# บทเรียนที่ 3

# ลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์

(Welding Process)
**กระบวนการเชื่อม**

# สาระสำคัญ

ลวดเชื่อมไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการเชื่อมไฟฟ้า
ด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ เพราะเป็นโลหะที่เติมให้ชิ้นงาน เกิดการประสานยึดติดกัน
ลวดเชื่อมไฟฟ้าที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์
และทางเชิงกลเทียบเท่ากับโลหะชิ้นงาน ลวดเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้กัน
ในปัจจุบันมีหลายแบบ หลายมาตรฐาน แต่ละมาตรฐานจะมีสัญลักษณ์
และแนวทางในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป
ผู้ใช้ต้องศึกษารายละเอียดในการเลือกใช้ให้ถูกต้อง
จึงจะทำให้รอยเชื่อมมีคุณภาพ

# 1. ลวดเชื่อม

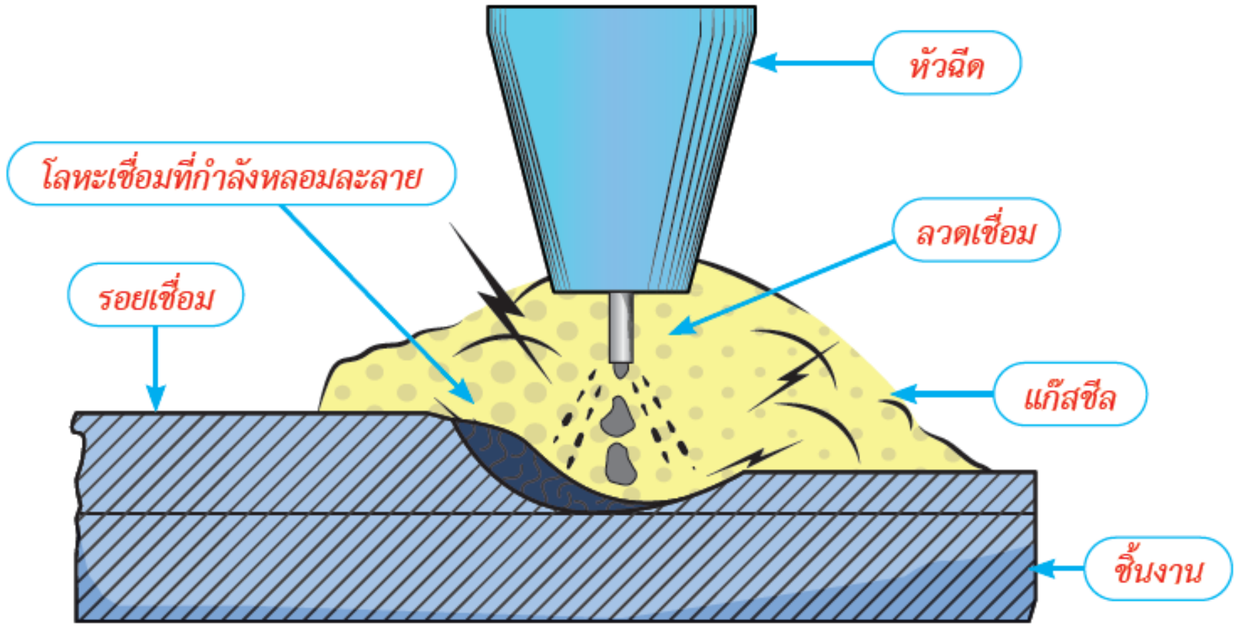
**ลวดเชื่อม คือ** โลหะเติม ที่ใช้ในการเชื่อมต่อชิ้นงานโลหะ โดยผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อหลอมละลายลวดเชื่อมรวมกับชิ้นงาน ลวดเชื่อมที่ดีต้องสามารถยึดชิ้นงานให้ติดกันอย่างแน่นหนา และมีสมบัติทางกายภาพและเชิงกลใกล้เคียงกับโลหะชิ้นงาน ลวดเชื่อมมักถูกเติมลงในรอยเชื่อมโดยอาศัยการเผาไหม้จากการอาร์กหรือแก๊ส โดยทั่วไปแล้วลวดเชื่อมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดหลักๆ

## 1.1 อิเล็กโทรด (ELECTRODE)

หมายถึง ลวดเชื่อมไฟฟ้าในกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า (Arc Welding)
และอิเล็กโทรดยังหมายถึงขั้วเชื่อมไฟฟ้าด้วย ซึ่งลวดเชื่อมจะทำาหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า
ลวดเชื่อมชนิดนี้แบ่งออกได้ 2 ชนิด ได้แก่

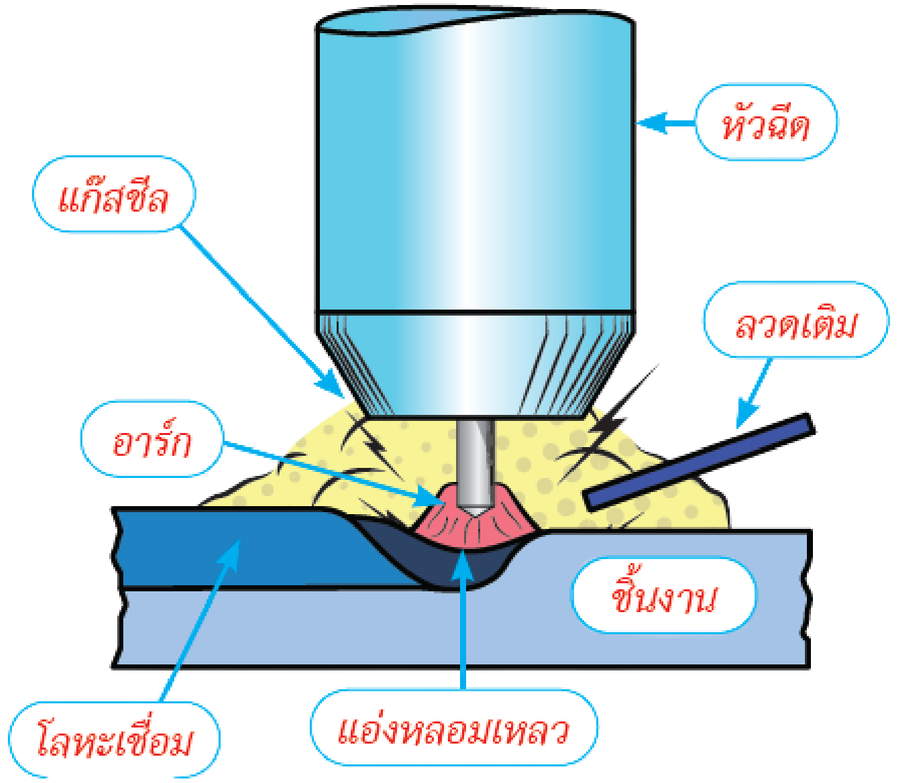
## 1.1.1 ลวดเชื่อมสิ้นเปลือง (Consumable Electrode)

ลวดเชื่อมที่ถูกหลอมเหลวไปพร้อมกับการเชื่อมนี้ ทำหน้าที่เป็นทั้งขั้วไฟฟ้าและโลหะเติมไปในตัวความร้อนจากการอาร์กจะหลอมปลายลวดเชื่อมให้รวมตัวกับรอยต่อของชิ้นงาน ลวดเชื่อมประเภทนี้มักทำจากโลหะชนิดเดียวกับชิ้นงาน เช่น ลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า หรือลวดเชื่อมในกระบวนการเชื่อมแบบมิกแมก

