

- ได้ผ่านการตรวจประเมินคุณภาพหนังสือเรียนอาชีวศึกษา
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2567
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ประกาศลำดับที่ 118

รหัสวิชา 20103-2009

- หนังสือเล่มนี้เรียบเรียงตามผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา
จุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2567

กระบวนการเชื่อม

Welding Process



ผู้แต่ง **อัครทอง ใสแสง**

87.-

๙๙ ซีเน็ด

กระบวนการเชื่อม

โดย ฉัตรทอง ไสแสง

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย โดย ฉัตรทอง ไสแสง © พ.ศ. 2567

ห้ามคัดลอก ลอกเลียน ดัดแปลง ทำซ้ำ จัดพิมพ์ หรือกระทำการอื่นใด โดยวิธีการใดๆ ในรูปแบบใดๆ
ไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ เพื่อเผยแพร่ในสื่อทุกประเภท หรือเพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ
นอกจากจะได้รับอนุญาต

ข้อมูลทางบรรณานุกรม

ฉัตรทอง ไสแสง.

กระบวนการเชื่อม. -- กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2567.

212 หน้า.

1. การเชื่อม.

I. ชื่อเรื่อง.

671.52

SE-ED

inspiration starts here

Barcode (e-book) : 9786160853465

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย



บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

เลขที่ 1858/87-90 ถนนเทพรัตน แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
โทรศัพท์ 0-2826-8000

หากมีคำแนะนำหรือติชม สามารถติดต่อได้ที่ comment@se-ed.com

โครงการสอน

ชื่อวิชา กระบวนการเชื่อม (Welding Process) **รหัสวิชา** 20103-2009

ระดับชั้น ปวช. **หน่วยกิต** 2 **จำนวนชั่วโมงสอน** 2 ชั่วโมง/สัปดาห์

สัปดาห์ที่	ชั่วโมงที่	ชื่อบทเรียน/หัวข้อเรื่อง	ชื่อใบงาน
1-3	1-6	บทเรียนที่ 1 กระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ 1.1 ลักษณะและการใช้งานที่ผ่านมา 1.2 หลักการเชื่อม 1.3 ข้อดีและข้อจำกัด 1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ 1.5 จุดบกพร่องในงานเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ 1.6 บทสรุป	แบบฝึกหัดที่ 1 แบบทดสอบที่ 1
4-6	7-12	บทเรียนที่ 2 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม 2.1 ลักษณะและการใช้งานที่ผ่านมา 2.2 หลักการเชื่อม 2.3 ข้อดีและข้อจำกัด 2.4 การถ่ายโอนโลหะ 2.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ 2.6 จุดบกพร่องในงานเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม 2.7 บทสรุป	แบบฝึกหัดที่ 2 แบบทดสอบที่ 2
7-8	13-16	บทเรียนที่ 3 กระบวนการเชื่อมไส้ฟลักซ์ 3.1 ลักษณะและการใช้งานที่ผ่านมา 3.2 หลักการเชื่อม 3.3 ข้อดีและข้อจำกัด 3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ 3.5 บทสรุป	แบบฝึกหัดที่ 3 แบบทดสอบที่ 3

โครงการสอน

ชื่อวิชา กระบวนการเชื่อม (Welding Process) **รหัสวิชา** 20103-2009

ระดับชั้น ปวช. **หน่วยกิต** 2 **จำนวนชั่วโมงสอน** 2 ชั่วโมง/สัปดาห์

สัปดาห์ที่	ชั่วโมงที่	ชื่อบทเรียน/หัวข้อเรื่อง	ชื่อใบงาน
9-11	17-22	บทเรียนที่ 4 กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม 4.1 ลักษณะและการทำงานที่ผ่านมา 4.2 หลักการเชื่อม 4.3 ข้อดีและข้อจำกัด 4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ 4.5 จุดบกพร่องในงานเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม 4.6 บทสรุป	แบบฝึกหัดที่ 4 แบบทดสอบที่ 4
12-13	23-26	บทเรียนที่ 5 กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ 5.1 ลักษณะและการทำงานที่ผ่านมา 5.2 หลักการเชื่อมใต้ฟลักซ์ 5.3 ข้อดีและข้อจำกัด 5.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ 5.5 บทสรุป	แบบฝึกหัดที่ 5 แบบทดสอบที่ 5
14-15	27-30	บทเรียนที่ 6 กระบวนการเชื่อมแก๊สออกซิอะเซทิลีน 6.1 ลักษณะและการทำงานที่ผ่านมา 6.2 หลักการเชื่อม 6.3 ข้อดีและข้อจำกัด 6.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ 6.5 เปลวไฟเชื่อม 6.6 ลวดเชื่อมแก๊ส 6.7 บทสรุป	แบบฝึกหัดที่ 6 แบบทดสอบที่ 6

โครงการสอน

ชื่อวิชา กระบวนการเชื่อม (Welding Process) **รหัสวิชา** 20103-2009

ระดับชั้น ปวช. **หน่วยกิต** 2 **จำนวนชั่วโมงสอน** 2 ชั่วโมง/สัปดาห์

สัปดาห์ที่	ชั่วโมงที่	ชื่อบทเรียน/หัวข้อเรื่อง	ชื่อใบงาน
16-17	31-34	บทเรียนที่ 7 ตำแหน่งทำเชื่อม รอยต่อ และ ลักษณะรอยเชื่อมตามมาตรฐาน 7.1 ตำแหน่งทำเชื่อม 7.2 รอยต่อ 7.3 ลักษณะรอยเชื่อมตามมาตรฐาน 7.4 บทสรุป	แบบฝึกหัดที่ 7 แบบทดสอบที่ 7
18	36	สอบปลายภาค	สอบปลายภาค

SE-ED
inspiration starts here

A grayscale photograph of an industrial robotic arm in a factory setting, performing a welding task. The arm is positioned diagonally across the frame, with its end effector (a welding torch) in contact with a metal workpiece. A bright, intense light and a spray of sparks are visible at the point of contact, indicating an active welding process. The background is slightly blurred, showing the structural elements of the factory floor and ceiling.

SE-ED

inspiration starts here

คำนำ

หนังสือเรียนวิชา กระบวนการเชื่อม (Welding Process) รหัสวิชา 20103-2009 เล่มนี้ เรียบเรียงขึ้นตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชาและคำอธิบายรายวิชา ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) พุทธศักราช 2567 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างเชื่อมโลหะ เพื่อใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนสาขาวิชาช่างเชื่อมโลหะของสถานศึกษาในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ โดยมีเนื้อหาทั้งหมด 7 บทเรียน ประกอบด้วย บทเรียนที่ 1 กระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding) บทเรียนที่ 2 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding) บทเรียนที่ 3 กระบวนการเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux Cored Arc Welding) บทเรียนที่ 4 กระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม (Gas Tungsten Arc Welding) บทเรียนที่ 5 กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding) บทเรียนที่ 6 กระบวนการเชื่อมแก๊สออกซิอะเซทิลีน (Oxy-Acetylene Welding) บทเรียนที่ 7 ตำแหน่งท่าเชื่อม รอยต่อ และลักษณะรอยเชื่อมตามมาตรฐาน (Welding Position Joint and Characteristics of Weld to Standards)

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะสามารถอำนวยความสะดวกให้แก่ครูผู้สอน เป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน และผู้ที่สนใจทั่วไป หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเล่มนี้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้เขียนขอน้อมรับเพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นต่อไป ด้วยความขอบพระคุณยิ่ง

ฉัตรทอง ไสแสง

อ้างอิงมาตรฐาน

-

ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา

ประยุกต์ให้หลักการกระบวนการเชื่อม ในการวางแผนปฏิบัติงานเชื่อมตามมาตรฐาน อาชีพในสาขาอุตสาหกรรมเชื่อม

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจเกี่ยวกับหลักการและกระบวนการเชื่อมแบบต่าง ๆ ใช้งานของเครื่องมือ อุปกรณ์กระบวนการเชื่อมต่าง ๆ
2. มีทักษะการเตรียมงานเชื่อม ลักษณะของรอยเชื่อมตามมาตรฐาน และตำแหน่ง ทำเชื่อมจุดบกพร่อง สาเหตุ และวิธีการแก้ไขในงานเชื่อม
3. มีเจตคติ และกิริยาที่ดีในการทำงานรับผิดชอบ ตรงต่อเวลา รักษาความสะอาด และปลอดภัย มีความสามารถในการปฏิบัติงาน ตามขั้นตอนที่กำหนดให้ ภายใต้การกำกับดูแล และแนะนำอย่างใกล้ชิด
4. สามารถประยุกต์ใช้หลักการและกระบวนการเชื่อมในการปฏิบัติงาน ตามขั้นตอน ที่กำหนดให้ ภายใต้การกำกับดูแล และแนะนำอย่างใกล้ชิด

