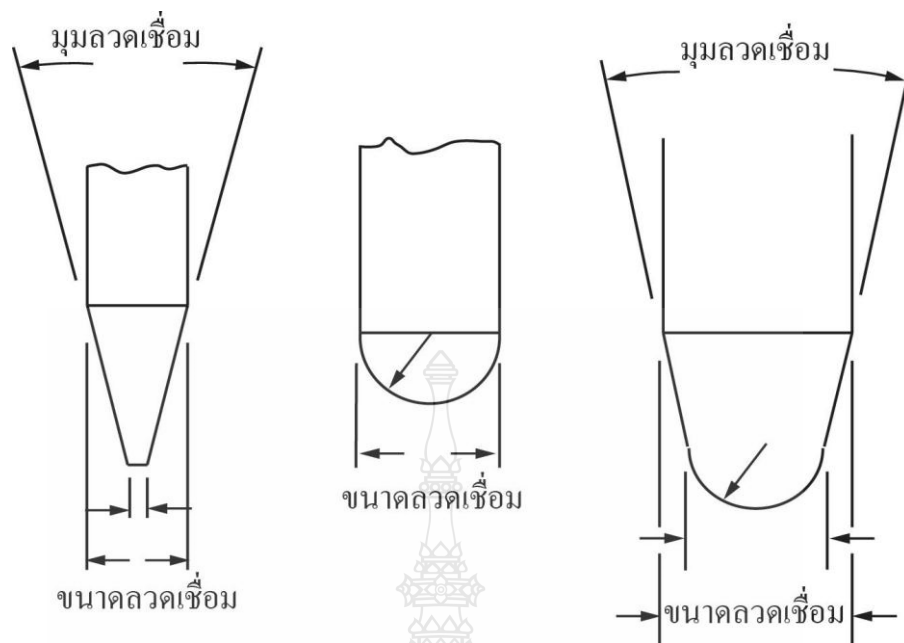
5) ไนโตรเจน แก๊สไนโตรเจนยังใช้เป็นแก๊สคลุมแต่ไม่ใช่แก๊สเฉื่อย และไม่
ค่อนนำมาใช้ในการเชื่อม เนื่องจากแก๊สไนโตรเจนต้องการแรงดันไฟฟ้าและกระแสเชื่อมสูง
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแก๊สอาร์กอนและแก๊สฮีเลียม อย่างไรก็ตามแก๊สไนโตรเจนยัง
ลดความสม่ำเสมอของอาร์ก และทำให้ลวดทั้งสแตนสกรปอีกด้วย แต่แก๊สไนโตรเจนก็ให้ผลดีกับการ
เชื่อมทองแดงและทองแดงผสม

2.9.2 ลวดเชื่อมทั้งสแตน

2.9.2.1 ลักษณะทั่วไปของลวดทั้งสแตน

ลวดเชื่อมทั้งสแตนผลิตโดยกรรมวิธีโลหะผง ด้วยการนำผงทั้งสแตนที่มีความ
บริสุทธิ์ 99.95 เปอร์เซ็นต์ มาอัดขึ้นรูปและอบเป็นแท่งอินกอต(Ingot) หลังจากนั้นให้ความร้อนอิน
กอต เพื่อเพิ่มความเหนียวแล้วนำไปทำการดึงขึ้นรูป(Drawn) เป็นลวดทั้งสแตนขนาดต่างๆ ตาม
ต้องการผิวของลวดทั้งสแตนที่ผ่านการดึงขึ้นรูปมาแล้วจะเกิดออกไซด์สีดำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำ
ความสะอาดผิวเอาออกไซด์ที่ดำออก ด้วยการกัดด้วยเคมีหรือการเจียรไน ทั้งสแตนที่มีคุณสมบัติเป็น
ตัวนำไฟฟ้าดีและจุดหลอมตัวสูง จึงได้ถูกเลือกใช้เป็นลวดเชื่อมแบบไม่หลอมละลาย(Non
consumable) อุณหภูมิอาร์กที่เกิดขึ้นประมาณ 10,600 °F (5871 °C) ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิการหลอมตัว
ของทั้งสแตนมาก อุณหภูมิของทั้งสแตน 6170 °F (3410 °C) แต่ไม่สูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดมากนัก
อุณหภูมิจุดเดือดทั้งสแตน 10,600 °F (5871 °C) เนื่องจากบริเวณอาร์กมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิจุด
เดือดของทั้งสแตนจึงทำให้ลวดทั้งสแตนเกิดการเซาะกร่อน และเป็นเหตุให้มีการถ่ายเทโลหะบางตัว
จากทั้งสแตนผ่านการอาร์กเติมลงในแนวเชื่อม การเติมทั้งสแตนลงในแนวเชื่อมจะทำให้ทั้งสแตนฝังอยู่
ในแนวเชื่อม อันเป็นเหตุทำให้เกิดความเค้นสะสมอยู่ในแนวเชื่อม(Concentrate Strees) การป้องกันการ
การเติมทั้งสแตนในแนวเชื่อมไม่สามารถกระทำได้สมบูรณ์ เพียงแต่ควบคุมไม่ให้เกิดค่าที่ยอมรับได้
โดยการเตรียมปลายลวดทั้งสแตน การเลือกใช้ลวดทั้งสแตนขนาดใหญ่เท่าที่จะทำได้ และใช้ลวด
ทั้งสแตนชนิดผสม

จากที่กล่าวมาแล้วทั้งสแตนเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงทำให้อุณหภูมิที่ผิว
ลวดทั้งสแตนไม่สูงมากนัก เนื่องจากความร้อนได้ถูกถ่ายเทไปที่อื่นได้เร็ว



รูปที่ 2.3 ลักษณะปลายลวดทั้งสแตน[7]

ปลายลวดทั้งสแตนมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่ปลายลวดทั้งสแตน พิจารณาจากการใช้กระแสเชื่อมและชนิดขั้วไฟเชื่อมที่เหมือนกัน จะเห็นว่า (A) ปลายลวดแหลมมีพื้นที่ตั้งจุดความร้อนที่ปลายลวดน้อย จึงทำให้ปลายลวดเชื่อมมีอุณหภูมิสูง (B) ปลายลวดกลมมนมีพื้นที่ตั้งจุดความร้อนมาก ปลายลวดเชื่อมจึงมีอุณหภูมิต่ำ (C) ปลายลวดเรียวและกลมเล็กมีพื้นที่ตั้งจุดความร้อนมากกว่าชนิดปลายจุดแหลม จึงมีอุณหภูมิผิวปลายลวดทั้งสแตนน้อยกว่า

ระยะห่างระหว่าง Collet กับปลายลวดทั้งสแตนมีผลต่ออุณหภูมิของลวด เมื่อระยะ Collet กับปลายลวด (จับลวดยาว) มากเกิดความต้านทานไฟฟ้าขึ้นกับลวดทั้งสแตนสูงและเกิดความร้อนสูงขึ้นแต่ถ้าระยะจับลวดสั้น ความต้านทานไฟฟ้าน้อย ความร้อนที่ลวดทั้งสแตนก็น้อยตามกรณีความต้านทานระหว่าง Collet กับลวดทั้งสแตน เนื่องมาจากการต่อหรือการสัมผัสระหว่าง Collet กับลวดทั้งสแตนไม่ดี เป็นเหตุให้ความร้อนของลวดทั้งสแตนสูงขึ้นและการถ่ายเทความร้อนออกจากลวดทั้งสแตนไม่ดี ในทางกลับกันถ้าการสัมผัสระหว่าง Collet กับลวดทั้งสแตนดี ความต้านทานที่จุดสัมผัสจะต่ำ ความร้อนต่ำ และการระบายความร้อนดี ลวดทั้งสแตนชนิดผิวเจียรไนจะให้คุณภาพ

สัมผัสที่ดีกว่าลวดทังสเตนชนิดผิวล้างด้วยเคมี เนื่องจากผิวลวดทังสเตนชนิดผิวเงิยระไนมีผิวเรียบ สัมผัสกับ Collet ได้ดี

2.9.2.2 ชนิดของลวดทังสเตน

ลวดทังสเตนบริสุทธิ์มีสมบัติดีเลิศในการทำลวดเชื่อมทิก แต่สมบัติดังกล่าวสามารถปรับปรุงขึ้นให้ดีขึ้นได้ด้วยการเติมธาตุทอเรียมและเซอร์โคเนียม จะทำให้ลวดทังสเตนมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น การเริ่มอาร์กดีขึ้นด้านทานการสกรปรกของลวด และสามารถเข้ากับกระแสเชื่อมได้สูงขึ้นตามมาตรฐานการเชื่อมของสหรัฐอเมริกา AWS A5.12 ได้แบ่งลวดทังสเตน ไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 การแบ่งชนิดของลวดทังสเตนและส่วนผสมของลวดทังสเตน[8]

AWS Classification	ธาตุผสมเคมี	รหัสสี (Color Code)
EWP	Pure Tungsten	เขียว
EWCe – 2	97.3% Tungsten, 2% Cerium Oxide	ส้ม
EWLa – 1	98.3% Tungsten, 1% Lanthanum Oxide	ดำ
EWTh – 1	98.3% Tungsten, 1% Thorium Oxide	เหลือง
EWTh – 2	97.3% Tungsten, 2% Thorium Oxide	แดง
EWZr - 1	99.1% Tungsten, 0.25% Zirconium Oxide	น้ำตาล
EWG	94.5% Tungsten, Reminder not Specified	เทา

การแบ่งสแตนเลสตาม AWS ประกอบด้วยรหัสอักษรและเลขต่อไปนี้

E หมายถึง Electrode หรือลวดเชื่อมไฟฟ้า

W หมายถึง ทังสเตน หรือ Wolfram

P หมายถึง ลวดทังสเตนบริสุทธิ์

Ce, La, Th และ Zr หมายถึง ธาตุผสมที่เป็นออกไซด์ของ Cerium, Lanthanum, Thorium หรือ Zirconium ตามลำดับส่วนหมายเลขต่อท้ายแสดงถึงความแตกต่างของส่วนผสมในแต่ละกลุ่ม

G หมายถึง ลวดทั้งสแตนกลุ่มทั่วไปและไม่ได้กำหนดส่วนผสมที่แน่นอนไว้ ลวดทั้งสแตนมาตรฐาน AWS ตามตารางที่ 4-1

EWP เป็นลวดทั้งสแตนบริสุทธิ์ มีราคาถูก ใช้สำหรับงานโลหะทั่วไป

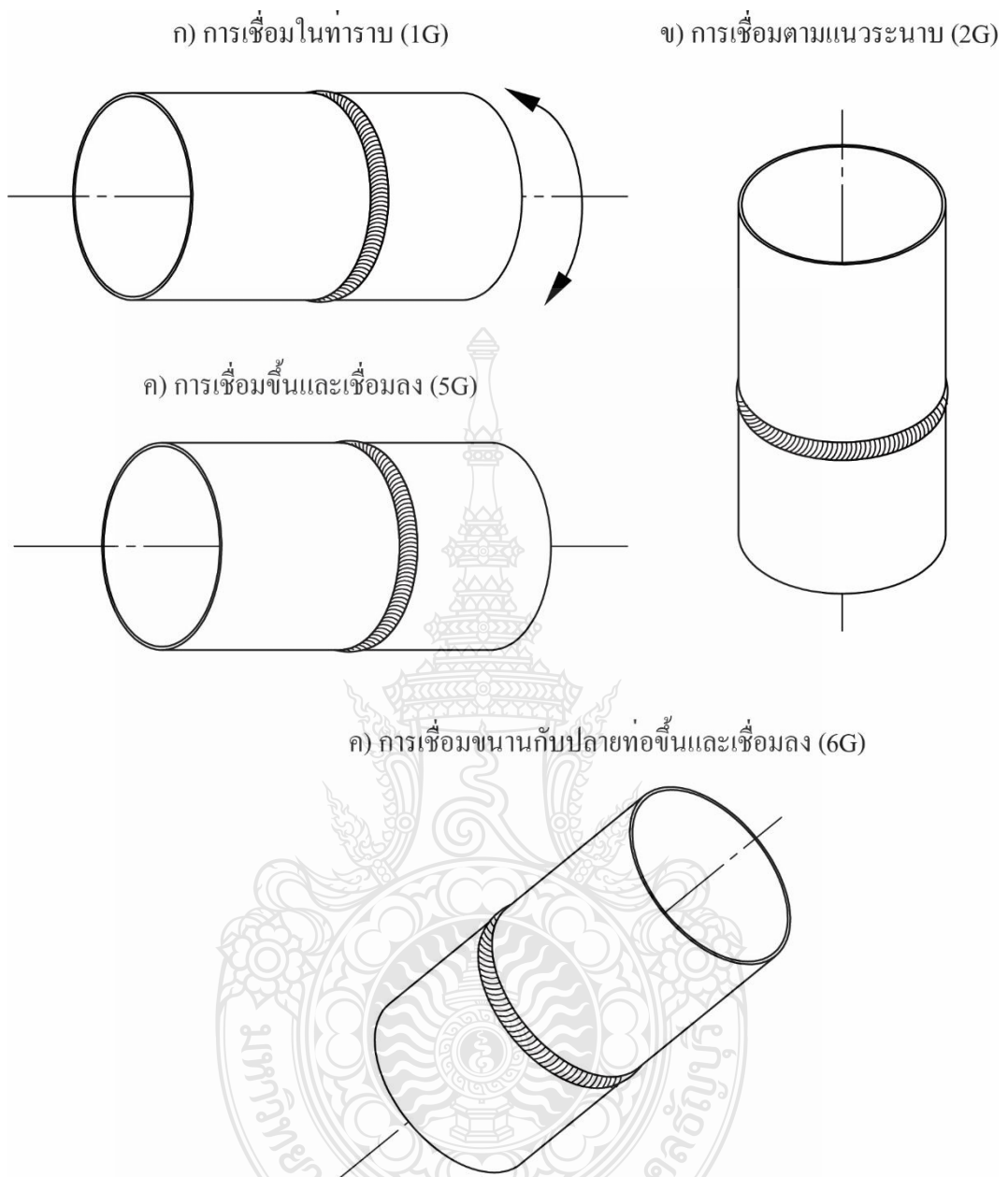
EWCe – 2 เป็นลวดเชื่อมกลุ่มใหม่ มีส่วนผสมของ Cerium Oxide หรือ Ceria ที่ช่วยให้การเริ่มต้นอาร์กดี การอาร์กสม่ำเสมอ และลดอัตราการสึกกร่อน

EWL a – 1 เป็นลวดเชื่อมที่มีส่วนผสม Lanthanum Oxide หรือ Lanthana ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลในการเชื่อมคงกับลวดเชื่อม EWCe – 2

EWTh – 1 และ EWTh – 2 มีส่วนผสมของ Thorium Oxide หรือ Thoria 1 เปอร์เซ็นต์ และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ Thoria เป็นธาตุกัมมันตภาพรังสีระดับต่ำ เมื่อผสมอยู่ในลวดเชื่อมไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายลวดเชื่อมชนิดนี้ออกแบบไว้สำหรับใช้กระแสดตรง ให้การเริ่มต้นอาร์กที่ดี อาร์กสม่ำเสมอและสามารถใช้เชื่อมที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง ลวดเชื่อมชนิด 2 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการเริ่มต้นอาร์ก อาร์กสม่ำเสมอและใช้กระแสเชื่อมได้สูงกว่าชนิด 1 เปอร์เซ็นต์

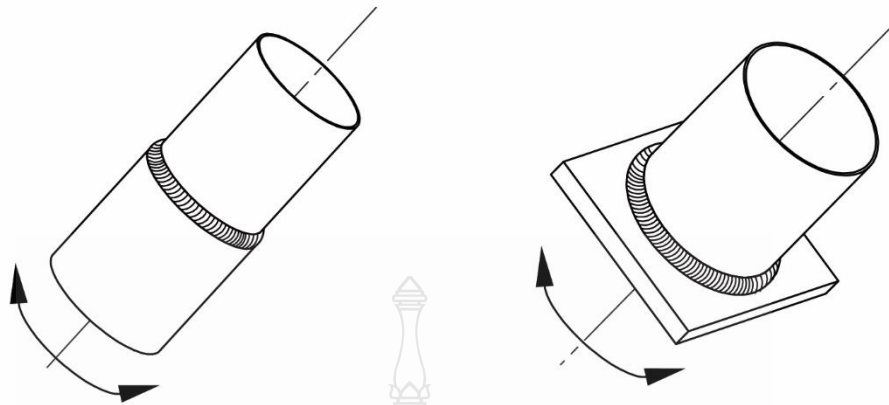
2.10 ตำแหน่งของท่าเชื่อมตามมาตรฐาน AWS A3.0M[10]

ตำแหน่งและท่าเชื่อม(Welding Position) ตำแหน่งของรอยเชื่อมสามมิติ ซึ่งให้ความหมายสัมพันธ์กับมุมลาดเอียงของแกนและการหมุนของหน้ารอยเชื่อมกับระนาบระดับ โดยในรูปที่ 2.4 ได้แสดงตำแหน่งการเชื่อมของการเชื่อมท่อและในรูปที่ 2.5 ได้แสดงตำแหน่งการเชื่อมของท่อแบบรอยต่อชนรูปตัวที

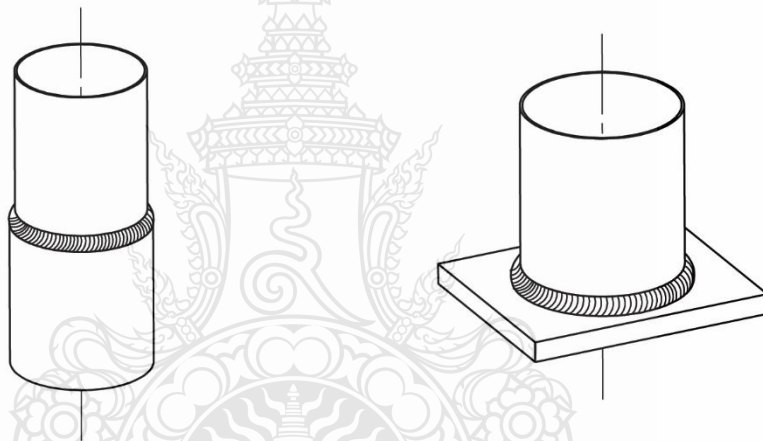


รูปที่ 2.4 ตำแหน่งการเชื่อมของการเชื่อมต่อแบบรอยต่อชน[10]

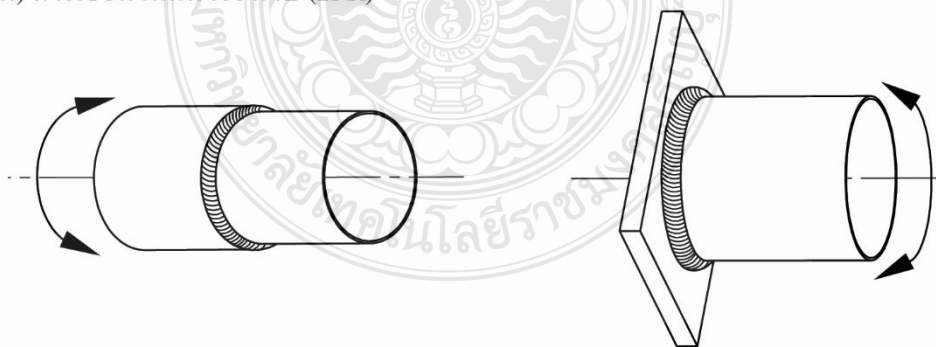
ก) การเชื่อมในท่าราบ (1F)



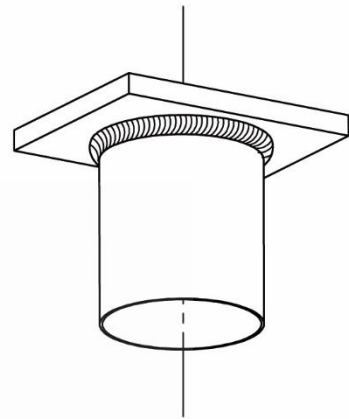
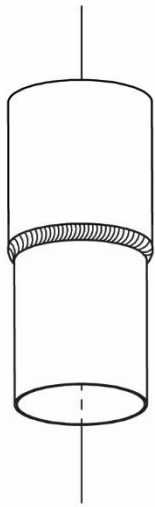
ข) การเชื่อมในแนวระนาบ (2F)



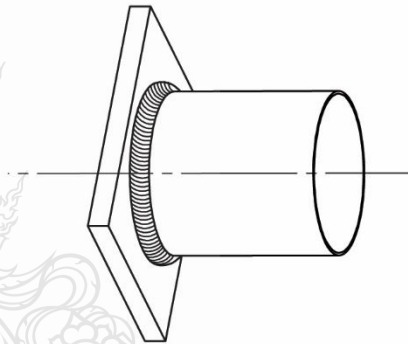
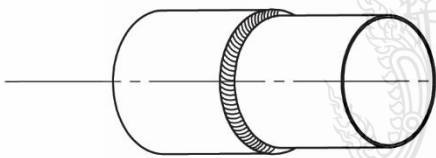
ค) การเชื่อมในแนวระนาบ (2FR)



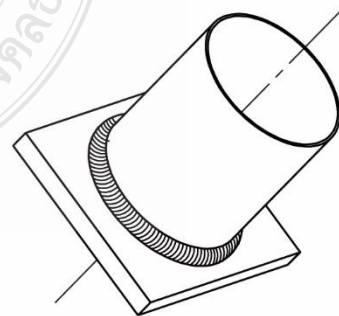
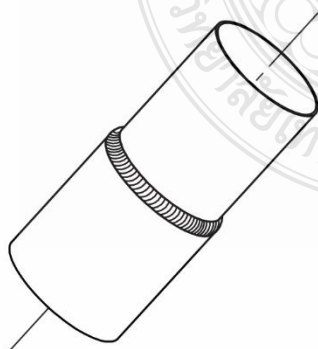
ง) การเชื่อมในท่าเหนือศีรษะ (4F)



จ) การเชื่อมขึ้นและเชื่อมลง (5F)



ฉ) การเชื่อมในแนวระนาบ (6F)



รูปที่ 2.5 ตำแหน่งการเชื่อมของการเชื่อมต่อแบบรอยต่อชนรูปตัวที[10]

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาผลงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาอิทธิพลตัวแปรในงานเชื่อม ที่มีผลต่อสมบัติ ทางโลหะวิทยา สมบัติทางกลของโลหะเชื่อมของรอยต่อชนบนวัสดุต่าง ๆ เช่น

Sireesha et al. [3] ทำการศึกษาการเชื่อมรอยต่อวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม 316LN และโลหะผสมอินโคเนล 800 โดยการเชื่อมทิก (GTAW) เพื่อศึกษาหาค่าการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะเชื่อม ขอบของพื้นที่ที่กระทบร้อนกับโลหะเชื่อม และพื้นที่ที่กระทบร้อนของแนวเชื่อม ที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงและถูกนำไปทำการใช้งานที่อุณหภูมิสูงหลังจากการเชื่อม ผลการทดลองพบว่า โลหะเชื่อมมีการแข็งตัวเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ และแสดงโครงสร้างที่เป็นเซลล์จุลภาคบริเวณโลหะเชื่อมด้านโลหะผสมอินโคเนล 800 มีผลตกฝังในโลหะเชื่อมที่เกิดจากฟลักซ์ที่ใช้ในการเชื่อม แต่บางส่วนหลุดออกไปได้เนื่องจากการเชื่อมภายใต้สภาวะแก๊สเฉื่อย การให้ความร้อนซ้ำที่อุณหภูมิสูง ก่อให้เกิดเฟสที่มีความเปราะ คือ เฟสซิกมาตกผลึกด้านเหล็กกล้าไร้สนิมแต่ไม่พบในโลหะผสมอินโคเนล 800 ทำให้แสดงให้เห็นว่า โลหะผสมอินโคเนล 800 มีความเสถียรที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่า

Selvi et.al. [11] ทำการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยวิธีการเชื่อมอาร์กทวดหุ้มฟลักซ์บนวงแหวนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ A216-WCB ด้วยลวดเชื่อม E410 E430 และ Modified E340 ที่ผ่านการอบที่ 200 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง การเชื่อมเป็นการเชื่อมซ้ำแนว 3 ชั้น และไม่มีการส่ายแนวเชื่อม ชิ้นงานเชื่อมที่ได้ถูกนำไปทำการทดสอบการสึกกร่อน ทดสอบความแข็ง และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค พบว่าความแข็งของแนวเชื่อมมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการตรวจสอบห่างออกจากผิวพอกแข็ง ปริมาณคาร์บอนในลวดเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการสึกกร่อนเพิ่มขึ้น และลวดเชื่อม Modified E340 ให้การสึกกร่อนน้อยที่สุดปริมาณโครเมียมที่เพิ่มขึ้นทำให้เม็ดเกรนมีขนาดละเอียดเพิ่มขึ้น มีความเป็นเกรนคอลลัมนาเพิ่มขึ้น และลดปริมาณและขนาดของเกรนหยาบลง

Kacar and Baylam [12] ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคและสมบัติของรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมมาเทนซิดิกและเออสเทนดิก โดยการเชื่อมอาร์กทวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ และใช้ลวดเชื่อมในการเชื่อม 2 ชนิด คือ ลวดเชื่อม E2209-17 และ E308L-16 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. ตัวแปรการเชื่อมกำหนดใช้ตามข้อบ่งใช้ของผู้ผลิตลวดเชื่อม และก่อนการเชื่อมชิ้นงานใช้ความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส แล้วทำการเชื่อมทันที ชิ้นงานเชื่อมที่ได้ถูกนำมาทำการทดสอบความแข็งแรงดึง ความแข็ง ความต้านทานการกระแทก การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและ

การทดสอบความต้านทานการกัดกร่อน ผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม E2209-17 ซึ่งเป็นลวดเหล็กกล้าไร้สนิมผิวเคลือบมีค่าต่ำกว่าลวดเชื่อม E308L-16 เล็กน้อย ค่าความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อมมีค่าที่ยอมรับได้แม้ทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอัตราการเย็นตัวที่เร็ว ความต้านทานการกัดกร่อนมีค่าต่ำ พื้นที่กระแทกร้อนถูกสารกัดกร่อนอย่างรุนแรง การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าลวดเชื่อมทั้งสองสามารถเชื่อมรอยต่อโลหะทั้งสองได้

Lee et al. [13] ทำการศึกษาการเชื่อมวัสดุต่างชนิด โดยทำการเชื่อมโลหะนิกเกิลผสมกับเหล็กกล้าไร้สนิม 304L โดยมีการเติม Ti ลงไปในโลหะเชื่อมขณะทำการเชื่อมเพื่อศึกษาผลกระทบต่อความสามารถในการเชื่อมโครงสร้างและสมบัติและสมบัติทางกลของรอยต่อ โดยการใช้การเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์รอยต่อในการทดลองคือรอยต่อชนบากร่องตัววีในการเชื่อมทำการเชื่อมแบ่งออกเป็น แนวเชื่อมสามชั้น และแนวเชื่อมแต่ละชั้นทำการเชื่อมแนวเดียว (Single Pass) เท่านั้น ในการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของไททาเนียมทำได้โดยการเพิ่มส่วนผสมทางเคมีโดยใช้ผงโลหะเฟอโรไททาเนียมในลวดเชื่อม ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณไททาเนียมทำให้โครงสร้างจุลภาคบริเวณหลอมละลายมีการเปลี่ยนแปลงจากกิ่งเดนไดรต์เป็นเดนไดรต์ที่มีความสมมาตร อีคิวแอกซ์ (Equiaxed Dendrite) ความยาวของช่องว่างระหว่างแขนเดนไดรต์ปฐมภูมิ (Primary Dendrite Arm Spacing: PDAS) มีค่าสั้นลง นอกจากนั้นทำให้ปริมาณเฟสออสเทนไนต์ไททาเนียมออกไซด์ และปริมาณเฟสที่มีปริมาณนีโอเบียมสูงลดลง ความแข็งแรงของพื้นที่หลอมละลายมีความแข็งแรงลดลง การเพิ่มปริมาณไททาเนียมทำให้เกิดการเพิ่มรอยละการยึดตัวของโลหะเชื่อม ถึงแม้ว่าค่าความแข็งแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามปริมาณไททาเนียมสูงถึง 0.91 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงนอกจากนั้นทำให้ค่าความสามารถในการเชื่อมลดลง

