

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองจำเป็นต้องนำความรู้จากหลาย ๆ ส่วนที่เกี่ยวข้องใช้ในกระบวนการวิจัย ซึ่งจำเป็นจะมีความรู้ในเรื่องต่าง ๆ เหล่านี้เพื่อที่จะทำให้การทดลอง และผลการทดลองมีความถูกต้องน่าเชื่อถือ ซึ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวิจัยในครั้งนี้มีดังต่อไปนี้

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ใช้วัสดุ 2 ชนิด คือ เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430 ซึ่งมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิต โดยเหล็กกล้าคาร์บอนจะนิยมใช้ในการทำโครงสร้างทั่วไป ส่วน เหล็กกล้าไร้สนิมจะเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในการผลิตสำหรับงานที่ต้องการป้องกันการกัดกร่อนซึ่งปัจจุบันนำมาใช้เป็นจำนวนมาก โดยสมบัติและส่วนต่าง ๆ ของวัสดุที่ใช้มีดังนี้

2.1 เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 (SS400 Carbon Steel)

เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ที่ใช้ในการทดลอง เป็นเหล็กกล้าชนิด คาร์บอนต่ำ เป็นเหล็กแผ่นรีดร้อน มีส่วนผสมทางเคมี คือ 0.13 – 0.18% C , 0.15 – 0.35%Si , 0.5 – 0.7%Mn , 0.05% S ใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป มีสมบัติในการเชื่อมที่ดี สามารถเชื่อมต่อโครงสร้างต่าง ๆ ได้ง่าย ใช้ในการก่อสร้างตึก ก่อสร้างสะพาน สร้างเรือ หรือใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ [4]

2.1.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

เหล็ก SS400 ที่ใช้ในการทดลอง เป็นเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่ต่ำไม่สามารถเพิ่มความแข็งโดยการชุบแข็งได้ โดยส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Ni	%Cr	%Mo	%Ti	%Nb
0.076	0.388	0.242	0.018	0.013	0.079	0.050	0.028	0.007	0.001	0.004

2.1.2 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

มีความเหนียวสูง ต้านทานแรงกระแทกได้น้อย ไม่ทนต่อการกัดกร่อนและการขีดข่วน ขึ้นรูปโดยการดัดงอได้ง่าย สำหรับค่าความต้านทาน ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

ตามมาตรฐาน ASTM A240-05a			
YS Min/MPa	TS Min/MPa	El Min %	Hardness Max/HRB
245	434	21%	41.5

YS = ความแข็งแรงคราก (Yield Strength)

TS = ความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

EI = ค่าการยืดตัว (Elongation)

HRB = ค่าความแข็งหน่วยร็อกเวลสเกลบี

เหล็กกล้าคาร์บอนเป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของคาร์บอนเป็นธาตุหลัก และมีส่วนผสมของธาตุอื่น ๆ ผสมเล็กน้อย เช่น ซิลิกอน กำมะถัน ฟอสฟอรัส และแมงกานีส โดยที่เหล็กกล้าคาร์บอนเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่ไม่เกิน 2 % ซึ่งปริมาณของคาร์บอนที่ผสมลงไปในการผลิตจะมีผลต่อสมบัติของเหล็ก และลักษณะของการนำไปใช้งาน เพราะคาร์บอนที่ผสมลงไปในการผลิตมีผลต่อเหล็กดังนี้ คือ

- ความเหนียวของเหล็กลดลง
- ทำให้เหล็กมีความแข็งมากขึ้น
- ความสามารถในการเชื่อมลดลง
- ความเค้นแรงดึงเพิ่มมากขึ้น

ในการใช้งานได้จำแนกเหล็กกล้าคาร์บอนออกเป็น 3 ชนิด ตามส่วนผสมของคาร์บอนที่มีอยู่ในเนื้อเหล็ก เพราะจากสมบัติที่เปลี่ยนไปตามปริมาณของคาร์บอนที่ผสมในเนื้อเหล็กทำให้ในการนำไปใช้งานมีความแตกต่างกันตามสมบัติของเหล็กที่เกิดขึ้น โดยชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนทั้ง 3 ชนิดมีดังนี้

- เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเหล็ก Mild Steel
- เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง
- เหล็กกล้าคาร์บอนสูง

2.2 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430 (AISI430 Ferritic Stainless Steel) [5]

เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของธาตุโครเมียม อยู่อย่างน้อย 10.5 % ตามมาตรฐานของยุโรป EN 10020 และมาตรฐานสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งสหรัฐอเมริกา AISI กำหนดส่วนผสมของธาตุโครเมียม อยู่อย่างน้อย 12% โดยจะมีส่วนผสมของธาตุอื่น ๆ นอกเหนือจากนี้หรือไม่ก็ตาม โดยมีชื่อเรียกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม หรือ สแตนเลส

โครเมียมที่ผสมในเนื้อเหล็กจะรวมตัวกับออกซิเจนเกิดเป็นฟิล์มของโครเมียมออกไซด์ เคลือบผิวอยู่ทั่วผิว ป้องกันการผุกร่อนในเนื้อเหล็ก ความหนาของการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ขึ้นอยู่กับปริมาณของโครเมียมเป็นสำคัญ สำหรับธาตุอื่น ๆ ที่ผสมในเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อเพิ่มสมบัติทางด้านต่าง ๆ มีดังนี้

- เพิ่มสมบัติทางกลด้านต่าง ๆ ตามที่ต้องการ จะผสมธาตุ นิกเกิล (Ni) , โมลิบดีนัม (Mo) , แมงกานีส (Mn) ซึ่งธาตุเหล่านี้ไม่ส่งผลเสียต่อการเชื่อม
- เพิ่มสมบัติเชิงกล และโลหะวิทยา จะผสมธาตุ คาร์บอน (C) , ซิลิกอน (Si) , ไนโอเบียม (Nb) หรือ โคบอลต์ (Cb) และไททาเนียม (Ti) โดยการผสมธาตุเหล่านี้ต้องควบคุมปริมาณ ให้เหมาะสม

- เพิ่มสมบัติให้ง่ายต่อการตกแต่งด้วยวิธีกล เช่น งานกลึง งานไส ได้ง่าย จะผสมธาตุ กำมะถัน (S) , ฟอสฟอรัส (P) , เซเลเนียม (Se) โดยรวมกันแล้วไม่เกิน 0.03%

2.2.1 การนำไปใช้งาน มีการนำเหล็กกล้าไร้สนิมไปใช้งานกว้างขวางมากในอุตสาหกรรมที่ต้องการป้องกันการกัดกร่อน โดยมีการนำไปใช้งานดังนี้

- งานที่ต้องการความต้านทานการกัดกร่อน
- งานที่ต้องการการทนต่อความร้อน
- งานที่ใช้ในอุณหภูมิต่ำ
- งานที่ต้องการความแข็งแรงสูง ๆ
- งานที่ต้องการความสะอาด และป้องกันการติดเชื้อ
- ในการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมเนื่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมมีหลายเกรดจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของงานที่ใช้ตามเกรดของเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีอยู่ด้วย

2.2.2 การแบ่งกลุ่มของเหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าไร้สนิมแบ่งได้ 5 กลุ่มหลัก ๆ ดังนี้

- เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มเฟอร์ริติก (Ferritic Stainless Steel)
- เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steel)
- เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic Stainless Steel)
- เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกผลึก (Precipitation Hardening Stainless Steel)
- เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex Stainless Steel)

2.2.3 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีคาร์บอนผสมอยู่ต่ำ มีเฉพาะโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักอยู่ประมาณ 11 – 18% ไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงโดยการชุบแข็งได้ ซึ่งได้แก่กลุ่ม 400 เช่น 430 , 409 เกรดนี้ไม่สามารถจะทำให้เป็นมาร์เทนไซด์โดยการเย็นตัว สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้แม่เหล็กดูดติด โดยส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Ni	%Cr	%Mo	%Ti	%Nb
0.119	0.230	0.363	0.032	0.0013	0.028	0.121	18.00	0.002	0.0061	0.44

2.2.4 ลักษณะทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430

- ความหนาแน่น 7.7 g/cm^3
- ค่าแรงต้านทานไฟฟ้าโอห์ม $0.60 \text{ mm}^2/\text{m}$
- ความจุความร้อนจำเพาะ $0 - 100^\circ\text{C} = 460 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$

- ค่าการนำความร้อน $100^{\circ}\text{C} = 26 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- สัมประสิทธิ์การขยายตัว $0 - 200^{\circ}\text{C} = 10.5$
- ยังโมดูลัสความยืดหยุ่น $\times 10^3 = 220 \text{ N/mm}^2$
- มีความต้านทานการกัดกร่อนปานกลาง
- ขึ้นรูปได้ปานกลาง เช่น พวกภาชนะก้นตัน
- แม่เหล็กดูดติด
- ชุบแข็งไม่ได้เนื่องจากไม่สามารถเปลี่ยนรูปโครงสร้างออสเทนไนต์ได้เมื่อถูกกระทำด้วยความร้อน

2.2.5 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430

มีความเหนียวต่ำ ต้านทานแรงกระแทกได้น้อยเกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรน เนื่องจากการรวมตัวของโครเมียมและคาร์บอนในช่วงอุณหภูมิ $427 - 700$ องศาเซลเซียส เกิดสารประกอบโครเมียมคาร์ไบด์ ได้ง่ายต้องแก้ไขโดยให้ความร้อนหลังการเชื่อม และทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว หรือเพิ่มธาตุที่ทำให้ส่วนผสมของโครเมียมเสถียร ได้แก่ ไททาเนียม (Ti) โคบอลต์ (Cb) หรือนีโอเบียม (Nb) เข้าไปในส่วนผสมของเหล็กกล้าไร้สนิม เพราะธาตุเหล่านี้จะรวมตัวกับธาตุคาร์บอนได้เร็วกว่าจึงเป็นการป้องกันการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์การขยายตัว ใกล้เคียงกับเหล็กกล้าคาร์บอนแต่ค่าการนำความร้อนต่ำกว่าเหล็กผสมครั้งหนึ่งสำหรับค่าการรับแรงต่างๆ ตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430

ตามมาตรฐาน ASTM A240-05a			
YS Min/MPa	TS Min/MPa	EI Min %	Hardness Max/HRB
205	450	22	51

YS = ความแข็งแรงคราก(Yield Strength)

TS = ความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

EI = ค่าการยืดตัว (Elongation)

HRB = ค่าความแข็งหน่วยร็อกเวลสเกลบี

2.2.6 การนำไปใช้งานของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430

- ชิ้นส่วนรถยนต์
- ประดับภายในอาคาร
- อุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม
- งานปิโตรเคมี
- อุปกรณ์เคมี
- อุตสาหกรรมต่อเรือ