สมรรถนะรายวิชา

inspiration starts here

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการและกระบวนการเชื่อมต่าง ๆ การใช้งานของเครื่องมือ อุปกรณ์
2. ปฏิบัติการเตรียมการเชื่อม รอยเชื่อมตามมาตรฐาน และตำแหน่งทำเชื่อม
3. ประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับลักษณะจุดบกพร่อง สาเหตุ และวิธีการแก้ไขในงานเชื่อม

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาเกี่ยวกับหลักการเชื่อม เครื่องมือ อุปกรณ์ในกระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อม หุ้มฟลักซ์ (SMAW) เชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม (GTAW) เชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (GMAW) เชื่อมไส้ฟลักซ์ (FCAW) เชื่อมใต้ฟลักซ์ (SAW) เชื่อมแก๊ส (OAW) แก๊สที่ใช้ในงานเชื่อม ตำแหน่งทำเชื่อม รอยต่อในงานเชื่อม ลักษณะของรอยเชื่อมตามมาตรฐาน ลักษณะ จุดบกพร่อง สาเหตุ และวิธีการแก้ไข

สารบัญ

บทเรียนที่ 1 กระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์	
(Shielded Metal Arc Welding)	1
1.1 ลักษณะและการทำงานที่ผ่านมา	2
1.2 หลักการเชื่อม	3
1.3 ข้อดีและข้อจำกัด	4
1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์	5
1.5 จุดบกพร่องในงานเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์	25
1.6 บทสรุป.....	30
แบบทดสอบบทเรียนที่ 1.....	31

inspiration starts here

บทเรียนที่ 2 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม	
(Gas Metal Arc Welding).....	41
2.1 ลักษณะและการทำงานที่ผ่านมา	42
2.2 หลักการเชื่อม	42
2.3 ข้อดีและข้อจำกัด	43
2.4 การถ่ายโอนโลหะ (Metal Transfer).....	45
2.5 เครื่องมือและอุปกรณ์	49
2.6 จุดบกพร่องในงานเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม	67

2.7 บทสรุป.....	70
แบบทดสอบบทเรียนที่ 2.....	71

บทเรียนที่ 3 กระบวนการเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux Cored Arc Welding)81

3.1 ลักษณะและการทำงานที่ผ่านมา	82
3.2 หลักการเชื่อม	82
3.3 ข้อดีและข้อจำกัด	83
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์	84
3.5 บทสรุป.....	92
แบบทดสอบบทเรียนที่ 3.....	93

บทเรียนที่ 4 กระบวนการเชื่อมอาร์ก

ทังสเตนแก๊สคลูม (Gas Tungsten Arc Welding)100

4.1 ลักษณะและการทำงานที่ผ่านมา	100
4.2 หลักการเชื่อม	100
4.3 ข้อดีและข้อจำกัด	101
4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์	102
4.5 จุดบกพร่องในงานเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลูม	115
4.6 บทสรุป.....	119
แบบทดสอบบทเรียนที่ 4.....	120

บทเรียนที่ 5 กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding) ..125

5.1 ลักษณะและการทำงานที่ผ่านมา	130
5.2 หลักการเชื่อมใต้ฟลักซ์.....	130
5.3 ข้อดีและข้อจำกัด	131
5.4 เครื่องมือและอุปกรณ์	132

5.5 บทสรุป.....	140
แบบทดสอบบทเรียนที่ 5.....	141

บทเรียนที่ 6 กระบวนการเชื่อมแก๊สออกซิอะเซทิลีน

(Oxy–Acetylene Welding)	149
6.1 ลักษณะและการทำงานที่ผ่านมา	150
6.2 หลักการเชื่อม	150
6.3 ข้อดีและข้อจำกัด	151
6.4 เครื่องมือและอุปกรณ์	152
6.5 เปลวไฟเชื่อม	163
6.6 ลวดเชื่อมแก๊ส	164
6.7 บทสรุป.....	166
แบบทดสอบบทเรียนที่ 6.....	167

บทเรียนที่ 7 ตำแหน่งท่าเชื่อม รอยต่อ และลักษณะรอยเชื่อมตามมาตรฐาน

(Welding Position Joint and Characteristics of Weld to Standards)	175
7.1 ตำแหน่งท่าเชื่อม	176
7.2 รอยต่อ (Joint).....	180
7.3 ลักษณะรอยเชื่อมตามมาตรฐาน	183
7.4 บทสรุป.....	185
แบบทดสอบบทเรียนที่ 7.....	186

บรรณานุกรม	197
-------------------------	------------

A grayscale photograph of an industrial robotic arm performing a welding task. The arm is positioned diagonally across the frame, with its end effector (a welding torch) in contact with a metal workpiece. A bright, intense light and a spray of sparks emanate from the point of contact, indicating an active welding process. In the background, a person wearing a hard hat and safety gear is visible, observing the operation. The overall scene is set in a factory or industrial environment with various structural elements and equipment visible.

SE-ED

inspiration starts here



บทเรียนที่ 1

กระบวนการเชื่อมอาร์ค ด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding)

สาระสำคัญ

กระบวนการเชื่อมอาร์คด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ มีการใช้งานมาอย่างยาวนานจนถึงปัจจุบัน การเชื่อมเกิดจากการลัดวงจรของกระแสเชื่อมที่ส่วนปลายลวดเชื่อม เพื่ออาร์กกับชิ้นงาน ความร้อนสูง จากการอาร์กส่งผลให้ผิวหน้าชิ้นงานเกิดแอ่งหลอมเหลว พร้อมกันนั้นปลายของลวดเชื่อมก็จะหลอมเป็นหยดไหละเล็กๆ ถ่ายโอนลงสู่แอ่งหลอมเหลว ส่วนฟลักซ์ที่หุ้มแกนลวดเชื่อมจะทำให้หน้าที่หลายประการ เพื่อสมบัติที่ดีของรอยเชื่อม กระบวนการเชื่อมอาร์คด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ มีความคล่องตัวสูง สามารถเชื่อมได้ในทุกสภาพพื้นที่ แต่ต้องมีความเข้าใจและเลือกใช้เครื่องมืออุปกรณ์ ให้เหมาะสมกับงาน

เนื้อหา

- 1.1 ลักษณะและการใช้งานที่ผ่านมา
- 1.2 หลักการเชื่อม
- 1.3 ข้อดีและข้อจำกัด
- 1.4 เครื่องมือ อุปกรณ์
- 1.5 จุดบกพร่องในงานเชื่อมอาร์คด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์
- 1.6 บทสรุป

SE-ED
inspiration starts here

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

1. อธิบายหลักการเชื่อมและบอกอักษรย่อกระบวนการเชื่อมอาร์คด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายคุณลักษณะของเครื่องเชื่อมแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current) และแรงดันวงจรเปิดของเครื่องเชื่อมได้อย่างถูกต้อง
3. อธิบายตำแหน่งและสัดส่วนความร้อนหัวเชื่อมต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง
4. บรรยายรอบทำงาน (Duty Cycle) ของเครื่องเชื่อมได้อย่างถูกต้อง
5. อธิบายความหมายสัญลักษณ์ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน AWS และหน้าที่ของฟลักซ์หุ้มลวดเชื่อมได้อย่างถูกต้อง
6. บอกชนิด สาเหตุของจุดบกพร่องในงานเชื่อมอาร์คด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ได้อย่างถูกต้อง

1.1 ลักษณะและการใช้งานที่พบบ่อย

ยุคเริ่มต้นของการเชื่อมโลหะเกิดขึ้นเมื่อประมาณ 5,000 ปีมาแล้ว ในยุคที่มนุษย์รู้จักนำโลหะซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นบรอนซ์และเหล็กมาเผาให้ร้อน แล้วตีให้ติดกันเป็นรูปร่างต่าง ๆ ส่วนประวัติความเป็นมาของการเชื่อมไฟฟ้า โดยพื้นฐานของการเชื่อมจะอาศัยการอาร์กที่เกิดจากไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อน เพื่อสร้างการอาร์กกระหว่างลวดเชื่อมและชิ้นงาน ดังนี้

ปี พ.ศ. 2344 เซอร์ ฮัมฟรีย์ เดวี (Sir Humphry Davy) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้ค้นพบวิธีทำให้เกิดการอาร์กขึ้นเป็นครั้งแรกโดยบังเอิญในห้องทดลอง วิธีการคือจะใช้ปลายของขั้วไฟฟ้าทั้งสองของวงจรไฟฟ้าเข้ามาใกล้ชิดกันจนเกิดการอาร์ก ปรากฏการณ์การอาร์กทำให้เกิดพลังงานความร้อนอย่างรุนแรงที่ปลายขั้วทั้งสองจนสามารถหลอมโลหะได้ นับว่าเป็นพื้นฐานของการพัฒนากระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยไฟฟ้าแบบต่างๆ ในเวลาต่อมา

