



โครงการวิจัย เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของรอยเชื่อมท่อไอเสียรถยนต์: การทดแทนวัสดุ
ชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติกด้วยเหล็กเหนียวหล่อ

A Comparative Study of Muffler Welds Properties:
Replacement of Austenitic Stainless Steel Part by Cast Steel

โดย

ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
พ.อ.อ.ศักดิ์ชัย จันทศรี
ผศ.ไพบูลย์ แยมเผื่อน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลฉะเชิงเทนา
งบประมาณประจำปี 2555

การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของรอยเชื่อมท่อไอเสียรถยนต์: การทดแทนวัสดุชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมอสเทนเนติกด้วยเหล็กเหนียวหล่อ งบประมาณประจำปี 2555





โครงการวิจัย เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของรอยเชื่อมท่อไอเสียรถยนต์: การทดแทนวัสดุชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิม
ออสเทนิติกด้วยเหล็กเหนียวหล่อ

A Comparative Study of Muffler Welds Properties: Replacement of Austenitic Stainless
Steel Part by Cast Steel

โดย

ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

พ.อ.อ.ศักดิ์ชัย จันทศรี

ผศ.ไพบุลย์ แยมเฟื่อน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี 2555

ผู้วิจัย : ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
พ.อ.อ.ศักดิ์ชัย จันทศรี
ผศ.ไพบุลย์ แยมเผื่อน
ชื่องานวิจัย : การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของรอยเชื่อมท่อไอเสียรถยนต์: การทดแทนวัสดุ
ชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติกด้วยเหล็กเหนียวหล่อ
หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

การลดต้นทุนการผลิตเป็นหนึ่งในวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตของอุตสาหกรรม การผลิตรถยนต์ ด้วยเหตุนี้การลดต้นทุนการผลิตโดยการใช้วัสดุที่ถูกกว่าแต่มีสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุ เดิมจึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ ชิ้นส่วนท่อไอเสียของรถยนต์สมัยใหม่เป็นชิ้นส่วนที่ มีการผลิตโดยการใช้วัสดุหลายชนิดที่มีการนำเอาเหล็กกล้าหล่อมาทดแทนเหล็กกล้าไร้สนิม อย่างไรก็ตาม การศึกษาเพื่อหาตัวแปรการเชื่อมที่ทำให้ได้สมบัติน้อยต่อที่ต่ำที่สุดเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องมีการ ทำการศึกษา ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการนำเอาเหล็กเหนียวหล่อ SC410 มาทดแทน เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในการผลิตชิ้นส่วนท่อไอเสียของโครงสร้างรถยนต์ และทำการศึกษา อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อ

วัสดุที่ใช้คือ เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก AISI304 หนา 10 มิลลิเมตร และเหล็กเหนียวหล่อ SC410 หนา 10 มิลลิเมตร ขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร แผ่นโลหะถูกประกอบกัน เป็นรอยต่อชนและทำการเชื่อมที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วยกระแสไฟเชื่อม 140-220 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200-400 มม./นาที่ และอัตราการไหลแก๊ส 10-20 ลิตรต่อนาที่ รอยต่อชนที่ผ่านการเชื่อมด้วยตัวแปรการเชื่อมที่กำหนดถูกนำมาทำการทดสอบสมบัติ ทางกลและตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเพิ่มขึ้นของกระแสในการเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมส่งผล ต่อความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมและการลดความกว้างของแนวเชื่อมและความซึมลึกของแนวเชื่อม สภาวะการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกที่ดีที่สุด คือ กระแสในการเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็ว เดินเชื่อม 200 มม./นาที่ มีค่าประมาณ 290 J ค่าความแข็งแรงบริเวณพื้นที่กระแทกร้อนทั้งสองด้านของ แนวเชื่อม และในโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้นมีค่าสูงกว่าโลหะหลักในการทดลองทั้งสองชนิด โครงสร้าง จุลภาคของพื้นที่กระแทกร้อนด้านรอยต่อด้านเหล็กเหนียวหล่อแสดงเม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตร บริเวณ กึ่งกลางของแนวเชื่อมประกอบด้วยเดนไดรต์ละเอียด โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระแทกร้อนด้าน เหล็กกล้าไร้สนิมแสดงเม็ดเกรนมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากกว่าโครงสร้างจุลภาคโลหะหลัก

คำสำคัญ : รอยต่อวัสดุต่างชนิด เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าหล่อ ความแข็งแรงกระแทก

Name : Assist. Prof. Kittipong Kimapong, Ph.D.
FS1 Sakchai Chantasri
Assist. Prof. Paiboon Yaemporn

Research Title : A Comparative Study of Muffler Welds Properties: Replacement of Austenitic Stainless Steel Part by Cast Steel

Organization : Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Abstract

Decreasing of the processing cost is one of an effective method to increase a productivity of an automobile industry. For decreasing the process cost, some cheaper materials that show the same properties are introduced to an automobile industry. A muffle part of the recent automobile is one of the parts that is produced using a new combination of materials using cast steel to replace stainless steel. However, a study of welding parameter optimization that produced a sound joint should be investigated. Therefore, this research work aims to introduce the SC410 cast steel to replace AISI304 stainless steel for producing a muffler part of car structure and to investigate the effect of welding parameters that affect to joint properties.

Materials used in this experiment were AISI304 austenitic stainless steel and SC410 cast steel that had a dimension of 10 millimeters in thickness, 50 millimeters in width and 150 millimeters in length. The plates were set to be a butt joint and to weld the joint using various welding parameters such as welding current of 140-220 A, traveling speed of 200-400 mm. /min and gas flow rate of 10-20 l/min. The butt joints that were produced by a given welding parameter were an investigation of mechanical test and metallographic examination.

The summarized experimental results are as follows. Increasing of a welding current and a travelling speed affected to produce a sound joint and to decrease a width of a weld bead and a penetration of a weld. The optimized welding parameters that showed the impact strength of 290 J were a welding current of 220 A, a traveling speed of 200 mm. /min and a gas flow rate of 20 l/min. The hardness of the heat affected zone and the welded metal of the joint was higher than that of the base metal. The microstructure of the heat affected zone of cast steel side showed a regular grain shape. The middle of the welded metal showed a fine dendrite structure. The microstructure of the stainless steel heat affected zone showed a regular grain that was finer than that of the base metals.

Keywords: dissimilar materials joint, stainless steel, cast steel, impact strength

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2555 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง ทำให้การทดลองสามารถดำเนินการไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนั้นขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับการงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
ศักดิ์ชัย จันทศรี
ไพบูลย์ แยมเพื่อน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม	4
2.2 การเชื่อม GMAW	5
2.3 กระแสเชื่อม (Welding Current)	8
2.4 แก๊สคลุม (Shielding Gas)	9
2.5 ลวดเชื่อม (Electrode Wire)	14
2.6 การทดสอบสมบัติทางกล	14
2.7 การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ	16
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	20
3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	20
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	22
3.3 การทดสอบสมบัติทางกล	24
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	28
4.1 ตัวแปรของกระแสเชื่อมต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม	28
4.2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม	45
4.3 การเปรียบเทียบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม	61
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	76
5.1 สรุปผลการทดลอง	76
บรรณานุกรม	77
ภาคผนวก ก	79
ภาคผนวก ข	81
ภาคผนวก ค	83

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อดีและข้อเสียของแก๊สอาร์กอนเมื่อเทียบกับแก๊สฮีเลียม	12
2.2	ข้อดีและข้อเสียของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	13



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ส่วนประกอบท่อไอเสีย	2
2.1	การอาร์คของการเชื่อมแบบ GMAW	6
2.2	การถ่ายโอนโลหะแบบต่างๆ	7
2.3	การถ่ายโอนโลหะแบบพัลส์	8
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมกับความเร็วในการป้อนลวด	8
2.5	รูปแบบของกระแสเชื่อมแบบพัลส์	9
2.6	รูปร่างของรอยเชื่อมจากการใช้แก๊สคลุมที่แตกต่างกัน	11
2.7	ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบแรงกระแทก	15
2.8	ลักษณะหัวกดเพชรที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์	16
3.1	อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในการเชื่อม	20
3.2	แก๊สปกคลุมอาร์โกซิล 64 ที่ใช้ในการเชื่อม	21
3.3	อุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเชื่อม	21
3.4	เครื่องเชื่อม MIG ที่ใช้ในการวิจัย	22
3.5	อุปกรณ์การจับยึดชิ้นงานในการเชื่อม	22
3.6	ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเชื่อม	23
3.7	ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงาน	23
3.8	ชิ้นงานหลังจากผ่านการเชื่อม	24
3.9	ขั้นทดสอบการกระแทก	24
3.10	เครื่องทดสอบแรงกระแทก	25
3.11	การวัดขนาดบริเวณแนวเชื่อม	25
3.12	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	26
4.1	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	28
4.2	ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	29
4.3	ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	30
4.4	โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	31
4.5	ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	32
4.6	โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม/นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	33
4.7	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	34
4.8	ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	35

สารบัญรูป (ต่อ)

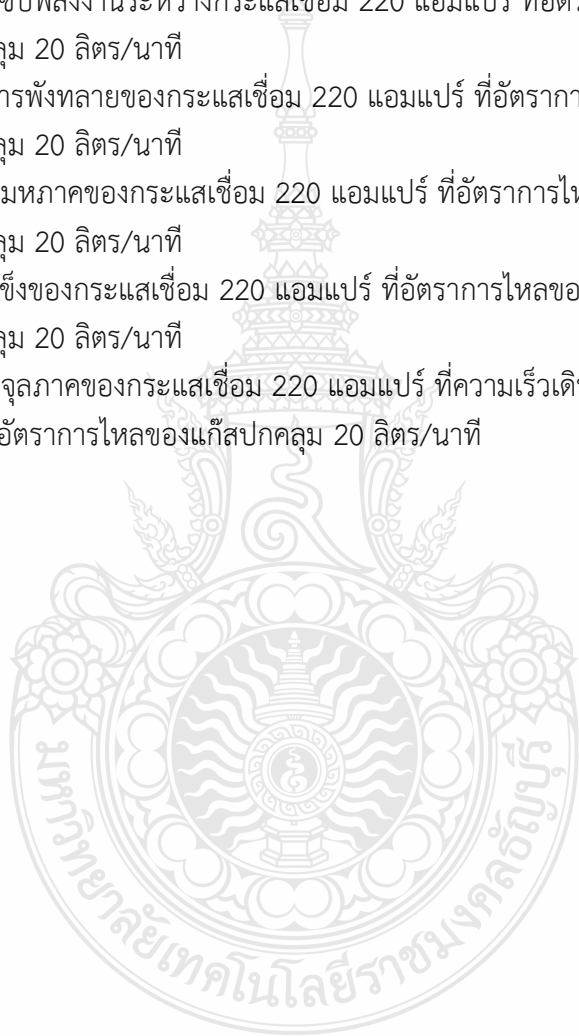
รูปที่		หน้า
4.9	ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	36
4.10	โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	37
4.11	ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	38
4.12	โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม/นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	39
4.13	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	40
4.14	ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	41
4.15	ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	42
4.16	โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	43
4.17	ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	44
4.18	โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม/นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	44
4.19	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	45
4.20	ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	46
4.21	ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	47
4.22	ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	48
4.23	ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	49
4.24	โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม/นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	50
4.25	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	51
4.26	ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	52
4.27	ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.28	โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	54
4.29	ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	54
4.30	โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม/นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	55
4.31	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	56
4.32	ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	57
4.33	ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	58
4.34	โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	59
4.35	ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	59
4.36	โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม/นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	60
4.37	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	61
4.38	ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	62
4.39	ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	63
4.40	โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	64
4.41	ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	65
4.42	โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม/นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที	65
4.43	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	66
4.44	ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	67
4.45	ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	68
4.46	โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.47	ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	69
4.48	โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม/นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที	70
4.49	ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	71
4.50	ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	72
4.51	ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	72
4.52	โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	74
4.53	ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	74
4.54	โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม/นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที	75



บทที่ 1

บทนำ

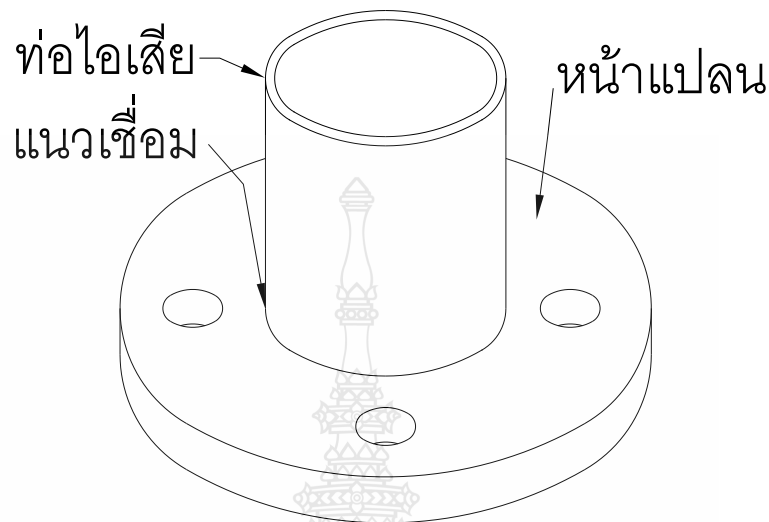
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์มีการแข่งขันทางการตลาดอย่างสูง บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการต่างๆ เพื่อลดต้นทุนในการผลิตสินค้า โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสินค้า เช่น วัสดุดีบุก หรือวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ท่อไอเสียก็เป็นชิ้นส่วนสำคัญในโครงสร้างรถยนต์ที่มีความจำเป็นในการลดต้นทุนการผลิต โดยการเปลี่ยนแปลงวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิต ซึ่งวัสดุเดิมจะเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ในอดีตที่ผ่านมาเหล็กกล้าไร้สนิมที่นำมาใช้ในการผลิตท่อไอเสีย เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก (Austenitic Stainless Steel) เนื่องจากสมบัติเด่นหลายประการ สามารถใช้ได้ทั้งในสภาวะอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง มีความสามารถในการเชื่อมดีกว่าเหล็กผสมสูงทั่วไป เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเทนเนติกสามารถทำการเชื่อมได้ง่ายที่สุดและเชื่อมได้โดยไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนก่อนทำการเชื่อม หรือให้ความร้อนภายหลังการทำเชื่อม แต่สิ่งที่ต้องระวัง คือ ผลของความร้อนที่สูงเกินไปทำให้เกรนหยาบและไม่ทนต่อแรงกระแทก นอกจากนี้อุณหภูมิสูงทำให้ชิ้นงานเชื่อมบิดเบี้ยวได้ [1]

วิธีการเชื่อมท่อไอเสียจะใช้กระบวนการเชื่อมไฟฟ้า กระบวนการเชื่อมด้วยไฟฟ้า (Arc Welding Process) เป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้โลหะหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน โดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากการอาร์คทางไฟฟ้า ระหว่างชิ้นงานโลหะและลวดเชื่อม ในทางอุตสาหกรรมนิยมนำมาใช้ในการต่อวัสดุ เนื่องจากสามารถเชื่อมต่อวัสดุได้ทั้งโลหะที่อยู่ในกลุ่มเหล็กและนอกกลุ่มเหล็ก กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าที่นิยมใช้คือ การเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม (Gas Metal Arc Welding; GMAW) ที่มีชื่อเรียกว่า การเชื่อม MIG (MIG Welding Process) เป็นกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้ลวดเชื่อมเส้นเปลือย ที่มีลักษณะเป็นลวดเส้นตัน (Solid Wire) มาทำการอาร์คกับโลหะชิ้นงาน ความร้อนที่เกิดจากการอาร์คทำการหลอมละลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และใช้แก๊สคลุมบริเวณโลหะหลอมละลายของงานเชื่อม เพื่อป้องกันไม่ให้ออกซิเจนจากบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะหลอมละลาย การเชื่อมนี้ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอย่างแพร่หลาย [2]

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบหลักของท่อไอเสียซึ่งประกอบด้วยหน้าแปลนที่มีหน้าที่ในการจับยึดเข้ากับตัวเครื่องยนต์ที่เป็นโลหะแผ่นหนาประมาณ 5-10 มม. และส่วนท่อไอเสียที่มีรูปร่างเป็นท่อผนังบางความหนาประมาณ 2 มม. ในอุตสาหกรรมปัจจุบันของผู้ผลิตรถยนต์ในประเทศไทยพบว่าส่วนประกอบทั้งหมดนั้นใช้เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก 304 เป็นวัสดุหลักในการผลิตดังกล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามการใช้เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก 304 นั้นมีข้อเสีย คือ มีราคาที่สูงทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จากการร่วมกันพิจารณาระหว่างคณะผู้วิจัยและบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนผลิตรถยนต์แห่งหนึ่งได้มีความเห็นร่วมกันในการคิดค้นหาวิธีการในการลดค่าใช้จ่ายการผลิตท่อไอเสียขึ้น โดยมีสมมติฐานการลดค่าใช้จ่ายคือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตลดลงและคุณภาพของรอยต่อต้องเท่ากับหรือสูงกว่ารอยต่อที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำหน้าแปลนจากเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก 304 เป็นเหล็กเหนียวหล่อ 410 ซึ่งเหล็กเหนียวหล่อ 410 เป็นเหล็กที่มีโครงสร้างพื้นเป็นออสเทนไนท์คล้ายคลึงกับโครงสร้างออสเทนไนท์ในเหล็กกล้าไร้

สนิมออสเทนเนติก 304 ซึ่งคาดว่าสมบัติทางกายภาพที่คล้ายกันจะทำให้ได้โลหะเชื่อมที่มีคุณภาพใกล้เคียงกันได้ [3]



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบท่อไอเสีย

ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนในการผลิตท่อไอเสียรถยนต์คณะผู้วิจัยจึงเสนอแนวคิดในการทดแทนชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก 304 ในระบบท่อไอเสียของรถยนต์ด้วยเหล็กเหนียวหล่อ W410 และทำการเชื่อมโลหะทั้งสองเข้าด้วยกันด้วยวิธีการเชื่อมมิก เพื่อศึกษาตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อคุณภาพรอยเชื่อม และมีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม ซึ่งหากสามารถได้แนวเชื่อมที่มีคุณภาพที่ยอมรับได้ จะสามารถเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุทดแทนเพื่อลดต้นทุนในการผลิต นอกจากนี้หากพิจารณาในภาพรวมของการพัฒนา งานวิจัยนี้มีความสำคัญในการจัดการความรู้และผลงานวิจัยเทคโนโลยีที่สำคัญเพื่ออุตสาหกรรมยานยนต์ และสามารถนำไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ส่งผลทำให้เกิดความเชื่อมั่นและกระตุ้นเศรษฐกิจในภาพรวม เนื่องจากมีการลดต้นทุนการผลิตได้ นอกจากนี้หากพิจารณานโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การวิจัย และนวัตกรรม ตามแผนนโยบายระยะการบริหารราชการ 3 ปี ของรัฐบาล งานวิจัยนี้สามารถทำให้เกิดนักวิจัยด้านเทคโนโลยีการเชื่อมซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญอันดับต้นในการประกอบยานยนต์ในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ในประเทศได้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมมิกที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และเหล็กเหนียวหล่อ 410

1.2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของรอยเชื่อมที่ตัวแปรการเชื่อมต่างๆ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 มีขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตรหนา 10 มิลลิเมตร และเหล็กเหนียวหล่อ 410 แบบออสเทนเนติก กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตรหนา 10 มิลลิเมตร

1.3.2 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมประมาณ 140-220 Amp.

1.3.3 อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนประมาณ 15-20 ลิตรต่อนาที

1.3.4 ความเร็วการเคลื่อนที่หัวเชื่อมประมาณ 30-50 เซนติเมตรต่อนาที

1.3.5 ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 308L ที่ใช้ในการเชื่อมขนาดประมาณเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร

1.3.6 อัตราการป้อนลวดประมาณ 7 เมตรต่อนาที

1.3.7 มุมหัวเชื่อมประมาณ 90 องศา

1.3.8 แก๊สที่ใช้ปกคลุมแนวเชื่อมคือแก๊สอาร์กอน มีความบริสุทธิ์ของแก๊ส 99.990 %

1.3.9 ทดสอบสมบัติทางกลของรอยเชื่อม ทางด้านการทดสอบแรงดึง และทดสอบหาค่าความแข็ง

1.3.10 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 แก้ปัญหาในการดำเนินงานของหน่วยงานที่ทำการวิจัย โดยการเพิ่มศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก 304 และเหล็กเหนียวหล่อ 410 ด้วยการเชื่อมมิก ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1.4.2 เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไป โดยการพัฒนาองค์ความรู้พื้นฐานของการเชื่อมวัสดุต่างชนิดในภาคอุตสาหกรรมยานยนต์

1.4.3 บริการความรู้แก่ภาคธุรกิจเพื่อนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ โดยการจัดเตรียมข้อมูลวิธีการ และผลการทดลองเบื้องต้น ที่สามารถนำเสนอให้แก่ภาคอุตสาหกรรมยานยนต์ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อทำการผลิตได้ทันที

1.4.4 เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยคาดว่าผลการทดลองที่ได้จะเป็นหนึ่งทางเลือกในการใช้เป็นข้อมูลพิจารณาการใช้กรรมวิธีการเชื่อมวัสดุต่างชนิด เพื่อลดเวลาการทำการทดลอง เพื่อให้ได้ตัวแปรการเชื่อมที่มีความเหมาะสมต่อไป และทำให้ได้แนวเชื่อมที่มีประสิทธิภาพสูงที่มีต้นทุนการผลิตต่ำขึ้น

1.4.5 เป็นประโยชน์ต่อประชากรกลุ่มเป้าหมาย กล่าวคือกลุ่มผู้วิจัย พัฒนางค์ความรู้เกี่ยวกับการเชื่อมมิกการเชื่อมวัสดุต่างชนิด เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

1.4.6 กลุ่มบุคคลที่เกี่ยวข้องทางด้านการศึกษา ได้เรียนรู้กระบวนการการเชื่อมมิกการเชื่อมวัสดุต่างชนิด และมีโอกาสในการประยุกต์ใช้ในอนาคตต่อไป

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steels) หมายถึงเหล็กกล้าที่ผสมโครเมียมอย่างน้อย 10.5 % ทำให้มีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อน โดยเหล็กกล้าไร้สนิมจะสร้างฟิล์มของโครเมียมออกไซด์ที่บางและแน่นที่ผิวเหล็กกล้า ซึ่งจะปกป้องเหล็กกล้าจากบรรยากาศภายนอก[4]

กลุ่มต่างๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างจุลภาคได้เป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้ [5]

2.1.1 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic Grade) ที่ใช้กันมากจะผสมโครเมียม (Cr) ประมาณ 12% หรือ 17% (ช่วงของส่วนผสมของ Cr +/-1%) มีนิเกิลน้อยมาก (ติดมากับวัตถุดิบ) เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะมี 5 โครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์และมีคุณสมบัติที่แม่เหล็กสามารถดูดติดได้ มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) และค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ปานกลาง มีค่าความยืด (Elongation) สูง เช่น เกรด 430, 409 เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเฟอร์ริติกมีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มออสเทนนิติก แต่อาจพบปัญหาเรื่องเกรนหยาบ (Grain Coarsening) และสูญเสียความแกร่ง (Toughness) หลังการเชื่อม การใช้งาน เช่น ชิ้นส่วนเครื่องซักผ้า ชิ้นส่วนระบบท่อไอเสียและในบางเกรดจะผสมโครเมียมสูงเพื่อใช้กับงานที่ต้องทนอุณหภูมิสูง [6]

2.1.2 เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic Grade) ที่ใช้กันมากจะผสมโครเมียมประมาณ 17% (ช่วงของส่วนผสมของ Cr +/-1%) และนิเกิล (Ni) ประมาณ 9% (ช่วงของส่วนผสมของ Ni +/-1%) การผสมนิเกิลทำให้เหล็กกลุ่มนี้ต่างจากกลุ่มเฟอร์ริติก โดยนิเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนและทำให้โครงสร้างจุลภาคเป็นออสเทนไนต์ เหล็กกลุ่มนี้บางเกรดจะผสมโครเมียมและนิเกิลเพิ่มเพื่อให้สามารถทนต่อการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้สามารถใช้เป็นส่วนประกอบของเตาหลอม เหล็กกลุ่มออสเทนนิติกนี้จะทนทานต่อการกัดกร่อนดีกว่าเหล็กกลุ่มเฟอร์ริติก ในด้านคุณสมบัติเชิงกล เหล็กกลุ่มออสเทนนิติกจะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield Strength) ใกล้เคียงกับของกลุ่มเฟอร์ริติก แต่จะมีค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และค่าความยืด (Elongation) สูงกว่าจึงสามารถขึ้นรูปได้ดีมาก เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กไม่ดูดติด (ในสภาพผ่านการอบอ่อน) เช่น เกรด 304, 316L, 321, 301 การใช้งาน เช่น หม้อซักรีด

2.1.3 เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก (Martensitic Grade) จะผสมโครเมียมประมาณ 11.5-18% เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีคาร์บอนพอเหมาะและสามารถชุบแข็งได้ เหล็กกล้ากลุ่มนี้มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) และความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) สูงมาก แต่จะมีค่าความยืด (Elongation) ต่ำ เช่น เกรด 420 การใช้งาน เช่น ใช้ทำเครื่องมือตัด ชิ้นส่วนมีด

2.1.4 เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (Duplex Grade) จะมีโครงสร้างผสมระหว่างออสเทนไนต์และเฟอร์ไรต์ มีโครเมียมผสมประมาณ 21-28% และนิเกิลประมาณ 3-7.5% เหล็กกล้ากลุ่มนี้จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดครากสูงและค่าความยืดสูง จึงเรียกได้ว่ามีทั้งความแข็งแรงและความเหนียว (Ductility) สูง เช่น เกรด 2304, 2205, 2507 [6]

2.1.5 เหล็กกล้าไร้สนิมอบชุบแข็งด้วยการตกผลึก (Precipitation-Hardening Grade) มีโครเมียมผสมประมาณ 15-18% และนิกเกิลอยู่ประมาณ 3-8% เหล็กกล้ากลุ่มนี้สามารถทำการชุบแข็งได้ จึงเหมาะสำหรับทำแกน ปีม หัววาล์ว ตัวอย่างเกรดของเหล็กกลุ่มนี้ เช่น PH13-9Mo, AM-350 [7]

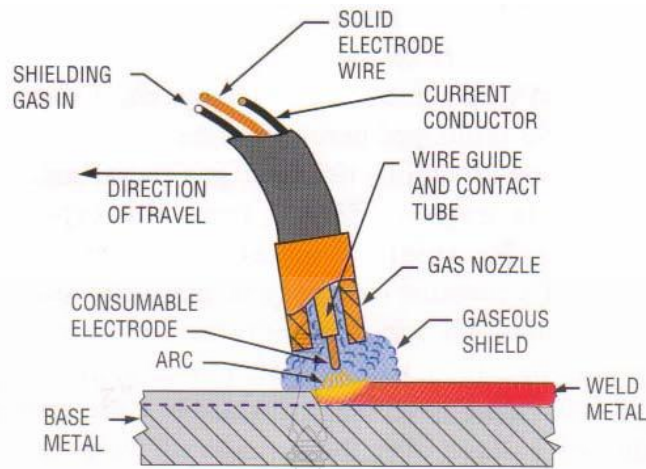
2.2 การเชื่อม GMAW

การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม เป็นการเรียกชื่อโดยรวมและจะใช้ชื่อแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของแก๊สคลุม เช่น การเชื่อมมิก (Metal Inert Gas Arc Welding: MIG) จะใช้แก๊สอาร์กอน (Ar) แก๊สฮีเลียม (He) หรือแก๊สผสมระหว่างอาร์กอนและฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมขณะเชื่อม การเชื่อมแม็ก (Metal Active Gas Arc Welding: MAG) เป็นการพัฒนาโดยการนำเอาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สอื่นๆ มาผสมกับแก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สคลุมขณะเชื่อม ส่วนการเชื่อม CO₂ คือการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สคลุมขณะเชื่อมเพียงอย่างเดียว [2]

กรรมวิธีการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม ลวดเชื่อมจะถูกหลอมเหลวและเติมเนื้อโลหะเชื่อม เหมือนกับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ทั่วไป เพียงแต่การเชื่อมแบบ GMAW จะใช้แก๊สคลุมขณะเชื่อมแทนการใช้ฟลักซ์ ดังนั้น จึงไม่มีสแลกปกคลุมภายหลังการเชื่อม โดยกระแสเชื่อมจากเครื่องเชื่อมจะถูกส่งไปสู่ท่อนำลวดภายในหัวเชื่อม ผ่านไปยังลวดเชื่อมสู่ชิ้นงาน ลวดเชื่อมจะทำหน้าที่เป็นตัวอาร์คและหลอมละลายรวมกับชิ้นงานเป็นการเติมเนื้อโลหะชุดบ่อนลวดจะหน้าที่ขับเคลื่อนลวดเชื่อมไปสู่การอาร์คด้วยอัตราความเร็วที่สัมพันธ์กับการหลอมละลายของลวดเชื่อมด้วยชุดควบคุมกระแสเชื่อมของเครื่องเชื่อม

2.2.1 การอาร์ค (Arc)

ในกรรมวิธีการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม ความร้อนที่หลอมลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานจะเกิดจากการอาร์คระหว่างปลายลวดเชื่อมเคลื่อนที่กับชิ้นงานเชื่อมการอาร์คจะเกิดขึ้นได้เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกลุ่มอะตอมของแก๊สที่มีประจุไฟฟ้า (Ionized Gas) โมเลกุลและอะตอมของแก๊สจะแตกตัวออกทำให้มีสภาพไม่เป็นกลาง (Ionized) เพราะสูญเสียอิเล็กตรอนไปจากประจุไฟฟ้าบวก (Positive Charge) อีออนแก๊สที่เป็นบวกจะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ส่วนอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ปริมาณความร้อนประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ จะถูกส่งผ่านโดยอิเล็กตรอนและคงจะเป็นการส่งผ่านของอีออนบวก (Positive Ion) ความร้อนจากการอาร์คจะหลอมลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงาน ปลายลวดเชื่อมส่วนที่หลอมจะถูกถ่ายโอน (Transfer) ผ่านการอาร์คเข้าสู่บ่อหลอมเหลว บริเวณกระบอกเชื่อมและลวดเชื่อมจะถูกปกคลุมให้พ้นจากบรรยากาศรอบนอก โดยแก๊สที่ไหลพุ่งออกจากหัวเชื่อม แสดงในรูปที่ 2.1 ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการอาร์คของกระบวนการเชื่อมนี้จะสูงกว่าการเชื่อมอาร์คแบบอื่นๆ

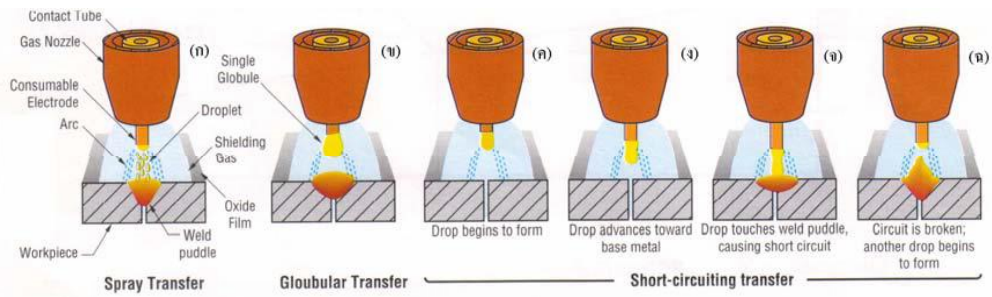


รูปที่ 2.1 การอาร์คของการเชื่อมแบบ GMAW [2]

2.2.2 การถ่ายโอนโลหะ (Metal Transfer)

การถ่ายโอนโลหะ หมายถึง การที่โลหะหลวดยึดเชื่อมหลอมเป็นหยดและหลุดออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านการอาร์คเข้าสู่บ่อหลอมละลายบนโลหะชิ้นงาน ซึ่งการถ่ายโอนให้ได้หยดของโลหะจะเกิดจากแรงที่กระทำต่อหยดโลหะที่ปลายลวดเชื่อม โดยปฏิกริยารวมกันระหว่างแรงและส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม ชนิดของแก๊สคลุม กระแสเชื่อม แรงดันเชื่อม และขนาดของลวดเชื่อม โดยแรงที่กระทำต่อหยดโลหะ เช่น แรงตึงผิว (Surface Tension) พลาสมาอาร์ค (Plasma Arc) ความเร็ว (Velocity) แรงโน้มถ่วง (Gravity) แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnetic Force) และพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จะเป็นตัวกำหนดลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะที่แตกต่างกันออกไป ทำให้เกิดรูปแบบการถ่ายโอนโลหะลักษณะต่างๆ ดังนี้

ก) การถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์ (Spray Transfer) กระบวนการถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์จะเกิดจากการหลอมของปลายลวดเชื่อมเป็นหยดโลหะขนาดเล็ก วงรอบการถ่ายโอนจะเริ่มขึ้นเมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมละลายแล้วก่อตัวเป็นหยดโลหะขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อม หยดโลหะจะเร็วเล็กตรงส่วนที่อยู่ระหว่างปลายลวดเชื่อมและหยดโลหะนี้จะถูกแยกตัวหรือถูกบีบให้หลุดออก (Pinched-Off) จากปลายลวดเชื่อมด้วยแรงแม่เหล็กไฟฟ้า หยดโลหะถูกถ่ายโอนอย่างรวดเร็วผ่านพลาสมาอาร์คลงสู่บ่อหลอมเหลวอย่างคงที่และต่อเนื่องตลอดเวลาที่กระแสเชื่อมยังไหลผ่านลวดเชื่อมอยู่ ปริมาณหยดโลหะที่ถ่ายโอนอาจต่ำกว่าหรือสูงกว่าเป็นหลายร้อยหยดในเวลาหนึ่งวินาที กระบวนการถ่ายโอนแบบสเปรย์ต้องใช้ความเข้มของกระแสสูง เพื่อลวดเชื่อมจะได้หลอมเป็นหยดขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมอย่างรวดเร็ว หยดที่มีขนาดเล็กนี้จะไม่ส่งผลต่อเสถียรภาพของการอาร์ค การไหลพุ่งของหยดโลหะจึงเป็นเส้นตรงจากศูนย์กลางปลายลวดเชื่อมสู่บ่อหลอมละลาย ทำให้กำหนดทิศทางการถ่ายโอนได้ตามต้องการ ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่งานสูงแม้ลวดเชื่อมจะมีขนาดใหญ่ก็สามารถหลอมเป็นหยดขนาดเล็กได้ทันที ส่งผลให้เกิดการหลอมลึกของแนวเชื่อมมาก แสดงในรูปที่ 2.2 (ก)



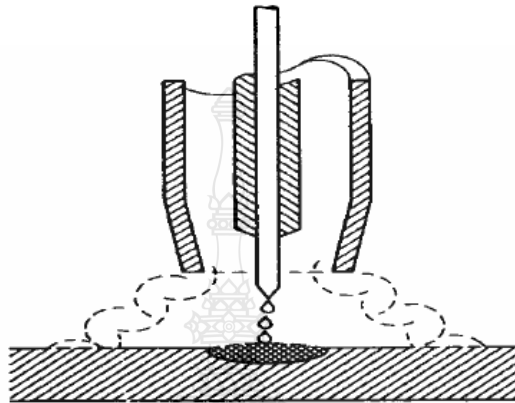
รูปที่ 2.2 การถ่ายโอนโลหะแบบต่างๆ [2]

ข) การถ่ายโอนโลหะแบบหยด (Globular Transfer) วงรอบของการถ่ายโอนจะเริ่มเมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมเหลวให้เป็นหยดโลหะ จากนั้นเกิดการก่อตัวเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมประมาณ 1.5 ถึง 2 เท่า ก่อนจะหลุดจากปลายของลวดเชื่อมแล้วถ่ายโอนผ่านการอาร์คสู่บ่อหลอมละลายด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ซึ่งจะทำให้อัตราการเติมเนื้อโลหะมาก และมีความร้อนสูงกว่าการถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร การถ่ายโอนโลหะแบบหยดสู่บ่อหลอมเหลวจะใช้แรงโน้มถ่วงมากกว่าแรงที่เกิดจากการอาร์ค ดังนั้น กระบวนการถ่ายโอนแบบนี้จึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการงานเชื่อมคุณภาพสูง มีขอบเขตใช้งานจำกัดเพราะปริมาณความร้อนเข้างานต่ำ สามารถทำการเชื่อมได้ดีกับงานที่อยู่ในแนวราบและแนวระดับ ใช้ระดับกระแสและแรงดันเชื่อมสูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ข)