- ผลิตภัณฑ์ที่ป้องกันการกัดกร่อนและที่ใช้ในงานอุณหภูมิสูง

2.2.7 การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดเฟอร์ริติก

โครงสร้างสำคัญของเนื้อโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดเฟอร์ริติกประกอบไปด้วยส่วนผสมหลักของธาตุเหล็ก (Fe) + โครเมียม (Cr) + คาร์บอน (C) โดยมีส่วนผสมของโครเมียมสูง 17 – 24 % และมีส่วนผสมของธาตุที่ช่วยให้เป็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์เสถียร เมื่อชิ้นงานมีความร้อนสูง ดังนั้นโครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดเฟอร์ริติกจึงไม่เปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์ แต่จะคงโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรต์ ทุกสถานะอุณหภูมิจนกระทั่งจนถึงจุดหลอมละลาย เหล็กกล้าไร้สนิมเกรดเฟอร์ริติกจึงไม่สามารถชุบแข็งได้ เพราะไม่สามารถผ่านขั้นตอนจากโครงสร้างเฟอร์ไรต์ไปเป็นโครงสร้างออสเทนไนต์และจากโครงสร้างออสเทนไนต์ไปเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ได้นอกจากนี้ส่วนผสมของธาตุคาร์บอน และไนโตรเจนจะมีผลทำให้เกิดโครงสร้างออสเทนไนต์เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงจากการเชื่อม จึงจำเป็นต้องเพิ่มส่วนผสมของโครเมียมหรือธาตุที่ทำให้เกิดโครงสร้างเฟอร์ไรต์เสถียร เช่น อะลูมินัม โคลัมเบียม ไททาเนียม และโมลิบดีนัม โดยเฉพาะธาตุโคลัมเบียมและไททาเนียมจะช่วยให้โครงสร้างเฟอร์ไรต์เสถียรที่อุณหภูมิสูงโดยจะผลักดันทำให้เกิดการรวมตัวในรูปของคาร์บอนไนไตรด์เป็นการดึงธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนออกจากสารละลาย ป้องกันการเกิดโครงสร้างออสเทนไนต์ยกเว้นชนิดที่มีส่วนผสมของโครเมียมมากกว่า 21 % ได้รับความร้อนสูงกว่า 815 °C โครงสร้างบางส่วนจะกลายเป็นออสเทนไนต์และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศส่วนที่เป็นออสเทนไนต์ก็จะแข็งตัวกลายเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ซึ่งมีสมบัติแข็งและเปราะเล็กน้อยโครงสร้างมาร์เทนไซต์นี้จะปรากฏตามขอบเกรนของโครงสร้างเฟอร์ไรต์ทำให้ความเหนียวลดลงและอาจเกิดการแตกร้าวได้ง่าย แต่ปรากฏการณ์จะน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดมาร์เทนซิติกโดยตรง ดังนั้นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดเฟอร์ริติกเมื่อผ่านการขึ้นรูปร้อน หรือการเชื่อมจะต้องแก้ปัญหานี้ด้วยการอบอ่อน คือการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 760 – 815 °C แล้วควบคุมให้มีการเย็นตัว อย่างรวดเร็วเพื่อให้ผ่านช่วงอุณหภูมิ 427 – 760 °C ป้องกันการเกิดเกรนโตทำให้เนื้อโลหะส่วนที่เป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์กลับเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์และทำให้แถบยาวของซีเมนไต์ตกกลายเป็นคาร์ไบด์ที่กลมเล็กๆ แทรกกระจายอยู่ทั่วไปซึ่งทำให้ความแข็งแรงลดลง

2.3 ลวดเชื่อม MIG

ลวดเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม จะมีลักษณะเป็นเส้นกลมตันยาวเป็นม้วนคล้ายเส้นลวดใช้ในการเชื่อมอย่างต่อเนื่อง โดยมีหลายขนาดให้เลือกใช้ โดยลวดเชื่อมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางค่อนข้างเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมแบบอื่น โดยมีขนาดตั้งแต่ 0.8 – 1.6 มม. ซึ่งเป็นขนาดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีขนาดเล็กสุด 0.5 มม. และโตสุด 3.2 มม. ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมจะมีผลต่อความกว้างของแนวเชื่อม ระยะซึมลึก และอัตราการเร็วในการเชื่อม ลวดเชื่อมที่มีขนาดใหญ่จะใช้กระแสสูงและให้อัตราการเติมเนื้อโลหะมากกว่า แต่อัตราการหลอมเหลวของลวดเชื่อมจะเป็นฟังก์ชันกับความหนาแน่นของกระแส ถ้าลวดเชื่อมขนาดใหญ่ และลวดเชื่อมขนาดเล็ก ใช้กระแสไฟเชื่อมเท่ากันในการเชื่อม ลวดเชื่อมที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการเติมเนื้อโลหะมากกว่า

เพราะมีความหนาแน่นของกระแสสูงกว่า ลวดเชื่อมมิกตามมาตรฐาน AWS A5.8 : ER430 มีส่วนผสมดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Ni	%Cr	%Mo	%N	%Nb
0.013	0.39	0.36	0.023	0.0037	0.098	0.30	18.00	0.05	0.012	0.49

ลวดเชื่อมหรือวัสดุประสานในงานเชื่อม มีมากมายหลากหลายชนิดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการ และวัสดุที่ใช้สำหรับงานเชื่อม ลักษณะของลวดเชื่อมมิก จะมีขนาดเล็กเป็นเส้นยาวติดต่อกันคล้ายเส้นลวดบรรจุอยู่ในม้วน ซึ่งขนาดบรรจุอยู่ที่ผู้ผลิตจะจัดทำขึ้น ลวดเชื่อมมิกจะถูกเคลือบด้วยทองแดงไว้เพื่อป้องกันการเกิดสนิม สามารถเก็บใช้งานได้นาน ลวดเชื่อมมิกเป็นลวดเชื่อมแบบสั่นเปลือง เวลาเชื่อมจะเกิดการหลอมละลายและถ่ายโอนเป็นน้ำโลหะเต็มลงในแนวเชื่อม ในการใช้งานจะเลือกใช้ตามมาตรฐานของลวดเชื่อมมิก ซึ่งลวดเชื่อมมิกตามมาตรฐานสมาคมการเชื่อมของอเมริกา AWS , A5.9 , A5.18 และ ASTM กำหนดมาตรฐานไว้ดังนี้

- AWS = สมาคมการเชื่อมอเมริกา
- E = ลวดเชื่อมไฟฟ้า
- R = ชนิดของลวดเชื่อม
- XX = ค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุด
- S = การเชื่อมแบบ Solid Wire
- X = ส่วนผสมของโลหะและชนิดของแกสปกคลุม

2.4 แกสปกคลุม [6]

ในกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแกสปกคลุม แกสที่ใช้ปกคลุมแนวเชื่อมจะมีผลต่อสมบัติของแนวเชื่อม และช่วยป้องกันอากาศภายนอกเข้ารวมตัวกับแนวเชื่อม ซึ่งจะส่งผลทำให้แนวเชื่อมเกิดข้อบกพร่อง เพราะบรรยากาศรอบ ๆ แนวเชื่อมจะมีส่วนประกอบของแกส ไนโตรเจน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไอน้ำ แกสเหล่านี้ถ้าเข้ารวมตัวกับแนวเชื่อมจะเป็นสาเหตุของความบกพร่องในแนวเชื่อม เช่น การเกิดรอยร้าว เกิดรูพรุน หรือเกิดฟองอากาศในแนวเชื่อม ทำให้คุณภาพของแนวเชื่อมต่ำ ไม่สามารถใช้ในงานวิศวกรรมที่ต้องการความแข็งแรงสูงได้

นอกจากนี้แกสปกคลุมยังมีผลต่อการเชื่อมอาร์กทางด้านอื่นๆ ด้วย เช่น การซึมลึกของแนวเชื่อม การเกิดเม็ดโลหะกระเด็น ความเสถียรของการอาร์ก การถ่ายโอนน้ำโลหะแบบต่าง ๆ การใช้แกสปกคลุมเพียงชนิดเดียว ไม่สามารถทำให้เกิดการถ่ายโอนน้ำโลหะแบบต่าง ๆ ได้ การเชื่อมวัสดุหรือโลหะบางชนิด หรือการถ่ายโอนน้ำโลหะบางแบบ ต้องเลือกใช้แกสปกคลุมที่เป็นแกสผสม หรือแม้แต่วัสดุชนิดเดียวกันถ้าเลือกใช้แกสผสมที่ถูกต้อง ในการปกคลุมก็จะได้ลักษณะและคุณภาพของแนวเชื่อมที่ดี กว่า การใช้แกสปกคลุมชนิดเดียว

2.4.1 ชนิดของแก๊สคลุม [6]

แก๊สที่นำมาใช้ปกคลุมแนวเชื่อม สำหรับกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม แบ่งเป็น 4 ชนิด คือ

2.4.1.1 แก๊สเฉื่อย อาร์กอน (Ar) , ฮีเลียม (He) เหมาะกับการใช้คลุมป้องกันแนวเชื่อม ในการเชื่อมเหล็กกล้า แต่ไม่สามารถใช้ได้กับโลหะทุกชนิด จึงต้องผสมแอคทีฟแก๊ส เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ หรือออกซิเจนเข้าไป เพื่อให้การอาร์กเสถียรมีประกายโลหะจากการเชื่อมลดลง

2.4.1.2 แอคทีฟแก๊ส คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือเป็นแก๊สผสมกันระหว่างแก๊สอาร์กอน กับแอคทีฟแก๊สบางตัว เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊สไนโตรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สไฮโดรเจน

2.4.1.3 อันรีแอคทีฟแก๊ส คือ ไนโตรเจน (N_2) ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อมสำหรับการเชื่อมทองแดง และทองแดงเจือ ให้สมบัติการเชื่อมคล้ายกับฮีเลียม แต่การซึมลึกดีกว่าอาร์กอน และการถ่ายโอนโลหะเป็นแบบหยดขนาดใหญ่ ไนโตรเจนใช้แทนฮีเลียมได้ กรณีไม่มีฮีเลียม และอาจผสมอาร์กอน จะทำให้การอาร์กเสถียรและราบเรียบ ลดความปั่นป่วนในบ่อหลอมละลาย ขณะทำการเชื่อม แก๊สผสมนี้อาจใช้เชื่อมอะลูมิเนียมเจือได้เช่นกัน

2.4.1.4 แก๊สผสม เช่น อาร์กอน ผสม คาร์บอนไดออกไซด์ (Ar/CO_2) , อาร์กอน ผสมออกซิเจน (Ar/O_2) , อาร์กอน ผสมออกซิเจน ผสมคาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{Ar}/\text{O}_2/\text{CO}_2$) จะนำมาใช้คลุมรอยเชื่อม เพื่อเพิ่มคุณภาพการเชื่อมและงานเชื่อมให้สูงขึ้นหรือเกิดการถ่ายโอนโลหะตามต้องการ การผสมจะใช้เครื่องผสมแก๊ส โดยแก๊สจะผสมกันก่อนจ่ายออกสู่หัวเชื่อมโดยในการผสมแบ่งออกได้ 4 อย่างคือ

- แก๊สเฉื่อย ผสมกับแก๊สเฉื่อย
- แก๊สเฉื่อย ผสมแก๊สเฉื่อย และแอคทีฟแก๊ส
- แก๊สเฉื่อย ผสมแอคทีฟแก๊ส
- แอคทีฟแก๊สผสมกันเอง

สมบัติเด่นของแก๊สคลุมแต่ละชนิดที่มีผลต่อสมบัติรอยเชื่อม แต่ละชนิดก่อนนำมาผสมมีดังนี้

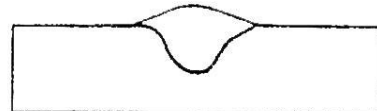
- ฮีเลียม ให้ความร้อนเปลวอาร์กสูงรอยเชื่อมจะกว้าง ระยะซึมลึกตื้น
- อาร์กอน เป็นแก๊สที่ให้ประจุบวก ได้ดีช่วยให้เปลวอาร์กและกระแสเชื่อมคงที่แนวเชื่อมกว้าง ระยะซึมลึกมากทั้งด้านข้าง และด้านล่างแนวเชื่อม
- คาร์บอนไดออกไซด์ จะให้รอยซึมลึกกว้าง และลึก ผิวหน้าแนวเชื่อมมีเกล็ดหยาบและนูน โค้งเกิดสภาพประจุบวกต่ำ ขนาดหยดโลหะไม่สม่ำเสมอ เม็ดโลหะกระเด็นมากแต่มีรัศมีการปกคลุมบริเวณบ่อหลอมละลายอย่างทั่วถึง
- ออกซิเจน ทำให้หยดน้ำโลหะกระจายเป็นฝอยมีกระแสเชื่อมต่ำขณะเกิดหยดละอองโลหะแนวเชื่อมกว้างความนูนต่ำ ผิวแนวเชื่อมเป็นเกร็ดละเอียดไม่เกิดการอาร์กกัดดวงจรและหยดโลหะมีเม็ดขนาดเล็กส่งผลให้อุณหภูมิที่บ่อหลอมเหลวสูง