Coronado et al. [14] ทำการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์และการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมที่มีตัวประสานภายใน (Flux Cored Arc Welding: FCAW) แบบเดินแนวเดียวไม่มีการส่ายลวดเชื่อมบนพื้นผิวเหล็กกล้า A36 แผ่นโลหะที่ผ่านการเชื่อมถูกนำไปทำการตรวจสอบหาอัตราการสึกกร่อนตาม ASTM G65 และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ผลการทดลองพบว่าผิวพอกแข็งการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมที่มีตัวประสานภายในแสดงความต้านทานการต้านการสึกกร่อนสูงกว่าผิวพอกแข็งการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ผิวพอกแข็งชนิด B การเชื่อม อาร์กลวดเชื่อมที่มีตัวประสานภายในแสดงความต้านทานการต้านการสึกกร่อนสูงสุดในการทดลองนี้ เนื่องจากโครงสร้างจุลภาคของพื้นหลักยูเทคติกและเฟสคาร์ไบด์ที่มีปริมาณไททาเนียมสูงที่ทำหน้าที่ยับยั้งการสึกกร่อน ผิวพอกแข็งชนิด D ของการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์แสดงการสึกกร่อนสูงสุด การทดลองแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงและ

ความต้านทานการล้าการร่อนไม่มีความสัมพันธ์กัน การเกิดลักษณะนี้เนื่องจากเฟสคาร์ไบด์และพื้นหลักมีความสำคัญต่อการล้าการร่อนมากกว่าความแข็งของผิวพอกแข็ง

Lee et al. [4] ทำการศึกษาเพื่อหาค่าพังทลายจากการเกิดความล้า (Fatigue) และการเกิดการคืบตัว (Creep) ของรอยต่อเชื่อมมิกรอยต่อชนเหล็กกล้าผสม 9Cr-1Mo และเหล็กกล้าไร้สนิม 316L โดยในการเชื่อมต้องมีการเชื่อมชั้นผิวที่ด้านของเหล็กกล้าผสม 9Cr-1Mo ก่อนด้วยลวดเชื่อมที่ใช้เป็นโลหะเชื่อมก่อนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมตัวเดียวกัน ชิ้นงานที่ได้นำมาทำการทดสอบความล้าคืบตัว (Creep Fatigue Testing) อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และให้แรงคงที่ 30 เมกะปาสกาล (MPa) ผลการทดลองที่ได้ถูกนำไปทำการเปรียบเทียบกับรอยต่อที่เป็นโลหะชนิดเดียวพบว่า รอยต่อวัสดุต่างชนิดนั้นมีค่าการพังทลายที่วิกฤตกว่า คือทนต่อความล้าคืบตัวที่ค่าต่ำกว่า

Das et al. [5] ทำการศึกษาความสามารถในการเชื่อมของรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก 304L และเหล็กกล้าไร้สนิม 403 โดยการเชื่อมทิก (GTAW) โดยการใช้ลวดเชื่อม BRNiCr-3 โดยการเชื่อม 2 รูปแบบ คือ การเชื่อมแนวนับฟอว์ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 อีกแบบการเชื่อมแนวนับฟอว์ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 พร้อมทำการอบหลังการเชื่อม (Post-Weld Heat-Treatment) ผลการทดลองพบว่าพื้นที่ที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 มีความเหนียวและสามารถยึดตัวคล้ายกับด้านที่ทำการอบหลังการเชื่อมผลการทดลองระบุว่า หากทำการเชื่อมลักษณะนี้ไม่จำเป็นต้องทำการอบชุบหลังการเชื่อมเพราะกระบวนการเชื่อมที่ออกแบบนั้นมีวัฏจักรความร้อนที่ส่งผลคล้ายกับการอบชุบให้แก่ชิ้นงานแล้ว

การศึกษาผลงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษางานเชื่อมบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม และโดยทำการเชื่อมของรอยต่อชนลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของปริมาณธาตุที่ต่างกันและได้มีการศึกษาอิทธิพลตัวแปรในงานเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติทางโลหะวิทยา และสมบัติทางกล

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษากรรมวิธีการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสแก๊สคลุม (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) รอยต่อชนวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 โดยมีการศึกษาหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อวัสดุต่างชนิด โดยนำชิ้นงานผ่านกระบวนการเชื่อมไปทำการทดสอบสมบัติทางกลและตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา การวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค AISI 316 และเหล็กกล้าไร้สนิมออกเทนนิค AISI 304L โดยมีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งวัสดุทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร ยาว 190 มิลลิเมตร และหนา 1.2 มิลลิเมตร โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน JIS Z 3121



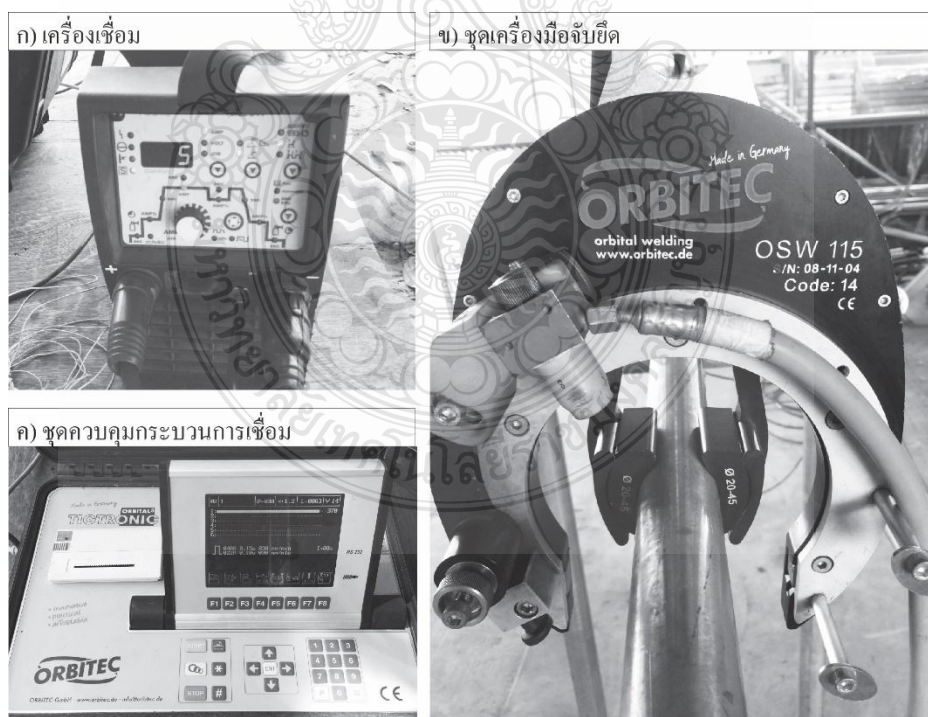
รูปที่ 3.1 ขนาดชิ้นงานก่อนทำการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัสดุ	ส่วนผสมทางเคมี (ร้อยละมวล)							
	ชนิด	Standard	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
ท่อเหล็กกล้า ไร้สนิม	AISI 316	0.062	0.584	1.70	18.43	12.41	2.05	
ท่อเหล็กกล้า ไร้สนิม	AISI 304L	0.025	0.41	1.14	1.14	16.9	0.02	

3.1.2 เครื่องเชื่อมในการทำวิจัย

กรรมวิธีการเชื่อมในการวิจัยในครั้งนี้คือ การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีล โดย การเชื่อมนี้ได้กำหนดใช้แก๊สคลุม(Shielding gas) ชนิดอาร์กอน(Argon : Ar) และกระบวนการเชื่อมเป็น การเชื่อมแบบอัตโนมัติ ซึ่งใช้อุปกรณ์ในการเชื่อมที่มีเครื่องหมายการค้า ORBITEC รุ่น OSW-115 ที่ สามารถจับยึดท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 20 ถึง 40 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

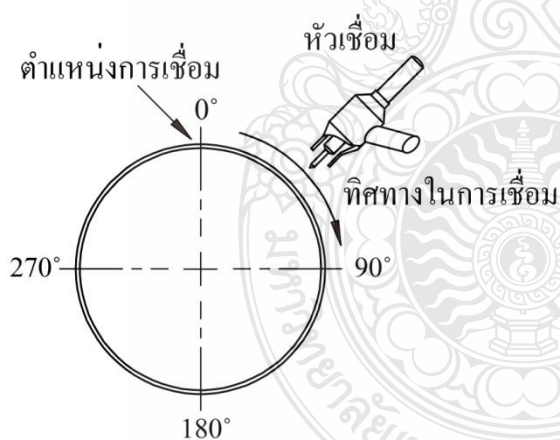
การดำเนินการทดลองเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสกลุ่มรอยต่อชนท่อด้านต่างชนิด จะสามารถแบ่งตัวในการทดลองและวิธีการดำเนินการทดลองโดยรายละเอียด มีดังนี้

3.2.1 ตัวแปรในการทดลองการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสกลุ่มรอยต่อชนท่อด้านต่างชนิด

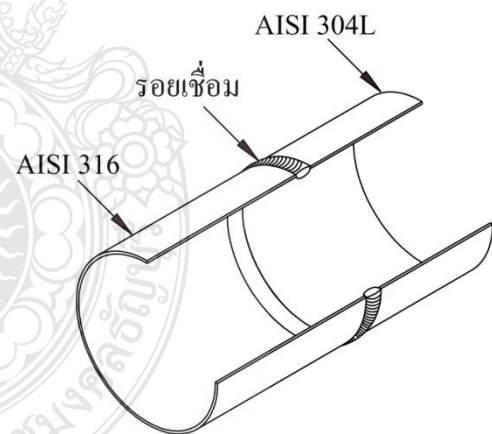
- 1) กระแสเชื่อม มีทั้งหมด 5 กระแส คือ 25, 35, 45, 55 และ 65 แอมแปร์
- 2) ความเร็วเดินเชื่อมมีทั้งหมด 5 ระดับ คือ 80, 90, 100 และ 110 มิลลิเมตร

การออกแบบรอยเชื่อมได้กำหนดเป็นแบบการเชื่อมต่อชนไม่มีการบวกหน้างาน(Square Groove Weld) ดังแสดงในรูปที่ 3.3(ข) และกำหนดทิศทางในการเชื่อมตามเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 3.3(ก) โดยทำการเริ่มต้นเชื่อมในตำแหน่งที่ 0 องศา และเชื่อมจนครบ 1 รอบ (0-360 องศา) ดังแสดงในรูปที่ 3.3(ก)

ก) ทิศทางในการเชื่อม



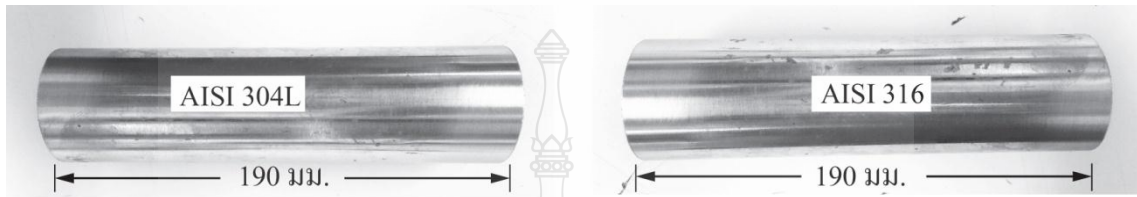
ข) การเชื่อมรอยต่อชนแบบไม่บวกหน้างาน



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสของรอยต่อชน

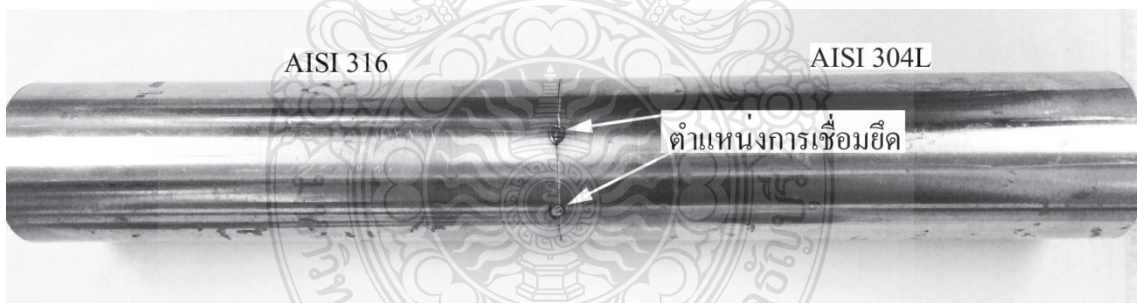
3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดลอง

1) นำท่อเหล็กกล้าไร้สนิม ทั้ง 2 ชนิด มาทำการจับยึดที่บริเวณอุปกรณ์ในเครื่องตัด และทำการวัดขนาดจากปลายท่อเหล็กกล้าไร้สนิมจนถึงเครื่องมือคมตัดให้ได้ 190 มิลลิเมตร โดยปฏิบัติตาม JIS Z 3121 ทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

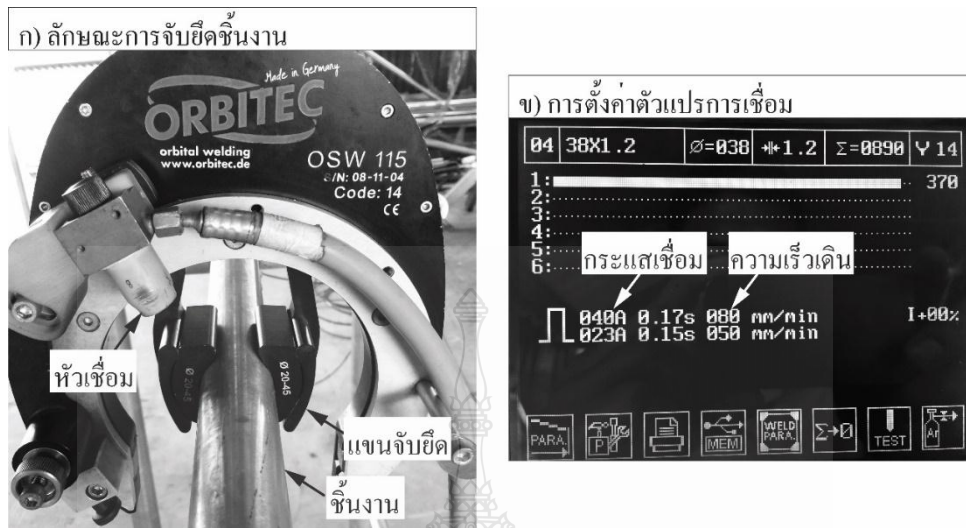
2) เมื่อได้ทำการตัดท่อเหล็กกล้าไร้สนิมทั้ง 2 ชนิด ให้ได้ตามที่กำหนดในขั้นตอนที่ 1 แล้วเสร็จในขั้นตอนต่อไป คือ การเชื่อมยึดท่อเหล็กกล้าไร้สนิม ทั้ง 2 ชนิดเข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเชื่อมยึดชิ้นงานทดสอบ

3.2.3 ขั้นตอนการทดลองเชื่อม

นำชิ้นงานทดลองที่ได้ผ่านขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานในหัวข้อ 3.2.2 ได้ถูกทำการจับยึดกับแขนจับยึดของเครื่องเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 3.6(ก) และทำการปรับตั้งค่าตัวแปรที่กำหนดในการเชื่อม ตามหัวข้อ 3.2.1 โดยมีปริมาณกระแสไฟในการเชื่อมและความเร็วในการเดินเชื่อมในงานวิจัยนี้ซึ่งการเชื่อมไม่มีการเติมลวดเชื่อม โดยการเชื่อมนี้ได้ปฏิบัติตามมาตรฐาน AWS 01.1 5G



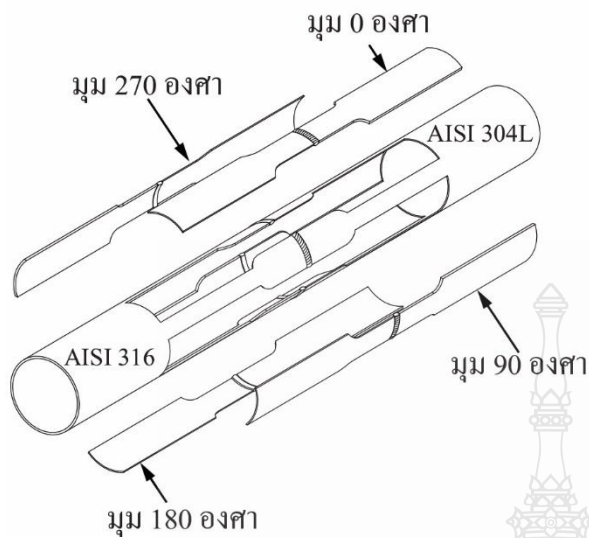
รูปที่ 3.6 ลักษณะการจับยึดชิ้นงานและการตั้งค่า

3.3 การเตรียมชิ้นงานทดสอบรอยเชื่อม

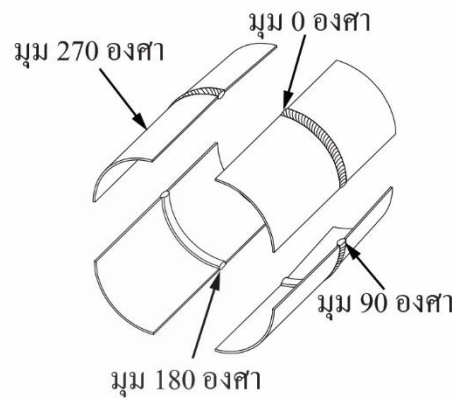
3.3.1 ออกแบบการตัดชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมในหัวข้อ 3.2.3 จะทำการเชื่อมตัวแปรละ 2 ชุดด้วยกัน โดยจะนำชุดที่ 1 มาทำการออกแบบสำหรับชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.7(ก) และสำหรับชิ้นงานทดสอบชุดที่ 2 จะนำมาทำการออกแบบสำหรับการตัดชิ้นงานตรวจสอบกายภาพทางโลหะวิทยาและความแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 3.7(ข) ในชิ้นงานทั้ง 2 ชุดจะทำการตัดแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ตามมุมในการทดสอบที่กำหนดคือ มุม 0, 90, 180 และ 270 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.7(ก และ ข)

ก) การทดสอบความแข็งแรงดึง



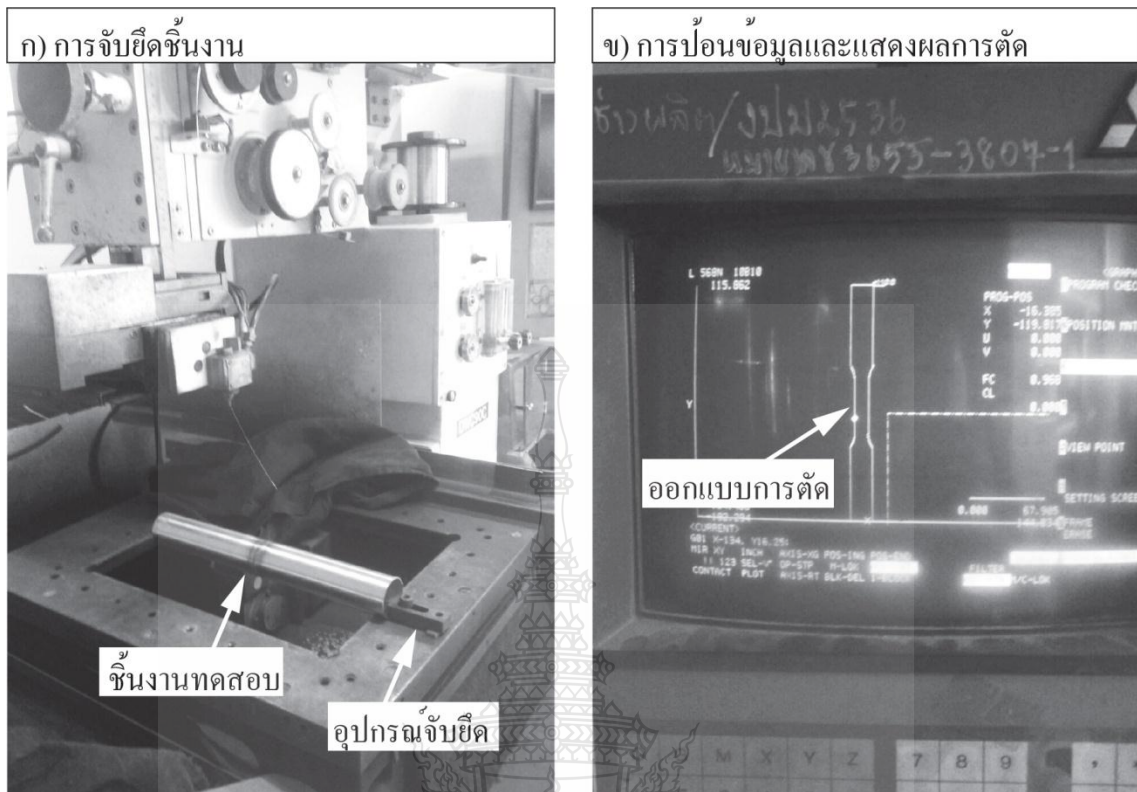
ข) การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา



รูปที่ 3.7 การออกแบบการตัดชิ้นงานทดสอบสมบัติรอยเชื่อม

3.3.2 กระบวนการตัดชิ้นงานทดสอบรอยเชื่อม

ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านขั้นตอนการออกแบบการตัดชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.7(ก)และ(ข) ซึ่งในกระบวนการตัดชิ้นงานทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่องตัดโลหะด้วยไฟฟ้า (Wire-Cut Electrical Discharge Machines) ดังแสดงในรูปที่ 3.8(ก) โดยขั้นตอนในการตัดชิ้นงานทดสอบรอยเชื่อม จะนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อม มาทำการจับยึดด้วยอุปกรณ์จับยึด ดังแสดงด้วยลูกศรมีรูปที่ 3.8(ก) และทำการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรในการตัดชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.8(ข)

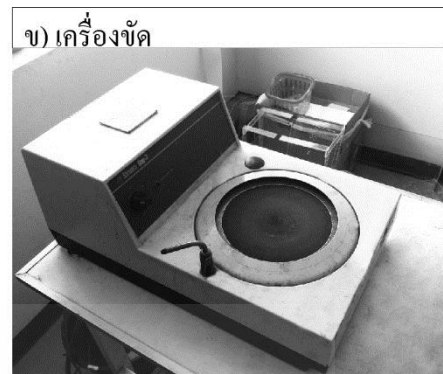
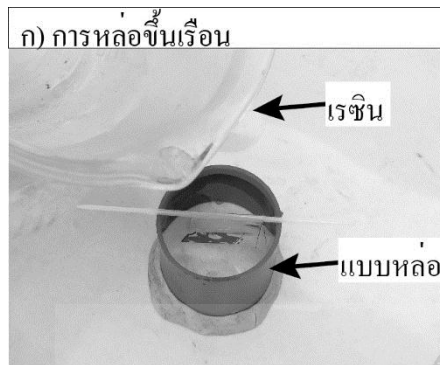


รูปที่ 3.8 กระบวนการตัดชิ้นงานทดสอบรอยเชื่อม

3.4 การตรวจสอบโครงสร้างกายภาพทางโลหะวิทยา

3.4.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา จะใช้ชิ้นงานทดสอบชุดที่ 2 ที่ได้ผ่านกระบวนการออกแบบและการตัดชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.8(ข) ชิ้นงานได้ถูกทำการขึ้นเรือนด้วยการหล่อด้วยเรซิน ดังแสดงในรูปที่ 3.9(ก) และชิ้นงานที่ทำการขึ้นเรือนแล้วถูกนำมาขัดหยาบด้วยกระดาษทรายน้ำ เริ่มต้นที่ เบอร์ 300, 400, 600, 800 และ 1000 ตามลำดับ จากนั้นนำมาขัดละเอียดด้วยผงเพชร (Diamond) ที่มีขนาด 1 ไมครอน และล้างด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic Cleaner) เป็นเวลา 3 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.9(ค) แล้วทำการกัดชิ้นรอยด้วยกรดที่ประกอบด้วย $\text{HNO}_3 + \text{HCl} + \text{น้ำกลั่น}$ เวลาที่ใช้ประมาณ 15-20 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.9(ง) และล้างด้วยเครื่องอัลตราโซนิกซ้ำอีกครั้ง



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการกัดชิ้นรอย

3.4.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ของรอยเชื่อม โดยจะใช้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบซุม (Stereo Microscopes) ดังแสดงในรูปที่ 3.10(ก) และทำการตรวจสอบดูจุดบกพร่องบริเวณโลหะเชื่อม (Weld Zone) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat Affected Zone : HAZ) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 (ข)

ก) ตำแหน่งการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาค



ข) กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ แบบซูม



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

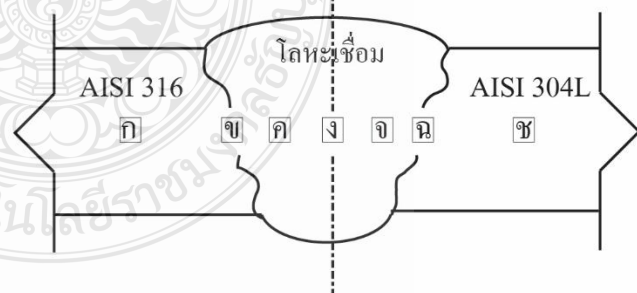
3.4.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ในงานวิจัยนี้ใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ข) เพื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเพื่อแสดงรายละเอียดของเฟสของเกรน ตามตำแหน่งที่กำหนด (ก) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 (ข) บริเวณเขตหลอมละลายระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 (ค) โลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 (ง) กึ่งกลางโลหะเชื่อม (จ) โลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L (ฉ) บริเวณเขตหลอมละลายระหว่างโลหะเชื่อม และ (ช) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ข)

ก) กล้องจุลทรรศน์แบบแสง



ข) ตำแหน่งการตรวจ โครงสร้างจุลภาค



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

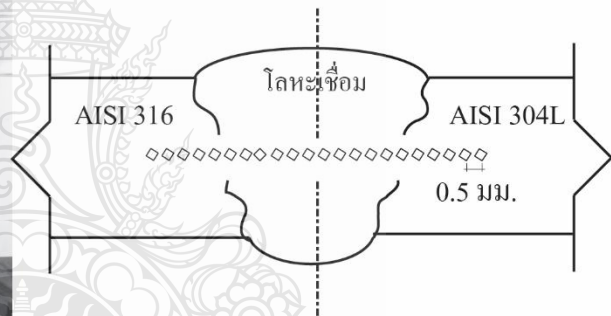
3.5 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็ง จะใช้ชิ้นงานทดสอบชุดเดียวกับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยการนำไปขัดซ้ำด้วยกระดาษทรายน้ำ เบอร์ 1200 เพื่อชำระสิ่งสกปรกออกให้หมด และล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วใช้ลมเป่าให้แห้ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers) โดยเครื่องที่ใช้ในการทดลองมีเครื่องหมายการค้า Matsuzawa รุ่น MXT 70 ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ซึ่งในการทดสอบความแข็งนี้ทำการเริ่มต้นการทดสอบบริเวณกึ่งกลางโลหะ เชื่อมและทดสอบไปทางด้าน AISI 316 แล้วย้อนกลับไปทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L ดังแสดงในรูปที่ 3.12(ข) โดยการทดสอบนี้กำหนดให้แรงในการกด 100 กรัม และเวลาในการแช่ 10 วินาที ซึ่งบัญญัติตามมาตรฐาน ASTM E92

