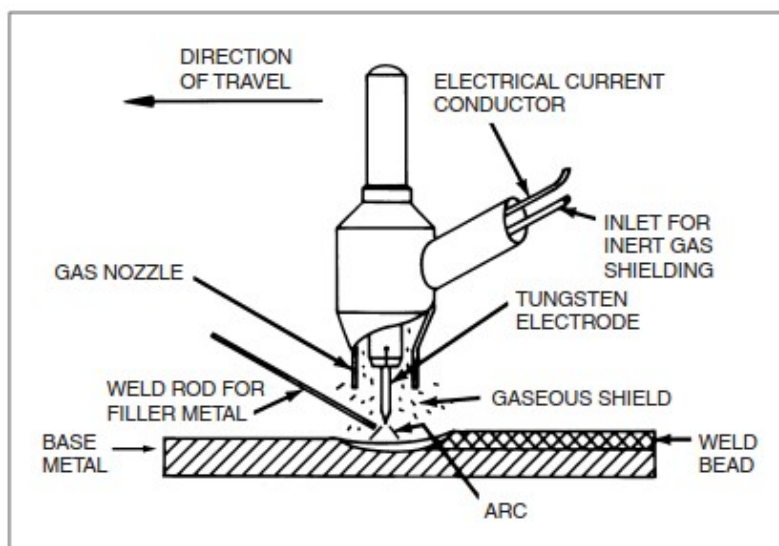


บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (Gas Tungsten Arc Welding; GTAW) [2, 3]

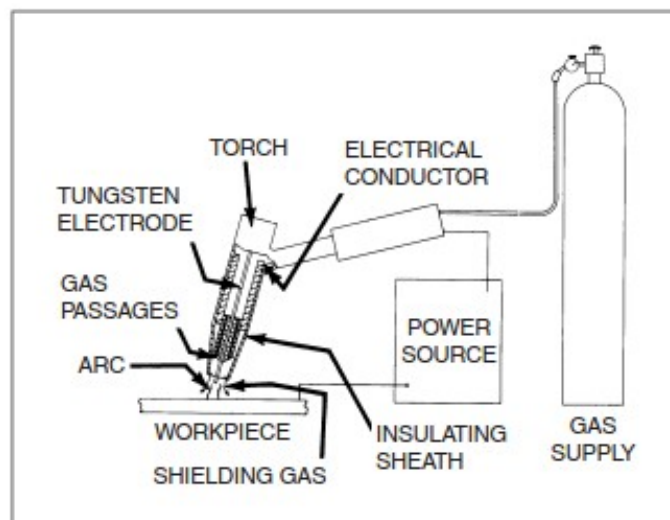
กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (Gas Tungsten Arc Welding; GTAW) เป็นวิธีการเชื่อมโลหะอีกรูปแบบหนึ่ง โดยให้ชิ้นงานนั้นหลอมละลายด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอาร์กระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสแตน (Non-consumable Electrode) กับชิ้นงานเชื่อม (Workpiece) อุณหภูมิที่ได้จากการอาร์ก จะมีค่าประมาณ 19,427 องศาเซลเซียส (35,000 องศาฟาเรนไฮต์) โดยจะมีแก๊สเฉื่อยคอกย์ปกคลุมบริเวณรอยเชื่อม และบ่อหลอมละลาย เพื่อป้องกันไม่ให้บรรยากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม (Oxidizing) โดยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมนี้จะทำการอาร์กที่อิเล็กโทรดทั้งสแตนซึ่งเป็นวัสดุไม่สิ้นเปลือง (Non-consumable Electrode) โดยอิเล็กโทรดทั้งสแตนจะไม่ถูกหลอมเพื่อเติมแนวเชื่อม แต่จะเป็นการที่อิเล็กโทรดทั้งสแตนให้ความร้อนแก่ลวดเชื่อม (Filler Metal) และชิ้นงานเพื่อให้เกิดการหลอมติดเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบสำคัญของของเชื่อมแก๊สทั้งสแตน [2]

กระบวนการเชื่อมแก๊สทั้งสแตน เป็นกระบวนการที่สามารถเชื่อมโลหะได้เกือบทุกชนิด ซึ่งรวมไปถึงโลหะผสมชนิดต่างๆ เช่น เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) อลูมิเนียมผสม (Aluminum) ทองแดง (Copper) ทองเหลือง (Brass) เป็นต้น สำหรับตะกั่วและสังกะสีไม่ควรเชื่อมด้วยกระบวนการนี้ เนื่องจากวัสดุทั้งสองมีจุดหลอมเหลวต่ำซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แตกต่างกับอุณหภูมิของเปลวอาร์ก

โดยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตน โดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมนี้จะสามารถเชื่อมในโลหะที่มีความบางได้ค่อนข้างดี โดยมีความหนาตั้งแต่ 0.005 นิ้ว – 1/8 นิ้ว แต่ถ้าโลหะมีความหนาที่มากกว่า 1/4 นิ้วขึ้นไป ควรทำการเชื่อมด้วยกระบวนการอื่นที่เหมาะสมกว่า ยกเว้นในงานนั้นต้องการควบคุมคุณภาพของแนวเชื่อม จึงจะทำการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม

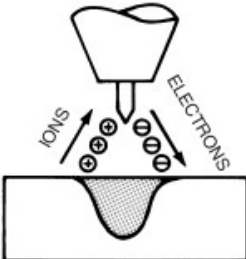
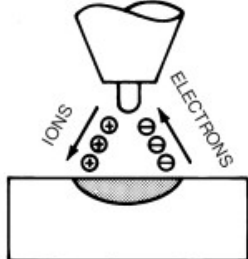
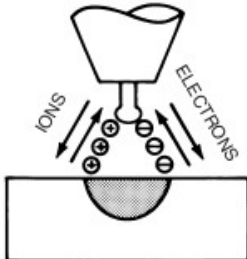


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตน โดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม [2]

ในกระบวนการอาร์กทั้งสแตน โดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมจะมีอุปกรณ์สำคัญที่ใช้คือ เครื่องเชื่อมแก๊สปกคลุม (Shielding gas) และหัวเชื่อม (Torch) โดยในส่วนของเครื่องเชื่อมจะใช้พลังงานจากไฟฟ้าซึ่งสามารถปรับค่าได้ระหว่างกระแสตรงขั้วตรง (DCEN) กระแสตรงกลับขั้ว (DCEP) และกระแสสลับ (AC) ซึ่งสามารถเลือกได้เพื่อให้เหมาะสมกับวัสดุต่างๆ

2.1.1 กระแสในงานเชื่อม [1, 2]

สำหรับกระแสในการเชื่อมนั้นจะมีอยู่ 3 รูปแบบด้วยกันได้แก่ กระแสตรงขั้วตรง (DCEN) กระแสตรงกลับขั้ว (DCEP) และกระแสสลับ (AC) ซึ่งกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 นี้จะให้ผลลัพธ์ต่องานเชื่อมที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับผู้ทำการเชื่อมและลักษณะของชิ้นงานรวมทั้งวัสดุว่ามีความต้องการเป็นลักษณะใด

