

## โครงการวิจัย

การวิจัยศึกษาอิทธิพลของความร้อนที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงาน  
ด้วยเหล็กเกรด 304 จากกระบวนการเชื่อมมิก

## วิจัยโดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรินทร์ น่วมทิม

อาจารย์อนุชา ขวัญสุข

นางสาวปิยะมาศ นวลเคน

คณะ วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๗

## บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมมีความเจริญก้าวหน้าเป็นอย่างมาก ด้านเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีด้านการเชื่อมมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการผลิต ในกระบวนการผลิตงานเชื่อมทางด้านโครงสร้างเหล็กที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งในกระบวนการเชื่อมต้องใช้ความร้อนสูงมากกว่า 1500 องศาเซลเซียส จึงมักจะประสบปัญหาการเสียรูปของชิ้นงานอันเนื่องมาจากการหดตัวของเหล็ก เป็นผลทำให้กระทบต่อคุณภาพของงานเชื่อม จะต้องมีการกำหนดขนาดที่เผื่อไว้

จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกิดขึ้นได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อม MIG จึงได้การศึกษาทดลองเกี่ยวกับ วิธีการเชื่อมต่อเนื่องจนกว่าจะเชื่อมเสร็จตามลำดับของแนวเชื่อม ในความหนาของชิ้นงานทดลองแต่ละชิ้นงาน ตั้งแต่ความหนา 4, 6, 9 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ซึ่งในการทดลองจะใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ ประมาณ 184 แอมป์ โดยใช้ลวดเชื่อม ขนาด 1.2 มม. ในการเชื่อมซึ่งชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ขนาด เพื่อการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางการหดตัวของชิ้นงานทดสอบแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล

ผลที่ได้รับจากการทดสอบผลปรากฏว่า ค่าการหดตัวของชิ้นทดสอบที่แตกต่างกันทั้ง 3 ขนาด จะมีค่าการหดตัวของความหนาที่ 4 มม. มีค่าการหดตัวข้างละ 0.17 มม. ที่ความหนา 6 มม. มีค่าการหดตัวข้างละ 0.69 มม. และ 9 มม. มีค่าการหดตัวข้างละ 0.34 มม. จะค่าที่แตกต่างกัน ที่ผู้ที่ออกแบบงานเชื่อมที่ต้องมีการเผื่อค่าการหดตัวของชิ้นงานเหล็กเกรด 304 เพื่อไม่ให้เกิดค่าความเค้นตกค้างหลังการเชื่อมชิ้นงานได้ต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องในการวิจัย และให้ข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างดี ขอขอบคุณอาจารย์ และนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่ช่วยในการดำเนินการวิจัยและเก็บข้อมูล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ทำให้การวิจัยคุณสมบัติทางกลด้านการหดตัวของชิ้นงานด้วยเหล็กเกรด 304 จากกระบวนการเชื่อมมิก สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนทุนงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่สังคม ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างมากจึงขอกราบขอขอบพระคุณและจารึกไว้ในโอกาสนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรินทร์ น่วมทิม  
อาจารย์อนุชา ขวัญสุข  
นางสาวปิยะมาศ นวลเคน

## สารบัญ

|                                                              | หน้า |
|--------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อ                                                     | ก    |
| กิตติกรรมประกาศ                                              | ข    |
| สารบัญ                                                       | ค    |
| บทที่ 1 บทนำ                                                 | 1    |
| 1.1 ความสำคัญของปัญหา                                        | 1    |
| 1.2 จุดประสงค์ของโครงการ                                     | 1    |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ                                         | 2    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                | 2    |
| บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่สำคัญ                               |      |
| 2.1 กรรมวิธีการเลือกองค์ประกอบการให้ความร้อน                 | 3    |
| 2.2 การให้ความร้อนเกี่ยวกับงานเชื่อม                         | 11   |
| 2.3 องค์ประกอบขณะทำการเชื่อม เวลาการเย็นตัว และการนำไปใช้งาน | 24   |
| 2.4 ทฤษฎีที่สำคัญ                                            | 36   |
| บทที่ 3 การดำเนินโครงการ                                     |      |
| 3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง                          | 52   |
| 3.2 จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์                                 | 52   |
| 3.3 การดำเนินงานและการทดสอบ                                  | 52   |
| 3.4 การหาประสิทธิภาพของชิ้นงานทดสอบ                          | 55   |
| บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและประเมินผล                       |      |
| 4.1 ผลการทดลอง                                               | 57   |
| บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ                      |      |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง                                           | 60   |
| 5.2 อภิปรายผลการทดลอง                                        | 60   |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ                                               | 61   |
| บรรณานุกรม                                                   | 62   |

## บทที่1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมมีความเจริญก้าวหน้าเป็นอย่างมาก ด้านเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีด้านการเชื่อมมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการผลิต ในด้านการประกอบชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ในงานอุตสาหกรรม จึงต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีงาน เชื่อมมาใช้ในงานอุตสาหกรรมให้เหมาะสมกับสภาพของงาน และข้อจำกัดในการเชื่อมที่ส่งผลกระทบในด้านต่างๆ เพราะงานเชื่อมเป็นกระบวนการที่ทำให้โลหะเกิดการประสานติดกันทางด้านโลหะวิทยาโดยใช้พลังงานให้เกิดความร้อน ซึ่งชิ้นงานจะเกิดการหลอมละลายติดกัน กระบวนการเชื่อมมีอยู่หลาย วิธี ในการเลือกใช้กระบวนการเชื่อมนั้นจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการผลิตในงานอุตสาหกรรม นั้นๆ โลหะเป็นปัจจัยหลักอย่างหนึ่งในการเลือกกระบวนการเชื่อม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมในการผลิตที่ใช้ชิ้นส่วนที่ทำจากอลูมิเนียมซึ่งมีมากมาย อาทิเช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ กระจกของรถบรรทุก ท่อน้ำขึ้นส่วนอวกาศยาน อุตสาหกรรมต่อเรือ กรอบประตูหน้าต่าง ตลอดจนงานโครงสร้างที่ต้องใช้กระบวนการเชื่อมที่มีคุณภาพ เป็นต้น ในกระบวนการผลิตงานเชื่อมทางด้านโครงสร้างหลักที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งในกระบวนการเชื่อมต้องใช้ความร้อนสูงมากกว่า1500 องศา C จึงมักจะประสบปัญหาการเสียรูปของชิ้นงานอันเนื่องมาจากการหดตัวของเหล็ก ส่งผลทำให้ขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน มีความผิดพลาด จากที่ต้องการเป็นผลทำให้กระทบต่อคุณภาพของงานเชื่อม โดยธรรมชาติแล้วเมื่อโลหะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวมาเป็นของแข็งจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรหรือความหนาแน่นเกิดขึ้น

ด้วยเหตุข้างต้นนี้จึงนำมาเป็นปัญหาในการทำวิจัย ในการศึกษาถึงคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมมิก ว่าเมื่อผ่านการเชื่อมแล้วชิ้นงานจะมีการหดตัวและเสียรูปร่าง โดยใช้เหล็กเกรดสแตนเลส 304 ขนาด 200 x 400 มิลลิเมตร. หนา 4,6,9 มิลลิเมตร เพื่อให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรมได้จริง ในการรองรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมในอนาคตที่มีแนวโน้มจะใช้ในการผลิตภายในประเทศ และเป็นข้อมูลสำหรับการทำศึกษาวิจัยอีกต่อไป

ดังนั้นในการวิจัยศึกษาอิทธิพลของความร้อนที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานด้วยเหล็กเกรดสแตนเลส 304 จากกระบวนการเชื่อมมิก ก็เป็นการศึกษาเพื่อการแก้ไขปัญหาของแนวเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมมิกเพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่สมบูรณ์ และเหมาะสมกับการใช้งานต่อไป

#### 1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกล ด้านการหดตัวของชิ้นงานด้วยเหล็กเกรดสแตนเลส 304 จากกระบวนการเชื่อมมิก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานด้วยเหล็กเกรดสแตนเลส 304 ที่มีความหนาต่างกัน จากกระบวนการเชื่อมมิก

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา
  - 1.3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองใช้เหล็กแผ่นสแตนเลส 304 ขนาด 200 x 400 มม. หนา 4,6,9 มิลลิเมตร
  - 1.3.1.2 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบต่อชนบากหน้างานด้านเดียว
  - 1.3.1.3 ใช้การเชื่อมแบบต่อชน โดยไม่เติมลวดเชื่อม
  - 1.3.1.4 การทดลองคุณสมบัติทางกล โดยใช้การวัดค่าการหดตัวของชิ้นงานทั้งทางด้านกว้างและด้านยาว
  - 1.3.1.5 ในการทดลองผู้วิจัยใช้ค่าพารามิเตอร์เดียวกันทั้ง 3 ชนิดความหนา

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกล ด้านการหดตัวของชิ้นงานด้วยเหล็กเกรดสแตนเลส 304 จากกระบวนการเชื่อมมิก
- 1.4.2 ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานด้วยเหล็กเกรดสแตนเลส 304 ที่มีความหนาต่างกัน จากกระบวนการเชื่อมมิก
- 1.4.3 ได้นำผลการวิจัยไปเผยแพร่กับหน่วยงานต่างๆ
- 1.4.4 ได้นำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ไปใช้ในการเรียนการสอนในรายวิชาเทคโนโลยีการเชื่อม 1 และ 2 ต่อไป

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่สำคัญ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎีของการวิจัยคุณสมบัติทางกลด้านการหดตัวของชิ้นงานด้วยเหล็กเกรด 304 จากกระบวนการเชื่อมมิกโดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.1กรรมวิธีการเลือกองค์ประกอบการให้ความร้อน

การเลือกกระบวนการเชื่อมสำหรับการผลิตงานเชื่อมสิ่งสำคัญประการแรกที่ต้องพิจารณาคือความสามารถของกระบวนการที่จะทำให้งานเชื่อมมีคุณรูปตามต้องการและประหยัดที่สุด ซึ่งองค์ประกอบของค่าใช้จ่ายเฉพาะค่าใช้จ่ายในด้านการทำงานเท่านั้น แต่รวมถึงความสิ้นเปลืองของกระบวนการต่าง ๆ เช่นงานประกอบที่ต้องเชื่อมแนวตรงชนิดต่อฉาก โดยกระบวนการเชื่อมได้

ฟลักซ์ ซึ่งเป็นกระบวนการเชื่อมที่เป็นประโยชน์สูงสุด และค่าใช้จ่ายต่ำ แนวเชื่อมมีคุณรูป แต่ถ้าจำนวนของงานเชื่อมมีจำนวนน้อย ก็ไม่เหมาะสมกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากค่าอุปกรณ์ เช่น เครื่องเชื่อมและอุปกรณ์วัสดุที่ใช้ในการเชื่อม เป็นต้นดังนั้นจึงต้องเลือกกระบวนการเชื่อมอื่น นี่คือการเริ่มต้นของการเลือกกระบวนการเชื่อม

งานเชื่อมมีข้อจำกัดหลายอย่าง ตั้งแต่โลหะที่นำมาเชื่อมจำนวนที่ต้องเชื่อม ความยาวแนวเชื่อมรูปแบบของรอยต่อ การเตรียมรอยต่อ คุณรูปที่กำหนด การประกอบ การกำหนดตำแหน่งท่าเชื่อม การเลือกกระบวนการเชื่อม การกำหนดตำแหน่งท่าเชื่อมของการเชื่อมประกอบ องค์ประกอบและข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้จะเป็นผลต่อการเลือกกระบวนการ โดยงานจะเป็นตัวบอกว่าจะต้องเชื่อมโลหะอะไรถ้าโลหะที่จะเชื่อมเป็นเหล็กกล้าก็มีกระบวนการเชื่อมต่าง ๆ ให้เลือกไว้กว้างขวางแต่ถ้าโลหะงานที่นำมาเชื่อมเป็นอลูมิเนียมหรือแมกนีเซียม กระบวนการที่ควรเลือกจะต้องเป็นการเชื่อมทิก(TIG) หรือการเชื่อมมิก(MIG) โดยเฉพาะสำหรับการเชื่อมที่ต้องการคุณสมบัติของแนวเชื่อมสูง ในการเชื่อมเหล็กกล้าผสมสูง หรือที่ทนต่อ

การกัดกร่อน แต่พบว่ากระบวนการเชื่อม (TIG) จะเป็นกระบวนการเชื่อมที่ให้แนวเชื่อมที่มีคุณสมบัติดีกว่า แต่ต้องใช้เวลาในการปฏิบัติงานกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมมิก(MIG) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเชื่อมชิ้นงานที่ละจำนวนมาก (Mass Production) แต่ต้องมีความหนาแน่นน้อยมักจะใช้กระบวนการเชื่อมทิก (TIG)

ถ้าโลหะที่จะเชื่อมเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าผสมต่ำ การเลือกกระบวนการเชื่อมก็ค่อนข้างจะยาก เพราะสามารถใช้กระบวนการเชื่อมได้หลายกระบวนการ รวมถึงกระบวนการเชื่อมกรรมวิธีโดยอัตโนมัติ การเชื่อมแนวขนาดใหญ่และความยาวแนวเชื่อมมากและรอยต่อหลาย ๆ แบบที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของแต่ละรอยต่อเช่นปริมาตรของแนวเชื่อมที่ต้องเชื่อม (Fill) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม (Follow) รอยต่อที่ต้องควบคุมการแข็งตัวของแนวเชื่อมขณะทำการเชื่อม (Freeze) และการละลายลึกของแนวเชื่อมถึงชิ้นงาน (Penetration) กระบวนการเชื่อมอาจถูกกำหนด โดยชนิดของโลหะที่นำมาเชื่อม เช่น อลูมิเนียม แมกนีเซียม ทองแดง ดิตาเนียม หรือโลหะ นอกกลุ่มเหล็ก งานเชื่อมโลหะโครงสร้างเหล็กกล้าเป็นงานที่มีมาก การเลือกกระบวนการเชื่อมชนิดที่เป็นแมคคานิค หรือระบบกึ่งอัตโนมัติ จะถูกนำมาใช้งานและก็มีข้อจำกัดเกี่ยวกับตำแหน่งทำเชื่อมและบางครั้งต้องใช้อุปกรณ์ประกอบมาทำให้ค่าใช้จ่ายในงานเชื่อมสูง

องค์ประกอบที่จำเป็นในการเลือกกระบวนการเชื่อม

2.1.1 พิจารณารอยต่อที่นำมาเชื่อมในเชิงเศรษฐศาสตร์ การลดค่าใช้จ่ายในการเชื่อมเป็นจุดประสงค์ที่ต้องคำนึงถึงประการแรก 4 ประการ ดังต่อไปนี้

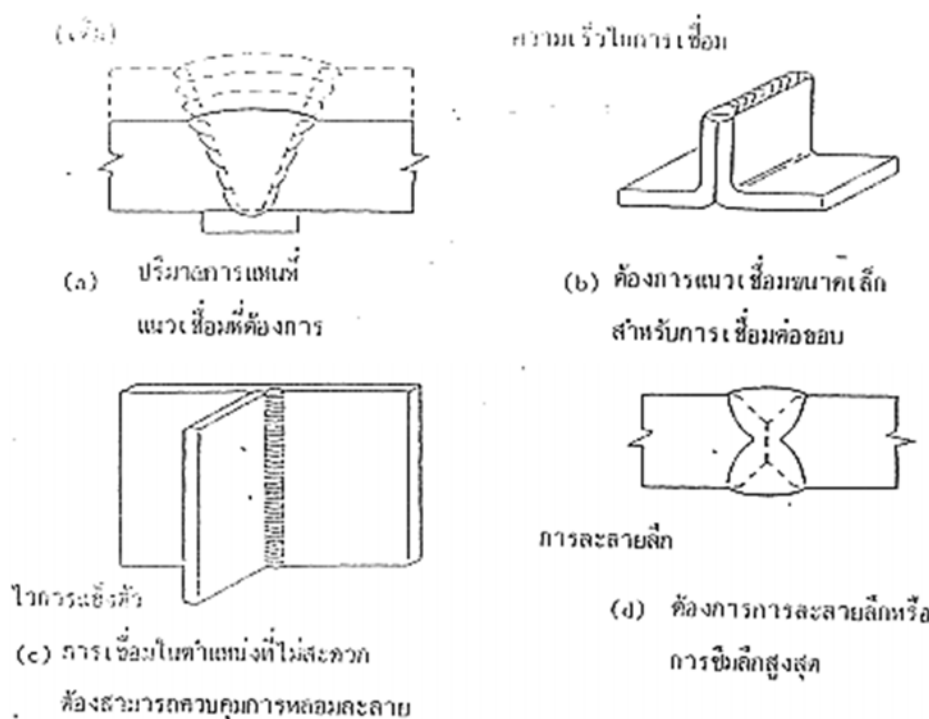
1. อัตราการหลอมละลายสูง (Fast Fill) อัตราการหลอมละลายสูงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการเชื่อมงานที่มีความหนา และใช้เวลาในการเชื่อมน้อย แต่อัตราการหลอมละลายจะเป็นข้อพิจารณารอง ในกรณีที่แนวเชื่อมมีขนาดเล็ก

2. ตำแหน่งที่เชื่อมต้องอยู่ในตำแหน่งที่สามารถทำงานได้สะดวก ไม่อยู่ในตำแหน่งเหนือศีรษะ หรือทำตั้ง (Fast Freeze) ในกรณีรอยเชื่อมไม่อยู่ในตำแหน่งที่สะดวกในการทำงาน เช่น ตำแหน่งเหนือศีรษะ ที่ตั้ง ความจำเป็นที่ให้อัตราการหลอมละลายแนวเชื่อมมีกระบวนการแข็งตัวที่เร็วเพื่อให้แนวเชื่อมมีรูปร่างลักษณะสมบูรณ์และละลายลึก



3. แนวเชื่อมต้องไม่กว้างมาก หมายถึง ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมสูง (Fast Follow) หมายถึง ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมโดยแนวเชื่อมมีรูปร่างดีอย่างต่อเนื่อง หรืออีกความหมายหนึ่งก็คือการเชื่อมแนวเดียวโดยไม่สายลวดเชื่อม เช่นการเชื่อมงานแผ่นโลหะบาง

4. การละลายลึกดี (Penetration) การละลายลึกขึ้นอยู่กับลักษณะของรอยต่อ การละลายลึกต้องมีการละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ระหว่างแนวเชื่อมกับโลหะ ชิ้นงานโดยปราศจากการแตกร้าวและทะลุ

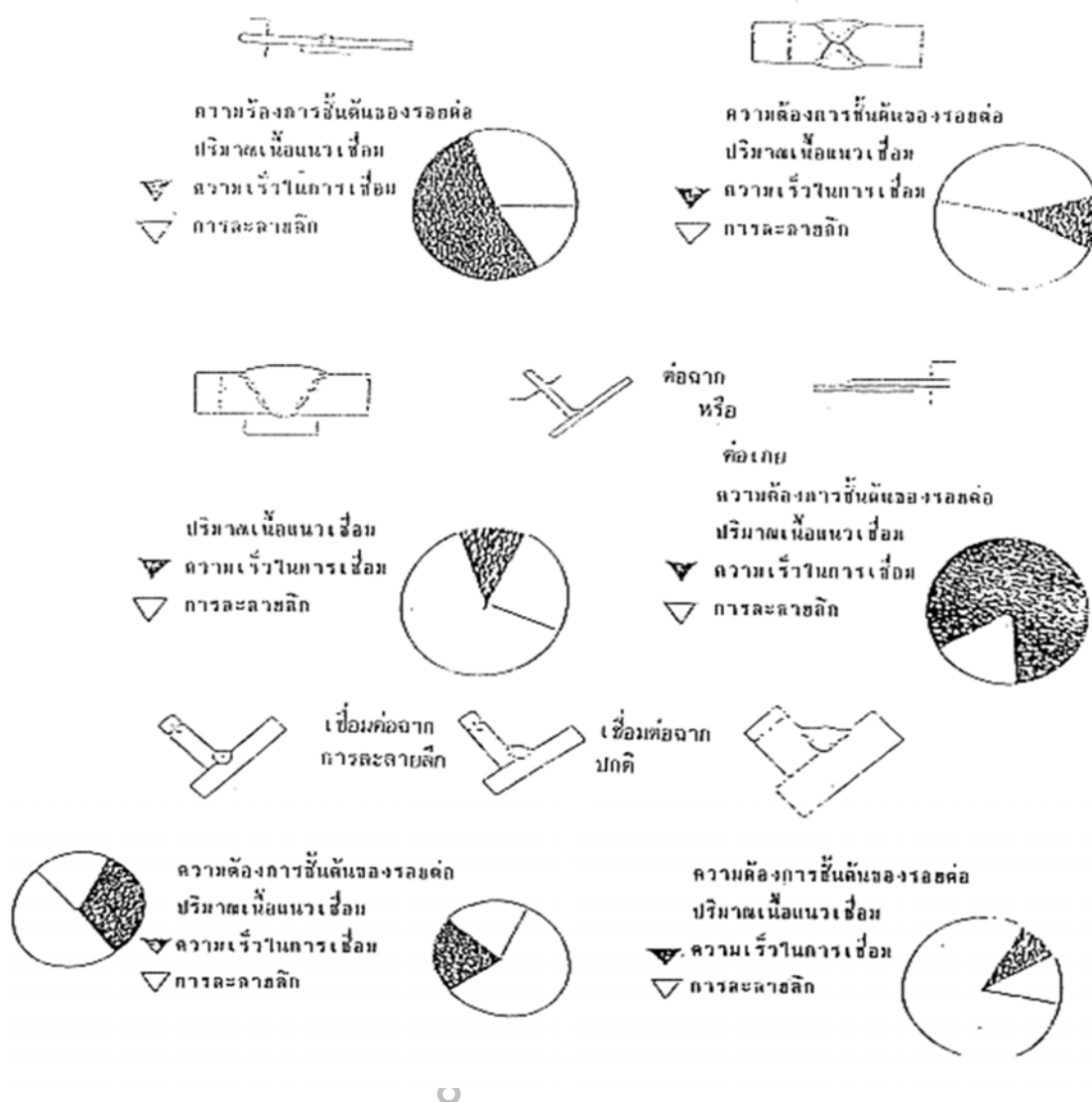


รูปที่ 2.1 ความเร็วในการเชื่อม

จากรูปรูปที่ 2.1 เห็นได้ว่าใน 3 กรณีแรกจะต้องการความรวดเร็ว เพื่อประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนในกรณีที่ 4 คือการละลายลึกนั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการละลายลึกหรือตัน ขึ้นอยู่กับรอยต่อ และการนำไปใช้งาน