ก) เครื่องทดสอบความแข็ง



ข) ตำแหน่งทดสอบความแข็ง

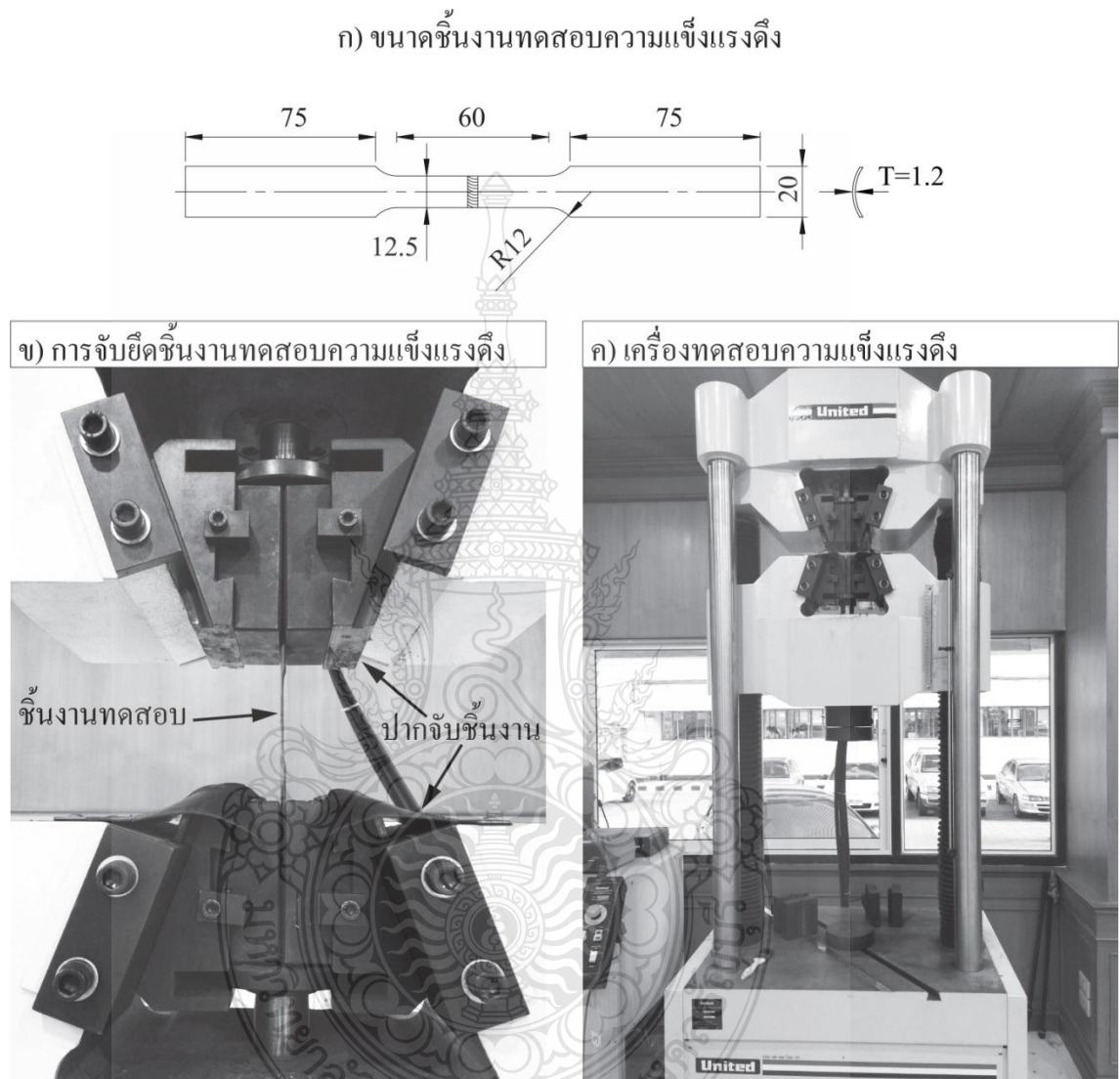


รูปที่ 3.12 อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบความแข็ง

3.6 การทดสอบการต้านทานต่อความแข็งแรงดึง

ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านกระบวนการตัดแบ่งชิ้นงานสำหรับการทดสอบความแข็งแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และขนาดของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.18 (ก) มาตรฐาน ASTM E8 โดยจะนำชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงมาทำการจับยึด ที่บริเวณปากจับชิ้นงานทดสอบของเครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.13 (ข) และในการทดสอบความแข็งแรงดึงนี้

ได้ใช้เครื่องทดสอบที่มีเครื่องหมายการค้า United ดังแสดงในรูปที่ 3.13 (ค) โดยกำหนดความเร็วใน
ความแข็งแรงดึง(Displacement speed) 0.5 มิลลิเมตรนาที [15]

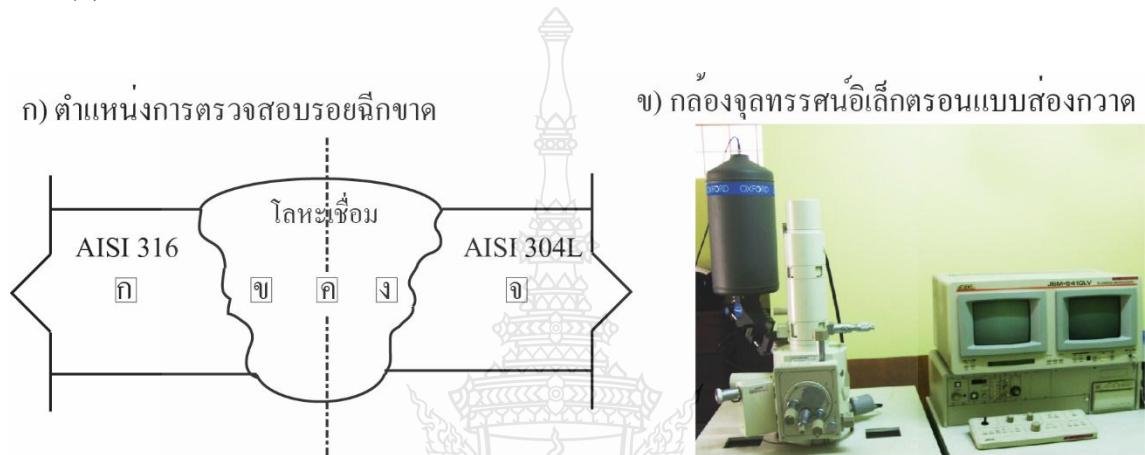


รูปที่ 3.13 การทดสอบการต้านทานต่อความแข็งแรงดึง

3.7 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีและวิเคราะห์ปริมาณธาตุ

รูปที่ 3.14 ได้แสดงถึงการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีและการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ โดยจะ
ทำการตรวจสอบบริเวณโลหะเชื่อมทั้ง 3 ตำแหน่ง ได้แก่ โลหะเชื่อมใกล้กับทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม
AISI 316 กึ่งกลางโลหะเชื่อมและโลหะเชื่อมใกล้กับทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ดังแสดงใน

รูปที่ 3.14 (ก) และการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีจะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative-Analysis) การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) จะทำการตรวจสอบในตำแหน่งพื้นที่ ดังที่กำหนดไว้ในรูปที่ 3.15 (ก) การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีในงานวิจัยนี้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกวาด เครื่องหมายการค้า JEOL โดยมีกำลังขยายตั้งแต่ 15-200,000 เท่า และเครื่องวิเคราะห์กระจายการพลัง โดยมีเครื่องหมายการค้า OXFORD ดังแสดงในรูป 3.14 (ข)



รูปที่ 3.14 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีและวิเคราะห์ปริมาณธาตุ



บทที่ 4

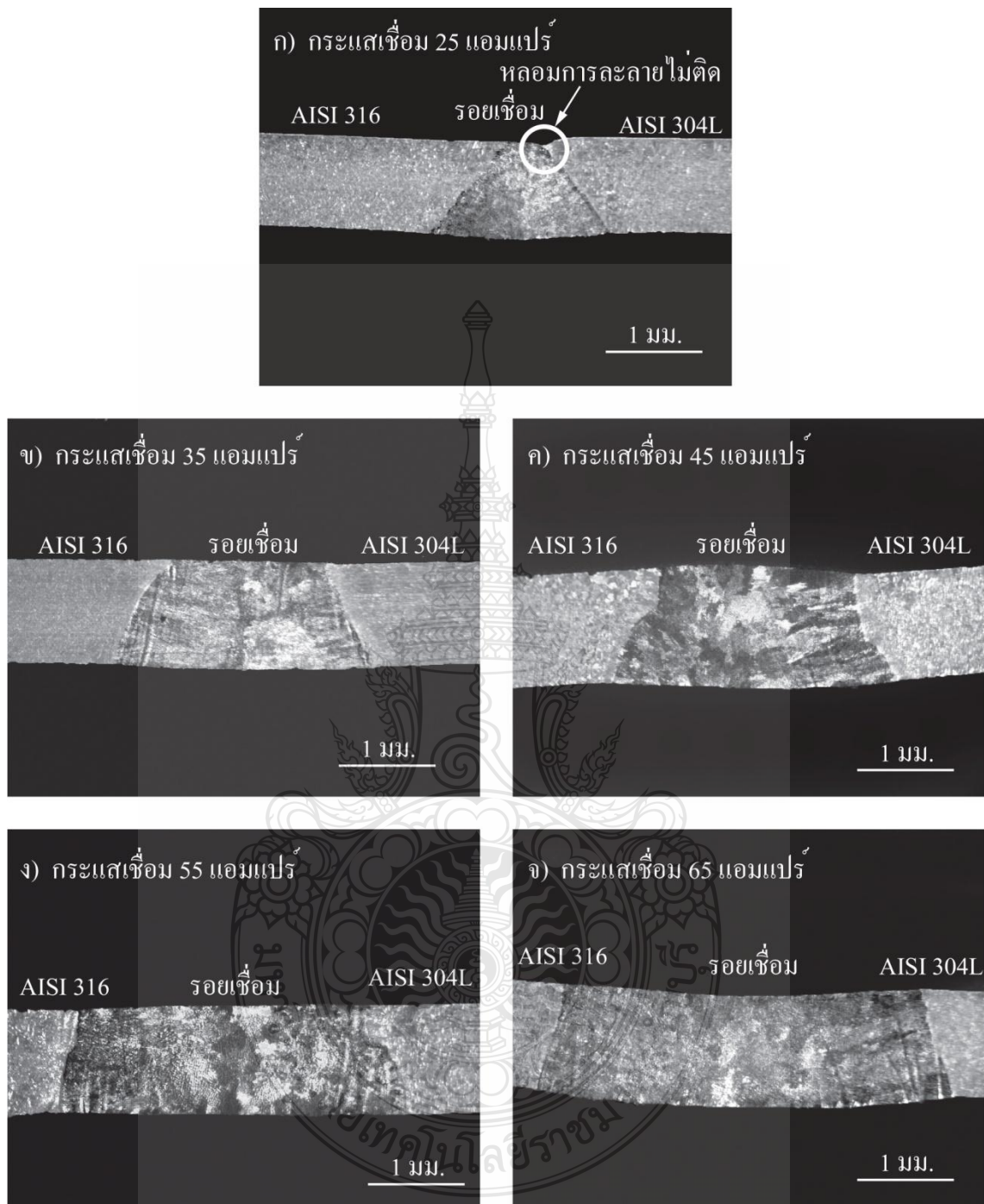
ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสเดนแก่สกลุ่มต่อสมบัติของโลหะเชื่อมรอยต่อชน ต่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ AISI 304L

การทดลองในหัวข้อ 4.1 เริ่มต้นการทดลองด้วยการศึกษาอิทธิพลของปริมาณของกระแสเชื่อม 5 ระดับ ได้แก่ 25, 35, 45, 55 และ 65 แอมแปร์ ของการเชื่อมอาร์กทั้งสเดนแก่สกลุ่มต่อสมบัติของโลหะเชื่อมรอยต่อชนต่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ AISI 304L ซึ่งจะนำชิ้นงานทดสอบมาศึกษาทางโครงสร้างโลหะวิทยาความแข็ง และการต้านทานต่อแรงดึง ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

4.1.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสเดนแก่สกลุ่มต่อโครงสร้างมหภาค

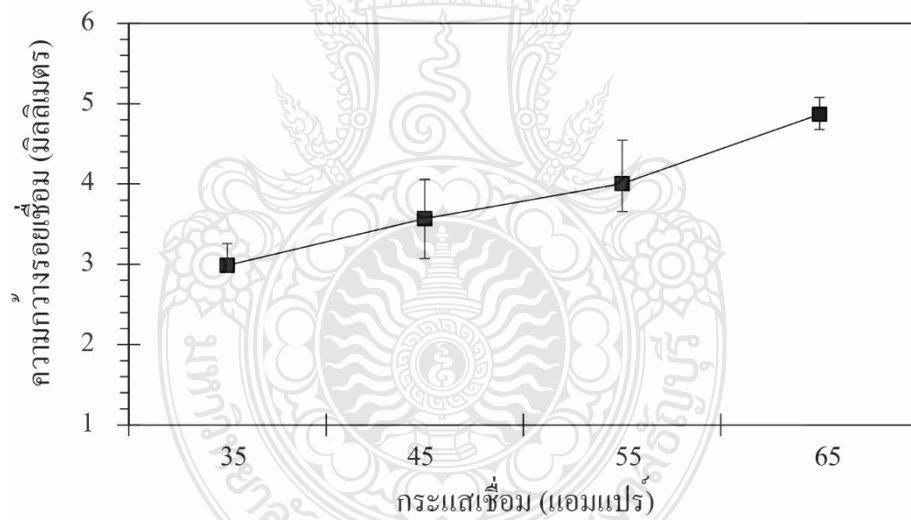
การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาในหัวข้อ 4.1.1 นี้จะทำการเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ของชิ้นงานที่ทำการเชื่อมอาร์กทั้งสเดนเริ่มต้นที่กระแส 25, 35, 45, 55 และ 65 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่า กระแสเชื่อมอาร์กทั้งสเดนที่ปริมาณกระแส 25 แอมแปร์ มีแนวเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดการซึมลึกของรอยเชื่อมน้อยเกินไป (Inadequate Joint Penetration) จึงส่งผลให้เกิดการหลอมไม่สมบูรณ์ (Lack Of Fusion) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก) ซึ่งจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นอาจลดจำนวนหรือกำจัดให้หายไปได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อม เช่น กระแสเชื่อมแรงดันเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมให้มีความเหมาะสม [16] ซึ่งเมื่อทำการเพิ่มกระแสเชื่อม 35, 45 และ 55 แอมแปร์ พบว่า รอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ปราศจากจุดบกพร่องใดๆในโลหะเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ข-ง) และในชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแส 65 แอมแปร์ พบว่ารอยเชื่อมมีความกว้างที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสอื่นที่ผ่านมา ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (จ) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับงานวิจัยของ S.P.Lu [17] ที่ได้กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของกระแสเชื่อมจะส่งผลโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงความร้อนและการกระจายความร้อนซึ่งเป็นข้อสังเกตว่าการเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมมีผลต่อขนาดของโลหะเชื่อม



รูปที่ 4.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนด์สแตนด์แก่สเปกคูลุมต่อการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

4.1.2 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก่สปกคลุมต่อความกว้างของรอยเชื่อม

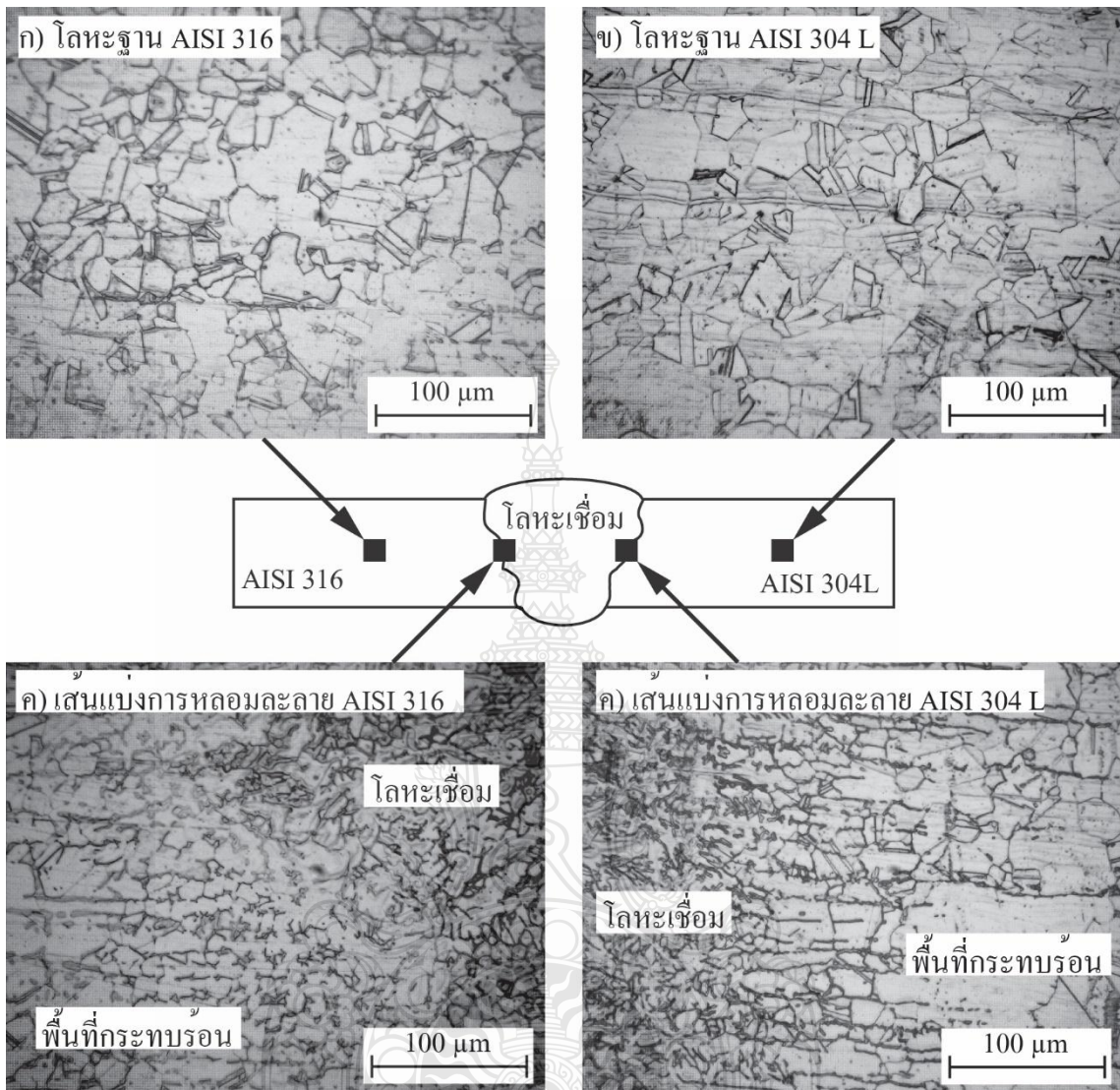
จากหัวข้อที่ 4.4.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค จะสามารถสังเกตเห็นถึงความแตกต่างของความกว้างรอยเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จึงได้ทำการวัดขนาดความกว้างของรอยเชื่อมในชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก่สคลุมที่กระแสเชื่อม 35, 45, 55 และ 65 แอมแปร์ พบว่าความกว้างรอยเชื่อมที่มีน้อยที่สุดคือ ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแส 35 แอมแปร์ มีความกว้างรอยเชื่อมเฉลี่ย 2.987 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.2 อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเพิ่มกระแสในการเชื่อม พบว่าความกว้างรอยเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกระแสในการเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และกระแสในการเชื่อมที่ส่งผลต่อความกว้างสูงที่สุด คือ กระแสเชื่อม 65 แอมแปร์ ซึ่งมีความกว้างรอยเชื่อมเฉลี่ย 4.868 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งในงานวิจัยของ Ramkumar และคณะได้กล่าวถึงความกว้างของรอยเชื่อมซึ่งรู้จักกันว่าแรงขับเคลื่อนที่สำคัญคือ กระแสเชื่อมและแรงการอาร์กที่กระทำต่อการเชื่อมมีผลต่อการพาความร้อนในน้ำโลหะบริเวณบ่อหลอมละลายที่สูงขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการลดลงของแรงดึงผิวจะมีมากที่สุดบริเวณของบ่อหลอมละลายของการเชื่อม [18]



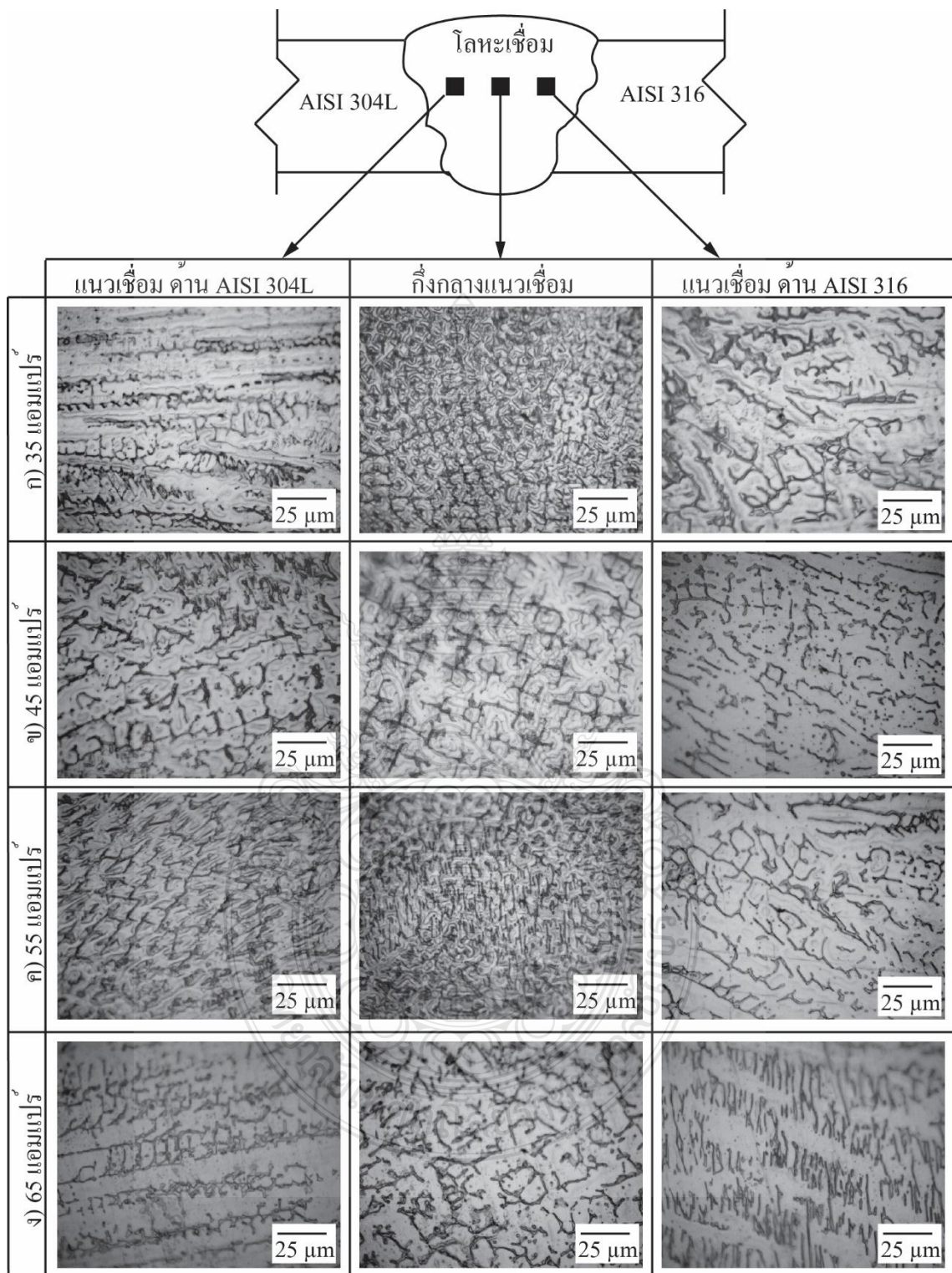
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมต่อความกว้างรอยเชื่อม

4.1.3 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก่สปกคลุมต่อโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยจะทำการตรวจสอบในตำแหน่ง ก, ข, ฉ และ ช ดังแสดงในรูปที่ 3.11) พบว่า บริเวณในตำแหน่งบริเวณฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 โครงสร้างจุลภาคประกอบไปด้วยเกรนที่มีลักษณะค่อนข้างกลมที่มีความละเอียด (fine equared grains) ของออสเทนไนท์ ซึ่งมีส่วนคล้ายการอบอ่อนในการ โครงสร้างออสเทนไนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก) และมีการปะปนของเฟสเดลต้าเฟอร์ไรต์ (delta ferrite) ในรูปแบบของการแทรกตัวกระจายอยู่ภายในเกรนและขอบเกรน [19] ดังแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 4.3 (ก) และพื้นที่ที่กระทบร้อนสามารถสังเกตได้ในรูปที่ 4.3 (ก) พบโครงสร้างจุลภาคของพื้นที่บริเวณนี้มีเอกลักษณ์ที่เฉพาะด้วยการเพิ่มขึ้นของขนาดของเกรน อันเนื่องมาจากข้อเท็จจริงที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิปกติที่บริเวณเขตหลอมละลาย [20] ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก) และโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมของทุกมุมในการเชื่อมพบว่า เกิดการก่อตัวของโครงสร้างเดนไดรต์ พื้นที่สีขาวของโครงสร้างจุลภาคและพื้นที่สีดำแสดงพื้นที่แบ่งแยกเดนไดรต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และในบริเวณพื้นที่ กระทบร้อนทางด้าน เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ค) พบว่ามีลักษณะเกรนที่มีขนาดใหญ่ ที่คล้ายกับพื้นที่ที่กระทบร้อน ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ค) และเมื่อได้ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 พบว่า ลักษณะเฟสเดลต้าเฟอร์ไรต์ที่ผ่านการรีดขึ้น มีลักษณะเป็นแผ่นรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า [21] ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ข) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างจุลภาคของ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ข)



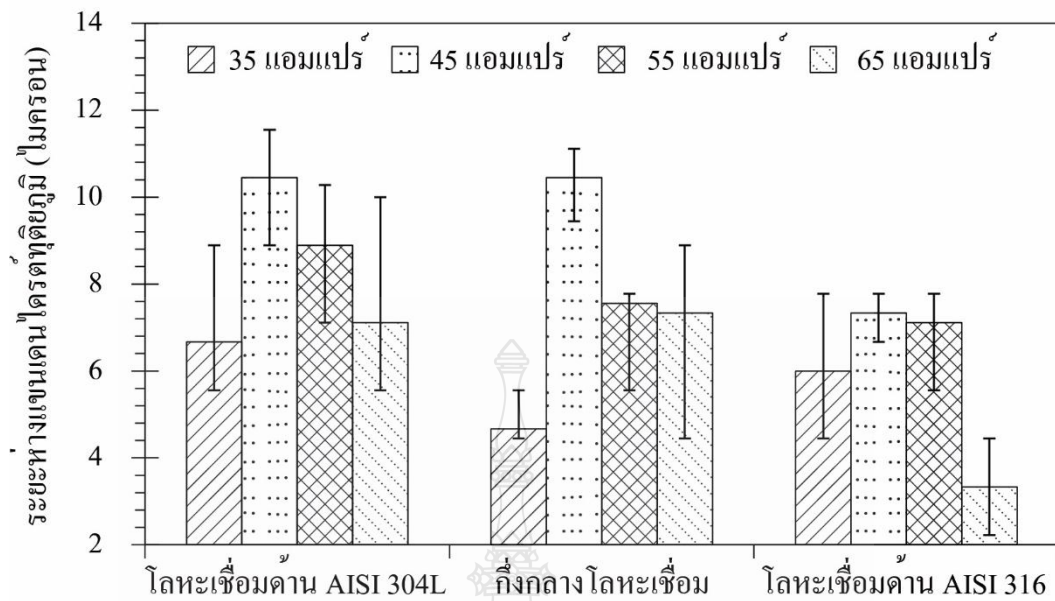
รูปที่ 4.3 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมต่อการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค



รูปที่ 4.4 โครงสร้างจุลภาคโลหะเชื่อมต่อกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุม

4.1.4 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนท์สเปกตรัมต่อระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิ

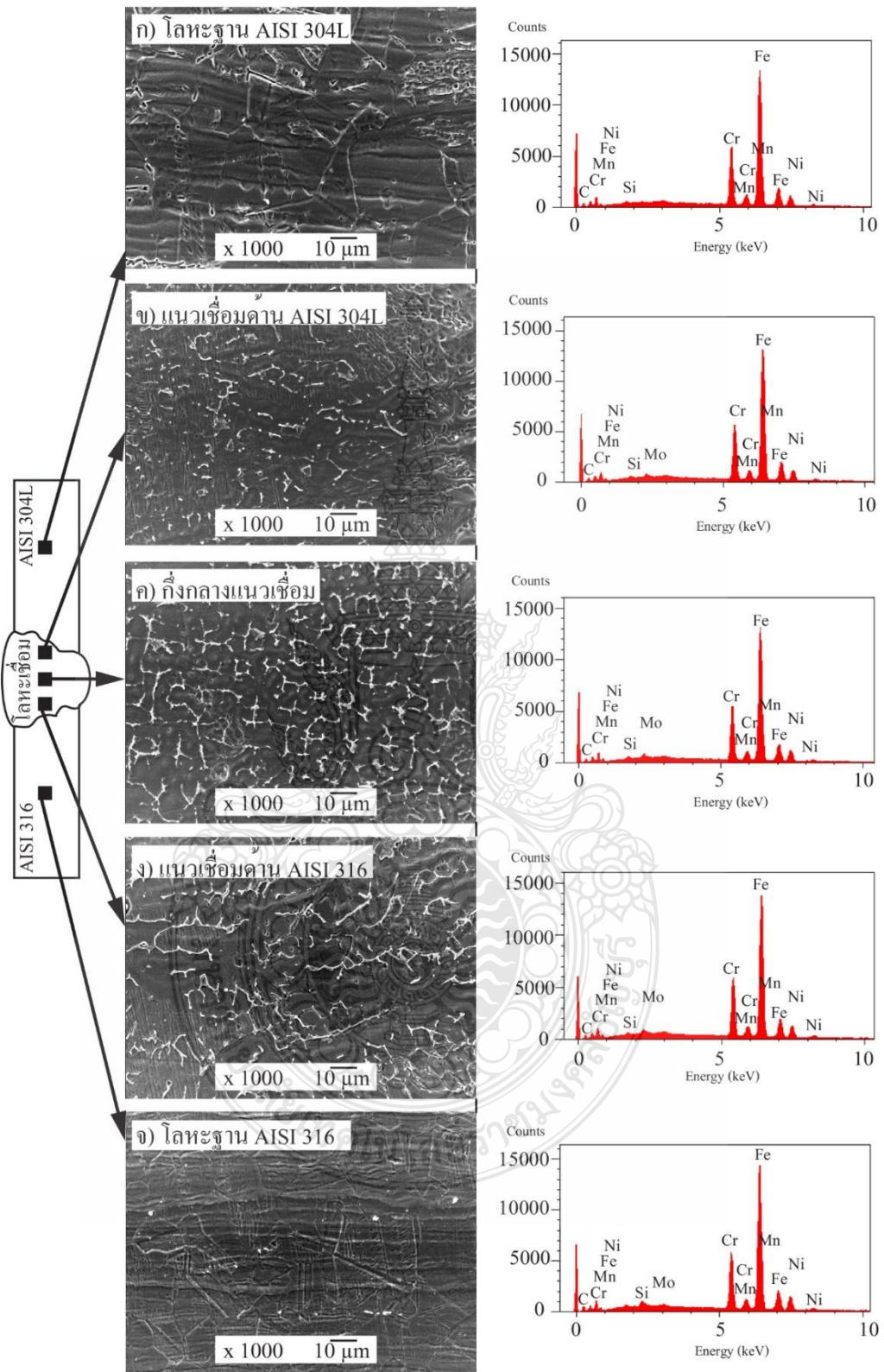
ในรูปที่ 4.4 (ก-ง) ได้แสดงถึง โครงสร้างของ โลหะเชื่อมของชิ้นงานทดสอบที่ถูกเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 35 45 55 และ 65 แอมแปร์ พบว่าโครงสร้างจุลภาคบริเวณ โลหะเชื่อมที่มีการกระจายตัวของเฟสเดนไดรต์ มีความแตกต่างกันในแต่ละกระแสเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ก-ง) จึงได้ทำการวัดระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิ (Secondary Dendrite Arm Spacing : SDAS) พบว่า ระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิบริเวณโลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L ระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ที่มากที่สุด เมื่อได้ทำการเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อมทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และในกระแสเชื่อม 35 แอมแปร์ มีระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ประมาณ 6.01 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 โดยระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ของของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 45 แอมแปร์ มีค่าประมาณ 7.35 ไมครอน อย่างไรก็ตามเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น ระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิมีแนวโน้มที่ลดลงและระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิที่มีน้อยที่สุดอยู่ในชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 65 แอมแปร์ ซึ่งมีระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิประมาณ 3.34 ไมครอน โดยในงานวิจัยของ Machiko ODE และคณะ [22] ได้กล่าวถึง ระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ เนื่องจากปัจจัยที่สำคัญจะขึ้นอยู่กับอัตราเย็นตัวและระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งในพื้นที่



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมต่อระยะห่างแขนคานไคร์ททุติยภูมิบริเวณโลหะเชื่อม

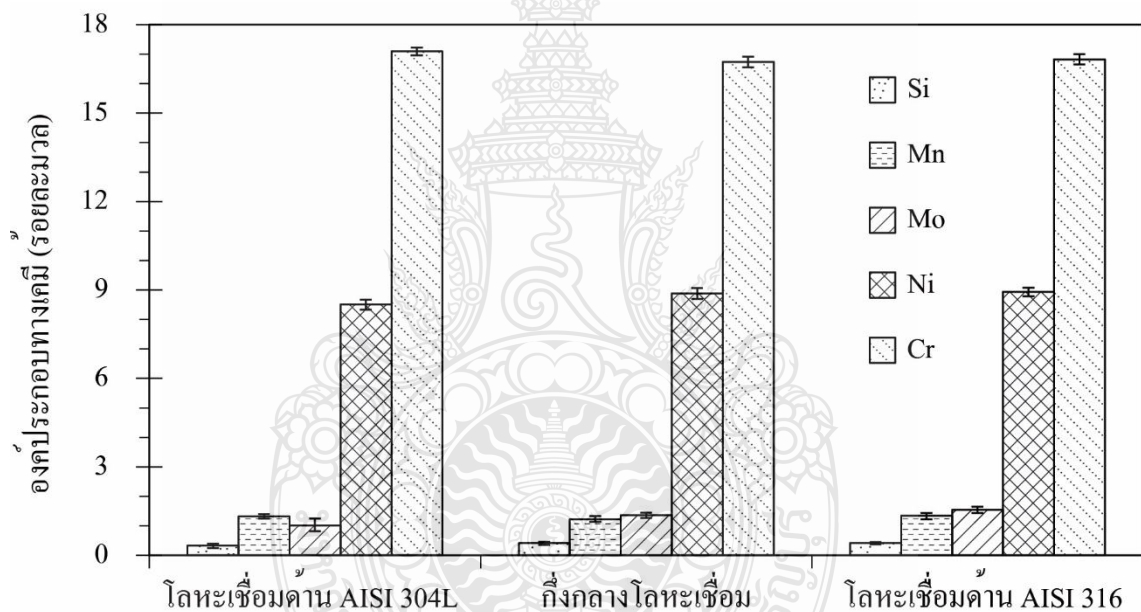
4.1.5 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีบริเวณโลหะเชื่อม

การตรวจสอบการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีบริเวณพื้นโลหะเชื่อมที่ได้ทำการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 45 แอมแปร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า โครงสร้างจุภาคบริเวณโลหะเชื่อมทั้ง 3 ตำแหน่ง ได้แก่ โลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมทางด้าน AISI 304L กึ่งกลางโลหะเชื่อม และโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมทางด้าน AISI 316 มีลักษณะของเฟสคานไคร์ท ทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ข-ง) จึงได้ทำการตรวจสอบการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี ด้วยการวิเคราะห์การกระจายพลัง (Energy dispersive spectrometry : EDS) วิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative) ในบริเวณโลหะเชื่อมทั้ง 3 ตำแหน่ง พบว่า บริเวณโลหะเชื่อมทั้ง 3 ตำแหน่งมีองค์ประกอบทางเคมีหลักๆ อยู่จำนวน 7 ธาตุด้วยกัน คือ เหล็ก(Fe) คาร์บอน(C) โครเมียม(Cr) แมงกานีส(Mn) โมลิบดีนัม (Mo) ซิลิกอน(Si) และ นิกเกิล(Ni) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ข-ง)



รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์การกระจายพลังงาน

การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) ในบริเวณ โลหะเชื่อม ทั้ง 3 ตำแหน่ง ได้แก่ บริเวณโลหะเชื่อมด้าน AISI 304L บริเวณกึ่งกลางโลหะเชื่อมและบริเวณโลหะเชื่อมด้าน AISI 316 พบว่า บริเวณ โลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 มีปริมาณของธาตุซิลิคอน แมงกานีส โมลิบดีนัม และนิกเกิล ที่สูงมากกว่าในตำแหน่งอื่นๆดังแสดงในรูปที่ 4.7 เมื่อทำการตรวจสอบปริมาณธาตุโลหะเชื่อมอีก 2 ตำแหน่ง พบว่า ปริมาณของธาตุมีแนวโน้มลดลง แต่มีปริมาณธาตุโครเมียมได้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีของโลหะฐานทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.1 พบว่า โลหะฐานทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L มีปริมาณของธาตุที่ต่ำเว้นแต่ปริมาณของธาตุโครเมียมที่สูงกว่าและไม่มีธาตุโมลิบดีนัม เมื่อทำการเปรียบเทียบกับโลหะฐานด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ซึ่งอาจเป็นไปได้ในการเกิดการเจือจางของปริมาณธาตุ

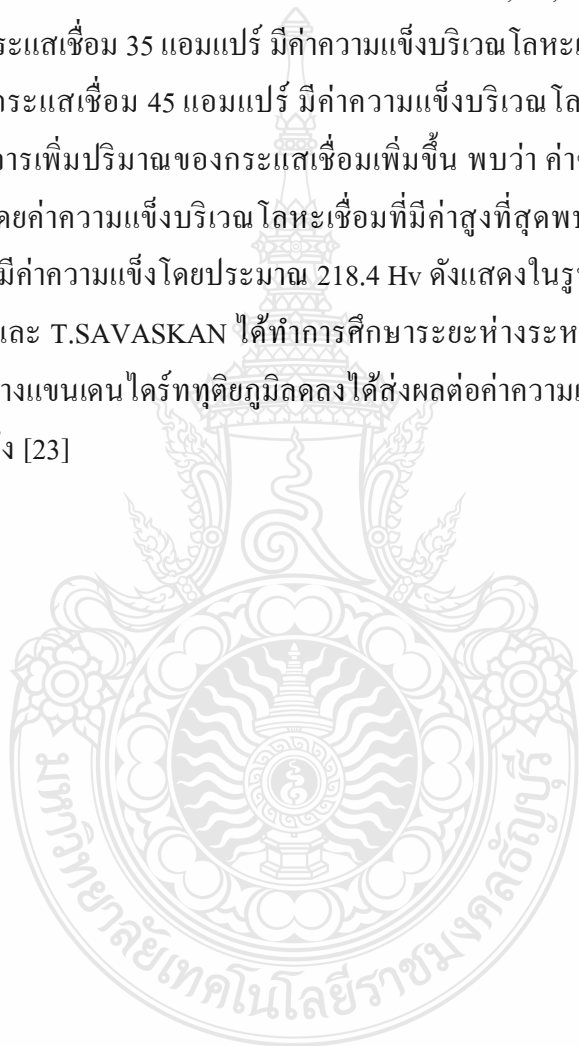


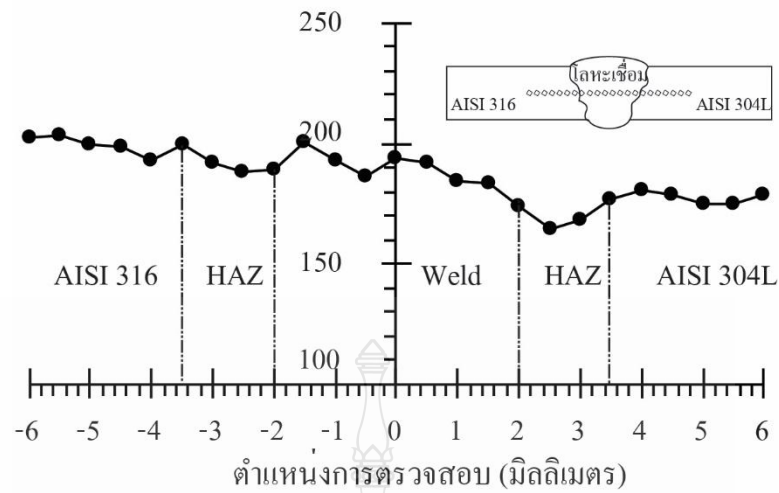
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณบริเวณ โลหะเชื่อม

4.1.6 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสเดนแก่สปกคลุมต่อการทดสอบความแข็ง

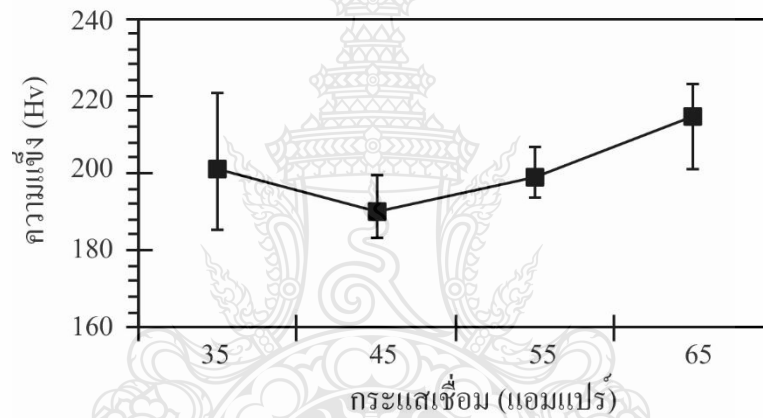
ในรูปที่ 4.6 ได้แสดงถึงอิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสเดนแก่สปกคลุมต่อการทดสอบความแข็ง พบว่า บริเวณโลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 มีค่าความแข็งประมาณ 210 Hv ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก) และเมื่อทำการทดสอบความแข็งเข้าไปใกล้บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 พบว่า ค่าความแข็งลดต่ำลงเล็กน้อยโดยมีค่าความแข็งประมาณ 190 Hv

และเมื่อทดสอบค่าความแข็งบริเวณ โลหะเชื่อมค่าความแข็งมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยและมีแนวโน้มลดต่ำลงโดยมีค่าความแข็งประมาณ 185 Hv และเมื่อเข้าใกล้พื้นที่กระทบร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L มีแนวโน้มลดต่ำลงและมีค่าความแข็งประมาณ 136 Hv อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดสอบความแข็งในบริเวณของพื้นที่โลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L พบว่าค่าความแข็งอยู่ที่ประมาณ 180 Hv ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก) และเมื่อทำการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อมของชิ้นงานทดสอบที่ใช้กระแสเชื่อมที่มีความแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 35, 45, 55 และ 65 แอมแปร์ พบว่าชิ้นงานทดสอบที่ใช้กระแสเชื่อม 35 แอมแปร์ มีค่าความแข็งบริเวณ โลหะเชื่อมประมาณ 200 Hv และชิ้นงานทดสอบที่ใช้กระแสเชื่อม 45 แอมแปร์ มีค่าความแข็งบริเวณ โลหะเชื่อมประมาณ 190 Hv อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น พบว่า ค่าความบริเวณ โลหะเชื่อม มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยค่าความแข็งบริเวณ โลหะเชื่อมที่มีค่าสูงที่สุดพบได้ในชิ้นงานที่ใช้กระแสเชื่อม 65 แอมแปร์ ซึ่งมีค่าความแข็งโดยประมาณ 218.4 Hv ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ข) และในงานวิจัยของ M.S. TURHAL และ T.SAVASKAN ได้ทำการศึกษาระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิพบว่า ระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิลดลงได้ส่งผลต่อค่าความแข็งที่ลดลงและการเพิ่มขึ้นของการต้านทานแรงดึง [23]





ก) การตรวจสอบความแข็งบริเวณตามหน้าตัดชิ้นงาน



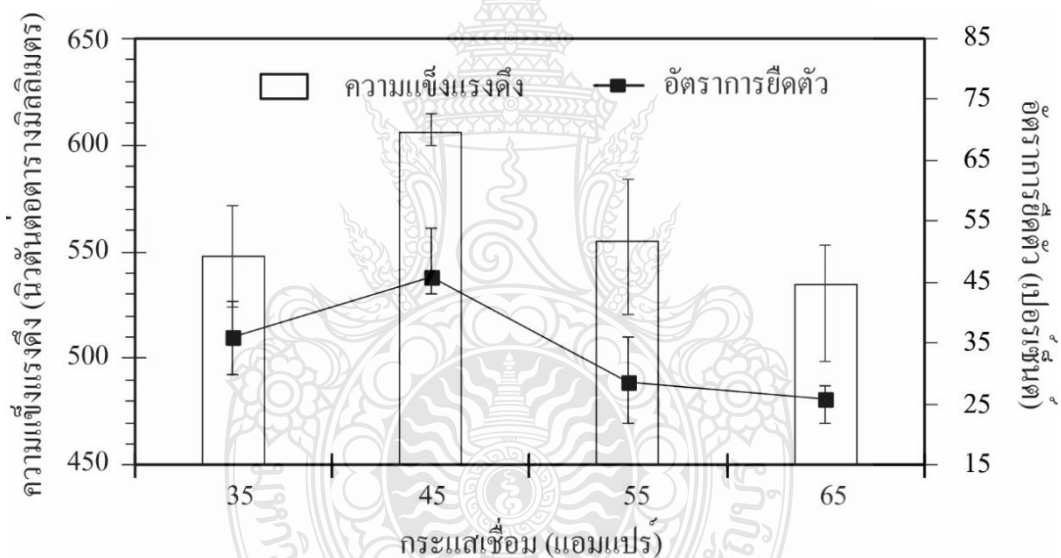
ข) การตรวจสอบความแข็งบริเวณโลหะเชื่อม

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมต่อการทดสอบความแข็ง

4.1.7 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนด์และสเปกคูลัมต่อการต้านทานความแข็งแรงดึง

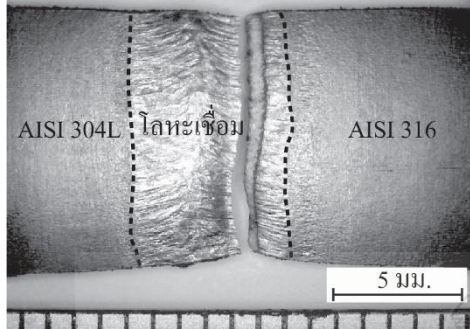
ในรูปที่ 4.7 ได้แสดงถึงอิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนด์ ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัวของรอยต่อชนของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ 304L พบว่าชิ้นงานทดสอบที่ถูกเชื่อมด้วยกระแส 35 แอมแปร์ มีความแข็งแรงดึง 547.01 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรและอัตราการยืดตัว 26.4 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งลักษณะรอยพังทลายของรอยเชื่อมที่กระแส 35 แอมแปร์ มีลักษณะขาดเป็นเส้นตรง บริเวณรอยเชื่อมใกล้กับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ก) และกระแสเชื่อม 45 แอมแปร์ พบว่า รอยเชื่อมมีความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด โดยในชิ้นงานทดสอบที่มีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 606.18 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรและอัตราการยืด

ตัว 45.93 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งมีลักษณะรอยพังทลายที่ต่างไปจากรอยพังในกระแสเชื่อม โดยการพังทลายจะมีลักษณะเฉียงลงมาด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ข) อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณของกระแสเชื่อมมากขึ้น พบว่า การต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดต่ำลง และชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงน้อยที่สุดในชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแส 65 แอมแปร์ มีค่าความแข็งแรงดึง 534.53 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และมีอัตราการยืดตัว 25.73 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งลักษณะเป็นเส้นรอยตัวเป็นเส้นตาราง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ง) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางว่าการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมได้มีอิทธิพลมาจากอัตราการเย็นตัว และในรายงานของ Salthivel และคณะ[24] ได้กล่าวไว้ในรายงานถึงการปรากฏตัวของเฟสเดนไดรท์ที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นในเนื้อเชื่อมที่มีอิทธิพลสำคัญในการเปลี่ยนรูปและพฤติกรรมการฉีกขาดของรอยต่อ

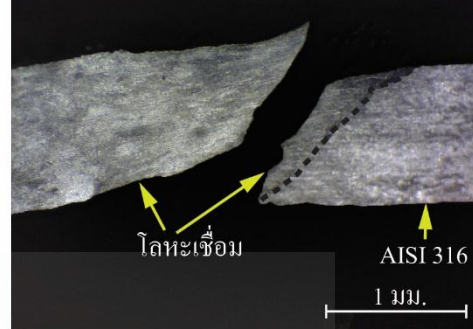


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมต่อความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัว

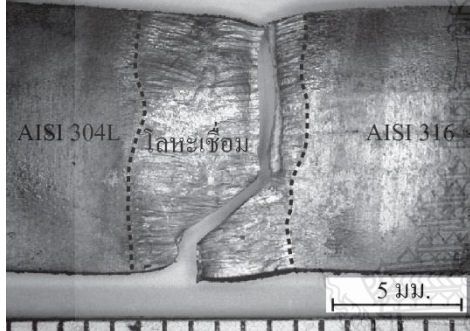
ก) กระแสเชื่อม 35 แอมแปร์ (มุมมองด้านบน)



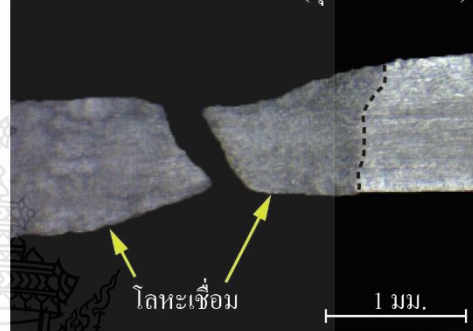
(มุมมองด้านข้าง)



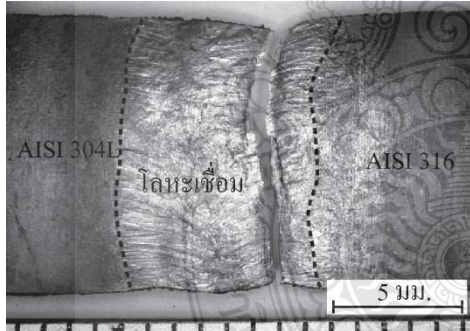
ข) กระแสเชื่อม 45 แอมแปร์ (มุมมองด้านบน)



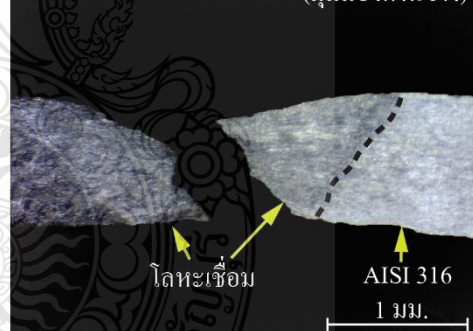
(มุมมองด้านข้าง)



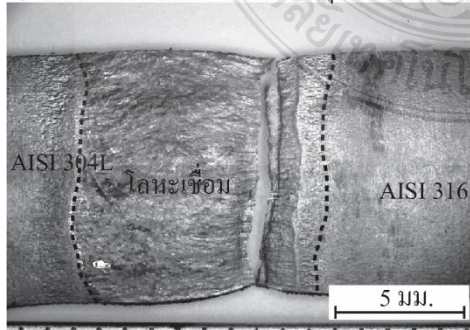
ค) กระแสเชื่อม 55 แอมแปร์ (มุมมองด้านบน)



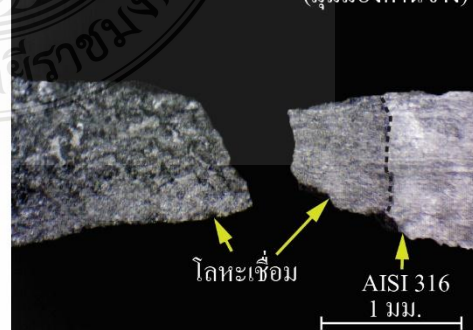
(มุมมองด้านข้าง)



ง) กระแสเชื่อม 65 แอมแปร์ (มุมมองด้านบน)

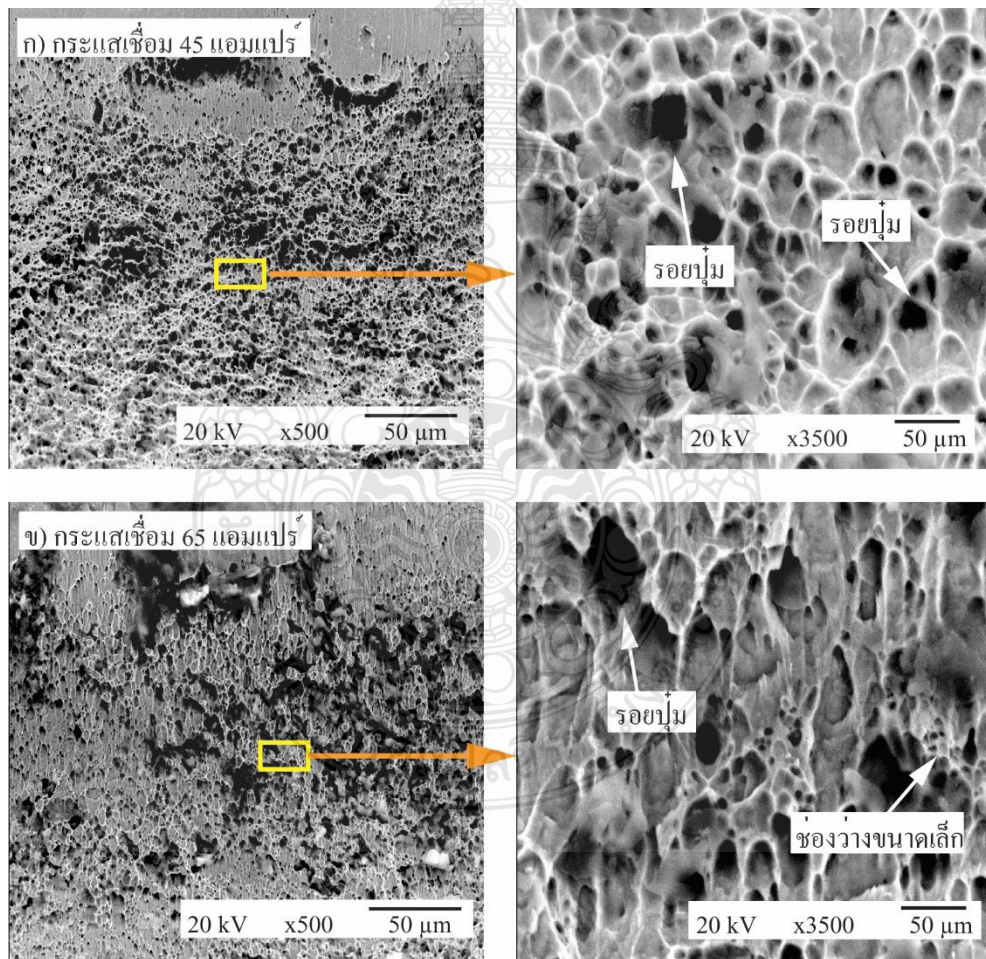


(มุมมองด้านข้าง)