ชนิดของแก๊สผสมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีดังนี้

- อีเลียม - อาร์กอน แกสผสมชนิดนี้จะให้สมบัติในการเชื่อมด้วยแกสเฉื่อยอย่างเต็มที่ โดยมีอีเลียมให้สมบัติด้านการซึมลึกดี ส่วนอาร์กอนให้การถ่ายโอนโลหะแบบละออง และการอาร์กมีความเสถียรใกล้เคียงกับการใช้อาร์กอนบริสุทธิ์ คลุมรอยเชื่อม งานเชื่อมบางชนิดถ้าใช้อีเลียมอย่างเดียวเปลวอาร์กก็จะร้อนเกินไป ถ้าเฉพาะอาร์กอนเปลวอาร์กก็ร้อนน้อยกว่า จึงนำเอาแกสทั้งสองชนิดมาผสมกันเพื่อให้ได้ผลดีต่อการเชื่อมมากที่สุด
- อาร์กอน - คาร์บอนไดออกไซด์ การผสมคาร์บอนไดออกไซด์เข้ากับอาร์กอนมีจุดประสงค์เช่นเดียวกับอาร์กอน - ออกซิเจน การผสมคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไป จะทำให้การอาร์กมีความเสถียร การถ่ายโอนโลหะจากลวดเชื่อมไปยังชิ้นงานได้ดี มีแรงเกาะยึดบ่อหลอมดีกว่า และลดประกายโลหะกระเด็นเมื่อเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็กให้สมบัติการอาร์กดี ขณะเชื่อมบ่อหลอมละลายจะขยายออกไปถึงขอบรอยต่อ จึงไม่ทำให้เกิดรอยกินลึกที่ขอบรอยเชื่อม
- อีเลียม - อาร์กอน - คาร์บอนไดออกไซด์ แกสผสมชนิดนี้จะให้แรงเกาะยึดของบ่อหลอมเหลวดีกว่า และการถ่ายโอนโลหะเป็นแบบลัดวงจร นิยมใช้กับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนนิติก ทำปฏิกิริยากับบรรยากาศได้เล็กน้อยแต่ไม่ลดความต้านทานการกัดกร่อน การผสมควรให้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เปอร์เซ็นต์ต่ำ เพราะคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นตัวลดความเหนียวของเนื้อโลหะเชื่อม ลักษณะของแนวเชื่อมที่ได้จากแกสผสมชนิดนี้จะแบนราบ ซึ่งเป็นผลดีคือไม่ต้องทำการเจียรระนาบแต่งแนวเชื่อมมาก จึงเหมาะกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมหรือเชื่อมท่อ
- อาร์กอน - ออกซิเจน การผสมออกซิเจนจำนวนเล็กน้อยกับแกสอาร์กอน จะทำให้เกิดออกซิไดซ์ขึ้นแต่ไม่มากนัก ลวดเชื่อมที่เลือกใช้ต้องมีธาตุดีออกไซด์เซอร์ เพื่อขจัดออกซิเจนออกจากบ่อหลอมละลาย ป้องกันการเกิดรูพรุนของเนื้อโลหะเชื่อม การใช้อาร์กอนบริสุทธิ์จะให้สมบัติการอาร์กที่ไม่ดีเมื่อเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็ก และลวดเชื่อมที่หลอมเหลวมีแนวโน้มต่อการไหลพุ่งไม่เป็นเส้นตรง แต่การผสมออกซิเจนปริมาณเพียงเล็กน้อย 1 - 5 % จะช่วยให้การอาร์กมีความเสถียรดี ประกายโลหะกระเด็นน้อย ตะเข็บเชื่อมมีลักษณะดีขึ้น การซึมลึกของรอยเชื่อมกว้างกว่าการใช้อาร์กอนอย่างเดียวไม่ทำให้เกิดรอยการกินลึกขอบแนวเชื่อม เมื่อเชื่อมเหล็กกล้า แต่ถ้าใช้อาร์กอนอย่างเดียวในการเชื่อมเหล็กกล้าจะเกิดรอยกินลึกที่ขอบแนวเชื่อม

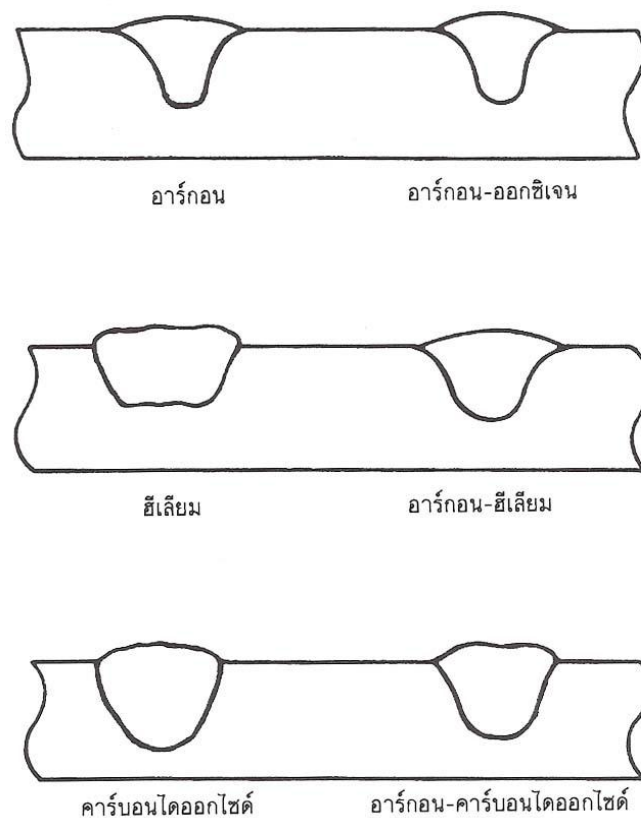


รอยกินลึกขอบแนวเชื่อม
แกสอาร์กอนอย่างเดียว



รอยเชื่อมกว้าง
แกสอาร์กอนผสมออกซิเจน

รูปที่ 2.1 ลักษณะรอยเชื่อมเหล็กกล้าเมื่อใช้แกสอาร์กอน และแกสอาร์กอนผสมออกซิเจน [6]



รูปที่ 2.2 ลักษณะรอยเชื่อม และการซึมลึกเมื่อใช้ แก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ [6]

2.4.1.5 อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม และระยะห่างของหัวฉีดยา สำหรับการไหลของแก๊สปกคลุมและระยะห่างของหัวฉีดยาที่มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ และความเหนียวของเนื้อโลหะเชื่อมในการเลือกใช้อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมและระยะห่างของหัวฉีดยาที่เหมาะสม จะพิจารณาจากค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการเชื่อม อิทธิพลของระยะห่างของหัวฉีดยา และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ และปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะเชื่อมด้วย ในการปรับค่าของแก๊สปกคลุมปกติจะใช้สูตรในการคำนวณ [7] ดังนี้

$$\text{ปริมาณแก๊ส ลิตร / นาที} = 10 \times \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อม (มม.)}$$

ตัวอย่าง

$$\text{ลวดเชื่อม} = 1.0 \text{ มม.}$$

$$\text{แทนค่า} = 10 \times 1.0 \text{ มม.}$$

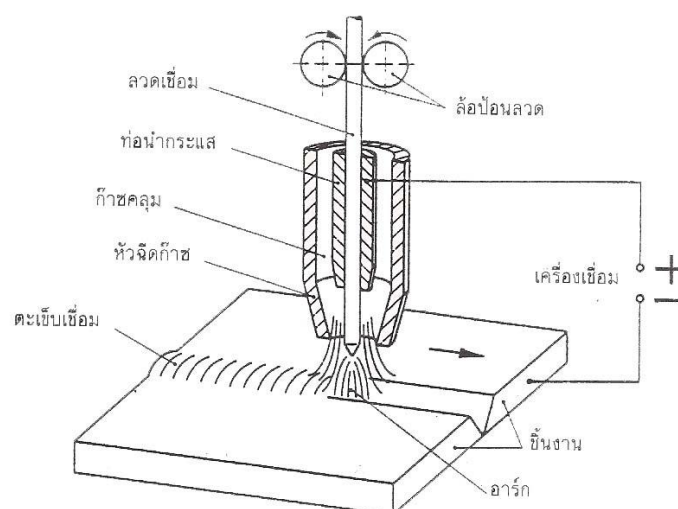
$$= 10 \text{ ลิตร / นาที}$$

ตารางที่ 2.6 อัตราการไหลของแก๊สคลุมและระยะห่างของหัวฉีดยาที่เหมาะสม

ขนาดลวดเชื่อม (มม.)	กระแสเชื่อม (แอมป์)	ระยะห่างหัวฉีดยา (มม.)	อัตราการไหลของ แก๊สคลุม (L/Min)
1.2	100 ~ 200	10 ~ 15	15 ~ 25
	200 ~ 300	15 ~ 20	20 ~ 30
1.6	200 ~ 300	15 ~ 20	20 ~ 30
	300 ~ 450	20 ~ 25	20 ~ 30

2.5 การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW)

กระบวนการในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมเป็นกระบวนการเชื่อมแบบลึนเป็ลึงลวดเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 2.3 ม้วนลวดส่งผ่านหัวเชื่อมออกมาอย่างต่อเนื่อง ผ่านท่อนำลวดและ ท่อนำกระแสจนลวดเชื่อมสัมผัสกับชิ้นงาน อาศัยการอาร์กระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน โดยมีแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมเพื่อป้องกันอากาศภายนอกเข้ามารวมตัวกับแนวเชื่อมซึ่งจะทำให้เกิดข้อบกพร่องขึ้นที่แนวเชื่อมได้ ซึ่งจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปตามชนิดของแก๊สที่ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อม เช่น การเชื่อมมิก จะใช้แก๊สอาร์กอน หรือ แก๊สฮีเลียม หรือใช้อาร์กอนผสมกับฮีเลียม และการเชื่อมแมก จะใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปกคลุมแนวเชื่อม ซึ่งการเชื่อมอาร์กโลหะ แก๊สคลุมเป็นการเชื่อมที่มีการหลอมละลายชิ้นงานและลวดเชื่อมเติมลงไปแนวเชื่อม ลักษณะคล้ายกับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์แต่จะแตกต่างกันตรงที่ การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมไม่มีฟลักซ์จะใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมแทน ทำให้แนวเชื่อมที่ได้มีความสะอาด และมีคุณภาพสูง เหมาะกับการเชื่อมที่ต้องการคุณภาพในงานเชื่อมสูง



รูปที่ 2.3 ลักษณะของกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม [6]

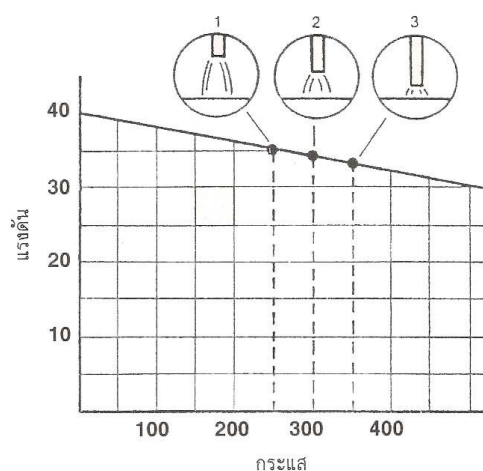
กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม สามารถเชื่อมงานได้อย่างกว้างขวางทั้งการเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็ก และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ตั้งแต่ชิ้นงานที่มีความบาง ไปจนถึงชิ้นงานที่มีความหนาหนา ๆ โดยลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะในการอาร์ก จะขึ้นอยู่กับขนาดของลวดเชื่อม ชนิดของแก๊สที่ใช้ในการ

ปกคลุม และขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม องค์ประกอบที่สำคัญของกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะ แกสคลุม คืออัตราการเติมเนื้อโลหะ ลงสู่บ่อหลอมละลายได้รวดเร็วและมากกว่ากระบวนการอื่น จึงทำให้เคลื่อนหัวเชื่อมได้เร็วจึงทำให้ปริมาณความร้อนจากการอาร์กเข้าสู่งานได้น้อย จึงส่งผลกระทบต่อชิ้นงานน้อยเพราะการแผ่กระจายของความร้อนอยู่ในบริเวณแคบ ๆ ทำให้งานบิดตัวน้อยจึงสามารถเชื่อมงานบาง ๆ ได้ผลดี [6]