ในรูป (a) เห็นได้ว่าต้องเติมแนวเชื่อมให้ได้ปริมาตรตามร่องเชื่อมที่เตรียมไว้ สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือ เลือกกระบวนการเชื่อมอะไรก็ตามที่ให้อัตราการหลอมละลายสูง แต่ก็ต้องคำนึงถึงอีก 3 กรณีหลังด้วย ในรูปที่ (b) แนวเชื่อมต้องมีขนาดเล็กที่สุดตามความหนาของชิ้นงานเชื่อมดังนั้น จึงต้องเลือกกระบวนการเชื่อมที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่แนวเชื่อมสูง รูป (c) ตำแหน่งท่าเชื่อมเป็นสิ่งหนึ่งในการเลือกกระบวนการเชื่อม เพราะบางกระบวนการเชื่อมไม่สามารถปฏิบัติการเชื่อมในท่าเชื่อมตำแหน่งต่าง ๆ ได้ทุกตำแหน่ง เช่น กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ รูป 4 การละลายลึกเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ เป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้การละลายลึกสูง รอยต่อส่วนใหญ่แล้วจะมีความต้องการใน 3 องค์ประกอบ จากการวิเคราะห์หาความสำคัญขององค์ประกอบตามน้ำหนักของความต้องการพิจารณาเลือกกระบวนการเชื่อมแสดงในรูปต่อไปนี้

สวพ.  
มทร.สุวรรณภูมิ

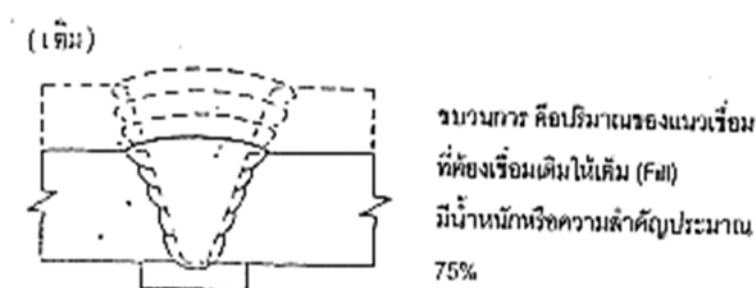


รูปที่ 2.2 แผนรูปวงกลมแสดงความต้องการพื้นฐานสำคัญ

ของความต้องการสำหรับรอยต่อ

2.1.2 พิจารณาความต้องการของรอยต่อเข้าด้วยกันเพื่อเลือกกระบวนการเชื่อมที่เหมาะสม อัตราการหลอมละลายและความเร็วของการเคลื่อนที่แนวเชื่อม(Arc Speed) ของแต่ละกระบวนการสามารถรู้ได้

โดยทั่วไป ส่วนการละลายลิกของแนวเชื่อมที่มีความสัมพันธ์กับกระแสที่ใช้เชื่อมแต่ความหนาของชิ้นงานก็เป็นผลกับการละลายลิกด้วย ประสบการณ์ในการปฏิบัติงานจะมีส่วนในการตัดสินใจเลือกกระบวนการเชื่อมได้อย่างเหมาะสม ตัวอย่างเช่น ในการเชื่อมงานหนาจากรูปตัวอย่างจะเห็นได้ว่าเป็นความสำคัญของการเลือก



รูปที่ 2.3 ปริมาณของแนวเชื่อมที่ต้องเชื่อมเต็มให้เต็ม

ส่วนการละลายลิกมีความสำคัญประมาณ 20% อีก 5% ที่เหลือคืออัตราความเร็วการเดินแนวเชื่อม การเชื่อมให้แนวเชื่อมเต็มร่องเชื่อมได้เร็วที่สุดเป็นตัวประกอบแรกที่ต้องคิดถึง กระบวนการเชื่อมที่สามารถเชื่อมได้เร็วก็คือ กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์(SAW) และกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมแกนบรรจุฟลักซ์(FCAW)แต่กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์นี้มีการละลายลิกสูง วิศวกรการเชื่อมต้องเป็นผู้พิจารณาในความเป็นไปได้ ในการปรับให้การเย็นของลวดเชื่อมไหลจากท่อนำลวดให้ยาวมากขึ้นในกระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ซึ่งจะทำให้ลดการละลายลิกให้น้อยลงขณะที่เพิ่มอัตราการหลอมละลายตัวประกอบอื่นนอกจากข้อมูลของอัตราการหลอมละลายแล้วอุปกรณ์ต่าง ๆ คุณลักษณะกำหนดเฉพาะของงาน คุณสมบัติของช่างเชื่อม ต่างก็มีบทบาทต่อการเลือกกระบวนการเชื่อม

2.1.3 องค์ประกอบอื่นๆ ที่นอกจากสิ่งที่กล่าวมาแล้วข้างต้นอาจทำให้ไม่สามารถตัดสินใจได้อย่างมั่นใจควรกำหนดรายการของตัวประกอบการต่าง ๆ เพื่อประกอบการตัดสินใจ ดังมีรายการต่อไปนี้คือ

1. ปริมาณของผลิตภัณฑ์ต้องมีจำนวนเพียงพอที่คุ้มต่อราคาของอุปกรณ์ ต้องเพิ่มขึ้นในกระบวนการที่จะเลือก ถ้าปริมาณของผลิตภัณฑ์มีไม่มากพอก็อาจพิจารณากระบวนการเชื่อมที่เหมาะสมลงมา

2. คุณสมบัติเฉพาะของแนวเชื่อม กระบวนการเชื่อมที่พิจารณาแล้วว่าเหมาะสมในด้าน  
ราคาการผลิตผลิตภัณฑ์แต่อาจไม่เป็นผลเพราะคุณสมบัติของแนวเชื่อมไม่ได้มาตรฐานที่กำหนดของ  
มาตรฐาน

3. ทักษะของผู้ปฏิบัติงาน การนำกระบวนการเชื่อมใหม่ เช่น กระบวนการเชื่อมที่เป็น  
กึ่งอัตโนมัติมาแทนกระบวนการเชื่อมที่ใช้มือควบคุม (Manual) ต้องคำนึงถึงทักษะความสามารถของ  
ผู้ปฏิบัติงาน จำเป็นต้องให้การฝึกและอบรมเพื่อพัฒนาทักษะให้สามารถปฏิบัติงานด้วยกระบวนการเชื่อมใหม่  
เร็วกว่ากระบวนการเชื่อมเดิม ค่าใช้จ่ายด้านการอบรมอุปกรณ์ที่ต้องเพิ่มเติมจากเดิม เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงว่า  
มีปริมาณของงานเพียงพอกับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นหรือไม่

4. อุปกรณ์ที่ช่วยในการทำงานทุกกระบวนการเชื่อม จะต้องพูดถึงแหล่งต้นกำลัง เช่น  
เครื่องเชื่อม และอุปกรณ์ที่ช่วยในการทำงานให้สะดวกมากขึ้น ถ้ากระบวนการเชื่อมที่เลือกจำเป็นต้องใช้  
อุปกรณ์ช่วยในการทำงานมากก็ทำให้ราคาและค่าใช้จ่ายของกระบวนการสูงขึ้น

5. อุปกรณ์ประกอบสิ่งจำเป็น ได้แก่ ค้อนเคาะตะกรันหรือกำจัดสแลคสก็ดมีด้ามอุปกรณ์  
จ่ายน้ำประสานหรือฟลักซ์ ชุดดูดควัน หรือระบายอากาศจากการเชื่อม เป็นต้น มีส่วนทำให้ค่าใช้จ่ายของ  
กระบวนการเพิ่มขึ้น

6. สรุปรองรับงาน สนิม คราบน้ำมัน ความสามารถเชื่อมของเหล็กกล้าและอื่น ๆ ตัว  
ประกอบเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่กำหนดกระบวนการเชื่อม

7. ผลกระทบจากการอาร์คบางกระบวนการ เช่น การเชื่อมอาร์คด้วยลวดเชื่อมหุ้มสาร  
พอกหุ้ม แสงจากการอาร์คหรือความร้อนจากการอาร์ค ทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องสวมชุดป้องกัน  
เปรียบเทียบกับบางกระบวนการ เช่น การเชื่อมใต้ฟลักซ์จะไม่เกินแสงหรือความร้อนจากการอาร์คที่เป็นผล  
ต่อปฏิบัติงานไม่ต้องสวมหน้ากากหรืออุปกรณ์กันความร้อนขณะปฏิบัติงานทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความ  
สะดวกสบาย

8. ความต้องการอุปกรณ์จับยึดในการเชื่อม การนำกระบวนการเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติมาแทนกระบวนการเชื่อมชนิดใช้มือควบคุมขณะทำงานจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์จับยึดเข้ามาช่วยในการทำงานซึ่งก็เป็นส่วนที่เพิ่มราคาค่าใช้จ่ายในการทำงาน

9 ความคล่องตัวหรือความต่อเนื่องในการผลิต ถ้ากระบวนการเชื่อมที่เลือกเป็นการลดราคาค่าใช้จ่าย แต่ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในการผลิต ซึ่งทำให้เกิดการล่าช้าในบางจุดเนื่องจากบางจุดสามารถผลิตได้เร็ว เช่น เครื่องจักรบางชนิดมีความซับซ้อนต้องใช้การบริการหรือผู้ปฏิบัติที่มีความรู้ความชำนาญการสูง ในการซ่อมบำรุงอาจทำให้ราคาค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น นอกจากนี้สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกมาก ได้แก่ ความต้องการในการป้องกันบำรุงรักษา ความยืดหยุ่นในการใช้งานเวลาในการปรับตั้งก่อนทำงานและอื่น ๆ

2.1.4 ทบทวนตรวจสอบกับผู้ปฏิบัติกระบวนการเชื่อมที่เลือกนั้น เพราะผู้ปฏิบัติในกระบวนการเชื่อมจะเป็นผู้ที่รู้ว่ามีข้อดีข้อเสียอย่างไรกับงานแต่ละชนิด เนื่องจากประสบการณ์การทำงานกับกระบวนการเชื่อมนั้น ๆ มาเป็นเวลานาน ถ้าการเลือกกระบวนการเชื่อมจากการวิเคราะห์ที่กล่าวมาข้างต้น สอดคล้องกับความเห็นของผู้ปฏิบัติที่ตัดสินใจเลือกกระบวนการเชื่อมมาใช้ในการผลิต

## 2.2 การให้ความร้อนเกี่ยวกับงานเชื่อม

ในการเชื่อมวัสดุบางชนิดจำเป็นต้องให้ความร้อนก่อนเชื่อมและหลังเชื่อม เพื่อเป็นการปลดปล่อยความเค้นภายในที่เกิดขึ้น ขณะทำการเชื่อมและแนวเชื่อมแข็งตัว การให้ความร้อนอาจจะทำระหว่างการเชื่อมแต่ละแนว ในกรณีที่ต้องเชื่อมทับหลายแนว สำหรับการเชื่อมงานที่มีความหนามาก การปฏิบัติการด้วยความร้อนนี้ต้องควบคุมอุณหภูมิก่อนเชื่อม ขณะเชื่อมและหลังจากเชื่อมแล้ว ซึ่งจะต้องกำหนดในการกำหนดการปฏิบัติการเชื่อม (Welding Procedure)

### 2.2.1 การให้ความร้อนก่อนเชื่อม(Preheating)

1. เพื่อเป็นการลดความเค้นที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของแนวเชื่อมและแผ่นชิ้นงานบริเวณรอบ ๆ แนวเชื่อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวเชื่อมที่มีการยึดเหนี่ยวไม่อิสระ(Highly restrained)

2. เพื่อลดอัตราการเย็นตัว ณ อุณหภูมิวิกฤตประมาณ 1600°F ถึง 1330°F (870 °C ถึง 720 °C)

3. เพื่อเป็นการลดอัตราการเย็นตัว ณ อุณหภูมิวิกฤตประมาณ 400°F (200 °C) เพื่อให้มีเวลามากพอสำหรับก๊าซไฮโดรเจนที่อาจผสมอยู่ในแนวเชื่อมได้มีเวลาในการแพร่ซึม และบริเวณกระทบร้อน (HAZ) จากจุดประสงค์ดังกล่าวข้างต้น การให้ความร้อนก่อนเชื่อมเป็นการทำให้อัตราการเย็นตัวของชิ้นงานและแนวเชื่อมช้าลง เพิ่มเวลา ณ อุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ที่สำคัญต่อคุณสมบัติของแนวเชื่อมและบริเวณกระทบร้อนอย่างเหมาะสม

จะเห็นได้ว่าความร้อนที่ลดลงอย่างรวดเร็วใน 1 วินาที ที่อุณหภูมิ  $T_1$  เมื่อแผ่นงานมีอุณหภูมิ 30°F (0 °C) แต่ถ้าแผ่นงานมีอุณหภูมิ 70°F (22°C) ความร้อนในแนวเชื่อมจะลดลงน้อยกว่าหรืออัตราการเย็นตัว (F/sec) หรือ (C/sec) จะช้าเมื่อมีการให้ความร้อนขึ้นงานก่อนทำการเชื่อม

การดูดกลืนความร้อนของชิ้นงานแผ่นหนา เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณแนวเชื่อมและบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการเชื่อม ไปยังบริเวณที่ไม่ได้รับความร้อนของชิ้นงานอย่างรวดเร็ว ทำให้แนวเชื่อมและบริเวณกระทบร้อนเย็นตัวเร็ว เปรียบเหมือนการจุ่มชุปในของเหลวของการชุบแข็งระยะเวลาที่ควรจะเป็นการเย็นตัวแนวเชื่อม และบริเวณกระทบร้อน (HAZ) ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาเชื่อมรวมไปถึงรูปร่างหรือรูปแบบการถ่ายเทความร้อนเป็นไปในลักษณะที่ทิศทาง ถ้าการให้ความร้อนก่อนเชื่อมไม่เพียงพอจะทำให้แนวเชื่อม และบริเวณกระทบร้อนเย็นตัวเร็ว ผลที่เกิดขึ้นงานและแนวเชื่อมมีความแข็ง (Hardness) และเปราะ (Brittle)

การเชื่อมในบริเวณหรือสถานที่ที่มีอุณหภูมิรอบๆต่ำโดยเลือกเก็บไว้ภายนอกอาคารมีอุณหภูมิต่ำมาก ๆ ในฤดูหนาวจำเป็นต้องให้อุณหภูมิก่อนเชื่อมมาก

## 2.2.2 ปริมาณความร้อนในการให้ความร้อนก่อนเชื่อม

อุณหภูมิที่ให้อ่อนก่อนทำการเชื่อม ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของส่วนผสมเคมีของธาตุที่ผสมอยู่ในชิ้นงานเชื่อม ความหนาของแผ่นงานที่จะเชื่อม ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมของแต่ละกระบวนการเชื่อม ความอิสระต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความคงรูป (Restraint and Rigidity) ของงานที่เชื่อม วิธีวัด

ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น โดยการให้ความร้อนก่อนเชื่อมจากหัวเผาให้ทางปฏิบัติทั่วไป จะใช้การประมาณ อุณหภูมิที่ให้อ่อนเชื่อมโดยใช้ Crayon หรือ Pellets ซึ่งเป็นชอล์กเพื่อบอกอุณหภูมิโดยประมาณ ณ จุดที่ทำเครื่องหมายไว้ด้วยอุปกรณ์เหล่านี้

นอกจากนี้ ต้องอาศัยค่าปริมาณความร้อนที่ให้อ่อนเชื่อม จากตารางซึ่งเกี่ยวข้องกับความหนาของ ชิ้นงานเชื่อม และธาตุที่ผสม ค่าจากตารางเป็นการบอกอุณหภูมิต่ำสุดที่จำเป็นของการให้ความร้อนก่อนเชื่อม ที่จะเป็นต่อการควบคุมอัตราการเย็นตัวหลังจากการเชื่อม

### 2.2.3 ข้อแนะนำในการให้ความร้อนก่อนเชื่อม

1. ไม่ทำการเชื่อมที่อุณหภูมิบริเวณที่เชื่อมต่ำกว่า  $0^{\circ}\text{F}$  ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) ถ้าชิ้นงานที่เชื่อมมี อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดในตารางของแต่ละกระบวนการเชื่อม และแต่ละความหนาที่กำหนดจะต้อง ให้ความร้อนก่อนเชื่อม โดยอุณหภูมิเท่ากับหรือสูงกว่าที่กำหนดไว้ในตารางตามขนาดความหนาของชิ้นงาน ที่เชื่อมสำหรับชิ้นงานขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว การเชื่อมเหล็กที่ผ่านชุบแข็งหรืออบลดความเค้นเปราะ (Tempered) อุณหภูมิสูงสุดของการให้ความร้อนก่อนเชื่อม และการให้ความร้อนระหว่างแนวเชื่อมต้องไม่ มากกว่า  $400^{\circ}\text{F}$  ( $200^{\circ}\text{C}$ ) สำหรับงานหนา 1 นิ้ว (30 มม.) และสำหรับงานที่หนากว่านี้ อุณหภูมิให้ความ ร้อนต้องไม่เกิน  $450^{\circ}\text{F}$  ( $230^{\circ}\text{C}$ ) ปริมาณความเข้า (Heat input) ที่ให้อ่อนเชื่อมสำหรับเหล็กที่ผ่านการ ชุบแข็งและอบลดความเปราะ (Tempered) ต้องไม่เกินกว่าข้อเสนอแนะของบริษัทผู้ผลิตเหล็กนั้น

2. สำหรับรอยต่อที่มีเหล็กหลายชนิดเชื่อมเข้าด้วยกัน การให้ความร้อนก่อนเชื่อมต้องใช้ ข้อกำหนดอุณหภูมิของการให้ความร้อนก่อนเชื่อมของเหล็กที่มีความแข็งแรงสูงเป็นค่าปกติ

3. กกกก3.กกเมื่อชิ้นงานเชื่อมมีอุณหภูมิต่ำกว่า  $32^{\circ}\text{F}$  ( $0^{\circ}\text{C}$ ) ต้องให้ความร้อนชิ้นงานถึง อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{F}$  หรือ  $21^{\circ}\text{C}$  และรักษาอุณหภูมินี้ไว้ขณะทำงานเชื่อม

3. เหล็กกล้าตามมาตรฐาน A36 ความหนาเกินกว่า 1 นิ้ว (25 มม.) (สำหรับงานเชื่อม สะพาน)ต้องใช้ลดเชื่อมไฮโดรเจนต่ำเท่านั้น

สมาคมการเชื่อมของอเมริกา (AWS) และสถาบันมาตรฐานเหล็กกล้าของอเมริกา AIS ได้กำหนด อุณหภูมิที่จำเป็นต่อการให้ความร้อนก่อนเชื่อมระหว่างเทียวยเชื่อม สำหรับเหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติ



ความสามารถเชื่อม (Weldability) ซึ่งแสดงในตารางข้างบนนี้ ได้กำหนดอุณหภูมิจำเป็นต่ำสุดของการให้ความร้อนก่อนเชื่อม โดยกำหนดความหนาของวัสดุที่นำมาเชื่อม ส่วนผสมทางเคมีและกระบวนการเชื่อม แต่จะต้องมีการปรับใช้อุณหภูมิสำหรับเหล็กกล้าที่มีส่วนผสมทางเคมีที่แตกต่างจากตาราง และรูปทรงของรอยต่อและองค์ประกอบอื่น ๆ

โดยทั่ว ๆ ไปเหล็กกล้าที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ค่อนข้างสูงต้องควบคุมอัตราการเย็นตัวโดยการให้ความร้อนก่อนเชื่อมและต้องใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดไฮโดรเจนต่ำ

## 2.2.4 วิธีให้ความร้อนก่อนเชื่อม

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ

1. ความหนาของชิ้นงานเชื่อม
2. ขนาดของแนวเชื่อม
3. อุปกรณ์สำหรับให้ความร้อน

สำหรับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กจะปฏิบัติการในเตาอบ (Furnace) หรืออีกวิธีหนึ่งโดยการใช้หัวเผาแก๊ส โดยใช้ก๊าซหุงต้มผสมกับอากาศ หรืออาจใช้ก๊าซอะซิไธลีน ก๊าซธรรมชาติหรือหัวเผาชนิดใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงก็สามารถใช้ได้ แผ่นให้ความร้อนชนิดใช้กระแสไฟฟ้าสำหรับทาบบไปตามแนวยาวขนานกับบริเวณที่จะเชื่อม หรืออาจใช้การเหนี่ยวนำไฟฟ้าให้เกิดความร้อนก็ได้ แต่กรรมวิธีในการให้ความร้อนก่อนเชื่อมนี้ ไม่จำเป็นต้องใช้ความแม่นยำในการกำหนดอุณหภูมิ การให้ความร้อนก่อนเชื่อม สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอน แต่สำหรับเหล็กกล้าชุบแข็งและต้องอบอ่อนลดความเปราะ ถ้าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมสูงมาก อาจจะมีผลต่อบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนได้ ดังนั้น จึงต้องวัดอุณหภูมิที่จะทำการให้ความร้อนก่อนเชื่อมสำหรับเหล็กประเภทนี้

การใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิชนิดวางบนแผ่นงาน จะเป็นตัวบอกอุณหภูมิโดยตัวมันเองจะหลอมละลายเมื่ออุณหภูมิถึงจุดหลอมละลายของมัน เวลานำไปใช้งานจะใช้ 2 ชนิด ที่แตกต่างกัน โดยสำหรับอุณหภูมิขั้นต่ำ และสำหรับอุณหภูมิขั้นสูง ของการให้อุณหภูมิก่อนเชื่อมของโลหะนั้น ๆ นอกจากนี้อาจจะใช้ไพโรมิเตอร์เป็นตัววัดอุณหภูมิ จะวัดได้เฉพาะผิวหน้าของชิ้นงานที่ได้รับความร้อน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่วัดอุณหภูมิได้

แม่นยำ แต่ต้องมีการปรับตั้งตลอดเวลา เทอร์โมคัปเบิลจะใช้วัดอุณหภูมิในเตาอบ สำหรับการให้ความร้อนงานที่มีขนาดเล็ก ซึ่งต้องทำในเตาอบ

### 2.2.5 อุณหภูมิระหว่างเดินเชื่อม

การเชื่อมชิ้นงานที่มีความหนา หรือชิ้นงานที่ต้องการหลีกเลี่ยงการเกิดความร้อนสูงจำเป็นต้องเชื่อมหลายแนว จะต้องรักษาอุณหภูมิสำหรับการเชื่อมเพื่อรักษาอัตราการเย็นตัว ระหว่างการเชื่อมแต่ละเที่ยวเชื่อม โดยอาจใช้หัวเผาแก๊สเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อน ซึ่งในกรณีจะต้องเชื่อมให้แล้วเสร็จภายในเวลาที่สมควร มีเช่นนั้นแนวเชื่อมเดิมและชิ้นงานจะเย็นตัวแล้วต้องให้ความร้อนก่อนเชื่อมใหม่ ซึ่งต้องเสียเวลา และค่าใช้จ่าย แต่ถ้าไม่ให้ความร้อนก่อนเชื่อมแต่ละแนวก็จะเกิดกรณีเช่นเดียวกับลักษณะการชุบแข็งแบบจุ่ม เนื่องจากแนวเชื่อมเย็นตัวเร็วเพราะสูญเสียความร้อนจากการกระจายความร้อนไปยังบริเวณข้างเคียง