ปี พ.ศ. 2424 ออกุสต์ เดอ เมอริเทนส์ (Auguste de Meritens) ได้นำวิธีของเซอร์ ฮัมฟรีย์ เดวี ไปพัฒนา เพื่อนำไปใช้ในการเชื่อมโลหะและประดิษฐ์ขึ้นเป็นเครื่องเชื่อม โดยการใช้แท่งคาร์บอนเป็นตัวอาร์ก ให้ความร้อน ต่อเข้ากับแบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้ในการเชื่อมแผ่นตะกั่ว

ปี พ.ศ. 2428 เบร์นาโดส เอ็น. (Bernados N.) และออลสเชเวสกี (Olszeweskis) ได้ทำการพัฒนาเครื่องเชื่อมขึ้นแทนแบตเตอรี่ แต่ยังคงใช้แท่งคาร์บอนอาร์กให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน

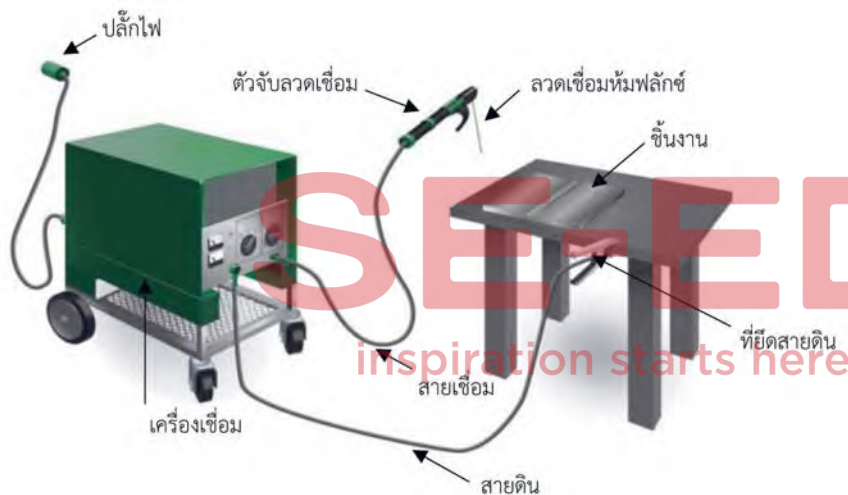
ปี พ.ศ. 2431 เอ็น.จี. สลาเวียโนฟ (N.G. Slavianoff) ชาวรัสเซียได้นำแกนลวดโลหะมาใช้แทนแท่งคาร์บอนอาร์กและให้ตัวลวดโลหะหลอมเหลวด้วยตัวมันเอง เพื่อเติมลงไปให้กับแอ่งหลอมเหลวเป็นรอยเชื่อมได้เป็นครั้งแรก แต่ยังมีปัญหาอยู่

ปี พ.ศ. 2455 เคลล์เบิร์ก (Kjellberg) วิศวกรชาวสวีเดน ได้จดสิทธิบัตรกรรมวิธีการเชื่อมแบบขั้วเชื่อมที่มีสารพอกหุ้มหนา ทำจากแอสเบสตอส มีโซเดียมซิลิเกตเป็นตัวประสาน ทำให้การอาร์กสม่ำเสมอและได้เนื้อโลหะรอยเชื่อมที่มีความบริสุทธิ์ดีกว่าใช้ลวดเปลือย ทำให้วงการอุตสาหกรรมเติบโตขึ้น

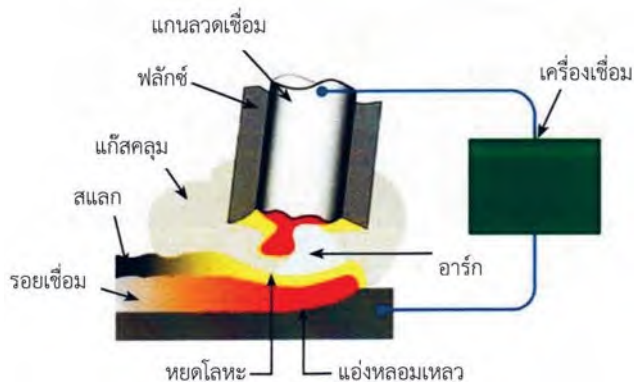
กระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ยังคงเป็นกระบวนการเชื่อมที่มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในประเทศไทยและประเทศกำลังพัฒนาทั้งหลาย

1.2 หลักการเชื่อม

กระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding) ใช้ตัวอักษรย่อว่า SMAW หลักการเชื่อมคือ การเชื่อมเกิดขึ้นจากการลัดวงจรของกระแสเชื่อมที่ไหลผ่านแกนลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ไปยังบริเวณปลายลวดเชื่อมเพื่ออาร์กกับชิ้นงาน ความร้อนสูงจากการอาร์กทำให้ชิ้นงานเกิดแอ่งหลอมเหลว พร้อมกับปลายของลวดเชื่อมจะหลอมและถ่ายโอนโลหะลงสู่แอ่งหลอมเหลวอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว เมื่อแข็งตัวจะกลายเป็นรอยเชื่อม ส่วนฟลักซ์ความร้อนจะเผาไหม้ บางส่วนจะแตกตัวเป็นแก๊สคลุมบริเวณอาร์ก เพื่อป้องกันบรรยากาศภายนอกไม่ให้เข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะเหลว บางส่วนจะหลอมภายในแอ่งหลอมเหลวเพื่อเพิ่มเติมธาตุเจือให้กับรอยเชื่อม ทั้งยังช่วยลดสารมลทินหรือสิ่งสกปรกออกจากโลหะเหลว เมื่อเย็นตัวจะแข็งกลายเป็นสแลกคลุมรอยเชื่อมเอาไว้ ช่วยให้รอยเชื่อมเย็นตัวลงอย่างช้าๆ ภาพรวมของกระบวนการเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และหลักการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 แสดงภาพรวมกระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 27)



รูปที่ 1.2 แสดงหลักการกระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 28)

1.3 ข้อดีและข้อจำกัด

1.3.1 ข้อดี

1. เครื่องมือ อุปกรณ์ราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อน เคลื่อนย้ายได้สะดวก
2. เชื่อมได้เร็ว และเชื่อมโลหะได้หลายชนิด
3. ไม่จำเป็นต้องใช้แก๊สคลุมแอ่งหลอมเหลว เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (GMAW) กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสแก๊สคลุม (GTAW)
4. ลมที่พัดผ่านในบริเวณปฏิบัติงานเชื่อมมีผลไม่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (GMAW) กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสแก๊สคลุม (GTAW)
5. สามารถปฏิบัติงานเชื่อมได้ในพื้นที่ที่จำกัด
6. สามารถปฏิบัติงานเชื่อมได้ไม่เว้นแม้ในสภาพพื้นที่ที่ระบบไฟฟ้าเข้าไม่ถึง

1.3.2 ข้อจำกัด

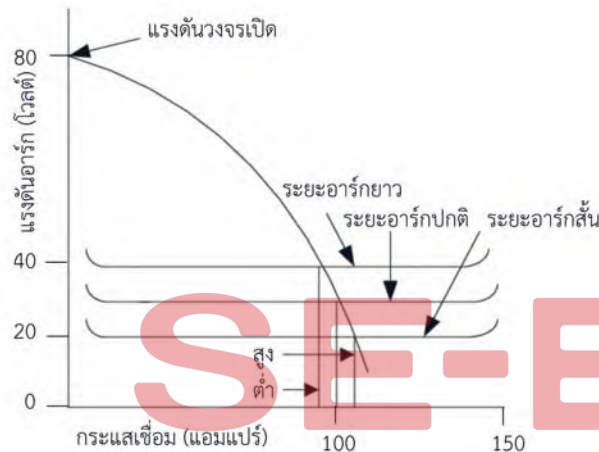
1. รอยเชื่อมมีสแลกคลุมจำเป็นต้องเสียเวลาในการเคาะออก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (GMAW) และกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสแก๊สคลุม (GTAW) ที่ไม่มีสแลกคลุมรอยเชื่อม
2. มีเม็ดโลหะกระเด็นติดผิวหนัง ต้องเสียเวลาในการกำจัดและเกิดเป็นจุดบดพร่องบนผิวหนัง
3. ชิ้นงานบาง ๆ จะเชื่อมยาก ต้องฝึกฝนจนชำนาญจึงจะสามารถเชื่อมได้ดี

1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.4.1 เครื่องเชื่อม (Welding Machine)

เครื่องเชื่อมทำหน้าที่ผลิตกระแสเชื่อมให้เพียงพอ พร้อมปรับแรงดันไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมต่อการเชื่อมโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายใดๆ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าสูงที่ระดับ 220 โวลต์ จะไม่สามารถนำมาเชื่อมได้โดยตรง เครื่องเชื่อมจะต้องผลิตแรงดันไฟฟ้าออกมาไม่เกิน 80 โวลต์ จึงจะไม่นับเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน

เครื่องเชื่อมมีทั้งชนิดกระแสตรง (Direct current; DC) และชนิดกระแสสลับ (Alternating current; AC) เป็นแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current; CC) คือเครื่องเชื่อมจะจ่ายกระแสเชื่อมออกมาคงที่ไม่ว่าแรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงเส้นกราฟกระแสเชื่อม-แรงดันอาร์ก เครื่องเชื่อมแบบกระแสไฟฟ้าคงที่
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 29)

จากรูปที่ 1.3 เครื่องเชื่อมขนาด 150 แอมแปร์ จะมีแรงดันวงจรเปิด (Open Circuit Voltage) 80 โวลต์ เมื่อเริ่มต้นอาร์กแรงดันวงจรเปิดจะเปลี่ยนเป็นแรงดันอาร์ก (Arc Voltage) มีค่าอยู่ระหว่าง 20–40 โวลต์ ดังนั้นเครื่องเชื่อมชนิดนี้จะมีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเมื่อไม่มีกระแสเชื่อม และแรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นสูง

เครื่องเชื่อมแบ่งตามชนิดของกระแสเชื่อม ได้ดังนี้

1. เครื่องเชื่อมชนิดกระแสสลับ

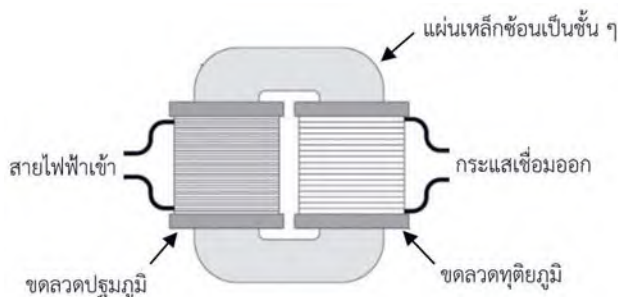
เครื่องเชื่อมชนิดกระแสสลับประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) จะเหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป จึงมักเรียกเครื่องเชื่อมชนิดนี้ว่า “เครื่องเชื่อมแบบหม้อแปลงไฟฟ้า”

กระแสเชื่อมที่จ่ายออกมาจะเป็นกระแสสลับ นิยมใช้งานทั่วไป เช่น งานโครงสร้าง งานก่อสร้าง และอื่น ๆ เนื่องจากมีราคาถูก มีให้เลือกหลายขนาดตามความต้องการ เคลื่อนย้ายได้สะดวกพอควร ซื้อง่าย มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป แต่ก็มีข้อเสียคือสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงลักษณะเครื่องเชื่อมแบบหม้อแปลงไฟฟ้า
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 29)

ภายในเครื่องเชื่อมประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขดลวด 2 ชนิดคือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Coil) เป็นเส้นลวดตัวนำขนาดเล็กพันรอบแกนเหล็ก มีจำนวนรอบมาก และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Coil) เป็นเส้นลวดที่ใหญ่กว่าพันรอบแกนเหล็กด้วยจำนวนรอบที่น้อยกว่า ขดลวดทั้ง 2 ไม่ได้ต่อกันโดยตรง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นในแกนเหล็ก ขณะเดียวกันก็จะเกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดทุติยภูมิ เมื่อต่อเข้ากับสายเชื่อมและสายดินจะได้กระแสเชื่อมสูงกว่าต้นกำเนิด แต่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า จึงมีความปลอดภัยในการเชื่อมโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้า
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 30)

2. เครื่องเชื่อมชนิดกระแสตรง

เครื่องเชื่อมชนิดกระแสตรงมีหลายแบบ ดังนี้

1. แบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Welding Machine)

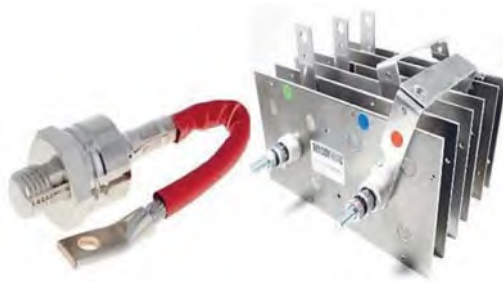
เครื่องเชื่อมแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) แบ่งออกเป็น 2 แบบย่อยคือ แบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (Motor Generator) ไฟฟ้ากระแสสลับจะป้อนเข้าสู่มอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เฟลามอเตอร์จะต่อร่วมกับเฟลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องเชื่อมนี้จะจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความเรียบ อีกแบบคือ ชนิดขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ (Engine Generator) จะเป็นเครื่องดีเซลหรือแก๊สโซลีนก็ได้ แต่ต้องมีแรงม้าและความเร็วรอบเพียงพอในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหมาะสำหรับงานเชื่อมภาคสนามที่ระบบไฟฟ้าเข้าไปไม่ถึง ดังแสดงในรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 แสดงเครื่องเชื่อมแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 32)

2. แบบหม้อแปลงเรียงกระแส (Transformer Rectifier Welding Machine)

เครื่องเรียงกระแส (Rectifier) เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จะต่อจากขดลวดทุติยภูมิ เรียกว่า “ไดโอด (Diode)” มี 2 ชนิดคือ ซิลิคอนไดโอดเรกติไฟร์ (Silicon Diode Rectifier) ลักษณะเป็นเกลียวข้างหนึ่งสำหรับไว้อัดกับแผ่นระบายความร้อน และชนิดซีลีเนียมไดโอดเรกติไฟร์ (Selenium Diode Rectifier) ลักษณะเป็นแผ่นซ้อนกันเป็นชั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.7 และลักษณะของเครื่องเชื่อมแบบหม้อแปลงเรียงกระแส ดังแสดงในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.7 แสดงซิลิคอนไดโอด
และซิลิเนียมไดโอดเรกติไฟร์
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 34)



รูปที่ 1.8 แสดงลักษณะของเครื่อง
แบบหม้อแปลงเรียงกระแส
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 35)

เครื่องเชื่อมกระแสตรงแบบหม้อแปลงเรียงกระแสสามารถกลับขั้วเชื่อมได้ ดังนี้

1. กระแสตรงอิเล็กโทรดขั้วลบ (Direct Current Electrode Negative; DCEN) ลวดเชื่อมต่อกับขั้วลบของเครื่องเชื่อม อิเล็กตรอนวิ่งจากลวดเชื่อมผ่านการอาร์กเข้าสู่ชิ้นงานที่เป็นขั้วบวก ความร้อนจากการเชื่อม 2 ใน 3 จะเกิดที่ชิ้นงาน อีก 1 ส่วนจะเกิดที่ลวดเชื่อม เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางรอยเชื่อมจะเห็นการหลอมลึกที่ดี เหมาะกับการเชื่อมงานหนา ดังแสดงในรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 แสดงวงจรการเชื่อมกระแสตรงอิเล็กโทรดขั้วลบ (ซ้าย)
และภาพตัดขวางของรอยเชื่อม (ขวา)
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 35)

2. กระแสตรงอิเล็กโทรดขั้วบวก (Direct Current Electrode Positive; DCEP) ลวดเชื่อมต่อกับขั้วบวกของเครื่องเชื่อม อิเล็กตรอนวิ่งจากชิ้นงานผ่านการอาร์กเข้าสู่ลวดเชื่อมที่เป็นขั้วบวก สัดส่วนของความร้อน 1 ส่วนจะเกิดที่ชิ้นงาน ที่เหลือ 2 ส่วนจะเกิดที่ลวดเชื่อม เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางของรอยเชื่อมจะเห็นการหลอมลึกตื้น แต่กว้าง เหมาะกับการเชื่อมงานบาง ดังแสดงในรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.10 แสดงวงจรการเชื่อมกระแสตรงอีเล็กโทรดขั้วบวก (ขั้ว)
และภาพตัดขวางของรอยเชื่อม (ขวา)
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 36)

เครื่องเชื่อมแบบหม้อแปลงเรียงกระแส เหมาะกับงานเชื่อมที่ต้องเปลี่ยนขั้วเชื่อมเป็นประจำ โดยเฉพาะโรงงานประกอบโครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่ที่มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนขั้วเชื่อมตามข้อกำหนดของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

3. เครื่องเชื่อมแบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter Welding Machine)

เครื่องเชื่อมอินเวอร์เตอร์เป็นเครื่องเชื่อมเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาควบคุมการจ่ายกระแสเชื่อม หลักการทำงานคือ ไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันและความถี่ (220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์) จะถูกแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) จากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่สูง (2-20 กิโลเฮิร์ตซ์) โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) อีกครั้ง ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่สูงจะไหลผ่านเข้าสู่ชุดหม้อแปลงไฟฟ้าต่อไปยังเครื่องเรียงกระแส เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง พร้อมจ่ายออกไปใช้งาน ลักษณะของเครื่องเชื่อมแบบอินเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 1.11

inspiration starts here



รูปที่ 1.11 แสดงลักษณะเครื่องเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์แบบอินเวอร์เตอร์
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 40)