รูปที่ 4.10 กระแสเชื่อมต่อลักษณะรอยนิกขาด

จากรูปที่ 4.7 ซึ่งได้แสดงถึงอิทธิพลของกระแสเชื่อมที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึง พบว่า ในชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 45 แอมแปร์ มีการต้านทานต่อความแข็งแรงดึงสูงที่สุด และในชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 65 แอมแปร์ มีการต้านทานต่อความแข็งแรงดึงต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.7 จึงนำชิ้นงานทดสอบทั้ง 2 กระแสเชื่อมมาทำการตรวจสอบลักษณะการพังทลายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning Electron Microscope : SEM) พบว่า ในชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแส 45 แอมแปร์ มีลักษณะรอยฉีกขาดที่เป็นรอยบุ๋ม(Dimples) กระจายตัวอยู่ทั่วบริเวณการพังทลาย ดังแสดงในรูป 4.9 (ก) และเมื่อทำการตรวจสอบรอยฉีกขาด ของชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแส 65 แอมแปร์ พบว่า ลักษณะรอยฉีกขาดเป็นรอยบุ๋มขนาดใหญ่และช่องว่างที่มีขนาดเล็กๆ กระจายตัวบริเวณรอยฉีกขาด [25] ดังแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 4.9 (ข)

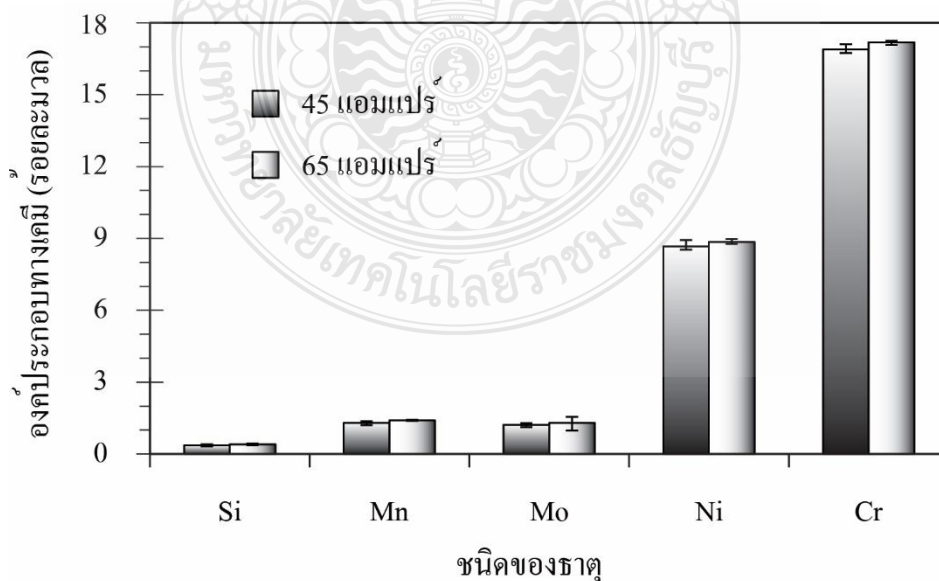


รูปที่ 4.11 กระแสเชื่อมต่อลักษณะการพังทลาย

4.1.8 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมต่อการวิเคราะห์ส่วนผสมทาง

เคมี

จากหัวข้อ 4.1.6 ที่ได้ทำการทดสอบความแข็งแรงดึง ของชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 35 45 55 และ 65 แอมแปร์ พบว่า ชิ้นงานที่ได้ทำการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 45 แอมแปร์ ได้ให้การต้านทานต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด และชิ้นงานทดสอบที่ให้การต้านทานที่ต่ำที่สุด คือ ชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 65 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 จึงได้นำชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 45 และ 65 แอมแปร์ มาทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี แบบเชิงปริมาณพบว่า ชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 65 แอมแปร์ มีปริมาณที่มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 45 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งในบริเวณโลหะเชื่อม ของชิ้นงานทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแส 65 แอมแปร์ มีปริมาณของธาตุโครเมียม(Cr) 17.18 เปอร์เซ็นต์ นิกเกิล(Ni) 8.85 เปอร์เซ็นต์ และ โมลิบดีนัม(Mo) 1.30 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 45 แอมแปร์ มีปริมาณของธาตุโครเมียม(Cr) 16.88 เปอร์เซ็นต์ นิกเกิล(Ni) 8.67 เปอร์เซ็นต์ และ โมลิบดีนัม(Mo) 1.22 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งได้มีส่วนผสมคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Devendranath Ramkumar และคณะ[26] ได้ทำการศึกษาส่วนผสมทางเคมีบริเวณโลหะเชื่อมของชิ้นงานที่ถูกเชื่อมด้วยลวดเชื่อม FR2553 และ ERNiCv-7 พบว่า ค่าความแข็งบริเวณโลหะเชื่อมที่ลดลงอันเนื่องมาจากอัตราส่วนของปริมาณธาตุ นิกเกิล(Ni) โมลิบดีนัม(Mo) และโครเมียม(Cr) ที่ลดลงซึ่งอาจส่งผลโดยตรงกับการต้านทานความแข็งแรงดึง



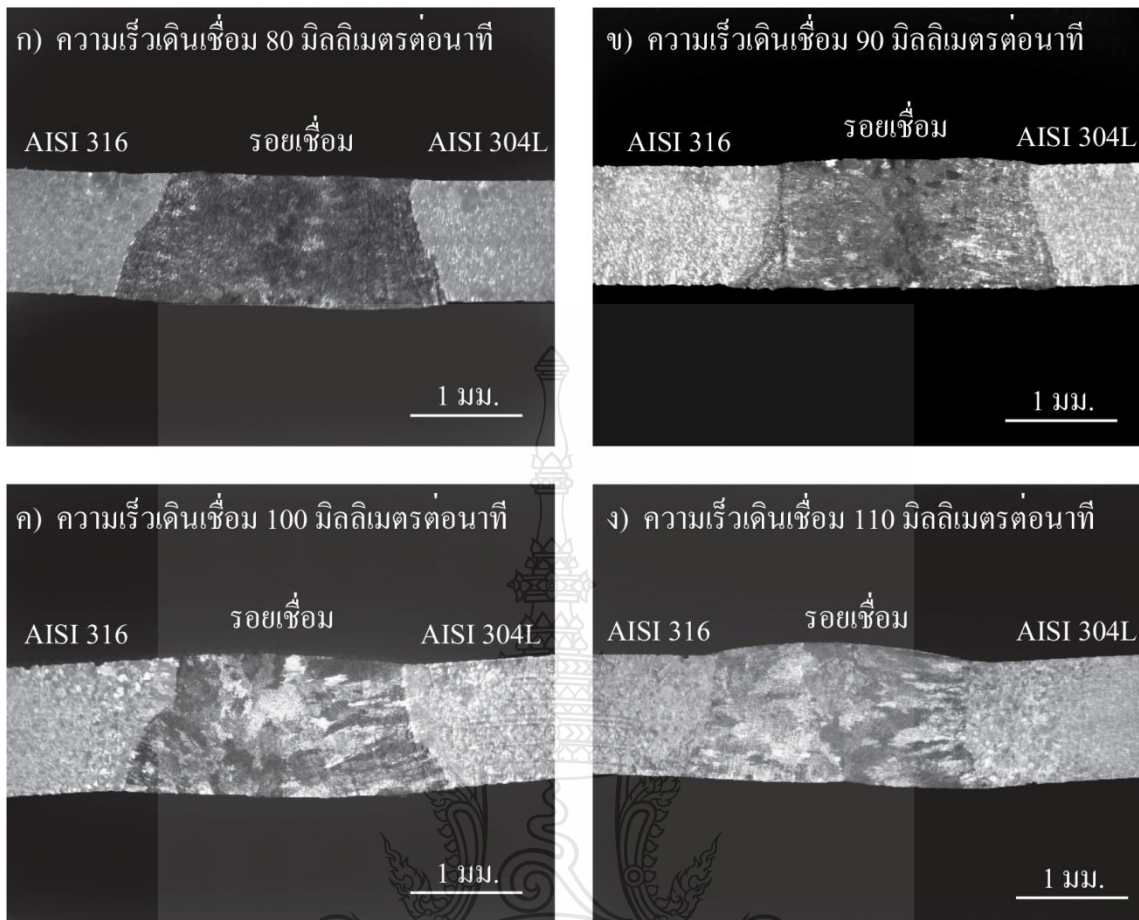
รูปที่ 4.12 อิทธิพลของกระแสเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมต่อลักษณะการพังทลาย

4.2 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมของรอยต่อชนต่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ AISI 304L ต่อสมบัติของโลหะเชื่อม

จากการทดลองในหัวข้อ 4.1 เริ่มต้นด้วยการศึกษาตัวแปรการเชื่อมด้วยปริมาณกระแสไฟเชื่อม 4 ระดับ ได้แก่ 25, 35, 45, 55 และ 45 แอมแปร์ พบว่า กระแสเชื่อมที่ส่งผลต่อสมบัติของโลหะเชื่อมของรอยต่อชนต่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ AISI 304L คือกระแสเชื่อม 45 แอมแปร์ โดยในหัวข้อ 4.2 นี้ ได้ใช้กระแสเชื่อม 45 แอมแปร์ มาทำการทดลองเปลี่ยนแปลง ความเร็วเดินเชื่อม 4 ระดับ ได้แก่ 80, 90, 100 และ 110 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

4.2.1 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อโครงสร้างมหภาค

การตรวจสอบในหัวข้อ 4.2.1 จะทำการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคในชิ้นงานทดสอบที่ได้เปลี่ยนแปลงความเร็วเดินเชื่อม 4 ระดับ ได้แก่ 80, 90, 100 และ 110 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่า รูปร่างบ่อหลอมละลายของโลหะเชื่อมได้แสดงให้เห็นถึงขนาดความกว้างของบ่อหลอมละลาย ได้รับการตรวจสอบที่มีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเปลี่ยนแปลงในความเร็วเดินเชื่อม[27] ซึ่งโลหะเชื่อมมีความกว้างมากที่สุดและโลหะเชื่อมมีความสมบูรณ์ปราศจากจุดบกพร่องใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ก) อย่างไรก็ตามเพื่อเพิ่มความเร็วเดินเชื่อม พบว่า ชิ้นงานทดสอบที่ความเร็วเดินเชื่อม 90 100 และ 110 มิลลิเมตรต่อนาที รอยเชื่อมมีขนาดความกว้างที่ลดลงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (ข) ซึ่งในงานวิจัยของ Tsai และ Eagar [28] มีรายงานไว้ว่า อุณหภูมิที่สูงของบ่อหลอมละลายที่บริเวณ โลหะเชื่อมสามารถลดลงได้ด้วยการเพิ่มระยะเวลาในการอาร์ก โดยพิจารณาจากข้อเท็จจริงที่ว่าด้วยระยะความกว้างของพื้นที่แนวเชื่อมลดลง มีผลมาจากอุณหภูมิที่ลดลงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

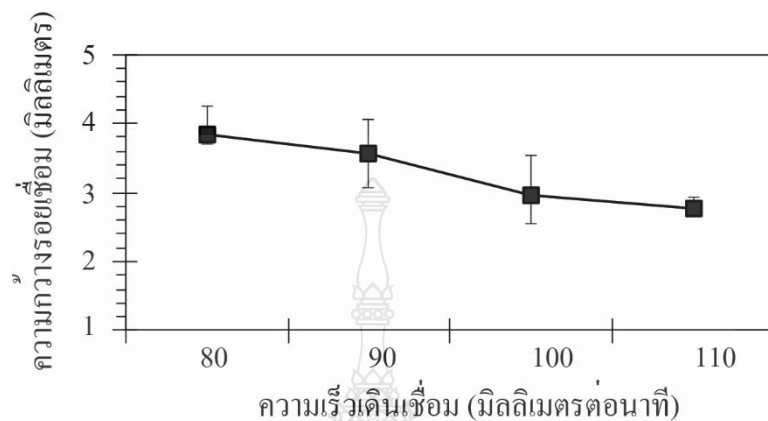


รูปที่ 4.13 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมต่อ โครงสร้างมหภาค

4.2.2 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมต่อความกว้างของรอยเชื่อม

ในหัวข้อ 4.2.1 ที่ได้ทำการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาค พบว่า ขนาดความกว้างใน โลหะเชื่อมมีความแตกต่างกันจึงได้ทำการตรวจสอบชิ้นงานทดสอบที่ให้ความเร็วเดิน 80 มิลลิเมตร ต่อนาที มีระยะความกว้างรอยเชื่อม 3.842 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และเมื่อความเร็วเดินเชื่อม เพิ่มขึ้น พบว่า ขนาดความกว้างของรอยเชื่อมมีแนวโน้มที่ลดลง ตามความเร็วเดินเชื่อมที่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งขนาดความกว้างของรอยเชื่อมที่น้อยที่สุด อยู่ในชิ้นงานทดสอบที่ความเร็ว เดินเชื่อม 110 มิลลิเมตรต่อนาที มีขนาดความกว้างของรอยเชื่อม 2.755 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งในงานวิจัยของ Lei และคณะ [29] ได้กล่าวถึงความกว้างและการซึมลึกของรอยเชื่อมที่ลดลง ด้วยการเพิ่มความเร็วในการเชื่อมเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความเร็วในการเชื่อมได้ลดระยะเวลาใน

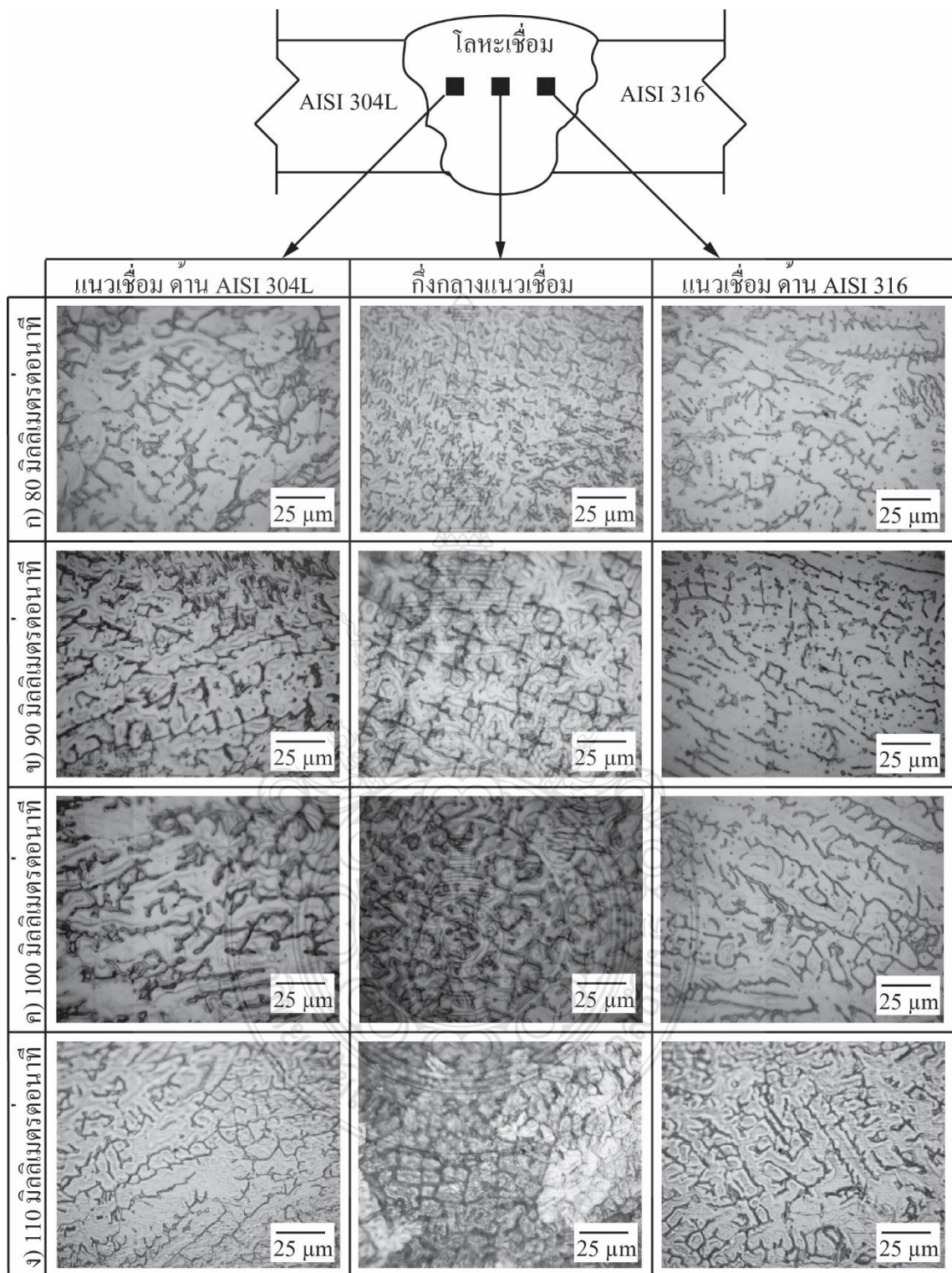
ตำแหน่งของการอาร์กไฟฟ้าที่ชิ้นงาน ซึ่งส่งผลให้มีความร้อนสะสมในรอยเชื่อมลดลงด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้เกิดการหลอมเหลวของบ่อหลอมละลายที่ต่ำลง



รูปที่ 4.14 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อความกว้างรอยเชื่อม

4.2.3 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อโครงสร้างจุลภาค

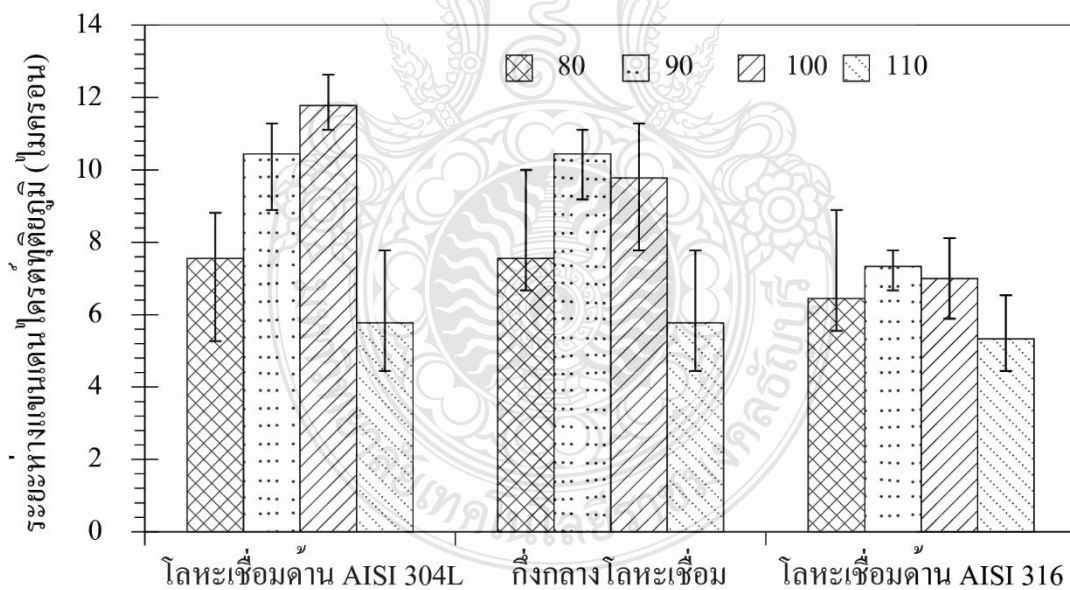
รูปที่ 4.12 แสดงถึงอิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุม 4 ระดับ ได้แก่ 80, 90, 100 และ 110 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะเชื่อม พบว่าการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะเชื่อม ทั้ง 3 ตำแหน่งพบเกรนโลหะก่อตัวเป็นโครงสร้างคล้ายเดนไดรต์และมีทิศทางที่แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งในตำแหน่งโลหะเชื่อมทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L และ AISI 316 พบโครงสร้างเดนไดรต์ที่มีทิศทางพุ่งขึ้นเอียง 45 องศา และในตำแหน่งกึ่งกลางโลหะเชื่อมมีลักษณะโครงสร้างเดนไดรต์ที่มีทิศทางพุ่งขึ้นสู่ด้านบน ของโลหะเชื่อมตามทิศทางการระบายความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.12 อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อมทั้ง 4 ระดับ พบว่าโครงสร้างจุลภาคมีลักษณะของเดนไดรต์ที่ก่อตัวขึ้นในโลหะเชื่อมทิศทางตามการระบายความร้อนคล้ายกันทั้ง 4 ความเร็วเดินเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.15 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมต่อโครงสร้างจุลภาคโลหะเชื่อม

4.2.4 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมต่อระยะห่างระหว่างแขน
เดนไดรต์ทุติยภูมิ

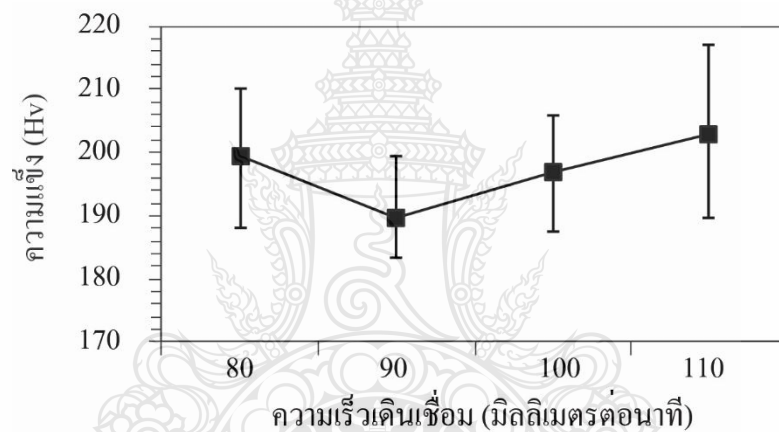
จากรูปที่ 4.12 ได้แสดงถึงโครงสร้างจุลภาคบริเวณ โลหะเชื่อม ของชิ้นงานทดสอบที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อมที่แตกต่างกัน 4 ระดับ พบว่า โครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายเดนไดรต์มีการกระจายตัวอยู่ที่บริเวณ โลหะเชื่อม ในหัวข้อ 4.2.4 จึงได้ทำการวัดระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิพบว่า ระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิที่มีค่ามากที่สุดอยู่บริเวณ โลหะเชื่อมทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณ โลหะเชื่อมทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และเมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาค ตำแหน่งโลหะเชื่อมทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 พบว่า ความเร็วเดินเชื่อมที่ 90 มิลลิเมตรต่อนาที มีระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ที่มากที่สุดโดยมีค่าประมาณ 7.37 ไมครอน และเมื่อเพิ่มจำนวนความเร็วในการเดินเชื่อม พบว่า ระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์มีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ที่มีค่าน้อยที่สุดอยู่ในชิ้นงานทดสอบที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อม 110 มิลลิเมตรต่อนาที โดยมีค่าประมาณ 5.33 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.16 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมต่อระยะห่างระหว่างแขน
เดนไดรต์ทุติยภูมิ

4.2.5 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลกลุ่มต่อการทดสอบความแข็ง

ในรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลกลุ่มที่ส่งผลต่อค่าความแข็งบริเวณ โลหะเชื่อม พบว่า ชิ้นงานทดสอบที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าความแข็งประมาณ 199.43 Hv ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และชิ้นงานทดสอบที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อม 90 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่า ค่าความแข็งลดลงจากชิ้นงานที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งมีค่าความแข็งประมาณ 189.78 Hv ดังแสดงในรูปที่ 4.14 อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเพิ่มความเร็วเดินเชื่อม พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงสุด ซึ่งในชิ้นงานทดสอบที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อม 110 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าความแข็งบริเวณ โลหะเชื่อมประมาณ 202.72 Hv ดังแสดงในรูปที่ 4.14

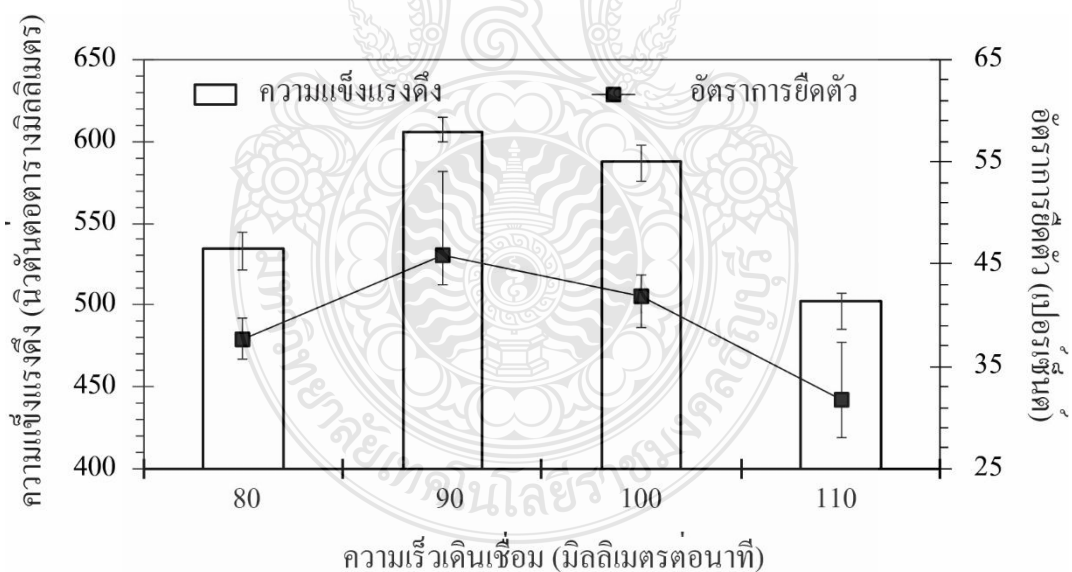


รูปที่ 4.17 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลกลุ่มต่อการทดสอบความแข็ง

4.2.6 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลกลุ่มต่อการต้านทานความแข็งแรงดึง

ในรูปที่ 4.18 ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัวที่ปริมาณกระแสน้ำเชื่อม 45 แอมแปร์ พบว่า การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลกลุ่มที่ความเร็วเดินเชื่อม 80 แอมแปร์ พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงประมาณ 534.8 นิวตันต่อตารางเมตร และอัตราการยืดตัว 39 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งลักษณะรอยฉีกขาดเป็นเส้นตรงเกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมใกล้กับโลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ดังแสดงในรูปที่ 4.14

(ก) โดยความเร็วเดินเชื่อมที่ 90 แอมแปร์ มีความแข็งแรงดึงประมาณ 606.18 นิวตันต่อตารางเมตร และอัตราการยืดตัว 45.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลักษณะรอยร้าวขยายมาใกล้กับโลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L ดังแสดงในรูปที่ 4.14 (ข) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเพิ่มความเร็วเดินเชื่อม 100 และ 110 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่า การต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดต่ำลงและการต้านทานแรงดึงที่มีค่าต่ำที่สุดในความเร็วเดินเชื่อม 110 มิลลิเมตรต่ออนาที มีค่าความแข็งแรงดึงประมาณ 501.95 นิวตันต่อตารางเมตรและอัตราการยืดตัว 31.6 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 โดยมีลักษณะรอยร้าวเป็นเส้นตรงใกล้กับ โลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ดังแสดงในรูปที่ 4.14 (ค) ซึ่งในงานวิจัยของ Padmanaban และ Balasubramanian [30] ได้กล่าวถึงความร้อนสะสมซึ่งนำไปสู่อัตราการเย็นตัวและขนาดของเกรนที่มีความละเอียดในบริเวณการเกิดการหลอมละลายและลักษณะของโครงสร้างที่สามารถสังเกตได้ในบริเวณพื้นที่การหลอมละลายเนื่องจากได้รับความร้อนที่เหมาะสมอาจจะเป็นสิ่งที่เชื่อถือได้ในการต้านทานแรงดึงที่ดีขึ้น