ค) การถ่ายโอนแบบลัดวงจร (Short Circuit Transfer) วงรอบการถ่ายโอนจะเกิดขึ้นเมื่อปลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานถูกทำให้เกิดการอาร์คขึ้น และมีอุณหภูมิสูงพอที่จะหลอมปลายลวดเป็นหยดโลหะขนาดเล็ก ขณะเดียวกันลวดเชื่อมจะถูกบ่อนเข้าสู่บ่อหลอมเหลวด้วยอัตราเร็วสูงทำให้หยดโลหะบนปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมเหลวก่อนจะแยกออกจากปลายลวดเชื่อม ทำให้เกิดการลัดวงจรไฟฟ้า (Short Circuit) โดยที่การอาร์คจะดับไปชั่วขณะจังหวะที่ลัดวงจรอยู่นี้กระแสจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ปลายลวดเชื่อมที่หลอมเป็นหยดจะถูกบีบรัดออกแล้วถ่ายโอนสู่บ่อหลอมเหลวด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ซึ่งหยดโลหะที่ปลายลวดเชื่อมจะเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างช่องว่างปลายลวดเชื่อมกับบ่อหลอมเหลว เมื่อหยดโลหะหยดแรกหลุดจากปลายลวดเชื่อมแล้วก็จะเริ่มต้นอาร์คใหม่อีกครั้งหนึ่ง สภาวะอย่างนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันไปอย่างรวดเร็วมาก คือ มีความถี่ของการลัดวงจรราว 20 ถึง 200 ครั้งต่อวินาที กระแสและแรงดันเชื่อมจะตั้งอยู่ในช่วงต่ำจึงมีปริมาณความร้อนเข้าสู่งานน้อย สามารถใช้ลวดเชื่อมขนาดเล็กได้ งานเชื่อมบิดตัวน้อย รอยหลอมทะลุและประกายโลหะกระเด็นไม่มาก แสดงในรูปที่ 2.2 (ค)-(ง)

ง) การถ่ายโอนแบบพัลส์ (Pulse Spray Transfer) เป็นกระบวนการที่พัฒนามาแทนการถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์เพราะมีข้อจำกัดการใช้งาน แต่ยังคงรักษาการถ่ายโอนที่เป็นลักษณะแบบสเปรย์อยู่ การพัลส์ของกระแสเชื่อมจากระดับต่ำสุดถึงระดับสูงสุดที่ 60 ไซเคิลต่อวินาทีที่จังหวะการพัลส์แต่ละครั้งจะทำให้ปลายลวดเชื่อมเป็นหยดโลหะได้ 1 หยด และจะถ่ายโอนผ่านอาร์คสู่บ่อหลอมเหลวด้วยความถี่สม่ำเสมอต่อเนื่องกัน ระดับกระแสต่ำสุดจะตั้งในช่วงการถ่ายโอนแบบละออง การถ่ายโอนหยดโลหะจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสพัลส์ถึงระดับสูงสุด หลังจากถ่ายโอนหยดโลหะแล้วกระแสจะลดลงต่ำสุดตามที่ตั้งไว้ กระแสต่ำจะช่วยคงให้การอาร์คเกิดอยู่ตลอดเวลาช่วงจังหวะนี้การถ่ายโอนโลหะไม่

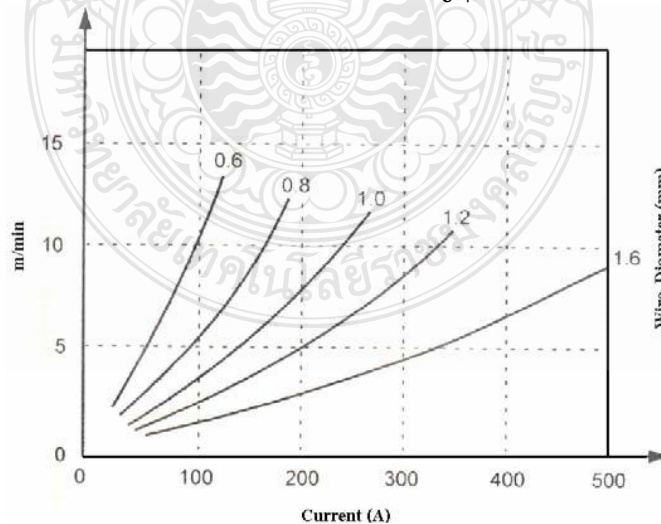
เกิดขึ้น การพัลส์ของกระแสสูงแล้วต่ำลงจะมีผลต่อการควบคุมปริมาณความร้อนเข้าสู่งานเชื่อม โดยความร้อนเฉลี่ยจะต่ำกว่าการถ่ายโอนแบบละออง จึงเหมาะกับการเชื่อมงานในทุกตำแหน่งท่าเชื่อม งานบัดตัวน้อย สามารถใช้ลวดเชื่อมขนาดใหญ่ได้ และการถ่ายโอนหยดโลหะผ่านการอาร์คยังคงเป็นหยดขนาดเล็กอยู่ จึงประหยัดกว่าการใช้ลวดเชื่อมขนาดเล็ก แสดงในรูปที่ 2-3



รูปที่ 2.3 การถ่ายโอนโลหะแบบพัลส์ [2]

2.3 กระแสเชื่อม (Welding Current)

กระแสเชื่อม คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องเชื่อมผลิตออกมา ซึ่งสามารถอ่านได้โดยตรงจากแอมป์มิเตอร์ของเครื่องเชื่อม ในกระบวนการเชื่อมมิก/แม็ก กระแสเชื่อมจะสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วของการป้อนลวด (Wire Feeder) ถ้าป้อนลวดเร็วขึ้นกระแสเชื่อมที่ผลิตออกมาก็จะมากขึ้นด้วย แต่ถ้าป้อนลวดช้าลงกระแสเชื่อมก็จะลดลงเช่นกัน แสดงในรูปที่ 2.4 โดยในกระบวนการเชื่อมดังกล่าว สามารถแบ่งชนิดของกระแสเชื่อม เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทดังนี้



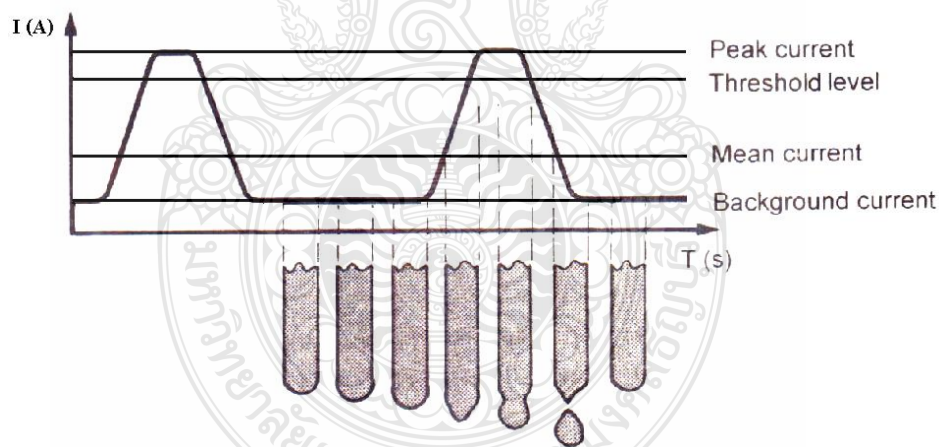
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมกับความเร็วในการป้อนลวด [2]

2.3.1 กระแสเชื่อมแบบมาตรฐาน (Standard Arc Current)

กระแสเชื่อมแบบมาตรฐาน เป็นลักษณะของกระแสเชื่อมโดยทั่วไป ซึ่งกระแสในขณะเชื่อมโดยเฉลี่ยตลอดการเชื่อมจะมีค่าคงที่ สำหรับกระบวนการเชื่อมแม็ก กระแสเชื่อมจากเครื่องเชื่อมจะถูกส่งไปสู่ท่อนำลวดภายในหัวเชื่อมผ่านไปยังลวดเชื่อมสู่ชิ้นงาน ซึ่งการกำหนดค่ากระแสในการเชื่อมในทางปฏิบัติ จะนิยมตั้งค่ากระแสเชื่อมโดยพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดที่ใช้เชื่อมหรือจากความหนาของชิ้นงานเชื่อมเป็นหลัก

2.3.2 กระแสเชื่อมแบบพัลส์ (Pulsed Arc Current)

กระแสเชื่อมแบบพัลส์ เป็นกระแสที่เกิดจากการเปิดปิดวงจร (Switching) ระหว่างกระแสต่ำสุดกับกระแสสูงสุด ดังนั้น ในเครื่องเชื่อมตัวเดียวจึงมีต้นกำลังแยกออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่ให้กระแสต่ำสุด (Background Current) และส่วนที่ให้กระแสสูงสุด (Peak Current) เพื่อให้ได้กระแสพัลส์ที่เหมาะสม การตั้งค่ากระแสในการเชื่อมจะต้องตั้งค่ากระแสสูงสุดให้สูงกว่าระดับกระแสช่วงเปลี่ยน (Threshold Level) ของการถ่ายโอนแบบละอองและค่าของกระแสต่ำสุดต้องตั้งในช่วงการถ่ายโอนแบบหยุด ในขณะที่อาร์คช่วงกระแสค่าสูงจะเป็นการถ่ายโอนน้ำโลหะให้พุ่งเข้าสู่บ่อหลอมละลายโลหะถูกแรงบีบรัดแยกตัวออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านอาร์คสู่บ่อหลอมเหลวที่วงรอบพัลส์และเกิดขึ้นซ้ำๆกันอย่างต่อเนื่อง ในช่วงประมาณ 30-300 ครั้งต่อวินาที ลงสู่บ่อหลอมละลาย ส่วนช่วงกระแสค่าต่ำจะเป็นการรักษาการอาร์คให้คงที่และต่อเนื่อง ลักษณะของรูปแบบของกระแสพัลส์แสดงใน รูปที่ 2-5



รูปที่ 2.5 รูปแบบของกระแสเชื่อมแบบพัลส์ [2]

2.4 แก๊สคลุม (Shielding Gas)

ในกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม ขณะที่เกิดการอาร์ค อากาศที่ปกคลุมรอบๆ บริเวณการอาร์คจะถูกแทนที่ด้วยแก๊สคลุมเพื่อป้องกันไม่ให้ แก๊สไนโตรเจน (N) แก๊สออกซิเจน (O₂) และความชื้นในบรรยากาศเข้าไปรวมตัวกับบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อม การเชื่อมเหล็กกล้าที่มีแก๊สออกซิเจนมากเกินไป จะทำให้แก๊สออกซิเจนรวมตัวกับคาร์บอนในเหล็กและจะอยู่ในรูปของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ฝังอยู่ในเนื้อเหล็กทำให้เกิดเป็นรูพรุน ส่วนแก๊สไฮโดรเจน (H₂) จากไอน้ำและน้ำมันจะแทรกอยู่ในเนื้อเหล็กเกิดเป็นรูพรุนหรือเป็นสาเหตุของการแตกร้าวได้แนวเชื่อม ซึ่งจาก

สาเหตุของการรวมตัวของแก๊สดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยใช้แก๊สคลุม โดยแก๊สคลุมที่ใช้ในงานเชื่อมมี 2 กลุ่ม คือ

2.4.1 แก๊สเฉื่อย (Inert Gas)

เป็นแก๊สที่ไม่เกิดปฏิกิริยารวมตัวกับสารอื่น ได้แก่ แก๊สอาร์กอน (Argon: Ar) และแก๊สฮีเลียม (Helium: He) หรือแก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สฮีเลียม แก๊สดังกล่าวสามารถใช้ได้เลยโดยไม่ต้องผสมกับแก๊สอื่น หรืออาจผสมกับแก๊สอื่นเพื่อให้แนวเชื่อมมีสมบัติที่ดีขึ้น

2.4.2 แอคทีฟแก๊ส (Active Gas)

แอคทีฟแก๊ส ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide: CO₂) หรือเป็นแก๊สผสมกันระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแอคทีฟแก๊สบางตัว เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊สไนโตรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือแก๊สไฮโดรเจน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่การเชื่อม 3 ประการ คือ

ก) การทำให้อุณหภูมิที่มีประจุไฟฟ้าแตกตัวให้อิออน (Ionization Potential) เป็นการสร้างพลังงานที่จำเป็นในการดึงเอาอิเล็กตรอน (Electron) ออกจากอะตอมของแก๊ส (Gas Atom) การแตกตัวให้อิออน ณ อุณหภูมิของการอาร์คจะมีผลต่อการส่งถ่ายพลังงานความร้อน (Heat Energy) ไปยังบริเวณที่เกิดการอาร์คของพลังงาน (Ionization Potential) ที่สูงขึ้น ซึ่งต้องใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงในการทำให้อะตอมของแก๊สแตกตัวให้อิออนมาก ตัวอย่าง กรณีแก๊สฮีเลียมซึ่งมีค่า Ionization Potential 24.5 eV หมายความว่า ต้องใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24.5 โวลต์ ในการทำให้อะตอมของแก๊สฮีเลียมแตกตัวสูงกว่าแก๊สอาร์กอนซึ่งมีค่า Ionization Potential ที่ 15.7 eV ดังนั้นการใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมจะทำให้เริ่มต้นอาร์คได้ง่ายกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สคลุม

ข) การนำความร้อน (Thermal Conductivity) สำหรับแก๊สคลุมบางชนิดมีความสามารถในการนำความร้อนที่ต่ำ เช่น แก๊สอาร์กอน จะส่งผลทำให้การอาร์คเกิดความเข้มข้นสูงเฉพาะจุดและเป็นบริเวณแคบ ขณะที่แก๊สฮีเลียมมีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ต่ำ จึงเป็นเหตุให้เปลวอาร์คที่ได้จากการใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมสามารถแผ่ขยายกว้างและในขณะเดียวกันศูนย์กลางของเปลวอาร์คจะเจาะทะลุลงไปยังส่วนล่างของรอยเชื่อม ส่งผลทำให้แนวเชื่อมที่ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมสามารถหลอมลึกกว่าการใช้แก๊สอาร์กอน

ค) การทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม (Reactivity) แก๊สอาร์กอนจัดเป็นแก๊สเฉื่อย ดังนั้นจึงไม่มีการทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อมแต่อย่างใด แก๊สที่ทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลาย ได้แก่

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

2. แก๊สออกซิเจน (Oxygen) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) แก๊สทั้งสองจัดอยู่ในกลุ่มของแก๊สทำปฏิกิริยา (Reactive Gas) เรียกว่า Oxidizers Gas จะทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลายในรูปของออกไซด์ (Oxides)

3 แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นแก๊สที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงและกระแสเชื่อมสูงจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีแต่เนื่องจากไม่ใช่เป็นแก๊สเฉื่อย ดังนั้น ในขณะที่เชื่อมจะทำปฏิกิริยากับเหล็กคาร์บอน (Carbon Steel)

2.4.3 สมบัติของแก๊สคลุม (Properties of Shielding Gas)

โดยทั่วไป แก๊สคลุมที่นำไปใช้ในการเชื่อมจะสมบัติในการนำความร้อนและทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สคลุมกับธาตุต่างๆ ที่ผสมอยู่ในโลหะงานและลวดเชื่อม สรุปได้ดังนี้

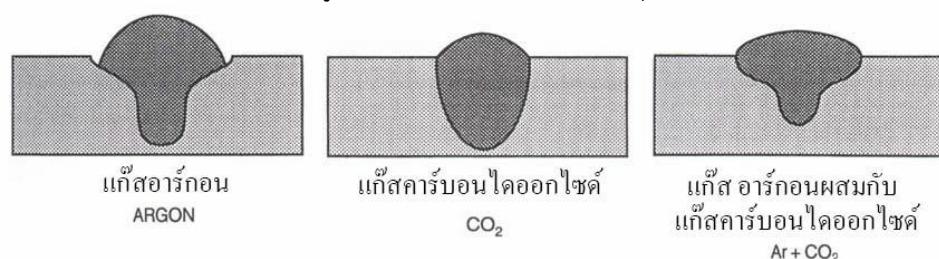
ก) สมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) การนำความร้อนของแก๊สที่อุณหภูมิสูง การอาร์คจะมีผลต่อแรงดันอาร์ค (Arc Voltage) และพลังงานความร้อนที่จ่ายให้กับการเชื่อม กล่าวคือ ขณะที่แก๊สคลุมมีการนำความร้อนเพิ่มขึ้น แรงดันที่ใช้เชื่อมก็ต้องเพิ่มขึ้นด้วยเพื่อให้สามารถรักษาการอาร์คได้ เช่น แก๊สฮีเลียมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีการนำความร้อนสูงกว่าแก๊สอาร์กอน จึงมีการถ่ายพลังงานความร้อนให้กับงานเชื่อมมาก ดังนั้นแก๊สฮีเลียมและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จึงต้องมีแรงดันสูงเพื่อรักษาอาร์คให้สม่ำเสมอ

ข) แก๊สที่จะนำมาเป็นแก๊สคลุมจะต้องเข้ากันได้และเหมาะกับชนิดของลวดเชื่อมและชิ้นงานเชื่อม เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคลุมที่ผสมด้วยแก๊สออกซิเจน จะไม่ใช่เชื่อมอลูมิเนียม เพราะจะเกิดอลูมิเนียมออกไซด์ขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สผสมด้วยแก๊สออกซิเจนจะใช้กับการเชื่อมเหล็กกล้าได้ดี ในการเชื่อม GMAW แก๊สคลุมที่ผสมกับแก๊สออกซิเจน จะช่วยให้การอาร์คสม่ำเสมอ แก๊สออกซิเจนจะทำหน้าที่ Oxidizing ได้ดีกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้แก๊สออกซิเจนโดยทั่วไปจะผสมกับแก๊สอาร์กอนไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ขณะเดียวกันลวดเชื่อมที่ใช้จะต้องผสมธาตุ (Deoxidizing) ลงไปด้วยเพื่อไม่ให้เกิดรูพรุนกับรอยเชื่อม

ค) รูปแบบของการส่งถ่ายน้ำโลหะจะขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สคลุมด้วย กล่าวคือ การเลือกใช้แก๊สคลุมยังขึ้นอยู่กับรูปแบบของการถ่ายโอนโลหะและการหลอมล็ก เช่นการถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์จะไม่เกิดขึ้นเมื่อใช้แก๊สคลุมที่ผสมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร เพียงแต่จะเกิดการถ่ายโอนโลหะที่คล้ายกับการถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์ และเมื่อใช้แก๊สคลุมที่ผสมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในเปอร์เซ็นต์สูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร จะต้องใช้กระแสและแรงดันเพิ่มมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถรักษาการอาร์คให้คงที่และสม่ำเสมอได้ ส่งผลให้แนวเชื่อมไม่เรียบและมีเม็ดโลหะเกิดขึ้นมาก

2.4.4 ชนิดของแก๊สคลุม (Type of Shielding Gas)

โดยทั่วไป กระบวนการเชื่อมแบบอาร์ค (Arc Welding) มีหลายกระบวนการเชื่อมที่ต้องใช้แก๊สคลุมในขณะที่เชื่อม สำหรับแก๊สคลุมที่มีใช้ในเมื่องไทยนั้นมีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้ทำการวิจัยได้เลือกใช้แก๊สคลุมสำหรับการทดลอง 3 ชนิด ดังนี้



รูปที่ 2.6 รูปร่างของรอยเชื่อมจากการใช้แก๊สคลุมที่แตกต่างกัน [4]

ก) แก๊สอาร์กอน (Argon) มีความหนาแน่น 1.665 กก./ลบ.ม. ผลิตได้จากอากาศที่มีอยู่ในบรรยากาศประมาณ 0.9 เปอร์เซ็นต์ แก๊สอาร์กอนเป็นอออนไนส์แก๊สที่ดี มีน้ำหนักมากกว่าอากาศสามารถผลิตได้โดยการแยกอากาศเหลว ลักษณะแก๊สจะมีในรูปแบบของแก๊สเหลวและแก๊สถึง การเก็บแก๊สอาร์กอนเหลวจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -184 องศาเซลเซียสเล็กน้อย สามารถใช้เป็นแก๊สคลุมได้ทั้งในสภาพบริสุทธิ์และผสมกับแก๊สอื่นๆ เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการเหมาะสำหรับใช้เชื่อมโลหะเหล็กและโลหะนอกกลุ่มเหล็ก ลักษณะของเปลวอาร์คที่เกิดขึ้นจะเรียบนิ่งและพุ่งเป็นลำตรงทำให้ได้แนวเชื่อมที่แคบแต่ลึก ให้รูปร่างการหลอมลึกเหมือนแก้วไวน์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะจะเป็นได้ทั้งแบบสเปรย์และแบบพัลส์ ดังนั้นจึงช่วยให้การเชื่อมไม่มีเม็ดโลหะกระเด็น

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของแก๊สอาร์กอนเมื่อเทียบกับแก๊สฮีเลียม [2]

ข้อดี	ข้อเสีย
1) การอาร์คเสียงเงียบและสม่ำเสมอ 2) เริ่มต้นอาร์คกระทำได้ง่าย มี Ionization Potential 15.7 eV 3) ใช้แรงเคลื่อนอาร์คต่ำและระยะอาร์คสั้น ให้ผลดีกับการเชื่อมโลหะบาง 4) ให้ปฏิกิริยาทำความสะอาดได้ดีซึ่งเหมาะที่จะนำไปเชื่อมโลหะประเภทอลูมิเนียมและแมกนีเซียม 5) ใช้อัตราการไหลแก๊สต่ำเนื่องจากแก๊สหนักกว่าอากาศ 1.4 เท่า 6) ราคาถูกและหาได้ง่าย 7) มีความต้านทานต่อการเป่าของอากาศ 8) เหมาะสำหรับการเชื่อมโลหะต่างชนิด 9) ควบคุมบ่อหลอมละลายได้ง่ายเมื่อเชื่อมทำเหนือศีรษะและทำตั้ง 10) ลดการเกิดโอโซนซึ่งเป็นมลพิษต่อสภาพแวดล้อม	ไม่เหมาะในการนำไปใช้สำหรับงานเชื่อมที่มีความหนาหลายๆ

ข) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) มีความหนาแน่น 1.849 กก./ลบ.ม. เป็นแก๊สที่ให้ความร้อนได้สูงมากในบริเวณขอบรอบนอกของเปลวอาร์ค เมื่อสัมผัสกับแกนนำของกระแสจะช่วยให้เกิดพลังที่เข้มข้นสูงขึ้น มีผลทำให้เกิดการหลอมลึกได้สูง และจะเกิดการแตกตัวเมื่ออยู่ภายใต้เปลวอาร์ค และถึงแม้ว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นแอกทีฟแก๊สที่ให้แก๊สออกซิเจน แต่คุณภาพรอยเชื่อมที่ได้จะมีความสมบูรณ์ปราศจากรูพรุนและตำหนิ โดยปกติแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะนิยมใช้ในการเชื่อมแบบแมกซี (MAG-C) หรือใช้ผสมกับแก๊สเฉื่อย เช่น แก๊สอาร์กอนเรียกว่าการเชื่อมแบบแมกเอ็ม (MAG-M) เพื่อนำไปใช้สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าคาร์บอนผสมต่ำ เนื่องจากเป็นแก๊สที่หาง่าย ราคาถูก คุณภาพรอยเชื่อมดีและติดตั้งง่าย แต่ประสิทธิภาพของการเติมเนื้อโลหะของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะต่ำ เพราะเกิดการสูญเสียไปเป็นเม็ดโลหะ ซึ่งจะส่งผลถึงต้นทุนการรวมทั้งหมดเมื่อเชื่อมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับงานที่ต้องการสมบัติทนต่อแรง

กระแทกสูงการใช้แก๊สอาร์กอนผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเหมาะสมกว่าใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดเดียว

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ [2]

ข้อดี	ข้อเสีย
1) ให้การหลอมลึกของแนวเชื่อมดี 2) เชื่อมด้วยความเร็วสูงได้	1) เกิด Oxidation ทำลายคุณสมบัติของแนวเชื่อมและไม่เหมาะสำหรับเชื่อมวัสดุที่นอกเหนือจากเหล็กกล้า 2) เชื่อมค่อนข้างยากกว่าเมื่อเทียบกับแก๊สอาร์กอน 3) เกิดเม็ดโลหะกระเด็นมากทำให้สิ้นเปลืองลวดเชื่อม 4) มีผลต่อการเกิดไอโซนซึ่งจะเป็นมลพิษต่อสภาพแวดล้อม

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแก๊สที่มีคุณสมบัติไม่ติดไฟ ไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่นและไม่มีสี นอกจากนี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังหนักกว่าอากาศประมาณ 1.5 เท่า เกรดของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังสามารถแบ่งออกได้หลายเกรดตามลักษณะส่วนประกอบและความบริสุทธิ์ได้แก่ เกรดอาหาร (Food Grade) เกรดการแพทย์ (Medical Grade) และ เกรดอุตสาหกรรม (Industrial Grade) การต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกใช้งานในแต่ละถังไม่ควรให้อัตราการไหลออกจากถังเกิน 25 C.F.H. (12 ลิตร/นาท) ถ้าหากมีความต้องการเกินกว่าที่กำหนดควรใช้ระบบ Manifold หรือใช้ Flow Meter ชนิดมี Heater ให้ความร้อนจะดีกว่า เพราะถ้าหากอัตราการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป จะทำให้เกิดการแข็งตัวของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อุดตันอยู่ที่ Flow Meter หรือดึงเอาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไหลออกมาจากถังบรรจุด้วย

ค) แก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้แก๊สผสมระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีจุดประสงค์สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กคาร์บอนผสมต่ำ เพื่อให้การอาร์คมีความร้อนสูงทำให้กินบริเวณกว้างขึ้น การหลอมลึกมากขึ้น และสามารถช่วยลดการเกิดเม็ดโลหะได้ดีกว่าการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ การผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนเล็กน้อยเข้าไปในแก๊สอาร์กอน จะทำให้ได้คุณสมบัติของการถ่ายโอนแบบสเปรย์ที่เกิดขึ้นเหมือนกับการผสมด้วยแก๊สออกซิเจนลงในแก๊สอาร์กอนจำนวนเล็กน้อย ในกระบวนการเชื่อมแบบ GMAW ที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผสมเข้าไปในแก๊สชนิดอื่น เมื่อกระแสเชื่อมสูงขึ้นเล็กน้อยจะเกิดการถ่ายโอนแบบสเปรย์ที่สม่ำเสมอ การอาร์คนิ่ง ทำให้มีเม็ดโลหะกระเด็นและเขม่าควันที่เกิดขึ้นในขณะที่เชื่อมน้อย ในการผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกินกว่า 25 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ จะได้การถ่ายโอนแบบสเปรย์ที่ไม่สม่ำเสมอและอาจเกิดเป็นการถ่ายโอนแบบลัดวงจรหรือแบบหยุดแทน

2.5 ลวดเชื่อม (Electrode Wire) [8]

ลวดเชื่อมเป็นหัวใจสำคัญของการเชื่อม MIG ดังนั้นจึงต้องรู้จักเลือก ใช้ลวดเชื่อมให้ถูกต้อง ลวดเชื่อมจะหลอมผ่านเปลวอาร์กไปยังบ่อหลอมละลายเกิดเป็นแนวเชื่อม ลวดเชื่อมที่ผ่านเปลวอาร์กนั้น จะทำปฏิกิริยากับแก๊สปกคลุมจึงทำให้ส่วนผสมของลวดเปลี่ยนไป และจะเป็นผลต่อคุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางกลของเนื้อเชื่อมการเลือกลวดเชื่อมจะต้องพิจารณาองค์ประกอบต่อไปนี้

- 1) ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานที่จะนำมาเชื่อม
- 2) คุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่จะนำมาเชื่อม
- 3) ชนิดของแก๊สปกคลุม
- 4) ชนิดของงานที่เชื่อมหรือข้อกำหนดการใช้งาน
- 5) ชนิดของการออกแบบรอยต่อ

2.6 การทดสอบสมบัติทางกล

2.6.1 การทดสอบแรงกระแทก [9]

การทดสอบการกระแทกเป็นการวัดการสงถ่ายพลังงานที่จำเป็นในการแตกหักของวัสดุความแข็งแรงการกระแทกจะบ่งบอกถึงความสามารถในการรับแรงแบบฉับพลัน (Shock Load) แมพลังงานไม่สามารถสร้างและทำลายแต่พลังงานการกระแทกจะสูญเสียไปในหลายลักษณะเช่น ถูกใช้ในการเสียรูปแบบยืดหยุ่นและแบบถาวรของวัสดุและแรงเสียดทานจากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆ เป็นต้น โดยการออกแบบโครงสร้างและเครื่องจักรประการแรกต้องให้ชิ้นงานสามารถดูดซับพลังงานให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในช่วงของการยืดหยุ่น และประการที่สองคืออาศัยการหวนบางรูปแบบเพื่อลดการดูดซับพลังงานของเครื่องในการทดสอบการกระแทกจะใช้พลังงานของลูกตุ้มกระแทกให้ขึ้นทดสอบแตกหักโดยพลังงานจะนิยามเป็นงานซึ่งเป็นแรงที่กระทำเป็นระยะทางหนึ่งดังสมการ

$$W = FD$$

เมื่อ W คืองาน (ปอนด์ฟุตหรือนิวตันเมตร)

F คือแรงที่กระทำ (ปอนด์หรือนิวตัน)

D คือระยะทางในช่วงที่แรงกระทำ (นิ้วหรือเมตร)

วัตถุประสงค์การทดสอบการกระแทกคือการวัดงานที่ใช้ในการแตกหักภายใต้การกระแทกอย่างฉับพลัน ซึ่งสามารถหาได้จากการปล่อยลูกตุ้มที่ทราบค่าน้ำหนักแน่นอนลงบนชิ้นทดสอบด้วยความสูงค่าหนึ่ง ดังรูปที่ 8.1 แล้วทำการคำนวณค่าการดูดซับพลังงานการกระแทกหรือความต้านทานการกระแทกของวัสดุจากผลต่างของระดับพลังงานศักย์ของลูกตุ้มก่อนและหลังการกระแทกด้วยสมการต่อไปนี้

$$E = w(h-h') \text{ หรือ } = mg(h-h') \text{ (ในหน่วยเมตริก)}$$

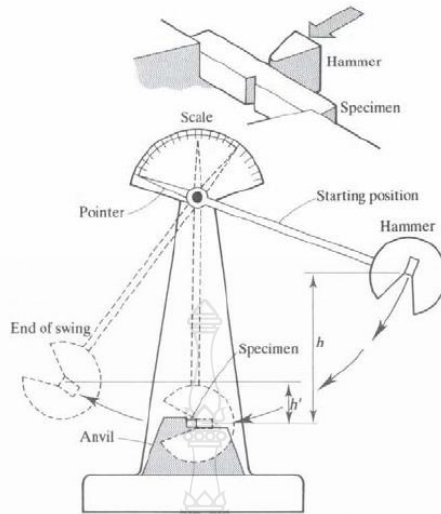
เมื่อ E คือพลังงานที่ได้จากการปล่อยตุ้มน้ำหนัก (ปอนด์ฟุตหรือนิวตันเมตร)

w คือน้ำหนักของลูกตุ้ม (ปอนด์)

m คือมวลของตุ้มน้ำหนัก (กิโลกรัม)

h, h' คือความสูงของลูกตุ้มก่อนและหลังกระแทกตามลำดับ (ฟุตหรือเมตร)

g คืออัตราเร่งจากแรงดึงดูดของโลก (9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)



รูปที่ 2.7 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบแรงกระแทก [10]

2.6.2 การทดสอบความแข็ง [11]

ความแข็งเป็นสมบัติทางกลของวัสดุอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญโดยความแข็งของวัสดุเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงและความสามารถในการต้านทานต่อการสึกหรอของเครื่องมือ (Tools) และชิ้นส่วนในเครื่องจักรกล (Machine Part) โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุนั้นมีอยู่ 2 ปัจจัยคือ ลักษณะโครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยา และส่วนผสมทางเคมีภายในวัสดุ โดยค่าความแข็งจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกลด้านอื่นด้วยได้แก่ ค่าความต้านแรงดึง ความเหนียว และความต้านทานต่อการขูดขีด โดยการทดสอบความแข็งของวัสดุมีอยู่หลายวิธีที่นิยมใช้ได้แก่

- 1) การวัดความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Testing)
- 2) การวัดความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Testing)
- 3) การวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Testing)
- 4) การวัดความแข็งแบบนู๊ป (Knoop Hardness Testing)

การทดสอบความแข็งระดับจุลภาคนิยมใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ โดยค่าที่ได้จะเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงที่ใช้ ต่อพื้นที่ของรอยกดซึ่งแรงที่ใช้จะเป็นแรงกดคงที่ โดยความแข็งของวัสดุจะมีผลต่อความลึกของรอยกด หัวกดที่ใช้จะเป็นหัวกดที่ทำด้วยเพชรรูปทรงพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสทุกด้านทำมุม 136° โดยแรงที่ใช้กดมีตั้งแต่ 1-1000 กรัม ขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุและความหนาตั้งภาคผนวก ค โดยค่าความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์จะได้ออกจากการวัดความกว้างของรอยกดที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสจากนั้นนำมาคำนวณค่าความแข็งโดยใช้สูตร

$$HV = \frac{1.8544P}{d^2} \quad (2.1)$$

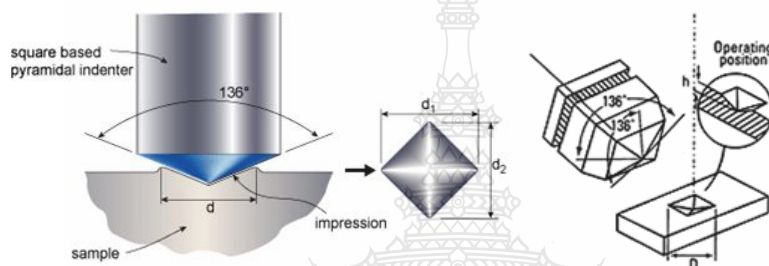
โดยที่

HV คือ ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์

P คือ แรงกด (กรัม)

D คือ ขนาดเส้นทแยงมุม d_1 และ d_2 เฉลี่ย (มม.)