เครื่องเชื่อมอินเวอร์เตอร์พัฒนาขึ้นให้มีขนาดเล็กกว่าเครื่องเชื่อมแบบหม้อแปลง และเครื่องเชื่อมแบบหม้อแปลงเรียงกระแส มีข้อดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดในหลายประการ ดังนี้

1. ราคาถูกกว่ามาก
2. ประหยัดค่ากระแสไฟฟ้าได้มาก ประสิทธิภาพด้านพลังงานสูง ความสูญเสียน้อยกว่า ควบคุมการแปลงไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จึงให้กระแสเชื่อมที่สูงและคงที่สม่ำเสมอ
3. ควบคุมกระแสเชื่อมและแรงดันไฟฟ้าได้ละเอียดแม่นยำ
4. มีความปลอดภัยในการใช้งานสูง
5. เครื่องเชื่อมมีขนาดเล็กกะทัดรัดและน้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายได้สะดวก

4. รอบทำงาน (Duty Cycle)

รอบทำงาน คืออัตราส่วนร้อยละของช่วงเวลาที่กระแสเชื่อมไหลต่อคาบเวลาหนึ่ง กำหนดเวลามาตรฐานเป็น 10 นาที เช่น เครื่องเชื่อมขนาด 160 แอมแปร์ มีรอบทำงาน 60% หมายถึง เครื่องเชื่อมนี้ที่กระแสเชื่อม 160 แอมแปร์ สามารถเชื่อมได้ต่อเนื่อง 6 นาที ต้องหยุดพักเครื่อง 4 นาที แต่ถ้าลดกระแสเชื่อมลงมาที่ 124 แอมแปร์ เครื่องเชื่อมจะมีรอบทำงานเพิ่มขึ้นคือ 100% ซึ่งสามารถเชื่อมได้ต่อเนื่อง 10 นาทีโดยไม่ต้องหยุดพัก ดังแสดงในรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 แสดงรอบทำงานของเครื่องเชื่อมขนาด 160 แอมแปร์

(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 37)

โดยสูตรการคำนวณรอบการทำงาน มีดังนี้

$$\% \text{ รอบการทำงาน} = \frac{(\text{กระแสเชื่อมที่กำหนดของเครื่องเชื่อม})^2}{(\text{กระแสเชื่อมที่ต้องการใช้})^2} \times \text{รอบทำงานที่กำหนด}$$

ตัวอย่าง เครื่องเชื่อมมีรอบทำงาน 60% ที่กระแสเชื่อม 160 แอมแปร์ หากต้องการเชื่อมที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ จงคำนวณหารอบทำงานของเครื่องเชื่อม

$$\% \text{ รอบทำงาน} = \frac{(160)^2}{(190)^2} \times 60$$

= 42% หมายความว่าที่กระแสเชื่อม 190 แอมแปร์ เครื่องเชื่อมนี้เชื่อมได้ต่อเนื่องโดยประมาณเป็นเวลา 4.20 นาที

1.4.2. ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Covered Electrode)

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ คือลวดเชื่อมเส้นเปลือยที่มีฟลักซ์ห่อหุ้ม ทำหน้าที่นำกระแสเชื่อมให้ไหลผ่านตัวมันเองเพื่ออาร์กกับชิ้นงานที่ส่วนปลายของลวดเชื่อม การอาร์กจะก่อให้เกิดพลังงานความร้อนสูง สามารถหลอมชิ้นงานให้กลายเป็นแอ่งหลอมเหลว พร้อมกับปลายของลวดเชื่อมจะหลอมกลายเป็นหยดโลหะเล็กๆ ถ่ายโอนลงไปรวมตัวกับโลหะหลอมเหลวที่อยู่ภายในแอ่งหลอมเหลว เมื่อแข็งตัวจะกลายเป็นรอยเชื่อมที่มีความมั่นคงและแข็งแรง ฟลักซ์จะถูกความร้อนเผาไหม้กลายเป็นแก๊สคลุมบริเวณอาร์ก เป็นการป้องกันบรรยากาศภายนอกไม่ให้เข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะเหลว บางส่วนจะทำหน้าที่ดึงสารมลทินหรือสิ่งสกปรกออกจากโลหะเหลว เมื่อแข็งตัวจะกลายเป็นสแลกคลุมรอยเชื่อม ลักษณะลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ดังแสดงในรูปที่ 1.13



รูปที่ 1.13 แสดงลักษณะและกล่องบรรจุลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 41)

1. โครงสร้างลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

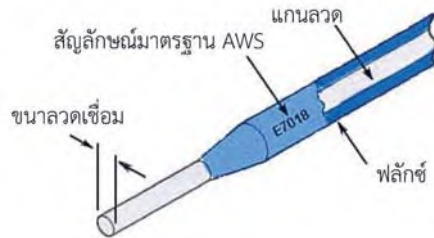
โครงสร้างของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ประกอบด้วย

1. แกนลวด (Wire) โดยสมาคมการเชื่อมแห่งประเทศไทย (American Welding Society; AWS) จำแนกตามชนิดของโลหะงานตามมาตรฐานจะมีหลายขนาดด้วยกัน เช่น 2, 2.6, 3.2, 4.0 มิลลิเมตร

2. ฟลักซ์ (Flux) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “สารพอกหุ้ม” ใช้หุ้มแกนของลวดเชื่อมมีความสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพและคุณภาพของเนื้อรอยเชื่อม ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด

3. สัญลักษณ์มาตรฐาน ลวดหุ้มฟลักซ์จะมีสัญลักษณ์พิมพ์กำหนดไว้บนลวดเชื่อมทุกเส้น บ่งบอกถึงรายละเอียดและมาตรฐานของสมาคมและองค์กรของแต่ละประเทศ

โดยโครงสร้างของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ดังแสดงในรูปที่ 1.14



รูปที่ 1.14 แสดงโครงสร้างของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 40)

1. หน้าที่ของฟลักซ์

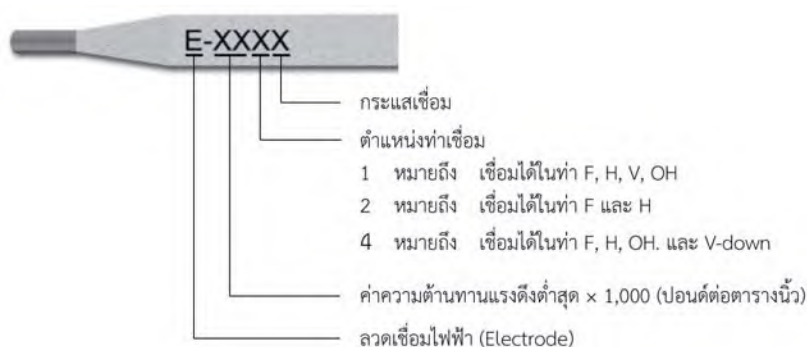
- (1) ทำให้การเริ่มต้นอาร์กเป็นไปได้โดยง่าย และอาร์กได้คงที่สม่ำเสมอ
- (2) สร้างแก๊สคลุมแอ่งหลอมเหลว ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
- (3) มีส่วนผสมของผงเหล็กเพื่อเพิ่มเติมเนื้อเชื่อมให้กับรอยต่อ
- (4) มีธาตุต่าง ๆ ที่สามารถเพิ่มสมบัติของรอยเชื่อม
- (5) ช่วยขจัดสารมลทินทำให้รอยเชื่อมสะอาด
- (6) เมื่อแข็งตัวจะกลายเป็นสแลกคลุมรอยเชื่อม ช่วยชะลอการเย็นตัวของรอยเชื่อม หรือป้องกันไม่ให้รอยเชื่อมสัมผัสกับอากาศโดยตรง

2. สมบัติที่ดีของฟลักซ์

- (1) ต้องมีความถ่วงจำเพาะต่ำ เนื่องจากจะต้องสามารถลอยตัวขึ้นสู่ผิวของโลหะหลอมได้โดยง่าย
- (2) ต้องสร้างแก๊สคลุมในปริมาณที่มากพอที่จะสามารถเป็นเกราะป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ดี และสามารถหลอมเหลวได้ในทันทีเมื่อเกิดการเผาไหม้ในขณะอาร์ก
- (3) ต้องยึดเกาะติดกับแกนลวดได้แน่น ไม่แตกหรือหลุดออกจากแกนลวดได้โดยง่าย แม้ว่าจะมีการดัดงอลวดเชื่อมก็ตาม

2. มาตรฐานลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

สมาคมการเชื่อมแห่งประเทศไทยกำหนดมาตรฐานลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าคาร์บอน (A 5.1) เป็นตัวอักษรและตัวเลข ดังแสดงในรูปที่ 1.15