2.5.1 ความสามารถในการเชื่อม

การเชื่อมอาร์กโลหะแกสคลุม ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งวิธีการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ และอัตโนมัติ แต่ที่ใช้กันมากคือการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ โดยช่างเชื่อมจะเป็นผู้ดำเนินการเองทั้งหมดตั้งแต่การตั้งค่า แรงดัน ปรับอัตราการไหลของแกสคลุม และการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมด้วยมือ ส่วนการเชื่อมแบบ อัตโนมัติไม่ค่อยนิยมเชื่อมกัน ส่วนใหญ่จะไปใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตที่มีปริมาณมาก ๆ เช่น โรงงานผลิตรถยนต์ วิธีการควบคุมการเชื่อมจะเป็นแบบอัตโนมัติทั้งหมด ช่างเชื่อมเพียงทำหน้าที่ สังเกตความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการเชื่อมเท่านั้น กระบวนการเชื่อมนี้สามารถทำการเชื่อม ได้ทุกตำแหน่งแนวเชื่อม แต่ก็ขึ้นอยู่กับขนาดลวดเชื่อมและลักษณะการถ่ายโอนโลหะด้วย กรณีใช้ แกสคาร์บอนไดออกไซด์ปกคลุมแนวเชื่อม และลวดเชื่อมขนาดใหญ่ จะเชื่อมได้ดีเฉพาะตำแหน่ง แนวราบและแนวระดับ การถ่ายโอนโลหะแบบสละองเหมาะกับการเชื่อมแนวราบและแนวระดับ ถ้า ต้องการเชื่อมแนวเหนือศีรษะ ให้ใช้ลวดเชื่อมขนาดเล็ก การเชื่อมอาร์ก ด้วยวิธีนี้จะมีปัญหาบ้างก็ เฉพาะการเชื่อมแนวตั้ง แต่แก้ไขได้โดยเปลี่ยนการถ่ายโอนโลหะเป็นแบบลัดวงจร หรือพัลส์แทน

2.5.2 ระบบการอาร์ก



รูปที่ 2.4 การเปรียบเทียบความยาวอาร์กที่แตกต่างกันด้วยเส้นโค้งสมบัติแรงดันและกระแสของ เครื่องเชื่อมชนิดแรงดันคงที่ [6]

กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแกสคลุม สามารถใช้เครื่องเชื่อมชนิดกระแสคงที่ (Constant Current) และแรงดันคงที่ (Constant Voltage) ทำการเชื่อมได้ เครื่องเชื่อมชนิด แรงดันคงที่ได้รับความนิยมกับการเชื่อมอาร์กโลหะแกสคลุมมากกว่าชนิดกระแสคงที่ โดยแรงดันคงที่

จะใช้เชื่อมกับลวดเชื่อมเปลือยตัน (Solid) และลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux – Core) การปรับแรงดันจะปรับที่ปุ่มปรับของเครื่อง กระแสเชื่อมได้จากการปรับอัตราความเร็วป้อนลวดเชื่อม ถ้าลวดเชื่อมป้อนเร็วกระแสก็จะสูง ถ้าลวดเชื่อมป้อนช้ากระแสก็จะต่ำ ความยาวอาร์กก็มีความสำคัญ

อัตราการเติมเนื้อโลหะของลวดเชื่อมขึ้นอยู่กับกระแสเชื่อม หากกระแสต่ำอัตราการหลอมเหลวของลวดจะลดลง เมื่อกระแสสูงอัตราการหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 2.4 ตรงจุดที่ 2 ความยาวอาร์ก แรงดันและกระแสจำนวนหนึ่งเป็นจุดเปรียบเทียบกับพฤติกรรมจุดอื่น ตรงจุดที่ 1 พบว่าถ้าความยาวอาร์กมาก แรงดันจะเพิ่มขึ้นจากเดิมแต่ไม่มากนัก ขณะเดียวกันกระแสจะต่ำลงทำให้อัตราหลอมเหลวของลวดลดลงเช่นกัน

2.5.3 การถ่ายโอนโลหะ

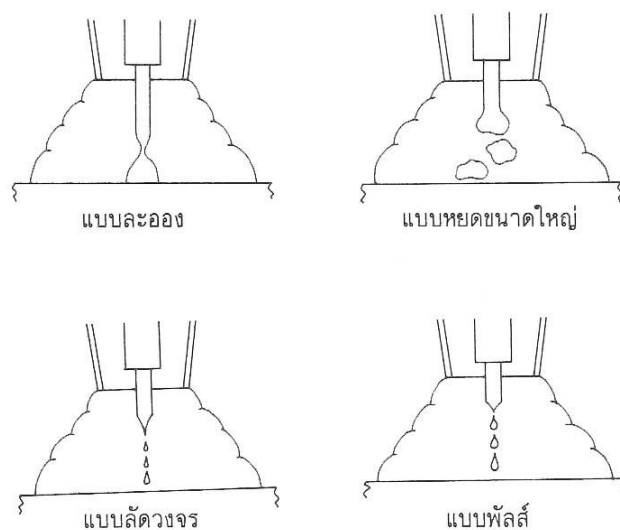
การเชื่อมอาร์กโลหะแกสคลุม เป็นกระบวนการที่มีความสามารถในการเชื่อมสูง เมื่อเทียบกับกระบวนการเชื่อมอื่น ๆ คือ เชื่อมได้ทั้งโลหะที่เป็นเหล็ก และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ทั้งหนาและบาง เพราะมีการถ่ายโอนโลหะที่แตกต่างกันหลายแบบ การถ่ายโอนโลหะ หมายถึง การที่โลหะลวดเชื่อมหลอมเป็นหยดหลุดออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านอาร์กเข้าสู่บ่อหลอมเหลวบนโลหะชิ้นงาน ซึ่งการถ่ายโอนของหยดโลหะเกิดจากแรงกระทำต่อหยดโลหะที่ปลายลวดเชื่อม โดยเป็นปฏิกริยาร่วมกันระหว่างแรงและส่วนผสมทางเคมี ของลวดเชื่อมชนิดของแกสคลุมกระแสเชื่อม แรงดันเชื่อมและขนาดลวดเชื่อม แรงกระทำต่อหยดโลหะมีดังนี้

- ความดันพลาสมา (จากความเสียดทานของพลาสมาเจต)
- แรงดันปลายลวดเชื่อม ทำให้หยดโลหะคอดกักลง
- ความดันเนื่องจากการกลายเป็นไอของวัสดุ
- แรงจากความดันแกสที่ปลายลวดเชื่อม
- แรงแม่เหล็กไฟฟ้า
- แรงโน้มถ่วง
- แรงตึงผิว

การถ่ายโอนโลหะแบ่งออกได้ 4 แบบ คือ แบบละออง (Spray) แบบหยดขนาดใหญ่ (Globular) แบบลัดวงจร (Short Circuit) และแบบพัลส์ (Pulsed)

2.5.3.1 การถ่ายโอนแบบละออง [6] เกิดจากการหลอมของลวดเชื่อมเป็นหยดโลหะขนาดเล็กวัฏจักรการถ่ายโอนโลหะเริ่มขึ้น เมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมเหลวแล้วก่อตัวเป็นหยดโลหะขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเชื่อม หยดโลหะจะเรียวเล็กลงตรงส่วนที่ต่ออยู่ระหว่างปลายลวดเชื่อม และหยดนี้จะแยกตัวหรือ ถูกกีดหลุดออก จากปลายลวดเชื่อมด้วยแรงแม่เหล็กไฟฟ้า หยดโลหะถูกถ่ายโอนอย่างรวดเร็ว ผ่านพลาสมาอาร์กสู่บ่อหลอมเหลวอย่างคงที่ต่อเนื่องไปไม่หยุด ตลอดเวลาที่กระแสเชื่อมยังไหลผ่านลวดเชื่อมอยู่ ปริมาณหยดโลหะที่ถ่ายโอนอาจต่ำกว่าหรือสูงกว่าเป็นหลายร้อยหยดในเวลาหนึ่งวินาที

กระบวนการถ่ายโอนแบบละอองต้องใช้ความหนาแน่นของกระแสสูง เพื่อลวดเชื่อมจะได้หลอมเป็นหยดขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเชื่อมอย่างรวดเร็ว หยดที่มีขนาดเล็กนี้ไม่มีผลต่อเสถียรภาพของการอาร์ก เช่น กรณีของการถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่แต่อย่างใด การไหลพุ่งของหยดโลหะจึงเป็นเส้นตรงจากศูนย์กลางปลายลวดเชื่อมสู่บ่อหลอมเหลวทำให้กำหนดทิศทางการถ่ายโอนได้ตามต้องการ ปริมาณความร้อนเข้าสู่งานสูงแม้ลวดเชื่อมจะมีขนาดใหญ่ ก็สามารถหลอมเป็นหยดขนาดเล็กได้ทันที ส่งผลให้เกิดการซึมลึกของรอยเชื่อมมาก



รูปที่ 2.5 ลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะทั้ง 4 แบบ [6]

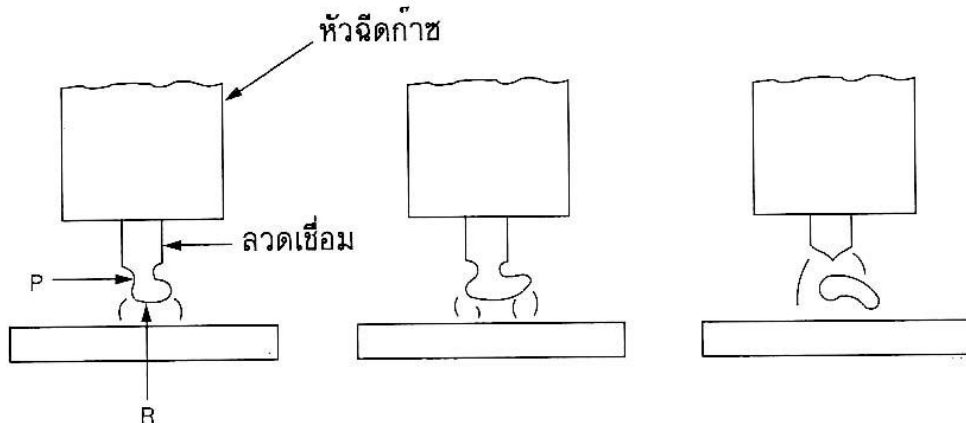
การถ่ายโอนแบบละอองใช้เชื่อมงานได้ทั้งโลหะที่เป็นเหล็ก และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ถ้าเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็กควรใช้แก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับออกซิเจนคลุ่มรอยเชื่อม แก๊สอาร์กอนจะช่วยให้หยดโลหะเป็นเม็ดกลมขนาดเล็กและเกิดแรงกัณหุดออกจากปลายลวดเชื่อม ส่วนออกซิเจนทำให้การอาร์กมีเสถียรรูปที่ดี เกิดเม็ดโลหะกระเด็นน้อย และการซึมลึกของรอยเชื่อมเป็นวงกว้าง และป้องกันการเกิดรอยกินลึก แก๊สผสมอาร์กอนกับออกซิเจนใช้กับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ปานกลาง เหล็กกล้าเจือต่ำ เหล็กกล้ากำลังสูงและเหล็กกล้าไร้สนิม ตำแหน่งเชื่อมแนวราบและแนวระดับ

2.5.3.2 การถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่ [6] เริ่มเมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมเป็นหยดโลหะ นี้จะก่อตัวเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อมประมาณ 1.5 หรือ 2 เท่า ก่อนจะหลุดจากปลายลวดเชื่อมแล้วถ่ายโอนผ่านการอาร์กสู่บ่อหลอมละลายด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ซึ่งจะให้อัตราการเติมเนื้อโลหะมาก และความร้อนสูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร กระแสและแรงดันเชื่อมที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่จะต่ำ แต่ก็อยู่ในช่วงที่สูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร กระแสและแรงดันเชื่อมที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่จะต่ำ แต่ก็อยู่ในช่วงที่สูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร คือกระแสจะไม่เกินระดับของกระแสช่วงเปลี่ยน โดยพิสัยของกระแสช่วงเปลี่ยนจะเพิ่มจากค่าต่ำสุดขณะที่ปลายลวดเชื่อมกำลังหลอมไปถึงจุดที่มีค่าสูงสุดเพื่อชักนำให้เกิดการถ่ายโอนเหมือนแบบละออง ดังนั้นพฤติกรรมของการถ่ายโอนโลหะแบบนี้ จึงอยู่ระหว่าง