CURRENT TYPE	DCEN	DCEP	AC (BALANCED)
ELECTRODE POLARITY	NEGATIVE	POSITIVE	
ELECTRON AND ION FLOW			
PENETRATION CHARACTERISTICS			
OXIDE CLEANING ACTION	NO	YES	YES—ONCE EVERY HALF CYCLE
HEAT BALANCE IN THE ARC (APPROX.)	70% AT WORK END 30% AT ELECTRODE END	70% AT WORK END 30% AT ELECTRODE END	70% AT WORK END 30% AT ELECTRODE END
PENETRATION	DEEP; NARROW	SHALLOW; WIDE	MEDIUM
ELECTRODE CAPACITY	EXCELLENT e.g., 3.2 mm (1/8 in.) 400 A	POOR e.g., 6.4 mm (1/4 in.) 120 A	GOOD e.g., 3.2 mm (1/8 in.) 225 A

รูปที่ 2.3 ลักษณะของรูปแบบกระแสเชื่อมในกระบวนการแก๊สทั้งสแตน [2]

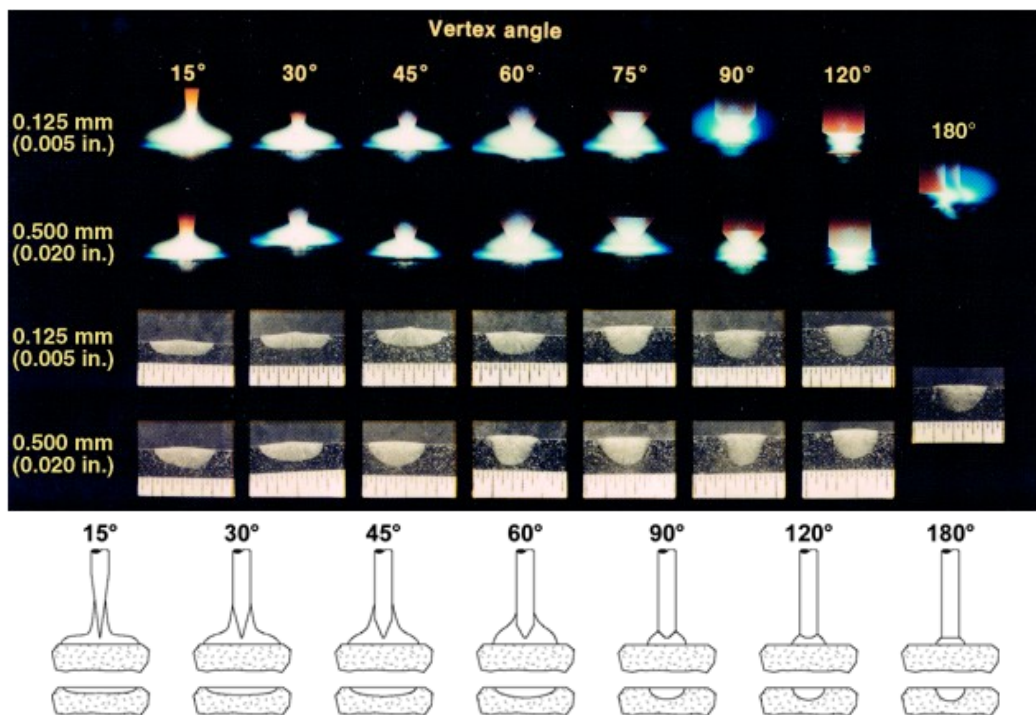
โดยพิจารณาตามรูปที่ 2.3 กระแสตรงขั้วตรง (DCEN) ในกรณีของการเชื่อมแก๊สทั้งสแตนนั้น จะให้อัตราการหลอมละลายที่ลึกและมีความกว้างที่น้อยกว่า กระแสตรงกลับขั้ว (DCEP) ซึ่งกระแสตรงกลับขั้ว (DCEP) นั้นจะให้อัตราการหลอมละลายที่ตื้นและกว้างและในส่วนของ กระแสตรงสลับ (AC) จะให้อัตราการหลอมละลายที่มีขนาดกึ่งกลางระหว่าง กระแสตรงขั้วตรง (DCEN) และ กระแสตรงกลับขั้ว (DCEP)

ตามงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตนั้นได้มีการค้นหาค่าของประสิทธิภาพในการอาร์ก (Arc Efficiency) ในกระแสต่างๆ กล่าวคือที่กระแสตรงขั้วตรง (DCEN) มีค่าของประสิทธิภาพในการอาร์กอยู่ที่ 0.36 – 0.90 [1] กระแสตรงกลับขั้ว (DCEP) มีค่าของประสิทธิภาพในการอาร์กอยู่ที่ 0.52 – 0.63 [4] และ กระแสสลับ (AC) มีค่าของประสิทธิภาพในการอาร์กอยู่ที่ 0.21 – 0.83 [4, 5, 6] จะเห็นได้ว่าที่กระแส

การเชื่อมที่ต่างกันจะได้ประสิทธิภาพในการอาร์กที่แตกต่างกัน ซึ่งส่วนใหญ่งานวิจัยจะมุ่งหาค่าประสิทธิภาพในการอาร์กของกระแสตรงขั้วตรงเป็นหลัก เนื่องจากมีการใช้อย่างแพร่หลายมากกว่า

2.1.2 มุมอิเล็กโทรด (Electrode Angle) [1, 2]

การเปลี่ยนแปลงมุมของอิเล็กโทรดในการทำการอาร์กชิ้นงานนั้น จะส่งผลต่อรูปร่างของบ่อหลอมละลายที่เกิดขึ้น โดยขึ้นอยู่กับชนิดและรูปแบบของงานเชื่อม ว่ามีความต้องการในลักษณะใด โดยตามรูปที่ 2.4 เป็นการแสดงถึงรูปทรงของอาร์กที่เปลี่ยนแปลงไปตามมุมอิเล็กโทรดคือ 15° – 180° และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายอิเล็กโทรด (Truncation Diameter) ที่ 0.125 มิลลิเมตร (0.005 นิ้ว) และ 0.500 มิลลิเมตร (0.020 นิ้ว) โดยยิ่งมุมของอิเล็กโทรดมีค่าน้อยเท่าไร ลักษณะของรอยเชื่อมที่ได้จากการอาร์กจะมีลักษณะที่กว้างและตื้น แต่ถ้ามุมของอิเล็กโทรดมีค่ามากขึ้นลักษณะของรอยเชื่อมที่ได้จากการอาร์กจะมีความลึกและแคบลงมากขึ้น และในส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายอิเล็กโทรดที่มากขึ้นจะช่วยให้แนวเชื่อมที่ได้ลึกและแคบขึ้นมา



รูปที่ 2.4 มุมของอิเล็กโทรดกับรอยเชื่อม [7]