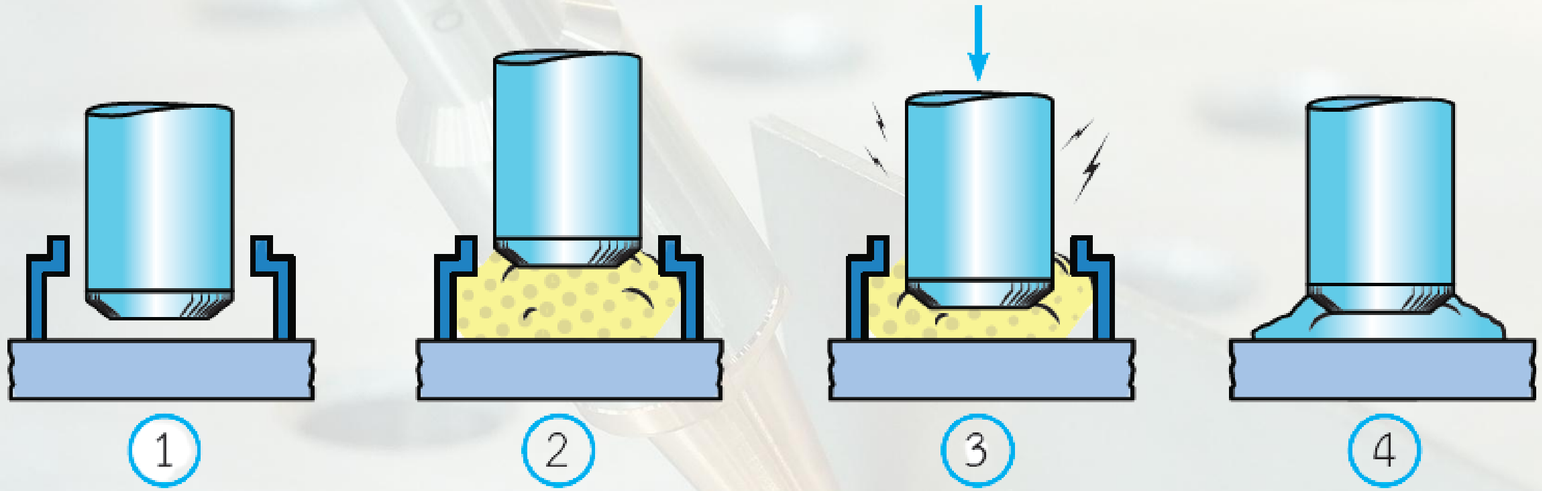


## 1.1.2 ลวดเชื่อมไม่สิ้นเปลือง (Non–Consumable Electrode)

ลวดเชื่อมบางชนิด เช่น ลวดเชื่อมทังสเตน
ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมแบบอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม
(Gas Tungsten Arc Welding)
และเชื่อมอาร์กพลาสมา (Plasma Arc Welding)
จะไม่หลอมละลายไปพร้อมกับการเชื่อม
เนื่องจากผลิตจากโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูง
และระบายความร้อนได้ดี
จึงไม่ถือเป็นโลหะเติมในกระบวนการเชื่อม.



นอกจากกระบวนการเชื่อมแบบทิก และแบบพลาสมาแล้ว ยังมีกระบวนการเชื่อมอื่นที่ใช้ลวดเชื่อมแบบไม่สิ้นเปลือง เช่น กระบวนการเชื่อมแบบความต้านทาน (Resistance Welding) ที่ใช้แท่งทองแดงผสมทำหน้าที่เป็นลวดเชื่อม เช่นเดียวกับกระบวนการเชื่อมแบบสลัก (Stud Welding) ที่ใช้แท่งโลหะเชื่อมติดกับชิ้นงาน ลักษณะการเชื่อมของการเชื่อมสลัก




1. ปลายสลักสัมผัสกับหน้าชิ้นงาน เหนี่ยวไกทำให้กระแสไหลผ่าน
2. เกิดการอาร์กปลายสลักและชิ้นงานหลอมละลาย
3. ดันสลักสู่ผิวหน้าชิ้นงานที่กำลังหลอมละลาย
4. สลักและชิ้นงานแข็งตัว

## 1.2 นอนอิเล็กโทรด (NON ELECTRODE)

ลวดเชื่อมประเภทนี้ทำหน้าที่เป็นเพียงโลหะเติมให้กับรอยเชื่อมเท่านั้น ไม่ได้เกี่ยวข้องกับขั้วไฟฟ้า ข้อดีคือสามารถรักษาคุณสมบัติของลวดเชื่อมได้อย่างดีเยี่ยม แต่ต้องระวังไม่ให้ถูกความชื้น แบ่งเป็น 2 ชนิด

### 1.2.1 ลวดเติม (Filler Rod)

คือลวดเชื่อมชนิดแท่งที่ใช้สำหรับกระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม (Gas Tungsten Arc Welding) การเชื่อมแก๊ส (Oxy–Acetylene Welding), และการเชื่อมอาร์กพลาสมา (Plasma Arc Welding)