การให้ความร้อนก่อนเชื่อมสำหรับเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็ง และอบลดความเปราะเนื่องจากเหล็กกล้าสำหรับการชุบแข็งเป็นเหล็กกล้าผสมต่ำ ถ้าผ่านกระบวนการชุบแข็งและอบลดความเปราะแล้วก็นำมาเชื่อมความร้อนจากการเชื่อมสูงเกินจากอุณหภูมิที่มักจะรักษาคุณสมบัติความแข็งแรงแล้วจะทำให้ชิ้นงานนั้นสูญเสียคุณสมบัติเดิมไป ดังนั้น จึงต้องมีการให้ความร้อนก่อนเชื่อมเพื่อป้องกันการเกิดรอยแตกร้าว เนื่องจากการเย็นตัวเร็วของแนวเชื่อมแต่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิที่แม่นยำ เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคความแข็งแรงที่จุดร้าวตลอดจนความต้านทานการกระแทก ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการสำหรับการนำไปใช้งานในขณะที่ทำการเชื่อม บริเวณกระแทกร้อน (HAZ) จะร้อนเนื่องจากการเชื่อมอุณหภูมิจะเกินกว่าอุณหภูมิการให้ความร้อนก่อนเชื่อมที่กำหนด บริเวณนี้จะต้องเย็นตัวเร็วเพื่อรักษาคุณสมบัติเดิมของชิ้นงานไว้ และหลีกเลี่ยงการเกิดโครงสร้างจุลภาคหยาบ ซึ่งทำให้เหล็กเปราะ ดังนั้นจึงต้องควบคุมอุณหภูมิการให้ความร้อนก่อนเชื่อม และอุณหภูมิที่เกิดจากการเชื่อมอย่างระมัดระวังควรเลือกกระบวนการเชื่อม โดยให้ความร้อนกระจายในวงกว้างในการกำหนดการปฏิบัติการเชื่อม (Welding Procedure)

ในการเชื่อมเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งและอบลดความเปราะ ต้องกำหนดการปฏิบัติการเชื่อม (Welding Procedure) เพื่อรักษาคุณสมบัติความแข็งแรงสูง ความสามารถทนแรงกระแทก ความสามารถในการแปรรูปของแนวเชื่อม การรักษาอัตราการเย็นตัวซึ่งขึ้นอยู่กับ การให้ความร้อนก่อนเชื่อมและความร้อนที่เกิดจากการเชื่อม (Heat input) โดยทั่วไปอัตราการเย็นตัวจะอยู่ที่  $6^{\circ}\text{F} (-14^{\circ}\text{C})$

ต่อวินาที (โดยประมาณ) ที่ช่วงอุณหภูมิ 900 °F (480 °C) การเลือกอุณหภูมิสำหรับให้ความร้อนก่อนเชื่อมของเหล็กกล้าชุบแข็ง ให้พิจารณาจากสมมูลคาร์บอนแล้วเลือกอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของการเสนอแนะ

### 2.2.6 ข้อสำคัญที่ควรพิจารณาสำหรับการเชื่อมเหล็ก

1. เลือกกระบวนการเชื่อมชนิดที่ไฮโดรเจนเข้าร่วมตัวในแนวเชื่อมต่ำ
2. อุณหภูมิให้ความร้อนก่อนเชื่อมให้น้อยที่สุดเท่าที่ทำได้โดยยึดค่าสมมูลคาร์บอน
3. ความหนาของชิ้นงาน

ค่าความร้อนที่เกิดจากการเชื่อม (heat input) อาจลดลงได้โดยลดกระแสที่ใช้เชื่อมหรือเพิ่มความเร็วในการเดินแนวเชื่อม หรือลดจำนวนแนวเชื่อม ด้วยเหตุผลนี้ การเชื่อมโดยไม่ส่ายลดอิลเล็คโทรด (Stringer bead) จึงเป็นวิธีที่ดีสำหรับการเชื่อมเหล็กที่ผ่านขบวนการชุบแข็ง และอบลดความเปราะตามตารางต่อไปนี้ จะแนะนำอุณหภูมิการให้ความร้อนก่อนเชื่อม และความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมเหล็กกล้า ที่ผ่านการชุบแข็งความหนาขนาดต่าง ๆ มีหน่วยเป็นกิโลจูลย์ต่อนิ้ว ของความยาวแนวเชื่อม จำนวนอุณหภูมิที่กำหนดในตารางนี้ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร

$$J = E.I.60 / V \times 1000 \times 25.4$$

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิการให้ความร้อนก่อนเชื่อมเหล็กกล้าผสมที่ผ่านการชุบแข็ง

|                      |                                                                                                                                           |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ความหนาแผ่นงานเชื่อม | อุณหภูมิต่ำสุดของการให้ความร้อนก่อนเชื่อมหรืออุณหภูมิระหว่างเที่ยวเชื่อมสำหรับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มสารพอกหุ้มชนิดไฮโดรเจนต่ำ F ( C ) |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| นิ้ว (มม.)                 | เหล็กกล้า | เหล็กกล้า | เหล็กกล้า | เหล็กกล้า | เหล็กกล้า | เหล็กกล้า | เหล็กกล้า |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| To ½ incl.                 | 50        | 50        | 150       | 100       | 75        | 50        | 50        |
| (12.7)                     | (10)      | (10)      | (66)      | (38)      | (24)      | (10)      | (10)      |
| Over ½ to 5/8 , incl.      | 100       | 50        | 200       | 125       | 75        | 50        | 50        |
| (12.7 – 16)                | (38)      | (10)      | (94)      | (52)      | (24)      | (10)      | (10)      |
| Over 5/8 to ¾, incl.       | 100       | 50        | 200       | 125       | 125       | 50        | 50        |
| (16 – 19)                  | (38)      | (10)      | (94)      | (52)      | (52)      | (100)     | (10)      |
| Over ¾ to 7/8, incl.       | 100       | 50        | 200       | 150       | 125       | 50        | 50        |
| (19 – 22)                  | (38)      | (10)      | (94)      | (66)      | (52)      | (10)      | (10)      |
| Over 7/8 to 1, incl.       | 100       | 50        | 200       | 150       | 200       | 50        | 50        |
| (22 – 25)                  | (38)      | (10)      | (94)      | (66)      | (94)      | (10)      | (10)      |
| Over 1 to 1 – 3/8, incl.   | 200       | 150       | 250       | 200       | 200       | 150       | 50        |
| (25 – 35)                  | (94)      | (66)      | (120)     | (94)      | (94)      | (66)      | (10)      |
| Over 1 – ½ to 1-1/2, incl. | 200       | 150       | 250       | 200       | 225       | 150       | 150       |
| (35 – 38)                  | (94)      | (66)      | (120)     | (94)      | (107)     | (66)      | (66)      |

ตารางที่ 2.1(ต่อ) อุณหภูมิการให้ความร้อนก่อนเชื่อมเหล็กกล้าผสมที่ผ่านการชุบแข็ง

| ความหนาแผ่นงาน<br>เชื่อม<br>นิ้ว (มม.) | อุณหภูมิต่ำสุดของการให้ความร้อนก่อนเชื่อมหรืออุณหภูมิระหว่างเทียวยเชื่อมสำหรับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มสารพอกหุ้มชนิดไฮโดรเจนต่ำ F ( C ) |             |              |             |              |             |             |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
|                                        | เหล็กกล้า                                                                                                                                 | เหล็กกล้า   | เหล็กกล้า    | เหล็กกล้า   | เหล็กกล้า    | เหล็กกล้า   | เหล็กกล้า   |
| Over 2 to 3, incl.<br>(50 – 76)        | 200<br>(94)                                                                                                                               | 200<br>(94) | 300<br>(150) | 200<br>(94) | 225<br>(107) | 200<br>(94) | 200<br>(94) |
| Over 3<br>(76)                         | 300<br>(150)                                                                                                                              | 200<br>(94) | 300<br>(150) | 200<br>(94) | 225<br>(107) | 200<br>(94) | 200<br>(94) |

**หมายเหตุ** อุณหภูมิที่ให้ก่อนเชื่อมในตารางนี้สามารถใช้กับแนวเชื่อม ชนิดที่งานมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไม่เป็นอิสระ (highly restrained) และไม่ทำการเชื่อมที่อุณหภูมิ 0 °F ( - 17 °C) การเชื่อมเหล็กกล้าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°F (38°C) จำเป็นต้องไล่ความชื้นออกจากผิวหน้างาน

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิให้ความร้อนก่อนเชื่อมสำหรับเหล็กมาตรฐานASTM A517 , เกรด B, F และ H

| ความหนาแผ่นงาน<br>เชื่อม<br>(นิ้ว)<br>(มม.) | อุณหภูมิการให้ความร้อนก่อนเชื่อม                                |                                            |                                                                      |                                        |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                                             | กระบวนการเชื่อม<br>อาร์คด้วยลวดเชื่อม<br>หุ้มสารพอกหุ้ม<br>SMAW | กระบวนการ<br>เชื่อมอาร์คก๊าซ<br>ปกคลุมGMAW | กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์                                             |                                        |
|                                             |                                                                 |                                            | ลวดเหล็กกล้า<br>คาร์บอนและ<br>คาร์บอนผสม<br>ผงฟลักซ์ชนิด<br>เป็นกลาง | ลวดเหล็กกล้า<br>ผสมผงฟลักซ์<br>ชนิดผสม |
| Up to ½ , incl.<br>(13)                     | 50 t<br>(10)                                                    | 50t<br>(10)                                | 50t<br>(10)                                                          | 50t<br>(10)                            |
| Over ½ to 1,incl.<br>(13 – 25)              | 50t<br>(10)                                                     | 50t<br>(10)                                | 50t<br>(10)                                                          | 50t<br>(10)                            |
| Over 1 to 2, incl.<br>(25 – 50)             | 150<br>(66)                                                     | 150<br>(66)                                | 150<br>(66)                                                          | 300<br>(150)                           |
| Over 2<br>(50)                              | 200<br>(94)                                                     | 200<br>(94)                                | 200<br>(94)                                                          | 400<br>(204)                           |

หมายเหตุ

1. อุณหภูมิในการให้ความร้อนก่อนเชื่อมต้องสูงเกินกว่าอุณหภูมิที่เสนอแนะในตารางในกรณีเชื่อมชิ้นงานที่มีการยึดตัวหรือให้ตัวน้อย

2. การเชื่อมที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°F (38° C) ต้องจัดความชื้นที่ผิวหน้างานที่จะเชื่อม

ตารางที่ 2.3 ความร้อนจากการเชื่อมสูงสุด กิโลจูล/นิ้ว สำหรับแนวต่อชนในเหล็กกล้ามาตรฐาน

ASTM A533, เกรด B

| อุณหภูมิการให้ความร้อน<br>ก่อนเชื่อมและอุณหภูมิ<br>ระหว่างเทียวยเชื่อม | ความหนาแผ่นงาน (นิ้ว) |      |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
|                                                                        | 1/4                   | 3/8  | 1/2  | 5/8  | 3/4  |
| 70                                                                     | 23.7                  | 35.6 | 47.4 | 64.5 | 88.5 |
| 150                                                                    | 20.9                  | 31.4 | 41.9 | 57.4 | 77.4 |
| 200                                                                    | 19.2                  | 28.8 | 38.5 | 53   | 69.9 |
| 300                                                                    | 15.8                  | 23.8 | 31.9 | 42.5 | 55.7 |
| 400                                                                    | 12.3                  | 19.1 | 25.9 | 33.5 | 41.9 |

ตารางที่ 2.4 ความร้อนจากการเชื่อมสูงสุด กิโลจูล/นิ้ว สำหรับแนวต่อชน เหล็กกล้ามาตรฐาน ASTM

A517, เกรด B และ H

| อุณหภูมิการให้ความร้อน<br>ก่อนเชื่อมและอุณหภูมิ<br>ระหว่างเทียวยเชื่อม | ความหนาแผ่นงาน (นิ้ว) |     |     |     |     |     |   |                         |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---|-------------------------|
|                                                                        | 3/16                  | 1/4 | 3/8 | 1/2 | 5/8 | 3/4 | 1 | 1-1/4<br>และ<br>มากกว่า |

|     |      |      |      |      |      |      |       |     |
|-----|------|------|------|------|------|------|-------|-----|
| 70  | 17.5 | 23.7 | 35   | 47.4 | 64.5 | 88.6 | Any   | Any |
| 150 | 15.3 | 20.9 | 30.7 | 41.9 | 57.4 | 77.4 | 120   | Any |
| 200 | 14   | 19.2 | 28   | 35.5 | 53   | 69.9 | 110.3 | 154 |
| 300 | 11.5 | 15.8 | 23.5 | 31.9 | 42.5 | 55.7 | 86    | 120 |
| 400 | 9    | 12.3 | 18.5 | 25.9 | 33.4 | 41.9 | 65.6  | 94  |

ตารางที่ 2.5 ความร้อนจากการเชื่อมสูงสุด กิโลจูล/นิ้ว สำหรับแนวต่อชนเหล็กกล้ามาตรฐาน ASTM

A517, เกรด F

| อุณหภูมิการให้ความร้อน<br>ก่อนเชื่อมและอุณหภูมิ<br>ระหว่างเพียวเชื่อม | ความหนาแผ่นงาน (นิ้ว) |     |     |     |     |       |       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-----|
|                                                                       | 3/16                  | 1/4 | 1/2 | 3/4 | 1   | 1-1/4 | 1-1/2 | 2   |
| 70                                                                    | 27                    | 36  | 70  | 121 | Any | Any   | Any   | Any |
| 200                                                                   | 21                    | 29  | 56  | 99  | 173 | Any   | Any   | Any |
| 300                                                                   | 17                    | 24  | 47  | 82  | 226 | 175   | Any   | Any |
| 400                                                                   | 13                    | 19  | 40  | 65  | 93  | 127   | 165   | Any |

ตารางที่ 2.6 ความร้อนจากการเชื่อม สำหรับรอยต่อเหล็กกล้า HY – 130 มาตรฐาน ASTM

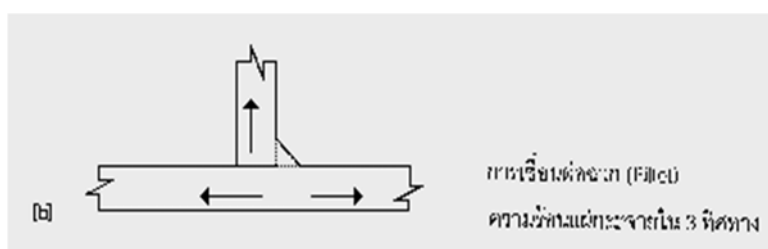
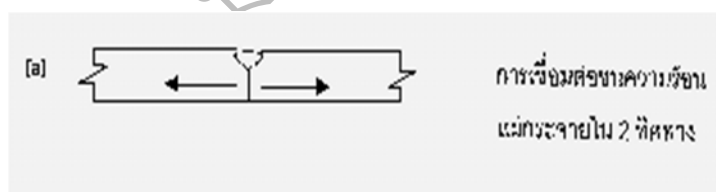
| ความหนาแน่นแผ่นงาน (นิ้ว) | ความร้อน, กิโลจูล/นิ้ว |
|---------------------------|------------------------|
|---------------------------|------------------------|



|                            | กระบวนการเชื่อมอาร์คด้วย<br>ลวดเชื่อมหุ้มสารพอกหุ้ม<br>SWAW | กระบวนการเชื่อม<br>อาร์คก๊าซปกคลุม |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 3/8 to 5/8, incl.          | 40                                                          | 35                                 |
| Over 5/8 to 7/8, incl.     | 45                                                          | 40                                 |
| Over 7/8 to 1 – 3/8, incl. | 45                                                          | 45                                 |
| Over 1 – 3/8 to 4, incl.   | 50                                                          | 50                                 |

### 2.2.7 ข้อสำคัญในการให้ความร้อนก่อนเชื่อม

1. ถ้าวัสดุที่นำมาเชื่อมต้องให้ความร้อนก่อนเชื่อม ควรรักษาความร้อนที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานไว้อย่าปล่อยให้เย็นตัวลงก่อนเชื่อมเสร็จ เพราะจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการให้ความร้อนใหม่
2. จะเป็นการประหยัดถ้าทำการเชื่อมด้วยขบวนการเชื่อมแบบอัตโนมัติโดยทำการเชื่อม 2 ด้าน พร้อมกัน โดยหัวเชื่อมด้านหนึ่งเชื่อมก่อนหัวเชื่อมที่เชื่อมอีกด้านหนึ่งห่างกันประมาณ 2 – 3 นิ้ว



## รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อชนความร้อนและการเชื่อมเชื่อมต่อนาก

3. การกระจายความร้อนของรอยต่อแบบต่อนากจะเร็วกว่าการกระจายความร้อนของต่อนนั้น จึงต้องให้ความร้อนก่อนเชื่อมเพื่อลดอัตราการเย็นตัวในแนวเชื่อมต่อนาก

4. อย่านองข้ามการให้ความร้อนก่อนเชื่อม เพื่อป้องกันการแตกร้าวของแนวเชื่อมในรอยต่อที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแนวเชื่อมไม่อิสระ (Restrained) ถึงแม้ว่าวัสดุที่นำมาเชื่อมมีสมดุลย์คาร์บอนที่ไม่ต้องการให้ความร้อนก่อนเชื่อมก็ตาม

## 2.3 องค์ประกอบขณะทำการเชื่อม เวลาการเย็นตัว และการนำไปใช้งาน

### 2.3.1 องค์ประกอบที่สำคัญในการควบคุมแนวเชื่อม

การเชื่อมที่ได้คุณรูปของรอยเชื่อมดีหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ดังต่อไปนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม หมายถึง การปรับกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ซึ่งจำเป็นต้องปรับให้เหมาะสมกับความหนาของงาน ขนาดของลวดเชื่อมทั้งนี้ก็เพื่อคุณรูปของงานนั่นเองเช่น

1) ถ้าใช้กระแสไฟฟ้าในการเชื่อมสูงเกินไป จะทำให้การหลอมละลายเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้อัตราเผาไหม้มีมาก แอ่งเชื่อมจะใหญ่ไม่สม่ำเสมอ

2) ในทำนองเดียวกัน ถ้าใช้กระแสไฟฟ้าในการเชื่อมต่ำเกินไป จะทำให้ค่าความร้อนน้อยไม่เพียงพอที่จะหลอมละลาย งานทำให้งานขาดการหลอมละลายที่ดี แอ่งเชื่อมจะเล็กและมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ

## 2. การปรับตั้งกระแสไฟฟ้าเชื่อมดำเนินการได้ 2 วิธี

1) ดูจากตารางมาตรฐานการตั้งไฟเชื่อมตามขนาดของลวดเชื่อม หรือจากข้าง  
กล่องลวดเชื่อม

2) ในกรณีที่ไม่สามารถดูได้จากตาราง ผู้ที่จะทำการเชื่อมต้องตั้งกระแสไฟเชื่อมเอง  
โดยมีวิธีการดังนี้

ก) นำลวดเชื่อมไฟฟ้าที่ได้คัดเลือกให้เหมาะสมกับงานแล้ว เข้า  
ที่หัวจับลวดเชื่อม

ข) นำชิ้นงานที่จากการทดลอง วางบนโต๊ะเชื่อม

ค) ปรับกระแสไฟเชื่อมให้อยู่จุดใดจุดหนึ่งก่อน แต่ต้องไม่สูง  
จนเกินไป

ง) เปิดเครื่องเชื่อมให้กระแสไฟเข้าเพื่อปฏิบัติการเชื่อมและให้  
สังเกตดู

- ขณะทำการเชื่อมถ้าไฟอ่อนลวดเชื่อมจะติดถ้าสูงเกินไปจะเกิด  
เสียง ดังหึ่ง ๆ

- จักรยะอาร์คได้ง่าย

- ลวดเชื่อมจะไม่ร้อนจัด และละลายเร็วจนเกินไป

- การควบคุมน้ำเหล็กที่หลอมละลายได้ดี

- ดูแนวของการเชื่อม ขนาด กว้าง สูง มีรอยติดด้านข้างรอย  
เชื่อม

## ตารางที่ 2.7 การตั้งกระแสไฟเชื่อม

| ขนาดเส้นศูนย์กลาง<br>แนวตั้ง | เชื่อมในแนวนราบ | เชื่อม      |
|------------------------------|-----------------|-------------|
| ลวดเชื่อม (มม.)              | (แอมแปร์)       | และท่าเหนือ |
| ซีรี่ย(แอมแปร์)              |                 |             |
| 2.6                          | 60              | 60          |
| 3.2                          | 120             | 110         |
| 4                            | 150             | 140         |
| 5                            | 175             | 160         |

3. ลวดเชื่อมไฟฟ้า ลวดเชื่อม คือ แท่งโลหะที่มีส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกับโลหะ (งาน) ที่ทำการเชื่อมขณะที่เกิดการอาร์คนั้นจะมีพลังความร้อนเกิดขึ้น และจะทำการหลอมละลาย ปลายลวดเชื่อมให้เป็นหยดผสมกับจุดหลอมละลายของงาน ทำให้เกิดเป็นรอยเชื่อม ดังนั้นลวดเชื่อมจึงมีลักษณะเป็นตัวประสานให้แผ่นงานทั้งสองติดกัน

ลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมไฟฟ้าโดยทั่ว ๆ ไป จะมีส่วนประกอบอยู่ 2 ส่วน คือ

- 1) แกนลวดเชื่อม (มีส่วนผสมตามชนิดของโลหะเชื่อม)
- 2) สารพอกหุ้ม หรือฟลักซ์ (มีส่วนผสมทางเคมี)

แกนลวดเชื่อม จะประกอบไปด้วยส่วนผสมของธาตุต่าง ๆ ตามคุณสมบัติที่ต้องการอาทิเช่น คาร์บอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส ซิลิกอน ฯลฯ เป็นต้น ปริมาณของธาตุต่าง ๆ จะมากหรือน้อยเพียงไรนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของลวดเชื่อม แกนลวดเชื่อมจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ กัน เช่น 2.6, 3.2, 4.0, 5.0 มม. เป็นต้น

สารพอกหุ้มจะประกอบด้วยธาตุและสารประกอบทางเคมีหลายชนิด เพื่อทำหน้าที่ต่างกัน เช่น ซิลิกอนไดออกไซด์ แคลเซียมฟลูออไรด์ ฯลฯ เป็นต้น สำหรับสารพอกหุ้มลวดเชื่อมแต่ละประเภท จะมีส่วนผสมแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ คุณลักษณะการใช้งานและคุณสมบัติที่ต้องการ

#### 4. ลวดเชื่อมที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) ลวดเชื่อมนั้น จะต้องจุดประกายอาร์คได้ดี
- 2) การละลายของปลายลวดเชื่อมขณะได้รับความร้อนจะต้องนำโลหะ สม่่าเสมอ
- 3) การหลอมละลายของบ่อหลอมมีลักษณะเป็นของเหลว
- 4) การเคาะฟลักซ์ออกได้ง่าย
- 5) ลักษณะแนว รูปร่าง และผิวหน้าแนวเรียบปานกลางไปจนถึงหยาบ
- 6) ความสามารถในการประสานชิ้นงานที่วางห่างกันได้