วิธีการวัดค่าความแข็งวิธีนี้จะเหมาะกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กพื้นที่การวัดความแข็งน้อยแต่นิยมมากที่สุดคือการนำไปวัดความแข็งของโครงสร้างจุลภาคในวัสดุ การวัดชั้นความแข็งลึกของงานชุบผิวแข็ง และการวัดความแข็งของแนวเชื่อมโดยค่าความแข็งที่วัดได้จะมีหน่วยเป็น HV (Hardness of Vickers Hardness Testing) [9]



รูปที่ 2.8 ลักษณะหัวกดเพชรที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ [11]

2.7 การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ

โลหะทุกชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เนื่องจากอิทธิพลของธาตุต่างๆ ที่ผสมอยู่ในโลหะแต่ละชนิด ตลอดจนกระบวนการผลิต คุณสมบัติโดยธรรมชาติของโลหะนั้น และกรรมวิธีทางความร้อนที่กระทำต่อโลหะ ดังนั้น เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติบางอย่างของโลหะ การทดสอบและการตรวจสอบทางโลหะวิทยาจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macro Structure) และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microscope) การตรวจสอบโครงสร้างทั้ง 2 วิธีดังกล่าว ก็เพื่อต้องการทราบอิทธิพลของธาตุผสมในโลหะที่ทำการตรวจสอบนั้นๆ อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากกระทำทางความร้อนสิ้นสุดลงด้วย และข้อมูลที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

2.7.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค เป็นการตรวจสอบโครงสร้างด้วยตาเปล่าหรือใช้กล้องขยายที่มีกำลังขยายที่ไม่เกิน 50 เท่า การเตรียมชิ้นงานเพื่อการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคนั้นไม่ยุ่งยาก เพราะว่าเป็นการตรวจสอบรูพรุนภายในของโลหะ การแยกชิ้นของผลึก รอยร้าว รอยแตก หน้าตัดที่ถูกดึงจนขาด และปริมาณธาตุผสมในโลหะ เป็นต้น การตรวจสอบด้วยวิธีนี้ จะมีวิธีการตรวจสอบอยู่หลายวิธีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและจุดประสงค์ของการตรวจสอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก) การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคโดยวิธี Baumann เป็นการตรวจสอบการแพร่กระจายของธาตุกัมมันตรังสีในโลหะว่ามีมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะใช้กับเหล็กกล้าเท่านั้น

ข) การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคโดยวิธี Fly Etching เหมาะสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ หรือเหล็กกล้าที่ผ่านการอบปฏิกิริมาแล้ว การตรวจสอบวิธีนี้จะใช้สำหรับการตรวจหาแนวเส้นใยการครากหรือแนวใยรับแรง ซึ่งเกิดจากการขึ้นรูปเย็น และกรรมวิธีทางความร้อน และมีผลต่อความแข็งแรงของโลหะนั้นๆ

ค) การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคโดยวิธี Grain Flow เป็นการตรวจสอบเหล็กกล้าที่ผ่านการตีขึ้นรูป ซึ่งจะทำให้เกรนของเหล็กเกิดการไหลลื่นไปตามแนวแรงที่ดี เกรนที่ดีจะต้องมีการไหลของเกรนอย่างต่อเนื่องตามรูปร่างลักษณะของชิ้นงานนั้นๆ ซึ่งจะส่งผลให้ชิ้นงานนั้นมีความแข็งแรงสูง

2.7.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เป็นการตรวจสอบที่กระทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง ถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงจากหลอดไฟจะให้กำลังขยายไม่เกิน 2,000 เท่า แต่ถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงอิเล็กตรอนจะสามารถให้กำลังขยายได้สูงถึง 100,000 เท่า หรือมากกว่านี้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อศิริ จันท์เมือง [12] ได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาชนิดของก๊าซที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึง ของการเชื่อมบนเหล็กกล้าไร้สนิม ในกระบวนการเชื่อม MIG โดยใช้ก๊าซเพื่อการเปรียบเทียบ 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซอาร์กอน ก๊าซอาร์โกซิล 50 และก๊าซอาร์โกซิล 63 พร้อมทั้งกำหนดอัตราการไหลของก๊าซที่ 15, 20 และ 25 ลิตรต่อนาที และใช้ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS. A5.9 308LSi: MIG ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร โดยทำการเชื่อมบนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI. เบอร์ 304 ที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร ใช้แขนกลควบคุมการเชื่อมโดยเป็นการเชื่อมแบบเดินบนชิ้นงานในตำแหน่งการเชื่อมทำราบ ชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นมีมุมฉากเท่ากับ 30 องศา (หรือเท่ากับมุมรวม 60 องศา) ชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 90 ชิ้น แบ่งเป็น 30 ชิ้นต่อก๊าซแต่ละชนิดและใช้ตัวอย่างชิ้นงาน 10 ชิ้นต่ออัตราการไหลแต่ละระดับ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมมินิแท็บ พบว่าค่าความแข็งแรงดึง ของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบด้วยการเชื่อมก๊าซ 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงของก๊าซอาร์โกซิล 50 เท่ากับ 607.19 MPa ก๊าซอาร์โกซิล 63 เท่ากับ 600.03 MPa และก๊าซอาร์กอนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 588.51 MPa สำหรับอัตราการไหลของก๊าซทั้ง 3 ชนิด นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงควรใช้ก๊าซอาร์โกซิล 50 และปรับอัตราการไหลที่ 15 ลิตรต่อนาที ในกระบวนการเชื่อม MIG สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมทุกๆ ไป

ฉัตรทอง ไสแสง [13] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อสมบัติทางกล และโครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 การวิจัยเป็นการออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design ที่มีพารามิเตอร์ในการศึกษา ได้แก่ กระแสเชื่อม , ความเร็วในการเชื่อม และ แก๊สปกคลุม โดยทำการศึกษาทางด้าน ความแข็งแรงดึงสูงสุด , ความแข็งแรงดึงจุดคราก , อัตราการยืดตัว และ ความแข็ง โดยได้ผลการทดลองดังนี้ 1) ผลการศึกษาต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง คือ ความเร็วในการเชื่อม ความสัมพันธ์ คือ กระแส*ความเร็ว*แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์การเชื่อมที่กระแส 90 แอมป์ ความเร็ว 500 มม./นาที่ และปกคลุมด้วยแก๊ส Ar+5%O₂ จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่มีค่าสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 95.85 Kg/mm² 2) ผลการศึกษาต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก (Yield Point) พบว่าปัจจัยหลักทั้งสามตัวไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง ความสัมพันธ์ คือ กระแส*ความเร็ว*แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์

การเชื่อมที่กระแส 90แอมป์ ความเร็ว 300 มม./นาที่ ปกคลุมด้วยแก๊ส Ar+3%N₂ มีค่าเท่ากับ 66.09 Kg/mm² 3) ผลการศึกษาต่ออัตราการยืดตัว (Elongation) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง คือพารามิเตอร์การเชื่อมทั้งสาม ความสัมพันธ์ คือ กระแส ความเร็ว แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์การเชื่อมที่กระแส 100 แอมป์ ความเร็ว 400 มม./นาที่ ปกคลุมด้วยแก๊ส Ar+5%H₂ มีค่าเท่ากับ 20 %4) ผลการศึกษาต่อความแข็ง (Hardness) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง คือความเร็ว และ แก๊สปกคลุม ความสัมพันธ์ คือ กระแส*ความเร็ว*แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์การเชื่อมที่กระแส 90 แอมป์ ความเร็ว 300 มม./นาที่ ปกคลุมด้วยแก๊ส Ar+5%H₂ มีค่าเท่ากับ 278.33 HV ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile) ที่มีค่ามากที่สุดกับชิ้นงานที่มีค่าต่ำที่สุด พบว่าลักษณะโครงสร้างของ Columnar Dendrite และการโตของเกรนในบริเวณ HAZ มีความแตกต่างกันมาก กล่าวคือ ขนาดของ Columnar Dendrite จะเล็กกว่า ในกรณีของชิ้นงานที่มี Ultimate Tensile สูงกว่า และขนาดของเกรนที่โตในบริเวณ HAZ ก็โตได้น้อยกว่า ส่วนโครเมียมคาร์ไบด์ (Cr₂₃ C₆) สามารถเกิดขึ้นได้กับทั้งสอง

ปริญญา แสงทอง [14] ได้ทำการศึกษาปัจจัยซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โดยใช้กระบวนการเชื่อม MIG โดยมีปัจจัยคือ กระแสไฟฟ้ามี 3 ระดับคือ 150 160 และ 170 Amp. แรงดันไฟฟ้ามี 3 ระดับคือ 20 22 และ 24 Volt และแก๊สอาร์กอนมี 2 ระดับคือ ความบริสุทธิ์ของแก๊สอาร์กอน 99.990 % และความบริสุทธิ์ของแก๊สอาร์กอน 99.999 % ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อ ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดคือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและแก๊สอาร์กอน ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวคือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและแก๊สอาร์กอน ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดครากคือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและแก๊สอาร์กอน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

M.ONSOIEN และคณะ [15] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของแก๊สไฮโดรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอนสำหรับการเชื่อม GMAW ต่อลักษณะรอยเชื่อม (Bead Morphology) และคุณลักษณะของการอาร์ค (Arc Characteristic) โดยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 ใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไฮโดรเจน 1, 2, 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่า เมื่อปริมาณแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นทำให้คีย์การอาร์คและความต้านทานอาร์คเพิ่มขึ้น เนื่องจากแก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไฮโดรเจนมีประจุไฟฟ้า (Charge Carrier) น้อยกว่าแก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ และแก๊สไฮโดรเจนมีค่า Thermal Conductivity มากกว่าแก๊สอาร์กอน ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Arc Column มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้เมื่อปริมาณแก๊สไฮโดรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนของความกว้างต่อรอยซึมลึกของรอยเชื่อมมีค่าลดลง

T. OGAWA, K.SUAUKI และ T.ZAIZEN [16] ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนผสมต่อการเกิดโพรง รอยร้าว (Cracking) และสมบัติการคืบ (Creep Properties) โดยการใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ และแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน พบว่า เมื่อปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดปัญหาคือ 1) เกิดโพรงเพิ่มขึ้น 2) เกิดรอยแตกร้าวขณะร้อน (Hot Cracking) เพิ่มมากขึ้น จากการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 ใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่า เนื้อโลหะรอยเชื่อมมีโพรงเกิดขึ้น และเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปก

คลุ่มอาร์กอน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อม ซึ่งปริมาณไนโตรเจน
ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มความต้านทานการเกิดแตกร้าวของรอยเชื่อม ในกรณีที่เนื้อ
โลหะรอยเชื่อมมีโครงสร้างอสเตนไนท์ทั้งหมด เนื่องจากไนโตรเจนทำให้ขนาดเกรนอสเตนไนท์เล็ก
ลง



บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินการวิจัยนี้ใช้กรรมวิธีการเชื่อม GMAW (Metal Inert Gas Arc Welding) โดยใช้เหล็กกล้าไร้สนิม 304 กับเหล็กเหนียวหล่อ SC 410 เป็นชิ้นงานทดลองเชื่อม ลักษณะรอยต่อเป็นแบบรอยต่อชนทำราบ การเชื่อมจะเป็นแบบอัตโนมัติ จากนั้นนำชิ้นงานเชื่อมไปทดสอบสมบัติทางกล และตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา การวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

ผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆจาก ตำรา เอกสาร วารสาร งานวิจัย วิทยานิพนธ์ ห้องสมุดและทาง Internet ที่มีเนื้อหาที่สอดคล้องและเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ตลอดจนจากการขอคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำงานวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304 มีความหนา 10 มิลลิเมตร ความกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร

3.1.2 เหล็กเหนียวหล่อ วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กเหนียวหล่อ SC 410 มีความหนา 10 มิลลิเมตร ความกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร

3.1.3 อุปกรณ์จับยึด

ออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพื่อทำการจับยึดขณะทำการเชื่อม โดยอุปกรณ์จับยึดทำจากเหล็กเหนียว ใช้การประกอบโดยใช้สกรูและน๊อต และทำการเจียรในผิวหน้าตลอดทั้งชิ้น เพื่อให้ได้ระดับในการวางชิ้นงาน



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในการเชื่อม

3.1.4 ลวดเชื่อม GMAW

ลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลองเป็นลวดเชื่อมประเภทเปลือยตัน (Solid Wire) สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS.A5.9 308LSi: MIG ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร

3.1.5 ชนิดของแก๊สปกคลุมที่ใช้ในการเชื่อม GMAW

แก๊สที่ใช้ปกคลุมแนวเชื่อมใช้คือ แก๊สอาร์โกซิล 64 โดยใช้อัตราการไหลของแก๊สคือ 10 15 และ 20 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 3.2 แก๊สปกคลุมอาร์โกซิล 64 ที่ใช้ในการเชื่อม

3.1.6 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเชื่อม GMAW

ใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเชื่อมให้คงที่ ซึ่งดัดแปลงมาจากเครื่องตัดโลหะแผ่นด้วยแก๊ส ทำให้การเชื่อมเป็นแบบอัตโนมัติ สามารถปรับตั้งความเร็วการเคลื่อนที่หัวเชื่อมได้ โดยความเร็วการเคลื่อนที่หัวเชื่อมที่ใช้ในการทดลองคือ 200 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเชื่อม

3.1.7 เครื่องเชื่อม GMAW

ใช้เครื่องเชื่อม เครื่องหมายการค้า HOBART ในการเชื่อมชิ้นงาน



รูปที่ 3.4 เครื่องเชื่อม MIG ที่ใช้ในการวิจัย

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.2.1 เตรียมชิ้นงานในการทดลอง

ทำการจับยึดชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม 304 กับเหล็กเหนียวหล่อ SC 410 บนอุปกรณ์จับยึดให้แน่น



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์การจับยึดชิ้นงานในการเชื่อม

3.2.2 ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเชื่อม

ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วเข้ากับหัวเชื่อมเพื่อควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่หัวเชื่อมอัตโนมัติ



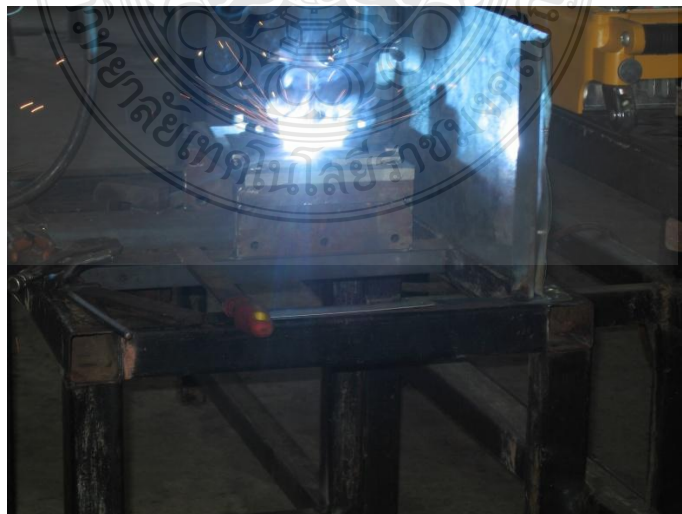
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเชื่อม

3.2.3 ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องเชื่อม

การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ ปริมาณกระแสเชื่อม อัตราการไหลของแก๊ส ความเร็วการเคลื่อนที่หัวเชื่อม ตามค่าตัวแปรที่กำหนดโดยปริมาณกระแสเชื่อม 3 ระดับคือ กระแสที่ใช้ในการเชื่อมมี 3 ระดับคือ 140 180 และ 220 Amp. อัตราการไหลของแก๊ส 3 ระดับ 10 15 และ 20 ลิตรต่อนาที ความเร็วการเคลื่อนที่หัวเชื่อมมี 3 ระดับคือ 200 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อนาที

3.2.4 ทำการเชื่อมชิ้นงานทดสอบ

ทำการเชื่อมชิ้นงาน ในท่าราบ โดยการต่อชน ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบ GMAW



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงาน

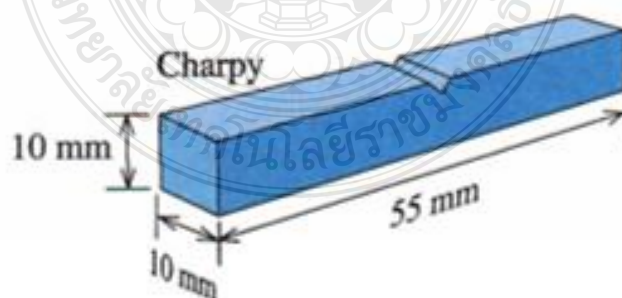


รูปที่ 3.8 ชิ้นงานหลังจากผ่านการเชื่อม

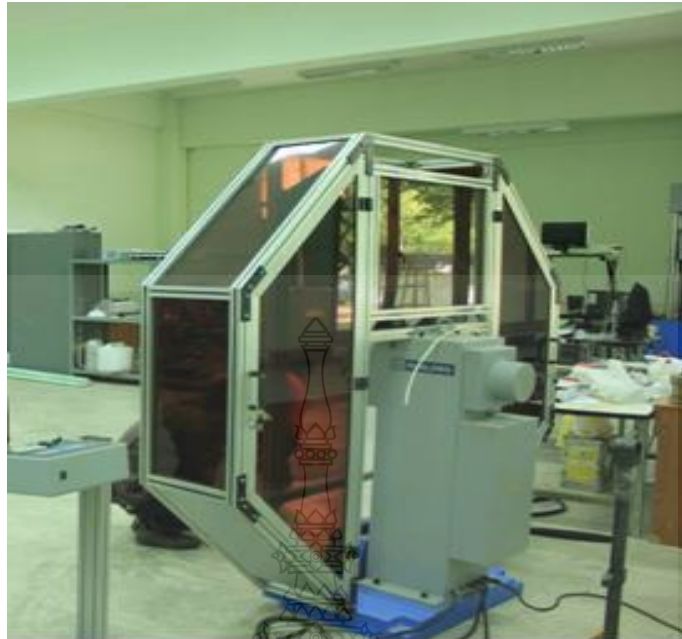
3.3 การทดสอบสมบัติทางกล

3.4.1 การทดสอบหาค่ารับแรงกระแทก

นำชิ้นงานที่เชื่อมเสร็จแล้ว มาทำการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกทำการตัดด้วยเครื่องตัดและหล่อเย็นชิ้นงานขณะทำการตัด และทำการกัดขึ้นทดสอบด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ ตามมาตรฐาน ASTM E23-00 [17] ดังรูปที่ 3.9 และทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก เครื่องหมายการค้า CBD-300 Pendulum (Impact Testing Machine) ดังรูปที่ 3.10 โดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ (Speed) 5.2 ม./วินาที และน้ำหนักในการตี (Load Impact) 300 J โดยทำการตีรอยเชื่อมจนแนวเชื่อมขาดหรือฉีกออกจากกัน และทำการบันทึกค่าการดูดซับพลังงาน



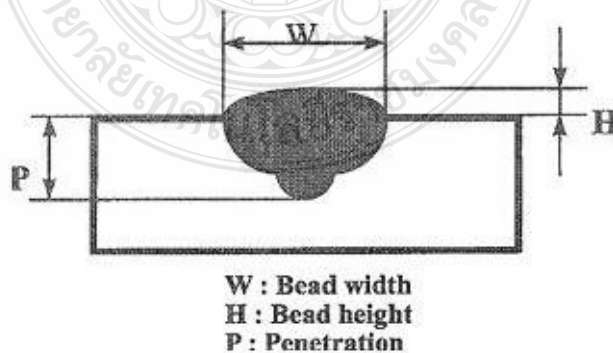
รูปที่ 3.9 ชิ้นทดสอบการกระแทก [17] [18]



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบแรงกระแทก

3.4.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Micro Scope) ที่มีกำลังขยายต่ำกว่า 10 เท่า นำชิ้นงานส่วนที่ต้องการตรวจสอบมาตัดแบ่งชิ้นส่วนด้วยเครื่องตัดและหล่อเย็นชิ้นงานขณะทำการตัดและนำชิ้นงานหล่อตัวเรือนอะลูมิเนียมด้วยเรซิน ทำการขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ ตั้งแต่เบอร์ 360 400 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับ และตรวจสอบเพื่อดูจุดบกพร่องบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) และทำการวัดขนาดแนวเชื่อม ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การวัดขนาดบริเวณแนวเชื่อม [19]

3.4.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Micro Scope) เครื่องหมายการค้า Zeiss รุ่น AX10 Imager A1m ที่กำลังขยาย 50-500 เท่า นำชิ้นงานส่วนที่ต้องการตรวจสอบมาตัดแบ่งชิ้นส่วนด้วยเครื่องตัดและหล่อเย็นชิ้นงานขณะทำการตัดและนำชิ้นงานหล่อตัวเรือนอะลูมิเนียมด้วยเรซิน ทำการขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ ตั้งแต่เบอร์ 360 400 600 800 1000 และ 1 200 ตามลำดับ จากนั้นจะนำไปขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) ที่มีขนาดตั้งแต่ 1-3 ไมครอน เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจากผงอะลูมินา (Alumina Oxide) และผงเพชร (Diamond) ล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลมร้อน เมื่อเสร็จขั้นตอนดังกล่าวทำการกัดกรดที่มีส่วนผสมของกรดตามมาตรฐาน ASTM E407 [20] ประกอบด้วย เอทานอล (95%) 100 mL กรดไนตริก 1-5 mL ใช้เวลาในการจุ่มแช่นาน 10 วินาที จากนั้นล้างกรดด้วยน้ำและเอทานอลและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลมร้อน นำชิ้นงานทดสอบมาตรวจดูโครงสร้างจุลภาคเพื่อดูการกระจายตัวลักษณะของเกรน บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ)



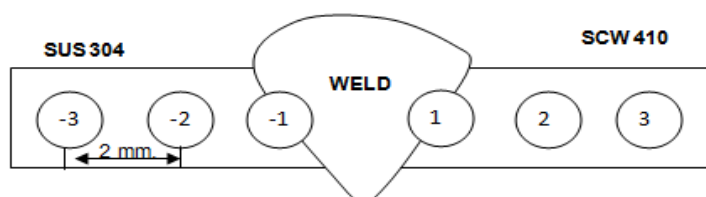
รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

3.4.4 การทดสอบความแข็ง



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Micro Vickers

ในขั้นตอนนี้ชิ้นงานตรวจสอบจะถูกเตรียมเพื่อให้สามารถนำชิ้นตรวจสอบนั้นไปทำการตรวจสอบความแข็งได้ โดยนำไปขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ ตั้งแต่เบอร์ 360 400 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับ เพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรกออกให้หมด จนถึงกระดาษทรายเบอร์สุดท้ายล้างด้วยน้ำ และเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลมร้อนและทำการทดสอบความแข็งของแนวเชื่อมจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E92-82 [21] โดยใช้แบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers) เครื่องหมายการค้า Controls Digital รุ่น DM 2 สามารถอ่านผลการทดสอบจากเครื่องโดยตรงเป็นตัวเลขดิจิทัล ดังรูปที่ 3.13 กดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) และเนื้อโลหะเดิม (Base Metal) ระยะห่างของรอยกดประมาณ 2 มม. ทั้งสองด้าน ด้านละ 3 จุด โดยใช้แรงกด 10 กรัม (kgf) และใช้เวลาในการกดประมาณ 10 วินาที ดังรูปที่ 3.14



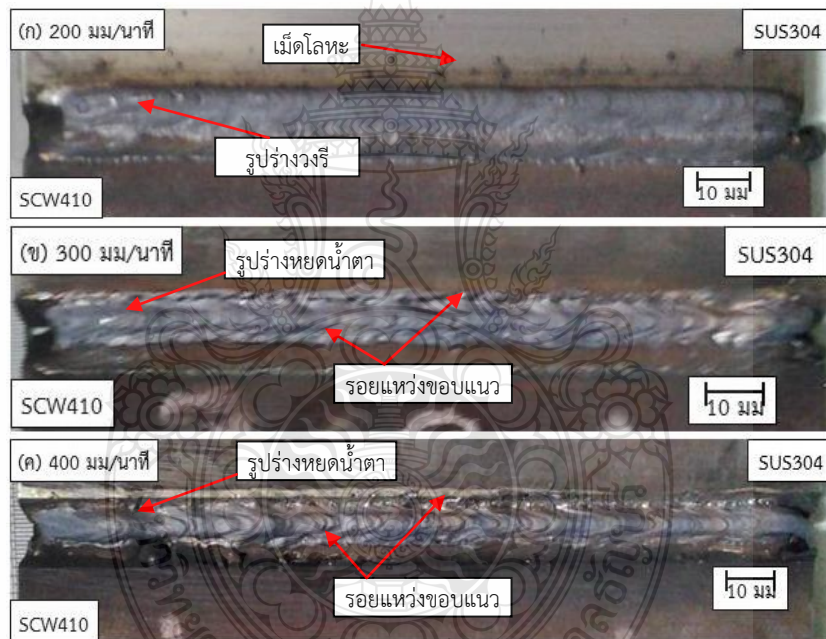
รูปที่ 3.14 ระยะการทดสอบความแข็ง

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

ผลทดลองการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของรอยเชื่อมท่อไอเสียรถยนต์: การทดแทนวัสดุชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค 304 ด้วยเหล็กเหนียวหล่อ SC410 โดยมีค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองดังนี้ กระแสที่ใช้ในการเชื่อมประมาณ 140 180 และ 220 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนประมาณ 10 15 และ 20 ลิตรต่อนาที และความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที สามารถอธิบายผลการทดสอบได้ดังนี้

4.1 ตัวแปรของกระแสเชื่อมต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม

4.1.1 กระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

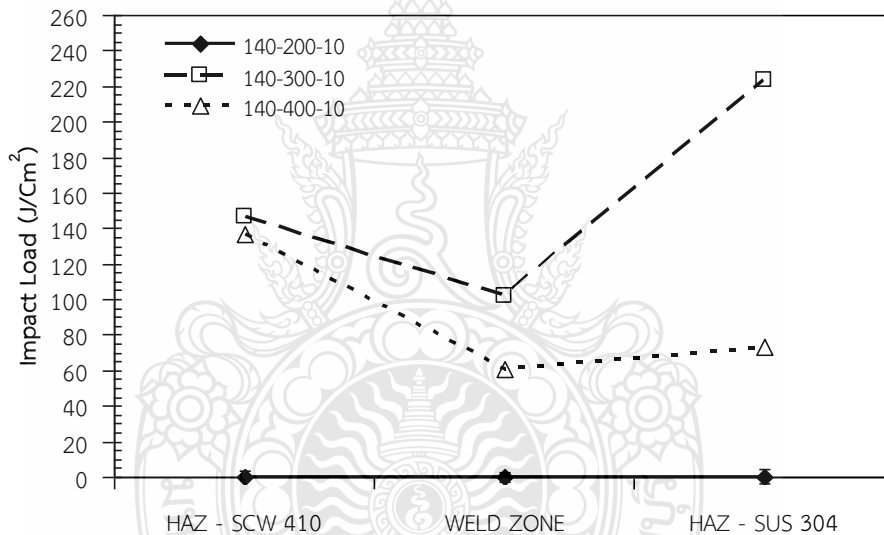


- (ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที
- (ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที
- (ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที

รูปที่ 4.1 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.1 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลงและเกิดรอยแหงซอบแนว (Undercut) และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา

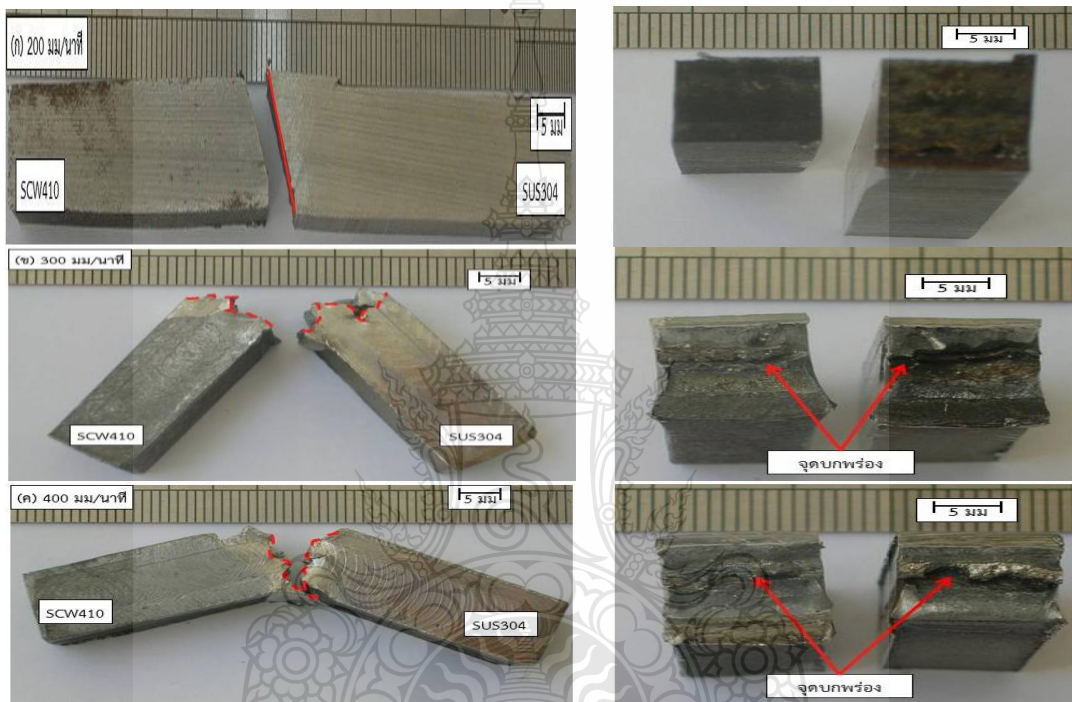
(Teardrop Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่สูงที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.1 (ข) (ค) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiecai Feng Et al [24] ที่ได้กล่าวไว้ว่า การเปลี่ยนความยาวระยะการอาร์ค ที่เพิ่มขึ้นกับอัตราความเร็วเดินเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดรอยแหงนขอบแนว (Undercut) พร้อมกันทั้ง 2 ด้าน ขณะที่ผิวแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ คือ 200 มม./นาที ดังรูปที่ 4.1 (ก) มีเม็ดโลหะทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และการเกิดรอยแหงนขอบแนว (Undercut) นั้นหายไป และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดของแนวเชื่อมนี้สัมพันธ์กับสมการทางความร้อนของการเชื่อมโดยตรง ที่แสดงไว้ว่าความเร็วเดินเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความร้อนในแนวเชื่อมมีค่าลดลง ค่าความร้อนที่ลดลงทำให้การแผ่กระจายความร้อนไปบริเวณโดยรอบของแนวเชื่อมมีค่าน้อย และทำให้โลหะหลอมเหลวไม่สามารถกระจายออกไปบริเวณด้านข้างได้ แนวเชื่อมจึงมีความนูนสูงกว่าและความกว้างของแนวเชื่อมมีค่ามากกว่า [25]



รูปที่ 4.2 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

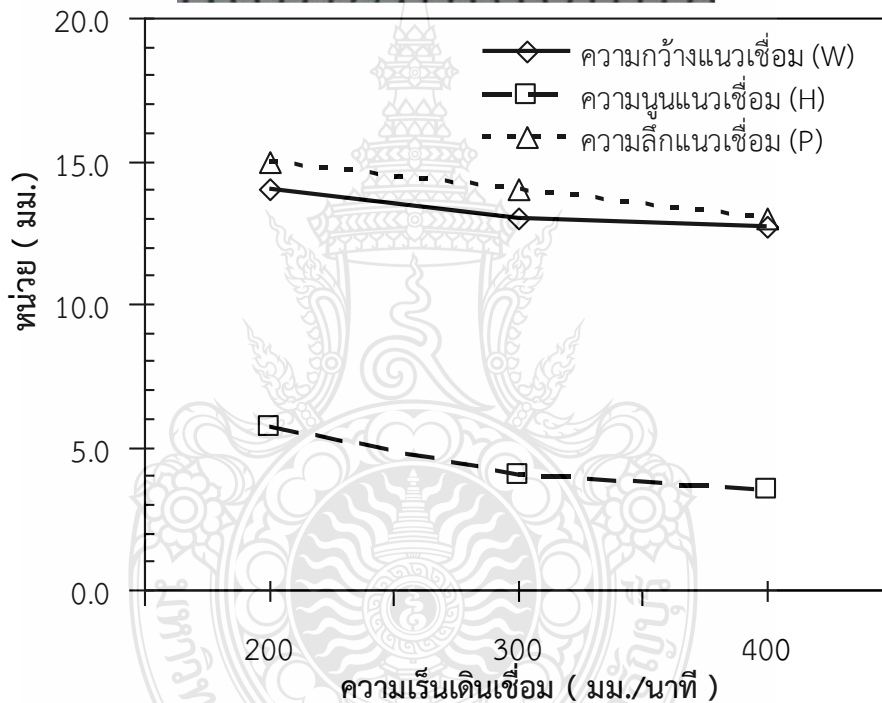
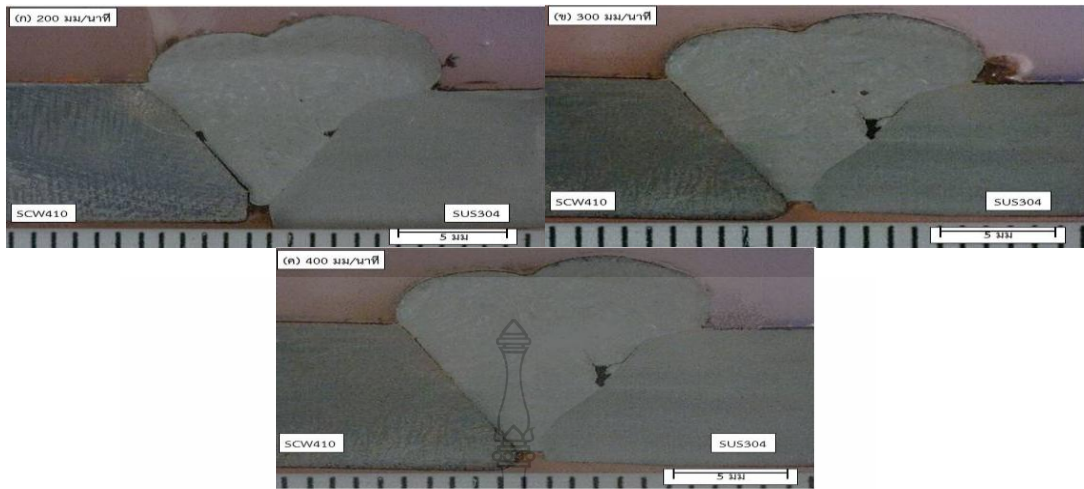
รูปที่ 4.2 ความแข็งแรงกระแทกหรือค่าการดูดซับพลังงานของรอยเชื่อมซึ่งแสดงค่าความเหนียว (Toughness) หรือเปราะ (Brittle) ของเนื้อโลหะ พบว่า ความแข็งแรงกระแทกสูงของรอยต่อทุกๆ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที ที่เชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที บริเวณที่มีความแข็งแรงสูง คือ บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โลหะเชื่อม และสอดคล้องกับการทดสอบค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่มีค่าความแข็งแรงสูงแสดงระยะการทดสอบวงกลมหมายเลข 1 บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ดังรูปที่ 4.4 และมีค่าความแข็งแรงแนวโน้มต่ำที่สุด คือ บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) สาเหตุเนื่องจากเกิดจุดบกพร่องบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.3 (ข) และ (ค) แสดงลักษณะการ

พังทลาย และจุดบกพร่องหรือสแลกฝังใน (Slag Inclusion) ในขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที่ ค่าการดูดซับพลังงาน มีค่าเท่ากับ 0 J เนื่องจากบริเวณแนวเชื่อมเกิดการหลอมไม่สมบูรณ์ (Lack of Fusion) ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.3 (ก) ลักษณะการพังทลาย อัตราความเร็วเดินแนวเชื่อม ส่งผลต่อความเหนียวของโลหะเชื่อม นอกจากนั้นความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเปราะของรอยต่อเชื่อม ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่ได้จากการเชื่อมพบว่า มีค่าเท่ากับ 223 J ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที่



รูปที่ 4.3 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที่

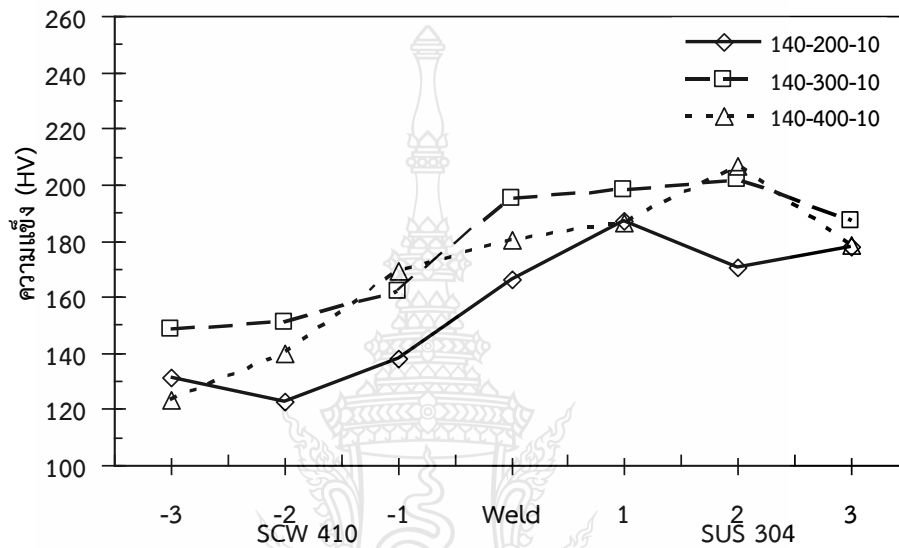
รูปที่ 4.3 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที่ ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที่ จะเกิดขึ้นทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 มีลักษณะเป็นแนวเส้นตรงเนื่องจากบริเวณโลหะเชื่อมไม่มีการผสมกับลวดเชื่อมซึ่งทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มสีดำบริเวณรอยพังทลายดังรูปที่ 4.3 (ก) และส่งผลถึงค่าการดูดซับพลังงานที่ต่ำและสอดคล้องกับรูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.9 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที่ ขณะที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที่ พบว่า บริเวณรอยพังทลายมีลักษณะเป็นรอยแตกสลับฟันปลา (Zigzag) และสังเกตพื้นที่หน้าตัดรอยพังทลายลักษณะผิวค่อนข้างหยาบ และรอยพังทลายเกิดตรงบริเวณจุดบกพร่องของแนวเชื่อม 4.3 (ข) (ค)