การถ่ายโอนแบบลัดวงจร และแบบละอองแต่มีขนาดหยดโลหะใหญ่กว่าแบบละออง อัตราการถ่ายโอนโลหะต่อวินาทีที่กระแสต่ำจะมีเพียง 2 – 3 หยดเท่านั้น ขณะที่หยดโลหะขนาดเล็กจำนวนมากถูกถ่ายโอนไปแล้วตอนกระแสเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อหยดโลหะมีขนาดโตพอแล้วก็จะแยกตัวออกจากปลายลวด ถ่ายโอนผ่านการอาร์กสลับไปหลอมละลายหยดโลหะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ และเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเอง เนื่องจากแรงกายภาพของการอาร์ก จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หยดน้ำโลหะนี้กลมไม่สม่ำเสมอโดยหยดที่มีขนาดใหญ่กว่าจะไปแตะกับบ่อหลอมละลายทำให้เกิดการลัดวงจร ผ่านการอาร์กและการอาร์กจะดับไปชั่วขณะ พฤติกรรมนี้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เสถียรภาพการอาร์กต่ำ การอาร์กจะรุนแรง การอาร์กผิดพลาดในบางจังหวะทำให้ระยะซีมลึกลงและเกิดคลื่นการอาร์ก รอบหยดโลหะบนปลายลวดเชื่อมซึ่งเป็นเหตุให้มีเม็ดโลหะกระเด็นมากการถ่ายโอนหยดน้ำโลหะขนาดใหญ่สู่บ่อหลอมละลายจะใช้แรงโน้มถ่วงมากกว่าแรงที่เกิดจากการอาร์ก ดังนั้นกระบวนการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่จึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการคุณภาพงานเชื่อมสูง มีข้อเขตใช้งานจำกัดเพราะปริมาณความร้อนเข้าสู่งานต่ำ

หยดน้ำโลหะมีขนาดใหญ่และเป็นการถ่ายโอนด้วยแรงโน้มถ่วงจึงไม่เหมาะกับการเชื่อมงานที่อยู่ในตำแหน่งนอกเหนือจากแนวราบโดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวเชื่อมเหนือศีรษะ เพราะหยดโลหะมีแนวโน้มต่อการตกลงในหัวเชื่อม จะเชื่อมได้ดีกับงานที่อยู่ในแนวราบและแนวระดับ ใช้ระดับกระแสและแรงดันเชื่อมสูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร

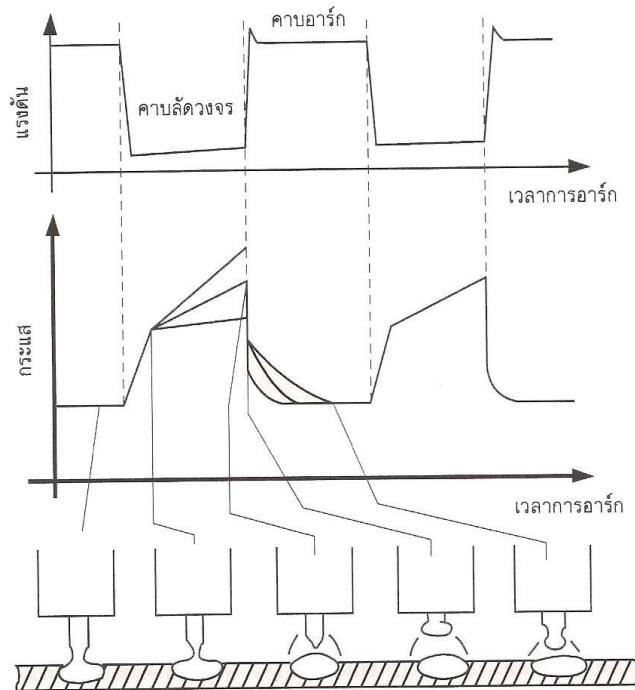


รูปที่ 2.6 ลักษณะการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่ [6]

2.5.3.3 การถ่ายโอนแบบลัดวงจร [6] แบบนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายกว่าการถ่ายโอนแบบอื่น ๆ การถ่ายโอนเริ่มจากปลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานถูกทำให้เกิดการอาร์กและมีอุณหภูมิสูงพอที่จะหลอมปลายลวดเป็นหยดโลหะขนาดเล็ก ขณะเดียวกันลวดเชื่อมจะถูกป้อนเข้าสู่บ่อหลอมละลายด้วยอัตราสูง ทำให้หยดโลหะบนปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมละลายก่อนจะแยกออกจากปลายลวดเชื่อม ซึ่งเป็นสาเหตุของการลัดวงจรไฟฟ้า การอาร์กจะดับไปชั่วขณะ จังหวะที่ลัดวงจรอยู่นี้ กระแสจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ปลายลวดเชื่อมที่หลอมเป็นหยดจะถูกกั๊กออกและถ่ายโอนสู่บ่อหลอมละลายด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวจากพฤติกรรมดังกล่าวหยดโลหะที่ปลายลวดจึงเปรียบเสมือนสะพานเชื่อมต่อระหว่างช่องว่างปลายลวดเชื่อมกับบ่อหลอมเหลว เมื่อหยดโลหะหยด

แรกหลุดจากปลายลวดเชื่อมแล้วก็จะเริ่มต้นอาร์กใหม่อีกครั้งขณะที่ปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมละลายจะมีหน้าที่คล้ายกับฟิวส์ไฟฟ้า และเกิดการระเบิดเรียงต่อกันไปเพราะความหนาแน่นของกระแสสูง การระเบิดทำให้เกิดช่องว่างอาร์ก ระหว่างปลายลวดเชื่อมกับผิวโลหะชิ้นงานเมื่อเริ่มต้นอาร์กใหม่สภาวะอย่างนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันไปอย่างรวดเร็วมาก คือ มีความถี่ของการลัดวงจร 20 – 200 ครั้งต่อวินาที แต่ในทางปฏิบัติประมาณ 10 – 100 ครั้งต่อวินาที ซึ่งสังเกตได้จากแผ่นฟิล์มความเร็วสูงเท่านั้น กระแสและแรงดันเชื่อมจะตั้งในช่วงต่ำ จึงมีปริมาณความร้อนเข้าสู่งานน้อยสามารถใช้ลวดขนาดเล็กได้

การถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร เชื่อมงานได้หลายขนาดความหนา และเหมาะสมกับการเชื่อมงานหน้าตัดบาง ถ้าใช้กระแสดรงกลับชั่วเชื่อมงานได้ทุกขนาดความหนา ใช้เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำปานกลาง เหล็กกล้าเจือต่ำกำลังสูง หรือเชื่อมอะลูมิเนียม แต่แนวเชื่อมจะเย็นตัวเร็วทำให้แกสถูกดักในบ่อหลอมละลายแนวเชื่อมเกิดรูพรุน ส่วนเหล็กนำความร้อนต่ำการเย็นตัวช้าจึงมีเวลาพอที่ฟองแกสจะลอยขึ้นสู่ผิวบ่อหลอมละลาย และระเหยหนีไปได้ สามารถเชื่อมงานได้ทุกตำแหน่งแนวเชื่อมและรอยต่อทุกแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรอยต่อที่ประกอบไม่เรียบร้อยหรือรอยต่อชนที่มีช่องว่างระหว่างฐานรอยเชื่อมกว้าง การถ่ายโอนแบบลัดวงจรจะก่อให้เกิดสะพานเชื่อมต่อช่องว่างจึงสามารถใช้ในการงานเชื่อมโลหะแผ่นหนา และเชื่อมท่อได้ดี

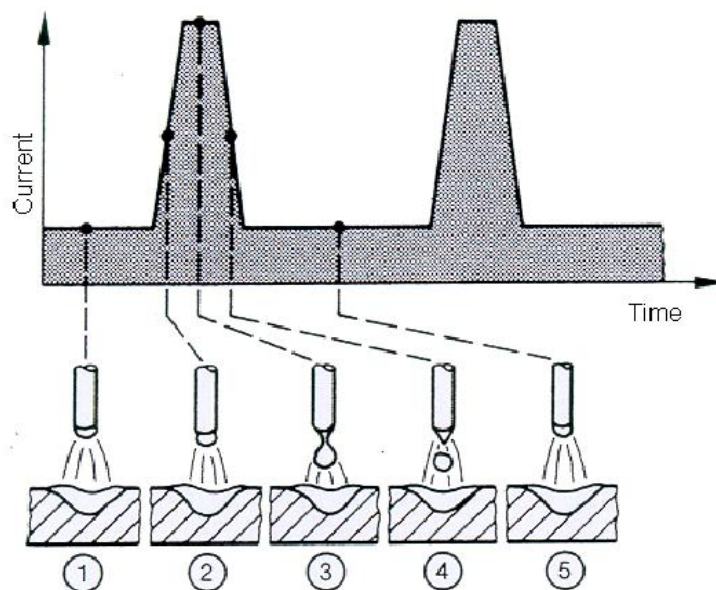


รูปที่ 2.7 การถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร [6]

2.5.3.4 การถ่ายโอนแบบพัลส์ [6] เป็นการถ่ายโอนที่พัฒนามาจากการถ่ายโอนแบบละออง เพราะมีข้อจำกัดการใช้งานแต่ยังเป็นการถ่ายโอนแบบละอองอยู่ การพัลส์ของกระแสเชื่อมจากระดับ

ต่ำสุดถึงสูงสุดที่ 60 ไซเคิลต่อวินาที จังหวะการพัลส์แต่ละครั้งจะทำให้ปลายลวดเชื่อมหลอมเป็นหยดโลหะได้หนึ่งหยด แล้วถ่ายโอนผ่านอาร์กสู่บ่อหลอมเหลวด้วยความถี่สม่ำเสมอต่อเนื่องกันไป

ระดับกระแสต่ำสุดจะตั้งในช่วงการถ่ายโอนแบบละอองการถ่ายโอนหยดโลหะจะเกิดขึ้นเมื่อการพัลส์กระแสถึงระดับสูงสุด หลังจากถ่ายโอนหยดโลหะแล้ว กระแสจะลดลงต่ำสุดเท่าที่ตั่งไว้ กระแสต่ำจะช่วยคงให้การอาร์กเกิดอยู่ตลอดเวลา และการพัลส์เพิ่มขึ้นถึงระดับสูงสุดได้ ช่วงจังหวะนี้การถ่ายโอนหยดโลหะไม่เกิดขึ้น การพัลส์ของกระแสสูงและต่ำลงจะมีผลต่อการควบคุมปริมาณความร้อนเข้าสู่งานเชื่อม โดยความร้อนเฉลี่ยจะต่ำกว่าการถ่ายโอนแบบละออง จึงเหมาะกับการเชื่อมงานบางที่มีปัญหาหาการหลอมทะลุ เนื่องจากความร้อนสูง เชื่อมงานที่อยู่ในตำแหน่งแนวเชื่อมนอกเหนือมาตรฐานได้ง่าย งานบิดตัวน้อย ใช้ลวดเชื่อมขนาดใหญ่ได้ แต่การถ่ายโอนหยดโลหะผ่านอาร์กยังเป็นหยดขนาดเล็กอยู่จึงประหยัดกว่าการใช้ลวดขนาดเล็กซึ่งมีป็นหาการป้อนลวดเชื่อมด้วย



รูปที่ 2.8 ลักษณะกระแสและขั้นตอนการถ่ายโอนโลหะแบบพัลส์ [6]

การเกิดกระแสพัลส์ได้จากการปิดเปิดวงจร ระหว่างกระแสต่ำสุดกับสูงสุด ดังนั้นในเครื่องเชื่อมตัวเดียวจึงมีต้นกำลัง แยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ทำให้กระแสต่ำสุด และส่วนที่ให้กระแสพัลส์สูงสุด เพื่อให้กระแสพัลส์สูงสุดต้องตั้งให้สูงกว่าระดับกระแสช่วงเปลี่ยนของการถ่ายโอนแบบละออง และกระแสต่ำสุด ตั้งในช่วงการถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่ ปลายลวดเชื่อมจะหลอมที่วัฏจักรต่ำสุด เมื่อกระแสเพิ่มขึ้นสูงกว่าจุดช่วงเปลี่ยน หยดโลหะจะแยกตัวออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านอาร์กสู่บ่อหลอมเหลว วัฏจักรนี้จะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันอย่างต่อเนื่องขณะปฏิบัติการเชื่อม บ่อหลอมจะแข็งตัวเร็วกว่าการถ่ายโอนแบบละออง การอาร์กรุนแรงกว่าแต่ความถี่ของการถ่ายโอนลดลง

กระแสพัลส์สามารถเชื่อมได้ทั้งโลหะที่เป็นเหล็ก และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก เพราะมีปริมาณความร้อนที่เข้าสู่งานต่ำทำให้สามารถเชื่อมงานที่มีตำแหน่งแนวเชื่อมนอกเหนือมาตรฐาน เพราะกระแส