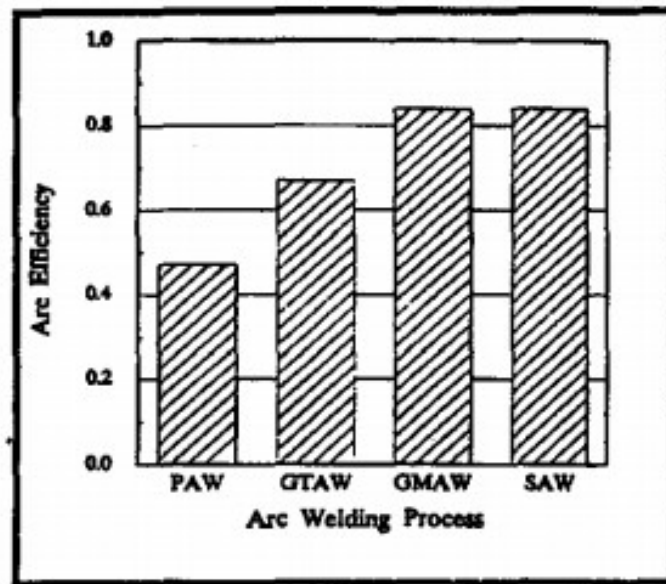
มุมของอิเล็กโทรดและขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายอิเล็กโทรดเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพในหลอม (Melting Efficiency) เปลี่ยนไป โดยตั้งข้อสังเกตได้ว่าที่มุมของอิเล็กโทรดมากจะสามารถเชื่อมได้แนวเชื่อมที่ลึกมากกว่ามุมของอิเล็กโทรดที่น้อย แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้มุมของอิเล็กโทรดก็มีปัจจัยอื่นๆเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่นความเสถียรในการอาร์ก เป็นต้น

2.1.3 แก๊สปกคลุม (Shielding Gas) [2]

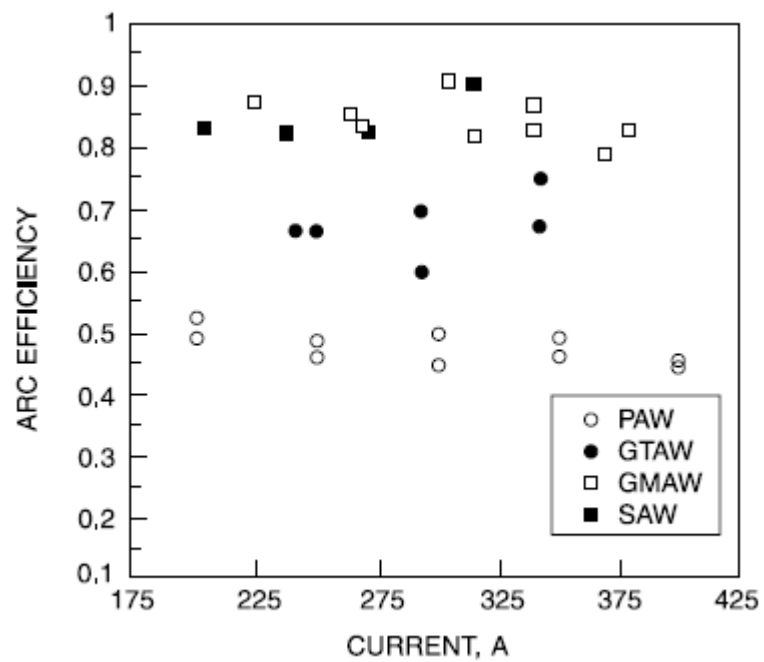
ในส่วนของแก๊สปกคลุมจะใช้แก๊สเฉื่อยเพื่อปกคลุมแนวเชื่อม เพื่อป้องกันบรรยากาศภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อมและทั้งสแตนเลสอิเล็กโทรด รวมทั้งเพิ่มพลังงานความร้อนโดยการแตกตัวของอิเล็กตรอนในแก๊สปกคลุม ซึ่งอิเล็กตรอนในแก๊สปกคลุมจะได้รับพลังงานจากการอาร์กและเมื่อได้รับพลังงานที่มากพอจะเกิดการแตกตัวเพื่อสร้างพลังงาน (Ionization Potential) แก๊สปกคลุมจึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อน ซึ่งการใช้แก๊สฮีเลียมจะมีการใช้ความต่างศักย์ที่สูงกว่าแก๊สอาร์กอน ณ กระแสไฟฟ้าที่เท่ากัน ซึ่งหมายความว่า การใช้แก๊สฮีเลียมจะได้พลังงานในการอาร์กที่สูงกว่าการอาร์คด้วยแก๊สอาร์กอน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้อาร์กอนผสมกับ 75% ฮีเลียมจะได้ประสิทธิภาพของพลังงานการอาร์กที่ 0.87 แต่เมื่อใช้อาร์กอนทั้งหมดในการอาร์กจะได้ค่าประสิทธิภาพของพลังงานการอาร์กที่ 0.79 [5] ซึ่งตามทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อนนั้นจะมีมากกว่า 20% เมื่อทำการอาร์กโดยใช้อาร์กอนเป็นแก๊สปกคลุม และไม่น้อยไปกว่า 10% เมื่อใช้แก๊สเฉื่อยประเภทอื่นในการปกคลุมแนวเชื่อม [2]

2.1.4 ประสิทธิภาพความร้อนของกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (Heat Efficiency) [2]

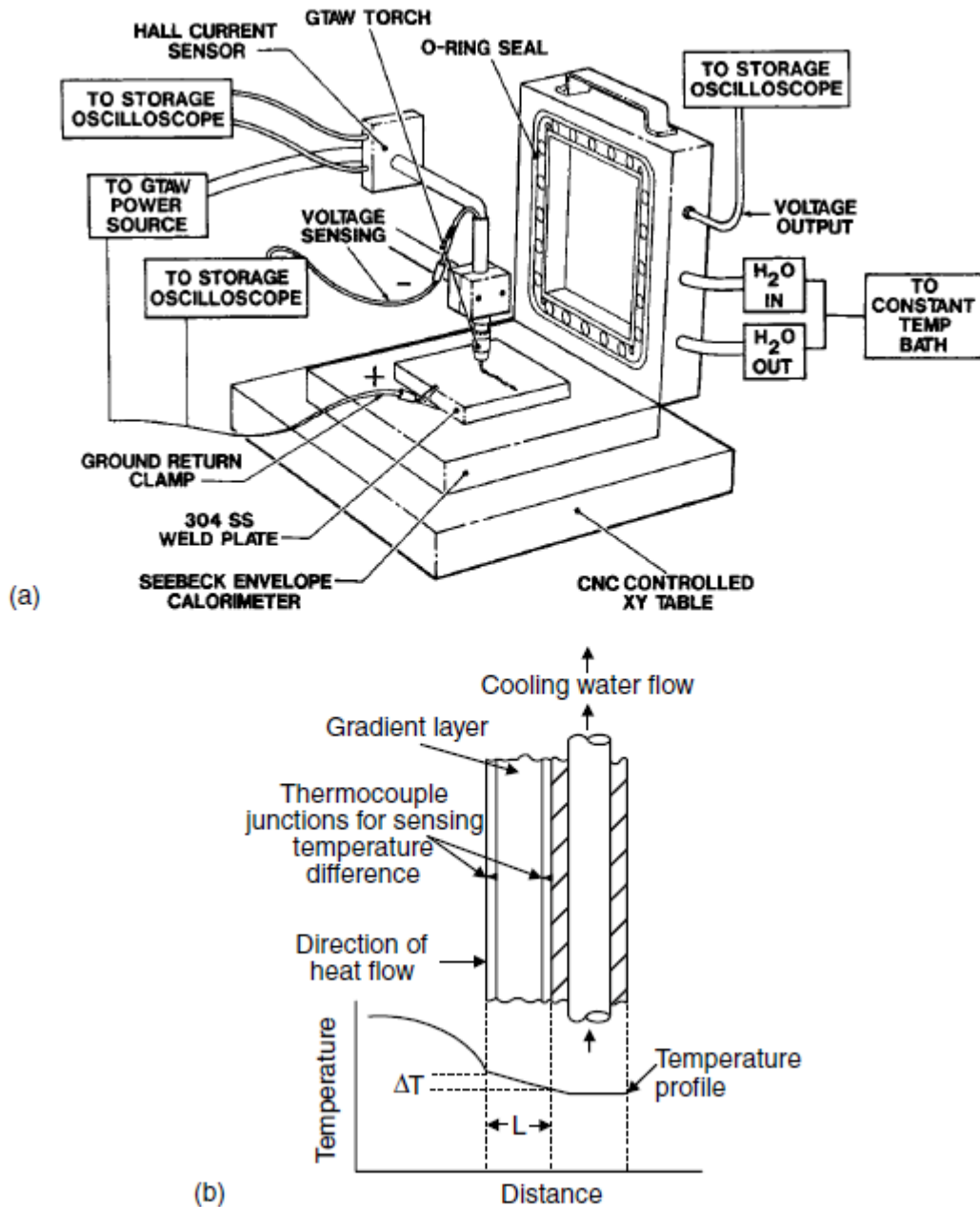
จากรูปที่ 2.5 และ 2.6 ประสิทธิภาพในการอาร์กของกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม จะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 60 – 70 เปอร์เซ็นต์จากประสิทธิภาพทั้งหมด [9] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในระหว่างทำการอาร์กเกิดการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นสู่สภาพแวดล้อม ซึ่งหมายความว่าพลังงานจะสูญเสียไปยังแหล่งอื่นประมาณ 30 – 40 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.5 ประสิทธิภาพการอาร์คของกระบวนการเชื่อมในแต่ละกระบวนการ [9]