#### 5. การเลือกลวดเชื่อม

มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ปฏิบัติงานเลือกลวดเชื่อมให้เหมาะสมกับงาน โดยจะต้องพิจารณา

ถึงองค์ประกอบที่สำคัญ คือ

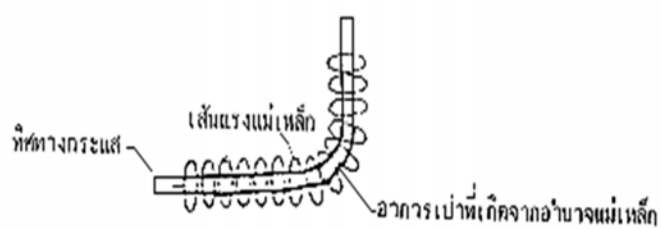
- 1) ความแข็งแรงของงานที่จะทำการเชื่อม
- 2) ส่วนผสมของงานที่จะทำการเชื่อม
- 3) รูปร่าง ลักษณะของงาน ตลอดจนการออกแบบรอยต่อ
- 4) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม
- 5) ตำแหน่งท่าเชื่อม
- 6) สรุปรูปการทำงาน เช่น ทนต่อกรด ด่าง อุณหภูมิ เป็นต้น

6. ระยะอาร์ค หมายถึง ระยะห่างระหว่างปลายลวดเชื่อมกับผิวหน้า ของงานที่จะเชื่อม เช่น ถ้าใช้ลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. ระยะอาร์คก็ควรจะมีค่าน้อยกว่าหรือประมาณ 4 มม. เป็นต้น

ถ้าระยะอาร์คมากเกินไป จะทำให้ลวดเชื่อมที่หลอมละลายอยู่แตกกระเด็นเป็นเม็ดเล็ก ๆ กระจายทั่วไป แนวเชื่อมจะกว้างใหญ่ไม่สม่ำเสมอ การหลอมละลายรวมตัวกันระหว่างลวดเชื่อมกับเนื้องานไม่ดีเท่าที่ควร

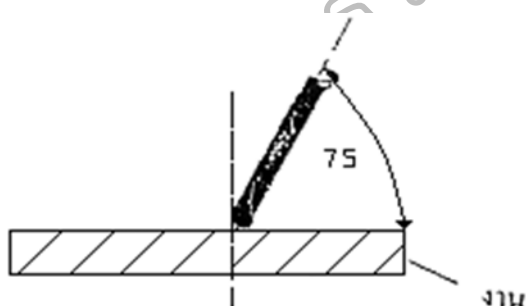
การเกิดอาการเปี่ยงเบนของอาร์คเนื่องจากอำนาจแม่เหล็ก การเชื่อมไฟฟ้าขณะอาร์ค จะเกิดการเป่า ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่รบกวนการเชื่อมที่เห็นได้ชัด อาการที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจากประกายอาร์คของช่องอากาศระหว่างปลายลวดเชื่อมกับชิ้นงานและไปจากแนวตรงตามปกติ ทำให้การเชื่อมนั้นต่อไปไม่ได้ ความไม่คงที่ของประกายอาร์ค ทำให้วัสดุชิ้นงานหลอมละลายไม่เพียงพอเมื่อชิ้นงานเย็นน้ำเม็ดโลหะที่ปลายลวดเชื่อมเกิดการหมุนวน และเหวี่ยงตัวเอง เม็ดน้ำโลหะเล็ก ๆ กระเด็น กระจายทั่วไป ถ้ามีวิธีการป้องกันที่ถูกต้องและเหมาะสมอาการเปี่ยงเบนจากอำนาจแม่เหล็กจะลดลงต่ำลง

สาเหตุที่เกิดทางฟิสิกส์ การเกิดอาการเปี่ยงเบนของอาร์คเนื่องจากอำนาจแม่เหล็กเห็นได้ชัดเจน เมื่อใช้ไฟฟ้ากระแสตรงมาทำการเชื่อมกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ คือลวดเชื่อมเกิดสนามแม่เหล็ก รูปวงแหวน โดยรอยตัวนำนั้นในแนวตั้งฉากกับทิศทางไหลของกระแสไฟเชื่อม สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นทำหน้าที่เหมือนท่อ แกนกลางของท่อคือวัสดุตัวนำนั่นเอง ตัวนำซึ่งตรงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นตรง ถ้าตัวนำคดงอหรือมุมเส้นแรงแม่เหล็กก็คดงอตามไปด้วย เปรียบเทียบได้กับผนังท่อ ถ้าเราตัดท่อ ผนังท่อด้านในจะอัดแน่น ผนังท่อด้านนอกจากยึดตัวออก สนามแม่เหล็กวงแหวนก็เช่นเดียวกัน เส้นแรงรอยตัวนำ ภายนอกของโค้งจะเกิดเส้นแรงภายในโค้งจะเกิดแน่นและถ้าให้ตัวนำเหยียบตรงเส้นแม่เหล็ก จะเป็นวงแหวนเรียงกันเป็นแนวขนานรอบตัวนำ ตัวนำคดงอที่โค้งด้านในวงแหวนจะเกยกัน ซึ่งอำนาจแม่เหล็กที่กระทำต่อการอาร์คนี้เรียกว่า “อาร์คโบล์”



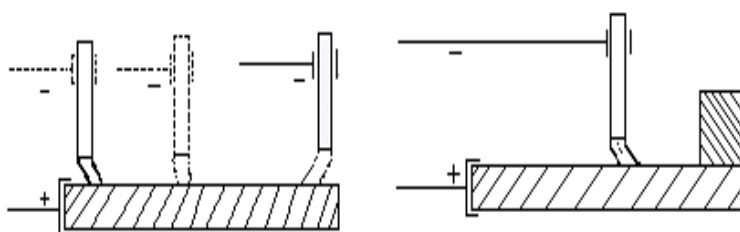
รูปที่ 2.5 สนามแม่เหล็กที่เกิดรอยตัวนำที่โค้งงอ

7. มุมในการเชื่อม หมายถึง การวางตำแหน่งลวดเชื่อมที่จะทำแนวกับชิ้นงาน ซึ่งจะมีผลต่อการเชื่อมมาก มุมการเชื่อมในแต่ละท่าเชื่อมก็ไม่เหมือนกัน เช่น ท่าราบ ลวดเชื่อมจะทำมุม  $75^{\circ}$  กับชิ้นงาน เป็นต้น



รูปที่ 2.6 มุมลวดเชื่อมทำกับชิ้นงาน

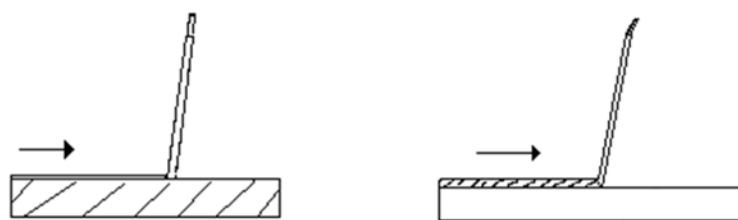
ช่างเชื่อมทุกคนไม่ต้องการให้เกิดปรากฏการณ์ลักษณะเช่นนี้ เมื่อเดินลวดเชื่อมต่อไปอาการเป่า เบี่ยงเบนจากอำนาจแม่เหล็กจะลดน้อยลงไปเมื่อถึงกึ่งกลางแผ่นโลหะชิ้นงาน จะหายไปเมื่อเดิมเชื่อมเลย ศูนย์กลางชิ้นงานเปลวอาร์คจะเบี่ยงเบนกลับทางตรงกันข้ามกับทิศทางเชื่อม จนเดินเชื่อมถึงจุดสุดแนวการ เบี่ยงเบนมาศูนย์กลางมากยิ่งขึ้น เพราะเส้นแรงแม่เหล็กจะผ่านอากาศได้ยากอีกครั้ง อาการเบี่ยงเบนจะเดิน ด้านในแผ่นงาน สรุปรูปการเบี่ยงเบนของอาร์คจะเกิดจากอำนาจแม่เหล็ก ที่แนวศูนย์กลางของชิ้นงานจะเกิด น้อย เพราะเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นโดยรอบลวดเชื่อมมีความสมดุลย์



รูปที่ 2.7 คุณสมบัติของประกายอาร์คที่เกิดกับวัสดุที่เป็นแม่เหล็ก เช่น แผ่นแม่เหล็ก

8. ความเร็วในการเดินของลวดเชื่อม หมายถึง ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมซึ่งนับว่าเป็น สิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่จะทำให้งานเชื่อมมีคุณภาพ ถ้าหากเดินลวดเชื่อมช้าจะทำให้แนวเชื่อมกว้างเกินไป แอ่งเชื่อมจะตื้น พวกสารมลทินและก๊าซต่าง ๆ จะฝังตัวและแทรกอยู่





รูปที่ 2.8 การเดินลวดเชื่อม

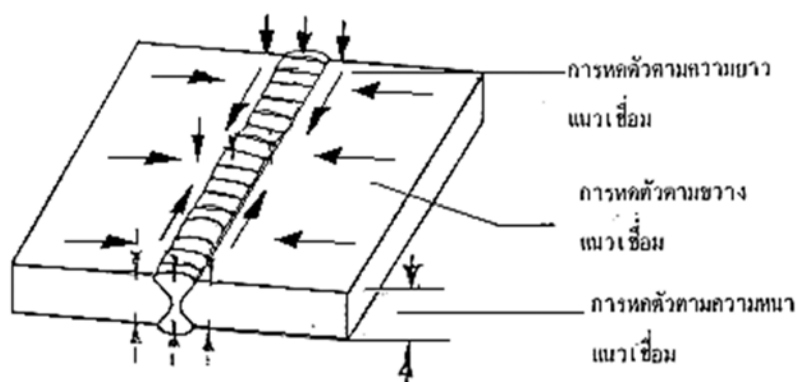
### 2.3.2 เวลาการเย็นตัวและการนำไปใช้งาน

#### 1. การหดตัวและความเค้นในงานเชื่อม

ขณะที่ทำการเชื่อมบริเวณแนวเชื่อมมีอุณหภูมิสูงมาก ทำให้แนวเชื่อมได้รับความร้อนแล้วเกิดการขยายตัว บริเวณที่ถัดจากแนวเชื่อมยังเย็นตัวอยู่ก็หดตัว การขยายตัวเกิดมีความเค้นอัดคงเหลืออยู่ในแนวเชื่อมส่วนที่เป็นชิ้นงานที่ห่างออกจากแนวเชื่อมก็จะเกิดความเค้นอัดเช่นกัน เพราะแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งในช่วงชั่วคราว (Elastic) และช่วงถาวร (Plastic) ดังนั้นจึงเกิดการหดตัวเมื่อแนวเชื่อมเย็นตัวลงสังเกตเห็นว่าชิ้นงานเปลี่ยนแปลงรูปร่างและเปลี่ยนแปลงมุมของรอยต่อ

เมื่อแนวเชื่อมเย็นตัว จะเห็นว่าแนวเชื่อมเกิดแรงที่ทำให้เกิดการหดตัวตามความยาว แนวเชื่อมตามความกว้างแนวเชื่อมและทางความหนาของแนวเชื่อมคงเหลืออยู่ เราแบ่งการหดตัวตามทิศทางทั้งสามในแนวเชื่อมคือ

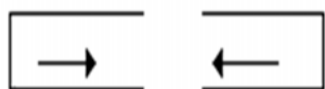
- 1) การหดตัวตามขวาง แนวเชื่อม
- 2) การหดตัวตามความยาว แนวเชื่อม
- 3) การหดตัวตามความหนา แนวเชื่อม



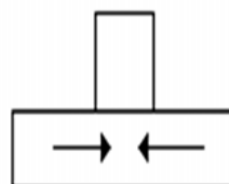
รูปที่ 2.9 การหัดหัวทั้ง 3 ชนิดนี้จะเกิดพร้อมกันในเวลาเดียวกัน

## 2. การหัดหัวตามขวางแนวเชื่อมต่อชนและแนวเชื่อมต่อฉาก

แนวเชื่อมเอ็นตัว จากแผ่นงานในทิศทางตั้งฉากกับความยาวแนวเชื่อม เข้าสู่แนวเชื่อมทำให้เกิดการหัดหัวในทิศทางขวางแนวเชื่อม วิธีลดการหัดหัวตามขวางแนวเชื่อม โดยใช้อุปกรณ์จัดยึดชิ้นงานขณะเชื่อม และโดยไม่ใช้วิธีการเชื่อมอาจเป็นการยุ่งเหยิง การขึ้นน็อตสกรูการวัดการหัดหัวตามขวางแนวเชื่อมโดยวิธีง่าย ๆ โดยการใช้วงเวียนรัศมีเท่าใดก็ได้ ให้จุดศูนย์กลางอยู่บนชิ้นงานแผ่นใดแผ่นหนึ่ง เขียนส่วนโค้งให้รัศมีส่วนโค้งอยู่บนงานอีกแผ่นหนึ่ง หลังจากเชื่อมชิ้นงานแล้วใช้จุดศูนย์กลางเดิม รัศมีเท่าเดิม เขียนส่วนโค้งใหม่แล้ววัดระยะห่างระหว่างเส้นส่วนโค้งแรกและเส้นส่วนโค้งที่สอง ระยะที่วัดได้นี้ คือ การหัดหัวตามขวางแนวเชื่อม



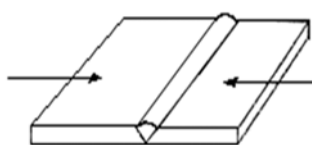
รูปที่ 2.10 แนวเชื่อมต่อชน

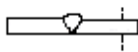
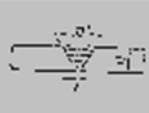


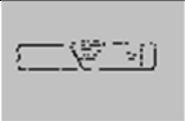
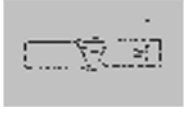
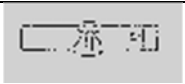
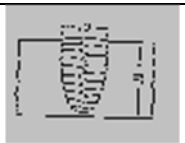
รูปที่ 2.11 แนวเชื่อมต่อฉาก

การหัดตัวประมาณ 0.6 – 3.3 มม.    การหัดตัวประมาณ 0 – 1.3 มม.

ตารางที่ 2.8 แสดงขบวนการหัดตัวในแนวเชื่อมต่อชนตามขนาดความหนาจำนวนแนวเชื่อมและ  
กระบวนการเชื่อม

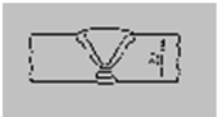
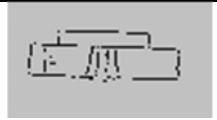


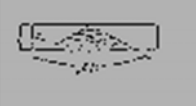
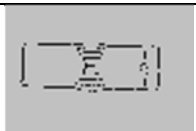
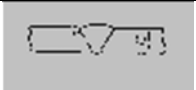
| รูปหน้าตัวแนวเชื่อมและความ<br>หนา (มม.)                                             | กระบวนการเชื่อมและจำนวนแนวเชื่อม                               | ขนาดการหัดตัว<br>(มม.) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|
|  | กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) จำนวน 2 แนว | 1.0                    |
|  | กระบวนการเชื่อม ทิก (TIG) เชื่อม<br>จำนวน 4 แนว                | 1.4                    |

|                                                                                     |                                                                                                              |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|    | กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์(SMAW) เชื่อม 5 แนว                                               | 1.6                    |
|    | กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) เชื่อมจำนวน 5 แนว เชื่อมแนวซึ่มลิกด้านตรงข้าม จำนวน 2 แนว | 1.8                    |
| รูปหน้าตัวแนวเชื่อม<br>และความหนา (มม.)                                             | กระบวนการเชื่อม<br>และจำนวนแนวเชื่อม                                                                         | ขนาดการหัดตัว<br>(มม.) |
|    | กระบวนการเชื่อมด้วยก๊าซเทคนิคการเชื่อม (Back hand) จำนวน 1 แถว                                               | 2.3                    |
|  | กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์(SMAW) เชื่อมจำนวน 20 แนว                                         | 3.2                    |

ตารางที่ 2.8 (ต่อ) แสดงขบวนการหัดตัวในแนวเชื่อมต่อขนาดความหนาจำนวนแนวเชื่อมและ

กระบวนการเชื่อม

|                                                                                     |                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|  | 1/3 ส่วนของความหนาใช้กระบวนการการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้ม (SMAW)<br><br>2/3 ส่วนของความหนาใช้กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (SAW) 1 แนว | 2.4 |
|  | กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์(SAW)<br><br>1 แนว เชื่อมใช้แผ่นทองแดงปะกบหลัง (BACK STRIP)                                                   | 0.8 |

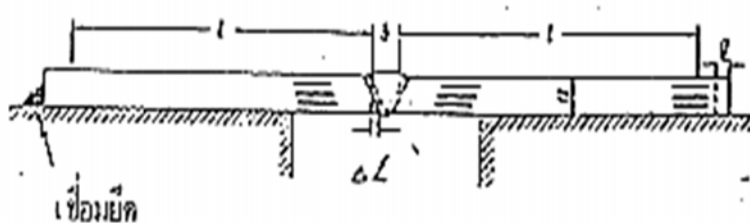
|                                                                                     |                                                                                              |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|    | กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วย<br>ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์(SMAW)<br>บากหน้างาน 120 องศา                 | 3.3 |
|    | กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วย<br>ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW)<br>เชื่อมด้านเดียว โดยใช้แผ่นปะกบหลัง | 1.5 |
|    | กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์(SMAW) เชื่อมข้างละ 4 แนว                         | 1.8 |
|  | กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) ที่การละลายซึมลึกสูง                      | 1.6 |

ผลที่ได้จากตารางนี้หาข้อสรุปได้ดังนี้ คือ

1. จำนวนของแนวเชื่อมในการเชื่อมไม่มีผลต่อการหดตัวตามขวางของแนวเชื่อม
2. สัดส่วนปริมาณความร้อนต่อความหนาแนวเชื่อมมีผลต่อการหดตัวตามขวางของแนวเชื่อมในกรณีที่ชิ้นงานมีความหนามาก ทำให้แนวเชื่อมมีความหนาและความกว้างมากทำให้ปริมาณความร้อนมากขึ้นด้วย ถ้าเป็นไปได้ควรเลือกเตรียมงานที่มีมุมหรือร่องบากแคบ ๆ

### 3. การคำนวณการหดตัวตามขวางแนวเชื่อมต่อชน

การหดตัวแนวเชื่อมต่อชน เกิดจากบริเวณด้านข้างของแนวเชื่อมได้รับความร้อนจากแนวเชื่อมแผ่ออกไปยังแผ่นงานทั้งสองข้าง ทำให้แผ่นงานทั้งสองข้างขยายตัว เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดการหดตัวในแผ่นงานทั้งสองแผ่นที่ตั้งฉากกับความยาวแนวเชื่อม (ตามขวางแนวเชื่อม) สามารถคำนวณหาได้



รูปที่ 2.12 แผ่นที่ตั้งฉากกับความยาวแนวเชื่อม

การหัดตัวตามขวางแนวเชื่อม  $Q = 2 \times l + 0.02b$  หรือ

$$1 = x \times l \times t$$

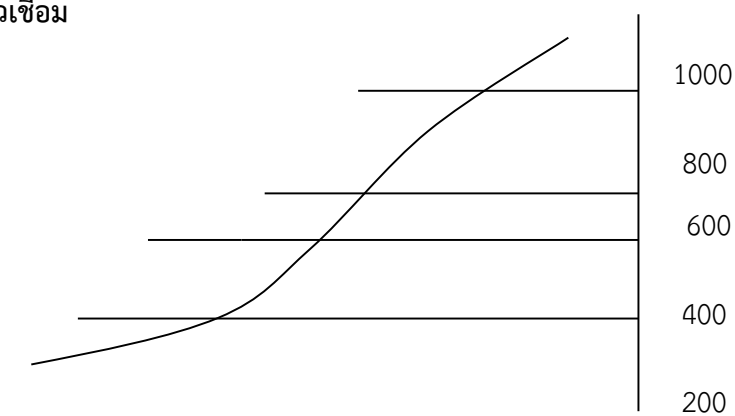
เมื่อ  $1 =$  ความยาวที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน  
 $=$  สัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อนของวัสดุ

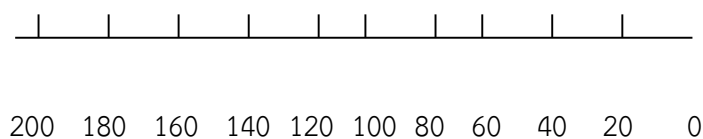
$t =$  อุณหภูมิตรงกลางของแผ่นงาน

$0.02 =$  ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วการหลอมละลาย

$t =$  ขนาดกึ่งกลางของความกว้างแนวเชื่อม

อุณหภูมิใกล้แนวเชื่อม





รูปที่ 2.13 จากเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะห่างจากแนวเชื่อม

บริเวณประมาณกว้าง 200 มม. ห่างจากแนวเชื่อมจะมีอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส และสัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องจากความร้อนสำหรับเหล็กกล้าที่อุณหภูมิระหว่าง 0 ถึง 400 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.013 และสัมประสิทธิ์การหลอมละลาย (2 %) 0.12

**ตัวอย่าง** การคำนวณหาการหดตัวตามขวางแนวเชื่อมกำหนดให้  $1 = 0.2$  เมตร สัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส  $= 0.013$   $t = 400$  องศาเซลเซียส  $b = 12$  มม.

$$\begin{aligned}\text{การหดตัวขวาง } Q &= 2 \times 1 \times t + 0.02 b \\ &= 2 \times 0.013 \times 0.2 \times 400 + 0.02 \times 12 \\ &= 2.30 \text{ มม.}\end{aligned}$$

สามารถควบคุมการหดตัวตามขวางแนวเชื่อมในแนวเชื่อมต่อชนได้ โดยเตรียมรอยบากของแนวเชื่อมให้แคบเท่าที่จะทำได้

การหดตัวตามขวางแนวเชื่อมขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่อไปนี้ คือ

- กระบวนการเชื่อม
- ความกว้างร่องรอยต่อ

- จำนวนแนวเชื่อม

- ชนิดลวดเชื่อม

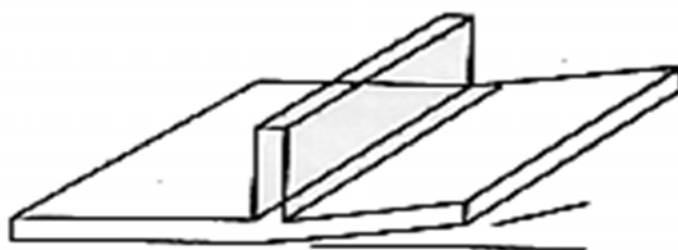
4. การหัดตัวตามขวางแนวเชื่อมต่อฉากมีน้อยกว่าแนวเชื่อมแบบต่อชนทั้งหมดขึ้นอยู่กับ