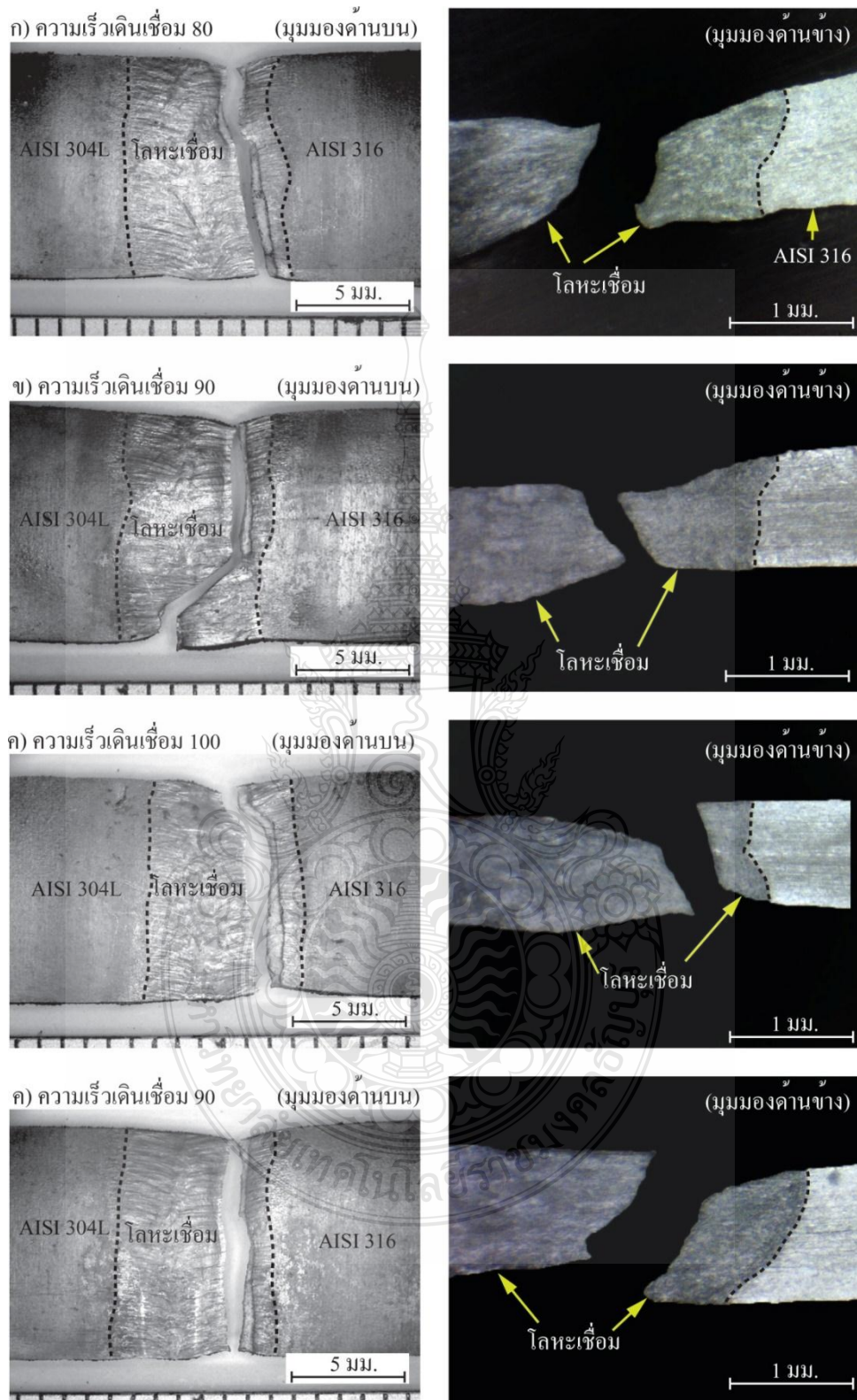


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัว

4.2.7 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อลักษณะรอยฉีกขาด

อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อลักษณะรอยฉีกขาด ในรูปที่ 4.16 ได้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมที่ส่งผลต่อลักษณะรอยฉีกขาด ของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านกระบวนการทดสอบความแข็งแรงดึงในหัวข้อ 4.6 พบว่า ลักษณะรอยฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที มีลักษณะรอยฉีกขาดเป็นเส้นตรงและเฉียงลงมาใกล้กับโลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ดังแสดงในรูปที่ 4.16 (ก) แต่เมื่อทำการตรวจสอบชิ้นงานทดสอบที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อม 90 และ 110 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่า ลักษณะรอยฉีกขาดลงมาเป็นเส้นตรงมาถึงกึ่งกลางขึงแนวเชื่อมและเฉียงลงมาเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L ดังแสดงในรูปที่ 4.16 (ข) ซึ่งในชิ้นงานทดสอบที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อม 110 มิลลิเมตรต่อนาที มีลักษณะรอยฉีกขาดที่เป็นเส้นตรงที่มีลักษณะคล้ายกับรอยฉีกขาดกับชิ้นงานที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.16 (ค)

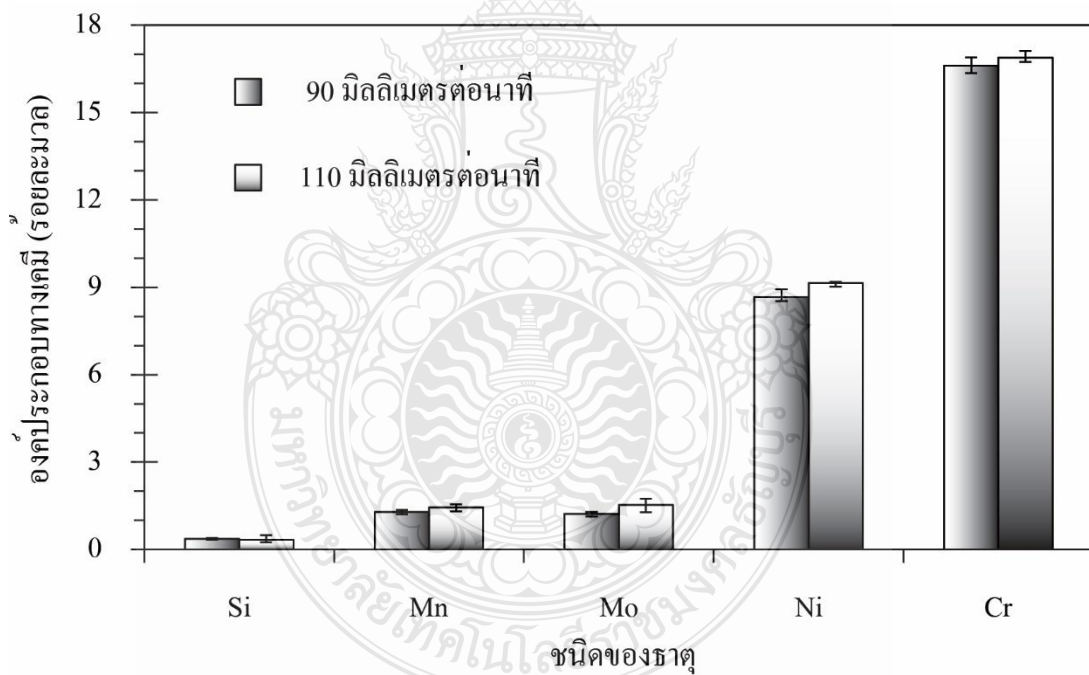




รูปที่ 4.19 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมต่อลักษณะรอยนิกเกาด

4.2.8 อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุมต่อส่วนผสมทางเคมี

อิทธิพลของความเร็วเดินเชื่อมที่ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมี จากรูปที่ 4.18 ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมที่ส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงและอัตราการยึดตัวพบว่า ชี้นงานทดสอบที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อม 90 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ค่าแรงดึงสูงที่สุดและชี้นงานที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อม 110 มิลลิเมตรต่อนาที มีการต้านทานแรงดึงที่ต่ำที่สุด ในหัวข้อนี้จึงนำชี้นงานทดสอบ ทั้งสองความเร็วเดินเชื่อมมาทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี พบว่า ชี้นงานทดสอบที่ใช้ความเร็วเดินเชื่อม 110 มิลลิเมตรต่อนาที มีปริมาณของธาตุในแต่ละชนิดที่สูงกว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบกับชี้นงานที่ให้ความเร็วเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.20 โดยชี้นงานที่ให้ความเร็วเดินเชื่อม 110 มิลลิเมตรต่อนาที มีปริมาณของธาตุโครเมียม 1.688 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของธาตุนิกเกิล 9.15 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของธาตุโมลิบดีนัม 1.35 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อมที่ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากการเชื่อมอาร์กทั้งสเดนของรอยต่อชนท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L และท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ซึ่งได้มีการกำหนดตัวแปรในการทดลอง คือ กระแสไฟเชื่อม 5 ระดับ ได้แก่ 25, 35, 45, 55 และ 65 แอมแปร์ และความเร็วในการเดินเชื่อม 4 ระดับ ได้แก่ 80, 90, 100 และ 110 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ได้ส่งผลต่อโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 กระแสไฟเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมที่ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อชนและได้แสดงค่าแรงดึงสูงที่สุด จากการทดสอบความแข็งแรงดึงเท่ากับ 607.18 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เมื่อทำการเชื่อมรอยต่อชนด้วยกระแสไฟเชื่อม 45 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 90 มิลลิเมตรต่อนาที

5.1.2 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงได้แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟเชื่อมได้ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อ และระยะห่างระหว่างแขนเคนไดรท์ทุติยภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการยึดตัวที่ลดต่ำลง

5.1.3 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด พบว่า ชิ้นงานที่มีความแข็งแรงดึงสูงส่งผลกระทบต่อขนาดรอยนูนที่เล็กกว่าชิ้นงานทดสอบที่มีความแข็งแรงดึงที่ต่ำมีขนาดรอยนูนที่ใหญ่

5.1.4 บริเวณพื้นที่โลหะเชื่อมทางด้านที่ใกล้กับโลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 มีปริมาณธาตุที่สูงกว่าบริเวณพื้นที่โลหะเชื่อมที่ใกล้กับทางด้านโลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดลองศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กวดทั้งสเดนแก่สคลุม ได้เกิดปัญหาในระหว่างทำการทดลอง จึงควรทำให้มีการปรับปรุงหรือทำการแก้ไขในการทดลองในครั้งต่อไป โดยมีข้อเสนอแนะไว้ในวิจัยดังนี้

5.2.1 การทดสอบต้องมีอุปกรณ์สำหรับการทดสอบที่มีคุณภาพและได้มาตรฐานและช่วยให้การทำงานสะดวกมากยิ่งขึ้น

5.2.2 ควรมีการศึกษผลกระทบด้านอื่นๆ อีกเพื่อให้การวิเคราะห์ครอบคลุมมากขึ้น เช่น การศึกษาการกัดกร่อนและอิทธิพลทางความร้อนที่ส่งผลกระทบต่อวัสดุ

บรรณานุกรม

- [1] L. W. Tsay, Y. C. Liu, M. C. Young, and D. Y. Lin, "Fatigue crack growth of AISI 304 stainless steel welds in air and hydrogen," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 374, pp. 204-210, 6/15/ 2004.
- [2] C. Tide, S. R. Harkin, G. G. Geesey, P. J. Bremer, and W. Scholz, "The influence of welding procedures on bacterial colonization of stainless steel weldments," *Journal of Food Engineering*, vol. 42, pp. 85-96, 11// 1999.
- [3] M. Sireesha, V. Shankar, S. K. Albert, and S. Sundaresan, "Microstructural features of dissimilar welds between 316LN austenitic stainless steel and alloy 800," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 292, pp. 74-82, 11/15/ 2000.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] สมบูรณ์ เต็งหงษ์เจริญ, กระบวนการเชื่อม, 1 ed. vol. 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, 2541.
- [7] R. Smith and R. K. Mobley, "Chapter 10 - Maintenance Welding*," in *Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers*, ed Burlington: Butterworth-Heinemann, 2008, pp. 135-174.
- [8] คณะวิศวกรรมศาสตร์, การเชื่อมโลหะ 2 vol. 2555. กรุงเทพฯ: ห.จ.ก.ภาพพิมพ์, 2555.
- [9] K. G. Swift and J. D. Booker, "Chapter 11 - Joining Processes," in *Manufacturing Process Selection Handbook*, ed Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013, pp. 291-349.
- [10] A. N. S. Institute, *Standard Welding Terms and Definitions*, 12th ed. vol. 2009. United States of America: America, 2009.

บรรณานุกรม (ต่อ)

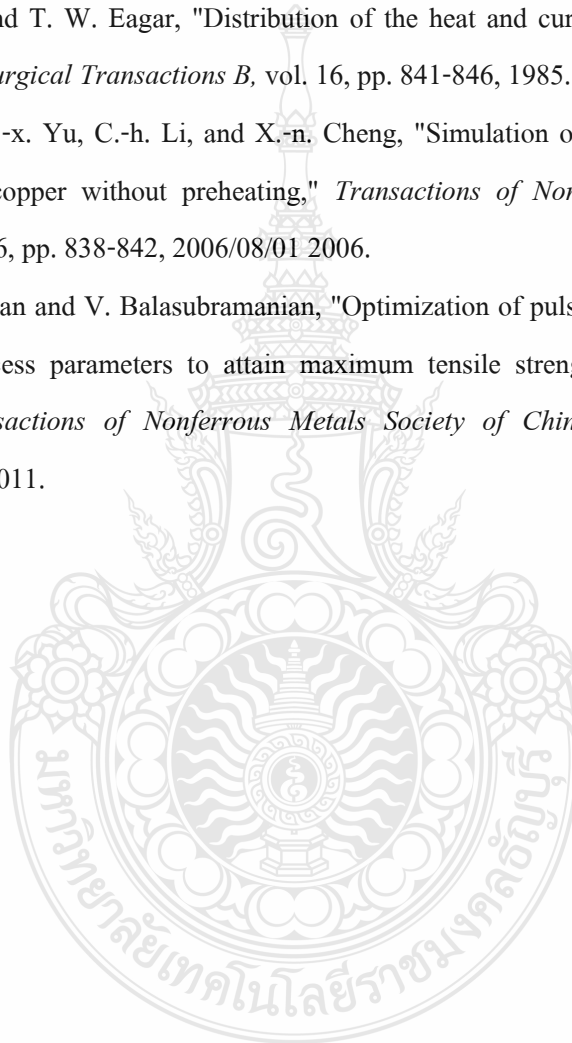
- [11] S. Selvi, S. P. Sankaran, and R. Srivatsavan, "Comparative study of hardfacing of valve seat ring using MMAW process," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 207, pp. 356-362, 10/16/ 2008.
- [12] R. Kaçar and O. Baylan, "An investigation of microstructure/property relationships in dissimilar welds between martensitic and austenitic stainless steels," *Materials & Design*, vol. 25, pp. 317-329, 6// 2004.
- [13] 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.
- [14] J. J. Coronado, H. F. Caicedo, and A. L. Gómez, "The effects of welding processes on abrasive wear resistance for hardfacing deposits," *Tribology International*, vol. 42, pp. 745-749, 5// 2009.
- [15] A. Kumar and S. Sundarrajan, "Optimization of pulsed TIG welding process parameters on mechanical properties of AA 5456 Aluminum alloy weldments," *Materials & Design*, vol. 30, pp. 1288-1297, 4// 2009.
- [16] M. JOVANOVIC, G. RIHAR, W. Institute, Ljubljana, and Slovenia, "Analysis of Ultrasonic Indications in Lack of Fusion Occurring in Welds," *ECNDT 2006*, vol. 2006, p. 213, 2006.
- [17] S. P. Lu, M. P. Qin, and W. C. Dong, "Highly efficient TIG welding of Cr13Ni5Mo martensitic stainless steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 213, pp. 229-237, 2// 2013.
- [18] K. D. Ramkumar, R. Ramanand, A. Ameer, K. A. Simon, and N. Arivazhagan, "Effect of post weld heat treatment on the microstructure and tensile properties of activated flux TIG welds of Inconel X750," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 658, pp. 326-338, 3/21/ 2016.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [19] H. Ming, Z. Zhang, J. Wang, E.-H. Han, and W. Ke, "Microstructural characterization of an SA508–309L/308L–316L domestic dissimilar metal welded safe-end joint," *Materials Characterization*, vol. 97, pp. 101-115, 11// 2014.
- [20] R. Sánchez-Tovar, M. T. Montañés, and J. García-Antón, "Effect of different micro-plasma arc welding (MPAW) processes on the corrosion of AISI 316L SS tubes in LiBr and H₃PO₄ solutions under flowing conditions," *Corrosion Science*, vol. 52, pp. 1508-1519, 4// 2010.
- [21] S.-L. Jeng, H.-T. Lee, J.-Y. Huang, and R.-C. Kuo, "Effects of Nb on the Microstructure and Elevated-Temperature Mechanical Properties of Alloy 690-SUS 304L Dissimilar Welds," *MATERIALS TRANSACTIONS*, vol. 49, pp. 1270-1277, 2008.
- [22] M. Ode, S. G. Kim, W. T. Kim, and T. Suzuki, "Numerical Prediction of the Secondary Dendrite Arm Spacing Using a Phase-field Model," *ISIJ International*, vol. 41, pp. 345-349, 2001.
- [23] M. Ş. Turhal and T. Savaşkan, "Relationships between secondary dendrite arm spacing and mechanical properties of Zn-40Al-Cu alloys," *Journal of Materials Science*, vol. 38, pp. 2639-2646, 2003.
- [24] T. Sakthivel, M. Vasudevan, K. Laha, P. Parameswaran, K. S. Chandravathi, M. D. Mathew, *et al.*, "Comparison of creep rupture behaviour of type 316L(N) austenitic stainless steel joints welded by TIG and activated TIG welding processes," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 528, pp. 6971-6980, 8/25/ 2011.
- [25] K. D. Ramkumar, P. Mithilesh, D. Varun, A. R. G. Reddy, N. Arivazhagan, S. Narayanan, *et al.*, "Characterization of Microstructure and Mechanical Properties of Inconel 625 and AISI 304 Dissimilar Weldments," *ISIJ International*, vol. 54, pp. 900-908, 2014.
- [26] K. Devendranath Ramkumar, S. D. Patel, S. Sri Praveen, D. J. Choudhury, P. Prabakaran, N. Arivazhagan, *et al.*, "Influence of filler metals and welding techniques on the structure–property relationships of Inconel 718 and AISI 316L dissimilar weldments," *Materials & Design*, vol. 62, pp. 175-188, 10// 2014.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [27] D. Li, S. Lu, W. Dong, D. Li, and Y. Li, "Study of the law between the weld pool shape variations with the welding parameters under two TIG processes," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, pp. 128-136, 1// 2012.
- [28] N. S. Tsai and T. W. Eagar, "Distribution of the heat and current fluxes in gas tungsten arcs," *Metallurgical Transactions B*, vol. 16, pp. 841-846, 1985.
- [29] Y.-c. Lei, W.-x. Yu, C.-h. Li, and X.-n. Cheng, "Simulation on temperature field of TIG welding of copper without preheating," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 16, pp. 838-842, 2006/08/01 2006.
- [30] G. Padmanaban and V. Balasubramanian, "Optimization of pulsed current gas tungsten arc welding process parameters to attain maximum tensile strength in AZ31B magnesium alloy," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 21, pp. 467-476, 2011/03/01 2011.



ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

การศึกษาความเป็นไปได้ในการเชื่อมอาร์กทั้งสะเตนเลสสตีลรอยต่อชนท่
ต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L/316

Gas Tungsten Arc Welding Feasibility Study of Dissimilar AISI304L/316 stainless steels joint

ไพโรจน์ บุญเกิด, อรรถกร จันทรชนะ, กิตติพงษ์ กิมะพงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail : autamo@hotmail.com

บทคัดย่อ

รอยต่อวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L/316 เป็นชิ้นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรม
การผลิตอาหารเนื่องจากรอยต่อนี้สามารถทำให้เกิดรอยต่อมีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานการกัดกร่อน
พอเพียง และมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ ด้วยเหตุนี้การศึกษาหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในการเชื่อม
รอยต่อวัสดุต่างชนิดจึงมีการศึกษาและพัฒนาต่อเนื่อง งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลตัวแปร
การเชื่อมอาร์กทั้งสะเตนเลสสตีลที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อชนระหว่างท่อเหล็กกล้าไร้สนิม
AISI304L/316 รอยต่อถูกเชื่อมด้วยตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วย การเชื่อมเดินแนวไม่เติมลวดเชื่อม กระแส
เชื่อม 45 A และความเร็วดำเนินการเชื่อม 100 rpm ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การตรวจสอบโครงสร้าง
จุลภาคพบช่องว่างระยะห่างระหว่างแกนเค้นไคร์ที่ทุกขุมมีค่าแตกต่างกันที่ตำแหน่งเส้นรอบวงที่ 0 90 180
และ 270° และส่งผลต่อการเพิ่มความแข็งแรงดึง การยึดตัว และความแข็งแรงของโลหะเชื่อม ตัวแปรการเชื่อมที่
เหมาะสมที่ทำให้เกิดความแข็งแรงดึง 521.54 N/mm² และการยึดตัว 24 % พบได้ที่ตำแหน่งการเชื่อม 90°
คำสำคัญ: รอยต่อวัสดุต่างชนิด การเชื่อมอาร์กทั้งสะเตนเลสสตีล ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม

Abstract

Dissimilar AISI304L/316 stainless steels joint was an important part in a food producing industry
because of this joint could produce high joint strength, sufficient corrosion resistance and low cost
production. Therefore, an optimization of a welding process parameter for producing this dissimilar
materials joint was still investigated and developed. Objective of this study was to study an effect of gas
tungsten arc welding (GTAW) process parameter on the tensile strength of the butt joint between
AISI304L and AISI316 stainless steel tubes. The tubes butt joint was welded by welding parameters such
as an autogenous welding, a welding current of 45 A, and a welding speed of 100 rpm. Summarized results

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559 : 26 พฤษภาคม 2559

The 3rd Prachachuen Research Network National and International Conference 2016 : 26 May 2016

are as follows. Microstructure investigation showed different secondary dendrite arm spacing at location of 0, 90, 180 and 270° around the circumferential of the tube and affected to increase tensile strength, elongation and weld hardness. The optimized welding process parameter that showed the maximum tensile strength of 521.54 N/mm² and elongation of 24 % was at location of 90°.

Keywords: Dissimilar, gas tungsten arc welding, stainless steel tubes

บทนำ

เหล็กกล้าไร้สนิมถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากคุณสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนและประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยมในการทำงานที่มีอุณหภูมิต่ำ (Tsay, Liu, Young, & Lin, 2004) ยกตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมอาหารที่พื้นผิวของสแตนเลสมีการสัมผัสกับอาหารโดยตรง (food contact surface) สำหรับรอยเชื่อมที่ทำให้เกิดลักษณะพื้นผิวที่มีบทบาทสำคัญต่อการสะสมของจุลินทรีย์และรอยเชื่อมที่ได้จะต้องสามารถตอบสนองมาตรฐานค่าความหยาบของผิว (surface roughness : Ra) ของอุตสาหกรรมอาหาร (Tide, Harkin, Geeseey, Bremer, & Scholz, 1999) เนื่องจากรูปทรงของท่อที่มีลักษณะยาวและความหนาของผนังท่อ ในการปฏิบัติงานระบบท่อมักเกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อม ซึ่งจะทำให้การเชื่อมบนเส้นรอบวงแบบการต่อชนพบได้บ่อยกับการปฏิบัติงานในระบบท่อ

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการเชื่อมรอยต่อวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม 316LN และ โลหะผสมอินโคเนล 800 โดยการเชื่อมทิก (GTAW) เพื่อศึกษาหาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะเชื่อม ขอบของพื้นที่ที่กระทบร้อนกับโลหะเชื่อม และพื้นที่ที่กระทบร้อนของแนวเชื่อม ที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงและถูกนำไปทำการใช้งานที่อุณหภูมิสูงหลังจากการเชื่อม ผลการทดลองพบว่า โลหะเชื่อมมีการแข็งตัวเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ และแสดงโครงสร้างที่เป็นเซลล์สุลา บริเวณโลหะเชื่อมด้านโลหะผสมอินโคเนล 800 มีแอสเฟ็กต์ในโลหะเชื่อมที่เกิดจากฟลักซ์ที่ใช้ในการเชื่อม แต่บางส่วนหลุดออกไปได้ เนื่องจากการเชื่อมภายใต้สภาวะแก๊สเฉื่อย (Sireesha, Shankar, Albert, & Sundaresan, 2000) และทำการศึกษาเพื่อหาการพังทลายจากการเกิดความล้า (Fatigue) และการเกิดการคืบตัว (Creep) ของรอยต่อเชื่อมมิกรอยต่อชนเหล็กกล้าผสม 9Cr-1 Mo และมีเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ผลการทดลองที่ได้ถูกนำไปทำการเปรียบเทียบกับรอยต่อที่เป็นโลหะชนิดเดียวพบว่ารอยต่อวัสดุต่างชนิดนั้นมีการพังทลายที่วิกฤตกว่าคือทนต่อความล้าตัวที่ต่ำกว่า (H.-Y. Lee, Lee, Kim, & Lee, 2007) ซึ่งมีการศึกษาความสามารถในการเชื่อมของรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค 304L และเหล็กกล้าไร้สนิม 403 โดยการเชื่อมทิก (GTAW) โดยการใช้ลวดเชื่อม ERNiCr-3 โดยการเชื่อม 2 รูปแบบ คือ การเชื่อมแนวพไฟออร์ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 อีกแบบการเชื่อมแนวพไฟออร์ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 ผลการทดลองพบว่า พื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 มีความเหนียวและสามารถยึดตัวคล้ายกับด้านที่ทำการอบหลังการเชื่อมหากทำการ

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559 : 26 พฤษภาคม 2559

The 3rd Prachachuen Research Network National and International Conference 2016 : 26 May 2016

เชื่อมลักษณะนี้ไม่จำเป็นต้องทำการอบชุบหลังการเชื่อมเพราะว่ากระบวนการเชื่อมที่ออกแบบนั้นไม่มีวัฏจักรความร้อนที่ส่งผลต่อการอบชุบให้แก่งานแล้ว (Das, Bhaduri, Srinivasan, Shankar, & Mathew, 2009) งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาผลกระทบของตำแหน่งเส้นรอบวงในการเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติซ่อมบำรุงในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

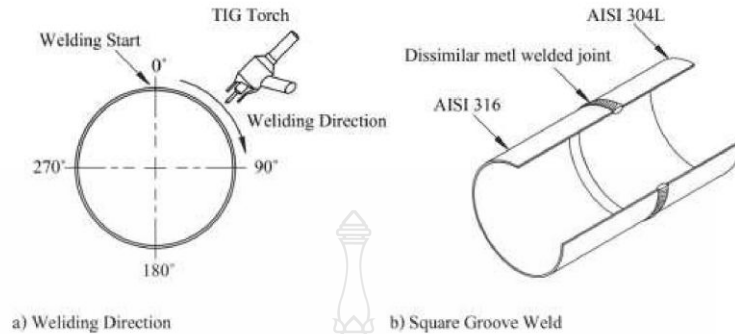
วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค AISI 316 และเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค AISI 304L โดยมีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งวัสดุทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะเป็นท่อทรงกลมโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร ยาว 190 มิลลิเมตร และหนา 1.2 มิลลิเมตร โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน JIS Z 3121

ตารางที่ 1 Chemical Composition of Material

Material	Chemical composition (%)						
	Type	Standard	C	Si	Mn	Cr	Ni
Austenitic	AISI 316	0.062	0.584	1.70	18.43	12.41	2.05
Austenitic	AISI 304L	0.025	0.41	1.14	1.14	16.9	0.02