รูปที่ 2.6 ประสิทธิภาพการอาร์คของกระบวนการเชื่อมในแต่ละกระบวนการ [9]



รูปที่ 2.7 แสดงรูปร่างของแคลอรีมิเตอร์แบบ Seebeck ที่พัฒนาโดย Giedt, W.H., Tallerico, L.N. and Fuerschbach, P.W. [10]

จากรูปที่ 2.7 เป็นแคลอรีมิเตอร์ที่พัฒนาโดย Giedt, W.H., Tallerico, L.N. and Fuerschbach, P.W. [10] นำมาใช้วัดประสิทธิภาพความร้อน (Heat Efficiency) ของการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม โดยทดลองอาร์กลงบนสแตนเลสเกรด 304L หนาครึ่งนิ้ว ที่กระแสอาร์ก 49.7 – 205 แอมแปร์ แนวเชื่อมยาว 3 นิ้ว แล้วจึงเก็บข้อมูลจากเทอร์โมคัปเปิลที่ติดไว้กับแคลอรีมิเตอร์มาคำนวณหาประสิทธิภาพในการอาร์กได้ที่ประมาณ 80%

ต่อมา Duponts, J.N. and Marder, A.R. [9] ได้นำแคลอรีมิเตอร์ชนิดเดียวกันนี้มาใช้ทดลองเชื่อมอาร์ก ทั้งสแตน โดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมกับโลหะเกรด ASTM A36 โดยใช้ระยะเวลาในการอาร์กน้อยกว่า 10 วินาทีจำกัดการสูญเสียความร้อนที่จะเกิดขึ้นจากการอาร์ก โดยกระแสที่ใช้ในการอาร์กจะอยู่ที่ประมาณ 225 – 350 แอมแปร์โดยใช้แท่งทั้งสแตนชนิดทอริเอตเท็ด (EWTh2) ขนาด 4 มิลลิเมตร และใช้แก๊สอาร์กอนในการปกคลุมแนวเชื่อม ปรากฏว่าเมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพในการอาร์กแล้วได้ค่าอยู่ที่ 67%

2.1.5 การหาพลังงานที่ใช้ในการอาร์ก [2, 3]

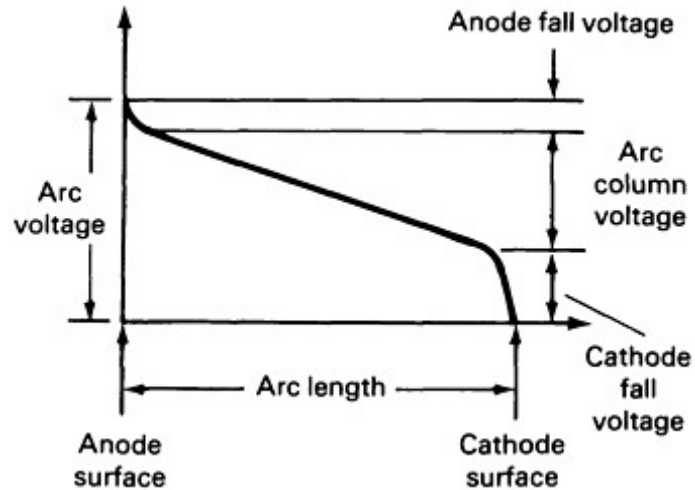
ในการเชื่อมโดยการอาร์ก จากกระแสไฟฟ้าสู่การหลอมละลายของชิ้นงานในการเชื่อม และการกระจายความร้อนของแนวเชื่อมจะมีค่ามากหรือน้อยนั้น จะขึ้นอยู่กับค่าพลังงานความร้อนจากการอาร์ก (Heat Input)

ในการหาพลังงานที่ใช้ในการอาร์กที่เกิดขึ้นนั้น จะสามารถใช้สูตรในการหา

จากสมการ
$$H = EI \quad \dots\dots\dots(1)$$

- โดยที่
- H คือ พลังงานจากการอาร์ก มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt)
 - E คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt)
 - I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (Ampere)

ซึ่งในส่วนของความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะถูกแบ่งเป็นสามส่วนคือ ความต่างศักย์ที่แคโทด (Cathode Fall Voltage) ความต่างศักย์ของอาร์ก (Arc Column Voltage) และความต่างศักย์ที่แอโนด (Anode Fall Voltage)



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และระยะอาร์ค [2]

รูปที่ 2.8 จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของระยะอาร์ค (Arc Length) กับความต่างศักย์ (Arc Voltage) ซึ่งค่าความต่างศักย์ที่ได้จะถูกนำไปในการอาร์คเพื่อให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากทั้งสแตนอิลเล็กโทรด (Work Function) หรือคือในช่วงของความต่างศักย์ที่แคโทด (Cathode Fall Voltage) ต่อมาในช่วงของความต่างศักย์ของอาร์ค (Arc Column Voltage) จะเป็นการที่อิเล็กตรอนของทั้งสแตนอิลเล็กโทรดบางส่วนได้ถูกใช้เพื่อปลดปล่อยอิเล็กตรอนของแก๊สปกคลุม (Ionization Potential) ซึ่งในส่วนนี้จะมีการสูญเสียความร้อนในรูปแบบของการแผ่รังสีออกมาค่อนข้างมากเนื่องจากอิเล็กตรอนของแก๊สปกคลุมที่หลุดออกมามีการให้ความร้อน และส่วนสุดท้ายคือความต่างศักย์ที่แอโนด (Anode Fall Voltage) คือส่วนที่ชิ้นงานจะได้รับพลังงานที่คงเหลือเพื่อใช้ในการหลอมโลหะให้กลายเป็นบ่อหลอม (Weld Pool)