รูปที่ 1.15 แสดงสัญลักษณ์ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ของสมาคมการเชื่อมแห่งประเทศไทย (ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 41)

ตารางที่ 1.1 แสดงค่าต่างๆ ของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าคาร์บอน (AWS A 5.1)

AWS A5.1	ชนิดของฟลักซ์	ตำแหน่งท่าเชื่อม	กระแสไฟ
E6010	โซเดียมเซลลูโลสสูง (High Cellulose Sodium)	F, H, V, OH	DCEP
E6011	โพแทสเซียมเซลลูโลสสูง (High Cellulose Potassium)	F, H, V, OH	AC หรือ DCEP
E6012	โซเดียมไททาเนียสูง (High Titania Sodium)	F, H, V, OH	AC หรือ DCEN
E6013	โพแทสเซียมไททาเนียสูง (High Titania Potassium)	F, H, V, OH	AC, DCEP หรือ DCEN
E6018	โพแทสเซียมไฮโดรเจนต่ำ (Low-hydrogen Potassium), ผงเหล็ก (Iron Powder)	F, H, V, OH	AC หรือ DCEP
E6019	เหล็กออกไซด์ไททาเนียโพแทสเซียม (Iron Oxide Titania Potassium)	F, H, V, OH	AC, DCEP หรือ DCEN
E6020	เหล็กออกไซด์สูง (High Iron Oxide)	H-Fillet	AC หรือ DCEN
		F	AC, DCEP หรือ DCEN

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) แสดงค่าต่างๆ ของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าคาร์บอน (AWS A 5.1)

AWS A5.1	ชนิดของฟลักซ์	ตำแหน่งทำเชื่อม	กระแสไฟ
E6022(1)	เหล็กออกไซด์สูง (High Iron Oxide)	F, H-Fillet	AC หรือ DCEN
E6027	เหล็กออกไซด์สูง (High Iron Oxide), ผงเหล็ก (Iron Powder)	H-Fillet	AC หรือ DCEN
		F	AC, DCEP หรือ DCEN
E7014	ผงเหล็ก (Iron Powder), ไททาเนีย (Titania)	F, H, V, OH	AC, DCEP หรือ DCEN
E7015	โซเดียมไฮโดรเจนต่ำ (Low-hydrogen Sodium)	F, H, V, OH	DCEP
E7016	โพแทสเซียมไฮโดรเจนต่ำ (Low-hydrogen Potassium)	F, H, V, OH	AC หรือ DCEP
E7018	โพแทสเซียมไฮโดรเจนต่ำ (Low-hydrogen Potassium), ผงเหล็ก (Iron Powder)	F, H, V, OH	AC หรือ DCEP
E7018M	ผงเหล็กไฮโดรเจนต่ำ (Low-hydrogen Iron Powder)	F, H, V, OH	DCEP
E7024	ผงเหล็ก (Iron Powder), ไททาเนีย (Titania)	H-Fillet, F	AC, DCEP หรือ DCEN
E7027	เหล็กออกไซด์สูง (High Iron Oxide), ผงเหล็ก (Iron Powder)	H-Fillet	AC หรือ DCEN
		F	AC, DCEP หรือ DCEN
E7028	โพแทสเซียมไฮโดรเจนต่ำ (Low-hydrogen Potassium), ผงเหล็ก (Iron Powder)	H-Fillet, F	AC หรือ DCEP
E7048	โพแทสเซียมไฮโดรเจนต่ำ (Low-hydrogen Potassium), ผงเหล็ก (Iron Powder)	F, H, OH, V-down	AC หรือ DCEP

หมายเหตุ : (1) หมายถึงเชื่อมชั้นเดียวเท่านั้น

3. การเก็บรักษาลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ต้องเก็บรักษาไว้ให้ดีและถูกวิธี แยกลวดเชื่อมตามชนิด ขนาด และวันเดือนปีที่ผลิต เพื่อให้สามารถหยิบออกมาใช้งานได้ทันตามอายุการใช้งาน มาตรฐาน และคำอธิบายคุณลักษณะของลวดเชื่อมทุกกล่องจะต้องมองเห็นชัดเจน สัญลักษณ์มาตรฐาน ที่พิมพ์ไว้บนลวดเชื่อมทุกเส้นต้องมองเห็นชัดเจน อ่านแล้วต้องทราบโดยทันทีว่าเป็น ลวดเชื่อมชนิดใดจะได้ใช้งานได้ถูกต้อง ลวดเชื่อมจะต้องไม่เก็บไว้นานจนเกินไป เพราะเมื่อนำมาใช้งานอาจไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

ข้อแนะนำในการเก็บรักษาลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ มีดังนี้

1. ลวดเชื่อมที่ซื้อมาก่อนต้องนำออกมาใช้งานก่อน เพื่อให้ใช้งานได้ทันก่อนหมดอายุ
2. การเก็บรักษาลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ควรวางไว้ให้เป็นระเบียบ เป็นหมวดหมู่ เพื่อให้เลือกหาได้ง่าย หยิบใช้ได้สะดวก ใช้งานได้ทันทีเมื่อต้องการ ไม่ควรวางทับกัน เพราะจะทำให้ฟลักซ์แตก

3. เพื่อให้การใช้งานเป็นไปตามข้อกำหนด ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ก่อนนำไปใช้งานจะต้องทำการอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ทุกครั้ง โดยเฉพาะชนิดไฮโดรเจนต่ำ ความชื้นจะเป็นบ่อเกิดของรูพรุนและการแตกร้าว ลักษณะตู้อบลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ดังแสดงในรูปที่ 1.16



รูปที่ 1.16 แสดงลักษณะของตู้อบลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

(ที่มา : <https://www.lincolnelectric.com>, วันเข้าถึง 13 ธันวาคม 2566)

1.4.3 ตัวจับลวดเชื่อม (Electrode Holder)

ตัวจับลวดเชื่อมทำหน้าที่จับหรือคิบลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ เพื่อส่งผ่านกระแสเชื่อมไปอาร์กกับชิ้นงาน ปากจับจะถ่างออกเมื่อเราบีบคันถ่างปากจับลวดเชื่อม ปากจับจะบากร่องกำหนดด้วยมุมต่างๆ สปริงจะช่วยเพิ่มแรงกดลวดเชื่อมให้แน่น ไม่ให้หลุดออกหรือส่ายไป

มาในขณะที่เชื่อม ต้มจับทำจากฉนวน ขนาดพอเหมาะสำหรับจับถือ โครงสร้างภายในทำจากโลหะทองแดง ภายนอกหุ้มด้วยฉนวน มีสมบัติทนความร้อนได้ดี ลักษณะของตัวจับลวดเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 แสดงตัวจับลวดเชื่อมและการจับลวดเชื่อม
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 46)

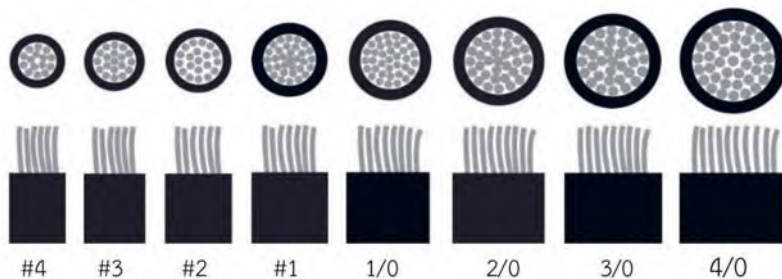
1.4.4 สายเชื่อม (Welding Cable)

สายเชื่อมจะต่อออกจากเครื่องเชื่อม ประกอบด้วย สายที่ต่อไปยังตัวจับลวดเชื่อม และสายที่ต่อไปยังที่ยึดสายดิน สายเชื่อมจะทำหน้าที่นำกระแสเชื่อมเข้าสู่การอาร์ก ผลิตภัณฑ์จากเส้นลวดทองแดงเล็ก ๆ จำนวนมากพันรวมกัน หุ้มด้วยฉนวน ทำจากยางสังเคราะห์ มีลักษณะเป็นสีดำ ทนความร้อนได้ดี ไม่เปื่อยง่าย ไม่ติดไฟ เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิสูงหรืองานกลางแจ้ง ส่วนฉนวนที่หุ้มด้วย PVC มีลักษณะเป็นสีต่าง ๆ ที่นิยมคือ สีส้ม สีแดง มีสมบัติทนต่อสารเคมีต่าง ๆ และน้ำมันได้ดี ลักษณะของสายเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 1.18



รูปที่ 1.18 แสดงลักษณะของสายเชื่อมที่หุ้มด้วยยางสังเคราะห์ (ซ้าย) และหุ้มด้วย PVC (ขวา)
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 45)