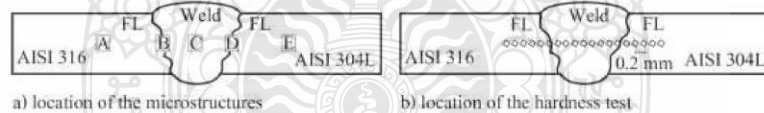
กรรมวิธีการเชื่อมที่ใช้ คือ การเชื่อมอาร์คทั้งสแตนด้วยแก๊สปกคลุม (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) โดยการเชื่อมนี้จะกำหนดให้ใช้แก๊สปกคลุม (Shielding gas) ชนิดอาร์กอน (Argon : Ar) กรรมวิธีการเชื่อมจะใช้เครื่องเชื่อมแบบอัตโนมัติ โดยมีเครื่องหมายการค้า ORBITEC และการเชื่อมนี้เป็นการเชื่อมแบบไม่เค็มลวดเชื่อมและขั้นตอนโดยจะกำหนดกระแสที่ใช้ในการเชื่อม 45 แอมแปร์ และความเร็วรอบในการเชื่อม 100 รอบต่อนาที และทำการเริ่มต้นกระบวนการเชื่อมตั้งแต่ตำแหน่งเส้นรอบวงที่ 0 องศา จนครบ 1 รอบ (360 องศา) ดังแสดงในรูปที่ 1 a) การเชื่อมในการทดลองนี้ได้กำหนดใช้ชนิดของรอยต่อเป็นแบบแนวเชื่อมต่อชนไม่บากหน้างาน (Square Groove Weld) ดังแสดงในรูปที่ 1 b)



รูปที่ 1 ลักษณะกระบวนการเชื่อม

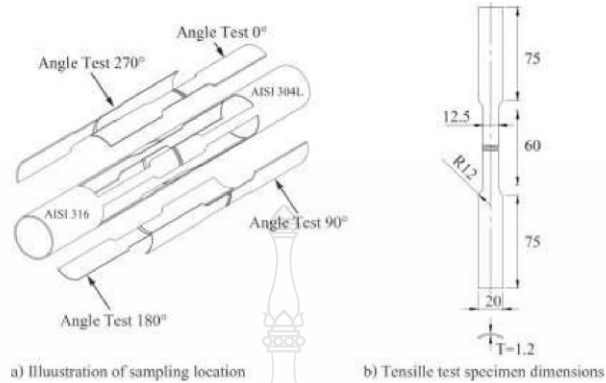
ขั้นตอนการทดสอบ

แนวเชื่อมที่ได้ถูกตัดด้วยวิธีการทางกล แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ มุมที่ 0 90 180 และ 270 องศา ดังแสดงในรูปที่ 1a) และได้ถูกนำมาทำการขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400-1500 และทำการขัดมันด้วยผงเพชรขนาด 1 ไมครอน ก่อนทำการกัดขึ้นรอยด้วยสารละลายที่มีส่วนผสมทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM E407 เพื่อแสดงเฟสของเกรนและรายละเอียดตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ในรูปที่ 2 a) และในการทดสอบความแข็งของแนวเชื่อมทำการทดสอบตามตำแหน่งดังกล่าวที่กำหนดในรูปที่ 2 b) โดยจะแบ่งกึ่งกลางแนวเชื่อมเป็นจุดเริ่มต้น (จุด 0) และไปด้านวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 เป็นจำนวน 20 จุด และไปด้านวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L เป็นจำนวน 20 จุด โดยการทดสอบนี้ได้กำหนดใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเตอร์ ที่ใช้แรงกด 100 กรัม และเวลาในการกดแช่ 10 วินาที ตามมาตรฐาน ASTM E92 ซึ่งมีระยะห่างระหว่างจุดกด 0.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 2 การตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคและการทดสอบค่าความแข็ง

การทดสอบความแข็งแรงดึง โดยจะทำการตัดแบ่งตามมุมในการเชื่อมออกเป็น 4 ส่วน คือ มุมที่ 0 90 180 และ 270 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3 a) และได้กำหนดขนาดชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงดังแสดงในรูปที่ 3 b) โดยการปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM E8M-11 และได้กำหนดให้ความเร็วในการทดสอบความแข็งแรงดึง (Displace Mment Speed) 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที

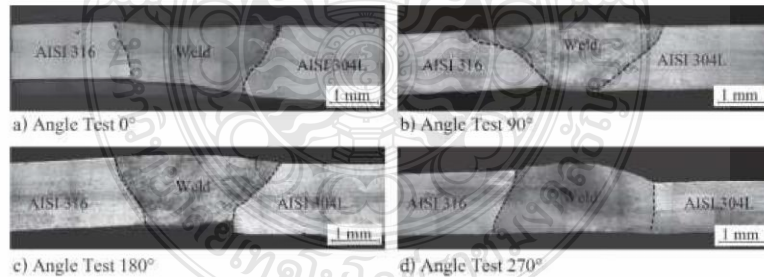


รูปที่ 3 การทดสอบสมบัติของรอยเชื่อมพอกผิวแข็ง

อภิปรายผล

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

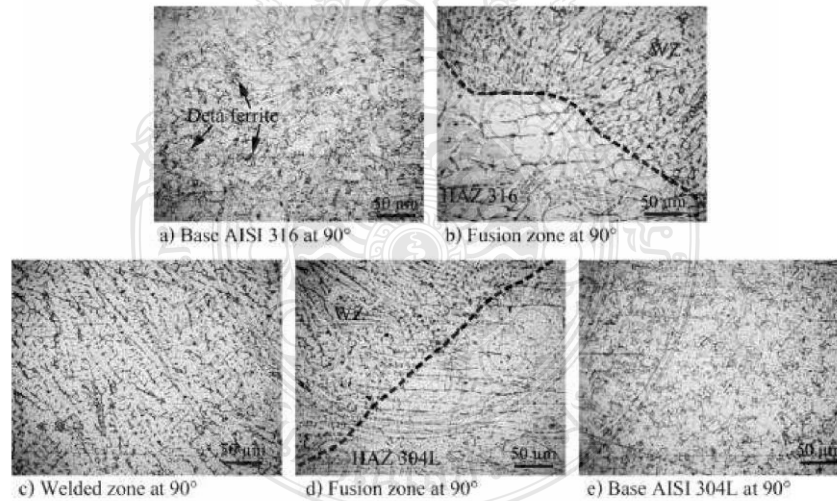
การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคจะทำการตรวจสอบในตำแหน่งเริ่มต้นกระบวนการเชื่อมที่มุม 0 องศา พบว่า โลหะเชื่อมลักษณะที่แนวเชื่อมลดตัวต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 4 a) และในการเชื่อมที่มุม 90 องศา แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ปราศจากจุดบกพร่องใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 b) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการตรวจสอบในตำแหน่งมุม 180 องศา พบ แนวเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์โดยแนวเชื่อมซึมลึกน้อยเกินไป (Inadequate Joint Penetration) ดังแสดงในรูปที่ 4 c) และตำแหน่งมุม 270 องศา พบ โลหะเชื่อมที่มีลักษณะนูน (Weld veinforcement) มากกว่าโลหะเชื่อมในตำแหน่งอื่นดังแสดงในรูปที่ 4 d) ซึ่งในงานวิจัยของ Tanigawa และคณะ ได้กล่าวว่ นอกจากการเริ่มต้นและสิ้นสุดในกระบวนการเชื่อม ซึ่งในตำแหน่งที่เป็นบริเวณทางลาดของท่อ ได้มีอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงโลหะเชื่อมน้อยกว่าตำแหน่งอื่น (Tanigawa, Maruyama, Noguchi, Takeda, & Kakudate, 2015)



รูปที่ 4 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคในแต่ละตำแหน่งมุมเชื่อม

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยจะทำการตรวจสอบในตำแหน่ง A-E ดังแสดงในรูปที่ 2 a) พบว่า บริเวณในตำแหน่งบริเวณฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 โครงสร้างจุลภาคประกอบไปด้วยเกรนที่มีลักษณะค่อนข้างกลมที่มีความละเอียด (fine equared grains) ของออสเตนไนท์ ซึ่งมีส่วนคล้ายการอบอ่อนในโครงสร้างออสเตนไนต์ที่แสดงในรูปที่ 5 a) และมีการปะปนของเฟสเดลต้าเฟอร์ไรต์ (delta ferrite) ในรูปแบบของการแทรกตัวกระจายอยู่ภายในเกรนและขอบเกรน (Ming, Zhang, Wang, Han, & Ke, 2014) ดังแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 5 a) และพื้นที่ที่กระทบร้อนสามารถสังเกตได้ในรูปที่ 6 b) พบโครงสร้างจุลภาคของพื้นที่บริเวณนี้มีเอกลักษณ์ที่เฉพาะด้วยการเพิ่มขึ้นของขนาดของเกรน อันเนื่องมาจากข้อเท็จจริงที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิปกติที่บริเวณเขตหลอมละลาย (Sánchez-Tovar, Montañés, & García-Antón, 2010) ดังแสดงในรูปที่ 5 c) และโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมของทุกมุมในการเชื่อมพบว่า เกิดการก่อตัวของโครงสร้างเดนไดรต์ พื้นที่สีขาวของโครงสร้างจุลภาคและพื้นที่สีดำแสดงพื้นที่แบ่งแยก เดนไดรต์ ดังแสดงในรูปที่ 5 c) และในบริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อนทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L ดังแสดงในรูปที่ 5 d) พบว่ามีลักษณะเกรนที่มีขนาดใหญ่ ที่คล้ายกับพื้นที่ที่กระทบร้อน ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ดังแสดงในรูปที่ 5 b) และเมื่อได้ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 พบว่า ลักษณะเฟสเดลต้าเฟอร์ไรต์ที่ผ่านการรีดขึ้นมีลักษณะเป็นแผ่นรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงในรูปที่ 5 e) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างจุลภาคของ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ดังแสดงในรูปที่ 5 a)

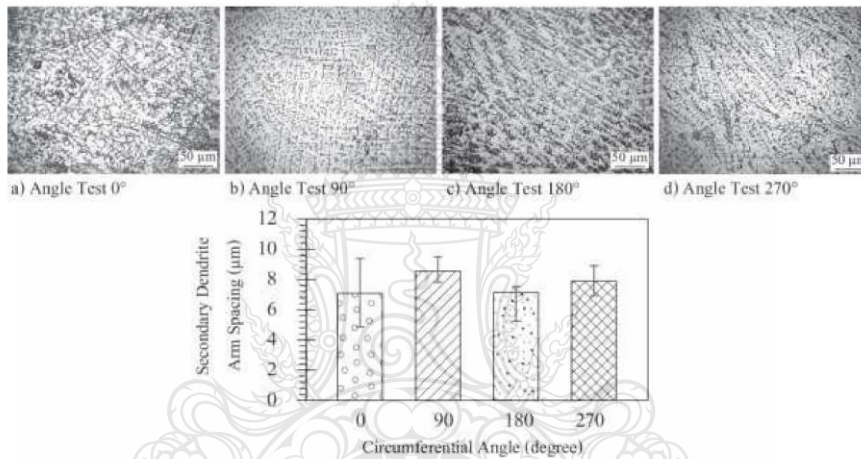


รูปที่ 5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคในมุมการเชื่อมที่ 90 องศา

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559 : 26 พฤษภาคม 2559

The 3rd Prachachuen Research Network National and International Conference 2016 : 26 May 2016

ในรูปที่ 6(a-d) ได้แสดงถึงโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมในมุมการทดสอบที่ต่างกันดังกล่าว ไว้ในตำแหน่ง C ในรูปที่ 2 a) พบว่า โลหะเชื่อมในทุกตำแหน่งเส้นรอบวงมีการกระจายตัวของเดนไดรต์ และมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละมุม จึงได้ทำการวัดระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิ (Secondary Dendrite Arm Spacing : SDAS) พบว่า ตำแหน่งเส้นรอบวงในการเชื่อมที่ส่งผลให้ระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์น้อยที่สุด คือ ตำแหน่งเชื่อมในมุม 0 องศา ซึ่งในงานวิจัยของ Hempel และคณะ ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการเชื่อมที่พบว่า เวลาในการถ่ายเทความร้อนที่การเชื่อมมุม 0 องศา ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากความจริงที่ว่าพื้นที่นี้จะมีความร้อนซ้ำ 2 ครั้ง จากการเริ่มต้นเชื่อมและสิ้นสุดการเชื่อมซึ่งจะนำไปสู่การลดลงของอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคและทำให้เกิดความเค้นแรงดึงตกค้างที่สูงขึ้น (Hempel, Nitschke-Pagel, & Dilger, 2015)

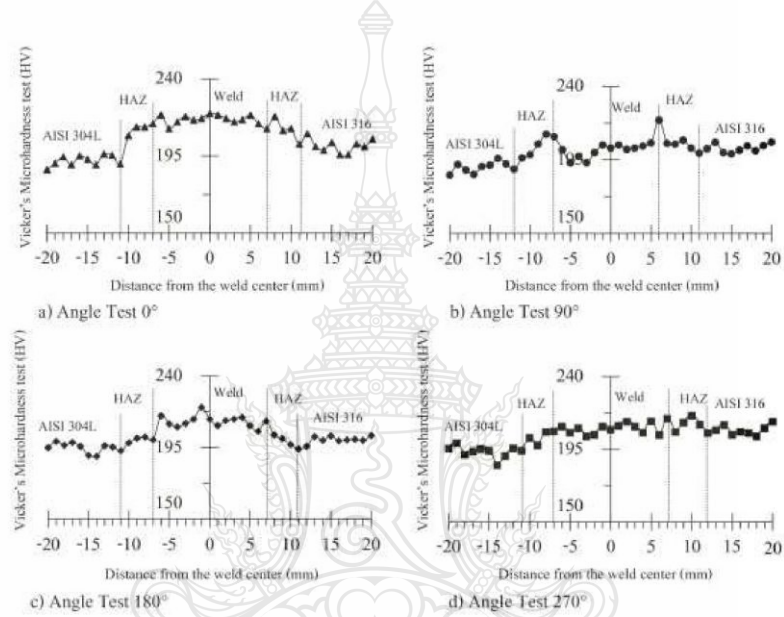


รูปที่ 6 การวัดระยะห่างของแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิบริเวณ โลหะเชื่อม

การตรวจสอบความแข็ง

ผลการทดสอบค่าความแข็งในโลหะเชื่อมที่มีลักษณะตำแหน่งเส้นรอบวงที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 (a) พบว่า บริเวณพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L ที่มีค่าความแข็งประมาณ 190 HV และบริเวณพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 มีค่าความแข็งประมาณ 215 HV ทั้ง 4 มุมในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7 (a-d) เมื่อได้ทำการทดสอบถึงบริเวณกระแทกความร้อนค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากขนาดของเกรนมีลักษณะหยาบอยู่ใกล้กับเขตหลอมละลายซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเฟส และด้วยเหตุนี้ค่าความแข็งในบริเวณกระแทกร้อน การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น (Ming et al., 2014) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความแข็งของโลหะเชื่อมทั้ง 4 มุม พบว่า ค่าความแข็งของโลหะเชื่อมที่มีค่าน้อยที่สุดอยู่ในมุมของการเชื่อม 90 องศา มีค่าความแข็ง

ประมาณ 205 HV และค่าของแข็งของโลหะเชื่อมมากที่สุด คือในมุมของการเชื่อม 0 องศา มีค่าความแข็งประมาณ 220 HV ซึ่งมีส่วนคล้ายกับงานวิจัยของ Hin – Hyung และ Chang ที่ได้ทำการศึกษาความเครียดตกค้างบริเวณมุมการเชื่อม 0 องศา พบว่า การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของความเครียดตกค้างสามารถสังเกตได้ในบริเวณที่มีการเชื่อมซ้อนทับกันในตำแหน่งเริ่มต้นเชื่อมและสิ้นสุด การเชื่อม ได้มีแนวโน้มความเครียดตกค้างที่สูงกว่าบริเวณอื่นของเส้นรอบวงการเชื่อม (C.-H. Lee & Chang, 2008)

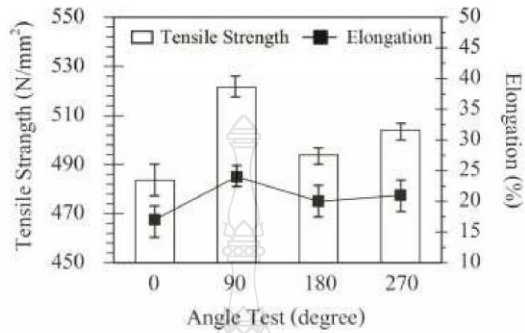


รูปที่ 7 การทดสอบค่าความแข็ง

การทดสอบความแข็งแรงดึง

การทดสอบความแข็งแรงดึงตำแหน่งเส้นรอบวงที่ 0 90 180 และ 270 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3 a) พบว่า ตำแหน่งที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงที่มีค่าน้อยที่สุด คือ ในมุมการเชื่อมที่ 0 องศา มีค่าความแข็งแรงดึง 483.64 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และมีอัตราการยืดตัว 17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการทดสอบชิ้นงานที่ตำแหน่ง 90 องศา พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงมีค่ามากที่สุดโดยมีค่าความแข็งแรงดึง 521.54 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และมีอัตราการยืดตัว 24 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งในรายงานของ Sakthivel และคณะ ได้กล่าวไว้ในรายงานถึงการปรากฏตัวเดนไดรต์ที่ก่อมาเพิ่มขึ้น ในเนื้อเชื่อมที่มีอิทธิพลสำคัญในการเปลี่ยนรูปและพฤติกรรมการฉีกขาดของรอยต่อ (Sakthivel et al., 2011) และในรายงานของ Ramazan ได้ศึกษาปริมาณของเฟสเดนไดรต์ที่

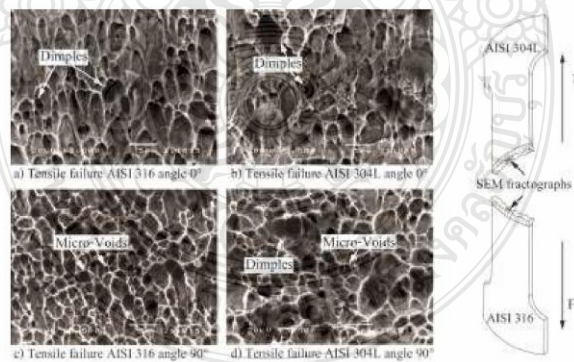
เกิดขึ้นในโลหะเชื่อมมีแนวโน้มที่ลดลงเพราะ ความร้อนที่สูงขึ้นในระหว่างกระบวนการเชื่อมโลหะทำให้ความร้อนสูงขึ้นและอัตราการระบายความร้อนจะลดลงและอัตราการเย็นตัวช้าลง (Yılmaz & Tümer, 2012)



รูปที่ 8 การทดสอบความแข็งแรงดึง

การตรวจสอบพฤติกรรมการฉีกขาด

รูปที่ 9 ได้แสดงถึงบริเวณตำแหน่งรอยฉีกขาดของมุมการเชื่อมที่ 0 องศาและ 90 องศา ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope:SEM) เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงดึงที่มีค่าต่ำและสูงที่สุด พบว่าในมุมเชื่อมที่ 0 องศา มีลักษณะรอยฉีกขาดของทางด้านโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L มีลักษณะรอยฉีกขาดที่เป็นรอยบุ๋ม (Dimples) ที่มีขนาดใหญ่ ดังแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 8 (a) และ 8 (b) และเมื่อได้ทำการเปรียบเทียบรอยฉีกขาดของตำแหน่งเส้นรอบวงที่ 90 องศา พบว่า รอยฉีกขาดของทางด้านโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304L รอยฉีกขาดมีลักษณะเป็นช่องว่างที่มีขนาดเล็กๆ (Micro-voids) และรอยบุ๋มขนาดใหญ่ (Dimples) ที่มีกระจายตัวบริเวณรอยฉีกขาด (Ramkumar et al., 2014) ดังแสดงด้วยลูกศรในรูปที่ 8 (c-d)



รูปที่ 9 การตรวจสอบพฤติกรรมการฉีกขาด

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559 : 26 พฤษภาคม 2559

The 3rd Prachachuen Research Network National and International Conference 2016 : 26 May 2016

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของตำแหน่งเส้นรอบวงของการเชื่อมอาร์กทั้งสะเตนเลสสตีลและโลหะเชื่อมที่ต่างกันระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L/316 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ค่าความแข็งของโลหะเชื่อม ที่มีค่ามากที่สุดคือ ในตำแหน่งเส้นรอบวงของการเชื่อมที่ 0 องศา และค่าความแข็งของโลหะเชื่อมที่มีค่าน้อยที่สุดคือ ในตำแหน่งเส้นรอบวงของการเชื่อมที่ 90 องศา
2. ระยะห่างระหว่างแกนเค้นดัดที่เพิ่มขึ้น ได้ส่งผลต่อ ค่าความแข็งแรงดึงที่เพิ่มขึ้น
3. มุมในการเชื่อมที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด จากการทดสอบความแข็งแรงดึงมีค่าเท่ากับ 521.54 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ในตำแหน่งเส้นรอบวงของการเชื่อมที่ 90 องศา

เอกสารอ้างอิง

- Das, C. R., Bhaduri, A. K., Srinivasan, G., Shankar, V., & Mathew, S. (2009). 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*, 209(3), 1428-1435. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.03.053
- Hempel, N., Nitschke-Pagel, T., & Dilger, K. (2015). Residual stresses in multi-pass butt-welded ferritic-pearlitic steel pipes. *Welding in the World*, 59(4), 555-563. doi:10.1007/s40194-015-0230-7
- Lee, C.-H., & Chang, K.-H. (2008). Three-dimensional finite element simulation of residual stresses in circumferential welds of steel pipe including pipe diameter effects. *Materials Science and Engineering: A*, 487(1-2), 210-218. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2007.10.011
- Lee, H.-Y., Lee, S.-H., Kim, J.-B., & Lee, J.-H. (2007). Creep-fatigue damage for a structure with dissimilar metal welds of modified 9Cr-1Mo steel and 316L stainless steel. *International Journal of Fatigue*, 29(9-11), 1868-1879. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2007.02.009
- Ming, H., Zhang, Z., Wang, J., Han, E.-H., & Ke, W. (2014). Microstructural characterization of an SA508-309L/308L-316L domestic dissimilar metal welded safe-end joint. *Materials Characterization*, 97, 101-115. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.matchar.2014.08.023
- Ramkumar, K. D., Mithilesh, P., Varun, D., Reddy, A. R. G., Arivazhagan, N., Narayanan, S., & Kumar, K. G. (2014). Characterization of Microstructure and Mechanical Properties of Inconel 625 and AISI 304 Dissimilar Weldments. *ISIJ International*, 54(4), 900-908. doi:10.2355/isijinternational.54.900
- Sakthivel, T., Vasudevan, M., Laha, K., Parameswaran, P., Chandravathi, K. S., Mathew, M. D., & Bhaduri, A. K. (2011). Comparison of creep rupture behaviour of type 316L(N) austenitic stainless steel joints welded by TIG and activated TIG welding processes. *Materials Science and Engineering: A*, 528(22-23), 6971-6980. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2011.05.052

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559 : 26 พฤษภาคม 2559

The 3rd Prachachuen Research Network National and International Conference 2016 : 26 May 2016

- Sánchez-Tovar, R., Montañés, M. T., & García-Antón, J. (2010). Effect of different micro-plasma arc welding (MPAW) processes on the corrosion of AISI 316L SS tubes in LiBr and H₃PO₄ solutions under flowing conditions. *Corrosion Science*, 52(4), 1508-1519. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2009.12.023>
- Sireesha, M., Shankar, V., Albert, S. K., & Sundaresan, S. (2000). Microstructural features of dissimilar welds between 316LN austenitic stainless steel and alloy 800. *Materials Science and Engineering: A*, 292(1), 74-82. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0921-5093\(00\)00969-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-5093(00)00969-2)
- Tanigawa, H., Maruyama, T., Noguchi, Y., Takeda, N., & Kakudate, S. (2015). Laser welding to expand the allowable gap in bore welding for ITER blanket hydraulic connection. *Fusion Engineering and Design*, 98-99, 1634-1637. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fusengdes.2015.06.155>
- Tide, C., Harkin, S. R., Geesey, G. G., Bremer, P. J., & Scholz, W. (1999). The influence of welding procedures on bacterial colonization of stainless steel weldments. *Journal of Food Engineering*, 42(2), 85-96. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00109-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00109-0)
- Tsay, L. W., Liu, Y. C., Young, M. C., & Lin, D. Y. (2004). Fatigue crack growth of AISI 304 stainless steel welds in air and hydrogen. *Materials Science and Engineering: A*, 374(1-2), 204-210. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2004.02.018>
- Yılmaz, R., & Tümer, M. (2012). Microstructural studies and impact toughness of dissimilar weldments between AISI 316 L and AH36 steels by FCAW. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5), 1433-1447. doi:10.1007/s00170-012-4579-0



รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ เครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Research Network National and International Conference 2016



A E C

IN THE GLOBAL ECONOMY

26 MAY 2016

BANGKOK UNIVERSITY

RANGSIT CAMPUS

BANGKOK, THAILAND

รายชื่อคณะกรรมการจัดงานจัดประชุมวิชาการ

มหาวิทยาลัยในเครือข่ายวิจัยประชาชน

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

Associate Professor Dr. Zhixia Gan	University of Chemical Technology, China
Lin, Chiou-Shin	University of Hong Kong
Associate Professor Dr. Fei Yan	Xi'an Polytechnic University, China
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ก่อศักดิ์ ธรรมเจริญกิจ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ กิตติคุณดร.นงลักษณ์ วิรัชชัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ ดร.ตรีทิพ บุญเยี่ยม	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
อาจารย์ ดร.สันติธร ภูริภักดี	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธินันท์ พรหมสุวรรณ	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนธร กิตติกันต์	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิรงค์ จุฑาพฤตจักร	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธ์จิตต์ สีเหนียง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา ศรีสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต ศรีสถาพรพัฒน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิหระ จงบุรี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ เกียรติ ไกร อายุวัฒน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ เกียรติคุณ ภิรมย์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พันธ์ แก้วดาภิทัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย เทพา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลพร แซ่ลี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์พรณ อัมพันธ์ทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย สุวพันธ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ ดร.ชนัญสราร อรนพ ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พนารัตน์ แซ่ลิ้ม	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
อาจารย์ จตุพร มีสกุล	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ดร.อนันต์ เชื้อชาญกิจการ	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วัชรภาพร อยู่ดี	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
อาจารย์ ดร.มยุรี โยธาวุธ	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Research Network National and International Conference 2016

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี ทองเอม	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญธัช วิภัติภูมิประเทศ	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑากานติ ชุบชวงส์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินธะวา คามคิยงู	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตินัน บุญภาพ คอมมมอน	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพร โกมารทัต	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กัญญารัตน์ หงส์วรรณัท	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
อาจารย์ ดร.กรรกริรมย์ โกมลารชุน	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
อาจารย์ ดร.บุศรินทร์ จงเจริญยานนท์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
อาจารย์ ดร.รอบทิส ไวยสุศรี	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รสสุคนธ์ เสวตเวชากุล	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทสารี สุขโต	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
รองศาสตราจารย์ ยุทธนา ธรรมเจริญ	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จุลศักดิ์ ชาญณรงค์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
อาจารย์ ดร.พัชราภา ตันติชูเวช	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
รองศาสตราจารย์ ดร.อศวิณ แสงพิบูล	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ดร.เสนห์ เดชะวงศ์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรศักดิ์ รอดจันทร์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
รองศาสตราจารย์ พินิจ ทิพย์มณี	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
อาจารย์ ดร.ภูริวรรณ วรรณุศาสน์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.โยธิน แสงวงลี	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.บุษยา ฤกษ์อำนวยโชค	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พหล ศักดิ์กะทัศน์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชนี นามจันทร์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภาพร นามวงศ์พรหม	มหาวิทยาลัยรังสิต
ศาสตราจารย์ นพ.วรชัย ศิริกุลชยานนท์	มหาวิทยาลัยรังสิต
รองศาสตราจารย์ ดร.โกสุม สายใจ	มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา วัฒนะศิริ	มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์
อาจารย์ ดร.ชนิตา มิตรานนท์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อาจารย์ ดร.จิตต์วิมล คล้ายสุบรรณ	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์แรม เรือนแป้น	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Reearch Network National and International Conference 2016