1) ความสัมพันธ์ของขนาดแนวเชื่อม (Troat) ต่อความหนาของชิ้นงานต้องเหมาะสม (ยิ่งงานหนายิ่งต้องพิจารณา)

2) การเชื่อมงานที่มีความหนา ต้องใช้วิธีการจัดลำดับตำแหน่งการเชื่อม (ยิ่งงานหนายิ่งต้องพิจารณา)

### 2.3.3 การเปลี่ยนแปลงมุมเนื่องจากการหัดตัวในแนวเชื่อมต่อฉาก

การเชื่อมต่อฉากมักจะเป็นการเชื่อมต่อตัวที่หรือต่อแบบกากบาท ปัญหาที่เกิดบ่อย ๆ คือ ในเนื้อตรงกลางของชิ้นงานมีแมงกานีสซัลไฟต์(Mns) ลักษณะแฉวยาว ๆ เกิดจากการรีดแปรรูปในการผลิตเหล็ก ชิ้นงานเมื่อนำมาเชื่อมต่อตัวที่ หรือต่อแบบกากบาท จะเกิดการหัดตัวที่แนวเชื่อมแล้วเกิดแรงดึง ทำให้ชิ้นงานแผ่นล่างแยกออกจากกัน จากเหตุผลดังกล่าวจึงมักเลี่ยงการเชื่อมแนวต่อฉากที่ขนานแนวเชื่อม (Throat) หนา หรือทำให้งานได้รับความร้อนสูงขณะเชื่อม อัตราการเปลี่ยนแปลงมุมจากการหัดตัวในการเชื่อมฉาก ขึ้นอยู่กับขนาดของแนวเชื่อมต่อฉาก (Throat) และความหนาของชิ้นงาน ถ้าความหนาของแนวเชื่อมต่อฉาก (Throat) เท่ากับครึ่งหนึ่งของความหนาชิ้นงาน (0.5t) การเปลี่ยนแปลงมุมจากการหัดตัวในแนวเชื่อมต่อฉากที่เกิดขึ้น และพอบ่อยในงานเชื่อมโครงสร้างทั่ว ๆ ไปจะประมาณ 3 องศา ซึ่งดูได้จากรูปต่อไปนี้





รูปที่ 2.14 การหดตัวในแนวเชื่อมต่อฉาก

### 2.3.4 การหดตัวตามความยาวแนวเชื่อม

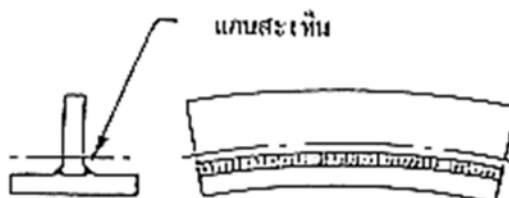
บริเวณที่ได้รับผลกระทบความร้อนจากแนวเชื่อม (Heat Affected Zone) บริเวณข้าง ๆ แนวเชื่อม จะเกิดแรงชนิดหนึ่งขึ้น คือ การยืดตัวตามความยาวของแนวเชื่อม การขยายตัว เนื่องจากความร้อนจะยิ่งมีมากขึ้นในบริเวณใกล้ ๆ แนวเชื่อม และบริเวณที่ได้รับความร้อนน้อย หรือไม่ได้รับผลกระทบความร้อนจากการเชื่อมก็จะเป็นตัวขัดขวางการขยายตัว จึงทำให้เกิดแรงกดอัดและขัดขวางการหดตัวเมื่อแนวเชื่อมเย็นตัวลงทำให้เกิดความเค้น และการเปลี่ยนรูปร่าง

#### 1. การหดตัวตามความยาวแนวเชื่อม แบ่งเป็น 3 แบบ

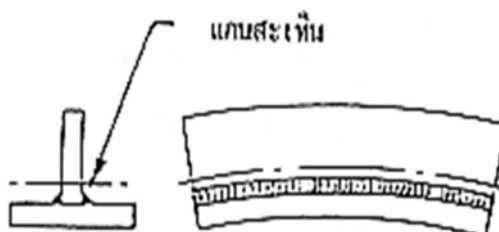
##### 1) การหดตัวตามความยาวของคานจากการเชื่อมสมมาตรกันแกนสะเทิน (CG)

การหดตัวตามยาวของคาน จากการเชื่อมแนวสมมาตร ในการเชื่อมโครงสร้างขนาดใหญ่อาจมองเห็นค่อนข้างยากทำให้ดูเหมือนว่าไม่มีบทบาทอะไรมากนัก แม้ที่จริงแล้วมีความสำคัญคือ ในการเชื่อมคาน โครงสร้างแล้วคานไม่สามารถหดตัวนั้นแสดงว่า เกิดความเค้นภายในเกิดขึ้นในคาน

การโค้งงอของคานเนื่องจากแรงอัดในการเชื่อม ไม่สมมาตรกับแกนสะเทิน (CG)



รูปที่ 2.15 การโค้งงอของคานจากการหดตัวของแนวเชื่อมได้แกนสะเทิน



รูปที่ 2.16 การงอตัวของคานจากการหดตัวของแนวเชื่อมเห็นคือแกนสะเทิน

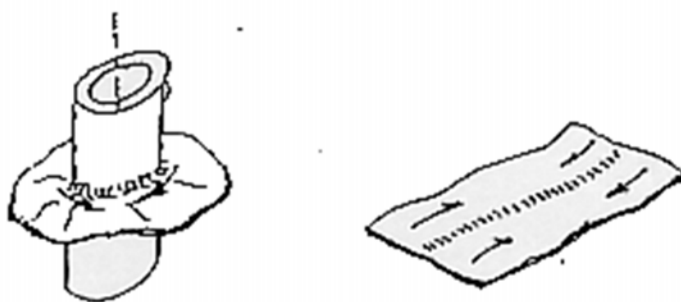


รูปที่ 2.17 การงอตัวของคานจากการหดตัวของแนวเชื่อมเห็นคือแกนสะเทิน

การเชื่อมคานตัวที่สามารถเห็นการโค้งงอของคานได้ชัดเจน โดยเฉพาะในคานตัวที่มีความยาว การเชื่อมที่ไม่สมมาตรกับแกนสะเทินเป็นแนวเชื่อมยาว จะทำให้เกิดแรงอัดซึ่งเกิดจากการหดตัวในแนวเชื่อม แรงอัดที่เกิดจากการหดตัวนี้ทำให้เกิดโมเมนต์ดัด (Bending Moment) ขึ้นได้จากระยะห่างจุดกลางของแรงหดตัว และแนวสะเทินของคาน

การเปลี่ยนรูปร่างของคานจากการเชื่อมที่ไม่สมมาตรกับแกนสะเทิน ขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดแนวเชื่อม และชนิดลวดเชื่อม การเชื่อมแบบเว้นระยะจะทำให้การเปลี่ยนรูปร่างของคานน้อยลง

การเปลี่ยนรูปร่างเนื่องจากการเย็นตัวไม่สม่ำเสมอในงานแผ่น (การยึดตัวและหดตัวเกิดขึ้นพร้อมกันในชิ้นงาน)

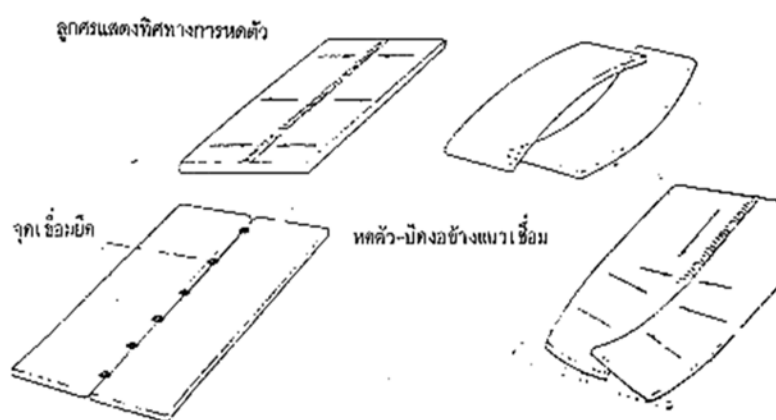


รูปที่ 2.18 การยึดตัวและหดตัวที่เกิดขึ้น

ในการเชื่อมตรงกลางของโลหะแผ่นบางที่บริเวณแนวเชื่อม จะเกิดการหดตัวเนื่องจากการเย็นตัว และเกิดแรงดึงที่บริเวณรอย หรือริมของแผ่นบางจะทำให้แผ่นบางเกิดเป็นคลื่นตามรูป

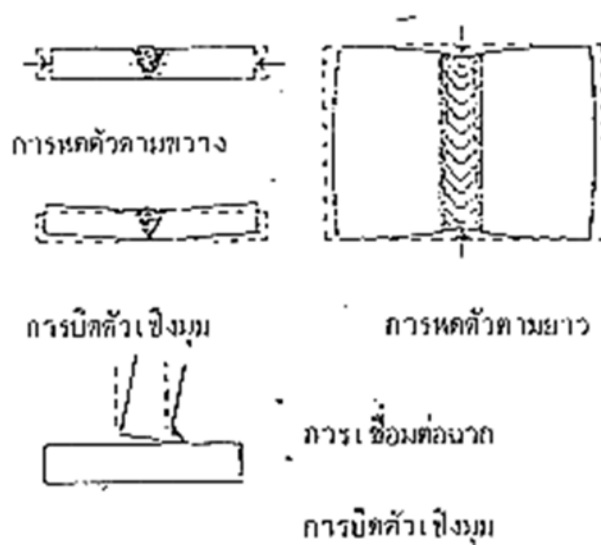
ในการเชื่อมย่อมจะเกิดการหดตัวตามแนวขวาง และตามยาวแนวเชื่อมพร้อมกันเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าการหดตัวที่เกี่ยวกับการเชื่อมแนวยาว ๆ เกิดจากความยาวของแนวเชื่อมความเร็วในการเชื่อมชนิดรูปแบบของแนวเชื่อมและการปฏิบัติการเชื่อม การเตรียมรอยต่อหรือแคบ ก็มีส่วเพราะในงานเชื่อมไม่สามารถเชื่อมแนวเชื่อมที่กว้างเกินไปและด้วยสาเหตุต่าง ๆ มากมาย การเปลี่ยนรูปร่างเกิดขึ้นได้จากการหดตัวตามขวางแนวเชื่อม และหดตัวตามยาวแนวเชื่อม ขณะที่ทำการเชื่อม

รูปแสดงความแตกต่างของการเคลื่อนไหว ของชิ้นงานจากการหดตัว ในการเชื่อมต่อชนหัวลูกศร แสดงทิศทางการหดตัว



รูปที่ 2.19 การเชื่อมต่อชนหัวลูกศรแสดงทิศทางการหดตัว

การเชื่อมชิ้นงานที่เชื่อมยึดไม่แข็งแรงจะทำให้ชิ้นงานเกิดการหนีแนวโอนไปตามทิศทางของแรงที่เกิดขึ้น เช่น การหดตัวขวางแนวเชื่อม และการหดตัวตามยาวแนวเชื่อม



รูปที่ 2.20 การบัดกรีตามขวางแนวมุม และการบัดกรีตามยาวแนวมุม

**2.4 เหล็กกล้าไร้สนิม หรือ สแตนเลส** (อังกฤษ: Stainless steel) นั้น ในทางโลหกรรมถือว่าเป็นโลหะผสมเหล็ก ที่มีโครเมียมอย่างน้อยที่สุด 10.5% ชื่อในภาษาไทย แปลจากภาษาอังกฤษว่า **stainless steel** เนื่องจากโลหะผสมดังกล่าวไม่เป็นสนิมที่มีสาเหตุจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง ออกซิเจนในอากาศกับโครเมียมในเนื้อสแตนเลส เกิดเป็นฟิล์มบางๆเคลือบผิวไว้ ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดความเสียหายให้กับตัวเนื้อสแตนเลสได้เป็นอย่างดี ป้องกันการกัดกร่อน และไม่ชำรุดหรือสึกกร่อนง่ายอย่างโลหะทั่วไป สำหรับในสหรัฐอเมริกาและในหลายประเทศ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการบิน นิยมเรียกโลหะนี้ว่า **corrosion resistant steel** เมื่อไม่ได้ระบุชัดว่าเป็นโลหะผสมชนิดใด และคุณภาพระดับใด แต่ในท้องตลาดเราสามารถพบเห็น สแตนเลสเกรด 18-8 มากที่สุด ซึ่งเป็นการระบุถึง ธาตุที่เจือลงในเนื้อเหล็กคือ โครเมียมและนิกเกิล ตามลำดับ สแตนเลสประเภทนี้จัดเป็น Commercial Grade คือมีใช้ทั่วไปหาซื้อได้ง่าย มักใช้ทำเครื่องใช้ทั่วไป ซึ่งเราสามารถจำแนกประเภทของสแตนเลสได้จากเลขรหัสที่กำหนดขึ้นตามมาตรฐาน AISI เช่น 304 304L 316 316L เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมจะเป็นตัวกำหนดเกรดของสแตนเลส ซึ่งมีความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป สแตนเลสกับการเกิดสนิม ปกติ Stainless steel จะไม่เป็นสนิมเพราะที่ผิวของมันจะมีฟิล์มโครเมียมออกไซด์ บางๆเคลือบผิวอยู่อันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง Cr ใน Stainless steel กับออกซิเจนในอากาศ การทำให้ Stainless steel เป็นสนิมคือการถูกทำลายฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ที่เคลือบผิว

ออกไปในสภาวะที่ Stainless steel สามารถเกิดสนิมได้ ก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมาอีกครั้ง เช่น ถ้าสแตนเลสถูกทำให้เกิดรอยขีดข่วน แล้วบริเวณรายนั้นมีความชื้น ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยากับธาตุเหล็กก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมา ก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมขึ้นได้

## 2.4.1 ประเภทของสแตนเลส

คนโดยทั่วไปจะไม่ทราบว่ามีสแตนเลสมีกี่ประเภท และมักจะมีการเข้าใจผิดว่าสแตนเลสแท้ต้องแม่เหล็กดูดไม่ติด แต่จริงๆแล้วการที่แม่เหล็กจะดูดติดหรือไม่ติดนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของสแตนเลส สแตนเลสแบ่งออกเป็นกลุ่มพื้นฐาน ได้ 5 กลุ่มคือ ออสเทนนิติก, เฟอริติก, ดูเพล็กซ์, มาร์เทนซิติก และ กลุ่มเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกผลึก

- กลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic) หรือสแตนเลสตระกูล 300 เป็นเกรดที่ใช้งานแพร่หลายมากที่สุดถึง 70%

มีคุณสมบัติแม่เหล็กดูดไม่ติด (non – magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 16% คาร์บอนอย่างมากที่สุด 0.15% มีส่วนผสมของธาตุไนเกิล 8% เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการทำการประกอบ (Fabrication) และเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน เกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมเรียก 18/10 คือการที่มีส่วนผสมของโครเมียม 18% และไนเกิล 10%

- กลุ่มเฟอริติก (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด (magnetic) มีธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำ และมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญอาจอยู่ระหว่าง 10.5%-27% และมีไนเกิลเป็นส่วนผสมอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย
- กลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic) แม่เหล็กดูดติด (magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 12-14% และมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ปานกลาง มีโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 0.2-1% ไม่มีไนเกิล

สแตนเลสตระกูลนี้สามารถปรับความแข็งแรงได้โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Quenching) และอบคืนตัว (Tempering) สามารถลดความแข็งแรงได้ คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน และพบการใช้งานที่สำคัญในการผลิตเครื่องตัด, อุตสาหกรรมเครื่องบินและงานวิศวกรรมทั่วไป

- กลุ่มเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกผลึก (Precipitation hardening) เกรดที่เป็นที่รู้จักในตระกูลนี้ คือ 17-4H ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม 17% และไนเกิล 4% สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้โดยกลไกเพิ่มความแข็งแรงจากการตกผลึก (Precipitation hardening mechanism) โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงมาก มีค่า

ความเค้นพิสูจน์ (Proof stress) อยู่ระหว่าง 1,000 ถึง 1,500 เมกะปาสกาล (MPa) ขึ้นอยู่กับชนิดและกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน (Heat treatment)

- กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex) มีโครงสร้างผสมระหว่าง โครงสร้างเฟอร์ริต และออสเทนนิติก มีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19-28% และโมลิบดีนัมสูงกว่า 5% และมีนิเกิลน้อยกว่าตระกูลออสเทนนิติก พบว่ามีการใช้งานมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบรรยากาศแวดล้อมของคลอไรด์

#### 2.4.2 ประโยชน์ของการใช้งานสแตนเลส

- ใช้ในสิ่งแวดล้อมที่กัดกร่อน (Corrosive Environment)
- งานอุณหภูมิเย็นจัด ป้องกันการแตกเปราะ
- ใช้งานอุณหภูมิสูง (High temperature) ป้องกันการเกิดคราบออกไซด์ (scale) และยังคงความแข็งแรง
- มีความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับมวล (High strength vs. mass)
- งานที่ต้องการสุขอนามัย (Hygienic condition) ต้องการความสะอาดสูง
- งานด้านสถาปัตยกรรม (Aesthetic appearance) ไม่เป็นสนิม ไม่ต้องทาสี
- ไม่ปนเปื้อน (No contamination) ป้องกันการทำ ปฏิกิริยากับสารเร่งปฏิกิริยา
- ต้านทานการขัดถูแบบเปียก (Wet abrasion resistance)

#### 2.4.3 ผิวของสแตนเลส

No.1- รีดร้อนหรือรีดเย็น / อบอ่อน หรือปรับปรุงด้วยความร้อน คราบออกไซด์ไม่ได้ขจัดออก / ใช้งานในสภาพที่รีดออกมาโดยทั่วไปจะใช้งานที่ทนความร้อน

2D- สภาพผิว 2D หลังจากการรีดเย็นโดยลดความหนาลง ผ่านการอบอ่อนและการกัดผิวโดยกรด  
ลักษณะผิวสีเทาเงินเรียบ

2B- ผิว 2D ที่ผ่านลูกรีดขนาดใหญ่กดทับปรับความเรียบ เพิ่มความเงาผิวเงาสะท้อนปานกลาง ผลิตโดยวิธีการรีดเย็น ตามด้วยการอบนำอ่อนขจัดคราบออกไซด์ และนำไปรีดเบาๆ ผ่านไปยังลูกกลิ้งขัด ซึ่งเป็นวิธีการทั่วไปของการรีดเย็น ผิวที่ได้ส่วนมากจะอยู่ในระดับ 2B

BA-ผ่านกระบวนการรีดเย็นด้วยความหนาลดลงทีละน้อยๆ ผ่านการอบอ่อนด้วยก๊าซไฮโดรเจน เพื่อป้องกันกันการออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ ผิวมันเงา สะท้อนความเงาได้ดี ผิวผลิตภัณฑ์สเตนเลสจะกระทำด้วยวิธีนี้ ซึ่งจะมีเครื่องหมาย BA หรือ No.2BA, A ซึ่งผิวบอบอ่อนเงา จะมีลักษณะเงากระจก ซึ่งเริ่มต้นจากการรีดเย็น อบอ่อนในเตาควบคุมบรรยากาศ ผิวเงาที่เห็นจะเป็นการขัดผิวด้วยลูกกลิ้งขัดผิว หรือเจียรนัยผิว ตามเกรดที่ต้องการ ผิวบอบอ่อนเงาส່ส่วนมากจะใช้กับงานสถาปัตยกรรม ที่ต้องการผิวสะท้อน ผิวบอบอ่อนสีน้ำนมจะไม่สะท้อนแสงเหมือนกับ No.8 จะใช้กับงานที่เป็นขอบ ชิ้นส่วนทางสถาปัตยกรรม ภาชนะในครัว อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตอาหาร

No.4, Hair Line- สภาพผิว 2B ที่ผ่านการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120-220 โดยค่าความหยาบขึ้นอยู่กับแรงกด, ขนาดของอนุภาคเม็ดทราย และระยะเวลาการใช้งานของกระดาษทราย ผิว No.4 เป็นสภาพผิวที่สนองต่อการนำไปใช้งานทั่วไป เช่นร้านอาหาร อุปกรณ์เครื่องใช้ในครัว อุปกรณ์รีดนม

No.8- สภาพผิว 2B, BA ขัดด้วยผ้าขัดอย่างละเอียดมากขึ้นตามลำดับ เช่น #1000, ผ้าขนสัตว์ โดยมีผงขัดอะลูมิเนียมและโครเมียมออกไซด์ ผิว No.8 ส่วนมากจะเป็นผิวเงาสะท้อนคล้ายกระจกเงา ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นสเตนเลสชนิดแผ่นโดยผิวจะถูกขัดด้วยเครื่องขัดละเอียด นำไปใช้กับงานตกแต่งทางด้านสถาปัตยกรรม และงานที่เน้นความสวยงาม

#### 2.4.4 การกัดกร่อน

สเตนเลสเป็นวัสดุที่ทนและต้านทานการกัดกร่อน อย่างไรก็ตามมีสเตนเลสหลายตระกูลที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดีเลิศ ในประเด็นการใช้งานที่ต่างกัน ซึ่งต้องเลือกไปใช้ในงานผลิตหรืองานประกอบโครงสร้าง ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างระมัดระวัง

- การกัดกร่อนทั่วไป (General corrosion)

เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นตลอดทั่วผิวหน้า (Uniform attack) การกัดกร่อนแบบนี้มีอันตรายน้อย เพราะสามารถวัด และทำนายการกัดกร่อนที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าได้ การกัดกร่อนแบบนี้จะเกิดขึ้นกับสเตนเลสในสิ่งแวดลอมที่มีผลต่อการกัดกร่อนในอัตราที่ต่ำมาก

- การกัดกร่อนเนื่องจากความต่างศักย์ไฟฟ้า (Galvanic corrosion)

เป็นการกัดกร่อนที่เกิดจากโลหะ 2 ชนิดที่มีศักย์ทางไฟฟ้าแตกต่างกันมาอยู่ติดกัน จุ่มอยู่ในสารละลาย ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนเดียวกัน สเตนเลสจะเป็นโลหะที่มีศักย์สูงกว่า ดังนั้นอัตราการกัดกร่อนแบบกัลวานิกมักจะไม่น่าจะเพิ่มขึ้นในสเตนเลส

- การกัดกร่อนแบบสึกกร่อนเนื่องจากการไหลของสารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง (Erosion corrosion)/ การกัดกร่อนเนื่องจากการขัดถู (Abrasion corrosion)