การเลือกใช้สายเชื่อม ต้องคำนึงถึงขนาด ความเหมาะสมกับกระแสเชื่อม และความยาว จึงจะทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพ ไม่เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าตก (Voltage Drop) หรือเกิดความร้อนสะสม ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ขนาดของสายเชื่อมจะกำหนดเป็นนัมเบอร์ตามหน่วยวัดขนาดของลวดตัวนำไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา (American Wire Gauge; AWG) ดังแสดงในรูปที่ 1.19 ส่วนขนาดของสายเชื่อมที่สัมพันธ์กับกระแสเชื่อมและความยาว ดังแสดงในตารางที่ 1.2



รูปที่ 1.19 แสดงขนาดของสายเชื่อม กำหนดเป็นนัมเบอร์ของ AWG (American Wire Gauge)
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 45)

ตารางที่ 1.2 แสดงขนาดของสายเชื่อมที่สัมพันธ์กับกระแสเชื่อมและความยาว

ความยาว		กระแสเชื่อม (แอมแปร์)								
ฟุต	เมตร	100	150	200	250	300	350	400	450	500
50	15	2	2	2	2	1	1/0	1/0	2/0	2/0
75	23	2	2	1	1/0	2/0	2/0	3/0	3/0	
100	30	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0	4/0		
125	38	2	1/0	2/0	3/0	4/0				
150	46	1	2/0	3/0	4/0					
175	53	1/0	3/0	4/0						
200	61	2/0	3/0	4/0						
250	76	2/0	4/0							
300	91	3/0								
350	107	3/0								
400	122	4/0								

1.4.5 ที่ยึดสายดิน (Ground Clamp)

ที่ยึดสายดินจะต่อเข้ากับปลายของสายดิน การประกอบจะต้องต่อให้แน่น ยึดด้วยสกรู ที่ยึดสายดินมีหลายแบบ แต่ที่นิยมจะมีลักษณะคล้ายคีมเพิ่มแรงจับยึดชิ้นงานด้วยสปริง การจับยึดชิ้นงานจะต้องจับให้แน่น อย่าจับแบบหลวมๆ โดยเด็ดขาด เพราะจะทำให้อาร์กกับชิ้นงานได้ ที่ยึดสายดินทำด้วยวัสดุที่มีสมบัตินำไฟฟ้า เพื่อให้กระแสเชื่อมไหลเข้าสู่ชิ้นงานได้สะดวก ข้อควรระวัง ไม่ควรนำปลายลวดเชื่อมไปเหยียเพื่อทดสอบอาร์กกับที่ยึดสายดิน เพราะจะมีรอยเชื่อมไปเกาะติด หากมีรอยมากก็จะดูเหมือนไม้ไผ่ที่ยึดสายดิน ลักษณะของที่ยึดสายดิน ดังแสดงในรูปที่ 1.20



รูปที่ 1.20 แสดงลักษณะที่ยึดสายดิน
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 46)

1.4.6 อุปกรณ์ต่อสายเชื่อม (Cable Connector)

อุปกรณ์ต่อสายเชื่อมจะใช้ต่อสายเชื่อมออกจากขั้วไฟของเครื่องเชื่อม ทำจากวัสดุตัวนำไฟฟ้าหุ้มฉนวนเพื่อความปลอดภัย อดีตนิยมใช้อุปกรณ์ต่อสายเชื่อมแบบหางปลา แต่ปัจจุบันนิยมใช้อุปกรณ์ต่อสายเชื่อมอยู่ 2 แบบ ลักษณะของอุปกรณ์ต่อสายเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 1.21



รูปที่ 1.21 แสดงอุปกรณ์ต่อสายเชื่อมแบบ Euro Type (ซ้าย) และแบบ Thai Type (ขวา)
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 47)

1.4.7 หน้ากากเชื่อม (Welding Helmets)

หน้ากากเชื่อม ใช้เพื่อป้องกันดวงตาและใบหน้าจากรังสีอาร์ก สะเก็ดโลหะ และประกายไฟ กระจกกรองแสงจะทำหน้าที่ลดความเข้มข้นของรังสีที่เกิดจากการอาร์ก เพื่อให้ดวงตาสามารถมองเห็นแ่งหลอมเหลวได้โดยไม่เป็นอันตราย โครงสร้างทำจากวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ทนความร้อนได้ดี สำหรับกระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์จะใช้กระจกกรองแสงเบอร์ 10 หน้ากากแบบมือถือ เหมาะสำหรับการใช้งานบนพื้น ส่วนแบบสวมศีรษะ เหมาะสำหรับงานเชื่อมที่จำเป็นต้องใช้มือทั้งสองข้างในการทำงาน เช่น พื้นที่สูง ๆ ลักษณะของหน้ากากเชื่อมแบบมือถือและแบบสวมศีรษะ ดังแสดงในรูปที่ 1.22



รูปที่ 1.22 แสดงหน้ากากเชื่อมแบบมือถือ (ซ้าย) และหน้ากากเชื่อมแบบสวมศีรษะ (ขวา)
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 48)

กระจกกรองแสงเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นและยืดอายุการใช้งาน วิธีการปฏิบัติจะนำกระจกใสธรรมดาที่มีราคาถูกกว่ามาใส่กันไว้ด้านหน้า ถ้าหากมีเม็ดโลหะกระเด็นมาเกาะติดเป็นจำนวนมากก็เปลี่ยนแค่กระจกใส ดังแสดงรูปที่ 1.23



รูปที่ 1.23 แสดงการใส่กระจกใสกันเม็ดโลหะกระเด็นไว้ด้านนอกกระจกกรองแสง
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 48)

ปัจจุบันหน้ากากเชื่อมแบบสวมศีระชนิดปรับแสงอัตโนมัตินิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีราคาถูกกว่าในอดีตมาก อีกทั้งมีข้อดีกว่าหน้ากากแบบมือถือและแบบสวมศีระธรรมดา เนื่องจากเมื่อหยุดการเชื่อมจะต้องวางหน้ากากลงหรือต้องคอยเปิด-ปิดฝาครอบกระจกกรองแสงอยู่ตลอดเวลา ทำให้การเชื่อมประสบกับปัญหาอยู่บ้าง แต่ถ้าเป็นหน้ากากเชื่อมแบบสวมศีระชนิดปรับแสงอัตโนมัติ ปัญหาดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้นเพราะการทำงานของหน้ากากนั้น เมื่อรังสีเชื่อมมากระทบกับกระจกกรองแสงของหน้ากากก็จะปรับให้ทึบแสงโดยอัตโนมัติภายในเวลาเพียง 1–2 มิลลิวินาที (1–2 ใน 1,000 วินาที) ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความเที่ยงตรงสูง และจะกลับสู่สภาวะปกติภายใน 20 มิลลิวินาที ทั้งยังสามารถเลือกปรับระดับการป้องกันแสงอาร์คได้หลายระดับ ลักษณะของหน้ากากเชื่อมแบบปรับแสงอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 1.24



รูปที่ 1.24 แสดงหน้ากากเชื่อมแบบสวมศีระชนิดปรับแสงอัตโนมัติ

(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 49)

1.4.8 ค้อนเคาะสแลก (Chipping Hammer)

ค้อนเคาะสแลกใช้สำหรับเคาะสแลกที่คลุมรอยเชื่อม เพื่อทำความสะอาดรอยเชื่อม มีลักษณะปากแบนคล้ายสาก อีกด้านจะแหลม ด้ามค้อนทำเป็นสปริงเพื่อลดแรงสะท้อนผลิจากเหล็กกล้าคาร์บอนผ่านการชุปแข็ง เพื่อให้มีความคงทนต่อแรงกระแทก วิธีการเคาะสแลกที่ถูกต้องนั้นไม่ควรเคาะแรงจนทำให้รอยเชื่อมเสียหาย เช่น เกิดรอยบิ่น หรือรอยยุบ เพราะดูแล้วรอยเชื่อมจะไม่สวยงามหรืออาจกลายเป็นจุดบกพร่องขึ้นได้ ลักษณะของค้อนเคาะสแลก ดังแสดงในรูปที่ 1.25



รูปที่ 1.25 แสดงลักษณะของค้อนเคาะสแลก
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 50)

1.4.9 แปรงลวด (Wire Brush)

แปรงลวดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับขัดหรือกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดมากับชิ้นงานทั้งก่อนการเชื่อมและทำความสะอาดรอยเชื่อมเมื่อทำการเคาะสแลกออกแล้ว ตัวแปรงลวดทำด้วยไม้หรือพลาสติกแข็ง ขนแปรงทำด้วยลวดเหล็กเส้นเล็กหรือทองเหลือง มีความเป็นสปริงพอควร ลักษณะของแปรงลวด ดังแสดงในรูปที่ 1.26



รูปที่ 1.26 แสดงลักษณะของแปรงลวด
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 50)

1.4.10 คีมจับชิ้นงานร้อน (Pliers)