### 1.2.2 ม้วนลวดเติม (Filler Wire)

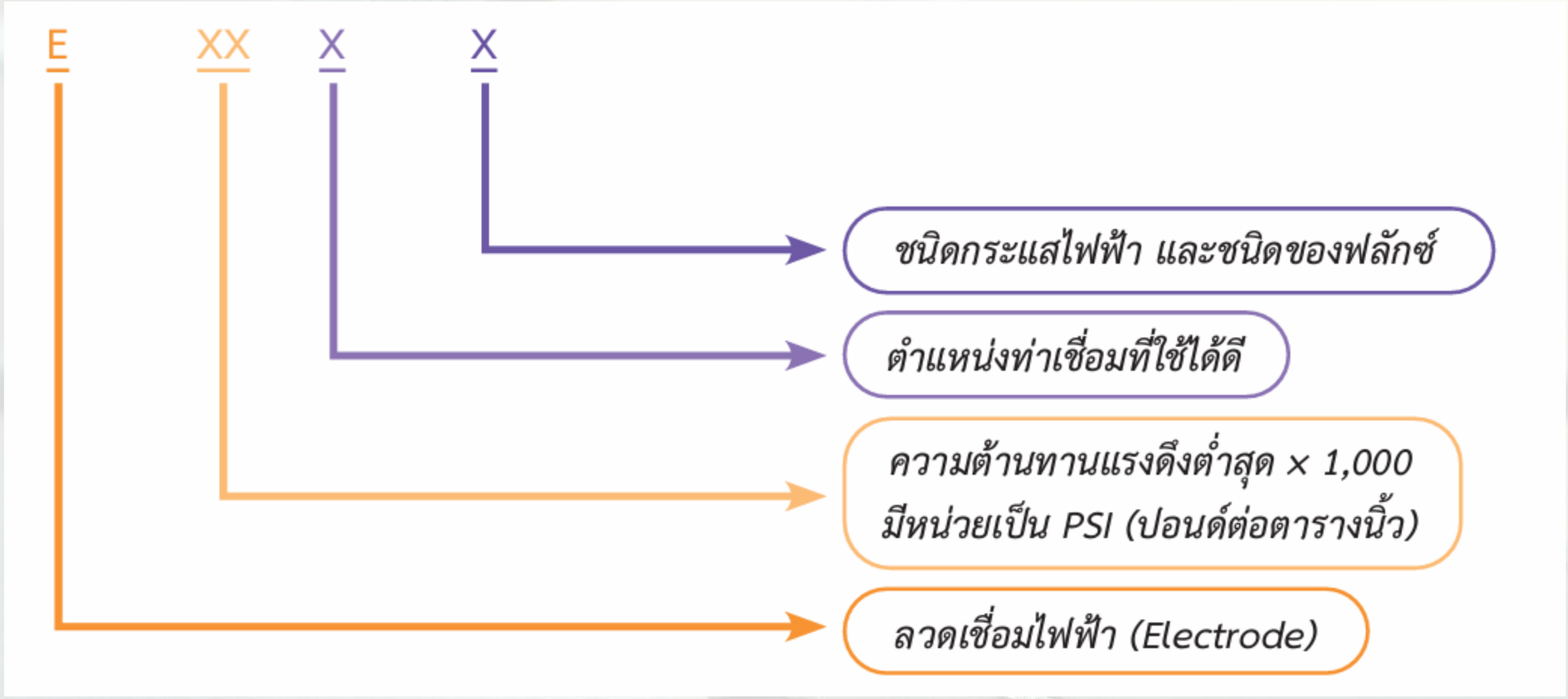
เป็นลวดเชื่อมที่เป็นเส้นลวด จะใช้กับกระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม (Gas Tungsten Arc Welding) และการเชื่อมอาร์กพลาสมา (Plasma Arc Welding)

2.

# มาตรฐานลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์

ลวดเชื่อมมีโครงสร้างหลักคือ แกนลวด ที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และ ฟลักซ์ ที่หุ้มแกนลวดไว้ โดยแกนลวดจะหลอมละลายกลายเป็นเนื้อเชื่อม ส่วนฟลักซ์ประกอบด้วยแร่ธาตุหลากหลายชนิด เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ ไมกา และแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งผสมขึ้นมาเพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษในการเชื่อมและสมบัติทางกลของรอยเชื่อมที่ดีขึ้น หากต้องการเพิ่มปริมาณเนื้อรอยเชื่อมก็สามารถเติมผงเหล็กเข้าไปในฟลักซ์ได้ ฟลักซ์จะหุ้มแกนลวดตลอดทั้งเส้น ยกเว้นส่วนหัวประมาณ 2 เซนติเมตร เพื่อใช้สำหรับจับกับหัวจับลวดเชื่อ

การกำหนดมาตรฐานของลวดเชื่อมของสมาคมการเชื่อมของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดตัวอักษร และตัวเลข ดังนี้



# 3. ประเภทของฟลักซ์หุ้ม

## 3.1 ประเภทเซลลูโลส (CELLULOSIC COVERINGS)

มีส่วนผสมของวัสดุอินทรีย์จำพวกไม้ผสม อยู่ 30% เมื่อถูกเผาไหม้
จะถูกแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปแทนที่ในอากาศบริเวณที่อาร์ก ทำาให้การอาร์กรุนแรง
มีการซึมลึกในการเชื่อมสูง สแลกบางและเคาะออกได้ง่าย แต่มีสะเก็ดเชื่อมค่อนข้างมาก
ผิวหน้าของรอยเชื่อมไม่ค่อยเรียบ แบ่งออกได้ ดังนี้

### 3.1.1 เซลลูโลส–โซเดียม (Cellulose–Sodium)

### 3.1.2 เซลลูโลส–โพแทสเซียม (Cellulose–Potassium)

## 3.2 ประเภทกรด (ACID COVERINGS)

มีส่วนผสมหลักของเหล็กออกไซด์ ซิลิเกต และออกซิเจน ผสมอยู่ปริมาณสูง
มีการซึมลึกต่ำ เคาะสแลกออกได้ง่าย มีรอยเชื่อมสม่ำเสมอดีมาก แต่ความแข็งแรงต่ำ แบ่งออกได้ ดังนี้

- **3.2.1** เหล็กออกไซด์–โซเดียม (Ferrous Oxide–Sodium)
- **3.2.2** เหล็กออกไซด์–ผงเหล็ก (Ferrous Oxide–Ferrous Powder)

## 3.3 ประเภทรูไทล์ (RUTILE COVERINGS)

มีส่วนผสมหลักของไทเทเนียมออกไซด์ ทำให้ ขี้ตะกรันไหลได้ดี
การอาร์กสม่ำเสมอใช้กันอย่างกว้างขวาง การซึมลึกปานกลาง ผิวหน้ารอยเชื่อมจะเรียบ แบ่งออกได้ ดังนี้

- **3.3.1** ไทเทเนียม–โซเดียม (Titanium–Sodium)
- **3.3.2** ไทเทเนียม–โพแทสเซียม (Titanium–Potassium)
- **3.3.3** ไทเทเนียม–ผงเหล็ก (Titanium–Ferrous Powder)

## 3.4 ประเภทด่าง (BASIC COVERINGS)

มีส่วนผสมหลักของแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมฟลูออไรด์ เหมาะสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนสูงและเหล็กกล้ากำมะถันสูง ก่อนใช้งาน ต้องนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิประมาณ 480 องศาเซลเซียส และจัดเก็บในตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะนำไปใช้ การทำเช่นนี้ช่วยลดปริมาณไฮโดรเจน ป้องกันการเกิดรูพรุนและการแตกร้าวของรอยเชื่อมได้

### 3.4.1 ไฮโดรเจนต่ำ–โซเดียม (Hydrogen–Sodium)

### 3.4.2 ไฮโดรเจนต่ำ–โพแทสเซียม (Hydrogen–Potassium)

### 3.4.3 ไฮโดรเจนต่ำ–โพแทสเซียม–ผงเหล็ก (Hydrogen–Potassium–Ferrous Powder)

## 3.5 ซิลิคอนออกไซด์ (SILICON OXIDE)

จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดขี้ตะกรันปกคลุมรอยเชื่อม การไหลตัวของขี้ตะกรันดีขึ้น และทำให้เกิดการอาร์กที่ง่าย นอกจากนี้ยังช่วยพอกหุ้มให้มีความแข็งแรง

## 3.6 แมงกานีส (MANGANESE)

การเกิดออกไซด์มีน้อย นอกจากนี้แมงกานีสออกไซด์ ทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติของขี้ตะกรันให้ไหลตัวดีขึ้น