รูปที่ 4.4 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

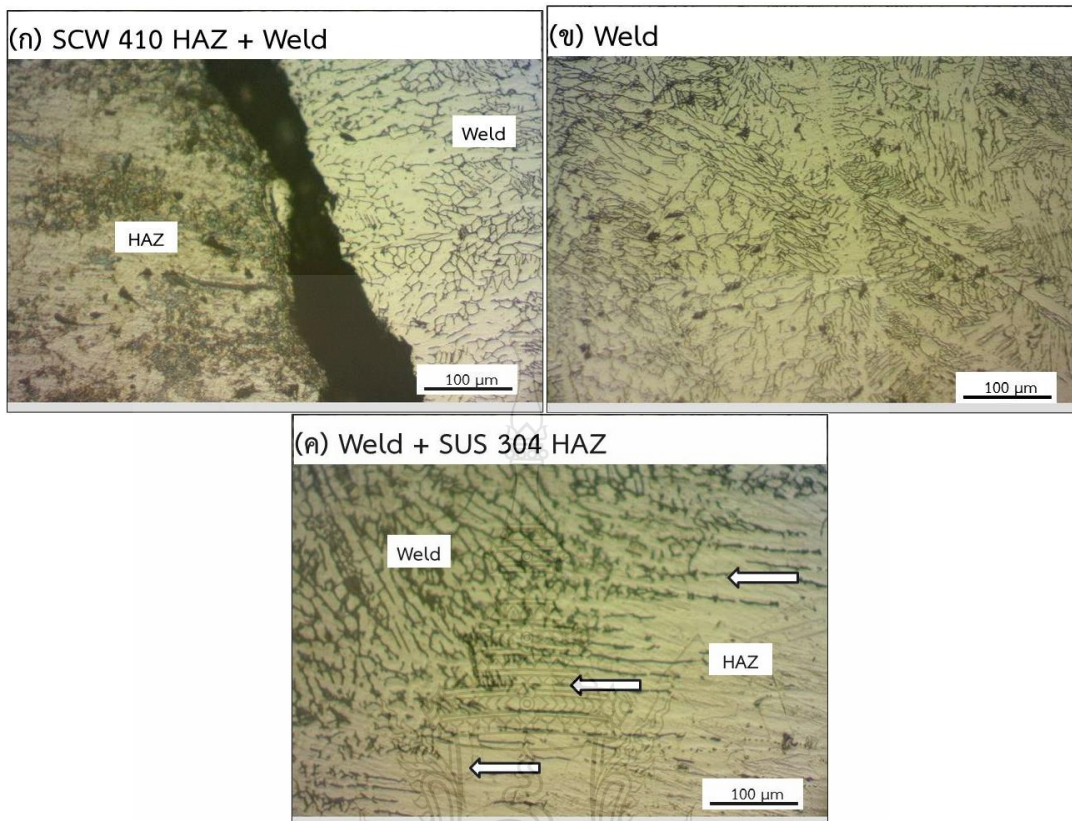
ลักษณะโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ พบจุดบกพร่อง (Defect) มีขนาดเล็ก และเกิดช่องว่าง (Gap) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมทางด้านเหล็กหล่อเหนียว SC410 แสดงดังรูปที่ 4.4 (ก) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดซับพลังงานดังรูปที่ 4.2 และลักษณะการพังทลายดังรูปที่ 4.3 ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น 300 และ 400 มม./นาที พบจุดบกพร่อง (Defect) มีขนาดใหญ่ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ดังรูปที่ 4.4 (ข) (ค) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการพังทลายรูปที่ 4.3 (ข) (ค) และทำการวัดค่าความ

กว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ทำการเปรียบเทียบ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าลดลง ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงดังกราฟรูปที่ 4.4 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiecai Feng Et al. [22]



รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

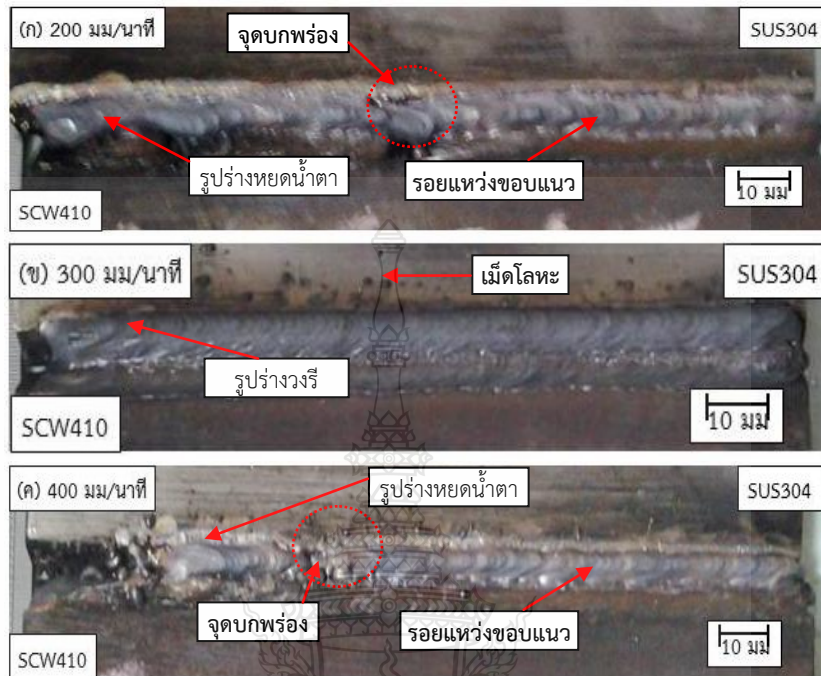
ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที แสดงค่าความแข็งของรอยต่อที่ทำการวัดในตำแหน่งกึ่งกลางความหนาของแผ่น และมีตำแหน่งตั้งแต่มุมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ลากผ่านโลหะเชื่อมไปที่ด้านเหล็กเหนียวหล่อ ดังรูปที่ 4.5 พบว่า ค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระตบร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้นมีความแข็งสูงกว่าโลหะในการทดลองทั้งสองชนิด ค่าความแข็งมีแนวโน้มคล้ายกับค่าการดูดซับพลังงาน กล่าวคือ บริเวณพื้นที่กระตบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีค่าความแข็งสูง เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อม และพื้นที่กระตบร้อนด้านเหล็กเหนียวหล่อที่มีค่าต่ำ ขณะที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมมีความแข็งใกล้เคียงบริเวณพื้นที่กระตบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304



รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของกระแสนเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสนเชื่อม 140 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่แสดงค่าการดูดซับพลังงาน 223 J โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระตร้อนด้านรอยต่อเหล็กเหนียวหล่อ SC410 แสดงในรูปที่ 4.6 (ก) พบจุดบกพร่องเกิดช่องว่าง (Gap) มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.074 มม. เม็ดเกรนจะมีลักษณะเรียวยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลว และการเกิดเม็ดเกรนที่ยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลวจากซ้ายไปขวา เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนที่รวดเร็วของโลหะหลอมเหลวในโลหะเชื่อมออกสู่บรรยากาศขณะที่ด้านซ้ายของเส้นเขตการหลอมเหลว คือพื้นที่ของโลหะเชื่อมที่ประกอบด้วยเดนไดรท์ของโลหะเชื่อมที่มีความละเอียดมากกว่า และเดนไดรท์มีทิศทางเข้าสู่กึ่งกลางของแนวเชื่อมที่มีความเอียงจากบนลงล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ข) และด้านซ้ายของรูปที่ 4.6 (ค) ที่มีลักษณะของเดนไดรท์ละเอียดที่มีทิศทางการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลางจากขวาไปซ้ายของโลหะเชื่อมด้านขวาของเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาวเม็ดเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบแต่เม็ดเกรนของโลหะไม่ได้มีความกลมมนและสมมาตรเหมือนดังที่เกิดขึ้นในพื้นที่กระตร้อนของเหล็กเหนียวหล่อ SC410 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเบื้องต้นทำให้ทราบเหตุผลที่บริเวณพื้นที่กระตร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 พื้นที่กระตร้อนของเหล็กเหนียวหล่อ และบริเวณโลหะเชื่อมจึงมีค่าการดูดซับพลังงานแตกต่างกัน

4.1.2 กระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที่ ที่มีผลต่อแนวเชื่อม



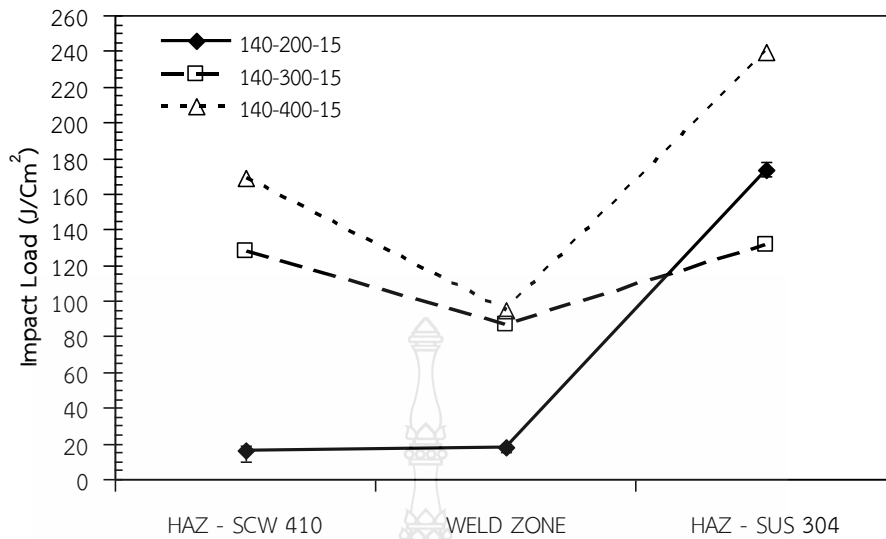
(ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที่

(ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที่

(ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที่

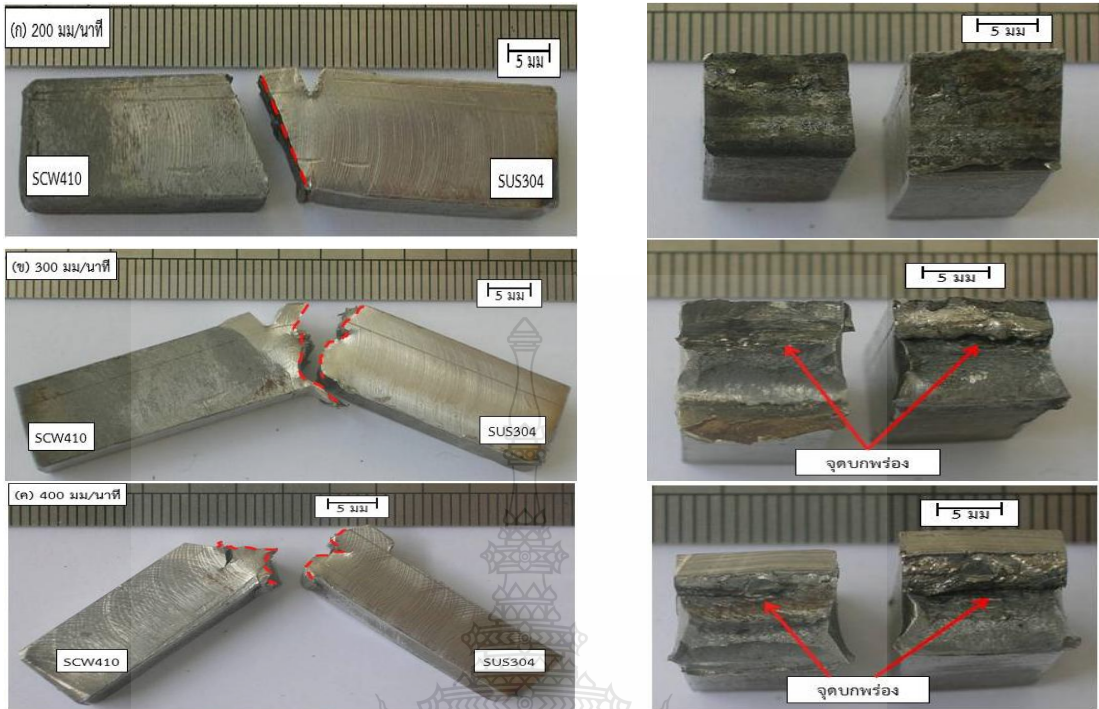
รูปที่ 4.7 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที่

รูปที่ 4.7 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที่ ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่ออัตราการไหลของแก๊สปกคลุมเพิ่มขึ้น โดยใช้ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงส่งผลทำให้ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลงและเกิดรอยแห้วขอบแนว (Undercut) และเกิดจุดบกพร่อง (Defect) บริเวณแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 และ 400 มม./นาที่ ดังรูปที่ 4.7 (ก) (ค) และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ขณะที่ผิวแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที่ ดังรูปที่ 4.7 (ข) ลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] การเกิดรอยแห้วขอบแนว (Undercut) และจุดบกพร่อง (Defect) นั้นหายไป แต่มีเม็ดโลหะเกิดขึ้นทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304



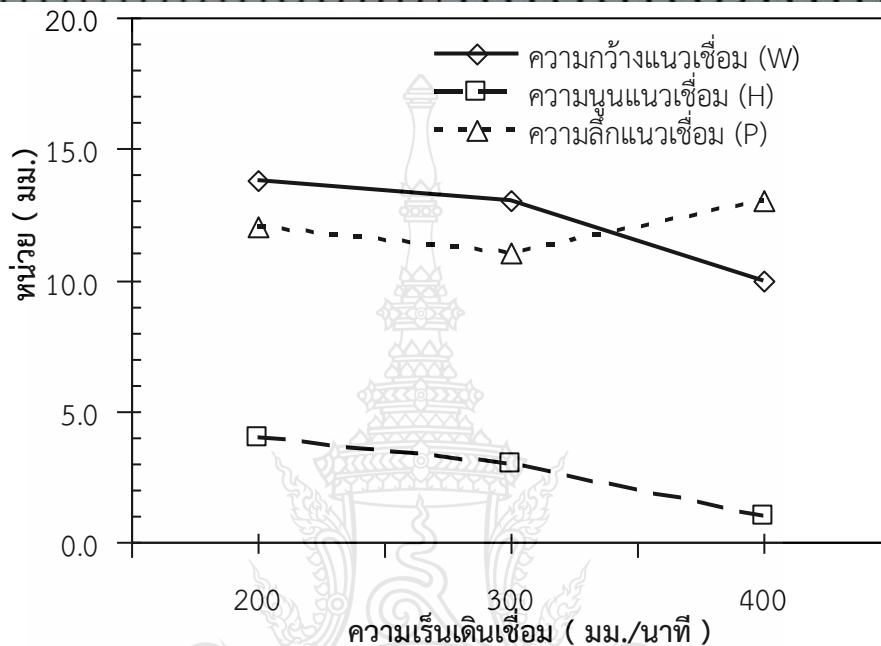
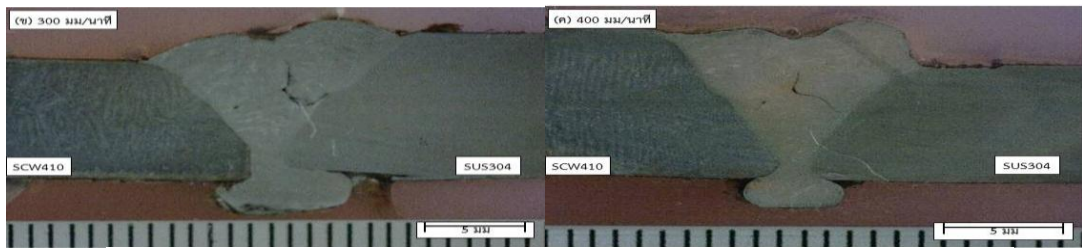
รูปที่ 4.8 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสดูเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.8 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสดูเชื่อม 140 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที พบว่า ความแข็งแรงกระแทกสูงของรอยต่อทุกๆ ความเร็วเดินเชื่อม บริเวณที่มีความแข็งแรงสูง คือ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โลหะเชื่อม และสอดคล้องกับการทดสอบค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่มีค่าความแข็งแนวโน้มสูงบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ทุกความเร็วเดินเชื่อม ดังแสดงระยการทดสอบวงกลมหมายเลข 1 ดังรูปที่ 4.11 และค่าความแข็งมีลักษณะคล้ายกับการเชื่อมด้วยกระแสดู 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที นอกจากนั้นความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเปราะของรอยต่อเชื่อม ขณะที่ค่าความแข็งแรงที่มีแนวโน้มต่ำ คือ บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) สาเหตุเนื่องจากเกิดการหลอมไม่สมบูรณ์ (Lack of Fusion) ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.9 (ก) และมีจุดบกพร่องในบริเวณแนวเชื่อม หรือ สแลกฝังใน (Slag Inclusion) ดังรูปที่ 4.9 (ข) (ค) ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่ได้จากการเชื่อมพบว่า มีค่าเท่ากับ 239 J ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304



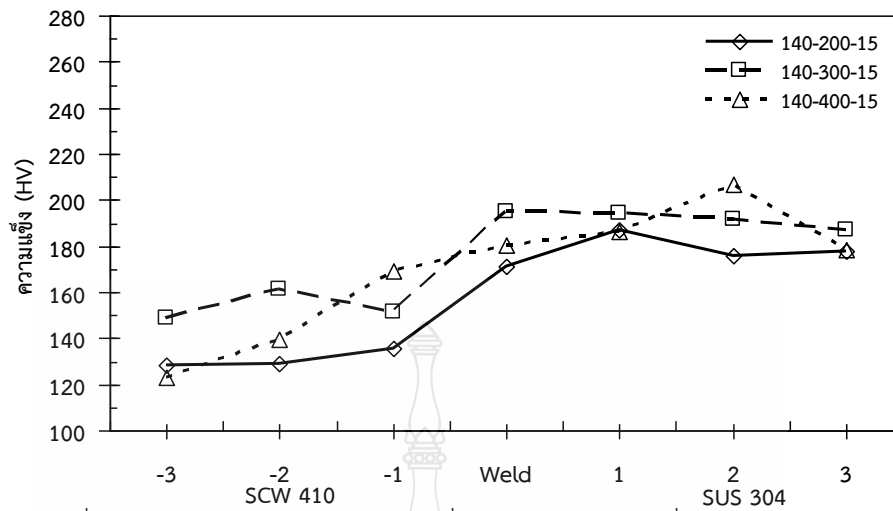
รูปที่ 4.9 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาทึ

รูปที่ 4.9 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาทึ ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาทึ จะเกิดขึ้นทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 มีลักษณะเป็นแนวเส้นตรงเนื่องจากบริเวณโลหะเชื่อมไม่มีการผสมกับโลหะเติมซึ่งทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มสีดำบริเวณรอยพังทลายดังรูปที่ 4.9 (ก) และส่งผลถึงค่าการดูดซับพลังงานที่ต่ำสอดคล้องกับรูปที่ 4.8 ขณะที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 และ 400 มม./นาทึ พบว่า บริเวณรอยพังทลายมีลักษณะเป็นรอยแตกสลับฟันปลา (Zigzag) และสังเกตพื้นที่หน้าตัดรอยพังทลายลักษณะผิวค่อนข้างหยาบ และรอยพังทลายเกิดตรงบริเวณจุดบกพร่องของแนวเชื่อม 4.9 (ข) (ค)



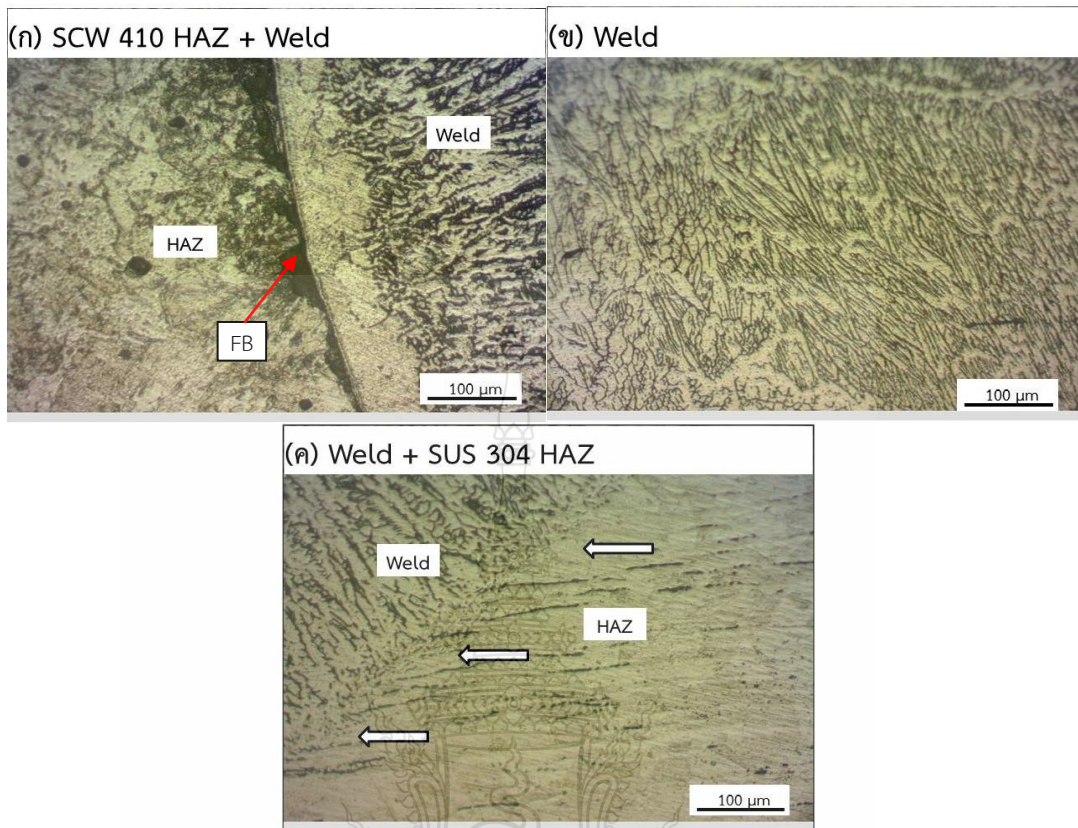
รูปที่ 4.10 โครงสร้างมหภาคของกระแสนเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาทื

รูปที่ 4.10 ผลการตรวจโครงสร้างมหภาคของกระแสนเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาทื ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ พบจุดบกพร่อง (Defect) บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) ดังรูปที่ 4.10 (ก) (ข) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 และ 300 มม./นาทื ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดซับพลังงานที่มีค่าต่ำบริเวณแนวเชื่อม ดังรูปที่ 4.8 และลักษณะการพังทลายเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อมที่พบจุดบกพร่อง (Defect) ดังรูปที่ 4.9 และทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ทำการเปรียบเทียบ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) และค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) มีค่าลดลง ส่วนค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงดังกราฟรูปที่ 4.10 และสอดคล้องกับกระแสนเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาทื มีแนวโน้มเหมือนกัน ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.11 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

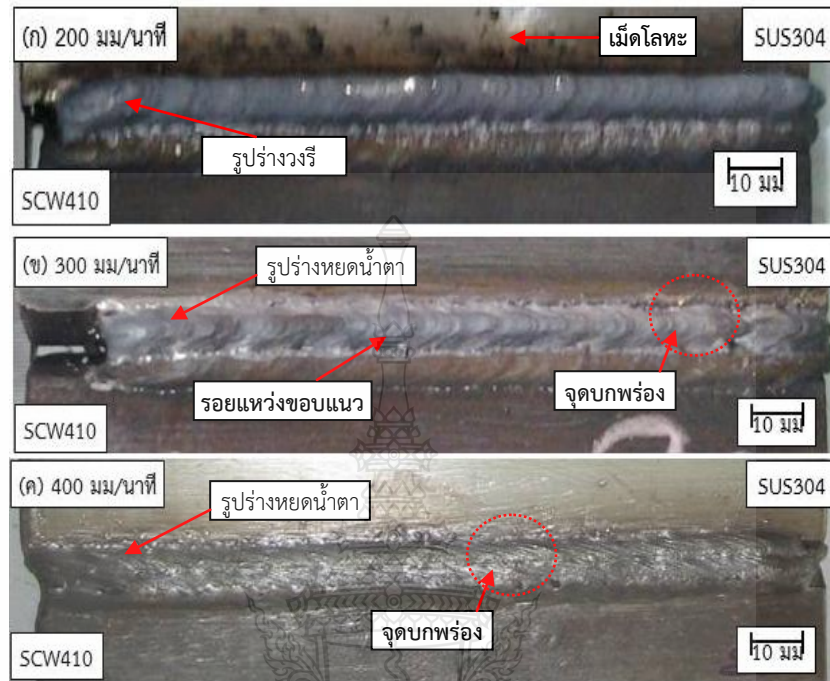
รูปที่ 4.11 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที แสดงค่าความแข็งของรอยต่อที่ทำการวัดในตำแหน่งกึ่งกลางความหนาของแผ่น และมีตำแหน่งตั้งแต่ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ลากผ่านโลหะเชื่อมไปที่ด้านเหล็กเหนียวหล่อ พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มคล้ายกับค่าการดูดซับพลังงานดังรูปที่ 4.8 กล่าวคือ ค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระแทกของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้นมีความแข็งสูงกว่าโลหะในการทดลองทั้งสองชนิด และบริเวณพื้นที่กระแทกด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีค่าความแข็งสูงซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการพังทลายจะเกิดขึ้นบริเวณด้านทางเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ดังรูปที่ 4.9 (ข) (ค) และเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อม และพื้นที่กระแทกด้านเหล็กเหนียวหล่อที่มีค่าต่ำสุด ขณะที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมมีค่าความแข็งใกล้เคียงบริเวณพื้นที่กระแทกด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304



รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.12 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่แสดงค่าการดูดซับพลังงาน 239 J โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ด้านรอยต่อเหล็กเหนียวหล่อ SC410 แสดงดังรูปที่ 4.12 (ก) เกิดบริเวณที่ไม่ผสม (Unmixed Zone) และมีช่องว่าง (Gap) เกิดขึ้นเล็กน้อย สาเหตุเนื่องจากมีโลหะขึ้นงานไม่หลอมเหลวและเกิดเป็นฟิล์มชั้นบางๆ ที่บริเวณขอบรอยเชื่อม (Fusion Boundary: FB) ดังแสดงด้วยลูกศรสีแดง และมีเม็ดเกรนที่ยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลวจากซ้ายไปขวา เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนที่รวดเร็วของโลหะหลอมเหลวในโลหะเชื่อมออกสู่บรรยากาศโลหะเชื่อมที่มีความละเอียดมากกว่า และเดนไดรต์มีทิศทางเข้าสู่กึ่งกลางของแนวเชื่อมที่มีความเอียงจากบนลงล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (ข) และด้านซ้ายของรูปที่ 4.12 (ค) ที่มีลักษณะของเดนไดรต์ละเอียดที่มีทิศทางการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลางจากขวาไปซ้ายของโลหะเชื่อม ด้านขวาของเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาวเม็ดเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบแต่เม็ดเกรนของโลหะไม่ได้มีความกลมมนและสมมาตรเหมือนดังที่เกิดในพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กเหนียวหล่อ SC410 นอกจากนี้ไม่พบจุดบกพร่องใดๆ บนรอยเชื่อมที่บริเวณพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และบริเวณโลหะเชื่อม

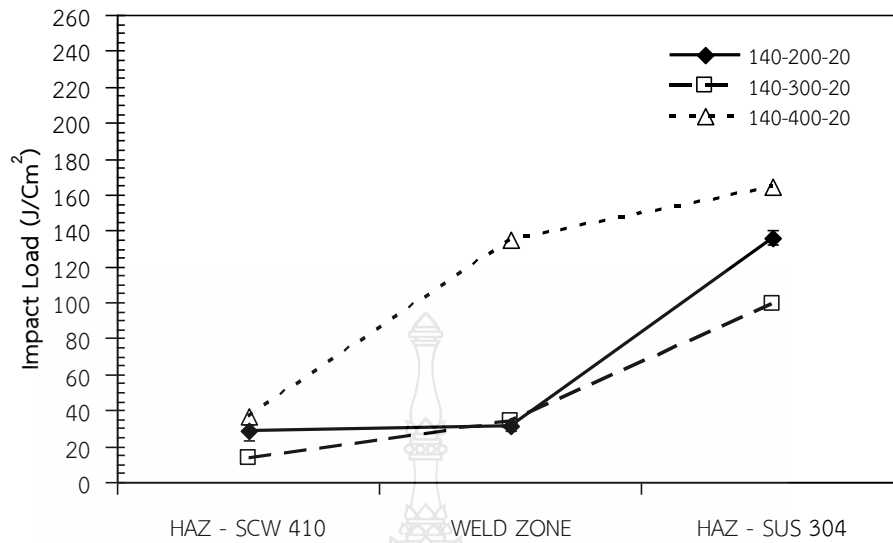
4.1.3 กระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม



- (ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที
- (ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที
- (ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที

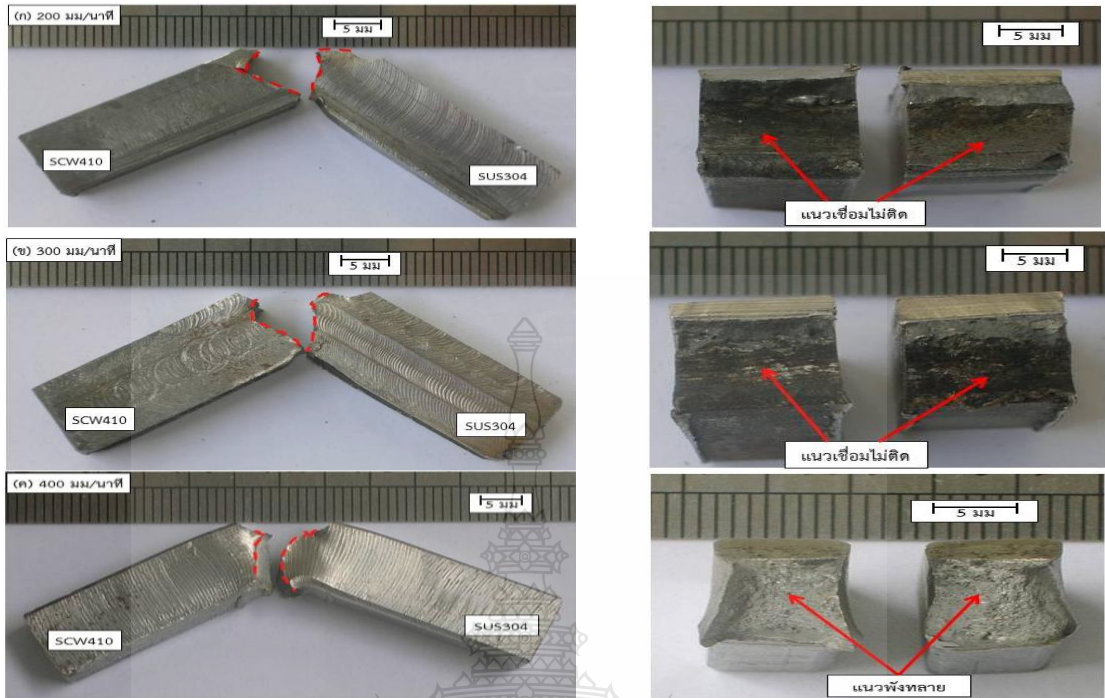
รูปที่ 4.13 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.13 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่ออัตราการไหลของแก๊สปกคลุมเพิ่มขึ้นและความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าลดลง และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลงและเกิดรอยแหงของขอบแนว (Undercut) ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที ดังรูปที่ 4.13 (ข) และเกิดจุดบกพร่องบริเวณผิวแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.13 (ข) (ค) แสดงบริเวณวงกลมเส้นประสีแดง และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่สูง ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีเม็ดโลหะเกิดขึ้น และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ



รูปที่ 4.14 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของ แก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที่

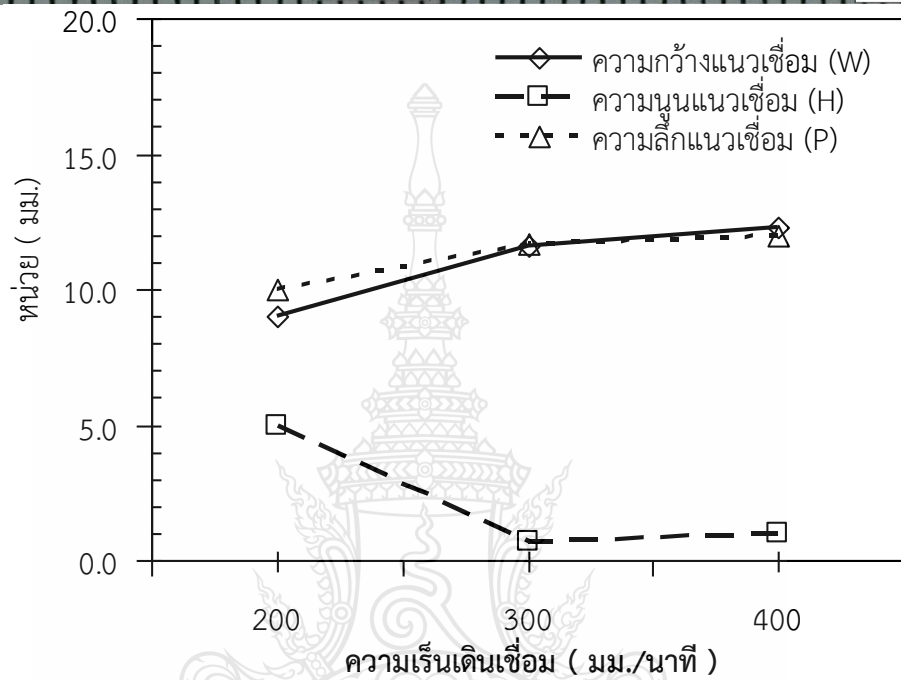
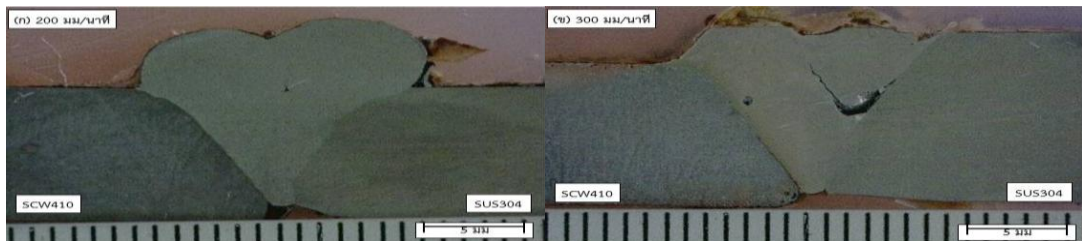
รูปที่ 4.14 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที่ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที่ พบว่า ความแข็งแรงกระแทกสูงของรอยต่อทุกๆ ความเร็วเดินเชื่อม คือ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และสอดคล้องกับการทดสอบค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่มีแนวโน้มค่าความแข็งแรงสูงบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ทุกความเร็วเดินเชื่อม ดังแสดงระยการทดสอบวงกลมหมายเลข 1 และ 2 ดังรูปที่ 4.17 และค่าความแข็งแรงมีลักษณะคล้ายกับการเชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 และ 15 ลิตร/นาที่ ดังรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.11 นอกจากนั้นความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความเปราะของรอยต่อเชื่อม ขณะที่ค่าความแข็งแรงที่มีแนวโน้มต่ำคือ บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) สาเหตุเนื่องจากเกิดการหลอมไม่สมบูรณ์ (Lack of Fusion) ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.15 (ก) (ข) ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่ได้จากการเชื่อมพบว่ามีค่าเท่ากับ 164 J ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที่ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304



รูปที่ 4.15 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

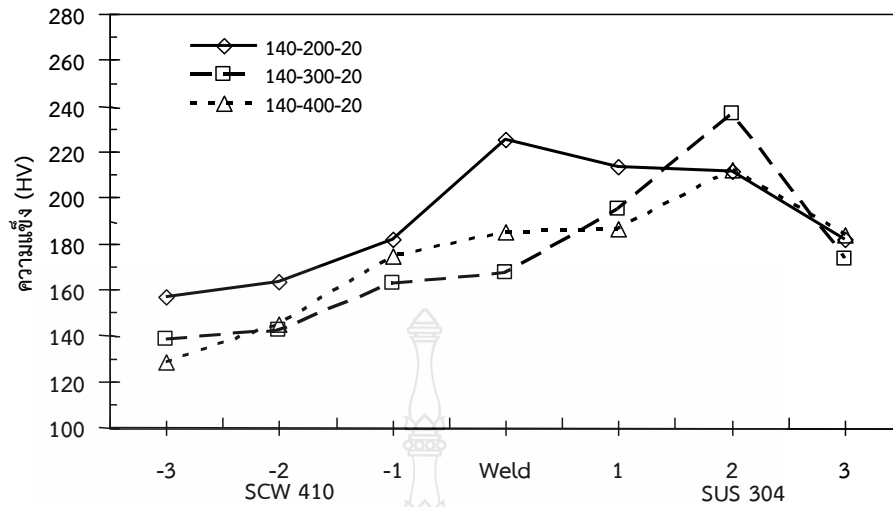
ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ต่างกัน ดังรูปที่ 4.15 พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 และ 300 มม./นาที จะเกิดขึ้นทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 เนื่องจากแนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ไม่ติดกับเนื้อโลหะเดิมเหล็กเหนียวหล่อ SC410 บางส่วนทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มสีดำ บริเวณรอยพังทลายดังรูปที่ 4.15 (ก) (ข) และส่งผลถึงค่าการดูดซับพลังงานที่ต่ำบริเวณแนวเชื่อม สอดคล้องกับรูปที่ 4.14 ขณะที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที พบว่า บริเวณพังทลายพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนรูปร่างมีลักษณะเป็นรอยคล้าย Cup และ Cone [17] และเกิดคอคอดบริเวณพังทลายลักษณะคล้ายการแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture)