พัลส์และบ่อหลอมละลายแข็งตัวเร็ว เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าเจือนิเกิลสูง เหล็กกล้าเจือต่ำ เหล็กกล้าไร้สนิม ทองแดง ทองแดงเจืออะลูมิเนียมและโลหะเจือชนิดอื่น ๆ เชื่อมงานบาง กับหนาปานกลางได้ดี และเชื่อมได้ทุกรอยต่อ

2.5.4 การเชื่อมแบบแบ็คแฮนด์ (Black Hand)

การเชื่อมแบบแบ็คแฮนด์เป็นเทคนิคในการเชื่อมแบบนิ่งในจำนวน 2 แบบ ที่ใช้เชื่อมในกระบวนการเชื่อมเพราะในการเชื่อมมีการเชื่อมแบบแบ็คแฮนด์และโฟแฮนด์ สำหรับเทคนิคการเชื่อมแบบแบ็คแฮนด์เป็นลักษณะการเชื่อมถอยหลังคือลวดเชื่อมจะเดินหน้าแนวเชื่อมและลวดเชื่อมจะทำมุมตรงข้ามกับแนวเชื่อม ส่วนการเชื่อมแบบโฟแฮนด์จะเป็นการเชื่อมเดินหน้าคือลวดเชื่อมทำมุมขนานกับแนวเชื่อม ถ้าดูตามลักษณะของมือจะพบว่า การเชื่อมแบบแบ็คแฮนด์คือการเดินแนวเชื่อมไปในทิศทางหลังมือ ส่วนการเชื่อมแบบโฟแฮนด์คือการเดินแนวเชื่อมไปในทิศทางหน้ามือ

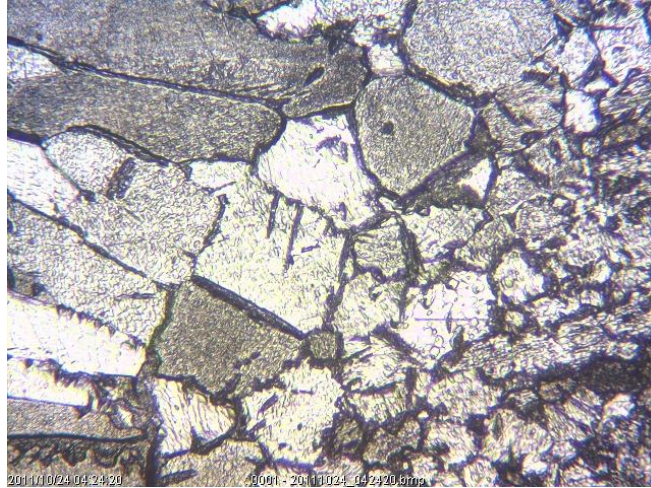
2.6 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

เหล็กทุกชนิดเมื่อมีอุณหภูมิเปลี่ยนไป เหล็กเหล่านี้จะมีโครงสร้างเปลี่ยนไป เช่น เหล็กบริสุทธิ์ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 937 – 1400 องศาเซลเซียส จะมีโครงสร้างผลึกแบบ F.C.C. ส่วนในช่วงอุณหภูมิอื่น ๆ จะมีโครงสร้างแบบ B.C.C. การเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจะทำให้ปริมาตรอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ด้วย การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยา เป็นการศึกษาโครงสร้างของโลหะภายใต้กล้องที่มีกำลังขยายสูง [8] โดยจะตรวจสอบโครงสร้างของโลหะไม่ว่าจะเป็นการเรียงตัวของอะตอม อีออน หรือโมเลกุลของสารต่าง ๆ ซึ่งสามารถตรวจสอบด้วยเครื่องมือทางโลหะวิทยาและทางฟิสิกส์มาช่วย แต่การจะตรวจสอบโครงสร้างภายในให้ละเอียดจริง ๆ จะต้องใช้รังสี X-Ray ช่วยในการตรวจสอบซึ่งจะทำให้การตรวจสอบมีความแน่นอนเพื่อวัดหาระยะระหว่างระนาบ หรือวัดระยะห่างระหว่างอะตอม หาดำหนิของผลึกโดยความกว้างของเส้นที่เกิดขึ้นในภาพ จะแสดงถึงข้อบกพร่องในผลึก ความหนาแน่นของดิสโลเคชัน (Dislocation) เนื่องจากโลหะเป็นวัสดุที่เปราะ การตรวจสอบขนาด รูปร่าง และการจัดเรียงตัวของผลึกจะต้องใช้วิธีการตัดชิ้นงานตามแนวที่ต้องการศึกษา แล้วนำไปขัดมัน กัดกรดตามชนิดของโลหะ โดยกรดจะกัดบริเวณขอบเกรนอย่างรุนแรงกว่าส่วนอื่น ๆ ของผลึก เพราะขอบเกรนจะมีข้อบกพร่องมากที่สุดกรดจะกัดขอบเกรนให้เป็นร่อง เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ แสงที่ตกกระทบขอบเกรนจะสะท้อนหักเหออกจากทิศทางเดิม ขอบเกรนจึงมีสีดำขณะที่เนื้อเกรนสว่าง [8]

2.6.1 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค [8]

การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ แบบจุลภาค จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ ที่มีกำลังขยายสูง ๆ แต่โครงสร้างบางชนิด เช่นผลึกที่มีขนาดเล็กกว่า $0.4 - 0.6 \mu\text{m}$ ไม่สามารถตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาได้ แม้ว่าจะมีกำลังขยายสูงสุดแล้วก็ตาม โดยปกติกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาค่าจะใช้ศึกษาและถ่ายภาพโครงสร้างของโลหะที่ต้องการกำลังขยายไม่เกิน 1000 – 1500 เท่า ซึ่งจะเห็นอนุภาคที่เล็กประมาณ 0.4 – 0.6 มม. ถ้าจะนำภาพไปขยายอีกก็ได้ แต่รายละเอียดคงเดิม และความชัดเจนจะด้อยลง ดังนั้นถ้าต้องการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างที่ละเอียดยิ่งขึ้น จะต้องใช้กล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอน ในการศึกษาการทำงานของกล้องแบบนี้ จะใช้ลำแสงอิเล็กตรอนความเร็วสูง และจะเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นมากกว่าแสงธรรมดา 100000 เท่า จึงเพิ่มกำลังขยายมากกว่าแสงธรรมดามากมายมหาศาล



รูปที่ 2.9 ลักษณะของโครงสร้างจุลภาค

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีขนาดใหญ่มาก จะต้องใช้ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดใหญ่ในการผลิต และควบคุมลำแสงอิเล็กตรอน และทั้งระบบจะต้องทำงานอยู่ในสุญญากาศ เพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนปะทะกับอนุภาคอากาศ จะมีผลทำให้ทิศทางการอิเล็กตรอนผิดเพี้ยนไป การบังคับควบคุมไม่แน่นอน เลนส์ของกล้องคือ ขดลวดซึ่งให้สนามแม่เหล็กกำลังสูง การปรับโฟกัสของภาพทำได้โดยการเปลี่ยนค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กบีบอิเล็กตรอนให้ไปรวม ณ จุดที่ต้องการ ซึ่งต่างจากกล้องธรรมดา จะใช้เลนส์รวมแสงและใช้วิธีปรับระยะห่างระหว่างเลนส์ เพื่อให้เกิดโฟกัส

อิเล็กตรอนจะถูกปล่อยออกจากขั้วลบ ซึ่งทำจากทังสเตน ฟุ้งไปยังขั้วบวกด้วยความเร็วสูง และตามทางที่ผ่านนั้นจะกระทบกับชิ้นงานทดสอบ โดยการควบคุมของเลนส์แม่เหล็กอิเล็กตรอน บางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนจะสะท้อนกลับไป ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงานลำแสงที่ผ่านการกระทบชิ้นงานจะถูกโฟกัสโดยระบบเลนส์แม่เหล็กก่อให้เกิดภาพขึ้น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถเพิ่มกำลังขยายได้สูงถึง 200000 เท่า โดยการเพิ่มเลนส์พิเศษเข้าไปกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนโดยทั่วไปจะมีกำลังขยายประมาณ 5000 – 20000 เท่า หรือมากกว่ากล้องจุลทรรศน์ธรรมดา อยู่ประมาณ 10 เท่า

การศึกษาโครงสร้างของโลหะด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา หรืออิเล็กตรอนจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของโลหะผสม แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าอะตอมของส่วนผสมกระจายตัวเป็นอย่างไร

การเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

- ขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบจนถึงเบอร์ละเอียด
- ขัดมันด้วยผงขัด หรือด้วยไฟฟ้า (อิเล็กโตรไลติก)
- ทำความสะอาดผิวงานที่ขัดเรียบร้อยแล้ว
- ทาหน้ายาลอกภาพ บนผิวงาน

- นำแผ่นพลาสติกปิดทับบนน้ำยา และใช้น้ำกดให้แน่น
- นำแผ่นพลาสติกปิดทับบนน้ำยา และใช้น้ำกดให้แน่น
- นำ Replica ไปยึดไว้กับแผ่นรองและนำไปตรวจสอบต่อไป

2.6.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคเป็นการศึกษาโครงสร้างที่สามารถมองด้วยตาเปล่า หรือขยายได้ไม่เกิน 50 เท่า โดยที่ผิวของชิ้นงานที่ต้องการศึกษาไม่จำเป็นต้องเตรียมอย่างดีเหมือนการศึกษาโครงสร้างจุลภาคก็ได้ การตรวจสอบแบบนี้จะใช้ตรวจสอบดูรูพรุน รอยร้าว การแยกชั้นการตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมและผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปได้ในขณะเย็น ในการวิเคราะห์รอยแตกในลักษณะต่าง ๆ เช่น จากการทดสอบแรงดึง การตีกระแทก หรือเกิดจากความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยการใช้เลนส์ขยายส่องดูลักษณะของรอยแตกหักเป็นรอยแตกเปราะ รอยแตกเหนียว หรือตำหนิของวัสดุ เช่น ขี้ตะกรัน ผิวนูน วิธีการศึกษาโครงสร้างมหภาคมี 2 วิธี ได้แก่

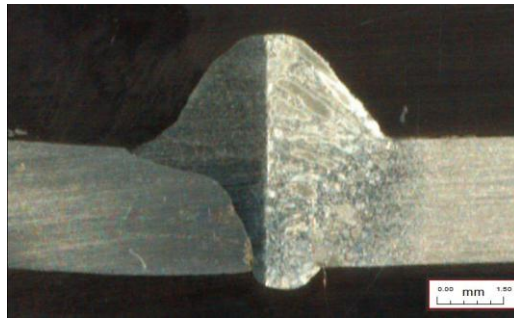
2.6.2.1 การไม่ใช้สารกัด

เป็นการตรวจสอบโครงสร้างตำแหน่งที่แน่นอนตามหน้าตัดของชิ้นงาน เช่น ตำหนิได้แก่รูอากาศ รอยร้าว รอยแตก รูพรุน ผิวเกย ตัวอย่างตำหนิที่กล่าวมาแล้ว คือ ตำหนิที่เกิดจากงานที่ได้จากการรีด การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง ได้แก่ การเกิดผลึกเข็ม (Columnar Crystal) เชนใดครทในโครงสร้างงานเชื่อมหรืองานหล่อ เส้นใยการครากตัวของวัสดุที่ทำแม่พิมพ์ อิทธิพลจากความร้อนในรอยเชื่อม โชนของแข็ง และการตกผลึกใหม่ ของโครงสร้าง ความแตกต่างของส่วนผสมทางเคมี ได้แก่ การแยกตัวการไม่ละลายของฟอสฟอรัสหรือกำมะถัน และการฝังตัวของสารอื่น ๆ ผิวที่เกิดจากการลดหรือเพิ่มคาร์บอน

2.6.2.2 การใช้สารกัด วิธีการใช้สารกัดผิวของชิ้นงานเพื่อดูโครงสร้าง แบ่งออกได้หลายวิธีดังนี้