การกัดกร่อนแบบ Erosion/abrasion เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการสีกหรือทางกลกับการกัดกร่อนจากสารละลาย , ผงหรือเศษที่หลุดมาจากการขัดถู จะแขวนลอยอยู่ในสารละลาย และไหลด้วยความเร็วสูงจะทำให้ผิวหน้าสัมผัสมีอัตราการกัดกร่อนสูง สเตนเลสจะมีความต้านทานการกัดกร่อนแบบสึกกร่อนฯ หรือแบบขัดถูสูงเนื่องจากมีฟิล์มถาวรที่ยึดแน่น และสร้างทดแทนขึ้นที่ผิวหน้าสม่ำเสมอ

- การกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular corrosion)

C. ทำให้ขอบเกรนมีปริมาณโครเมียมลดลง มีความต้านทานการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรนต่ำ แก้ไขโดยการเลือกใช้วัสดุเกรด “L” หรือ เกรดที่ช่วยให้โครงสร้างเสถียร (Stabilized grade) และต้องระวังไม่ให้เกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรนระหว่างการเชื่อมประกอบโครงสร้าง<sup>๐</sup> - 850<sup>๐</sup> การกัดกร่อนตามขอบเกรนเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์บริเวณขอบเกรน ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 450

- การกัดกร่อนแบบสนิมขุม (Pitting corrosion)

การกัดแบบเป็นจุดหรือแบบสนิมขุมเป็นการกัดกร่อนเฉพาะที่เป็นอันตรายมาก ซึ่งมีผลทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ผิวหน้าเป็นรูเล็กๆ หรือเป็นรูทะลุตลอดเนื้อวัสดุ แต่สามารถวัดการสูญเสียเนื้อวัสดุได้น้อย สิ่งแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนแบบสนิมขุม ส่วนมากจะเป็นสารละลายที่มีคลอไรด์ไอออน (Chloride ion) จะเป็นตำแหน่งที่ฟิล์มถาวรจะถูกทำลายได้ง่ายที่สุดในสิ่งแวดล้อมเช่นนี้ ควรจะเลือกใช้วัสดุด้วยความระมัดระวัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสารละลายของกรดที่มีอุณหภูมิสูง ถ้าเงื่อนไขที่จะทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบสนิมขุมไม่สามารถแก้ไขได้ ให้แก้ไขโดยการเลือกใช้โลหะผสมที่ต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่า เช่น สเตนเลสเกรดดูเพล็กซ์ และเกรดอื่นๆ ที่สามารถแก้ไขได้

- การกัดกร่อนในพื้นที่อับหรือถูกปกปิด (Crevice corrosion)

การกัดแบบนี้เกิดขึ้นที่ผิวหน้าส่วนที่ถูกปิด หรือกดทับของสเตนเลส มีผลทำให้ปิดกั้นออกซิเจนไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันสร้างฟิล์มออกไซด์ได้ ทำให้ฟิล์มป้องกันมีแนวโน้มที่จะแตกหรือถูกทำลายลงในพื้นที่อับนี้ ดังนั้นในสภาวะการใช้งานต้องหลีกเลี่ยงการมีพื้นที่อับ



- การกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมที่มีจุลชีพ (Microbiologically Induced Corrosion : MIC)

การกัดกร่อนที่เป็นผลมาจากจุลชีพ เกิดจากแบคทีเรียที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมเกาะติดที่ผิวหน้าของสแตนเลสทำให้บริเวณนั้น ปิดกั้นออกซิเจน ดังนั้นเงื่อนไขในการกัดกร่อนจึงคล้ายกับแบบ Crevice แบคทีเรียจึงทำให้สถานการณ์ การกัดกร่อนเลวร้ายลง

- การแตกร้าวเนื่องจากการกัดกร่อนภายใต้แรงเค้น (Stress Corrosion Cracking : SCC)

SCC คือการแตกเปราะที่เริ่มต้นจากการกัดกร่อนในวัสดุที่มีความเหนียว สแตนเลสเกรดออสเทนนิติกจะมีแนวโน้มที่จะเกิด SCC สูงกว่าเกรดเฟอร์ริติก, สแตนเลสเกรดเฟอร์ริติกจึงสามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบ SCC ได้สูงกว่าเกรดออสเทนนิติก

#### 2.4.5 การใช้สแตนเลส

- ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity)

สแตนเลสทุกชนิดจะมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนมาก สแตนเลสเกรดที่มีส่วนผสมโครเมียมอย่างเดียว (plain chromium steel) มีค่าการนำความร้อน  $+1/3$  และเกรดออสเทนนิติกมีค่าการนำความร้อน  $+1/4$  ของเหล็กกล้าคาร์บอน ทำให้มีผลต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่นมีผลต่อการควบคุมปริมาณความร้อนเข้าระหว่างการเชื่อม, ต้องให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้น เมื่อต้องทำงานขึ้นรูปร้อน

- สัมประสิทธิ์การขยายตัว(Expansion coefficient)

สแตนเลสเกรดที่มีส่วนผสมโครเมียมอย่างเดียวมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวคล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน แต่เกรดออสเทนนิติกจะมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน  $1\frac{1}{2}$  เท่า การที่สแตนเลสมีการขยายตัวสูงแต่มีค่าการนำความร้อนต่ำทำให้ต้องหามาตรการป้องกันเพื่อหลีกเลี่ยงผลเสียที่ตามมาเช่น ใช้ปริมาณความร้อนในการเชื่อมต่ำ, กระจายความร้อนออกโดยใช้แท่งทองแดงรองหลัง, การจับยึดป้องกันการบิดงอ ปัจจัยเหล่านี้ต้องพิจารณาการใช้งานร่วมกันของวัสดุ เช่นท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) ระหว่างเปลือกโครงสร้างเหล็กกล้าคาร์บอน และท่อออสเทนนิติกเป็นต้น

- ฟิล์มป้องกันและการสร้างฟิล์ม (Passive film)

สแตนเลสจะมีฟิล์มบางๆ ต้านทานการกัดกร่อน จำเป็นต้องรักษาความสมบูรณ์ของฟิล์มป้องกัน ดังนี้

- หลีกเลี่ยงความเสียหายหรือการสัมผัสรุนแรงทางกล

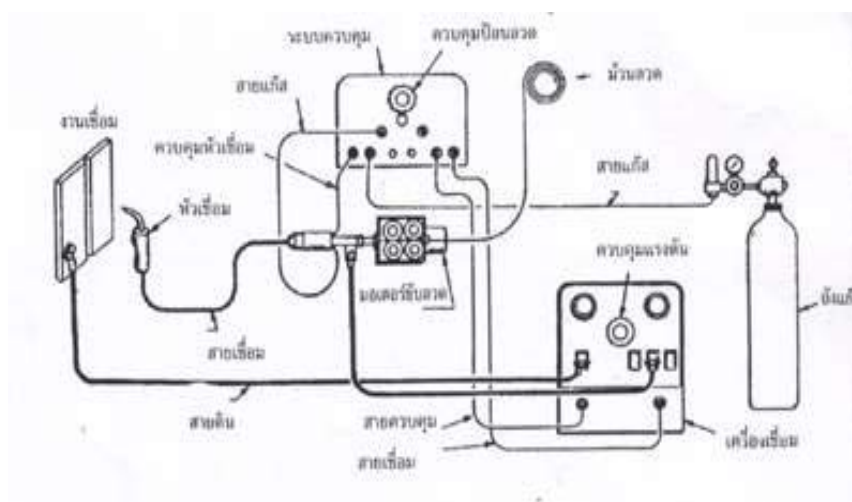
- ซ่อมปรับปรุงพื้นที่ที่มีผลต่อการเสียหายเช่น บริเวณที่เกิดสะเก็ดหรือคราบออกไซด์เนื่องจากอุณหภูมิสูง ใกล้เคียงๆ แนวเชื่อม, บริเวณที่เกิดความเสียหายทางกลหรือมีการเจียรไน, มีการปนเปื้อนโดยวิธีการสร้างฟิล์มป้องกัน (passivation) อย่างเดียวหรือใช้ทั้งวิธีการแช่กรดเพื่อกำจัดคราบจากออกไซด์ (pickling) หรือ การแช่กรดหรือน้ำยาสร้างฟิล์มออกไซด์ (passivation) ที่ผิวเหล็กกล้าสเตนเลส
- แน่ใจว่ามีออกซิเจนเพียงพอและสม่ำเสมอที่สร้างออกไซด์ที่ผิวของ เหล็กกล้าสเตนเลสได้

- การเสียหายที่ผิวเนื่องจากการเสียดสีที่ผิวโลหะกับโลหะอย่างรุนแรง (Galling /pick up / seizing)

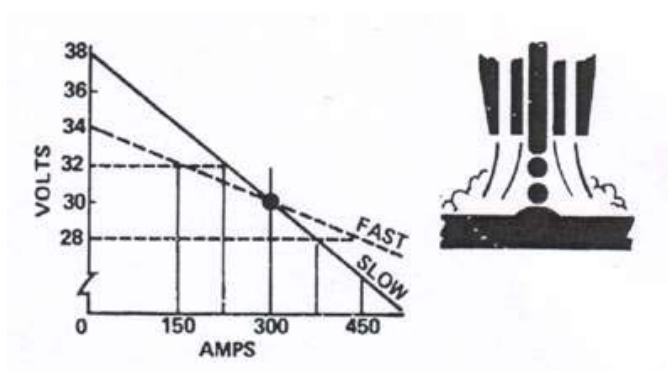
ผิวหน้าสเตนเลสมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสียหายเนื่องจากการเสียดสีอย่างรุนแรง ต้องหลีกเลี่ยงและระมัดระวัง ความเสียหายที่จะเกิดขึ้นดังกล่าวโดยสำหรับผิวหน้าที่มีการเสียดสีกันตลอดเวลา ควรใช้ Load หรือแรงเสียดสีต่ำสุด และต้องแน่ว่าการเสียดสีไม่สร้างความร้อนเกิดขึ้น ควรรักษาผิวสัมผัสไม่ให้เกิดการบดกับ ผงฝุ่น เม็ด ทราย ฯลฯ และใช้น้ำมันหล่อลื่นหรือเคลือบผิว

## 2.5 เครื่องเชื่อม

เครื่องเชื่อม มิก/แม็กเป็นเครื่องเชื่อมกระแสตรงกลับขั้ว (DCRP) ชนิดแรงดันไฟฟ้าคงที่ (CV หรือ Constant Voltage) สำหรับกระแสตรงขั้วตรง (DCSP) ไม่ค่อยนำมาใช้กับการเชื่อมมิก/แม็กจะเป็นเครื่องเชื่อมที่ตรงข้ามกับเครื่องเชื่อมทิกและเครื่องเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ ซึ่งเป็นเครื่องเชื่อมชนิดกระแสคงที่ (CC) เครื่องเชื่อมมิก/แม็ก ให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ในขณะที่เชื่อม แรงดันไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมปรับตั้งได้ตามต้องการที่เครื่องเชื่อม



เครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่ผลิตกระแสออกมาทั้งระบบแรงดันคงที่ และระบบกระแสที่ จะต้องมิต้นกำลังในการผลิต ซึ่งถ้าพิจารณาตามลักษณะต้นกำลังการผลิตขนาดแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 30 โวลต์ ปกติเครื่องเชื่อมจ่ายกระแสเชื่อม 300 แอมแปร์ เมื่อความเร็วลวดหรือระยะอาร์กเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด เช่น ถ้าระยะอาร์กต่ำ แรงดันไฟฟ้าจะต่ำลงด้วย เครื่องเชื่อมจะต้องจ่ายกระแสเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นให้หลอมละลายปลายลวดเชื่อมเร็วขึ้น เพื่อให้ระยะอาร์กคงที่เท่าที่กำหนดไว้ที่เครื่องเชื่อม 30 โวลต์ ในทางกลับกันถ้าระยะอาร์กสูงแรงดันไฟฟ้าจะสูงตามเครื่องเชื่อมต้องจ่ายกระแสน้อยลงให้การหลอมละลายเชื่อมช้าลง เพื่อรักษาระยะอาร์กให้คงที่ตามที่กำหนดไว้ ส่วนความเร็วลวดเชื่อมช่างเชื่อมจะต้องตั้งไว้ก่อนเชื่อมเช่นเดียวกันกับแรงดันไฟฟ้าถ้าเครื่องเชื่อมไม่สามารถตอบสนองการเปลี่ยนแปลงระยะอาร์กได้ทัน จะเป็นเหตุให้ปลายลวดเชื่อมยาวออกมามากและขาดเป็นท่อนเล็ก ๆ หรือไม่ก็เกิดการหลอมละลายติดของลวดเชื่อมกับปลายท่อนนำลวดเชื่อม (Guide Tube) ได้



### 2.5.1 ชุดป้อนลวดและระบบควบคุม

ชุดป้อนลวดและชุดควบคุมซึ่งต่อโดยตรงกับเครื่องเชื่อม ชุดป้อนลวดมีอยู่ 2 ชนิด จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับเครื่องเชื่อมและการนำไปใช้งาน สำหรับการเชื่อมแบบมิก/แม็กนั้น ใช้ชุดป้อนลวดชนิดความเร็วคงที่ (Constant Speed) ซึ่งเหมาะกับเครื่องเชื่อมแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่และลวดเชื่อมขนาดเล็กชุดป้อนลวดชนิดนี้สามารถปรับความเร็วของลวดตามความเหมาะสมกับงานที่จะเชื่อม ส่วนกระแสเชื่อมที่หลอมละลายลวดเชื่อมจะถูกปรับออกมาโดยอัตโนมัติให้สัมพันธ์กับการป้อนลวดเมื่อความเร็วป้อนลวดมากกระแสเชื่อมจะจ่ายมาก ถ้าความเร็วป้อนลวดต่ำกระแสเชื่อมจะจ่ายต่ำตาม

ชุดป้อนลวดประกอบด้วยมอเตอร์สำหรับกลไกป้อนลวดจากขดลวดให้ออกสู่บริเวณหลอมละลายที่ปลายหัวเชื่อม ซึ่งกลไกในการขับเคลื่อนอาจจะเป็นระบบเฟืองก็ได้ ซึ่งสามารถเปลี่ยนใช้กับลวดแต่ละขนาดได้ในชุดควบคุมนี้จะมีโซลินอยด์(Solenoids) ควบคุมการไหลของแก๊สปกคลุม การอาร์กและน้ำระบายความร้อนที่หัวเชื่อมรวมอยู่ด้วย การป้อนลวดเชื่อม มิก/แม็ก สามารถกระทำได้หลายแบบได้แก่

#### 1. การป้อนลวดแบบดัน (Push Type Wire Feed Systems)

การป้อนลวดเชื่อมมิก/แม็กโดยทั่วไปจะใช้แบบดัน โดยมีชุดเฟืองซึ่งอาจเป็นแบบ 2 ตัว หรือ 4 ตัว ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ทำหน้าที่ดึงลวดออกจากล้อพร้อมทั้งดันลวด ผ่านสายเชื่อมออกไปทางหัวเชื่อม สำหรับความยาวของสายเชื่อมที่ใช้กับลวดเชื่อมหลักจะยาวไม่เกิน 10 ฟุต และยาวไม่เกิน 6 ฟุตเมื่อใช้กับลวดอะลูมิเนียม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของลวดที่สามารถทนต่อแรงดันโดยไม่โค้งงอ

#### 2. การป้อนลวดแบบดึง (Pull Type Wire Feed Systems)

การป้อนลวดแบบดึงเป็นการป้อนลวดแบบหนึ่ง โดยใช้หัวเชื่อมที่มีชุดป้อนลวดพร้อมมอเตอร์ขับเคลื่อน และลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 4 นิ้ว ประกอบอยู่พร้อมภายในหัวเชื่อมซึ่งหัวเชื่อมแบบนี้เหมาะสำหรับลวดเชื่อมขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.045 นิ้ว โดยเฉพาะใช้เชื่อมงาน บางที่มีความต้องการปริมาณลวดเชื่อมเติมน้อย และยังเหมาะกับการเชื่อมงานที่มีเนื้อที่สำหรับการเชื่อมจำกัด

#### 3. การป้อนลวดแบบดันและดึง (Push Pull Wire Feed Systems)

การป้อนลวดแบบดันและดึงเหมาะสำหรับลวดเชื่อมที่มีความแข็งแรงต่ำ ซึ่งหัวเชื่อมจะประกอบติดไว้ด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อนและกลไกป้อนลวด ที่ทำหน้าที่เหมือนหน่วยควบคุมความเร็วในการป้อนลวด พร้อมทั้งเป็นตัวป้อนลวดที่ผ่านออกมาทางทอ (Conduit) ในลักษณะดันให้ออกจากหัวเชื่อม โดยระบบป้อนลวดแบบดันนี้จะมีการต่อไปควบคุมความเร็วของตัวป้อนลวดแบบดึง ที่ติดตั้งอยู่อีกด้านหนึ่งใกล้กับล้อลวด เชื่อมแต่ความเร็วของตัวป้อนลวดทั้งสองสัมพันธ์กันโดยใช้หลักการของแรงดึงในเส้นลวด แม้แต่ลวดเชื่อมอะลูมิเนียมผสมขนาดเล็กก็สามารถป้อนผ่านสายเชื่อมได้ยาวกว่า 50 ฟุต สำหรับท่อส่งผ่านลวดของสายเชื่อมภายในควรระบุไว้ด้วยพลาสติกเพื่อลดการครูดตัวระหว่างท่อกับลวดเชื่อม ข้อดีของการเชื่อม มิก/แม็ก เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีงานเชื่อม 1 นั้น ๆ มีดังนี้

- 1) สามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม
- 2) แนวเชื่อมไม่มีสแลกปกคลุมจึงไม่เสียเวลาในการเคาะสแลกออก
- 3) ไม่มีเขม่าและควันขณะเชื่อม
- 4) สามารถมองเห็นบ่อหลอมละลายของการเชื่อมได้อย่างชัดเจน
- 5) การเชื่อมกระทำได้เร็ว จึงประหยัดเวลาและลดต้นทุนการผลิต
- 6) งานเชื่อมมีการเสียรูปน้อย
- 7) คุณภาพของแนวเชื่อมสูง
- 8) สามารถเชื่อมงานที่มีระยะห่างรอยต่อกว้าง (Gap) ได้อย่างต่อเนื่อง
- 9) ลวดเชื่อมเป็นม้วนยาวสามารถเชื่อมได้แนวเชื่อมยาว และไม่มีเศษปลายลวดเชื่อมที่ต้องทิ้งมาก เหมือนกับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้าฟลักซ์

## 2.5.2 การนำไปใช้งาน

ในเทคโนโลยีงานเชื่อม 1มิก/แม็ก ทั้งหมดลวดเชื่อมจะถูกป้อนมายังหัวเชื่อมด้วยระบบอัตโนมัติ

ที่สามารถควบคุมความเร็วป้อนได้ สำหรับการสายหัวเชื่อมนั้นขึ้นอยู่กับระบบการเชื่อม ดังนี้ Semi Automatic Welding เป็นเทคโนโลยีงานเชื่อม 1แบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมการเชื่อมจะถูกควบคุมการทำงานด้วยมือ ยกเว้นการป้อนลวด

## 2.5.3 โลหะที่นำมาเชื่อม

ตอนแรกได้ใช้ มิก/แม็ก สำหรับเชื่อมแมกนีเซียม อะลูมิเนียมผสมและเหล็กกล้าไร้สนิมใน

ปัจจุบันสามารถนำไปเชื่อมโลหะและโลหะผสมได้เกือบทุกชนิด ซึ่งโลหะบางชนิดต้องอุ่นก่อนหรือหลังเชื่อม สำหรับโลหะที่มีจุดหลอมตัวต่ำไม่ควรเชื่อมด้วย มิก/แม็ก เพราะจะไหม้กลายเป็นควันและแก๊สได้ง่าย ดังนั้นโลหะที่เคลือบผิวไว้ด้วยโลหะที่มีจุดหลอมตัวต่ำ (เช่น ตะกั่ว สังกะสี ฯลฯ) ก่อนเชื่อมควรกำจัดโลหะที่มีจุดหลอมตัวต่ำออกจากบริเวณรอบต่อเสียก่อน และเมื่อเชื่อมเสร็จและจึงเคลือบใหม่ เพราะโลหะที่มีจุดหลอมตัวต่ำจะทำให้สมบัติทางกลของโลหะงานเชื่อมต่ำลง

#### 2.5.4 การส่งถ่ายน้ำโลหะ(Metal Transfer)

การเชื่อม มิก/แม็ก เป็นเทคโนโลยีงานเชื่อม 1แบบสลับเปลืองลวดเชื่อม โดยลวดเชื่อมหลอมละลายเติมลงไปบนแนวเชื่อม ซึ่งตัวป้อนลวดจะดึงลวดออกจากม้วนผ่านไปตามท่อที่อยู่ภายในสาย หัวเชื่อมและจะไปถึงจุดสุดท้ายที่ปลายหัวเชื่อม

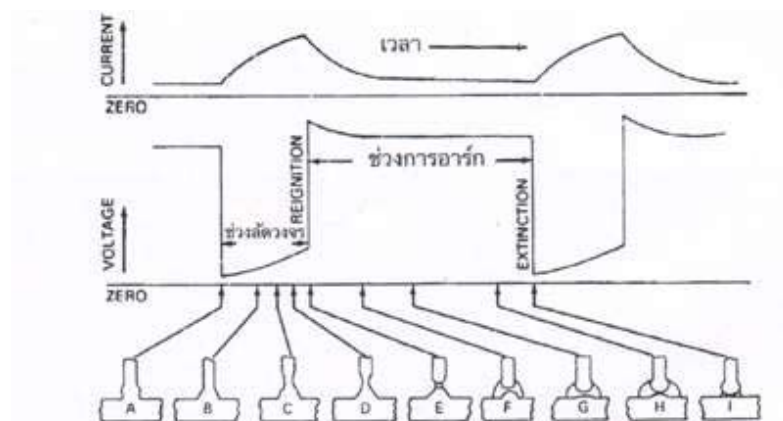
การที่ปลายลวดเชื่อมหลอมและเติมลงไปยังบ่อหลอมละลายนั้นเรียกว่า ”การส่งถ่ายน้ำโลหะ” (Metal Transfer) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายแบบเช่นลัดวงจร,สเปรย์อาร์ก,หยดและพัลส์ เป็นต้น ความแตกต่างของการส่งถ่ายน้ำโลหะแต่ละแบบนี้ขึ้นอยู่กับกระแสไฟ แรงดันไฟฟ้าในการอาร์ก ขนาดลวด ชนิดของแก๊สปกคลุมและชนิดของเครื่องเชื่อม

##### 1) แบบลัดวงจร(Short Arc Welding)

Short Arc ใช้สำหรับการเชื่อมด้วยลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.6 มม. ถึง 1.2 มม. บางครั้งเรียกว่าแบบจุ่ม (Dip Transfer), แบบลวดเชื่อม (Micro-Wire)โดยใช้แรงดันไฟฟ้าและกระแสเชื่อมต่ำ แนวเชื่อมที่ได้จากการส่งถ่ายน้ำโลหะแบบลัดวงจรจะเย็นตัวเร็ว,แนวเชื่อมเล็ก,และความเร็วในการส่งถ่ายประมาณ 20-200 ครั้งต่อวินาที การส่งถ่ายน้ำโลหะจะเกิดขึ้นในช่วงที่ลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมละลาย

ข้อดีของการส่งถ่ายน้ำโลหะแบบลัดวงจร มีดังนี้

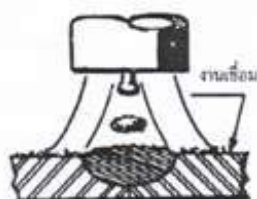
1. สามารถเชื่อมโลหะบาง ๆ ได้ทุกท่าเชื่อม
2. สามารถเชื่อมโลหะที่หนาได้ ในท่าตั้งขึ้นและท่าเหนือศีรษะ
3. สามารถเชื่อมงานที่มีระยะห่างรอยต่อมาก ๆ ได้
4. งานเชื่อมเสียรูปน้อย



## 2)แบบสเปรย์อาร์ก(Spray Arc Welding)

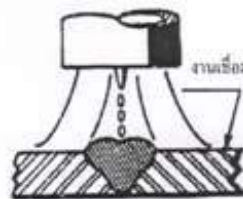
การส่งถ่านน้ำโลหะแบบสเปรย์อาร์กซึ่งโลหะจากลวดเชื่อมจะกลายเป็นเม็ดเล็ก ส่งถ่านจากปลายลวดเชื่อมสู่ชิ้นงานด้วยแรงแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะมีเสียงดังแฉ่ ๆ การที่ลวดเชื่อมหลอมละลายเป็นเม็ดเล็ก ๆ นั้น เนื่องมาจากการส่งถ่านน้ำโลหะนี้ใช้กระแสเชื่อมและแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าแบบอื่นทั้งหมดปลายลวดเชื่อมกับชิ้นงานจะไม่มีโอกาสสัมผัสกันเลย เพราะความร้อนที่ได้รับสูงพอที่จะหลอมละลายลวดเชื่อมได้ทันที การส่งถ่านน้ำโลหะแบบนี้จึงเรียบและเหมาะสมสำหรับเชื่อมงานที่มีอัตราการผลิตสูง ๆ ขนาดของเม็ดโลหะที่ส่งถ่านจะมีขนาดความโตใกล้เคียงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อม แนวเชื่อมที่ได้จึงสวยแต่การส่งถ่านน้ำโลหะแบบนี้มีข้อจำกัด คือ เชื่อมได้ดีเฉพาะทำราบเท่านั้นแต่ถ้าจะใช้เชื่อมทำอื่น ๆ ต้องควบคุมบ่อหลอมละลายของโลหะให้เล็ก

จากตารางเป็นขนาดกระแสเชื่อมต่ำสุดที่เกิดสเปรย์อาร์ก(Transition Current) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุลวดเชื่อม ขนาดลวดเชื่อม และชนิดของแก๊สปกคลุม การเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน แก๊สปกคลุมจะต้องมี  $\text{CO}_2$  ไม่นเกิน 15% แก๊สปกคลุมที่ผสม  $\text{CO}_2$  เกิน 15% แล้วจะไม่เกิดการส่งถ่านน้ำโลหะแบบสเปรย์



รูปที่ 3-3 การส่งถ่านน้ำโลหะแบบสเปรย์

ที่มา: Miller Electric, Gas Metal-Arc Welding.