รูปที่ 4.16 ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำพบจุดบกพร่อง (Defect) มีขนาดเล็ก บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) ดังรูปที่ 4.16 (ก) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดซับพลังงานที่มีค่าแนวโน้มต่ำบริเวณแนวเชื่อม ดังรูปที่ 4 14 และลักษณะการพังทลายเกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อมที่พบจุดบกพร่อง (Defect) ดังรูปที่ 4.15 และทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความสูงของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ทำการเปรียบเทียบ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสูงของแนวเชื่อม (H) ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าลดลง และ ค่าความสูงของแนวเชื่อม (H) มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงดังกราฟรูปที่ 4.16

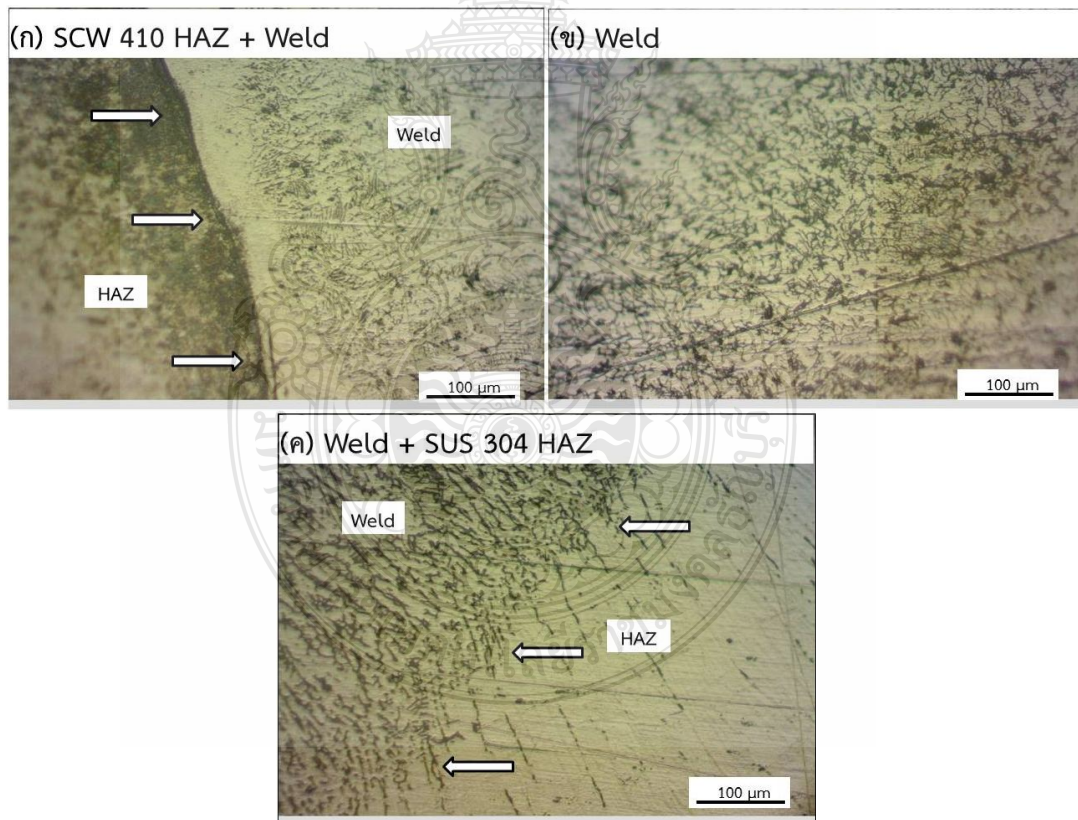


รูปที่ 4.16 โครงสร้างมหภาคของกระแสนเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาทื

รูปที่ 4.17 ค่าความแข็งของกระแสนเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาทื พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มคล้ายกับค่าการดูดซับพลังงานดังรูปที่ 4.14 กล่าวคือ ค่าความแข็งบริเวณพื้นที่ที่กระแทกร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้นมีความแข็งสูงกว่าโลหะในการทดลองทั้งสองชนิด และบริเวณพื้นที่ที่กระแทกร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีค่าความแข็งสูงซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการพังทลายจะเกิดขึ้นบริเวณด้านทางเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ดังรูปที่ 4.17 (ข) (ค) และเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อม และพื้นที่ที่กระแทกร้อนด้านเหล็กเหนียวหล่อที่มีค่าต่ำ ขณะที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมมีค่าความแข็งใกล้เคียงบริเวณพื้นที่ที่กระแทกร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304



รูปที่ 4.17 ค่าความแข็งของกระแสมเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

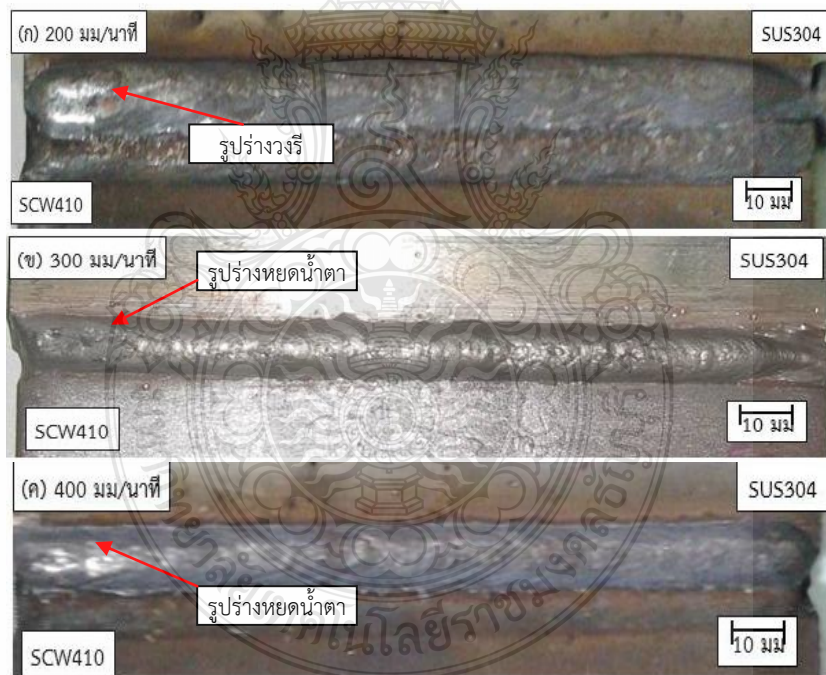


รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของกระแสมเชื่อม 140 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 140 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที แสดงค่าการดูดซับพลังงาน 164 J บริเวณโครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ด้านรอยต่อด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 แสดงดังรูปที่ 4.18 (ก) เม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตรจนกระทั่งเข้าใกล้เขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาว และเดนไดรต์มีทิศทางเข้าสู่กึ่งกลางของแนวเชื่อมที่มีความเอียงจากบนลงล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.18 (ข) และด้านซ้ายของรูปที่ 4.18 (ค) ที่มีลักษณะของเดนไดรต์ละเอียดที่มีทิศทางการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลางจากขวาไปซ้ายของโลหะเชื่อม ด้านขวาของเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาว เม็ดเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบแต่เม็ดเกรนของโลหะไม่ได้มีความกลมมนและสมมาตรเหมือนดังที่เกิดในพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กเหนียวหล่อ SC410

4.2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วเดินแนวเชื่อมต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม

4.2.1 กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม



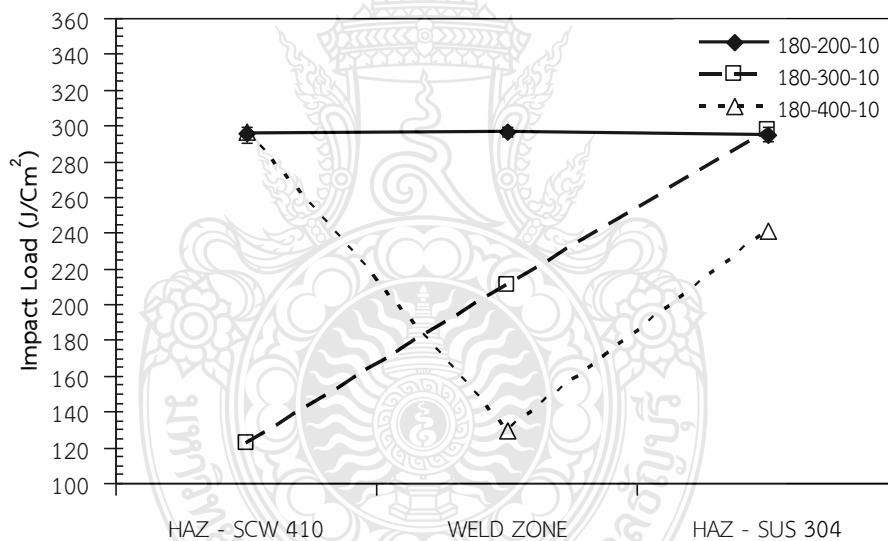
(ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที

(ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที

(ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที

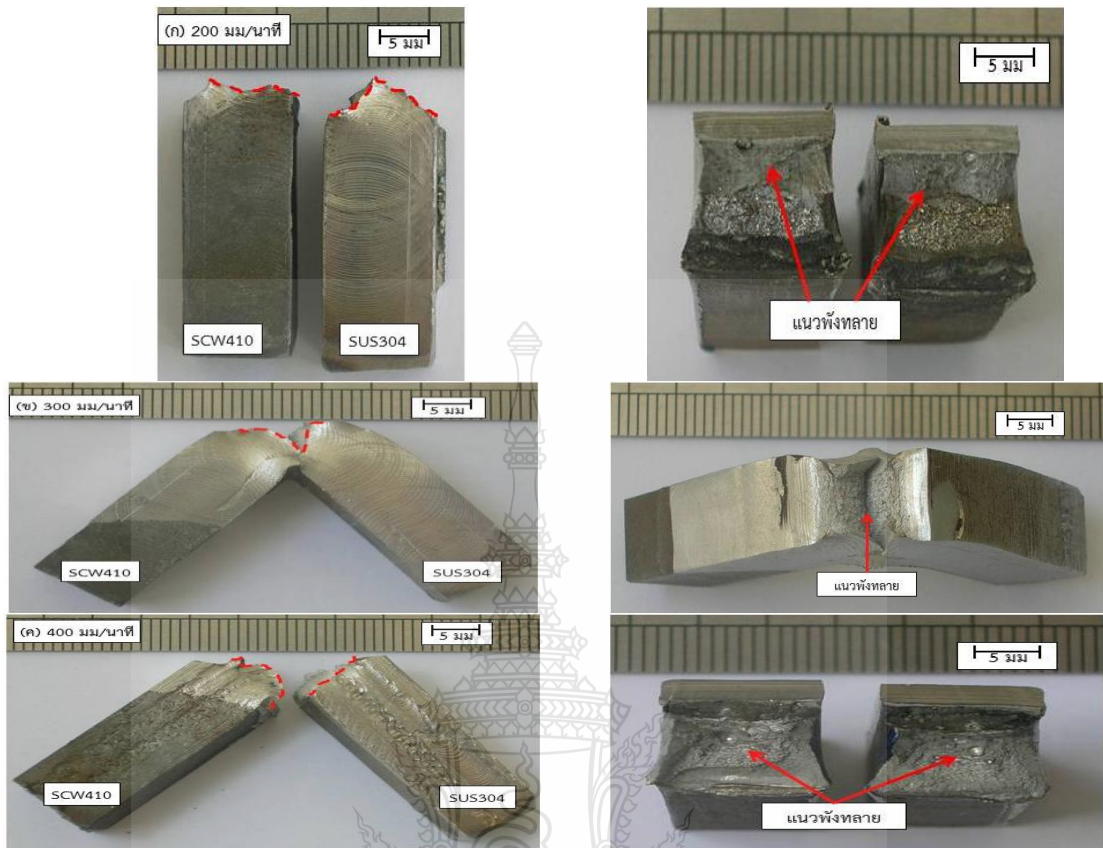
รูปที่ 4.19 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.19 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อกระแสเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าลดลง และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลง และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่สูง ดังรูปที่ 4.19 (ข) (ค) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที ขณะที่ผิวแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ คือ 200 มม./นาที ดังรูปที่ 4.19 (ก) ลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับกรเชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที พบว่า ความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลงและเกิดรอยแหงนขอบแนว (Undercut) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Subodh [26] ที่แสดงผลการวัดขนาดโครงสร้างมหภาคหน้าตัดบริเวณหลอมละลายแนวเชื่อม (Fusion Zone) พบว่า เมื่อความร้อนในการเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น



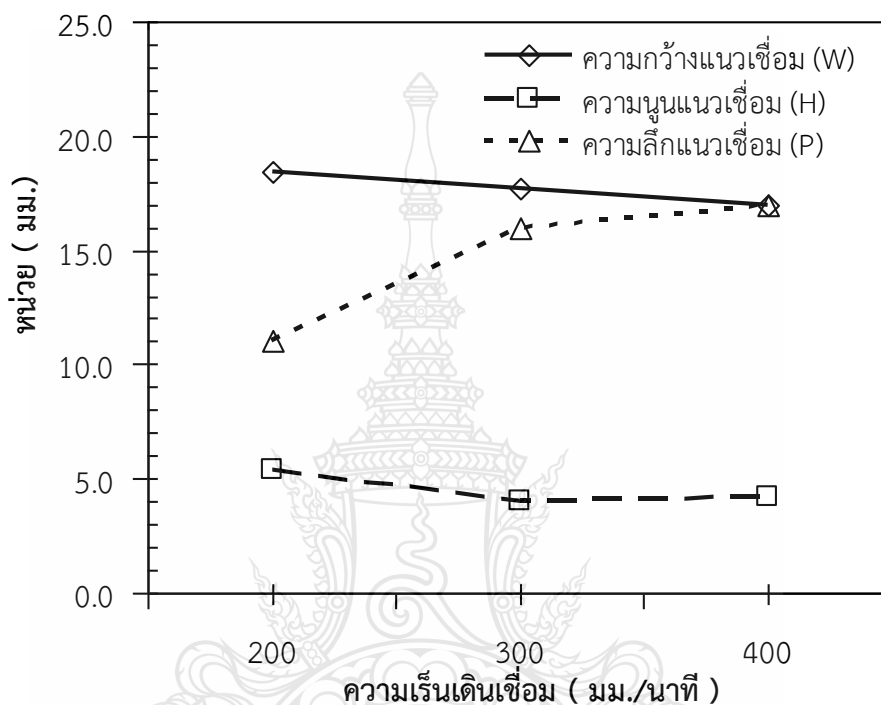
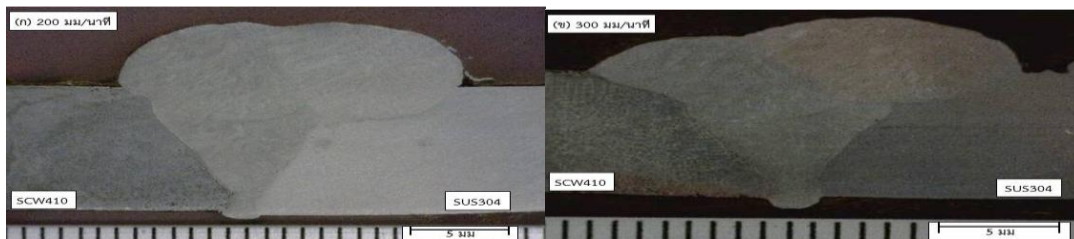
รูปที่ 4.20 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.20 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที พบว่า ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงคือ ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที มีค่าการดูดซับพลังงานใกล้เคียงกันทุกตำแหน่งการทดสอบแรงกระแทกเฉลี่ยอยู่ที่ 296 J ขณะที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที มีค่าการดูดซับพลังงานแนวโน้มสูงบริเวณ บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โลหะเชื่อม และมีแนวโน้มค่าการดูดซับพลังงานต่ำบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone)



รูปที่ 4.21 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.21 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที ดังรูปที่ 4.21 (ก) จะเกิดขึ้นเป็นลักษณะเส้นตรงคล้ายกับลักษณะแตกหักแบบเปราะ (Brittle Fracture) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าการดูดซับพลังงานสูง ดังรูปที่ 4.20 ขณะที่ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที ดังรูปที่ 4.21 (ข) มีลักษณะการแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) สังเกตจากบริเวณแนวพังทลายมีลักษณะคล้าย Cup และ Cone [27] และขึ้นทดสอบไม่ขาดออกจากกัน ขณะที่ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.21 (ค) มีลักษณะการแตกหักแบบเปราะ (Brittle Fracture) ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณที่พบจุดบกพร่องซึ่งผลสอดคล้องกับค่าการดูดซับพลังงานสูง ดังรูปที่ 4.20

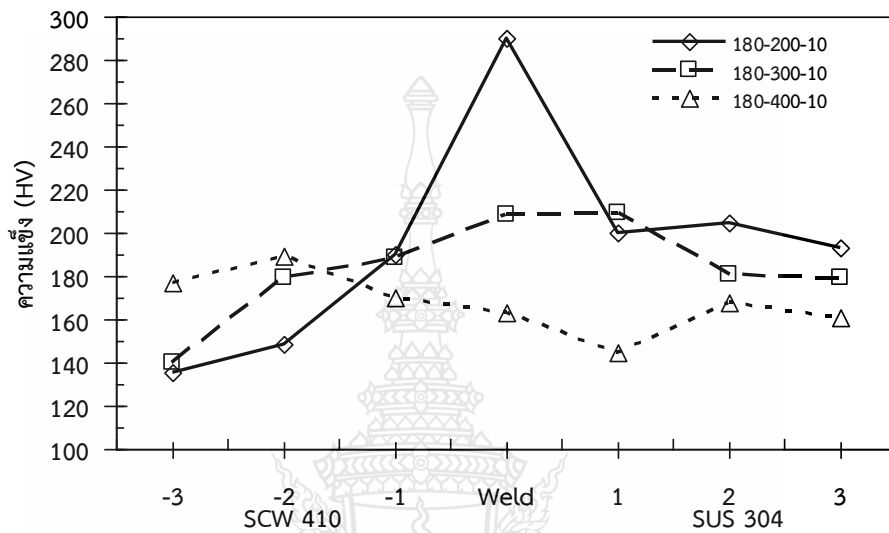


รูปที่ 4.22 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ดังรูปที่ 4.22 พบว่า ไม่มีจุดบกพร่องใดๆ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการพังทลายที่เกิดขึ้นบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) ทุกความเร็วเดินแนวเชื่อม ดังรูปที่ 4.15 และทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ทำการเปรียบเทียบ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) และค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiecai Feng Et Al. [24] ส่วนค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ ค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าลดลง และค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงดังกราฟรูปที่ 4.22

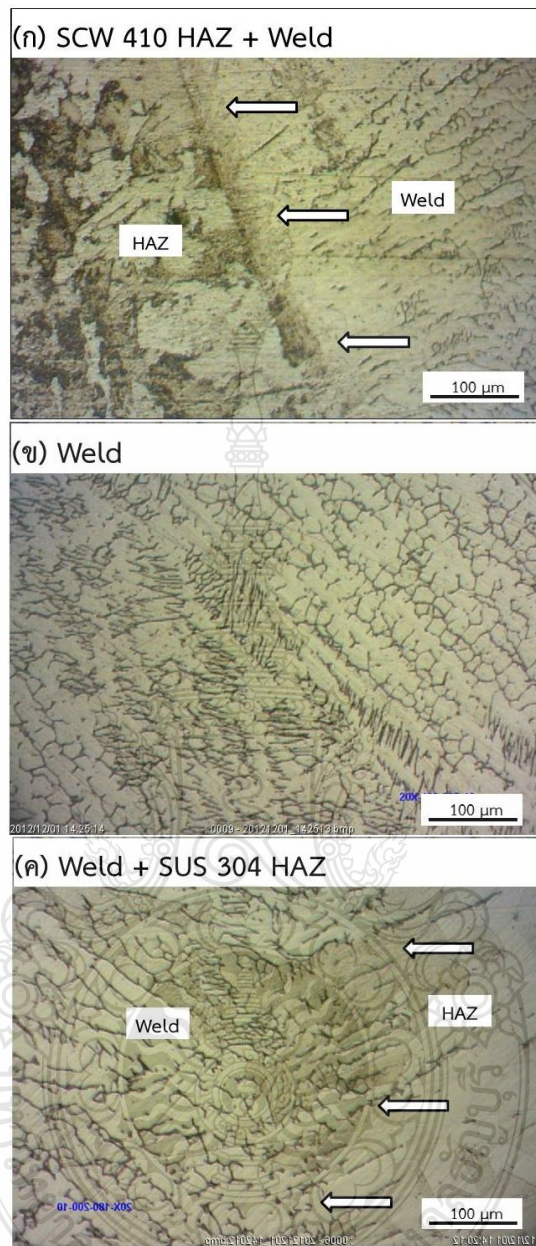
รูปที่ 4.23 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มสูงที่บริเวณแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที และคล้ายกับค่าการดูดซับพลังงานดังรูปที่ 4.20 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที และที่

ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที ค่าความแข็งบริเวณพื้นที่ที่กระทบของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้นมีความแข็งสูงกว่าโลหะในการทดลองทั้งสองชนิด ในขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มม./นาที ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อมจะมีแนวโน้มต่ำบริเวณตำแหน่งระยะการทดสอบจุดที่ 1 ดังรูปที่ 23



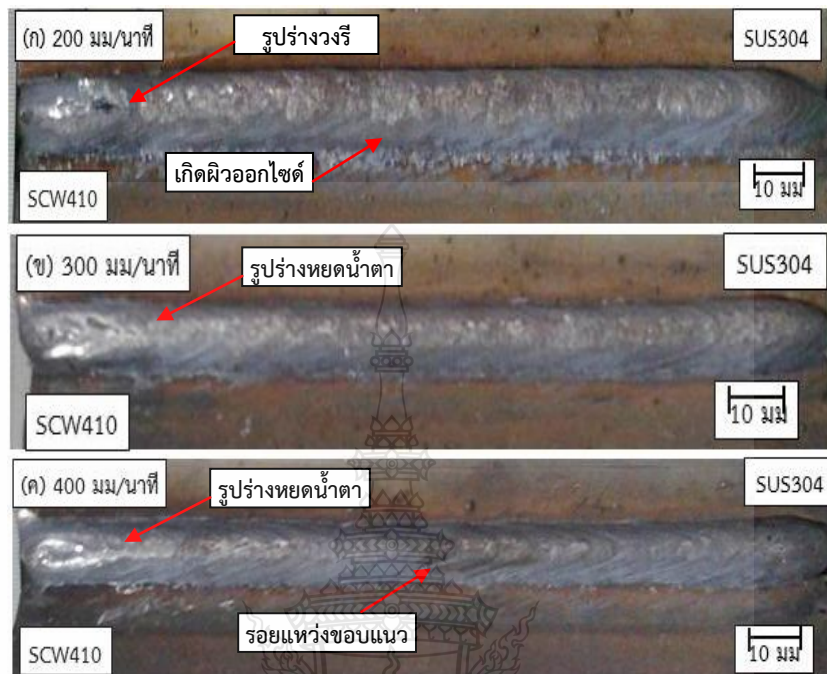
รูปที่ 4.23 ค่าความแข็งของกระแสดูเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.24 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสดูเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่แสดงความแข็งแรงกระแทก 297 J ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของพื้นที่ที่กระทบด้านรอยต่อด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 แสดงในรูปที่ 4.24 (ก) เกรนมีความกลมมนและเป็นระเบียบมากกว่าเม็ดเกรนของโลหะหลัก SC410 เม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตรจนกระทั่งเข้าใกล้เขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาว เม็ดเกรนจะมีลักษณะเรียวยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลว การเกิดเม็ดเกรนที่ยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลวจากซ้ายไปขวา เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนที่รวดเร็วของโลหะหลอมเหลวในโลหะเชื่อมออกสู่บรรยากาศ ขณะที่ด้านซ้ายของเส้นเขตการหลอมเหลว คือพื้นที่ของโลหะเชื่อมที่ประกอบด้วยเดนไดรต์ของโลหะเชื่อมที่มีความละเอียดมากกว่า และเดนไดรต์มีทิศทางเข้าสู่กึ่งกลางของแนวเชื่อมที่มีความเอียงจากบนลงล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ข) และด้านซ้ายของรูปที่ 4.24 (ค) ที่มีลักษณะของเดนไดรต์ละเอียดที่มีทิศทางการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลางจากขวาไปซ้ายของโลหะเชื่อม ด้านขวาของเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาวเม็ดเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบแต่เม็ดเกรนของโลหะไม่ได้มีความกลมมนและสมมาตรเหมือนดังที่เกิดในพื้นที่ที่กระทบของเหล็กเหนียวหล่อ SC410 นอกจากนั้นไม่พบจุดบกพร่องใดๆ บนรอยเชื่อมที่ตรวจสอบ



รูปที่ 4.24 โครงสร้างมหภาคของกระแสนเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

4.2.2 กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที่ ที่มีผลต่อแนวเชื่อม

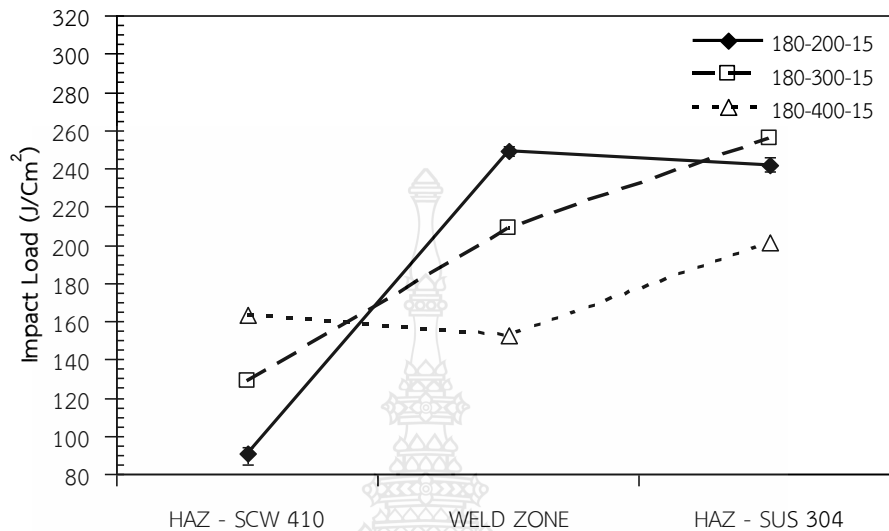


- (ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที่
- (ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที่
- (ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที่

รูปที่ 4.25 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที่

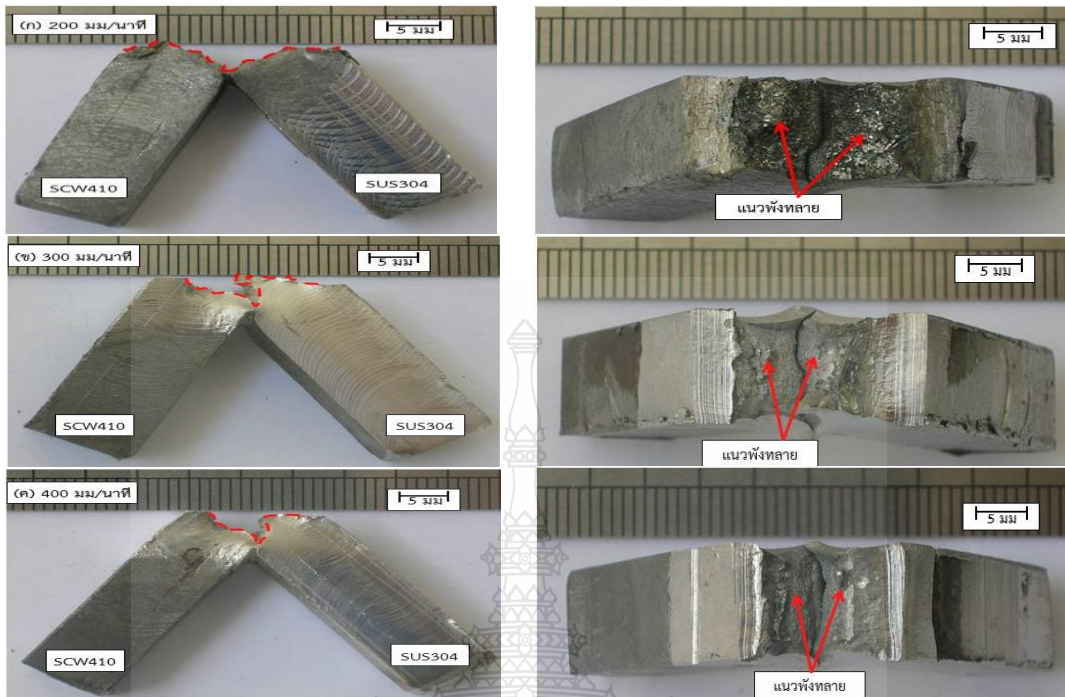
รูปที่ 4.25 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที่ ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าลดลง และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลงและเกิดรอยแห้วขอบแนว (Undercut) ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที่ ดังรูปที่ 4.25 (ข) (ค) และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่สูง ขณะที่ผิวแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ คือ 200 มม./นาที่ ดังรูปที่ 4.25 (ก) เกิดผิวออกไซด์ที่ผิว (Oxide Layer) ทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 บริเวณขอบแนวเชื่อม และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดของแนวเชื่อมนี้สัมพันธ์กับสมการทางความร้อนของการเชื่อมโดยตรง ที่แสดงไว้ว่า ความเร็วเดินเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความร้อนในแนวเชื่อมมีค่าลดลง ค่าความร้อนที่ลดลงทำให้การแผ่กระจายความร้อนไปบริเวณโดยรอบของแนวเชื่อมมีค่าน้อย และทำให้โลหะหลอมเหลวไม่สามารถกระจายออกไปบริเวณ

ด้านข้างได้ แนวเชื่อมจึงมีความหนูนสูงกว่าและความกว้างของแนวเชื่อมมีค่ามากกว่า [25] และมีลักษณะแนวโน้มเหมือนกับรูปที่ 4.1 ที่สภาวะการเชื่อมด้วยกระแส 140 แอมแปร์



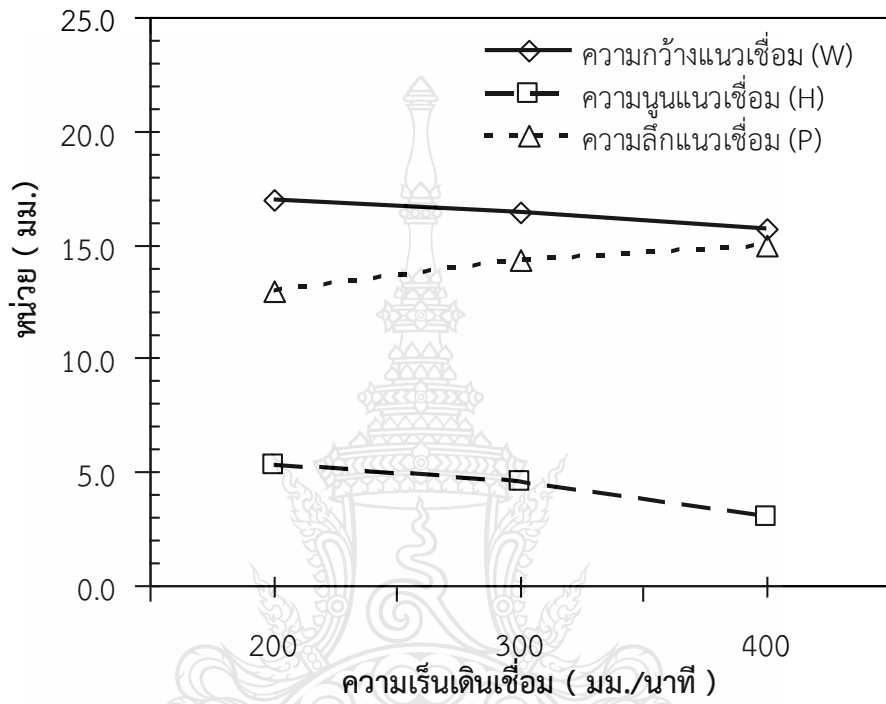
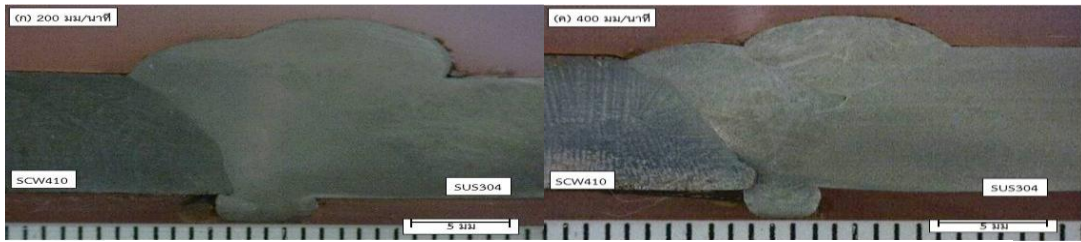
รูปที่ 4.26 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.26 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที พบว่า ความแข็งแรงกระแทกสูงของรอยต่อทุกๆ ความเร็วเดินเชื่อม บริเวณที่มีความแข็งแรงสูง คือ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โลหะเชื่อม นอกจากนั้นความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความเปราะของรอยต่อเชื่อม ขณะที่ค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มต่ำ คือ บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่ได้จากการเชื่อมพบว่ามีค่าเท่ากับ 255 J ที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และรูปที่ 4.27 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที ดังรูปที่ 4.27 (ก) จะเกิดขึ้นเป็นลักษณะเส้นตรงและบริเวณพื้นที่ผิวหน้าตัดมีความเป็นมันวาวคล้ายกับลักษณะแตกหักแบบเปราะ (Brittle Fracture) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าการดูดซับพลังงานที่แสดงค่าสูงบริเวณแนวเชื่อม ดังรูปที่ 4.26 ขณะที่การพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.27 (ข) (ค) มีลักษณะการแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) สังเกตจากบริเวณแนวพังทลายมีลักษณะคล้าย Cup และ Cone [27] และขึ้นทดสอบไม่ขาดออกจากกัน ซึ่งผลสอดคล้องกับค่าการดูดซับพลังงานที่มีแนวโน้มต่ำเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.26

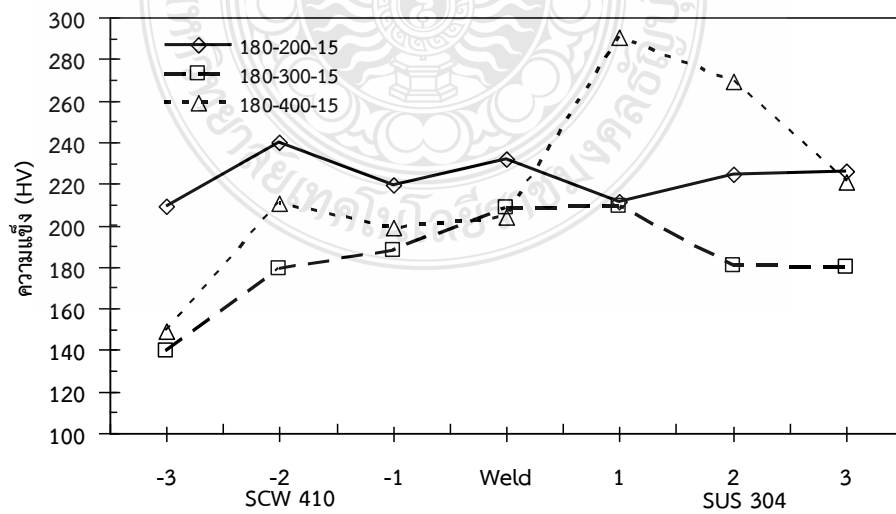


รูปที่ 4.27 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.28 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และ ทำการเปรียบเทียบ พบว่า ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) และค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) มีค่าลดลง เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมส่งผลให้การหลอมละลาย (Fusion Zone) สมบูรณ์ส่งผลต่อการซึมลึกของโลหะเติมทำให้ค่าความลึกของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.28 ขณะเดียวกันยังไม่พบจุดบกพร่องใดๆ ทุกสภาวะความเร็วเดินเชื่อมบริเวณแนวเชื่อม