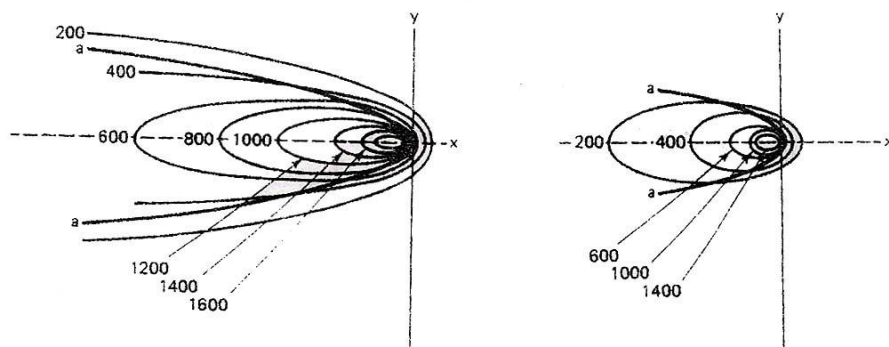
- วิธีของแอตเลอร์ นิยมใช้สำหรับตรวจสอบโครงสร้างรอยเชื่อมของเหล็กกล้าและเหล็กกล้าผสมต่ำ หลังจากการกัดจะทำให้เห็นภาพโครงสร้างของรอยเชื่อมตามแนวตัดขวาง ซึ่งในรอยเชื่อมจะมีโชนที่เกิดจากการเชื่อมอยู่ด้วยกัน 3 โชนที่สามารถมองเห็นได้คือโชนหลอมละลาย คือบริเวณที่เป็นแนวเชื่อม โชนอิทธิพลของความร้อนที่เกิดจากผลกระทบของความร้อน และโชนที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน ซึ่งมีโครงสร้างของวัสดุพื้นเดิม บริเวณหลอมละลายของแนวเชื่อม จะมีหลายชั้นแนวเชื่อม การซึมลึก รูปร่าง เม็กเกรน และขนาดของขี้ตะกรันผิวนูน รูพรุน รอยร้าว ซึ่งสามารถมองเห็นได้นอกจากนี้การขยายตัวของโชนอิทธิพลของความร้อนก็จะเห็นได้อย่างชัดเจน วิธีการของแอตเลอร์ยังสามารถศึกษาโครงสร้างของเหล็กกล้าผสมสูง นิกเกิล ทองแดง ทองแดงผสมได้อีกด้วย
- วิธีของไฟร์ เหมาะกับการศึกษาการแยกตัวของเหล็กไนไตรด์ซึ่งการส่องดูโครงสร้างด้วยวิธีทางจุลภาคไม่สามารถมองเห็นได้ การแยกตัวนี้จะเกิดในกรณีที่เกิดจากการบ่ม โดยเฉพาะในตำแหน่งที่มีการขึ้นรูปขณะที่เย็นตัว จนทำให้วัสดุครากตัว ทำให้สามารถมองเห็นแนวเส้นใยของการครากตัวได้ ดังนั้นจึงสามารถศึกษาความเค้นของชิ้นส่วนตามแนวเส้นใยได้

- วิธีของโลห์ริก เหมาะกับการศึกษาโครงสร้างของ อะลูมิเนียม และอะลูมิเนียมผสมที่เชื่อมให้ติดกัน หรือจากเส้นใยของชิ้นงานที่ขึ้นรูปโดยไม่แปดผิว
- วิธีของตุกเกอร์ เป็นวิธีการหาขนาดของเม็ดเกรนที่เกิดจากขบวนการตกผลึกใหม่ สำหรับอะลูมิเนียมที่ไม่มีการเตรียมผิว
- วิธีของโอเบอร์ฮอฟเฟอร์ ใช้ดูการแยกตัวของธาตุต่าง ๆ โดยเฉพาะฟอสฟอรัส ในเหล็กกล้า และสามารถมองเห็นโครงสร้างพื้นฐานอีกด้วย



รูปที่ 2.10 ลักษณะของโครงสร้างมหภาค

2.7 อิทธิพลของความเร็วและอุณหภูมิที่มีผลต่องานเชื่อม [9]



(ก) งานแผ่นบาง

(ข) งานแผ่นหนา

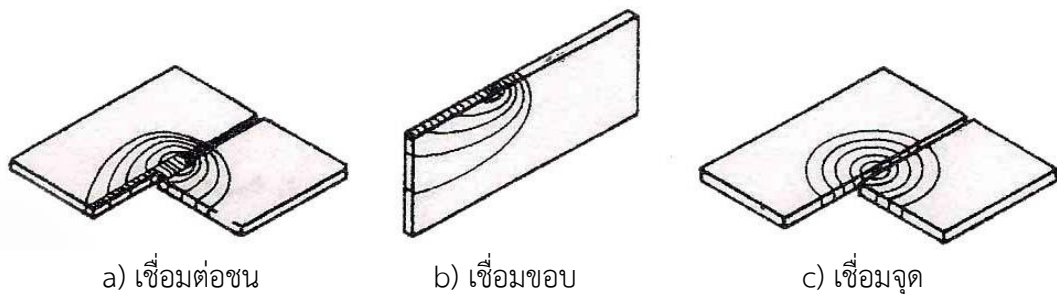
รูปที่ 2.11 ช่วงอุณหภูมิบริเวณแอ่งหลอมละลายกระจายออกไป [9]

ในกระบวนการเชื่อมที่เกิดการอาร์ก อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะสูงมาก โดยสูงถึง 5000 – 6000 องศาเซลเซียส ซึ่งบริเวณที่อยู่ถัดจากการอาร์กจะถูกทำให้ร้อนและหลอมละลาย พลังงานความร้อนที่ส่งถ่ายให้รอยเชื่อมเรียกว่าความร้อนเข้า (Heat Input) แต่ในการเชื่อมจะมีอุณหภูมิจำนวนหนึ่งที่สูญเสียไปประมาณ 50 – 90 % แล้วแต่กระบวนการที่ใช้เชื่อม ซึ่งอุณหภูมิที่หายไปคืออุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานบริเวณใกล้ๆ แนวเชื่อมมีอุณหภูมิสูงขึ้นใกล้จุดหลอมละลายนอกจากนั้นก็เป็นอุณหภูมิที่สูญเสียไปจากการกระเด็นของสะเก็ดน้ำโลหะ และอุณหภูมิที่ให้ความร้อนต่อลวดเชื่อม การแผ่รังสี และการพาความร้อนให้กับอากาศบริเวณรอบ ๆ การเชื่อม ในการวิเคราะห์ผลของความร้อนต่อแนวเชื่อมจำเป็นต้องพิจารณาถึงสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้

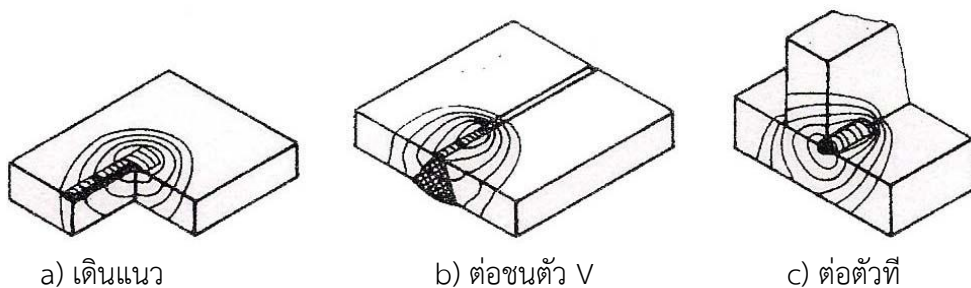
- อัตราความร้อนที่เกิดขึ้น
- อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้น
- ช่วงเวลา ณ อุณหภูมิ
- อัตราการเย็นตัว

องค์ประกอบเหล่านี้เป็นเรื่องยากในการพิจารณา แต่อย่างไรก็ตามสามารถวิเคราะห์หาผลที่เกิดขึ้นต่อแนวเชื่อมได้โดยประมาณ

ในงานเชื่อมบริเวณแอ่งหลอมละลายที่เกิดขึ้นเป็นแนวเชื่อม โดยการหลอมละลายของชิ้นงานและลวดเชื่อมจึงเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด อุณหภูมิจะแผ่กระจายออกจากแอ่งหลอมละลายห่างออกไปเรื่อย ๆ ทำให้บริเวณตั้งแต่แอ่งหลอมละลายออกไปจะมีอุณหภูมิลดหล่นลงไปจนถึงบริเวณที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนของแนวเชื่อม คือมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ลักษณะการกระจายของอุณหภูมินี้ อธิบายด้วยหลักการของไอโซเทอร์มอล การกระจายอุณหภูมิของแต่ละกระบวนการเชื่อม ความเร็วการเชื่อม และความหนาของชิ้นงานเชื่อม จึงมีความแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.11 , 2.12 และ 2.13



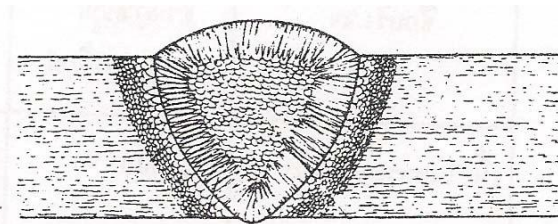
รูปที่ 2.12 การกระจายอุณหภูมิของการเชื่อมงานแผ่นบาง [9]



รูปที่ 2.13 การกระจายอุณหภูมิของการเชื่อมงานหนา [9]

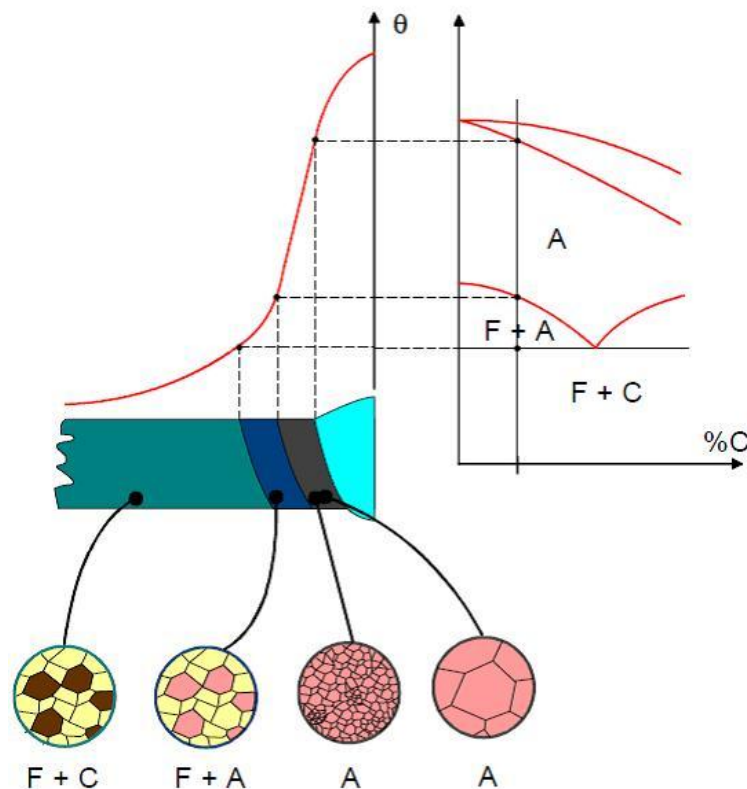
การเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยการอาร์กแบบต่าง ๆ ความร้อนจะส่งผลต่อชิ้นงาน และลักษณะของโครงสร้างทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ขึ้น โดยผลจากความร้อนเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่เชื่อมด้วยแก๊ส คือชิ้นงานได้รับผลจากความร้อนน้อยกว่า ชิ้นงานได้รับความร้อนน้อยกว่า แนวเชื่อมแคบกว่า การเย็นตัวของแนวเชื่อมก็ไวกว่า บริเวณกระแทกร้อนน้อยกว่า และลักษณะเกรนหยาบจะ

แคบกว่า ถ้าการเชื่อมมีการสลายตัวเชื่อมเป็นแนวกว้างจะทำให้แอ่งหลอมละลายมีอุณหภูมิสูงปริมาณความร้อนมาก และเมื่อเย็นตัวลงจะเกิดแรงดึงและแรงอัดเกิดขึ้นภายใน



รูปที่ 2.14 ลักษณะโครงสร้างแนวเชื่อมเมื่อแข็งตัวหลังจากการหลอมละลาย [9]

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากอุณหภูมิในกระบวนการเชื่อม อุณหภูมิบริเวณต่าง ๆ ตั้งแต่บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากแนวเชื่อมไปจนถึงบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนสามารถใช้แผนภูมิสมดุลของเหล็กและเหล็กคาร์ไบด์ ($\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ Diagram) มาอธิบายลักษณะโครงสร้างที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของแนวเชื่อมได้ แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แผนภูมิสมดุลของเหล็ก และเหล็กคาร์ไบด์ [9]