ดังนั้นขณะที่ทำการอาร์คเพื่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากทั้งสแตนอิลเล็กโทรด (Work Function) และเพื่อที่จะทำให้เกิดการปลดปล่อยของอิเล็กตรอนจากทั้งสแตนอิลเล็กโทรดจะต้องใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้าที่สูงมาเพียงพอ จึงทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นมาที่ทั้งสแตนอิลเล็กโทรดนั้นสูงมาก ซึ่งทำให้เกิดรังสีความร้อนทั้งในรูปแบบของอินฟราเรด (Infrared) และอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ที่ถูกแผ่ออกมาในขณะการเชื่อม

2.1.6 การสูญเสียพลังงานจากการอาร์กของกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม [2, 3]

ในกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตน โดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม มีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้น โดยการสูญเสียพลังงานนั้นจะมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ

2.1.6.1 การสูญเสียพลังงานจากการนำความร้อน (Conduction)

ในการสูญเสียพลังงานจากการนำความร้อนเกิดจากการที่พลังงานความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานเชื่อมแล้วถูกชิ้นงานเชื่อมนำความร้อนไปสู่วัสดุอื่นที่อยู่ติดกับชิ้นงานเชื่อมโดยตรง เพราะฉะนั้นในงานเชื่อมจึงต้องมีการอาร์กที่ให้พลังงานความร้อนที่มากเพียงพอเพื่อให้ชิ้นงานเชื่อมหลอมเหลวได้

2.1.6.2 การสูญเสียพลังงานจากการพาความร้อน (Convection)

การสูญเสียพลังงานจากการพาความร้อนจะเป็นการที่พลังงานจากลำอาร์กบางส่วนได้ถูกบรรยากาศพาไป เนื่องจากที่ลำอาร์กจะมีอุณหภูมิที่ต่างกับอุณหภูมิจากอากาศมาก จึงทำให้มีการพาความร้อนเกิดขึ้นในการอาร์ก

2.1.6.3 การสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการสูญเสียพลังงานความร้อนในอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งรังสีต่างๆที่เกิดขึ้นมีการแผ่ความร้อนออกมาในความถี่ต่างๆ เช่น รังสีเอกซ์ รังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นต้น ซึ่งในงานเชื่อม รังสีที่แผ่ออกมาจะมีการให้ความร้อนอย่างมากสามารถสังเกตได้จากในงานเชื่อมจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ต่างๆในการป้องกันรังสีที่จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์

อย่างไรก็ตามรังสีที่เกิดขึ้นในการเชื่อมเหล่านี้จะมีพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปจากการอาร์กโดยใช้แก๊สอาร์กอนปกคลุมจะมีมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยรังสีที่ทำให้เกิดความร้อนได้แก่ รังสีอินฟราเรด และรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะสะท้อนรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนของชิ้นงานเชื่อม

2.1.7 พลังงานที่เข้าสู่ชิ้นงาน [10]

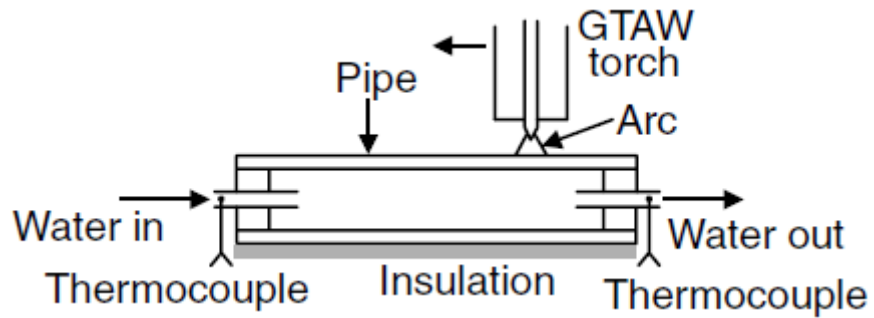
ในการอาร์กเพื่อเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมจะมีการสูญเสียพลังงานความร้อนในรูปแบบต่างๆที่ได้กล่าวมาในข้างต้นคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งในการหาค่าพลังงานที่เข้าสู่ชิ้นงานนั้นจะเป็นการคิดโดยใช้การนำความร้อนของน้ำเนื่องจากน้ำที่หล่อเย็นในระบบเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ความร้อนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในระบบถูกนำออกไป ในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะใช้ค่าความต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำที่เข้าสู่ระบบกับน้ำที่ออกจากระบบมาคำนวณหาพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน

ซึ่งการนำความร้อน คือการที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางเนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยที่ตัวกลางนี้อาจจะเป็นชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดกันที่อาจอยู่ติดกัน การนำความร้อนจะเกิดขึ้นในระดับโมเลกุล ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสสาร จากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งในที่นี้เป็นการนำความร้อนระหว่างน้ำกับวัสดุทองแดงที่รับความร้อนจากการอาร์ก

อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิ และอัตราการไหลมวลความจุจำเพาะและค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะของวัสดุ [10]

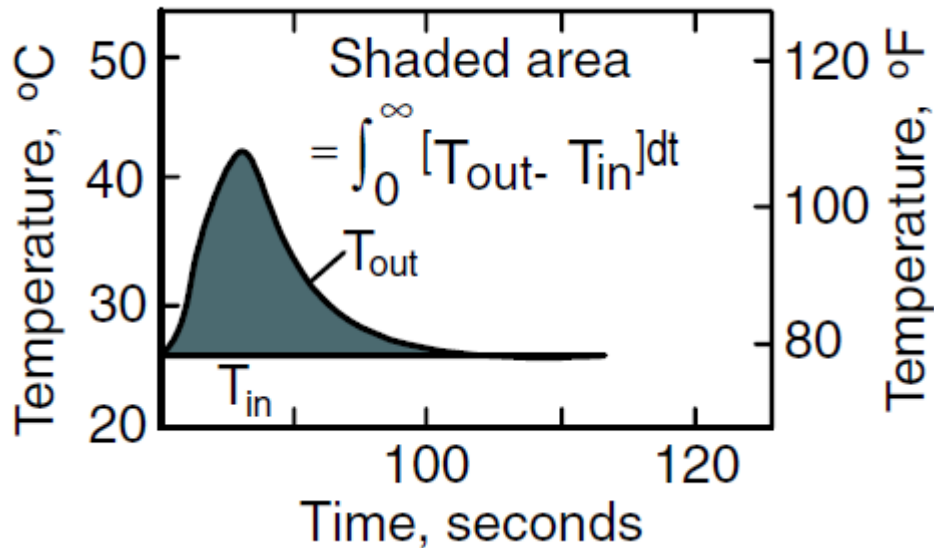
ดังสมการ
$$Qt_w = \int_0^t WC (T_{Out} - T_{Inlet}) dt \dots\dots\dots(2)$$

- โดยที่ Q คือ พลังงานที่สูญเสียไปกับการนำความร้อนของชิ้นงานทองแดงกับน้ำ (j/s)
- W คือ อัตราการไหลของน้ำ (g/s)
- C คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะของน้ำ
- T_{Out} คือ อุณหภูมิขาออก
- T_{Inlet} คือ อุณหภูมิขาเข้า
- t_w คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเชื่อม