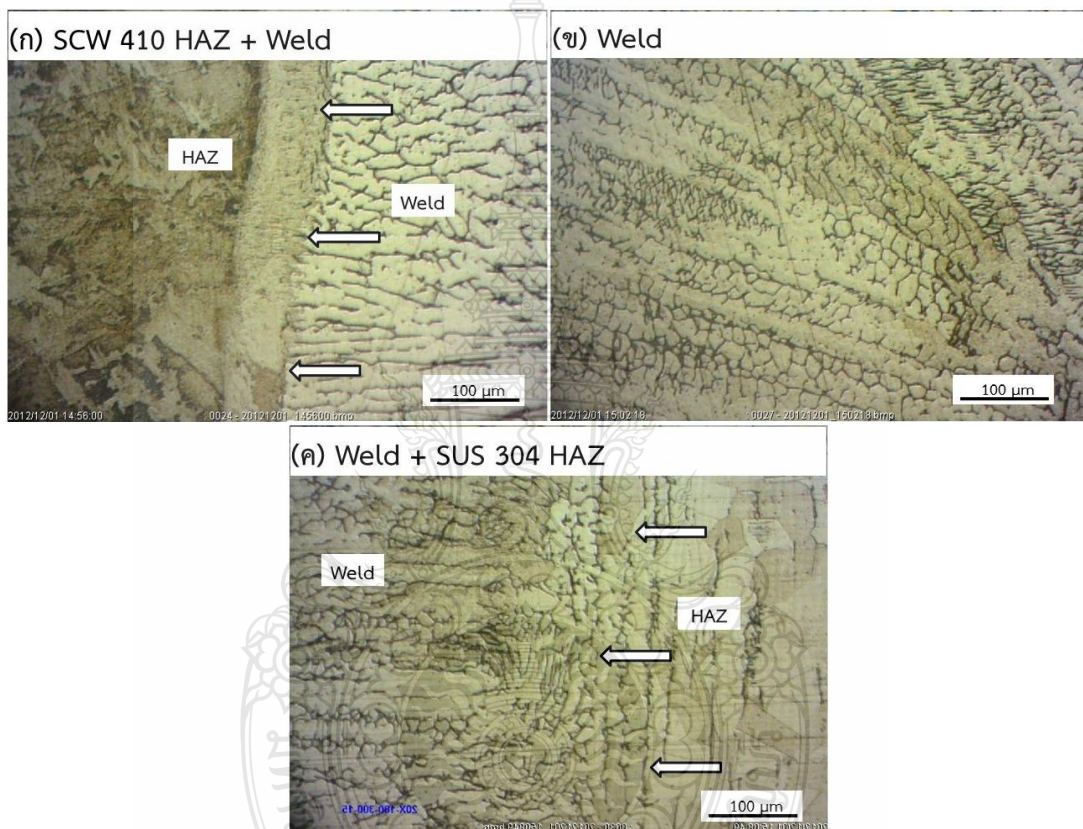


รูปที่ 4.28 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที



รูปที่ 4.29 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

ผลการทดสอบค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที่ ดังรูปที่ 4.29 พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มสูงที่สุดบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 บริเวณจุดทดสอบตำแหน่งที่ 1 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มม./นาที่ ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 และ 300 มม./นาที่ ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบมีลักษณะค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมสูงกว่าโลหะเดิม

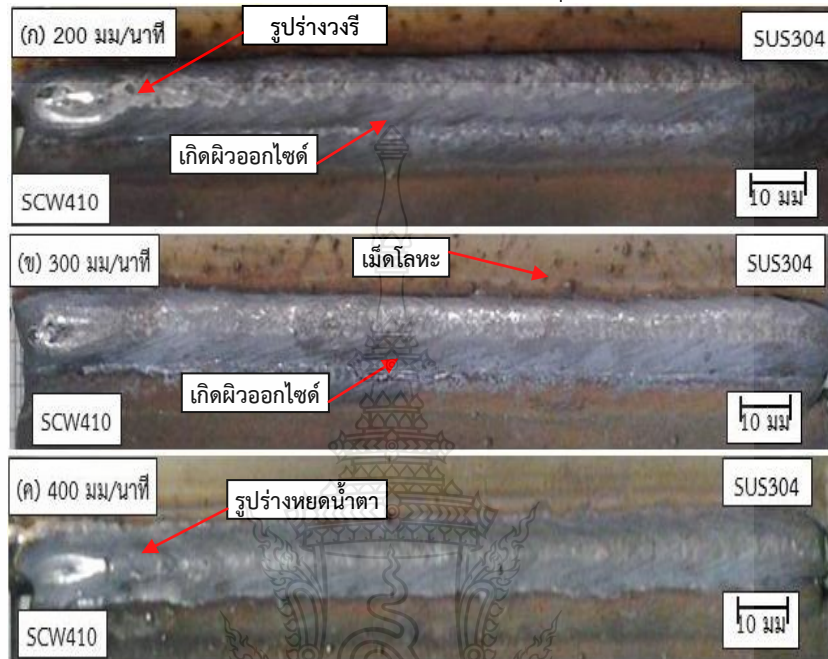


รูปที่ 4.30 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที่ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที่

รูปที่ 4.30 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที่ และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที่ ที่แสดงค่าความแข็งแรงกระแทก 255 J รูปที่ 4.30 (ก) เกรนมีความกลมมนและเป็นระเบียบมากกว่าเม็ดเกรนของโลหะหลัก SC410 บริเวณเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาว เม็ดเกรนจะมีลักษณะเรียวยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลว การเกิดเม็ดเกรนที่เรียวยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลวจากซ้ายไปขวา ขณะที่ด้านซ้ายของเส้นเขตการหลอมเหลว คือพื้นที่ของโลหะเชื่อมที่ประกอบด้วยเดนไดรท์ของโลหะเชื่อมที่มีความละเอียดมากกว่า และเดนไดรท์มีทิศทางเข้าสู่กึ่งกลางของแนวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.30 (ข) และด้านซ้ายของรูปที่ 4.30 (ค) ที่มีลักษณะของเดนไดรท์ละเอียดที่มีทิศทาง

ลากการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลางจากขวาไปซ้ายของโลหะเชื่อม ด้านขวาของเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาวเม็ดเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม304

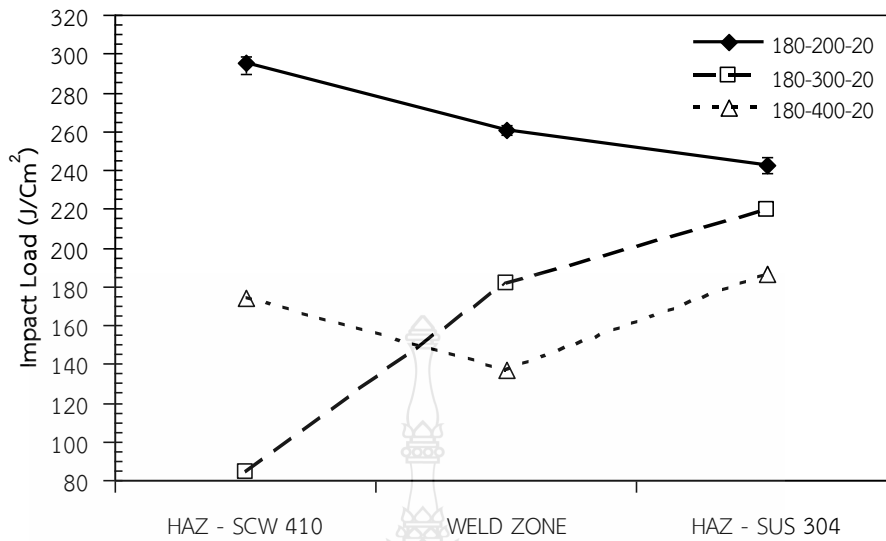
4.2.3 กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม



- (ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที
- (ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที
- (ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที

รูปที่ 4.31 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

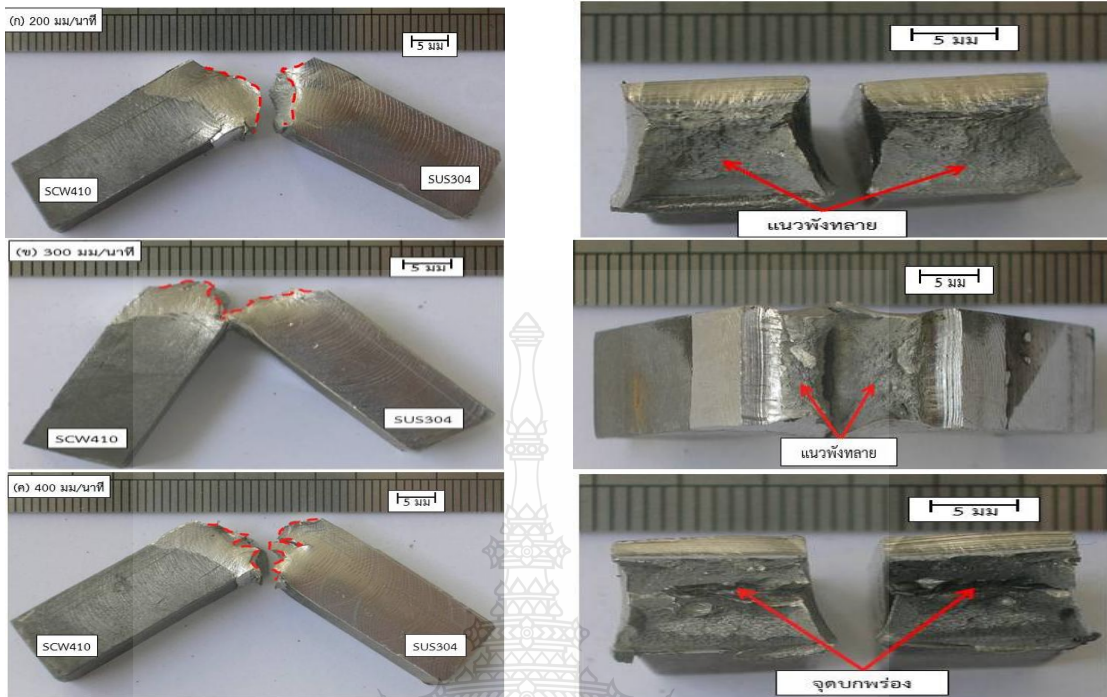
รูปที่ 4.31 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่ออัตราการไหลของแก๊สปกคลุมเพิ่มขึ้นและความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าลดลง และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลงและเกิดรอยแหงนขอบแนว (Undercut) ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.31 (ค) และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่สูง ขณะที่ผิวแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำ คือ 200 และ 300 มม./นาที ดังรูปที่ 4.31 (ก) และ (ข) เกิดผิวออกไซด์ที่ผิว (Oxide Layer) ทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 บริเวณขอบแนวเชื่อม และเกิดเม็ดโลหะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม304 และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ



รูปที่ 4.32 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

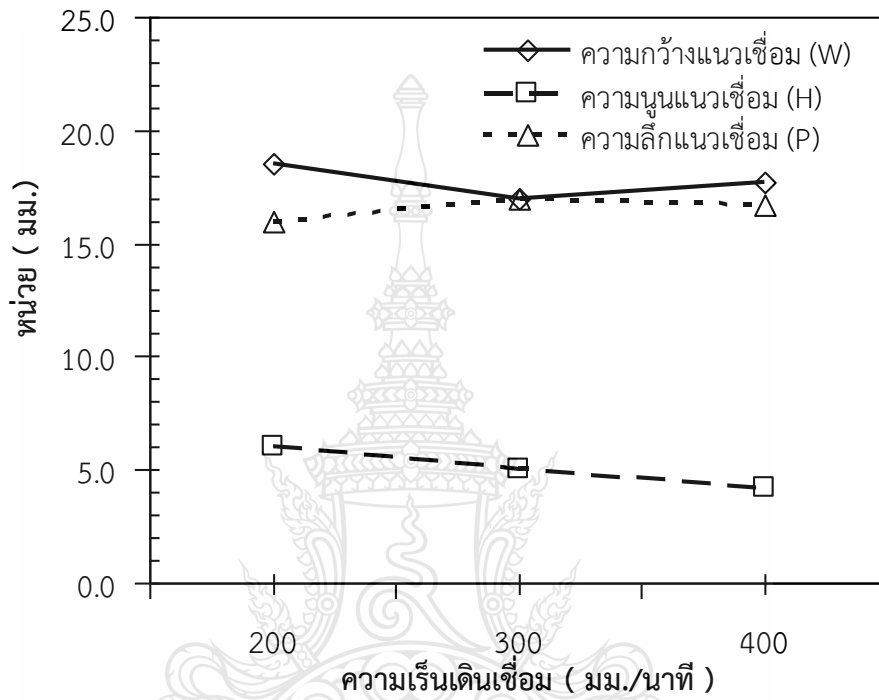
รูปที่ 4.32 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที พบว่า ความแข็งแรงกระแทกสูงของรอยต่อ อยู่ที่บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และสอดคล้องกับการทดสอบค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่มีค่าความแข็งสูงบริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) และบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ทุกความเร็วเดินเชื่อม ดังรูปที่ 4.35 นอกจากนั้นความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเปราะของรอยต่อเชื่อม

ขณะรูปที่ 4.33 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.33 มีลักษณะการแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) สังเกตจากบริเวณแนวพังทลายมีลักษณะคล้ายรูปทรง Cup และ Cone และการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที จะเกิดขึ้นบริเวณที่พบจุดบกพร่องซึ่งเป็นสาเหตุที่ส่งผลให้มีค่าการดูดซับพลังงานที่ต่ำสอดคล้องกับรูปที่ 4.33 (ค)

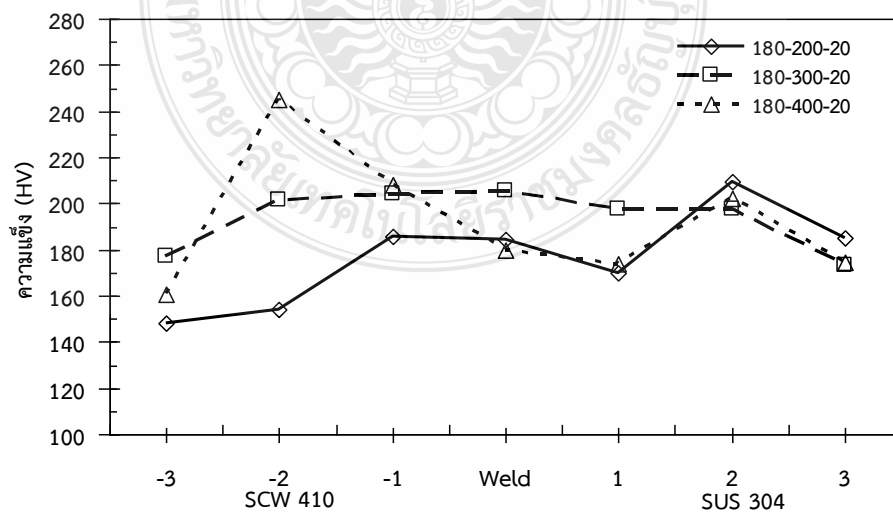


รูปที่ 4.33 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

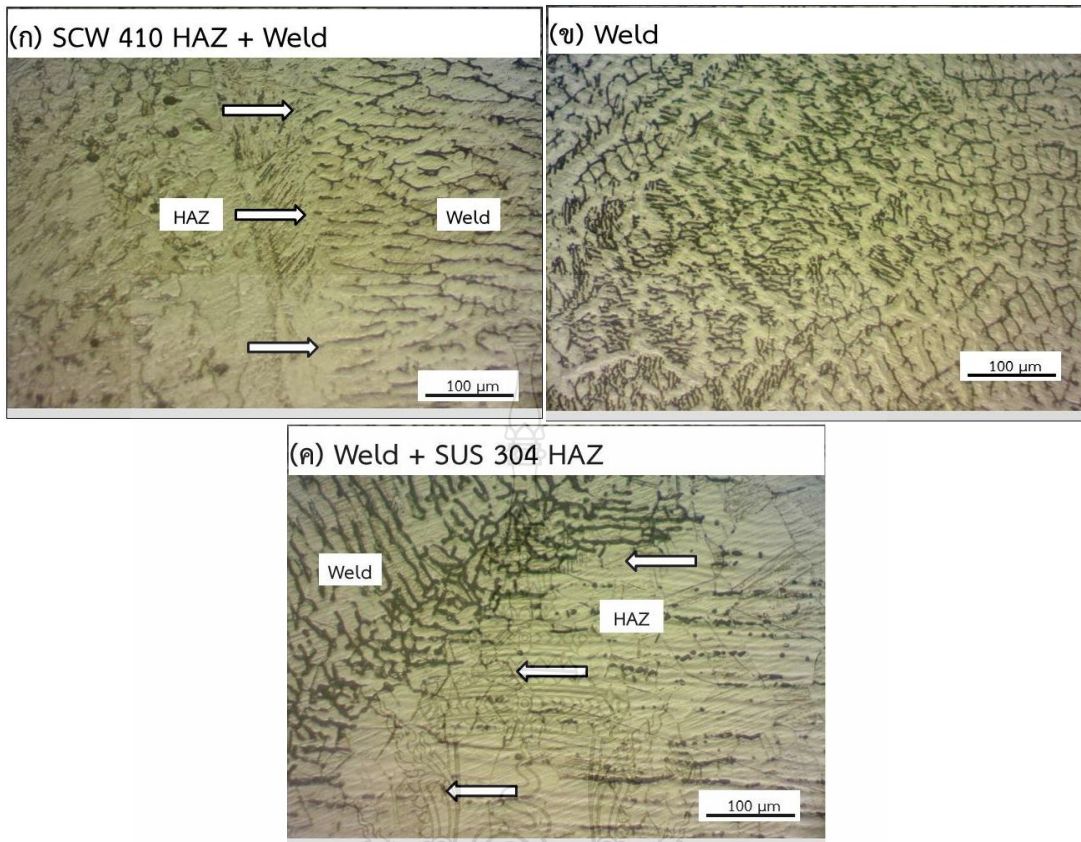
รูปที่ 4.34 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความสูงของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ทำการเปรียบเทียบ พบว่า ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) และค่าความสูงของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าลดลง เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันยังไม่พบจุดบกพร่องใดๆ ทุกๆสถานะความเร็วเดินเชื่อมบริเวณแนวเชื่อม และรูปที่ 4.35 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ค่าความแข็งมีแนวโน้มสูงที่บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) และบริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และเหล็กเหนียวหล่อ SC410 ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มม./นาที ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบมีค่าบริเวณจุดทดสอบตำแหน่งที่-2 ซึ่งมีค่าความแข็งอยู่ 245 HV ขณะที่บริเวณอื่นมีลักษณะใกล้เคียงกัน ทุกๆระยะการทดสอบ



รูปที่ 4.34 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที



รูปที่ 4.35 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

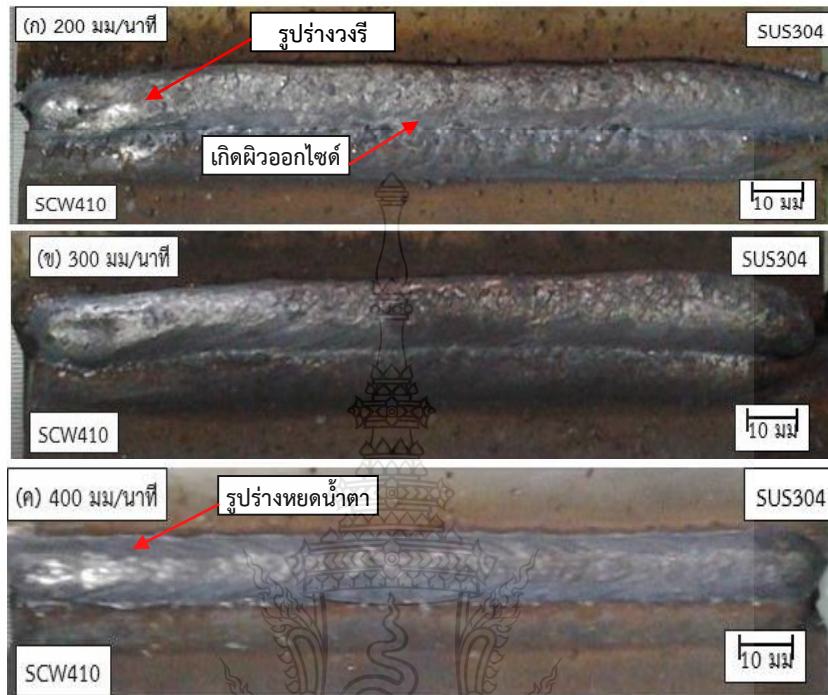


รูปที่ 4.36 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที่ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที่

ผลการตรวจโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที่ และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที่ ที่แสดงความแข็งแรงกระแทก 295 J รูปที่ 4.36 แสดงโครงสร้างจุลภาคของพื้นที่ที่กระทบร้อนด้านรอยต่อด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 แสดงในรูปที่ 4.36 (ก) เกรนมีความกลมมนและเป็นระเบียบมากกว่าเม็ดเกรนของโลหะหลักเม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตรจนกระทั่งเข้าใกล้เขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาว เม็ดเกรนจะมีลักษณะเรียวยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลว การเกิดเม็ดเกรนที่ยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลวจากซ้ายไปขวา ขณะที่ด้านซ้ายของเส้นเขตการหลอมเหลว คือ พื้นที่ของโลหะเชื่อมที่ประกอบด้วยเดนไดรท์ของโลหะเชื่อมที่มีความละเอียดมากกว่า และเดนไดรท์มีทิศทางเข้าสู่กึ่งกลางของแนวเชื่อมที่มีความเอียงจากบนลงล่าง ดังรูปที่ 4.36 (ข) และด้านซ้ายของรูปที่ 4.36 (ค) ที่มีลักษณะของเดนไดรท์ละเอียดที่มีทิศทางลากการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลางจากขวาไปซ้ายของโลหะเชื่อม ด้านขวาของเขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาวเม็ดเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบแต่เม็ดเกรนของโลหะไม่ได้มีความกลมมนและสมมาตรเหมือนดังที่เกิดในพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กเหนียวหล่อ SC410 นอกจากนั้นไม่พบจุดบกพร่องใดๆ บนรอยเชื่อมที่ตรวจสอบ

4.3 การเปรียบเทียบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม

4.3.1 อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม



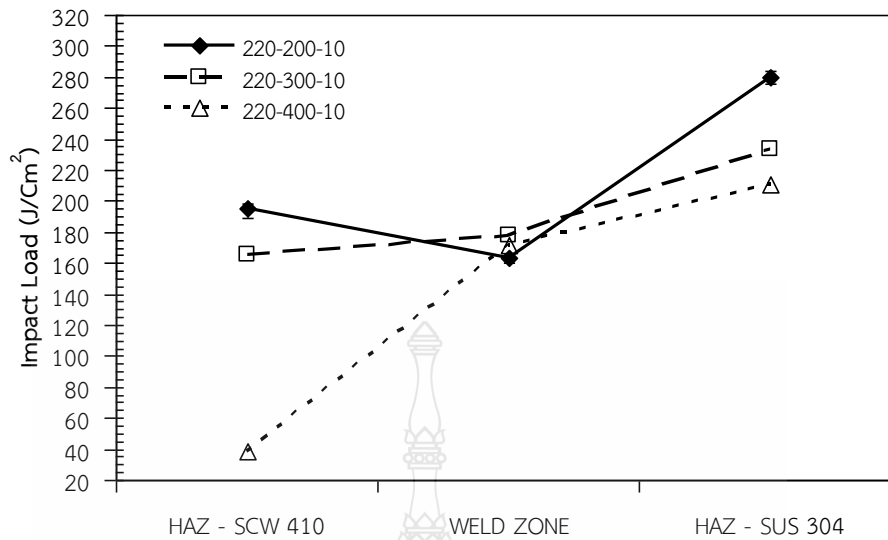
(ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที

(ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที

(ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที

รูปที่ 4.37 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

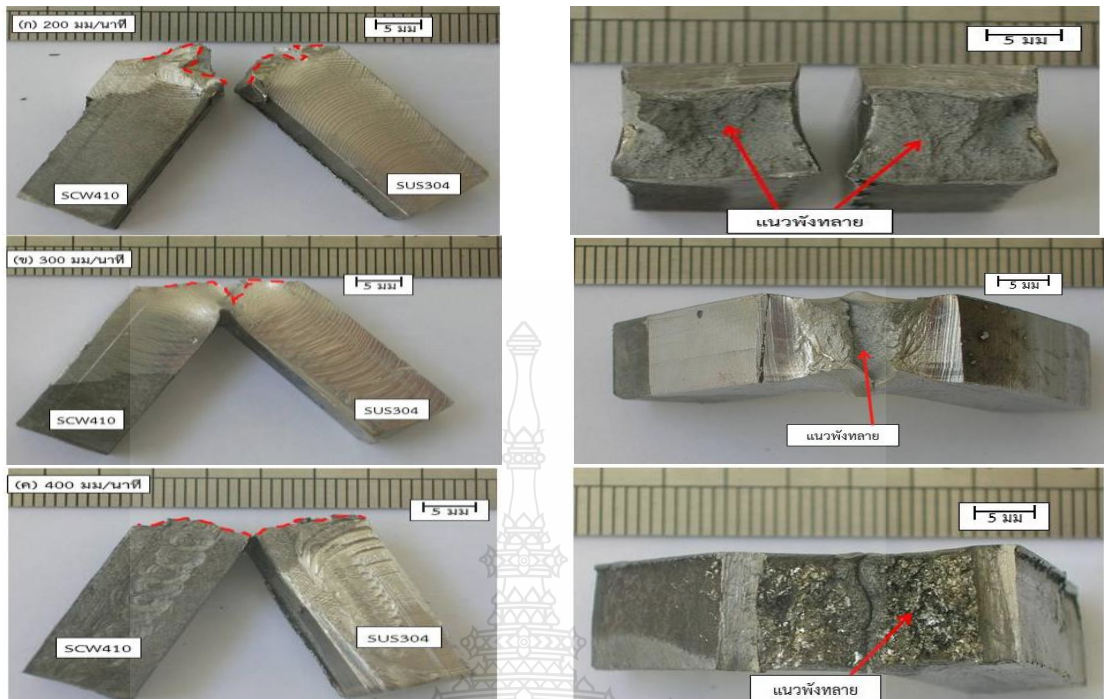
รูปที่ 4.37 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น และความเร็วเดินแนวเชื่อมลดลงบริเวณหลอมละลายของแนวเชื่อมจะมีความกว้าง และเกิดผิวออกไซด์ที่ผิว (Oxide Layer) บริเวณขอบแนวเชื่อมทางด้านเหล็กเหนียวหล่อSC410 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที ดังรูปที่ 4.37 (ก) Shanping Lu and Etc. [28] ได้อธิบายไว้ว่า การเกิดผิวออกไซด์ที่ผิว(Oxide Layer) เมื่อ O_2 หรือ CO_2 เพิ่มมากกว่าปริมาณ 0.6 % จะเกิดขึ้นออกไซด์ที่หนาและเป็นอุปสรรคในการดูดซึมออกซิเจนลงในบริเวณหลอมละลายและยับยั้งการพาความร้อนทำให้เกิดแรงดึงผิวบริเวณหลอมละลายและลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายวงรี (Elliptical Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่ต่ำ ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนูนของแนวเชื่อมมีค่าลดลง และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.37 (ค) และลักษณะบริเวณบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา (Teardrop Shape) [22] [23] ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วเดินเชื่อมที่สูง



รูปที่ 4.38 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสวิงเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

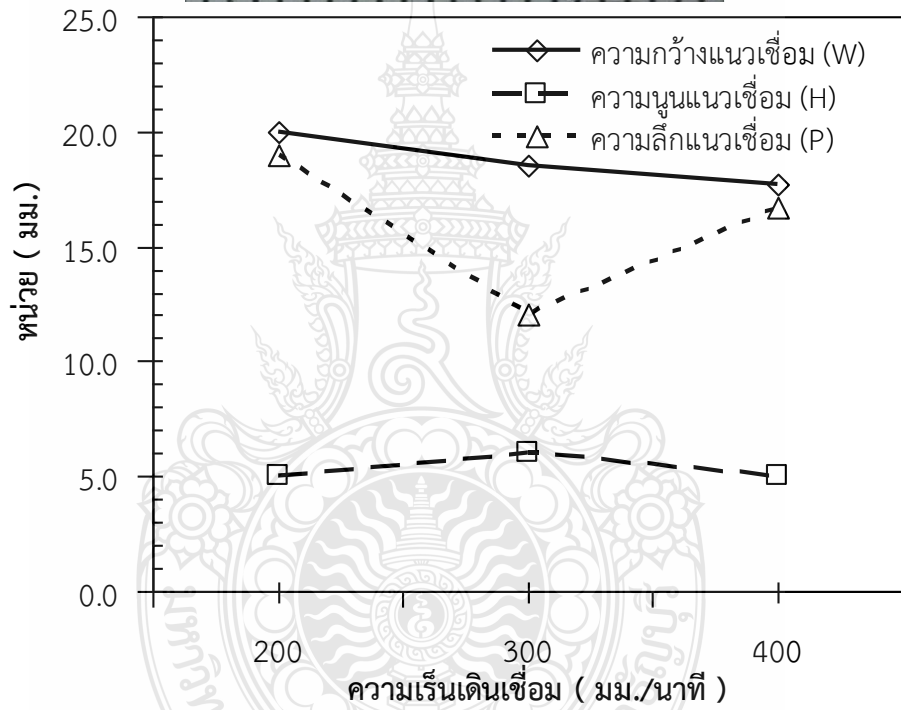
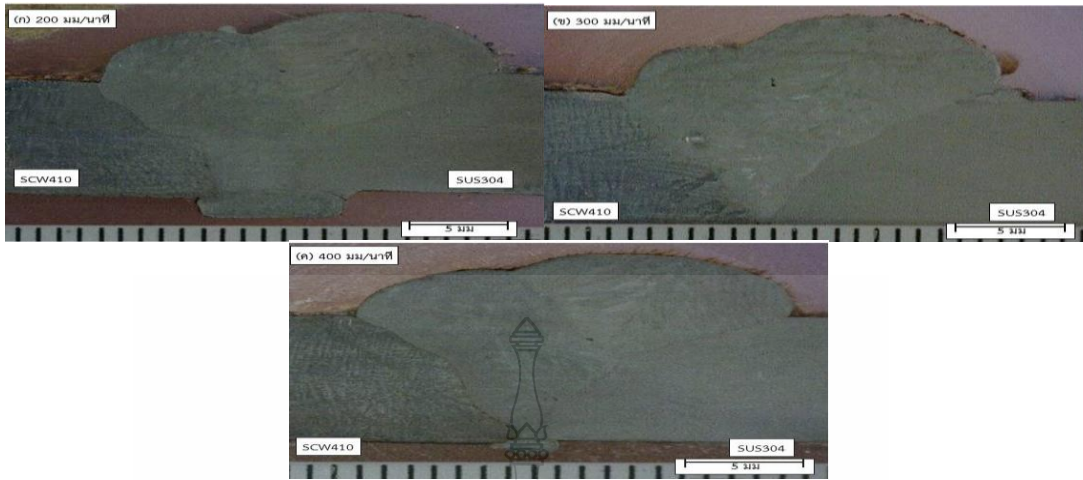
รูปที่ 4.38 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสวิงเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที พบว่า บริเวณที่มีความแข็งแรงกระแทกสูง คือ บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โลหะเชื่อม และสอดคล้องกับการทดสอบค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่มีแนวโน้มค่าความแข็งแรงสูงบริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เช่นเดียวกันทุกความเร็วเดินเชื่อม ดังแสดงระยะการทดสอบวงกลมหมายเลข 1 และ 2 ดังรูปที่ 4.41 ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่ได้จากการเชื่อมพบว่ามีความเท่ากับ 279 J ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที ที่บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304

รูปที่ 4.39 ลักษณะการพังทลายของกระแสวิงเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 และ 300 มม./นาที ดังรูปที่ 4.39 (ก) (ข) มีลักษณะการแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) สังเกตจากบริเวณแนวพังทลายมีลักษณะคล้ายรูปทรง Cup และ Cone และมีลักษณะเป็นเส้น (Fibrous) [27] ขณะที่การพังทลายความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที มีลักษณะการแตกหักแบบเปราะ (Brittle Fracture) สังเกตได้บริเวณที่แตกหักแบบเปราะพื้นที่หน้าตัดมีความคงที่เท่าขนาดชิ้นงานเดิมและรอยแตกไม่มีลักษณะเป็นเส้น (Fibrous) หรือ Cup และ Cone บริเวณรอยแตกหักดังรูปที่ 4.39 (ค)

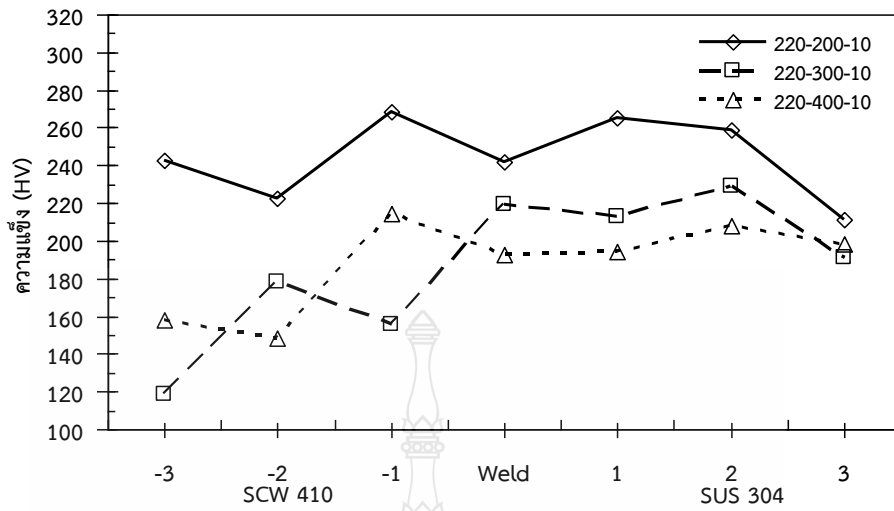


รูปที่ 4.39 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

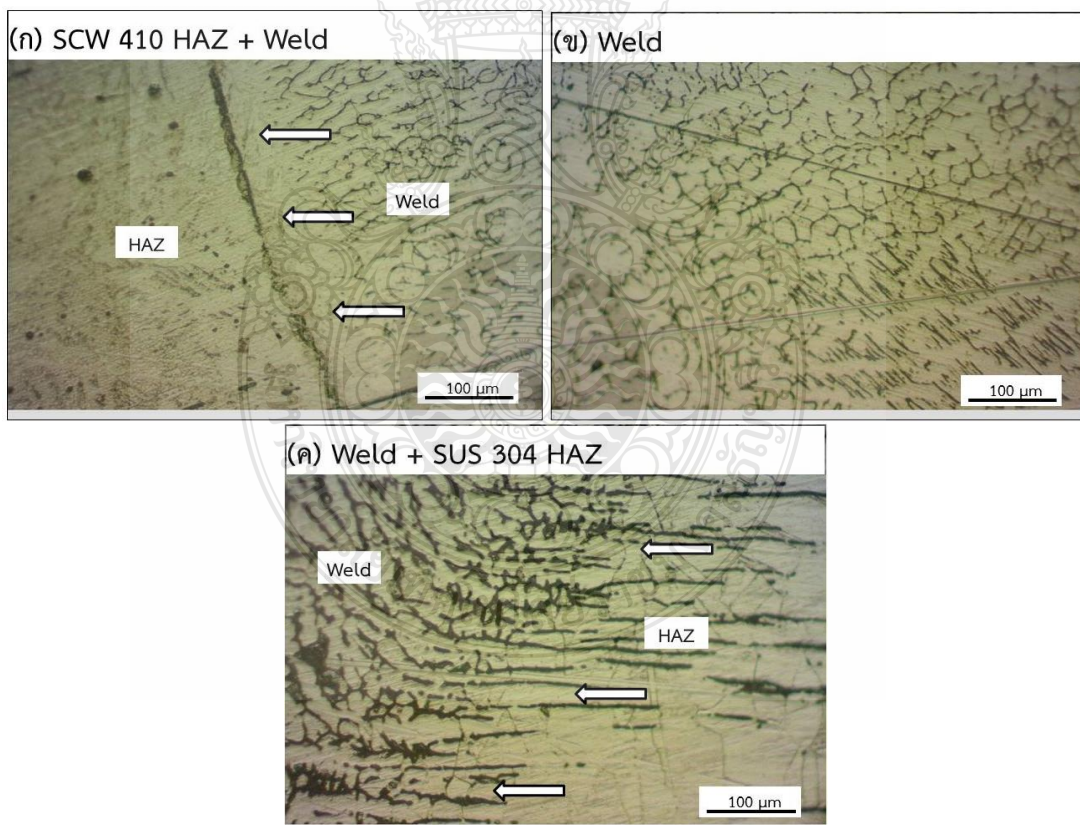
รูปที่ 4.40 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) และค่าความนูนของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าลดลง ขณะเดียวกันยังไม่พบจุดบกพร่องใดๆ ทุกๆสภาวะความเร็วเดินเชื่อมบริเวณแนวเชื่อม และรูปที่ 4.41 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ค่าความแข็งมีแนวโน้มสูงที่บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) และบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และเหล็กเหนียวหล่อ SC410 ขณะที่บริเวณโลหะเดิมทั้งสองชนิดค่าความแข็งมีค่าต่ำกว่าโลหะเชื่อม ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบมีค่าสูงใกล้เคียงกันทุกๆระยะการทดสอบ