## 3.7 เฟอร์โรแมงกานีสและเฟอร์โรซิลิคอน (FERRO MANGANESE AND FERRO SILICON)

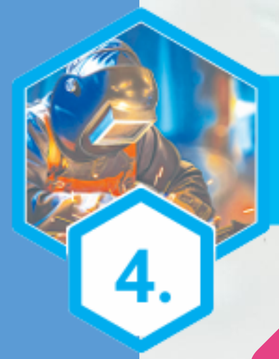
เป็นตัวลดออกไซด์ให้น้อยลง เพิ่มธาตุแมงกานีสและซิลิคอนลงในโลหะรอยเชื่อมให้มีปริมาณมากขึ้น

## 3.8 โลหะผสม

การเกิดออกไซด์มีน้อย นอกจากนี้แมงกานีสออกไซด์ ทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติของขี้ตะกรันให้ไหลตัวดีขึ้น

## 3.9 สารที่ทำหน้าที่เป็นกาว

ได้แก่ ดินเหนียวและกาว ช่วยทำให้ฟลักซ์ มีความยืดหยุ่นแตกล่อนได้ง่าย มีความแข็งแรงติดกับแกนลวดได้ดี



# 4. หน้าที่ของฟลักซ์

## 4.1 ช่วยป้องกันอากาศเข้ามารวมตัวกับรอยเชื่อม

ฟลักซ์ที่เคลือบลวดเชื่อมจะหลอมละลายเมื่อได้รับความร้อนจากการอาร์ก
กลายเป็นสแลกปกคลุมรอยเชื่อมเพื่อป้องกันไม่ให้ออกซิเจน
และไนโตรเจนในอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับโลหะหลอมเหลว ฟลักซ์คุณภาพดี
จะทำให้สแลกเคาะออกง่ายหรือหลุดล่อนเองเมื่อเย็นตัวลง
นอกจากนี้ ฟลักซ์บางชนิดยังมีส่วนผสมของสารคาร์บอเนตที่เมื่อถูกความร้อน
จะกลายเป็นแก๊สไปแทนที่อากาศบริเวณอาร์ก
ช่วยป้องกันการปนเปื้อนจากภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

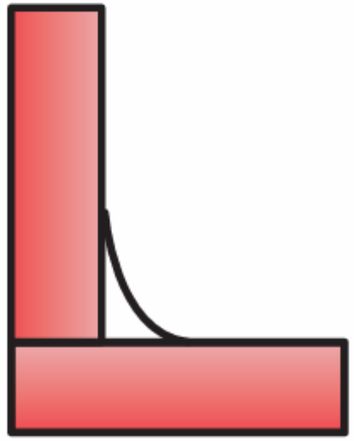
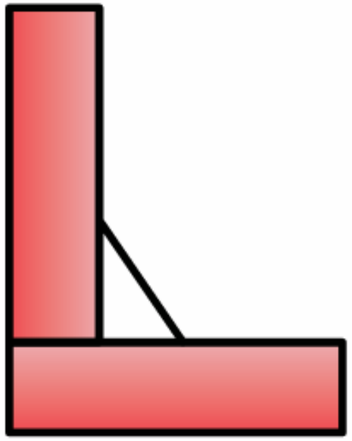
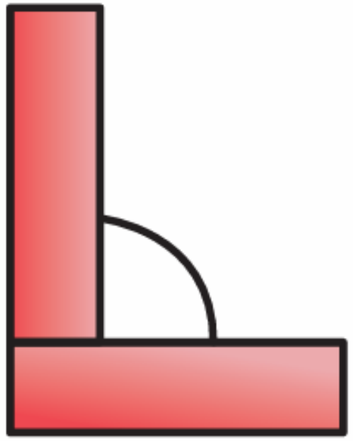
## 4.2 ควบคุมการอาร์กให้สม่ำเสมอ

ช่วยในการอาร์กได้ง่ายขึ้น เรียบสม่ำเสมอตลอดความยาวของรอยเชื่อมการอาร์ก และลำของการอาร์ก ควรอยู่ศูนย์กลางอยู่ในแนวแกนของลวดเชื่อม เช่น การเชื่อมต่อชน การเชื่อมจะต้องไม่หนีจาก แผ่นงานใด แผ่นงานหนึ่ง และในขณะเดียวกันการหลอมละลายและการถ่ายโอนน้ำโลหะ จากปลายลวดเชื่อม สู่ชิ้นงานต้องสม่ำเสมอ