รูปที่ 2.9 แคลอรีมิเตอร์ของ Kou S. and Le Y. [11, 12]

จากรูปที่ 2.9 Kou S. and Le Y. [12] ได้ทำการทดลองเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมลงบนท่ออลูมิเนียมเกรด 6061-T6 ยาว 8 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5 นิ้วและหนา 0.125 นิ้ว โดยใช้แท่งทั้งสแตนชนิดทอริเอตเท็ด (EWTh2) ขนาด 2.4 มิลลิเมตรที่กระแสเชื่อม 120 แอมแปร์ และใช้แก๊สอาร์กอนปกคลุมแนวเชื่อม จากการทดลองปรากฏว่าได้ค่าประสิทธิภาพของการอาร์กอยู่ที่ 78%



รูปที่ 2.10 อุณหภูมิที่สูงขึ้นในรูปแบบฟังก์ชันของเวลา [11, 12]

จากรูปที่ 2.10 ในส่วนที่แรเงาจะเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นขณะการอาร์ก ซึ่งสามารถหาพื้นที่หรือพลังงานที่เกิดขึ้นในการอาร์กได้โดยใช้สมการที่ 2 โดยในส่วนของอุณหภูมิสูงเป็นการนำความร้อนของน้ำ ขาออกที่ได้รับความร้อนขึ้นงานที่ถูกเชื่อม และในส่วนของน้ำขาเข้าจะเป็นอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส

2.1.7.1 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการสะท้อนของวัสดุสะท้อนรังสี (Reflector)

งานวิจัยนี้จะทดลองใช้วัสดุสะท้อนรังสี (Reflector) เพื่อใช้ในการสะท้อนรังสีที่สูญเสียในระหว่างการอาร์ก โดยในความเป็นจริงพลังงานที่เข้าสู่ชิ้นงานไม่ได้ถูกนำออกไปทั้งหมด แต่ยังมีพลังงานที่สูญเสียไปกับการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนอีกด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อมีการใช้วัสดุสะท้อนรังสีในการทดลอง พลังงานที่เกิดจากการสะท้อนยังไปเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงาน โดยอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปบนผิวชิ้นงาน เป็นผลสืบเนื่องมาจากผลการสะท้อนรังสีของวัสดุสะท้อนรังสี โดยจะสามารถนำอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ผิวชิ้นงานทองแดงโดยการอาร์กแบบมีวัสดุสะท้อนรังสีไปเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของผิวทองแดงโดยการอาร์กแบบไม่มีวัสดุสะท้อนรังสี เพื่อใช้ในการหาอัตราส่วนของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ผิวชิ้นงานเชื่อมเมื่อใช้วัสดุสะท้อนรังสีที่ใช้ในการทดลอง โดยสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\eta = \left(\frac{T_1 - T_2}{T_2} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่ η คือ อัตราส่วนของอุณหภูมิผิวชิ้นงานเชื่อมที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้วัสดุสะท้อนรังสี
 T_1 คือ อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานทองแดงโดยการอาร์กแบบมีวัสดุสะท้อนรังสี
 T_2 คือ อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานทองแดงโดยการอาร์กแบบไม่มีวัสดุสะท้อนรังสี

2.2 รูปทรงของวัสดุสะท้อนรังสี

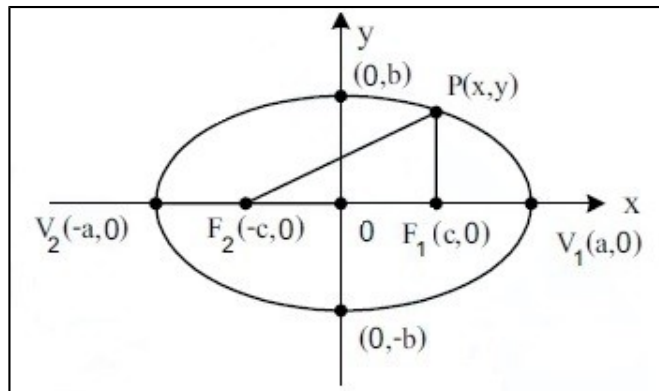
จากการศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ารูปทรงที่เหมาะสมในการใช้สะท้อนรังสีมีอยู่ 2 รูปแบบคือ วงรี (Ellipse) และพาราโบลอยด์ (Paraboloid) โดยวัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีจะมีความสามารถในการสะท้อนรังสีที่ปลดปล่อยจากจุดโฟกัสแรกไปสู่จุดโฟกัสที่สอง [14] และวัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงพาราโบลอยด์จะสะท้อนรังสีที่ปลดปล่อยจากจุดโฟกัสเป็นเส้นตรงลงมาหาชิ้นงาน [15]

2.2.1 ทฤษฎีวงรี [13, 14]

จากนิยาม วงรี (Ellipse) คือ เซตหรือทางเดินของจุดที่มีผลบวกของระยะทางจากจุดบนวงรีไปยังจุดคงที่ (Fixed Point) 2 จุด เป็นค่าคงตัว จุด 2 จุดนี้ เรียกว่า จุดโฟกัส (Focus) ซึ่งวงรีที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกำเนิดจะมีอยู่ 2 แบบ

2.2.1.1 วงรีที่มีแกนหลักอยู่บนแกน X จากรูปที่ 2.9

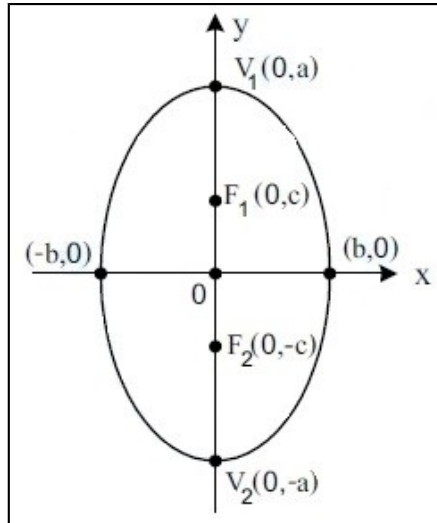
จุดยอด คือ $V_1(a,0)$ และ $V_2(-a,0)$ จุดโฟกัส คือ $F_1(c,0)$ และ $F_2(-c,0)$ จุดศูนย์กลาง คือ $(0,0)$ ความยาวแกนหลัก คือ $2a$ ความยาวแกนรอง คือ $2b$ และ $a^2 = b^2 + c^2$



รูปที่ 2.11 รูปวงรีที่มีแกนหลักอยู่บนแกน X [13]

2.2.1.2 วงรีที่มีแกนหลักอยู่บนแกน Y จากรูปที่ 2.10

จุดยอด คือ $V_1(0,a)$ และ $V_2(0,-a)$ จุดโฟกัส คือ $F_1(0,c)$ และ $F_2(0,-c)$ จุดศูนย์กลาง คือ $(0,0)$ ความยาวแกนหลัก คือ $2a$ ความยาวแกนรอง คือ $2b$ และ $a^2 = b^2 + c^2$



รูปที่ 2.12 รูปวงรีที่มีแกนหลักอยู่บนแกน Y [13]

สมการรูปมาตรฐานของวงรีที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกำเนิด

1) วงรีที่มีแกนหลักอยู่บนแกน X จะมีสมการรูปมาตรฐาน

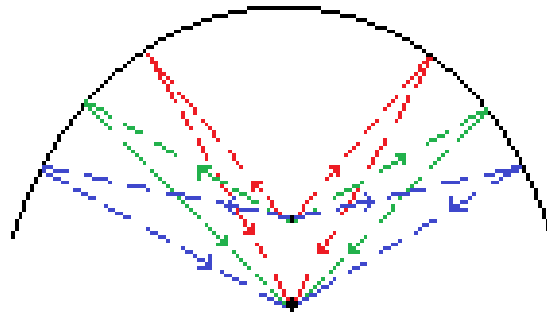
คือ $\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1$ (4)

2) วงรีที่มีแกนหลักอยู่บนแกน Y จะมีสมการรูปมาตรฐาน

คือ $\frac{X^2}{b^2} + \frac{Y^2}{a^2} = 1$ (5)

2.2.1.3 ลักษณะการสะท้อนของรูปทรงวงรี

รูปทรงวงรี (Ellipse Reflector) เกิดขึ้นจากจุดโฟกัส 2 จุด โดยลักษณะการสะท้อนจะสะท้อนจากจุดโฟกัสหนึ่ง (O₁) ไปยังอีกจุดโฟกัสหนึ่ง (O₂) โดยลักษณะการสะท้อนนี้จะเริ่มจากจุดโฟกัสหนึ่งไปยังอีกจุดโฟกัสหนึ่งตลอดทั้งรูปทรง [14]



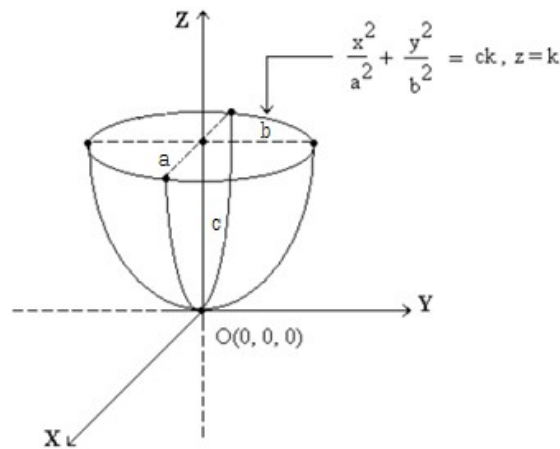
รูปที่ 2.13 การสะท้อนของรูปทรงวงรี

รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นถึงการสะท้อนรังสีโดยรังสีถูกปล่อยจากจุดโฟกัสด้านบนไปกระทบกับชิ้นงานสะท้อนรังสีรูปทรงวงรี และสะท้อนกลับมายังจุดโฟกัสด้านล่าง

2.2.2 ทฤษฎีพาราโบลอยด์ [13, 15]

จากนิยาม การหมุนพาราโบลา (Parabola) คือเซตของจุดในระนาบที่อยู่ห่างจากเส้นตรงคงที่เส้นหนึ่ง และจุดคงที่จุดหนึ่งเป็นระยะเท่ากันจุดคงที่นั้นเรียกว่า โฟกัส (Focus) และเส้นตรงคงที่นั้นเรียกว่า ไดเรกตริกซ์ (Directrix) พื้นผิวซึ่งมีสมการในรูปอย่างง่ายเป็นแบบใดแบบหนึ่งต่อไปนี้

- 1) $Ax^2 + By^2 = Cz$ เมื่อ $A, B > 0$ และ $C \neq 0$ หรือ $x^2/a^2 + y^2/b^2 = cz$ เมื่อ $a, b > 0$ และ $c \neq 0$
- 2) $Ax^2 + Cz^2 = By$ เมื่อ $A, C > 0$ และ $B \neq 0$ หรือ $x^2/a^2 + z^2/c^2 = by$ เมื่อ $a, c > 0$ และ $b \neq 0$
- 3) $By^2 + Cz^2 = Ax$ เมื่อ $B, C > 0$ และ $A \neq 0$ หรือ $y^2/b^2 + z^2/c^2 = ax$ เมื่อ $b, c > 0$ และ $a \neq 0$

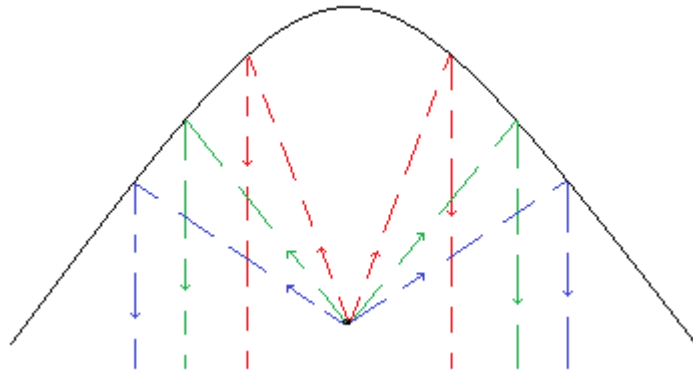


รูปที่ 2.14 รูปทรงของพาราโบลอยด์ [11]

จากรูปที่ 2.14 a จะเป็นตัวแปรที่แทนค่าของรัศมีของพาราโบลอยด์บนแกน X, b จะเป็นตัวแปรที่แทนค่าของรัศมีของพาราโบลอยด์บนแกน Y และ c จะเป็นตัวแปรที่แทนค่าระยะความสูงของพาราโบลอยด์บนแกน Z

2.2.2.1 ลักษณะการสะท้อนของรูปทรงพาราโบลอยด์ [15]

รูปทรงพาราโบลอยด์ (Paraboloid Reflector) มีจุดโฟกัสเพียงจุดเดียวลักษณะการสะท้อนจะสะท้อนเมื่อจุดโฟกัสเป็นจุดกำเนิด และการสะท้อนออกมาในลักษณะรูปแบบเส้นตรง [13, 14]



รูปที่ 2.15 การสะท้อนของรูปทรงพาราโบลอยด์

จากรูปที่ 2.15 จะเห็นว่าการสะท้อนของรูปทรงพาราโบลอยด์ เมื่อรังสีถูกปล่อยออกมาจากจุดโฟกัสไปกระทบที่บริเวณผิวภายในของรูปทรงพาราโบลอยด์จะถูกสะท้อนกลับมาเป็นเส้นตรง

2.2.3 วัสดุที่ใช้ในการสะท้อนรังสี [17]

วัสดุที่จะนำมาใช้ในการสะท้อนรังสีในงานวิจัยนี้จะสร้างมาจากทองแดง เนื่องจากเป็นวัสดุที่ทำได้ง่าย และมีคุณสมบัติในการกระจายความร้อนได้ดี ซึ่งจะช่วยในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อม แต่อย่างไรก็ตามทองแดงไม่ได้เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการสะท้อนรังสีที่ดีนัก จึงต้องนำวัสดุทองแดงรูปทรงพาราโบลอยด์ และวางรีไปชุบด้วยวัสดุที่มีความสามารถในการสะท้อนรังสีที่เหมาะสม

จากการศึกษาประเภทของวัสดุที่สามารถใช้ในการสะท้อนรังสีนั้นสามารถดูได้จากค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity : ρ) ซึ่งโดยทั่วไปค่าการสะท้อนรังสีจะไม่ได้ถูกบัญญัติไว้ แต่สามารถหาค่าได้โดยสมการดังนี้

$$\rho = 1 - \epsilon \quad \dots\dots\dots(9) [15]$$

โดย ρ = ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity)
 ε = ค่าการส่งรังสี (Emissivity)