รูปที่ 4.40 โครงสร้างมหภาคของกระแสนเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที



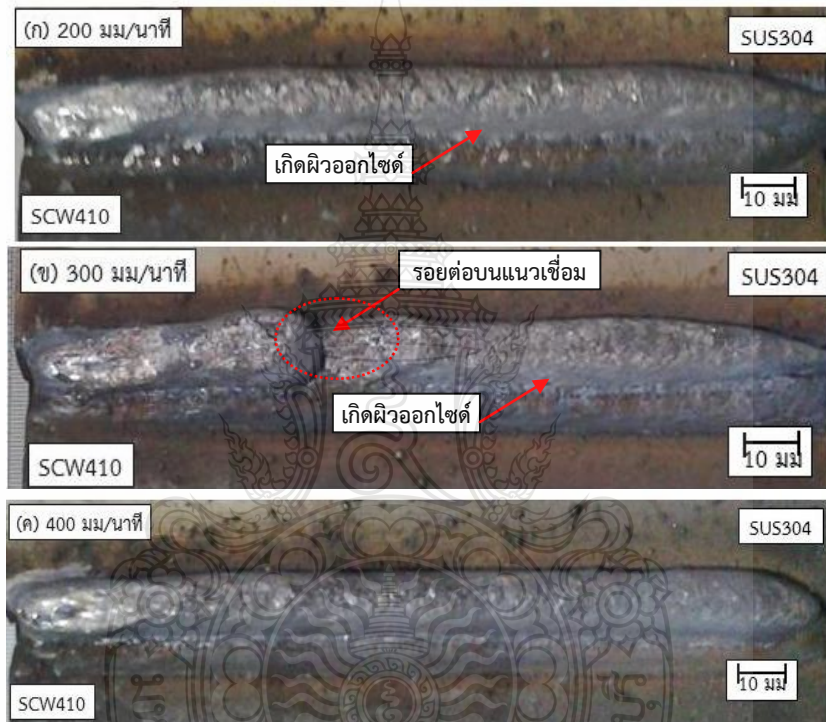
รูปที่ 4.41 ค่าความแข็งของกระแสมเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที



รูปที่ 4.42 โครงสร้างจุลภาคของกระแสมเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.42 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่มีความแข็งแรงกระแทก 279 J สูง โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่ที่กระแทกร้อนด้านรอยต่อด้านเหล็กเหนียวหล่อแสดงเม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตร บริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมประกอบด้วยเดนไดรต์ละเอียด โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่ที่กระแทกร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิมแสดงเม็ดเกรนมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากกว่าโครงสร้างจุลภาคโลหะหลัก

4.3.2 อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่มีผลต่อแนวเชื่อม



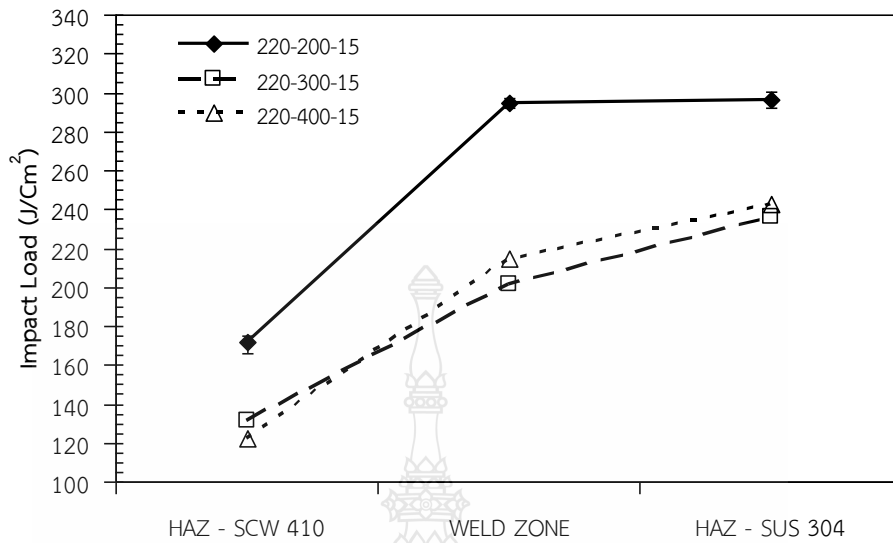
(ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที

(ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที

(ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที

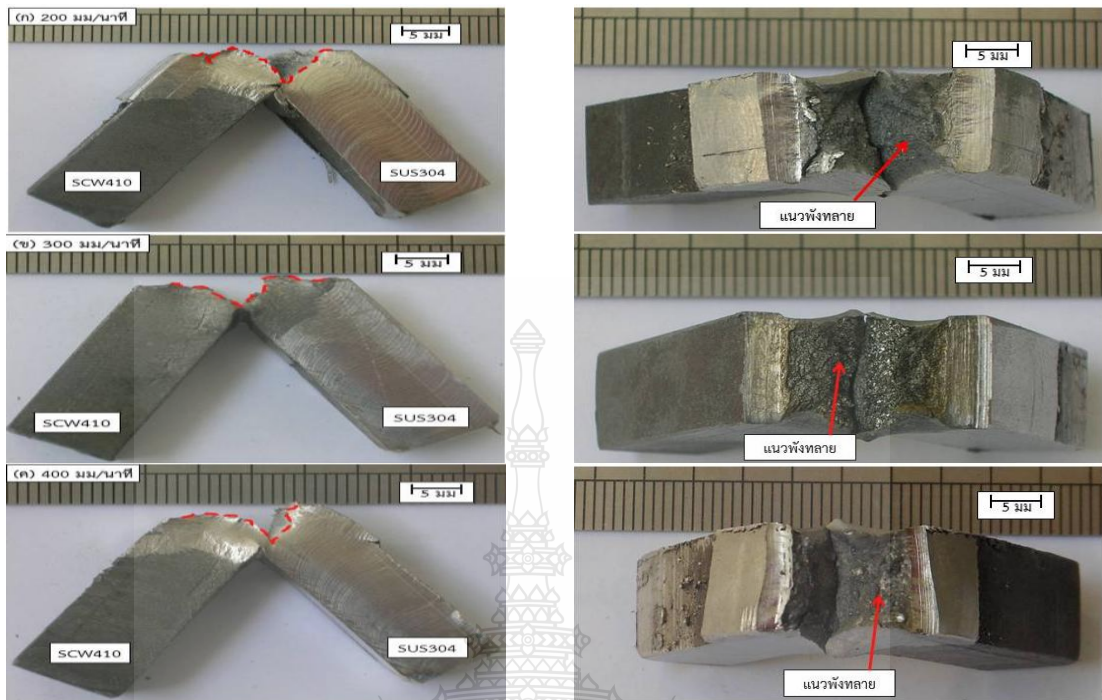
รูปที่ 4.43 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.43 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำเกิดผิวออกไซด์ที่ผิว (Oxide Layer) บริเวณขอบแนวเชื่อมทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 และ 300 มม./นาที ดังรูปที่ 4.43 (ก) และ (ข) และบริเวณแนวเชื่อมรูปที่ 4.43 (ข) เกิดรอยต่อบนแนวเชื่อมดังแสดงเส้นประวงกลมสีแดงซึ่งรอยต่อบนแนวเชื่อมเกิดจากปัญหาการหยุดการทำงานของเครื่องเชื่อม ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 400 มม./นาที เกิดเม็ดโลหะบริเวณทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 SUS 304 ดังรูปที่ 4.43 (ค)



รูปที่ 4.44 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

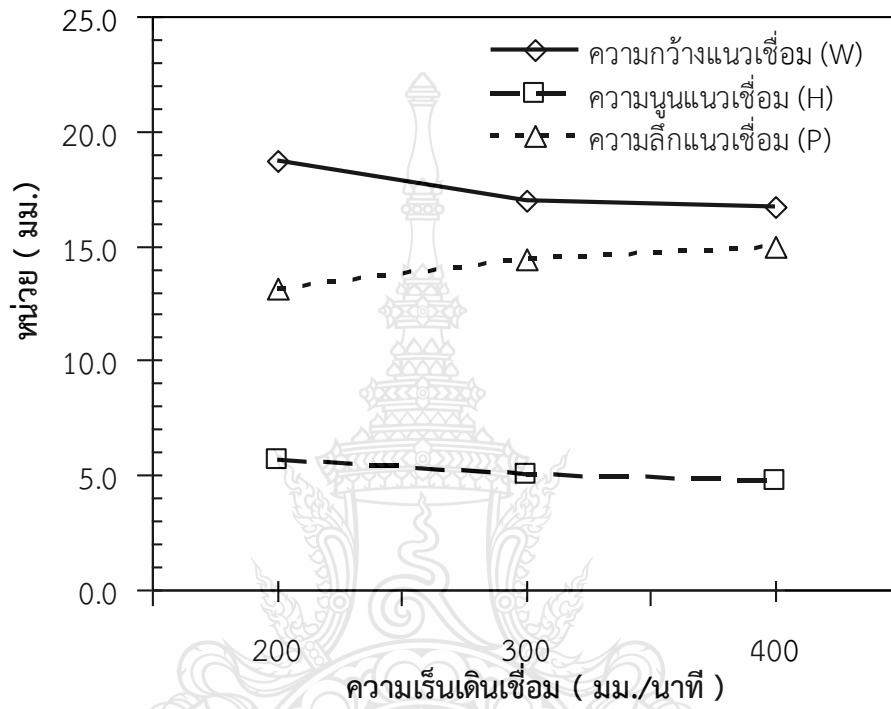
รูปที่ 4.44 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที พบว่า ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่ได้จากการเชื่อมพบว่า มีค่าเท่ากับ 296 J ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที และแนวโน้มของค่าความแข็งแรงกระแทกสูงของรอยต่อทุกๆ ความเร็วเดินเชื่อม บริเวณที่มีความแข็งแรงสูง คือ บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โลหะเชื่อม และสอดคล้องกับการทดสอบค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่มีแนวโน้มค่าความแข็งแรงสูงบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ทุกความเร็วเดินเชื่อมดังแสดงระยะการทดสอบวงกลมหมายเลข 1 และ 2 ดังรูปที่ 4.47



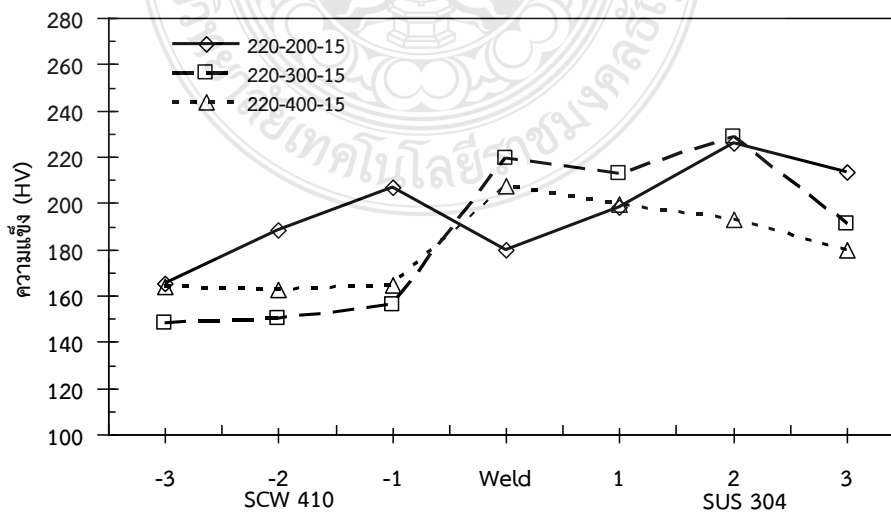
รูปที่ 4.45 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.45 (ก) (ข) (ค) มีลักษณะการแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) สังเกตจากบริเวณแนวพังทลายมีลักษณะคล้ายรูปทรง Cup และ Cone และมีลักษณะเป็นเส้น (Fibrous) [27] ขณะที่การพังทลายจะเกิดขึ้นบริเวณทางด้านพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งดังรูปที่ 4.47 ที่แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมมีแนวโน้มสูงบริเวณทางด้านพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และเป็นสาเหตุของการเริ่มต้นการพังทลาย

รูปที่ 4.46 ลักษณะโครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ พบว่า โครงสร้างมหภาคมีความสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่อง (Defect) บริเวณแนวเชื่อม (Weld Zone) และบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการพังทลายดังรูปที่ 4.45 สังเกตจากการพังทลายบริเวณพื้นที่หน้าตัดและจากนั้นทำการวัดค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความสูงของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) ทำการเปรียบเทียบ พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อม (W) ค่าความสูงของแนวเชื่อม (H) และค่าความลึกของแนวเชื่อม (P) มีค่าแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วเดินเชื่อมต่ำ

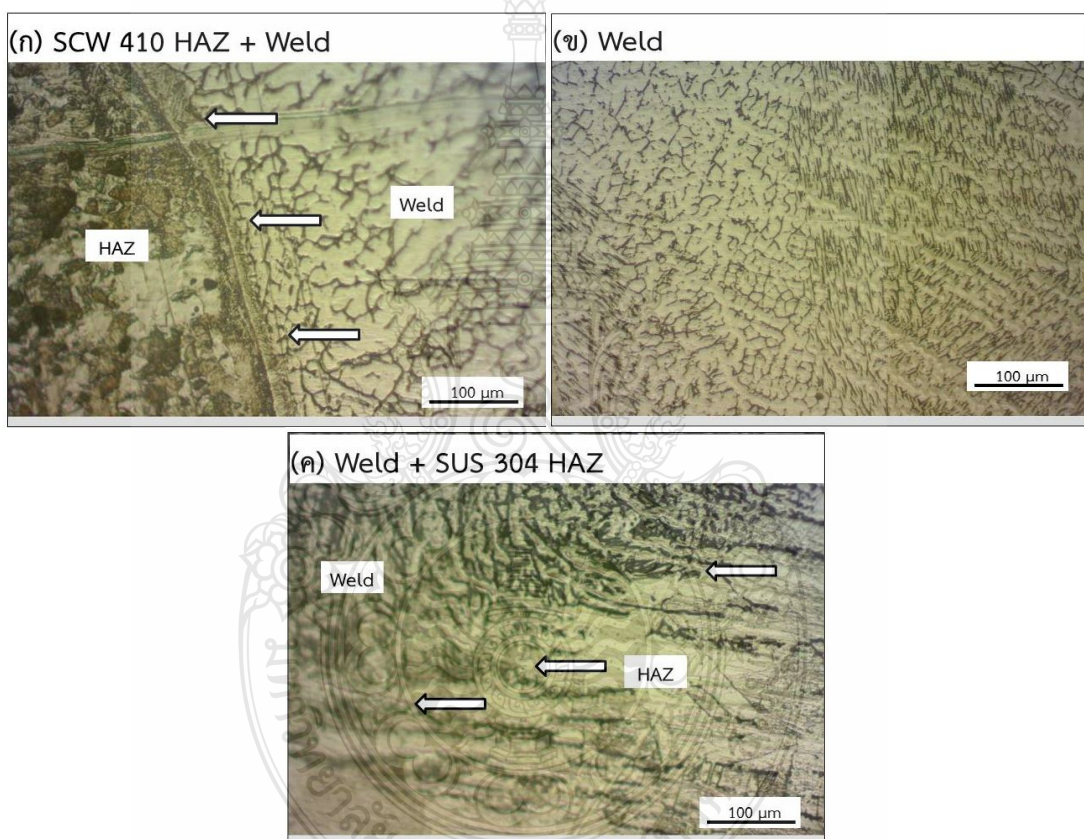


รูปที่ 4.46 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที



รูปที่ 4.47 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที

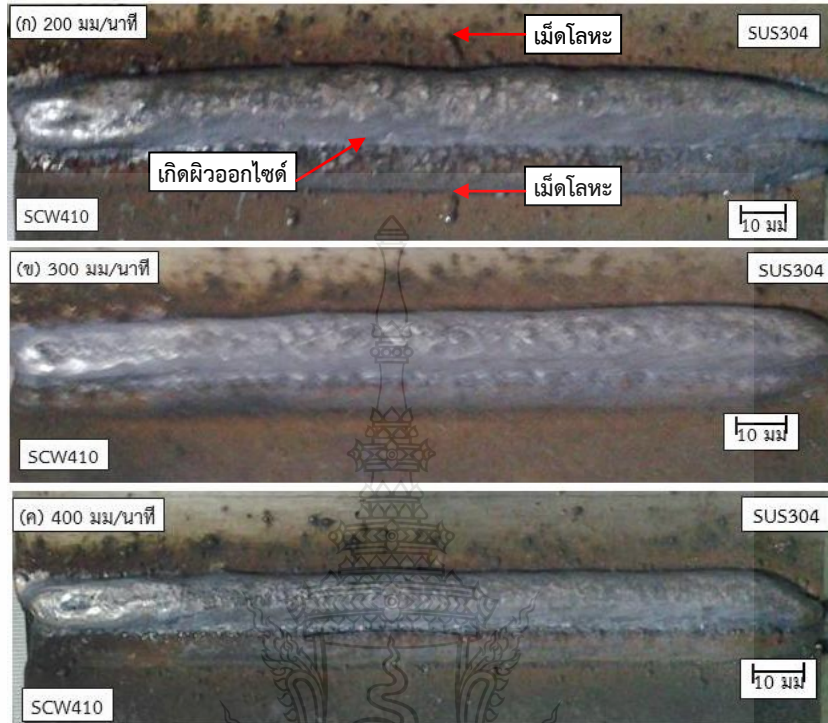
ผลจากการทดสอบค่าความแข็งที่กระแสะเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที่ แสดงค่าความแข็งของรอยต่อที่ทำการวัดในตำแหน่งกึ่งกลางความหนาของแผ่น และมีตำแหน่งตั้งแต่ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ลากผ่านโลหะเชื่อมไปที่ด้านเหล็กเหนียวหล่อดังรูปที่ 4.47 พบว่าค่าความแข็งบริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะ นั้นมีความแข็งสูงกว่าโลหะในการทดลองทั้งสองชนิด ค่าความแข็งมีแนวโน้มคล้ายกับค่าการดูดซับพลังงานดังรูปที่ 4.45 กล่าวคือ บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีค่าความแข็งสูงเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อม และพื้นที่ที่กระทบร้อนด้านเหล็กเหนียวหล่อที่มีค่าต่ำสุด ขณะที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมมีค่าความแข็งใกล้เคียงบริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304



รูปที่ 4.48 โครงสร้างจุลภาคของกระแสะเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที่ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15 ลิตร/นาที่

รูปที่ 4.48 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสะเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 มม./นาที่ และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที่ มีค่าการดูดซับพลังงานที่สูงในการทดสอบมีค่าเท่ากับ 296 J โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่ที่กระทบร้อนด้านรอยต่อด้านเหล็กเหนียวหล่อแสดงเม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตร บริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมประกอบด้วยเดนไดรต์ละเอียด โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่ที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิมแสดงเม็ดเกรนมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากกว่าโครงสร้างจุลภาคโลหะหลัก

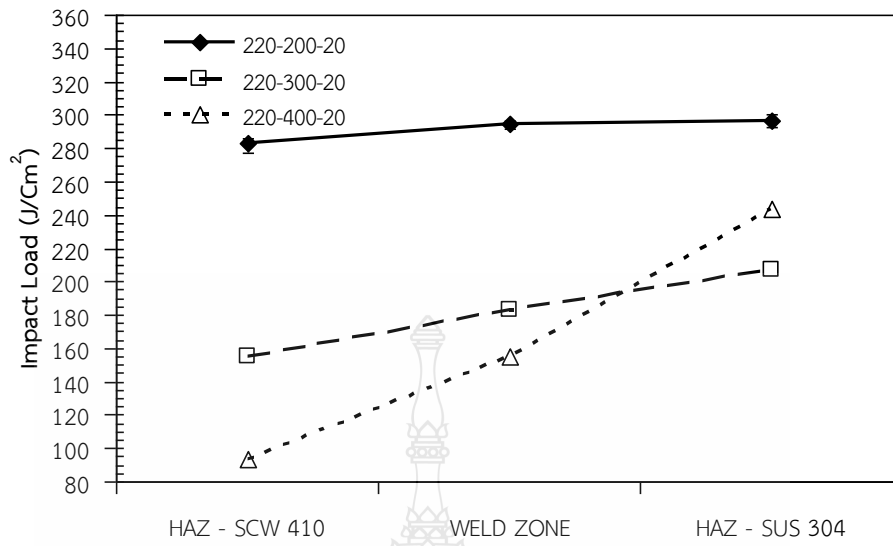
4.3.3 อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที่ ที่มีผลต่อแนวเชื่อม



- (ก) ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที่
- (ข) ความเร็วเดินเชื่อม 300 มม./นาที่
- (ค) ความเร็วเดินเชื่อม 400 มม./นาที่

รูปที่ 4.49 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที่

รูปที่ 4.49 ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที่ ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น และความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลง ขณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่ำเกิดผิวออกไซด์ที่ผิว (Oxide Layer) และมีเม็ดโลหะบริเวณขอบแนวเชื่อมทางด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที่ ดังรูปที่ 4.49 (ก) และที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 300 และ 400 มม./นาที่ เกิดเม็ดโลหะบริเวณทางด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ดังรูปที่ 4.49 (ข) และ (ค)

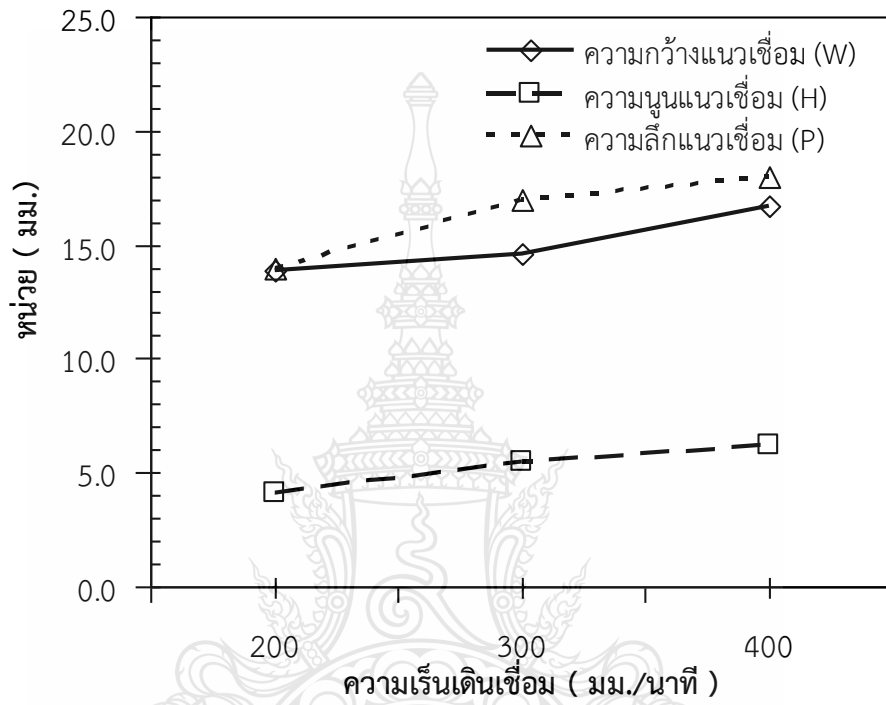
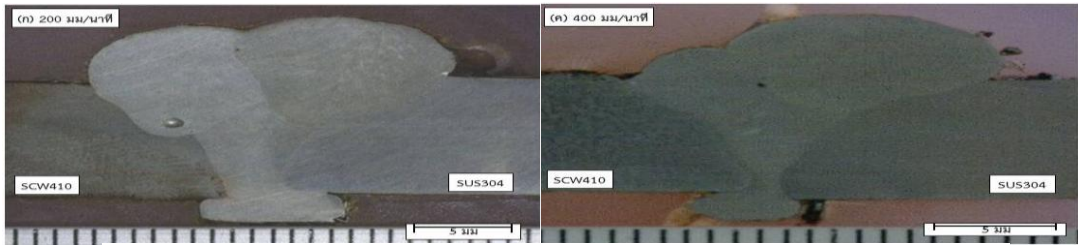


รูปที่ 4.50 ค่าการดูดซับพลังงานระหว่างกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

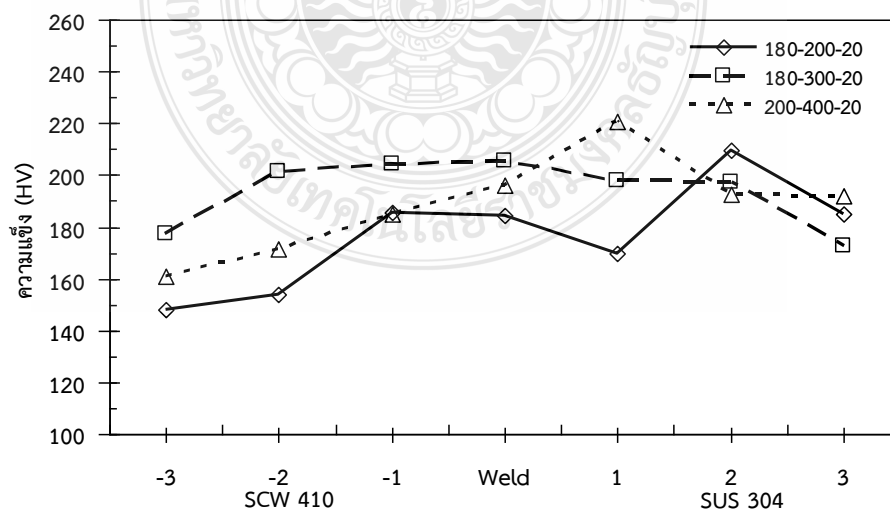


รูปที่ 4.51 ลักษณะการพังทลายของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

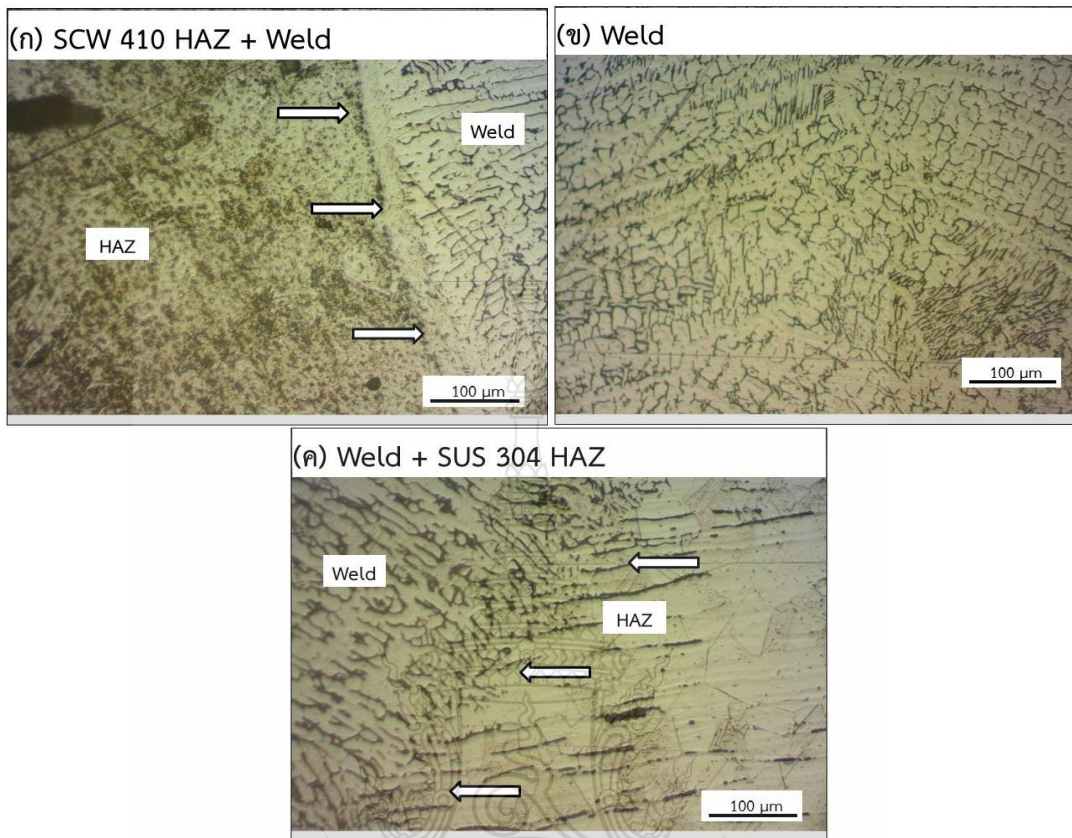
รูปที่ 4.50 ค่าการดูดซับพลังงานที่กระแสะเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที พบว่า ค่าการดูดซับพลังงานมีค่าสูงทางด้านบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ทุกความเร็วเดินแนวเชื่อม สอดคล้องกับโครงสร้างจุลภาครูปที่ 4.54 แสดงบริเวณหลอมเหลวได้สมบูรณ์ดีกว่า ขณะที่บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของโลหะเหล็กเหนียวหล่อ SC410 มีค่าการดูดซับพลังงานต่ำ เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างจุลภาคสังเกตเห็นเส้นขอบแบ่งเขตระหว่างบริเวณแนวเชื่อมและโลหะเดิม และในการทดสอบนี้ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงคือ ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที มีค่าเท่ากับ 296 J และมีค่าการดูดซับพลังงานแนวโน้มใกล้เคียงกันทุกตำแหน่งการทดสอบ ขณะรูปที่ 4.51 แสดงลักษณะการพังทลายของกระแสะเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน พบว่าลักษณะการพังทลายที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที ดังรูปที่ 4.51 (ก) (ข) (ค) มีลักษณะการแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) สังเกตจากบริเวณแนวพังทลายมีลักษณะคล้ายรูปทรง Cup และ Cone ดังรูปที่ 4.51 (ก) (ค) และมีลักษณะเป็นเส้น (Fibrous) ดังรูปที่ 4.51 (ข) ขณะที่การพังทลายจะเกิดขึ้นบริเวณทางด้านพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งดังรูปที่ 4.53 ที่แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมมีแนวโน้มสูงบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ทางด้านแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และเป็นสาเหตุของการเริ่มต้นการพังทลาย และผลจากการทดสอบค่าความแข็งของกระแสะเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที รูปที่ 4.53 แสดงค่าความแข็งของรอยต่อที่ทำการวัดในตำแหน่งกึ่งกลางความหนาของแผ่น และมีตำแหน่งตั้งแต่ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ลากผ่านโลหะเชื่อมไปที่ด้านเหล็กเหนียวหล่อ SC410 พบว่า ค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้นมีความแข็งสูงกว่าโลหะในการทดลองทั้งสองชนิด และบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีค่าความแข็งสูงซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดซับพลังงานดังรูปที่ 4.50 และเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อม และพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กเหนียวหล่อที่มีค่าต่ำสุด ขณะที่บริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมมีความแข็งใกล้เคียงบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304



รูปที่ 4.52 โครงสร้างมหภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที



รูปที่ 4.53 ค่าความแข็งของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที



รูปที่ 4.54 โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ที่ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที

รูปที่ 4.54 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 20 ลิตร/นาที ที่แสดงค่าการดูดซับพลังงานสูง 296 J โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อนด้านรอยต่อด้านเหล็กเหนียวหล่อแสดงเม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตร บริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมประกอบด้วยเดนไดรต์ละเอียด โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิมแสดงเม็ดเกรนมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากกว่า โครงสร้างจุลภาคโลหะหลักจึงส่งถึงค่าการดูดซับพลังงานที่สูง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของรอยเชื่อมท่อไอเสียรถยนต์: การทดแทนวัสดุชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค 304 ด้วยเหล็กเหนียวหล่อ SC 410 โดยมีค่าตัวแปรดังนี้ กระแสที่ใช้ในการเชื่อมประมาณ 140 180 และ 220 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนประมาณ 10 15 และ 20 ลิตรต่อนาที และความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 300 และ 400 มม./นาที ได้แนวทางสรุปดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ตัวแปรที่มีผลต่อการเชื่อม คือ การเปลี่ยนแปลงกระแสเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมต่ำเกินไป ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมและจุดบกพร่องในแนวเนื้อแนวเชื่อม และการเปลี่ยนแปลงกระแสเชื่อมสูง แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์

5.1.2 ตัวแปรของกระแสในการเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงกระแทก คือ กระแสในการเชื่อมเพิ่มขึ้นความเร็วเดินเชื่อมต่ำทำให้ค่าการดูดซับพลังงานสูง และบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีค่าการดูดซับพลังงานโน้มสูงทุกสภาวะ

5.1.3 ตัวแปรของความเร็วเดินเชื่อม มีผลต่อความกว้างของแนวเชื่อม ความนูนของแนวเชื่อม และความลึกของแนวเชื่อม คือ การเพิ่มขึ้นของความเร็วเดินเชื่อมส่งผลต่อค่าความกว้างของแนวเชื่อม ค่าความนูนของแนวเชื่อม และค่าความลึกของแนวเชื่อมมีแนวโน้มลดลง

5.1.4 สภาวะการเชื่อมที่ให้ค่าการดูดซับพลังงานที่ดีที่สุด คือ กระแสในการเชื่อม 220 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที มีค่าประมาณ 290 J

5.1.5 ค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้นมีความแข็งสูงกว่าโลหะในการทดลองทั้งสองชนิด และบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีค่าความแข็งสูง

5.1.6 โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อนด้านรอยต่อด้านเหล็กเหนียวหล่อแสดงเม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตร บริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมประกอบด้วยเดนไดรต์ละเอียด โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิมแสดงเม็ดเกรนมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากกว่าโครงสร้างจุลภาคโลหะหลัก

บรรณานุกรม

- [1] http://www.cigweld.com.au/pages/images/techinfo/consumtech/st_steel.pdf.
- [2] คณะนิตย์ วรรณโท “การเชื่อมโลหะในระบบ GMAW.” กรุงเทพฯ : บริษัท ที พี พรินท์ จำกัด, 2539.
- [3] The International Nickel Company, 1978, Engineering Properties and Application of The Ni-Resists and Ductile Ni-Resists, New York, INCo., pp. l-48.
- [4] สมบูรณ์ เต็งหงษ์เจริญ, 2544, “งานเชื่อมโลหะ 2”, ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, หน้า 87-94.
- [5] สมาคมพัฒนาสแตนเลสไทย, “การเลือกใช้สแตนเลสและเทคนิคการเชื่อมสแตนเลส” <http://www.tssda.org>
- [6] ขจรศักดิ์ ศิริมัย, 2538, “โลหะวิทยาในงานอุตสาหกรรม”, วิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี.
- [7] สถาบันพัฒนาครูอาชีวศึกษา, 2540, “การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม”, โรงพิมพ์สถาบันพัฒนา ครูอาชีวศึกษา, หน้า 7-19.
- [8] เชิดเชลง ชิตชวนกิจ และคณะ, 2524, “วิศวกรรมเชื่อม”, โรงพิมพ์ครุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ, หน้า 1-2.
- [9] [http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318\(51\)/MY318-8.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318(51)/MY318-8.pdf)
- [10] <http://www.e2pro.us/home/mechtest.html>
- [11] บรรเจิด ดอนเนตรงาม, อิทธิพลรูปร่างสลักแกนหมุนหัวโค้งของการเชื่อมอลูมิเนียมเนื้อ AA 6063-T6 ต่อคุณสมบัติทางกลด้วยกระบวนการเชื่อมความเสียดทานหมุนวน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.
- [12] อรศิริ จันท์เมือง. 2551, การศึกษาผลกระทบของก๊าซที่ใช้สำหรับกระบวนการเชื่อม MIG กรณีศึกษา : การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI. เบอร์ 304. กรุงเทพฯ, หน้า 1-77
- [13] ฉัตรทอง ไสแสง. 2548, อิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด304. กรุงเทพฯ, หน้า 1-75.
- [14] ปริญญา แสงทอง. 2549, ผลการแปรพารามิเตอร์ การเชื่อม MIG ต่อ โครงสร้างและสมบัติของงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม. กรุงเทพฯ, หน้า 1-93
- [15] Onsoien, M. Peters, R. Olson, D. L and Liu, S. January, 2004, Effect of Hydrogen in an argon GTAW shielding gas Arc characteristics and bead morphology, Welding Journal, pp. 10-15.
- [16] Ogawa, T. Suzuki, K. and Zaizen, T., July, 2004, The Weldability of nitrogen-containing austenitic stainless steel part II porosity cracking and creep properties, Welding Journal 63, pp. 213-223.