G

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินตนา ตันสุวรรณนนท์	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระวัฒน์ อนุวิชานนท์	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพันธ์ เขจรนันท์	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิศานาถ มั่งศิริ	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งนภา ตั้งจิตเรณูกุล	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรณูมาศ กุลศิริมา	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ รัตนสิทธิ์	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารมณี อุตภาพ	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
รองศาสตราจารย์ ดร.รัฐจวน ประวิติเมือง	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
รองศาสตราจารย์ ศิริวรรณ เสรีรัตน์	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยานี ภาคอืด	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช
รองศาสตราจารย์ ดร.กิ่งพร ทองใบ	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช



สารบัญบทความระดับชาติ ภาคภาษาไทย

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มวิทยาศาสตร์		
1	การวิเคราะห์สภาวะการแข่งขันของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไทยภายใต้ข้อตกลงเขตการค้าเสรีอาเซียน โดยใช้แบบจำลองแรงผลักดัน 5 ประการ <i>อรรถพล จันทรวินาศ,ภัทรเวช ชาราวชรักษ์,ชมพูนุท ดั่งพูล และ ชูศักดิ์ พรสิงห์</i>	1
2	การประยุกต์วิธีตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับการคาดการณ์ภาระการเจาะ <i>นฤทธิ์ คชฤทธิ, อรรถกร จันทรชนะ</i>	9
3	อิทธิพลของอุณหภูมิการอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อมที่ส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาค ความแข็ง และความต้านทานการสึกหรอของ โลหะเชื่อมพอกแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง JIS-S50C <i>สุรัตน์ ศรียวนพงศ์, วรญา วัฒนจิตศิริ,กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ และ อรรถกร จันทรชนะ</i>	22
4	การออกแบบและวางผังโรงงานของ โรงงานผลิตเครื่องจักรจากสแตนเลสแห่งหนึ่ง <i>ลักขณ อุปะทะ,นพคุณ ทิวพัฒน์ และ ชูศักดิ์ พรสิงห์</i>	32
5	การศึกษาความเป็นไปได้ในการเชื่อมอาร์กทั้งสะเตนแก๊สคลุมรอยต่อชนต่อต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L/316 <i>ไพโรจน์ บุญเกิด, อรรถกร จันทรชนะ และ กิตติพงษ์ กิมะพงษ์</i>	47
6	การสูมตัวอย่างแบบชิ้นภูมิโดยไม่ทราบขนาดประชากรในแต่ละชั้นภูมิด้วยวิธีเบย์ <i>สุวัฒน์ ปลื้มอรรมณ์</i>	58
7	การประเมินความคิดปกคึกของโครโมโซมมนุษย์ที่ได้รับสารไกลโฟเสทในสภาวะการทดลอง <i>พรภีไล ถนอมสวัสดิ์และ ลำไย ฉวีรัตนพันธุ์</i>	73
8	พฤติกรรมเสี่ยงทางเพศต่อการติดเชื้อเอชไอวีในวัยรุ่นชายรักรชายที่ทำงานในสถานบันเทิง <i>สุดาวัฒน์ พรหมศาสตร์, กนิษฐา จำรูญสวัสดิ์, วิริทธิ์ กิตติพิชัย และ กรรวรรณ ยอดไม้</i>	86
9	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการป้องกันโรคความดันโลหิตสูงของประชากรกลุ่มเสี่ยงสูง <i>กรณิศิษา ตำบลสากเหล็ก อำเภอสากเหล็ก จังหวัดพิจิตร</i> <i>เนตรนภา บัวแก้ว และ ธนัช กนกเทศ</i>	99

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Reaearch Network National and International Conference 2016

สารบัญบทความระดับชาติ ภาคภาษาไทย

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มมนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และการศึกษา		
1	การตีความนวนิยายเรื่องสี่แผ่นดินในทัศนะคติของจีน <i>QIN WENDAN AND WU SHENGYANG</i> (บทคัดย่อ)	122
2	พฤติกรรมการดูแลสุขภาพของพนักงานโรงแรมในเขตกรุงเทพมหานคร <i>ธีรวัฒน์ อิมประคองศิลป์</i>	123
3	แนวทางการจัดการความขัดแย้ง กรณีศึกษาการก่อสร้างฝายน้ำล้นพัฒนาชนบทบ้านข่งเต่า ตำบลนาเที่ยง อำเภอกุสุมาลย์ จังหวัดสกลนคร <i>สุนทร บุญองรักษ์</i>	144
4	ความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีอิทธิพลต่อการบริโภคอาหารแฝงลออริมบาทวิไลในเขตกรุงเทพมหานคร <i>นันท์วิรัตน์ สีทองสุด และ โอปอล์ สุวรรณเมฆ</i>	160
5	สำนวนไทยที่สะท้อนแนวความคิดแบบพอเพียง <i>วาสนา กาญจนะคูหา</i>	174
6	พฤติกรรมการเปิดรับสื่อ การรับรู้ภาพลักษณ์ด้านการดูแลกิจการที่ดีและความเชื่อมั่นต่อธนาคารออมสินที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการธนาคารออมสินในอนาคตของกลุ่มลูกค้าและไม่ใช้ลูกค้าในเขตกรุงเทพมหานคร <i>กรกฎ ธรรมหงส์ และ พัชรภรณ์ เกษะประกกร</i>	188
7	ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนวิชาการบัญชีบริหาร โดยใช้วิดีโอออนไลน์ ช่วยสอน: วิจัยเชิงทดลอง 2 ระยะ <i>ศิริวรรณ ว่องวิรุฒิ และ ณัฐชา วัฒนวิไล</i>	203
8	กฎหมายไทยกับการควบคุมการโฆษณาเครื่องมือแอสทอสอด <i>ธัญลักษณ์ นามจักร</i>	216
9	มาตรการการให้ความคุ้มครองพันธุสัตว์ภายใต้กฎหมายสิทธิบัตรของประเทศไทย เปรียบเทียบกับกฎหมายสิทธิบัตรของสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรป <i>บุญยศิษย์ บุญโพธิ์</i>	232

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Reearch Network National and International Conference 2016

สารบัญบทความระดับชาติ ภาคภาษาไทย

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มมนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และการศึกษา		
10	รูปแบบและความเชื่อเกี่ยวกับพระไภษัชยคุรุสมัษย์ตรีศัขัรมันที่ 7 ของประเทศ กัมพูชาที่ส่งผลต่อการสร้างพระไภษัชยคุรุฯ ในประเทศไทยช่วงพุทธศตวรรษที่ 18 <i>ธนุดม์ ธรรมพิทักษ์</i>	251
11	การตั้งคำถามต่อความเป็นสังคมเสี่ยงภัย: เงื่อนไขในการปรับตัวของคนเพื่อการดำรงชีวิต ในอันถอบหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา <i>มณฑานา ทิทัศน์เพ็ญ, ทิมัมพร เสนละเอียด และ จิตติมา รุปลักษ์</i>	269
12	การออกแบบศูนย์แสดงสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษาศูนย์แสดงสินค้าหนึ่ง ตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์คอกคอดกระ จังหวัดระนอง <i>ฐิติมา อัมพวรรณ</i>	284
13	หน้าที่และผลกระทบของความช่วยเหลือทางด้านมนุษยธรรมจากต่างประเทศต่อความ ขัดแย้งทางชาติพันธุ์กะเหรี่ยง : มุมมองจากทฤษฎีเศรษฐกิจการเมืองเกี่ยวกับความขัดแย้ง <i>สกุลกร ยาไทย</i>	304
14	การคุ้มครองลิขสิทธิ์ในยุคดิจิทัลกับงานภาพถ่าย <i>วิวัฒน์ สรรพคุณ</i>	316
15	แนวทางการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวประเภทนันทนาการ จังหวัดราชบุรี <i>รัชดาภรณ์ ต้นดีกำธน, ชวลีย์ ณ อดาง และ สหพันธ์ ตั้งเบญจสิริกุล</i>	325

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Reearch Network National and International Conference 2016

K

สารบัญบทความระดับชาติ ภาคภาษาไทย

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มบริหารธุรกิจ		
1	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อรายได้จากการท่องเที่ยวของประเทศสมาชิกกลุ่มประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน <i>สหพันธ์ ตั้งเบญจสิริกุล</i>	339
2	กลยุทธ์แฟชั่นรวดเร็ว (Fast Fashion) ที่ส่งผลกระทบต่อคตินิยมซื้อสินค้า H&M ของ ผู้บริโภคในกรุงเทพมหานคร <i>กมลทิพย์ แว่นแก้ว และ ศศิประภา พันธนาเสวี</i>	352
3	เครื่องมือการสื่อสารการตลาดผ่านเครือข่ายสังคมออนไลน์ (Social network marketing) ที่มีความสัมพันธ์กับการเลือกซื้อเบเกอรี่ผ่านช่องทางออนไลน์ของร้าน PIMPONG BAKERY HOMEMADE <i>ศศิทิพย์ อังคสุสิงห์ และ ศศิประภา พันธนาเสวี</i>	365
4	พฤติกรรมที่มีความสัมพันธ์กับความพึงพอใจในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เคมีของเกษตรกรผู้ ปลูกยางพาราในจังหวัดหนองคาย <i>อาภา คำนธานินทร์ และ โอปอล์ สุวรรณเมฆ</i>	378
5	การสำรวจการประยุกต์ใช้แอปพลิเคชัน ERP Software สำหรับ SME กรณี อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไทย <i>นันทน์ภัส สุขแก้ว, ภัทรเวช ชารนาชรักษ์, ชมพูนุท ตังวงกุล และ ชุติศักดิ์ พรสิงห์</i>	393
6	ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในการปฏิบัติงานของบุคลากรในสำนักงานใหญ่บริษัทค้า ปลีกสมัยใหม่แห่งหนึ่ง <i>จิตต์ธิดา ทิพย์มงคล และ ชีรเวช ทิตยส์แสง</i>	403
7	ปัจจัยที่มีอิทธิพลเชิงบวกต่อความภักดีของผู้อยู่อาศัยบ้านจัดสรรของบริษัท A <i>จิรพงศ์ มหจิตรเลิศนันท์ และ เทัญจิรา กันธวงค์</i>	418
8	ความรับผิดชอบต่อสังคมขององค์กรธุรกิจตามความคิดเห็นของลูกค้า กรณี บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) กับบริษัท สหพัฒนพิบูลย์ จำกัด (มหาชน) <i>รพีพรรณ ฉัตรเลิศยศ</i>	431
9	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการจัดทำแผนธุรกิจร้านจำหน่ายชุดแต่งกายสตรีวัยทำงานระดับพรีเมียม แบรนด์ "Nano Pleats Please By Alis" <i>อลิสสา เพกานนท์, ประวัฒน์ เบญญาศรีสวัสดิ์ และ ธาณี พุทธิวี</i>	445

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Reaearch Network National and International Conference 2016

L

สารบัญบทความระดับชาติ ภาคภาษาไทย

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มบริหารธุรกิจ		
10	ความจงรักภักดีของลูกค้าในการใช้บริการสอบเทียบเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมของบริษัท มิราเคิล อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล เทคโนโลยี จำกัด <i>เกศินีย์ แซ่มชัย และ ภูริศ ศรสุรทัต</i>	455
11	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสั่งซื้ออาหารจานด่วนโดยใช้วิธีการจัดส่งอาหารในเขตกรุงเทพมหานคร <i>พิมพ์ดารา โกมลเปลิน และ โอปอล์ สุวรรณเมฆ</i>	468
12	ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจซื้อเครื่องสำอางผ่านทางพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร <i>ศศิณัฐ ปานทอง และ รวิพรรณ สุภาวรรณ</i>	483
13	อิทธิพลของการใช้บุคคลที่มีชื่อเสียงอ้างอิงและชื่อเสียงของตราสินค้าที่ส่งผลต่อการรับรู้ด้านภาพลักษณ์ตราสินค้าและคุณค่าของตราสินค้ากระเป๋าแบรนด์หรูหราชของผู้หญิงวัยทำงานในเขตกรุงเทพมหานคร <i>ทัศนีย์ ศรีสวัสดิ์ และ รวิพรรณ สุภาวรรณ</i>	495
14	ผลกระทบของขวัญกำลังใจในการปฏิบัติงานที่มีต่อความผูกพันต่อองค์กรของพนักงานบริษัท เจ.เอส.อุตสาหกรรม จำกัด <i>ฐิติรัตน์ มีมาก, เซาว์ เต็มรักษ์ และ วิภาภรณ์ เกียรติอำนาจ</i>	506
15	การวิเคราะห์ความผันผวนของราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกต่อดัชนีราคาขายหมวดธุรกิจของตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย <i>พรนภา เถาว์ลัย และ สุมณี สุกกรโกศล</i>	520
16	พฤติกรรมผู้บริโภคกับการจัดทำแผนธุรกิจขนมไทยใส่ไอศครีม “ร้านกำหวาน” <i>สุกฤษณ์ รุ่งเรือง และ ประวิวัฒน์ เบญญาศรีสวัสดิ์</i>	533
17	ปัจจัยทางการตลาดผ่าน Mobile Marketing ของธนาคารไทยพาณิชย์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจดาวน์โหลด Application SCB UP2ME ของผู้ใช้บริการธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) ในเขตกรุงเทพมหานคร <i>ภัคญดา ธีรชัยชาญ และ ศศิประภา พันธนาเสวี</i>	542

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Reaearch Network National and International Conference 2016

M

สารบัญบทความระดับชาติ ภาคภาษาไทย

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มบริหารธุรกิจ		
18	คุณค่าของผลิตภัณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กับตัดสินใจซื้ออาหารสุนัข Natural & Premium แบรินด์ V CARE U ของผู้บริโภคนในเขตกรุงเทพมหานคร <i>กัญญาพร วงศ์ศิริลิน และ ศศิประภา พันธนาเสวี</i>	554
19	ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการซื้อผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดร่างกายสัปดาห์จากสมุนไพร <i>จิระประภา วงษ์เพ็ง และ ชีรเวช ทิพย์ลีแสง</i>	569
20	ปัจจัยด้านกลยุทธ์ผลิตภัณฑ์และพฤติกรรมผู้บริโภคโลกที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้ซื้อรถจักรยานยนต์ในเขตกรุงเทพมหานคร <i>ดวงพร วงษ์วัฒน์พงษ์ และ ภาวิศ ศรีสุรฤทธิ์</i>	585
21	การวางแผนการเงินส่วนบุคคลของประชาชนในกรุงเทพมหานคร <i>ปัทมา โกเมนท่าจรัส</i>	600
22	ปัจจัยทางเศรษฐกิจที่มีผลกระทบต่อดัชนีราคาหลักทรัพย์ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย และดัชนีกลุ่มอุตสาหกรรมธุรกิจบริการ <i>ศรุตดา โภควรรณากร และ รพีสร เพ็ญเกษม</i>	614
23	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการทำกำไรของธนาคารพาณิชย์ : กรณีศึกษาธนาคารขนาดใหญ่ 5 อันดับแรกในประเทศไทย <i>วิรุพห์ ลำภูล และ รพีสร เพ็ญเกษม</i>	625
24	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนทางการเงินกับราคาหลักทรัพย์ของบริษัทที่มีมูลค่าหลักทรัพย์ตามราคาตลาดสูงสุดของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย <i>สินี ภาควัฒนาร และ รพีสร เพ็ญเกษม</i>	635
25	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางเศรษฐกิจที่มีผลกับการเปลี่ยนแปลงดัชนีราคาอสังหาริมทรัพย์ของประเทศไทย <i>เกรียงไกร สิมปะสนุคนธ์ และ รพีสร เพ็ญเกษม</i>	648
26	ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างธุรกิจใหม่: ร้านตัดผมสุภาพบุรุษ De Kapper Barber Shop <i>มาจิตตรี กิจพิศุทธิ์ และ ประวัฒน์ เบญญาศรีสวัสดิ์</i>	659

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Reearch Network National and International Conference 2016

N

สารบัญบทความระดับชาติ ภาคภาษาไทย

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มบริหารธุรกิจ		
27	การประยุกต์แนวคิดตามหลักปรัชญาวิถีแห่งโตโยต้า ที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของพนักงาน ในการดำเนินกิจกรรมค้นหาและประเมินอันตราย CCF ในบริษัท ทาคาตะ ทีโอเอ จำกัด นันทชัย แก้วบุตร และ อภิวรรณ กรมเมือง	668
28	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจใช้บริการธนาคารอินเทอร์เน็ตของลูกค้าในเขต กรุงเทพมหานคร ภาวิณี บุษบงค์ และ อภิวรรณ กรมเมือง	684
29	องค์ประกอบของธุรกิจขายตรงที่ส่งผลต่อการสร้างภาพลักษณ์องค์กรในกลุ่มเครื่องสำอางค์ ไตอค์ โนมิติต่างช่องทางของบริษัท X พรธิดา สัมพันธ์เพ็ง และ ศศิประภา พันธนาเสวี	700
30	ความสัมพันธ์ระหว่างความชอบผลิตภัณฑ์กับแนวโน้มการชื้อน้ำพริกแกงแม่เสียนสุ ๑๐๐๐ ที่มีกลุ่มผู้ซื้อเป็นตัวแปรปรับ เยาวลักษณ์ เอกไพฑูรย์	716
31	การศึกษาเปรียบเทียบการตัดสินใจซื้อสารปรับปรุงดินตามส่วนประสมทางการตลาด ระหว่างผู้ซื้อซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการซื้อและแหล่งข่าวสารที่สำคัญแตกต่างกัน ในเขต กรุงเทพฯ และปริมณฑล ปิยาภรณ์ อาสาทรงธรรม	729
32	กลยุทธ์การประชาสัมพันธ์เพื่อการตลาดที่ส่งผลต่อภาพลักษณ์ของธนาคาร ไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) กาญจนา คนจริง และ ศศิประภา พันธนาเสวี	747
33	อิทธิพลของการผสมผสานกลยุทธ์ทางการตลาด (Convergence Marketing) ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเรียนกับสถาบัน Studio Academy ของลูกค้าในเขตกรุงเทพมหานคร ณัฐนิศา ทิลาพัชย์ และ ศศิประภา พันธนาเสวี	759
34	กลยุทธ์ราคาแบบส่วนลดและส่วนยอมให้ ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อเคมีเกษตรของเกษตรกรจากร้านสุริยาการเกษตร ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร รัตนา อินทจันทร์ และ ศศิประภา พันธนาเสวี	771

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Reearch Network National and International Conference 2016

สารบัญบทความระดับชาติ ภาควิชาภาษาจีน

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มบริหาร (ภาษาจีน)		
1	China excellent boxing coaches for researching the construction of professional quality modelRoot - based on 21 cases of interview data of qualitative analysis 中国优秀拳击教练员职业素质模型的构建研究—基于 21 例访谈数据的扎根质性分析 卜宪贵	783
2	A Study of E-learning Motivation Based on the Perspective of Software Developers 基于软件开发商角度对在线学习动机的研究 白力, 尚鸿雁	795
3	Study on Management Models for A Non-profit Arts Organization 非营利性艺术机构的管理方式探讨——以非盈利性博物馆为例 范玉婷, 尚鸿雁	805
4	About Manufacturing Enterprise Inventory Management -Industrial companies to win Truss Case 关于制造业企业库存管理研究——以胜桁工业公司为例 石航, 尚鸿雁	815
5	Study on Application of Balanced Scorecard - A Case Study for YXT Pharmaceutical Group Co., Ltd in Yunnan 平衡计分卡的应用——以 YXT 为例 吴霄婕, 尚鸿雁	826
6	Adults painting training creativity research 成年人绘画训练培养创造力的研究 郑汶, 汤之敏	837
7	A Research Among Thai Chinese Entrepreneurs Understanding Entrepreneurial Orientation, Portfolio Entrepreneurship and Entrepreneurship Performance: The Perspective of Chinese Entrepreneurs 泰国华人家族企业创业导向、组合创业与创业绩效的研究：华人企业家的角度 蔡荣庄	855
8	An Analysis of Marketing Environment and Strategies for Automatic Drip Machine of Garlic Peeling 点滴自动剥蒜机”营销环境分析及策略初探 徐梦朗, 尚鸿雁	866

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Reaearch Network National and International Conference 2016

สารบัญบทความระดับชาติ ภาวภาษาจีน

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มบริหาร (ภาษาจีน)		
9	Study on Personal Income Tax Declaration Systems Reform as Family Joint Reporting System in China 浅谈中国个人所得税向家庭联合申报制改革 蔡忱, 尚鸿雁	875
10	Exploration study of consuming decision of Chinese tourists regarding purchasing Bangkok bag-NARAYA 探索研究中国游客购买 NARAYA 曼谷包的消费决策因素 丁允岚, 陈昇	886
11	Brief analysis on the two types of multi-brand strategies 浅析两种类型的多品牌战略 马志彪, 尚鸿雁	899
12	Look Overseas Remittance functioning qualitative evidence with transaction cost perspective 用交易成本视角看侨批运作的质性证据 席德华, 汤之敏	907
13	Thinking of Listed Companies Affiliated Transactions Pricing 上市公司关联交易定价问题思考 温方程	913
14	The operation of the gallery and the status Chinese Art Gallery 画廊的运作以及中国画廊的现状 严飞鹏, Dr.Park	923
กลุ่มสังคมศาสตร์ (ภาษาจีน)		
15	Government in the intangible cultural heritage protection and development of management research -- about Tianlin Mubing Yao's copper inspired as an example in Guangxi 地方政府对非物质文化遗产的保护开发管理研究—以广西田林木柄瑶铜鼓舞为例 梁洁, 梁洁	932
16	On handing information company staff Training and management 浅析汉鼎信息公司员工培训与管理对策研究 李文苑, 尚鸿雁	941

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Reearch Network National and International Conference 2016

สารบัญบทความระดับชาติ ภาภษาจีน

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มสังคมศาสตร์ (ภาษาจีน)		
17	Measurement of Leadership for Middle-Level Management In Chinese Higher Education Institutes 中国高校中层干部领导力测评模型 杨璐, 汤之敏	950
18	Research on the influence of manager's over confidence on the investment behavior of enterprises—— A case of real estate enterprises in China Yan Qiang	959
19	The Evolution of SME Internationalization Theory: From Internationalization Process Theory to Network Approached Internationalization Theory 中小企业国际化过程理论到国际化网络理论的演进 伍又宜, Peter YY Ng	970
20	Marketing Strategy Company hunger millet hand 小米手公司饥饿营销策略研究 刘霜霜, 尚鸿雁	983
21	Accountant Professional Morality Situation Analysis 会计职业道德现状分析 王晓雨	994

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Reearch Network National and International Conference 2016

R

สารบัญบทความระดับนานาชาติ

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มสังคมศาสตร์ บริหาร วิทยาศาสตร์		
1	Guidelines for the Entertainment Business in Television Programs in ASEAN: Perspectives from Thai Television Executives <i>Tanyatorn Panyasopon</i>	1003
2	Factors Affecting Personal Savings of the Population Aged 50 – 59 Years Old in Thailand <i>Supachet Chansarn, Thanyakorn Chansarn</i>	1015
3	Tourism Impact towards Samchuk market, Suphanburi province, Thailand. <i>Chotnapa Somngam</i>	1029
4	The Effect of Video Assisted Learning on the Perception and Production of English Final Consonant Clusters of Mattayomsuksa 4 Students <i>Nanchaya Mancharoen, Thitirat Suwannasom, Orathai Chinakarapong</i>	1044
5	The Participation of Community in Packaging Design for Herbal Body Lotion Development <i>Nathanan Wiriyawit</i>	1060
6	From Senior to End of Life: How We Die with Dignity? Case Study of Thailand <i>Pongsavake Anekjumnongporn, Tunyaluk Anekjumnongporn, Saengduen Ratinthorn and Pisuda Promsuttirak</i>	1072
7	Phonological transfer: Cross-linguistic influence in native speakers of Thai to English <i>Kulthida Rattanadilok Na Phuket, Joseph William Bisset Grant and Sinnasone Sengchanthavong</i> (Abstract)	1078
8	PEOPLE-TO-PEOPLE MODEL: A CRISIS COMMUNICATION AND CRISIS MANAGEMENT LESSON LEARNED FROM THE WORST FLOOD CRISIS 2011 IN THAILAND <i>Patama Satawedin , Rosidayu Sabran</i>	1079
9	Leadership and Identity : Perspectives in African Literature <i>Karin Ilona Paasche</i>	1089

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559

The 3rd Prachachuen Reaearch Network National and International Conference 2016

สารบัญบทความระดับนานาชาติ

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มสังคมศาสตร์ บริหาร วิทยาศาสตร์		
10	Demographics and Marketing Mix Influences on Thai Students' Expectations Regarding Their Decisions to Attend a Tutoring School in Bangkok, Thailand <i>Paramon Chintawan</i>	1105
11	Automotive Wiring Harness Complexity Management Using Harmony Search Algorithm <i>Peerawat Nasok, Patrawach Tharawachcharak, Choosak Pornsing, and Apichat Soonthornwipat</i>	1117
12	Synthesis of STEM Education Learning Management Model by using Scratch Programming to Promote Creativity <i>Niramis Painprasert, Pallop Piriyasurawong</i>	1126
13	SYNTHESIS OF FLIPPED CLASSROOM TECHNIQUES MODEL WITH PROJECT-BASED LEARNING FOR ENHANCING HIGHER-ORDER THINKING SKILLS AND INFORMATION, MEDIA AND TECHNOLOGY SKILLS FOR UNDERGRADUATE STUDENTS <i>Watjanarat Kuandee, Pallop Piriyasurawong</i>	1138
14	SYNTHESIS A MODEL OF COOPERATIVE LEARNING TO PROMOTE RAJABHAT UNIVERSITY STUDENT' COMPETENCY IN INFORMATION TECHNOLOGY AND COMMUNICATION <i>Apasara Chaiyajit, Pallop Piriyasurawong, Apasara Chaiyajit and Pallop Piriyasurawong</i>	1149
15	The Impact of Information Technology on Effective Business Communication in The Myanmar Private Banking Industry <i>May Thu Win</i>	1159
16	The Development of Mass Media from the Central Region to the Northeast Region of Thailand <i>Benjapa Kaithong, Seksan Yongvanit and Satoh Tetsuo</i> (Abstract)	1172

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติเครือข่ายวิจัยประชาชน ครั้งที่ 3 ปี 2559
The 3rd Prachachuen Research Network National and International Conference 2016

T

สารบัญบทความระดับนานาชาติ

ลำดับที่	ชื่อเรื่อง	หน้า
กลุ่มสังคมศาสตร์ บริหาร วิทยาศาสตร์		
17	Bank Distribution Channels on Asset Management Companies in Indonesia <i>Rahmananda Fitra Feri</i>	1173
18	The Perceived Benefits and Challenges of Investing in Myanmar <i>Lu Lu Htoi</i>	1185
19	The Impact of Online Marketing Communication Strategies on Customer's Purchase Intention and Brand Recommendation for Wine Restaurant Business in Bangkok <i>J-kita Wongpitakroj, Duangthida Nunthapirat and Ratchada Ruenruoy</i>	1194
20	Factors Influencing Performance of the Night Flea Market in Thailand <i>Chaovalit Pakpianthakolphol</i>	1214
21	The Influence of China on Major Stock Markets <i>Inpong Louanglath</i>	1225
22	The role of diversity practices in promoting college students' self-concept across five ethnic groups <i>Darnell Cole, Meechai Orsuwan</i>	1248

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายไพโรจน์ บุญเกิด
วัน เดือน ปีเกิด	15 กุมภาพันธ์ 2519
ที่อยู่	107 หมู่ 6 ตำบล พุนยง อำเภอดากฟ้า จังหวัด นครสวรรค์ 60190
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
ประสบการณ์การทำงาน	บริษัท โฟร์โมสต์ ตำแหน่ง Maintenance PM Engineer บริษัท กรีนสปอต ตำแหน่ง Maintenance Engineer บริษัท ทิปโก้ ตำแหน่ง Maintenance Unit head บริษัท เนสท์เล่ ตำแหน่ง Maintenance Manager ตั้งแต่ พ.ศ 2558 – ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	085-813-2519
อีเมลล์	Autamo@hotmail.com