คีมจับชิ้นงานร้อนเป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับจับชิ้นงานในขณะยังร้อนๆ ที่เชื่อมเสร็จใหม่ๆ ออกไปจากคูหาเชื่อม เพื่อนำไปเคาะสแลกหรือทำความสะอาดรอยเชื่อม คีมจับชิ้นงานร้อนจะต้องมีด้ามที่ยาวพอสมควร และต้องมีความแข็งแรงในการจับชิ้นงานได้ดี ลักษณะของคีมจับชิ้นงานร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1.27



รูปที่ 1.27 แสดงลักษณะของคีมจับชิ้นงานร้อน
(ที่มา : ฉัตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 51)

1.4.11 เครื่องเจียรไน 4 นิ้ว (Grinder 4")

เครื่องเจียรไน 4 นิ้ว หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า “ลูกหมู” ถือได้ว่าเป็นเครื่องมืออเนกประสงค์สารพัดประโยชน์ สามารถตอบโต้ภัยกับการใช้งานในด้านต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น สำหรับเจียรไนตกแต่งชิ้นงาน ชัดผิวทำความสะอาดสนิมเหล็ก ใช้ตัด และยังสามารถใช้ขัดผิวรอยเชื่อมได้ด้วย อุปกรณ์ประกอบด้วย ใบเจียรไน ใบตัด หรือแปรงลวดขัดผิว ดังแสดงในรูปที่ 1.28



รูปที่ 1.28 แสดงลักษณะเครื่องเจียรไน 4 นิ้ว พร้อมใบเจียรไนและแปรงลวดขัดผิว
(ที่มา : <http://www.stanley-thailand.com>, วันเข้าถึง 13 ธันวาคม 2566)

1.4.12 แว่นตานิรภัย (Safety Goggles)

แว่นตานิรภัยใช้ป้องกันอันตรายจากเศษเหล็กที่เกิดจากการเจียรไนตกแต่งชิ้นงาน กระเด็นเข้าดวงตาหรือใบหน้า และใช้ป้องกันเศษของสแลกกระเด็น เพื่อความปลอดภัยในการเจียรไนตกแต่งชิ้นงานและการเคาะสแลก จึงควรสวมใส่แว่นตานิรภัยทุกครั้ง ลักษณะของแว่นตานิรภัย ดังแสดงในรูปที่ 1.29



รูปที่ 1.29 แสดงลักษณะของแว่นตานิรภัย

(ที่มา : <http://www.stanley-thailand.com>, วันเข้าถึง 13 ธันวาคม 2566)

1.4.13 ค้อนหัวกลม (Ball Pein Hammer)

ค้อนหัวกลมเป็นค้อนที่ใช้กันทั่วไปในงานช่างทั่วๆ ไป หน้าตัดมีลักษณะกลม ผิวหน้าของค้อนจะนูนโค้งเล็กน้อย ส่วนบนหรือหงอนค้อนจะมีลักษณะเป็นทรงกลม ด้านหน้าค้อนใช้ตี เคาะ ดัดชิ้นงานทั่วไป ขนาดที่นิยมใช้ทั่วไป ได้แก่ 4, 6, 8, 12 ออนซ์ ลักษณะของค้อนหัวกลม ดังแสดงในรูปที่ 1.30



รูปที่ 1.30 แสดงลักษณะของค้อนหัวกลม

(ที่มา : <http://www.stanley-thailand.com>, วันเข้าถึง 13 ธันวาคม 2566)

1.4.14 ชุดปฏิบัติงานเชื่อม (Protective Equipment)

การเชื่อมโลหะอาจเกิดอันตรายเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา เช่น ความร้อน เม็ดโลหะกระเด็น รังสี และอื่นๆ ผู้ปฏิบัติงานเชื่อมจะต้องสวมชุดป้องกันอันตรายที่ทำจากหนังสัตว์ที่มีสมบัติทนต่อความร้อนได้ดี ดังนี้

1. ถุงมือหนัง (Gloves)

ถุงมือหนังใช้สวมมือทั้งสองข้าง เพื่อป้องกันไม่ให้มือได้รับความร้อนขณะทำการเชื่อม ทั้งยังช่วยป้องกันเม็ดโลหะกระเด็นมาถูกมือ

2. เอี๊ยมหนัง (Apron)

เอี๊ยมหนังใช้สวมสำหรับป้องกันความร้อนจากการเชื่อมและเม็ดโลหะกระเด็นไม่ให้ทำอันตรายในส่วนด้านหน้าของร่างกาย

3. ปลอกแขน (Sleeves)

ปลอกแขนใช้สวมแขนทั้งสองข้าง เพื่อป้องกันความร้อนจากการเชื่อมและเม็ดโลหะกระเด็นไม่ให้ทำอันตรายในส่วนของแขน

4. ปลอกขา (Leggings)

ปลอกขาใช้สำหรับสวมคลุมรองเท้าวางไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดโลหะกระเด็นเข้าไปในรองเท้า ปลอกขาจะหุ้มจากใต้หัวเข่าลงมาคลุมทั้งรองเท้า

5. รองเท้านิรภัย (Safety Shoes)

รองเท้านิรภัยใช้สวมใส่เพื่อป้องกันสิ่งของตกหล่นใส่เท้า และป้องกันเท้าจากการเดินเหยียบชิ้นงานขณะร้อน

ชุดปฏิบัติงานเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 1.31



รูปที่ 1.31 แสดงชุดปฏิบัติงานเชื่อม
(ที่มา : นิตรทอง ไสแสง, 2562, หน้า 50)

หนังสือเรียนวิชา **กระบวนการเชื่อม รหัสวิชา 2103-2009** เล่มนี้ เรียบเรียงตาม ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา จุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) พุทธศักราช 2567 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชา ช่างเชื่อมโลหะ เนื้อหาสาระสำคัญจะศึกษาเกี่ยวกับ หลักการเชื่อม เครื่องมือ อุปกรณ์ในกระบวนการ เชื่อมอาร์กด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) เชื่อมอาร์กทึงสแตนเลสคลุม (GTAW) เชื่อมอาร์ก โลหะเคลือบคลุม (GMAW) เชื่อมไส้ฟลักซ์ (FCAW) เชื่อมใต้อฟลักซ์ (SAW) เชื่อมแก๊ส (OAW) แก๊สที่ใช้ในงานเชื่อม ตำแหน่งท่าเชื่อม รอยต่อในงานเชื่อม ลักษณะของรอยเชื่อมตามมาตรฐาน ลักษณะจุดบกพร่อง สาเหตุและวิธีการแก้ไข โดยมีจุดมุ่งหมายให้ผู้เรียนมีความรู้และสมรรถนะ ตรงตามหลักสูตรรายวิชา

ประวัติผู้เขียน **วัตรทอง ไสแสง**



ปัจจุบัน

- ดำรงตำแหน่ง รองผู้อำนวยการเชี่ยวชาญ วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา

การศึกษา

- พ.ศ. 2562 ปริญญาตรีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิชาการบริหารการศึกษามหาวิทยาลัยวงษ์เขลลิตกุล
- พ.ศ. 2549 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต (คอ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- พ.ศ. 2546 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (คอ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
- พ.ศ. 2537 ประกาศนียบัตรครุเทคนิคชั้นสูง (ปทส.) สาขาวิชาเชื่อมและประสานวิทยาลัยช่างกลปทุมวัน

ผลงานทางวิชาการ

- พ.ศ. 2562 เอกสารประกอบการสอนวิชา **กระบวนการเชื่อม (รหัสวิชา 2103-2008)**
- พ.ศ. 2562 หนังสือเรียนวิชา **งานเชื่อมและโลหะแผ่นเบื้องต้น (รหัสวิชา 2100-1004)**
- พ.ศ. 2562 งานวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดฝึกทักษะการเชื่อมไฟฟ้า-เชื่อมแก๊สเพื่อใช้ในรายวิชางานเชื่อมและโลหะแผ่นเบื้องต้น (รหัสวิชา 2100-1005)

SE-ED

Inspiration starts here

หนังสือ	1 สั	จำนวน	199	หน้า
	2 สั	จำนวน		หน้า
	4 สั	จำนวน		หน้า
กระดาษ	ปอนด์			
ความหนา	กระดาษปก	230	แกรม	
	กระดาษเนื้อใน	70	แกรม	



พร้อมจำหน่ายในรูปแบบ

- | | |
|--|---|
| ☒ e-book (PDF) | ☐ audiobooks |
| ☐ e-book (EPUB) | ☐ audio CD / MP3 |
| ☒ ปกอ่อน | ☐ LARGE PRINT (ตัวอักษรขนาดใหญ่) |



ISBN 978-616-08-5346-5



9 786160 853465
87 บาท

คู่มือเรียน - สอบ/อาชีวศึกษา-
สาขาวิชาช่างเชื่อมโลหะ