ความยากง่ายของการเริ่มต้นอาร์กอยู่ที่การแตกตัวของอิออนแก๊ส เมื่อมีการแตกตัวของอิออนแก๊ส อย่างรวดเร็วทันทีทันใด ที่ช่องว่างอาร์ก (Arc Gap) ด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ ๆ การเริ่มต้นอาร์กที่ง่าย การแตกตัวของอิออนแก๊สจะดี เมื่อฟลักซ์มีส่วนผสมของไทเทเนียมไดออกไซด์ โพแทสเซียมซิลิเกต และแคลเซียมคาร์บอเนต

## 4.3 การควบคุมรูปร่างรอยเชื่อม

รูปร่างของรอยเชื่อมขึ้นอยู่กับความตึงผิวของน้ำโลหะบริเวณบ่อหลอม ถ้าความตึงผิวสูงไป รอยเชื่อมจะนูนและซึมลึกได้ไม่ดี แต่ถ้าความตึงผิวต่ำไป น้ำโลหะจะไหลคลุมผิวหน้าทำให้ควบคุมขนาดและรูปร่างของรอยเชื่อมยาก ปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ผสมอยู่ในฟลักซ์หุ้ม มีผลต่อความตึงผิวของน้ำโลหะนี้โดยตรง

| ปริมาณแก๊สออกซิเจน | สูง | ปานกลาง | ต่ำ |
|---|---|---|---|
| ความตึงผิวน้ำโลหะ | สูง | ปานกลาง | ต่ำ |
| *รูปร่างรอยเชื่อมฟิลเลตแนวระดับ* |  *รอยเชื่อมฟิลเลตเว้า* |  *รอยเชื่อมฟิลเลตราบ* |  *รอยเชื่อมฟิลเลตนูน* |

## 4.4 ความสามารถในการควบคุมส่วนผสมของธาตุ

### 4.4.1 ธาตุลดออกซิเจน (Deoxidation)

เมื่อโลหะหลอมละลายจากการอาร์ก ปริมาณออกซิเจนและฟองแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จำนวนมากอาจถูกกักเก็บไว้ในรอยเชื่อม ทำให้เกิดรูพรุน (Porosity) ซึ่งส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม เพื่อป้องกันปัญหานี้ จึงต้องเติมธาตุลดออกซิเจน ลงไป สำหรับเหล็กกล้า ธาตุที่นิยมใช้คือ แมงกานีส และซิลิคอน ส่วนการเชื่อมทองแดงจะใช้ ฟอสฟอรัส และ สังกะสี เป็นธาตุลดออกซิเจน

### 4.4.2 ธาตุผสม (Alloying)

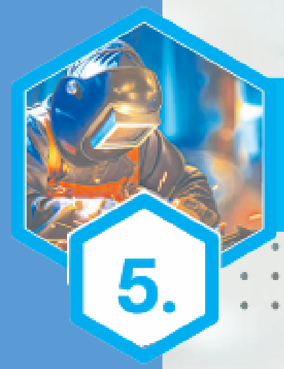
จะเป็นตัวเพิ่มสมบัติของลวดเชื่อมให้เหมือนกับส่วนผสมของรอยเชื่อม และต้องแน่ใจว่าธาตุผสมในแกนลวดเชื่อมนั้นจะไม่สูญเสียไปกับการอาร์ก ลวดเชื่อมบางชนิด หากเติมธาตุผสม จะมีราคาสูง จึงใช้วิธีเติมลงในฟลักซ์หุ้ม เมื่อเชื่อมก็สามารถ เพิ่มธาตุที่ต้องการลงในรอยเชื่อมได้เช่นกัน

## 4.4.3 สารมลทิน (Contamination)

ฟลักซ์ที่หุ้มลวดเชื่อมนั้น แม้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของรอยเชื่อม แต่ก็อาจนำไปสู่ปัญหาได้ โดยเฉพาะความชื้นที่ฟลักซ์ดูดซับไว้สามารถเปลี่ยนเป็นแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งทำให้รอยเชื่อมแตกร้าวได้ง่าย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำลวดเชื่อมไปอบไล่ความชื้นก่อนใช้งาน นอกจากนี้ สิ่งเจือปน เช่น น้ำมัน จาระบี และการดูดซับควันฟอสฟอรัส ก็สามารถส่งผลกระทบต่อรอยเชื่อมได้เช่นกัน ทั้งนี้ คุณสมบัติและหน้าที่หลักรองของฟลักซ์จะแตกต่างกันไปตามชนิดของฟลักซ์นั้นๆ