รูปที่ 3-4 การส่งถ่านน้ำโลหะแบบหยด



### 3. การส่งถ่ายน้ำโลหะแบบหยด(Globular Transfer)

การส่งถ่ายน้ำโลหะแบบนี้เป็นลักษณะหนึ่งของสเปร์ยอาร์กโดยใช้กระแสเชื่อมอยู่ในช่วงระหว่างสเปร์ยลัดวงจร ซึ่งจะทำให้ปลายลวดเชื่อมหลอมละลายก่อนที่จะสัมผัสกับชิ้นงาน แต่เนื่องจากความร้อนที่หลอมปลายลวดเชื่อมนั้นต่ำ จึงไม่สามารถทำให้น้ำโลหะหลอมละลายที่ปลายลวดเชื่อมนั้นปล่อยออกสู่ชิ้นงานได้ จึงเพียงแต่หลอมรวมตัวอยู่ที่ปลายลวดเชื่อมเป็นก้อนโตกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมและอาศัยน้ำหนักของมันเองตกลงสู่บ่อหลอมละลายของงานเชื่อมการส่งถ่ายน้ำโลหะแบบนี้จะได้แนวเชื่อมออกมาไม่สวยนักและมีสะเก็ดเชื่อมค่อนข้างมากแต่เหมาะกับการเชื่อมงานหนา ส่งแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมนิยมใช้คาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สชนิดอื่น ๆ ก็สามารถใช้ได้เช่นกัน

### 4.การส่งถ่ายน้ำโลหะแบบพัลส์(Pulsed Transfer)

การส่งถ่ายน้ำโลหะแบบพัลส์ เป็นอีกลักษณะหนึ่งของสเปร์ยอาร์ก ซึ่งได้รวมเอาข้อดีของแบบลัดวงจรกับสเปร์ยอาร์กเข้าด้วยกัน จะได้กระแสเชื่อมที่อยู่ระหว่างช่วงสูงและช่วงต่ำ กระแสในช่วงต่ำจะมีค่าต่ำกว่า Transition Current ในขณะที่กระแสระดับสูงจะสูงกว่า Transition Current และยังเป็นช่วงเกิดการส่งถ่ายน้ำโลหะจากปลายลวดเชื่อมสู่บ่อหลอมละลายสำหรับกระแสช่วงต่ำเป็นกระแสที่รักษาการอาร์กให้คงอยู่จึงทำให้การส่งถ่ายน้ำโลหะแบบพัลส์ สม่าเสมอเหมือนกับสเปร์ยอาร์ก แต่ใช้กระแสต่ำกว่าจึงเหมาะกับการเชื่อม



โลหะบางโดยเฉพาะอะลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม และยังสามารถควบคุมการบิดงอได้ดี การเชื่อมด้วยระบบพัลส์จะต้องใช้เครื่องเชื่อมที่ออกแบบให้สามารถเชื่อมแบบพัลส์ได้

### 2.5.5 หัวเชื่อม

หัวเชื่อมมิก/แม็กแตกต่างจากหัวเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้าฟลักซ์ เนื่องจากหัวเชื่อมมิก/แม็กต้องจ่ายแก๊สเพื่อปกคลุมบริเวณอาร์กและเป็นทางผ่านของกระแสเชื่อมพร้อมกับลวดเชื่อมสู่บริเวณอาร์กหัวเชื่อมจะประกอบติดอยู่กับสายเชื่อม ซึ่งสายเชื่อมนั้นจะเป็นทางผ่านแก๊สปกคลุม ลวดเชื่อมและกระแสเชื่อมโดยท่อภายในของสายเชื่อม (Wire Feed Conduit) ที่ลวดผ่านจะทำด้วยเหล็กสปริงที่มีขนาดเป็นท่อ และภายนอกจะหุ้มไว้ด้วยท่อพลาสติกลักษณะของหัวเชื่อมมีทั้งชนิดหัวตรงและหัวโค้ง

1. นอซเซิล(Nozzle)ทำด้วยทองแดงหรือทองแดงเบริลเลียม (Meryllium Copper) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในระหว่าง 3/8-7/8 นิ้ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของหัวเชื่อม นอซเซิลทำหน้าที่ควบคุมให้แก๊สปกคลุมไหลออกเป็นลำเพื่อปกคลุมบริเวณอาร์ก



หัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ



## หัวเชื่อมโค้งแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

### 2.5.5 แก๊สปกคลุม

แก๊สปกคลุมเป็นแก๊สที่ใช้ปกคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลายไม่ให้เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันหรือสกรปรก เนื่องจากวัสดุงานจะรวมตัวกับออกซิเจน ไนโตรเจน และไอน้ำในอากาศ

#### 1. แก๊สฮีเลียม

แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สเฉื่อย มีน้ำหนักเบากว่าแก๊สอาร์กอนและนำความร้อนดีกว่าอาร์กอน ดังนั้น เปลวอาร์กที่เกิดจากการใช้แก๊สฮีเลียมปกคลุม จะขยายกว้างและความเข้มของการอาร์กจะต่ำกว่าเมื่อใช้แก๊สอาร์กอน จึงได้แนวเชื่อมกว้างและซึมลึกน้อยกว่าใช้แก๊สอาร์กอน (สำหรับการเชื่อม ทิกจะเกิดผลตรงข้าม) แก๊สฮีเลียมจะให้อาร์กโวลต์สูงกว่าแก๊สอาร์กอนเมื่อใช้ระยะอาร์กเท่ากัน

แก๊สฮีเลียมใช้เป็นแก๊สปกคลุมสำหรับการเชื่อมโลหะนอกกลุ่ม

#### 2. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์(CO<sub>2</sub>)

แก๊ส CO<sub>2</sub>ซึ่งอยู่ในลักษณะของสารประกอบ ที่ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กับออกซิ -เจนซึ่งมิใช่เป็นแก๊สเฉื่อยเหมือนกับแก๊สอาร์กอนและแก๊สฮีเลียม ดังนั้นในบริเวณอาร์กที่มีความร้อนสูงจะเกิดออกซิเจนอิสระ เมื่อใช้แก๊ส CO<sub>2</sub>เป็นแก๊สปกคลุมและเปลวอาร์กที่เกิดขึ้นจะกว้างกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนแต่จะแคบกว่าการใช้แก๊สฮีเลียม

ใช้แก๊ส CO<sub>2</sub>ปกคลุม จึงเหมาะแก่การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมขนาดเล็กโดยนำไปเชื่อมเหล็กกล้าละมุน แก๊ส CO<sub>2</sub>มีราคาถูกกว่าแก๊สปกคลุมชนิดอื่น ๆ

#### 3. อาร์กอน+ออกซิเจน

แก๊สอาร์กอนให้ผลกับการเชื่อมมิกดังนี้ การซึมลึกกลางแนวเชื่อมไม่ดี และเกิดการกัดขอบแนวเชื่อม แก๊สผสมชนิดนี้จะใช้กับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมและสามารถใช้เชื่อมเหล็กกล้าละมุนและเหล็กกล้าผสมต่ำได้ แต่ราคาของแก๊สนี้ค่อนข้างสูง

#### 4.อาร์กอน-ฮีเลียม

การนำแก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สฮีเลียม เพื่อรวมเอาสมบัติในการเชื่อมของแก๊สทั้งสองเข้าด้วยกันโดยผสมฮีเลียม 20-90 % หรือมากกว่า อัตราส่วนในการผสมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้และการผสมนั้นกระทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมกันโดยต่อแก๊สแต่ละชนิดเข้ามาผสมกันที่ชุดผสมซึ่งชุดผสมนี้สามารถควบคุมเปอร์เซ็นต์ของแก๊สแต่ละชนิดได้ตามต้องการ

#### 5.อาร์กอน –CO

การใช้ CO<sub>2</sub>เป็นแก๊สปกคลุมจะเกิดสะเก็ดเชื่อมกระเด็นและการอาร์กไม่สม่ำเสมอเมื่อผสมแก๊สอาร์กอนลงไปปัญหาดังกล่าวจะลดลง ลักษณะของเปลวอาร์กและแนวเชื่อมจะแตกต่างกันตามความแตกต่างของอัตราส่วนผสมของแก๊สทั้งสอง ส่วนสมบัติเชิงกลนั้นเมื่อใช้แก๊สอาร์กอนผสมกับ CO<sub>2</sub>จะให้ผลดีกว่าการใช้แก๊ส CO<sub>2</sub>อย่างเดียว แก๊สผสมชนิดนี้ใช้กับการเชื่อมเหล็กกล้าละมุน ซึ่งให้การซึมลึกดี ลดการเกิดรูพรุนและลวดเชื่อมหลอมละลายได้ดี

#### 6. อาร์กอน –ฮีเลียม – CO<sub>2</sub>

แก๊สผสมชนิดนี้ใช้สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (High Strength steel) ด้วยวิธี Short Arc ซึ่งปริมาณของแก๊สแต่ละชนิดจะให้สมบัติตามต้องการ เช่น ทำให้งานทนต่อการกัดกร่อนดี อาร์กสม่ำเสมอ ซึมลึกดี โลหะแนวเชื่อมหลอมละลายดีและปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเนื้อเชื่อมเป็นต้น

การใช้แก๊สปกคลุมผสมอาจใช้แก๊สดังกล่าวผสมกัน 2-3 ชนิดก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติตามที่ต้องการ และอัตราส่วนก็จะเปลี่ยนแปลงตามต้องการด้วย

#### 2.4.6 ความยาวของลวดเชื่อมที่ยื่นออกจากหัวเชื่อม

ความยาวของลวดเชื่อมที่ยื่นออกจากหัวเชื่อม ในที่นี้เรียกว่า Wire Extension หรือ Stickout ก็คือระยะความยาวของลวดเชื่อมจากปลายสุดของทิพจนถึงปลายสุดของลวดเชื่อม จากรูปที่ 3-15 แสดงระยะของลวดเชื่อมยื่นซึ่งระยะที่ทำให้เกิดการอุ่นลวดเชื่อม ดังสูตรต่อไปนี้

ความร้อนที่เกิดจากการต้านทาน  $= I^2 R$

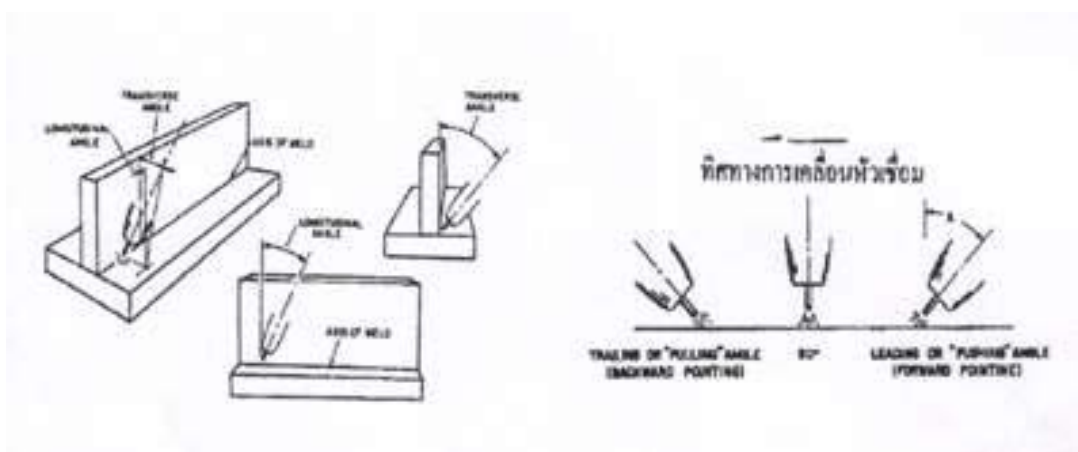
$R$  = ความต้านทาน

$l$  = กระแสเชื่อม

ระยะปลายทึงงาน (Tip-To-Work) เป็นระยะที่มีผลต่อลวดเย็น (Wire Extension) เป็นผลเสียต่อกระแสเชื่อมที่นำไปอาร์กหลอมงานกับลวดเชื่อม จะเห็นว่าระยะปลายทึงงานเพิ่มขึ้นปริมาณความร้อนที่เกิดจากความต้านทานของลวดเชื่อมในช่วงของลวดเย็น ( $I^2 R$ ) เพิ่มขึ้นด้วย แต่ปริมาณของกระแสเชื่อมที่ใช้ในการอาร์กกับชิ้นงานน้อยลง และในทางตรงกันข้ามระยะทึงงานลดลงปริมาณความร้อนที่เกิดจากความต้านทานมีน้อยทำให้กระแสเชื่อมที่ใช้ในการอาร์กหลอมละลายชิ้นงานกับปลายเชื่อมมีมากขึ้น จึงทำให้การซึมลึกของแนวเชื่อมดี

### 2.5.7 เทคนิคการวิธีเชื่อม

ประการแรกช่วงเชื่อมจะต้องรู้ตำแหน่งของหัวเชื่อมที่ทำมุมกับรอยต่อ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้แนวเชื่อมออกมาดีหรือไม่ดี มุมของหัวเชื่อมที่สำคัญได้แก่ Longitudinal Angle คือมุมที่เส้นศูนย์กลางของหัวเชื่อมกระทำกับแกนแนวเชื่อม



Transverse Angle คือมุมที่หัวเชื่อมกระทำกับระนาบ เช่นรอยต่อฟิลเลทมุมนี้จะเท่ากับ  $45^\circ$  และรอยต่อชนมุมนี้จะเท่ากับ  $90^\circ$

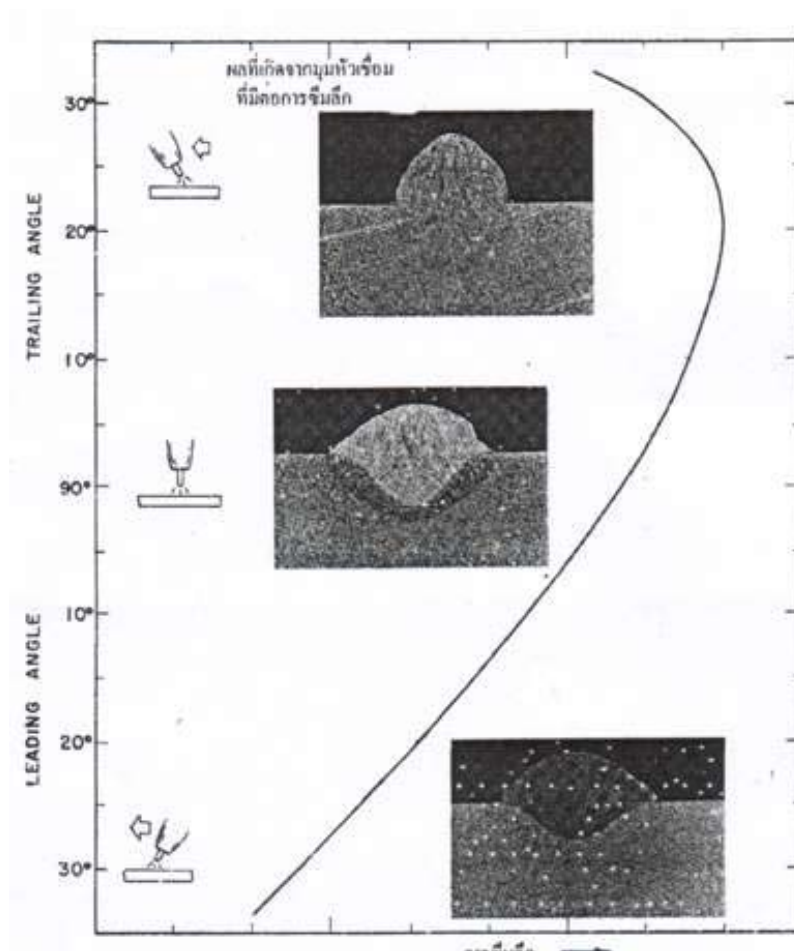
สำหรับกลวิธีเชื่อมมีอยู่ 2 แบบ ได้แก่ Back – Hand และ Fore – Hand

1) การเชื่อมแบบ Back – Hand หัวเชื่อมจะอยู่ในตำแหน่งที่ทิศทางการไหลของลวดเชื่อมตรงข้ามกับทิศทางการเชื่อม จึงทำให้ลวดเชื่อมเติมลงในแนวเชื่อมที่กำลังหลอมละลาย

2) การเชื่อมแบบ Fore – Hand เป็นการเชื่อมที่หัวเชื่อมอยู่ในตำแหน่งที่ทิศทางการไหลของลวดเชื่อมไปในทิศทางเดียวกับการเชื่อม ทำให้ลวดเชื่อมป้อนล้ำหน้าแนวเชื่อมที่หลอมละลาย (เดิมโดยตรงลงบนชิ้นงาน)

การเชื่อมแบบ Back – Hand จะให้การอาร์กสม่ำเสมอและมีสะเก็ดเชื่อมโลหะน้อย

สำหรับกราฟความสัมพันธ์ของกระแสเชื่อมกับการซึมลึก จะแปรผันกันโดยตรง ถ้าเพิ่มกระแสเชื่อมการซึมลึกจะเพิ่มขึ้นและถ้ากระแสเชื่อมลดลงการซึมลึกจะลดลงด้วย จึงสรุปได้ว่าการซึมลึกขึ้นอยู่กับกระแสไฟเชื่อมเป็นประการสำคัญ



แสดงหน้าตัดการซึมลึกและลักษณะของแนวเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมที่แตกต่างกัน

สวพ.  
นทร.สุวรรณภูมิ

### บทที่ 3 วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ เป็นการวิจัยคุณสมบัติทางกลด้านการหดตัวของชิ้นงานด้วยเหล็กเกรดสแตนเลส 304 จากกระบวนการเชื่อมมิก มีตัวแปรในการเปรียบเทียบ คือ ความหนาของชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมมิกคงที่เท่ากันทุกความหนาในการเชื่อม เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลด้านการหดตัวของชิ้นงาน มีค่าความแตกต่างในการหดตัวของชิ้นงาน โดยผู้วิจัยได้แบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยไว้เป็นขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์
3. ดำเนินการสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองวิจัย
4. ทดลองงานเชื่อม
5. ทดสอบการหดตัวของชิ้นงาน
6. บันทึกและวิเคราะห์ผล
7. สรุปผลการวิจัย

#### 3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาข้อมูลในการทำวิจัยจากเอกสาร ตำราในด้านคุณสมบัติของวัสดุในกลุ่มเหล็ก ตลอดจนศึกษาในกระบวนการเชื่อมมิก อุปกรณ์ที่ใช้งานเชื่อม ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องใช้ในการเชื่อม และทำการศึกษาเอกสารงานวิจัยต่างๆ มากำหนดเป็นแนวทางในการทำการศึกษาวิจัยในลำดับต่อไป

#### 3.2 จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

ผู้ทำการวิจัยได้ดำเนินการจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ในการจัดทำกรวิจัยดังนี้

3.2.1 จัดหา เหล็กแผ่นสแตนเลส 304 ขนาดกว้าง 200 มิลลิเมตร หนา 4,6 และ 9 มิลลิเมตร ทำการตัดให้มีความยาวเท่ากับ 250 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเหล็กแผ่นรีดร้อนสำหรับงานโครงสร้างและโครงสร้างเหล็กเชื่อมประกอบสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างอาคาร สะพานเหล็ก งานต่อเรือ และโครงสร้างยานยนต์

3.2.2 ใช้ลวดเชื่อมมิก ขนาด  $\varnothing$  1.20 มิลลิเมตร

3.2.3 จัดเตรียมแก๊ส Ar 85 % ผสม  $\text{CO}_2$  15 % ใช้สำหรับการเชื่อมมิก

3.2.4 จัดเตรียมวัสดุที่ใช้สร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