- [17] ASTM International., “Standard Test Method for Notched Bar Impact Test of Metallic Materials E 23-00,” Annual Book of ASTM Standard, Volume 03.01, 1996. pp. 1-25.
- [18] Askeland, D.R. and Phule, P.P. 2006. Science and Engineering of Materials. Singapore. Cengage Learning
- [19] Yang LJ et al. The effects of process variables on the weld deposit area of submerged arc welds. Weld J 1993;72 : 11–8
- [20] ASTM International., “Standard Practice for Microetching Metals and Alloys E 407-99,” Annual Book of ASTM Standard, Volume 03.01, 1996. pp. 1-21.
- [21] American National Standard.1996. “Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials1” Annual Book of ASTM Standard, ASTM E 92-82, Vol.03, New York.
- [22] David, S. A. and Liu C. T., 1982, High Power Laser and Arc Welding of Thorium Doped Lidium Alloys., Welding Research Supplement, pp 157 – 163.
- [23] Savage W. F. and Robert J. Hrubec.,1972, Synthesis of Weld Solidification Using Crystalline Organic Materials., Welding Research Supplement, pp 260 – 271.
- [24] Jiecai Feng, Liqun Li , Yanbin Chen, Zhenglong Lei, Hao Qin, Ying Li.,2012, Effects of welding velocity on the impact behavior of droplets in gas metal arc welding., Journal of Material Processing Technology 212, pp. 2163-2172.
- [25] Weman, K. 2003. Welding Process Handbook. England: Woodhead Publishing Limited.
- [26] Subodh Kumar, A.S. Shahi.,2011, Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded AISI 304 stainless steel joints., Journal Material and Design 32, pp. 3617-3623.
- [27] George E. Dieter, 1982, Mechanical Metallurgy SI Metric Edition
- [28] Shanping Lu., Hidetoshi Fujii., Kiyoshi Nogi.,2004, Marangoni convection and weld shape variations in Ar–O₂ and Ar–CO₂ shielded GTA welding., Journal Material Science and Engineering A 380, pp 290-297.

ภาคผนวก ก
ใบรับรองส่วนผสมทางเคมีเหล็กเหนียวหล่อ SCW410





CASTOP MATRIX

96 Moo 6 Tambon Nongbuaeng, Amphur Bangbueang, Chonburi 20170 THAILAND
Tel: +6638-192-588 Fax: +6638-192-590 E-Mail: info@castopmatrix.com

CASTOP MATRIX CO.,LTD



CERTIFICATES MATERIAL

Report / Compliance

TO: KMF COMPANY LIMITED Address: 5/107 M.1 T.Huakapi A.Mang Chonburi 20000
Tel: + (038)260630-2,263991-4 Fax: + (038)260639

CERTIFICATE NO. 20100631

TEST METHOD:

CHEMICAL ANALYSIS - JIS SCW410

DATE	LOT NO.	HEAT NO.	DATE RECEIVED	QTY. PCS.	C	SI	S	P	Mn	NI	Cr	Mo	V	Ch	N	Ti	Co	Al	Nb	Fe	P/O	DESCRIBE
21/06/2010	1	1-1	14-06-2010	254	50.22	50.80	50.04	50.04	51.6													K404A/154
		1-1	14-06-2010	450	0.1834	0.7129	0.0039	0.0197	0.3641													K404A-153

W. W. W.
(Miss Wanyisa Sereetan)
21/06/2010
Report By QA Department

Pongpon N. Ornta
(Miss Pongpon N. Ornta)
21/06/2010
QA Leader



Approved By Manager Director

FR:QC

ภาคผนวก ข
ใบรับรองส่วนผสมทางเคมีของลาวดเชื่อม



CERTIFICATE OF CONFORMANCE

ELECTRIC

TOTAL P

Supplied To:
 Lot No: 07221082, 07221083, 072223088, 07308249,
 Customer Order No: LS-0110107
 Quantity Ordered: 1,260 kg

Core Wire Heat No: S63162
 Test Completed: 27 March 2007

(1 Year)
 Size: 0.9mm x 15K.G
 Regional Office: Singapore

Product: LINCOLN ER308LSI

Specification: AWS A5.9

Classification: ER308LSI

This is to certify that the product named above and supplied on the referenced order number is of the same classification, manufacture, type process, and material requirements as the material which was used for the test piece. Tests conducted on the date shown, the results of which are shown below. All tests required by the specifications shown for classification were performed at that time and the material tested met all requirements. Manufacturing and supply were carried out according to quality management programs meeting the requirements of ISO 9001.

Mechanical Properties of the weld deposit (in the as-welded condition) and Chemical Analysis of the electrode were as follows:

AWS A5.9 Requirements	ER308LSI	LINCOLN ER308LSI
Yield Strength (MPa)	No Requirement	-
Tensile Strength (MPa)	520 min	569
Elongation % (in 50mm)	35 min	40
Impact Properties (CVN)	No Requirement	-
Soundness Tests		Acceptable

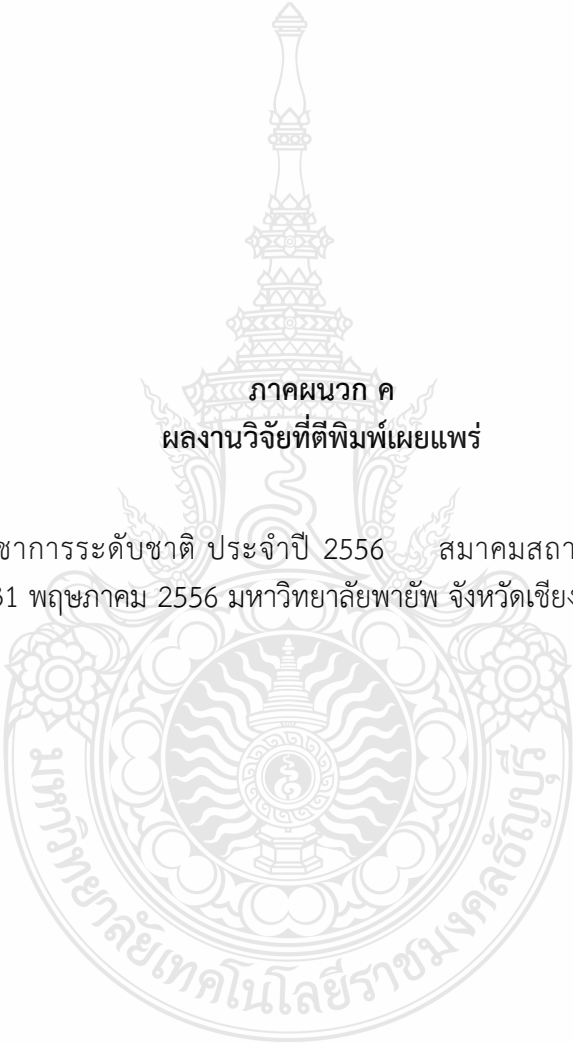
Ferrite	
1992 WRC Ferrite	10.0 FN
DeLong Ferrite	12.6 %

%	Electrode Requirements	
	ER308LSI	LINCOLN ER308LSI
C	0.03 max	0.015
Min	1.0 - 2.5	1.942
Si	0.05 - 1.0	0.63
P	0.03 max	0.0295
S	0.03 max	0.001
Cu	0.75 max	0.487
Ni	9.0 - 11.0	10.216
Cr	19.5 - 22.0	19.734
Mn	0.75 max	0.193
N	-	0.0386

Reference Number:
 EXP-710182

Approved by: *Richard Lane*
 Richard Lane, Training and Technical Support Manager

18 9:16
 Page 1 of 1



ภาคผนวก ค
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] การประชุมวิชาการระดับชาติ ประจำปี 2556 สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย 31 พฤษภาคม 2556 มหาวิทยาลัยพายัพ จังหวัดเชียงใหม่ หน้า 1253-1260

อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อความแข็งแรงกระแทกของรอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าหล่อ SCW410

EFFECT OF GMAW PARAMETERS ON IMPACT STRENGTH OF SUS304 STAINLESS STEEL AND SCW410 CAST STEEL

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ คักดีชัย จันทศรี เจษฎา แก้ววิจิตร ไพบุญย์ แย้มเฟื่อน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: kittipong.k@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับเหล็กกล้าหล่อ SCW410 และศึกษาโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อ ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม สามารถทำเกิดแนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ได้ ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความแข็งแรงกระแทกของแนวเชื่อมลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของโลหะเชื่อมที่เชื่อมโดยอัตราการไหลของแก๊สที่แตกต่างกัน อัตราการไหลที่สูงขึ้นทำให้ค่าความเปราะของโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้น ตัวแปรการเชื่อมที่ให้ความแข็งแรงกระแทกสูงสุด 927 J คือ กระแสไฟเชื่อม 180 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 L/min

คำสำคัญ: รอยต่อวัสดุต่างชนิด เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าหล่อ ความแข็งแรงกระแทก

ABSTRACT

This article aims to study the effect of gas metal arc welding parameters on SUS304 stainless steel and SCW410 cast steel butt joint properties and investigate the microstructure of the joint. The summarized results are as follows. The gas metal arc welding could produce successfully the sound welds of SUS304 stainless steel and SCW410 cast steel. Increase of the welding speed affected to decrease the impact strength of the welds but did not affect to change the hardness of the welds that produced by different gas flow rates. The increase of the gas flow rate affected to increase the brittle of the weld. The optimized welding parameter in this study that showed the impact strength of 927 J was the welding current of 180A, the welding current of 200 mm/min and the gas flow rate of 10L/min.

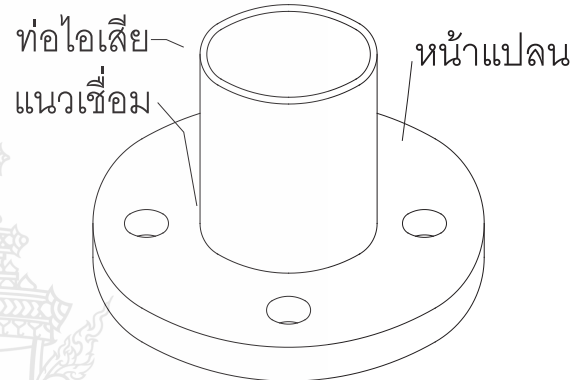
KEYWORDS: dissimilar materials joint, stainless steel, cast steel, impact strength

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์มีการแข่งขันทางการตลาดอย่างสูง บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการต่างๆ เพื่อลดต้นทุนในการผลิตสินค้า โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสินค้า เช่น วัสดุดีบุก หรือวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ท่อไอเสียก็เป็นชิ้นส่วนสำคัญในโครงสร้างรถยนต์ที่มีความจำเป็นในการลดต้นทุนการผลิต โดยการเปลี่ยนแปลงวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิต ซึ่งวัสดุเดิมจะเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมในอดีตที่ผ่านมาเหล็กกล้าไร้สนิมที่นำมาใช้ในการผลิตท่อไอเสีย เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก (Austenitic Stainless Steel) เนื่องจากสมบัติเด่นหลายประการ สามารถใช้ได้ทั้งในสภาวะอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง มีความสามารถในการเชื่อมดีกว่าเหล็กผสมสูงทั่วไป เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเทนเนติกสามารถทำการเชื่อมได้ง่ายที่สุด และเชื่อมได้โดยไม่ต้องให้ความร้อนก่อนทำการเชื่อม หรือให้ความร้อนภายหลังการทำเชื่อม แต่สิ่งที่จะต้องระวังคือ ผลของความร้อนที่สูงเกินไปทำให้เกรนหยาบและไม่ทนต่อแรงกระแทก นอกจากนี้อุณหภูมิสูงทำให้ชิ้นงานเชื่อมบิดเบี้ยวได้ (Khan, 2007)

วิธีการเชื่อมต่อท่อไอเสียจะใช้กระบวนการเชื่อมไฟฟ้า กระบวนการเชื่อมด้วยไฟฟ้า (Arc Welding Process) เป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้โลหะหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน โดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากการอาร์คทางไฟฟ้า ระหว่างชิ้นงานโลหะและลวดเชื่อม ในทางอุตสาหกรรมนิยมนำมาใช้ในการต่อวัสดุ เนื่องจากสามารถเชื่อมต่อวัสดุได้ทั้งโลหะที่อยู่ในกลุ่มเหล็กและนอกรวมเหล็ก กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าที่นิยมใช้คือ การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding; GMAW) ซึ่งเป็นกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้ลวดเชื่อมเส้นเปลือยที่มีลักษณะเป็นลวดเส้นตัน (Solid Wire)

มาทำการอาร์คกับโลหะชิ้นงาน ความร้อนที่เกิดจากการอาร์คทำการหลอมละลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และใช้แก๊สคลุมบริเวณโลหะหลอมละลายของงานเชื่อม เพื่อป้องกันไม่ให้ออกซิเจนจากบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะหลอมละลาย การเชื่อมนี้ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอย่างแพร่หลาย (คะเนย์ วรวรรณ โท, 2538)



รูปที่ 1 ส่วนประกอบท่อไอเสีย

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบหลักของท่อไอเสียซึ่งประกอบด้วยหน้าแปลนที่มีหน้าที่ในการจับยึดเข้ากับตัวเครื่องยนต์ที่เป็นโลหะแผ่นหนาประมาณ 5-10 มม. และส่วนท่อไอเสียที่มีรูปร่างเป็นท่อผนังบางความหนาประมาณ 2 มม. ในอุตสาหกรรมปัจจุบันของผู้ผลิตรถยนต์ในประเทศไทยพบว่าส่วนประกอบทั้งหมดนั้นใช้เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก 304 เป็นวัสดุดีบุกหลักในการผลิตดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามการใช้เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก 304 นั้นมีข้อเสีย คือ มีราคาที่สูงทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จากการร่วมกันพิจารณาระหว่างคณะผู้วิจัยและบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนผลิตรถยนต์แห่งหนึ่งได้มีความเห็นร่วมกันในการคิดค้นหาวิธีการในการลดค่าใช้จ่ายการผลิตท่อไอเสียขึ้น โดยมีสมมติฐานการลดค่าใช้จ่ายคือ

ค่าใช้จ่ายในการผลิตลดลงและคุณภาพของรอยต่อต้องเท่ากับหรือสูงกว่ารอยต่อที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำหน้าแปลนจากเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก 304 เป็นเหล็กกล้าหล่อ SCW410 ซึ่งเหล็กกล้าหล่อ SCW410 เป็นเหล็กที่มีโครงสร้างพื้นเป็นออสเทนไนท์คล้ายคลึงกับโครงสร้าง ออสเทนไนท์ในเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก 304 ซึ่งคาดว่าสมบัติทางกายภาพที่คล้ายกันจะทำให้ได้โลหะเชื่อมที่มีคุณภาพใกล้เคียงกันได้ (Celik and Alsaran, 1999) ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนในการผลิตท่อไอเสียรถยนต์ คณะผู้วิจัยจึงเสนอแนวคิดในการทดแทนชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก 304 ในระบบท่อไอเสียของรถยนต์ด้วยเหล็กกล้าหล่อ SCW410 และทำการเชื่อมโลหะทั้งสองเข้าด้วยกันด้วยวิธีการเชื่อมมิกเพื่อศึกษาตัวแปรการเชื่อมที่มีผล ต่อคุณภาพรอยเชื่อม และมีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม ซึ่งหากสามารถได้แนวเชื่อมที่มีคุณภาพที่ยอมรับได้ จะสามารถเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุทดแทนเพื่อลดต้นทุนในการผลิต

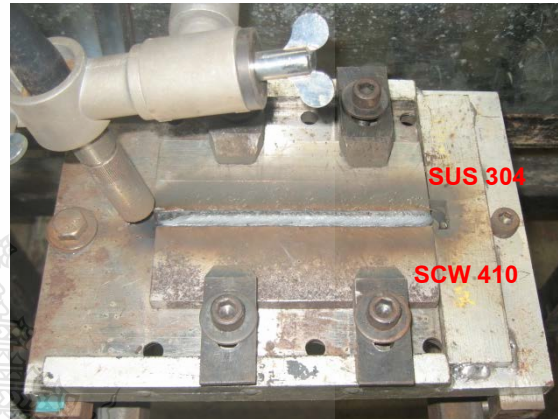
วัตถุประสงค์

- 1) การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อ สมบัติรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับ เหล็กกล้าหล่อ SCW410
- 2) ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อ

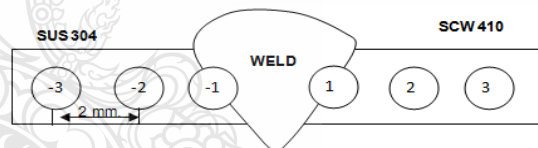
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทดลองใช้ การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมในการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับเหล็กกล้าหล่อ SCW410 ตัวแปรในการทดลองประกอบด้วย กระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อม คือ 180 A ความเร็วในการเชื่อม คือ 200 300 และ 400 mm/min อัตราการไหลของแก๊ส 10 15 และ 20

L/min แก๊สปกคลุม คือ อาร์โกซีล 64 วัสดุที่ใช้ในการศึกษาใช้โลหะ 2 ชนิด คือ เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SCW 410 และเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก SUS 304 ความหนา 10 มม. โดยนำวัสดุทั้งสองชนิดมาตัดให้ได้ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเท่ากัน คือ 20 x 150 x 10 mm³ ทำการบากหน้างานร่องวีมุมรวม 60 องศา



รูปที่ 2 การเชื่อมยึดชิ้นงานในการเชื่อม

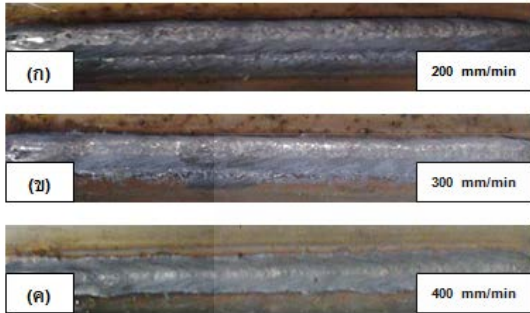


รูปที่ 3 ตำแหน่งการทดสอบความแข็งแรงหรือควอลิตี้

ลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อม คือ ลวดเชื่อมสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม AWS.A5.9 308LSi: MIG ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 mm อัตราการป้อนลวดที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 7 m/min และระยะของปลายท่อนำลวดถึงปลายลวดเชื่อม 10 mm ชิ้นงานถูกจับยึดให้แน่นด้วยอุปกรณ์จับยึดติดตั้งแสดงในรูปที่ 2 แล้วทำการเชื่อมเดินแนวชิ้นงานด้วยเทคนิคการเดินลวดเชื่อมแบบแบ็คแฮนด์ ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมที่ตัวแปรการเชื่อมต่างๆ ถูกนำไปทำการทดสอบสมบัติทางกล คือ ความต้านทานแรงกระแทกแบบชาร์ปีที่มีการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E23 (ASTM Standard, 1992)

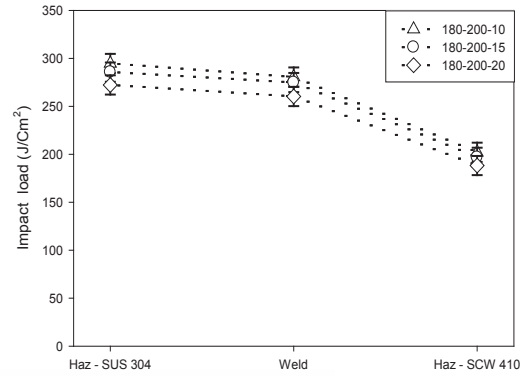
ความแข็งแรงรีกเวลโดยมีจุดที่ทำการตรวจสอบดัง
แสดงในรูปที่ 3 และทำการเปรียบเทียบโครงสร้าง
จุลภาคของรอยต่อที่ตำแหน่งต่างๆ

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

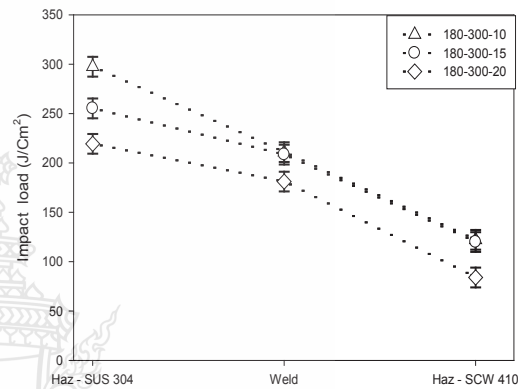


รูปที่ 4 ผิวหน้าแนวเชื่อม ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ
180 A ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ

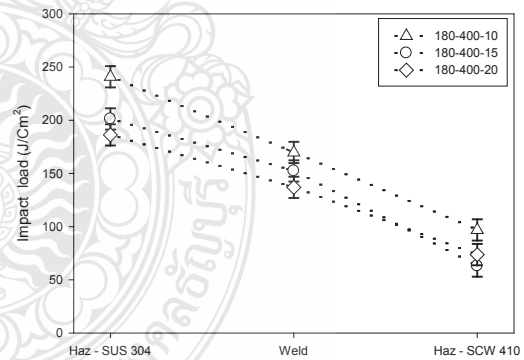
รูปที่ 3 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย
กระแสไฟ 180 A ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่แตกต่าง
กัน พบว่า เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้
ค่าความนูนของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น และความ
กว้างของแนวเชื่อมมีค่าลดลง การเกิดรอยแห้วขอบ
แนว (Undercut) ที่เกิดบนผิวแนวเชื่อมที่ความเร็ว
เดินแนวเชื่อมต่ำ คือ 200 mm/min นั้นหายไป การ
เปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดของแนวเชื่อมนี้
สัมพันธ์กับสมการทางความร้อนของการเชื่อม
โดยตรง ที่แสดงให้เห็นว่า ความเร็วเดินเชื่อมที่มีค่า
เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความร้อนในแนวเชื่อมมีค่า
ลดลง ค่าความร้อนที่ลดลงทำให้การแผ่กระจาย
ความร้อนไปบริเวณโดยรอบของแนวเชื่อมมีค่าน้อย
และทำให้โลหะหลอมเหลวไม่สามารถกระจาย
ออกไปบริเวณด้านข้างได้ แนวเชื่อมจึงมีความนูนสูง
กว่าและความกว้างของแนวเชื่อมมีค่ามากกว่า
(Weman, K. 2003)



(ก) ความเร็วเดิน 200 mm/min



(ข) ความเร็วเดิน 300 mm/min



(ค) ความเร็วเดิน 400 mm/min

รูปที่ 5 ความแข็งแรงกระแทกของรอยเชื่อมที่เชื่อม
ด้วยความเร็วเดินต่างๆ

ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมด้วยกระแส 180 A
อัตราการไหลของแก๊ส 10-20 L/min ความเร็วเดิน
แนวเชื่อม 200-400 mm/min ถูกนำมาทำการเตรียม
ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบชาร์ปีเพื่อ

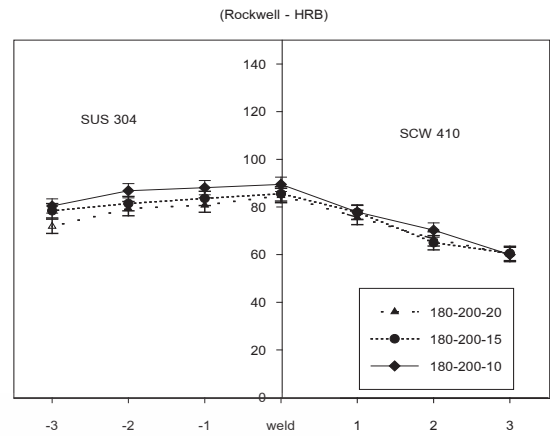
หาค่าความสามารถในการดูดซับพลังงานของรอยต่อได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5

ความแข็งแรงกระแทกหรือค่าการดูดซับพลังงาน ของรอยเชื่อมซึ่งแสดงค่าความเหนียว (Toughness) หรือเปราะ (Brittle) ของเนื้อโลหะพบว่า ความแข็งแรงกระแทกสูงสุดของรอยต่อทุกๆ อัตราการไหลของแก๊ส และความเร็วเดินแนวเชื่อม ที่เชื่อมด้วยกระแส 180 A บริเวณที่มีความแข็งแรงสูงสุด คือ บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิมโลหะเชื่อม และมีค่าความแข็งแรงต่ำสุดที่คือ บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อนของแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าหล่อ

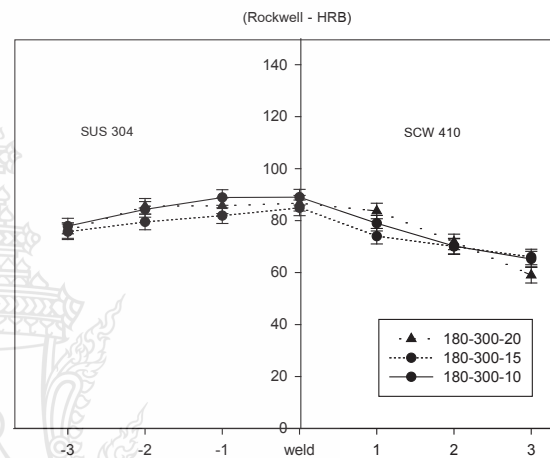
ปริมาณอัตราการไหลของแก๊สส่งผลต่อความเหนียวของโลหะเชื่อม รอยต่อที่ได้รับปริมาณแก๊สปกคลุมที่ปริมาณสูง กว่าแสดงถึงความแข็งแรงกระแทก หรือความเหนียวต่ำกว่า (ความเปราะสูงกว่า) รอยต่อที่ได้รับปริมาณ แก๊สปกคลุมที่ปริมาณต่ำกว่า

นอกจากนั้นความเร็วในการเดินแนวเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเปราะของรอยต่อเชื่อม ค่าความแข็งแรงกระแทกสูงสุดที่ได้จากการเชื่อมพบว่า มีค่าเท่ากับ 295 J ที่กระแสไฟเชื่อม 180 A อัตราการไหลของแก๊ส 10 L/min และความเร็วเดินเชื่อม 200 mm/min

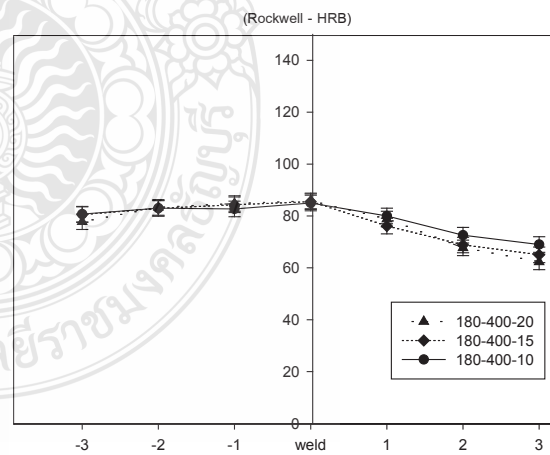
รูปที่ 6 แสดงค่า ความแข็งแรงของรอยต่อที่ทำการวัดในตำแหน่งกึ่งกลางความหนาของแผ่น และมีตำแหน่งตั้งแต่ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมลากผ่าน โลหะเชื่อมไปที่ด้าน เหล็กกล้าหล่อ ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าค่าความแข็งแรงบริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อนของทั้งสองด้านของแนวเชื่อม และโลหะเชื่อมทุกสภาวะนั้น มีความแข็งแรงสูงกว่าโลหะในการทดลองทั้งสองชนิด



(ก) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min



(ข) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 300 mm/min



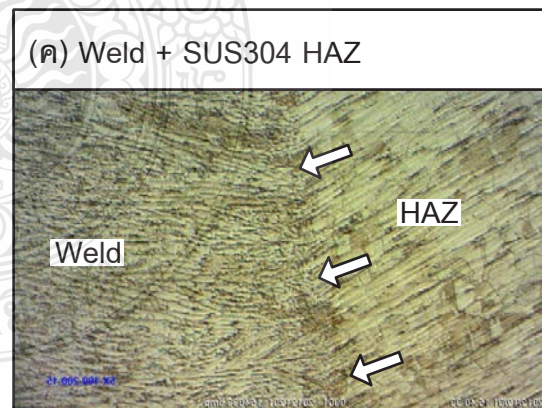
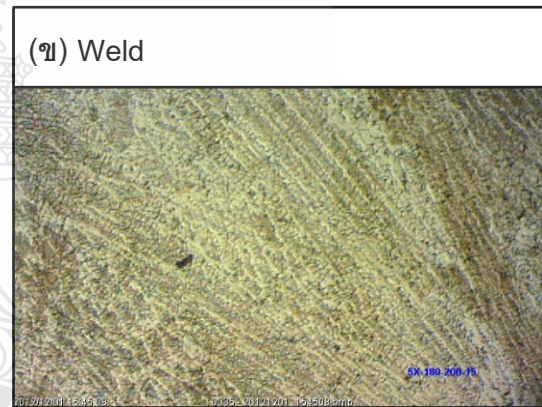
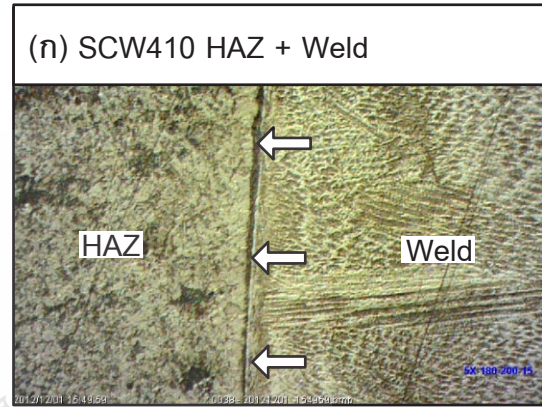
(ค) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 mm/min

รูปที่ 6 ความแข็งแรงรอยต่อชนที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 180 A และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ

ค่าความแข็งมีแนวโน้ม คล้าย ค่าความแข็งแรงกระแทก กล่าวคือ บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าความแข็งสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อม และพื้นที่ที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าหล่อที่มีค่าต่ำสุด อัตราการไหลของแก๊สที่ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อม มีผลตรงกันข้ามกับผลการทดลองการทดสอบความแข็งแรงกระแทก ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) และ (ข) อัตราการไหลของแก๊สที่มีค่าสูงส่งผลทำให้ค่าความแข็งของโลหะเชื่อมและพื้นที่ที่กระทบร้อนทั้งสองด้านของแนวเชื่อมมีค่าสูงขึ้น ค่าความแข็งของโลหะเชื่อมที่เชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 และ 300 mm/min อัตราการไหลของแก๊สตั้งแต่ 10 ถึง 20 L/min แสดงค่าความแข็งที่แตกต่างกันประมาณร้อยละ 9 และ 4 ตามลำดับ ค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของแก๊สปกคลุม เป็นสาเหตุให้แนวเชื่อมที่ใช้อัตราไหลของแก๊สปกคลุมสูงนั้นมีความเปราะเพิ่มขึ้นและส่งผลทำให้ความเปราะของโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมที่แตกต่างไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่าสูง คือ 400 mm/min ดังแสดงในรูปที่ 6 (ค) ที่แสดงว่า ค่าความแข็งของโลหะเชื่อม หรือพื้นที่ที่กระทบร้อนมีความแตกต่างกันน้อยมาก

รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 180 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 L/min ที่แสดงค่าความแข็งแรงกระแทก 295 J โครงสร้างจุลภาคของ พื้นที่ที่กระทบร้อนด้าน รอยต่อด้านเหล็กกล้าหล่อ SCW410 แสดงในรูปที่ 7 (ก) เกรนมีความกลมมนและเป็นระเบียบมากกว่าเม็ดเกรนของโลหะหลัก SCW410 เม็ดเกรนมีรูปร่างสมมาตรจนกระทั่งเข้าใกล้เขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาว เม็ดเกรนจะมีลักษณะเรียวยาวมีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลว

การเกิดเม็ดเกรนที่ยาว มีทิศทางเข้าสู่เขตพื้นที่หลอมเหลว จากซ้ายไปขวา เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนที่รวดเร็วของโลหะหลอมเหลวในโลหะเชื่อมออกสู่บรรยากาศ



รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 180 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 L/min

ขณะที่ด้านซ้ายของเส้นเขตการหลอมเหลวคือพื้นที่ของโลหะเชื่อมที่ประกอบด้วยเดนไดรท์ของ

โลหะเชื่อมที่มีความละเอียดมากกว่า และเคนไดร์ที่มีทิศทางเข้าสู่กึ่งกลางของแนวเชื่อมที่มีความเอียงจากบนลงล่าง ดังแสดงในรูปที่ 7 (ข) และด้านซ้ายของรูปที่ 7 (ค) ที่มีลักษณะของเคนไดร์ละเอียดที่มีทิศทางลากการเรียงตัวเข้าสู่กึ่งกลางจากขวาไปซ้ายของโลหะเชื่อม ด้านขวาของ เขตการหลอมเหลวของโลหะเชื่อมดังแสดงด้วยลูกศรสีขาว เม็ดเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม มีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบแต่เม็ดเกรนของโลหะไม่ได้มีความกลมมนและสมมาตรเหมือนดังที่ เกิดในพื้นที่ที่กระทบร้อนของเหล็กกล้าหล่อ SCW410 นอกจากนี้ไม่พบจุดบกพร่องใดๆ บนรอยเชื่อมที่ตรวจสอบ การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเบื้องต้นทำให้ทราบเหตุผลที่บริเวณพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม พื้นที่กระทบร้อนของเหล็กกล้าหล่อ และบริเวณโลหะเชื่อมจึงมีความแข็งแรงกระแทกแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องต้องทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคเชิงปริมาณต่อไป เพื่อที่สามารถเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของโครงสร้างได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยได้ทำการเชื่อม รอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับ เหล็กกล้าหล่อ SCW410 ด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม โดยทำการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมที่ประกอบด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม ที่มีผลต่อความแข็งแรงกระแทก ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้

- 1) ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความแข็งแรงกระแทกของแนวเชื่อมลดลง
- 2) ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความแข็งแรงกระแทกของแนวเชื่อมลดลง แต่

ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของโลหะเชื่อมที่เชื่อมโดยอัตราการไหลของแก๊สที่แตกต่างกัน

3) อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมที่ สูงขึ้น ทำให้ค่าความเปราะของโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้น

4) ตัวแปรการเชื่อมที่ให้ความแข็งแรงกระแทกสูงสุด 927 J คือ กระแสไฟเชื่อม 180 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 10 L/min

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับงบประมาณประจำปี 2555 ในการสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณ คุณสุริยา ประสมทอง สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ และ ความช่วยเหลือด้านเทคนิค ในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- คะเนย์ วรรณโท. 2539. การเชื่อมโลหะในระบบ GMAW. กรุงเทพฯ: บริษัท ที พี พรินท์ จำกัด.
- ASTM Standard. 1992. ASTM E23-2: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of metallic Materials. Philadelphia: ASTM.
- Celik, A. and Alsaran, A. 1999. "Mechanical and Structural Properties of Similar and Dissimilar Steel Joints." MATERIALS CHARACTERIZATION 43, 311–318.
- Khan, I. 2007. Welding Science and Technology. New Delhi: New Age International (P) Limited, Publishes.

The International Nickel Company. 1978.
Engineering Properties and Application
of The Ni-Resists and Ductile Ni-
Resists. New York, INC., pp. I-48.

Weman, K. 2003. **Welding Process Handbook**.
England: Woodhead Publishing
Limited.