**ตัวอย่างหน้าที่หลักและหน้าที่รองของฟลักซ์หุ้ม**

| ชนิดของฟลักซ์ | หน้าที่หลัก | หน้าที่รอง |
|---|---|---|
| *เหล็กออกไซด์* | *เกิดสแลก* | *อาร์กสม่ำเสมอ* |
| *ไทเทเนียม* | *เกิดสแลก* | *อาร์กสม่ำเสมอ* |
| *แมกนีเซียมออกไซด์* | *ตัวกระทำของฟลักซ์* | |
| *แคลเซียมฟลูออไรด์* | *เกิดสแลก* | *ตัวกระทำของฟลักซ์ (1)* |
| *ซิลิเกตอื่น ๆ* | *เกิดสแลกและตัวยึดเกาะ* | *ตัวกระทำของฟลักซ์ (1)* |



# 5. อิทธิพลของฟลักซ์ต่อคุณภาพรอยเชื่อม

| ชนิดของฟลักซ์หุ้ม | คุณภาพของรอยเชื่อม |
|---|---|
| กรดไทเทเนียม | ขี้ตะกรันกำจัดได้ง่าย น้ำโลหะละเอียด หยาบปานกลาง การซึมลึกปานกลาง การประสานรอยเชื่อมดีมาก |
| กรดแร่ | น้ำโลหะเล็ก เคาะขี้ตะกรันออกง่าย |
| ออกไซด์ เหล็กออกไซด์ | เม็ดโลหะละเอียด มีใช้กับงานน้อยมาก |
| ด่างหินปูนแคลเซียมหรือคาร์บอเนตและฟลูออร์สปาร์ | น้ำโลหะหยาบถึงปานกลาง การซึมลึกดี รอยเชื่อมนูนเล็กน้อย เกล็ดหยาบปานกลาง เคาะขี้ตะกรันง่าย |
| เซลลูโลสและสารประกอบออร์แกนิก | น้ำโลหะหยาบถึงปานกลาง ประสานรอยเชื่อมดี ขี้ตะกรันน้อย เคาะขี้ตะกรันง่าย การซึมลึกดี |
| ไทเทเนียมออกไซด์ | รอยเชื่อมแบนและนูนเล็กน้อย เกล็ดรอยละเอียดหยาบถึงปานกลาง |
| แร่ซิลิเกตและเฟอร์โรแมงกานีส | การซึมลึกดี การประสานรอยต่อดี รอยเว้า เกล็ดรอยละเอียดมาก |
| ผงเหล็ก | การซึมลึกดีถึงลึกมาก เม็ดโลหะละเอียด การประสานรอยเชื่อมไม่ดี |
| ชนิดพิเศษ | สมบัติของสารพอกหุ้มแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดแกนลวด ฟลักซ์หุ้มจะมีตั้งแต่ไทเทเนียมถึงเซลลูโลส |

# 6. การเก็บรักษาลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์

ผู้เชื่อมควรปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์อย่างเคร่งครัด โดยเฉพาะเรื่องกระแสไฟฟ้า ท่าเชื่อม และการเตรียมชิ้นงาน เพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่มีคุณภาพ ห้ามใช้ลวดเชื่อมที่หมดอายุหรือมีความชื้น เช่น ลวดเชื่อมไฮโดรเจนต่ำชื้น อาจทำให้เกิดรูพรุนหรือรอยร้าวได้

ดังนั้น การเก็บรักษาลวดเชื่อมจึงสำคัญมาก ควรเก็บในที่มิดชิด ป้องกันอากาศและความชื้น อุณหภูมิในการจัดเก็บจะแตกต่างกัน ไปตามชนิดของลวดเชื่อม และเพื่อให้รอยเชื่อม มีคุณภาพดีที่สุด ควรอบลวดเชื่อมในตู้อบก่อนนำไปใช้งาน