3.2.5 จัดเตรียมเครื่องมือในวัดค่าการหดตัวของชิ้นงาน

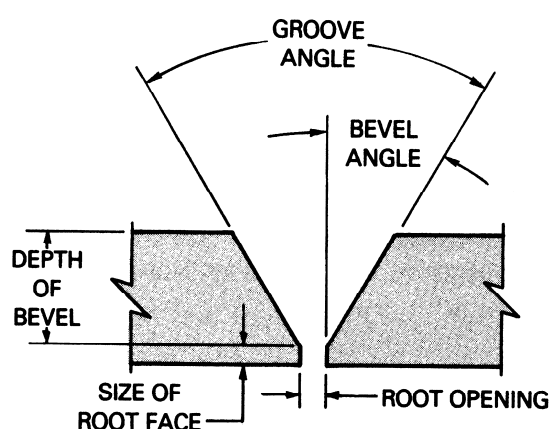
### 3.3 ดำเนินการสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองวิจัย

ผู้จัดทำงานวิจัยสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องมือวัดค่าการหดตัวของชิ้นงานที่ต้องวัดค่าขณะกำลังทำการเชื่อม เพื่อหาการหดตัวของชิ้นงาน ดังนี้

3.3.1 จัดทำชุดควบคุมการเดินแนวเชื่อมมิกสแตนเลส 304 ให้สามารถทำการเชื่อมมิกชิ้นงานที่มีความยาวไม่น้อยกว่า 250 มิลลิเมตร และสามารถควบคุมความเร็วในการเดินเชื่อมได้ ด้วยระบบควบคุมมอเตอร์แบบอินเวอร์เตอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมให้เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูงสุดของแนวเชื่อม และทำการติดตั้งเครื่องมือในการวัดค่าการหดตัวของชิ้นงานทุกด้านของชิ้นงาน

### 3.4 ทดลองงานเชื่อม

ผู้ดำเนินการวิจัยทำการเชื่อมเหล็กแผ่นสแตนเลส 304 ที่ตัดไว้ที่มีความยาวของแผ่น 200 มิลลิเมตร และทำการบากหน้างานตามที่ได้แบบการบากหน้างานไว้ ด้วยเครื่องบากหน้างานให้มีมุมของการบากหน้างานที่เท่ากันทุกชิ้นงาน ตกแต่งครีปที่เกิดจากการตัดให้เรียบร้อย โดยทำการเชื่อม ดังนี้



ภาพที่ 3.1 แสดงลักษณะของการเตรียมชิ้นงานทดลอง





ภาพที่ 3.2 แสดงลักษณะของชิ้นงานทดลอง

3.4.1 ทำการทดลองชิ้นงานโดยการเชื่อมชิ้นงานทดลองในตำแหน่งท่าราบต่อชนบกหน้างานแบบไม่ส่ายลวดเชื่อม ตามมาตรฐานงานเชื่อมที่มีความหนาของชิ้นงานที่มีความหนามาก โดยใช้วิธีการเชื่อมต่อเนื่องจากจะเชื่อมเสร็จตามลำดับของแนวเชื่อม ในความหนาของชิ้นงานทดลองแต่ละชิ้นงาน ตั้งแต่ความหนา 4, 6 และ 9 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ซึ่งในการทดลองจะใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ ประมาณ 184 แอมป์ โดยใช้ลวดเชื่อม ขนาด 1.20 มิลลิเมตร ในการเชื่อมซึ่งชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ขนาดจะใช้ค่ากระแสในขนาดเดียวกันทั้งหมดเพื่อที่ต้องการทราบค่าการหดตัวของชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกัน และทำให้ชิ้นงานเกิดการเย็นตัวตามปกติในอากาศแล้วนำไปทดสอบการหดตัวหลังขึ้นทดสอบเย็นแล้ว ประมาณ 48 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.3 แสดงการเชื่อมชิ้นทดลองตามขนาด



ภาพที่ 3.4 แสดงลักษณะขึ้นทอลงขนาด 5 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.5 แสดงลักษณะขึ้นทอลงขนาด 7 มิลลิเมตร



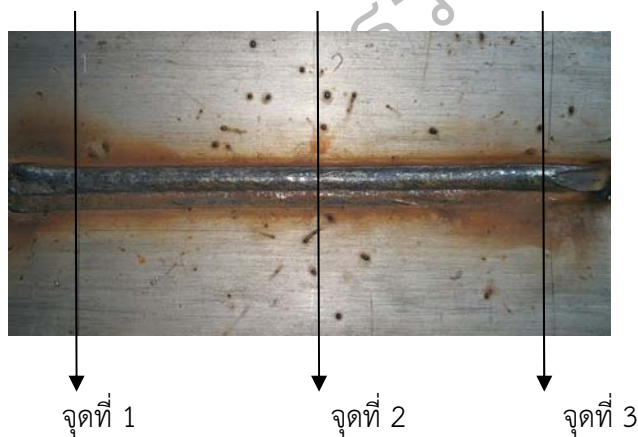
ภาพที่ 3.6 แสดงลักษณะขึ้นทอลงขนาด 10 มิลลิเมตร

### 3.5 ประเมินผลการทดสอบ

การประเมินผลการทดลอง จะนำค่าที่ได้จากการทดลองไปเก็บบันทึกผลในรูปแบบของตารางการประเมินผลการทดลอง ซึ่งจะใช้วิธีการคำนวณหาค่าเฉลี่ยได้โดยใช้ สูตรการหาค่าเฉลี่ยผลการทดลอง ซึ่งได้

แสดงวิธีการคำนวณไว้ เพื่อให้รู้ที่มาของค่าเฉลี่ยผลการทดลอง เมื่อได้ผลค่าเฉลี่ยของการทดลอง แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากผลการทดลอง

3.8.1 ตำแหน่งของการวัดขนาดของการหดตัวของชิ้นงานทดสอบ โดยใช้วิธีการเชื่อม ต่อเนื่องจนกว่าจะเชื่อมเสร็จตามลำดับของแนวเชื่อม ในความหนาของชิ้นงานทดลองแต่ละชิ้นงาน ตั้งแต่ความหนา 4, 6 และ 9 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ซึ่งในการทดลองจะใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ประมาณ 184 แอมป์ โดยใช้ลวดเชื่อม ขนาด 1.2 มิลลิเมตร. ในการเชื่อมซึ่งชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ขนาด



ภาพที่ 3.7 แสดงตำแหน่งของการวัดขนาดของการหดตัวของชิ้นงานทดสอบ

3.8.2 การหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองใช้สูตรต่อไปนี้

1) ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง ( $\bar{X}$ )

$$\text{สูตร } \bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

โดยที่  $\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ยของการหดตัว

$X_i$  = ผลการทดลองของแต่ละชิ้นทดสอบ  
 $n$  = จำนวนชิ้นงานทดลอง

สวพ.  
นทร.สุวรรณภูมิ



จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการทดลองจะใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ ประมาณ 184 แอมป์ โดยใช้ลวดเชื่อม ขนาด 1.2 มม. ที่ทำการเชื่อมชิ้นทดสอบที่มีความหนา 4 มม. จะมีการหดตัวของชิ้นทดสอบทั้ง 3 จุดมีขนาดแตกต่างกัน โดยจุดที่ 1 มีการหดตัวของชิ้นทดสอบน้อยอยู่ที่ ขนาดประมาณ 0.27 มม. จุดที่ 2 มีการหดตัวที่ขนาดประมาณ 0.46 มม. และจุดที่ 3 การหดตัวที่ขนาดประมาณ 0.33 มม. จะสังเกตได้ว่าการหดตัวของชิ้นทดสอบมีค่าที่แตกต่างกันไม่มาก แต่ในจุดที่ 1 จะมีการหดตัวน้อยสุดนั้นจะหมายถึงการเชื่อมชิ้นงานในขณะเย็นตัวอยู่จะทำให้ชิ้นงานมีการหดตัวน้อยลงและในจุดที่ 2 และ 3 อยู่ใกล้กับจุดที่มีการเชื่อมยึดชิ้นงานอยู่ทำให้เป็นสาเหตุที่ทำให้มีการหดตัวน้อยกว่า จุดที่ 2 ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ประมาณ 0.35 มม.

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าของผลการทดลองจากการวัดค่าการหดตัวของชิ้นทดสอบที่มีขนาดความหนา 6 มม.

| ตำแหน่ง<br>จุดที่วัด<br>ชิ้น<br>ทดสอบ | ชิ้นทดสอบที่ 1 |             |         |           | ชิ้นทดสอบที่ 2 |             |         |           | ชิ้นทดสอบที่ 3 |             |         |           | รวม  | เฉลี่ย |
|---------------------------------------|----------------|-------------|---------|-----------|----------------|-------------|---------|-----------|----------------|-------------|---------|-----------|------|--------|
|                                       | ก่อน           | ขณะ<br>ร้อน | เย็นตัว | หด<br>ตัว | ก่อน           | ขณะ<br>ร้อน | เย็นตัว | หด<br>ตัว | ก่อน           | ขณะ<br>ร้อน | เย็นตัว | หด<br>ตัว |      |        |
| 1                                     | 102.12         | 101.79      | 101.28  | 0.84      | 101.66         | 101.95      | 100.44  | 1.22      | 102.10         | 101.17      | 100.72  | 1.38      | 3.44 | 1.15   |
| 2                                     | 102.16         | 101.18      | 100.85  | 1.31      | 101.88         | 101.63      | 100.14  | 1.74      | 102.18         | 101.09      | 100.70  | 1.48      | 4.53 | 1.51   |
| 3                                     | 102.18         | 101.20      | 100.91  | 1.27      | 102.49         | 101.72      | 100.26  | 2.23      | 102.20         | 101.57      | 101.15  | 1.05      | 4.55 | 1.52   |
|                                       |                |             |         |           |                |             |         |           |                |             |         |           |      | 1.39   |

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการทดลองจะใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ ประมาณ 184 แอมป์ โดยใช้ลวดเชื่อม ขนาด 1.2 มม. ที่ทำการเชื่อมชิ้นทดสอบที่มีความหนา 6 มม. จะมีการหดตัวของชิ้นทดสอบทั้ง 3 จุดมีขนาดแตกต่างกัน โดยจุดที่ 1 มีการหดตัวของชิ้นทดสอบมากอยู่ที่ ขนาดประมาณ 1.15 มม. จุดที่ 2 มีการหดตัวที่ขนาดประมาณ 1.51 มม. และจุดที่ 3 การหดตัวที่ขนาดประมาณ 1.52 มม. จะสังเกตได้ว่าการหดตัวของชิ้นทดสอบมีค่าที่แตกต่างกันไม่มาก แต่ในจุดที่ 3 จะมีการหดตัวมากที่สุดนั้น จะหมายถึงการเชื่อมชิ้นงานในขณะร้อนจะทำให้ชิ้นงานมีการหดตัวมาก เมื่อชิ้นงานมีความร้อนสะสมในปริมาณที่มากพอแล้ว ก็จะไม่สามารถหดตัวได้เพิ่ม ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ประมาณ 1.39 มม.

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าของผลการทดลองจากการวัดค่าการหดตัวของชั้นทดสอบที่มีขนาดความหนา 9 มม.

| ตำแหน่ง<br>จุดที่วัด<br>ชั้น<br>ทดสอบ | ชั้นทดสอบที่ 1 |             |         |           | ชั้นทดสอบที่ 2 |             |         |           | ชั้นทดสอบที่ 3 |             |         |           | รวม  | เฉลี่ย |
|---------------------------------------|----------------|-------------|---------|-----------|----------------|-------------|---------|-----------|----------------|-------------|---------|-----------|------|--------|
|                                       | ก่อน           | ขณะ<br>ร้อน | เย็นตัว | หด<br>ตัว | ก่อน           | ขณะ<br>ร้อน | เย็นตัว | หด<br>ตัว | ก่อน           | ขณะ<br>ร้อน | เย็นตัว | หด<br>ตัว |      |        |
| 1                                     | 101.33         | 101.18      | 100.76  | 0.57      | 101.37         | 101.34      | 100.85  | 0.52      | 101.43         | 101.36      | 100.92  | 0.51      | 1.60 | 0.53   |
| 2                                     | 101.54         | 101.04      | 100.60  | 0.94      | 101.30         | 100.82      | 100.32  | 0.98      | 101.50         | 101.09      | 100.65  | 0.85      | 2.77 | 0.92   |
| 3                                     | 101.65         | 101.28      | 100.95  | 0.70      | 101.12         | 100.87      | 100.54  | 0.58      | 101.50         | 101.22      | 100.94  | 0.56      | 1.84 | 0.61   |
|                                       |                |             |         |           |                |             |         |           |                |             |         |           |      | 0.69   |

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการทดลองจะใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ ประมาณ 184 แอมป์ โดยใช้ลวดเชื่อม ขนาด 1.2 มม. ที่ทำการเชื่อมชั้นทดสอบที่มีความหนา 9 มม. จะมีการหดตัวของชั้นทดสอบทั้ง 3 จุดมีขนาดแตกต่างกัน โดยจุดที่ 1 มีการหดตัวของชั้นทดสอบมากอยู่ที่ขนาดประมาณ 0.53 มม. จุดที่ 2 มีการหดตัวที่ขนาดประมาณ 0.92 มม. และจุดที่ 3 การหดตัวที่ขนาดประมาณ 0.61 มม. จะสังเกตได้ว่าการหดตัวของชั้นทดสอบมีค่าที่แตกต่างกันไม่มาก แต่ในจุดที่ 1 จะมีการหดตัวน้อยสุดนั้น จะหมายถึงการเชื่อมชิ้นงานในขณะร้อนจะทำให้ชิ้นงานมีการหดตัวน้อยลง เมื่อชิ้นงานมีความร้อนสะสมในปริมาณที่มากพอแล้วก็จะไม่สามารถหดตัวได้เพิ่ม ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ประมาณ 0.69 มม.

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ เป็นการวิจัยคุณสมบัติทางกลด้านการหดตัวของชิ้นงานด้วยเหล็กเกรด 304 จากกระบวนการเชื่อมมิก มีตัวแปรในการเปรียบเทียบ คือ ความหนาของชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกัน โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมมิกคงที่เท่ากันทุกความหนาในการเชื่อม เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลด้านการหดตัวของชิ้นงาน มีค่าความแตกต่างในการหดตัวของชิ้นงาน โดยผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัยดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการทดสอบที่ใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ ประมาณ 184 แอมป์ โดยใช้ลวดเชื่อม ขนาด 1.2 มม. ที่ทำการเชื่อมชิ้นทดสอบที่มีความหนา 4 มม. จะมีการหดตัวของชิ้นทดสอบทั้ง 3 จุด มีขนาดแตกต่างกัน โดยจุดที่ 1 มีการหดตัวของชิ้นทดสอบน้อยอยู่ที่ ขนาดประมาณ 0.27 มม. จุดที่ 2 มีการหดตัวที่ขนาดประมาณ 0.46 มม. และจุดที่ 3 การหดตัวที่ขนาดประมาณ 0.33 มม. จะสังเกตได้ว่าการหดตัวของชิ้นทดสอบมีค่าที่แตกต่างกันไม่มาก แต่ในจุดที่ 1 จะมีการหดตัวน้อยสุด นั้นจะหมายถึงการเชื่อมชิ้นงานในขณะเย็นตัวอยู่จะทำให้ชิ้นงานมีการหดตัวน้อยลงและในจุดที่ 2 และ 3 อยู่ใกล้กับจุดที่มีการเชื่อมยึดชิ้นงานอยู่ทำให้เป็นสาเหตุที่ทำให้มีการหดตัวน้อยกว่า จุดที่ 2 ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ประมาณ 0.35 มม.

5.1.2 ผลการทดสอบการใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ ประมาณ 184 แอมป์ โดยใช้ลวดเชื่อม ขนาด 1.2 มม. ที่ทำการเชื่อมชิ้นทดสอบที่มีความหนา 6 มม. จะมีการหดตัวของชิ้นทดสอบทั้ง 3 จุดมีขนาดแตกต่างกัน โดยจุดที่ 1 มีการหดตัวของชิ้นทดสอบมากอยู่ที่ ขนาดประมาณ 1.15 มม. จุดที่ 2 มีการหดตัวที่ขนาดประมาณ 1.51 มม. และจุดที่ 3 การหดตัวที่ขนาดประมาณ 1.52 มม. จะสังเกตได้ว่าการหดตัวของชิ้นทดสอบมีค่าที่แตกต่างกันไม่มาก แต่ในจุดที่ 3 จะมีการหดตัวมากที่สุดนั้น จะหมายถึงการเชื่อมชิ้นงานในขณะร้อนจะทำให้ชิ้นงานมีการหดตัว เมื่อชิ้นงานมีความร้อนสะสมในปริมาณที่มากพอแล้วก็จะไม่สามารถหดตัวได้เพิ่ม ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ประมาณ 1.39 มม.

5.1.3 ผลการตรวจสอบการใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ ประมาณ 184 แอมป์ โดยใช้ลวดเชื่อม ขนาด 1.2 มม. ที่ทำการเชื่อมชิ้นทดสอบที่มีความหนา 12 มม. จะมีการหดตัวของชิ้นทดสอบทั้ง 3 จุดมีขนาดแตกต่างกัน โดยจุดที่ 1 มีการหดตัวของชิ้นทดสอบมากอยู่ที่ ขนาดประมาณ 0.53 มม. จุดที่ 2 มีการหดตัวที่ขนาดประมาณ 0.92 มม. และจุดที่ 3 การหดตัวที่ขนาดประมาณ



0.61 มม. จะสังเกตได้ว่าการหดตัวของชิ้นทดสอบมีค่าที่แตกต่างกันไม่มาก แต่ในจุดที่ 3 จะมีการหดตัวน้อยสุดนั้น จะหมายถึงการเชื่อมชิ้นงานในขณะร้อนจะทำให้ชิ้นงานมีการหดตัวน้อยลง เมื่อชิ้นงานมีความร้อนสะสมในปริมาณที่มากพอแล้วก็จะไม่สามารถหดตัวได้เพิ่ม ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ประมาณ 0.69 มม.

## 5.2 อภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษาผลการทดลองชิ้นงานโดยการเชื่อมชิ้นงานทดลองในตำแหน่งท่าราบต่อชนบก หน้าที่งานแบบไม่ส่ายลวดเชื่อม ตามมาตรฐานงานเชื่อมที่มีความหนาของชิ้นงานน้อยไปหาชิ้นงานที่มีความหนา มาก โดยใช้วิธีการเชื่อมต่อเนื่องจนกว่าจะเชื่อมเสร็จตามลำดับของแนวเชื่อม ในความหนาของชิ้นงาน ทดลองแต่ละชิ้นงาน ตั้งแต่ความหนา หนา 4,6,9 มิลลิเมตร ซึ่งในการทดลองจะใช้กระแสไฟในการ เชื่อมที่ ประมาณ 184 แอมป์ โดยใช้ลวดเชื่อม ขนาด 1.2 มม. ในการเชื่อมซึ่งชิ้นงานที่ใช้ในการ ทดลองทั้ง 3 ขนาด จากผลการทดลองของชิ้นทดสอบจะเห็นค่าการหดตัวของชิ้นทดสอบที่แตกต่าง กันทั้ง 3 ขนาดความหนา เพราะฉะนั้นในการเชื่อมชิ้นงานที่มีความหนาด้วยกระแสไฟในการเชื่อมที่ ประมาณ 184 แอมป์ โดยใช้ลวดเชื่อม ขนาด 1.2 มม. แบบกระบวนการเชื่อมมิกกับเหล็กเกรด SS400 จะมีค่าการหดตัวของชิ้นงาน ที่ผู้ช้อกแบบงานเชื่อมที่ต้องมีการเผื่อค่าการหดตัวของชิ้นงาน เหล็กเกรด 304 เพื่อไม่ให้เกิดค่าความเค้นตกค้างหลังการเชื่อมชิ้นงานได้ต่อไป

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการศึกษา พบว่า ลักษณะมุมของปลายทั้งสแตนเลสที่น่าสนใจหลายด้านรวมทั้ง กระบวนการเชื่อม TIG (Tungsten Inert Gas Arc Welding) ก็เป็นเรื่องที่น่าศึกษาค้นคว้า เพิ่มเติม

เพื่อให้เทคโนโลยีด้านนี้สมบูรณ์มากขึ้นโดยมีประเด็นน่าสนใจได้แก่

- 5.3.1 ศึกษาลักษณะมุมของปลายทั้งสแตนเลสมุมอื่นๆรวมทั้งตัวแปรของกระแสไฟอื่นๆด้วย
- 5.3.2 ทดลองหาผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำกระบวนการเชื่อมนี้ไปประยุกต์ใช้งานได้ และ เปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมแบบเดิมทั้งด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรมและด้านเศรษฐศาสตร์
- 5.3.3 ศึกษาเรื่องความหนาของชิ้นงานที่เหมาะสมต่อการใช้กระแสไฟเพิ่มเติม

## บรรณานุกรม

- [1] คณะนั้ วรณโท,การเชื่อมโลหะด้วยวิธีการเชื่อมทิก TIG ,พิมพ์ครั้งที่ 2 สิงหาคม 2543, จัดพิมพ์โดย ชมรมข้าราชการและพนักงานสำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน,พิมพ์ที่ หจก.ภาพพิมพ์.
- [2] เจษฎา มนตรี, ไชยเชษฐ น้่มละออ, วิทยา ฉายบัณดิษฐ์, การศึกษาอิทธิพลของชนิดกระแสไฟ เชื่อมและลักษณะปลายลวดเชื่อมทั้งสแตนที่มีผลต่อการซึมลึกของแนวเชื่อมของเหล็กกล้าไร้ สนิมด้วยกระบวนการเชื่อมทิก,ปริญญานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะ วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, พ.ศ. 2549.
- [3] บุญธรรม ภัทราจารกุล, วัสดุช่าง, จัดพิมพ์โดย บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2540.
- [4] ไพโรจน์ ฐานวิเศษ,โลหะวิทยา,พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2540,พิมพ์ที่ นายนิรุดี พรหมพรรณ 1068 ถนนสุรนารายณ์ อ.เมือง จ.นครราชสีมา.
- [5] วิฑูรย์ สิมะโชคดี, วีรพงษ์ เณิมจิระรัตน์, 2550, “วิศวกรรมและการบริหารความปลอดภัย” พิมพ์ครั้งที่ 22 สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. หน้า 19-48.
- [6] สมบูรณ์ เต็งหงส์เจริญ , กระบวนการเชื่อม , สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ (ศสว).
- [7] สมบูรณ์ เต็งหงส์เจริญ , วิศวกรรมการเชื่อม, สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ (ศสว).
- [8] เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์,การทดสอบแรงดึง,จัดพิมพ์โดย โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.กรุงเทพ :2550.
- [9] [http://www.rmutphysics.com/charud/PDF-learning/2/material/1Material\\_Properties.pdf](http://www.rmutphysics.com/charud/PDF-learning/2/material/1Material_Properties.pdf).
- [10] <https://th.wikipedia.org/wiki>