จากการศึกษาพบว่าโครเมียม (Chromium) เป็นวัสดุที่มีค่าการส่งรังสีที่ 0.1 – 0.28 หรือมีค่าการสะท้อนรังสีที่ 0.9 – 0.72 โดยปัจจัยที่เพิ่มหรือลดค่าการสะท้อนรังสีของโครเมียมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่กระทบกับผิวชิ้นงาน ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นประสิทธิภาพการสะท้อนรังสีของโครเมียมจะน้อยลง โดยโครเมียมเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายทั้งยังมีต้นทุนในการชุบน้อยเนื่องจากการใช้อย่างแพร่หลาย แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษา ยังพบว่าวัสดุอีกหลายประเภทที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีที่ดีกว่าโครเมียม เช่น ทอง (Gold) เงิน (Silver) เป็นต้น แต่วัสดุเหล่านี้มีราคาสูง ในงานวิจัยนี้จึงสร้างวัสดุสะท้อนรังสีจากทองแดง และชุบโดยโครเมียมที่มีความสามารถในการสะท้อนรังสี

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

J. N. Dupont and A. R. Marder [9] ได้ศึกษาถึงลักษณะการอาร์ก โดยได้ศึกษากระบวนการเชื่อมพลาสมา, การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุม, การเชื่อมใต้ฟลักซ์ และการเชื่อมอาร์กโลหะแก่สปกคลุม เพื่อทดสอบหาค่าของประสิทธิภาพของการอาร์กและการหลอมเหลวของกระบวนการในข้างต้น โดยในกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมมีค่าประสิทธิภาพในการอาร์กอยู่ที่ 0.67 ซึ่งการทดลองจะทำการเชื่อมลงบนโลหะเกรด A36 ด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ และใช้สมการต่างๆเพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในการอาร์ก ซึ่งสามารถใช้อ้างอิงเพื่อให้ทราบถึงพลังงานในการอาร์กที่เข้าสู่ชิ้นงาน ซึ่งการใช้แคลอรีมิเตอร์ในการอาร์กเพื่อหาค่าของพลังงานที่ได้ในการอาร์กรวมทั้งสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานในการอาร์ก ซึ่งในการคำนวณรูปแบบต่างๆก็มีวิธีการทดลองที่แตกต่างกัน โดย Kou S. [11] ได้กล่าวถึงขั้นตอนและการวิธีการต่างๆไว้ จึงสามารถเลือกนำวิธีมาใช้ในการทดลองได้

Z. Hou, X. Li, Y. Huang, S.T. Ho, Member [12] ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์การบิดเบือนของลำแสงในวัสดุสะท้อนรูปทรงวงรี ซึ่งกล่าวถึง การสะท้อนของลำแสงที่เกิดขึ้นในวัสดุสะท้อนรูปทรงวงรี คือ

ลำแสงจะตกกระทบบนที่จุดกำเนิด O_1 แล้วจะสะท้อนไปยังจุด O_2 โดยลำแสงที่ตกกระทบบนจะมีมุมการกระจายลำแสงครึ่งหนึ่ง คือ 32 องศา เมื่อลำแสงที่ตกกระทบบนสะท้อนไปยังจุดศูนย์กลางของวัสดุสะท้อน จะทำมุม 45 องศา กับจุด O_1, O_2 มุมหักเหที่เกิดจากการสะท้อน 2 ครั้ง จะมีขนาดมุมเท่ากับ 90 องศา ซึ่งลำแสงที่สะท้อนจะทำมุม 21 องศาสะท้อนกลับไปที่ยอบของวัสดุสะท้อน และลำแสงที่ทำมุม 68 องศาจะสะท้อนกลับไปที่ยอดศูนย์กลาง จึงเป็นที่มาของการใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีมาใช้ในการทดลอง เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่จะสะท้อนรังสีกลับมาที่บ่อหลอมของแนวเชื่อม ในส่วนของรูปทรงพาราโบลิก Wade P. [13] ได้ทำการศึกษาถึงการชดเชยค่างานเสอาอากาศโดยใช้รูปทรงพาราโบลิก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของงานดาวเทียมให้สูงขึ้น รวมถึงรูปแบบของการสะท้อนที่เกิดขึ้นของคลื่นไมโครเวฟว่ามีรูปแบบเป็นอย่างไร ซึ่งโดยส่วนใหญ่การสะท้อนรังสีของคลื่นจะมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน จึงนำรูปทรงพาราโบลอยด์มาประยุกต์ใช้ในการสร้างวัสดุสะท้อนรังสีเพื่อเพิ่มพลังงานในการอาร์ก

M. Abid, S. Parvez, D.H. Nash [16] ได้ทำการศึกษาเรื่องของผลกระทบที่เกิดจากการใช้อิเล็กโทรดที่ส่วนปลายทำมุมแตกต่างกันในกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม โดยใช้โปรแกรม 3D Simulation ผลการทดลองในส่วนของรูปแบบบ่อหลอมละลาย ที่เกิดจากการอาร์ก ด้วยอิเล็กโทรดที่ส่วนปลายทำมุม 30, 60, 90 และ 120 องศา ที่ระยะอาร์ก 2 มิลลิเมตร พบว่า เมื่อทำการอาร์กด้วยอิเล็กโทรดมุม 30 องศา สามารถคำนวณขนาดของบ่อหลอมละลายได้ว่า มีความกว้าง 7.3 มิลลิเมตร และความลึก 1.5 มิลลิเมตร สำหรับการอาร์กด้วยอิเล็กโทรดมุม 120 องศา บ่อหลอมละลายมีความกว้าง 6.1 มิลลิเมตร และความลึก 2.2 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงว่าขนาดของบ่อหลอมละลาย ขึ้นอยู่กับขนาดมุมของส่วนปลายอิเล็กโทรด ถ้าส่วนปลายอิเล็กโทรดมีมุมแหลม จะให้บ่อหลอมละลายที่มีขนาดกว้างและตื้น สำหรับส่วนปลายอิเล็กโทรดที่มีมุมป้าน จะให้บ่อหลอมละลายที่มีขนาดเล็กและแคบ

จากงานวิจัยรวมทั้งทฤษฎีต่างๆที่ได้สืบค้นมานั้น ทำให้ได้พบว่ามีพลังงานบางส่วนที่สูญเสียด้วยวิธีการแผ่รังสีความร้อนออกมาจึงเป็นที่น่าสนใจว่าการที่จะนำพลังงานที่สูญเสียไปด้วยวิธีการแผ่รังสีจากการอาร์กกลับมาสู่แนวเชื่อม จะสามารถช่วยเพิ่มพลังงานในการอาร์กได้หรือไม่ โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมามีพบว่ารูปทรงที่สามารถสะท้อนรังสีกลับมาที่ชิ้นงานได้มีสองประเภทคือ พาราโบลอยด์และ

วงรี ซึ่งจะมีรูปแบบในการสะท้อนที่แตกต่างกัน แต่วัสดุสะท้อนรังสีทั้งสองรูปทรงก็จะสะท้อนรังสี
กลับมาที่ชิ้นงานได้เช่นเดียวกัน