บริเวณกระแทกร้อน(HAZ) เป็นบริเวณที่อยู่ใกล้แนวรอยเชื่อม ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมากขณะทำการเชื่อม แต่มีอุณหภูมิไม่สูงเพียงพอที่จะเกิดการหลอมละลายเป็นเนื้อรอยเชื่อม บริเวณนี้จะได้รับความ

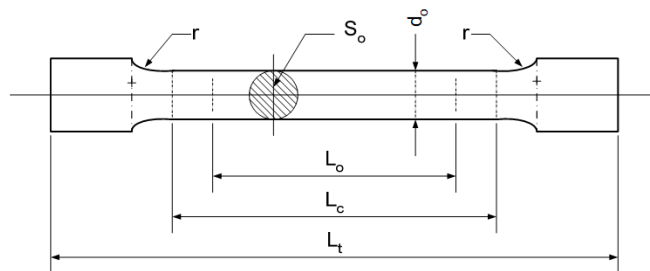
ร้อนสูงมากขณะเชื่อมและจะเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีพื้นที่หน้าตัดมาก หรือมีความหนาของชิ้นงานมาก จากการเย็นตัวที่รวดเร็วทำให้บริเวณ HAZ มีโครงสร้างที่แข็ง,เปราะ และมีความต้านทานต่อการแตกร้าวได้ต่ำ HAZ จึงเป็นบริเวณที่มีโอกาสเกิดความเสียหายได้มาก เช่นการเกิด Weld Decay หรือ การเกิด Inter Granular Corrosion

2.8 การทดสอบหาค่าการรับแรงดึง [10]

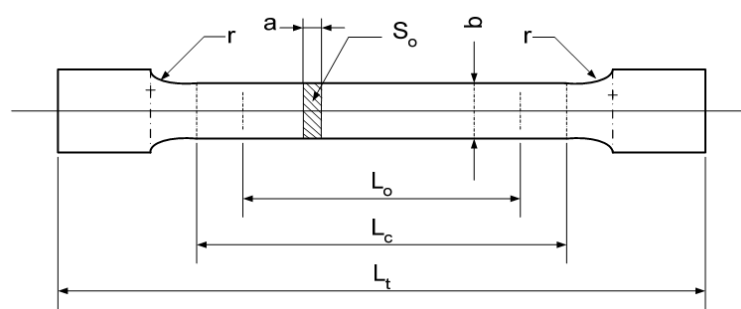
การทดสอบโดยการดึง ใช้มาตรฐาน ASTM E8 ในการทดสอบ โดยการทดสอบแรงดึงเป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายที่สุดในทุกวิธีการของการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุ และนิยมทดสอบกันมาก เพราะสามารถให้ผลที่เป็นสมบัติทางกลพื้นฐานพอสมควร เช่นให้ผลเกี่ยวกับความต้านทานแรงดึง ความยืดตัว ความเหนียว ความเปราะและลักษณะการแตกหักของวัสดุ ซึ่งนับว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป โดยทั่วไปการทดสอบต้องใช้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ดึงขึ้นทดสอบให้ยืดออก และขาดในที่สุด สำหรับการทดสอบโดยการดึงนั้น นิยมทดสอบวัสดุที่มีสมบัติเหนียวมากกว่าวัสดุเปราะ

2.8.1 ชิ้นทดสอบ

การทดสอบโดยการดึง จะมีลักษณะภาคตัดขวางหลายแบบอาจจะเป็นวงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือในกรณีพิเศษอาจจะเป็นรูปอื่นก็ได้สำหรับชิ้นทดสอบที่เป็นโลหะ ส่วนมากจะเตรียมโดยการกลึงให้มีพื้นที่ภาคตัดขวางกลม หรืออาจเตรียมให้มีพื้นที่ภาคตัดขวางสี่เหลี่ยมมุมฉากก็ได้ ดังรูปที่ 2.16 และ รูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดวงกลม [10]

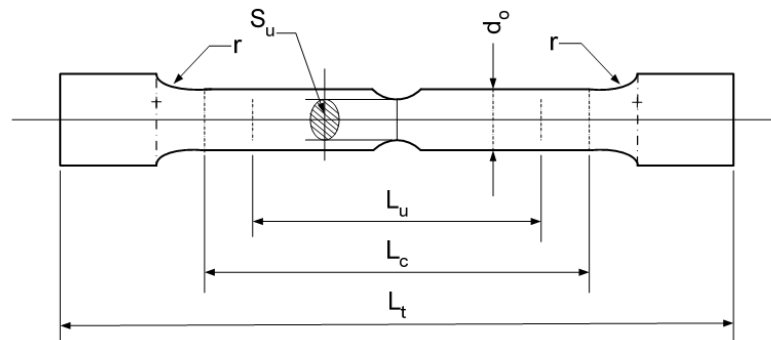


รูปที่ 2.17 ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก [10]

2.8.2 ความยาวพิกัด (Gauge Length) คือความยาวระหว่างจุดที่กำหนดขึ้น 2 จุด ในส่วนที่ขนานกันของชิ้นทดสอบ เพื่อใช้หาความยืดระหว่างการทดสอบ

2.8.2.1 ความยาวพิกัด L_0 หมายถึง ความยาวพิกัดก่อนการทดสอบ

2.8.2.2 ความยาวพิกัดสุดท้าย (L_a) หมายถึง ความยาวพิกัดหลังจากชิ้นทดสอบถูกดึงให้ขาด แล้วนำส่วนที่ขาดมาวางต่อเข้าด้วยกันให้สนิทที่สุดในแนวเส้นตรงเดียวกัน ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดขวางกลมหลังจากขาด [10]

2.8.2.3 ความยาวพิกัดสำหรับเครื่องวัดการยืด คือความยาวระหว่างจุดที่กำหนดขึ้น 2 จุด ในส่วนขนานของชิ้นทดสอบ เพื่อใช้สำหรับวัดการยืด ความยาวนี้อาจจะแตกต่างจากความยาวพิกัดเดิม (L_0) และอาจจะมีค่าได้ก็ต่อเมื่อมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) หรือความกว้าง (b) ของชิ้นทดสอบ แต่ต้องน้อยกว่าความยาวของส่วนขนาน

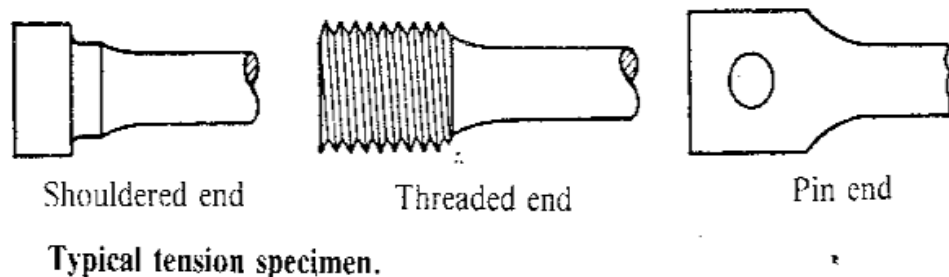
2.8.2.4 สัญลักษณ์ และความหมาย จากภาพ 2.11 , 2.12 , 2.13 จะมีสัญลักษณ์และความหมายในมาตรฐานของชิ้นทดสอบส่วนอื่น ๆ เพิ่มเติมจากที่ได้กล่าวมาแล้วดังนี้

- a = ความหนาของส่วนขนานของชิ้นทดสอบ
- L_t = ความยาวรวมของชิ้นทดสอบ
- S_0 = พื้นที่ภาคตัดขวางเดิมภายในความยาวพิกัด
- S_u = พื้นที่ภาคตัดขวางน้อยที่สุดหลังจากขาด
- r = รัศมีของบ่าขึ้นงานทดสอบ

2.8.3 ลักษณะการยึดชิ้นทดสอบ

การยึดชิ้นทดสอบโดยการดึงนั้นจะต้องยึดด้วยวิธีที่เหมาะสมว่าจะใช้อุปกรณ์ใดยึดชิ้นทดสอบ และวิธีใดจึงสะดวก ข้อสำคัญในการยึดชิ้นทดสอบก็ต้องพยายามอย่างดีที่สุดที่จะให้แรงทดสอบกระทำอยู่ในแนวแกนของชิ้นทดสอบ และจะต้องมีความแน่ใจด้วยว่าอุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบมีความแข็งแรงเพียงพอต่อแรงกระทำจนชิ้นทดสอบขาด

สำหรับวิธียึดชิ้นทดสอบมีอยู่หลายวิธี เช่น ใช้ลิ่มยึด เกลียวยึด บายึด โดยแต่ละวิธียึดชิ้นทดสอบนั้นจะต้องไม่เกิดการบิดแกว่ง หรือเกิดการตัดโค้ง ขณะที่ทำการทดสอบ ดังนั้นตรงปลายยึดชิ้นทดสอบ จึงต้องมีการเตรียมให้มีรูปร่างลักษณะยึดตามวิธีที่เหมาะสม ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ลักษณะปลายยึดขึ้นทดสอบโดยการดึง [10]

จากภาพจะเห็นว่าลักษณะปลายยึดขึ้นทดสอบจะถูกเตรียมได้หลายแบบ ดังนี้

- ปลายยึดแบบเกลียวเรียบ (Plain End)
- ปลายยึดแบบบ่า (Shouldered End)
- ปลายยึดแบบเกลียว (Pin End)
- ปลายยึดแบบเจาะรูใส่สลัก (Pin End)

อุปกรณ์สำหรับยึดขึ้นทดสอบนั้นมีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมหรือสะดวกต่อการใช้และสะดวกต่อการเตรียมปลายยึดขึ้นทดสอบ นั้นคือ ลิ่มยึด การยึดด้วยวิธีใช้ลิ่มยึดนั้นเหมาะสำหรับขึ้นทดสอบที่เป็นโลหะเหนียวมากกว่าโลหะเปราะ เพราะการยึดขึ้นทดสอบโลหะเปราะจะทำให้ผิวแตกและอาจจะเกิดการดึงขาดใกล้บริเวณที่จับยึดขึ้นทดสอบก็ได้ [10]

2.9 การทดสอบหาค่าความแข็ง [11]

การทดสอบความแข็งของโลหะสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่นการทดสอบอย่างง่าย ทดสอบโดยใช้ตะไบเป็นเครื่องมือในการทดสอบ โดยเลือกชนิดของตะไบ ที่มีความแข็งสูงสุด โดยการจัดระดับความแข็งของตะไบแต่อันไว้ เมื่อได้ตะไบที่มีความแข็งแตกต่างกันแล้วก็นำไปทดสอบความแข็งโลหะต่างๆ ได้ โดยถ้าตะไบอันไหนตะไบขึ้นงานได้แสดงว่าชิ้นงานมีค่าความแข็งนั้น แต่การตรวจสอบด้วยวิธีนี้ก็อาจเกิดข้อผิดพลาดได้ เพราะผู้ตรวจสอบไม่มีความชำนาญ ดังนั้นจึงมีการทดสอบความแข็งด้วยวิธีอื่น ๆ เพื่อความถูกต้องของข้อมูลโดยในการวิจัยครั้งนี้ใช้การทดสอบความแข็งดังนี้

2.9.1 การทดสอบความแข็งแบบร็อกเวล

การทดสอบแบบร็อกเวลนี้ วัดได้จากความลึกที่ปรากฏบนผิวทดสอบ อันเกิดจากการกดของหัวกด ตามมาตรฐาน และวัดค่าความแข็งของชิ้นงานได้หลายสเกล เช่น A , B , C , D , E , F และ G เป็นต้น สำหรับน้ำหนักที่ใช้กดแต่ละสเกลแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ขนาดน้ำหนักที่ใช้กดแต่ละสเกล

สเกล	หัวกด	น้ำหนักกด (kg)
A	เพชร	60
B	บอล 1/16 นิ้ว	100
C	เพชร	150
D	เพชร	100
E	บอล 1/8 นิ้ว	100
F	บอล 1/16 นิ้ว	60
G	บอล 1/16 นิ้ว	150

แต่มีการวัดบางสเกลเท่านั้นที่นิยมใช้ ซึ่งคือ สเกล C และ สเกล B โดยมีวิธีในการทดสอบดังนี้

- ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องด้วยแท่งทดสอบ ก่อนทำการทดสอบ
- ชิ้นงานทดสอบต้องทำความสะอาดและขนานกันทั้งสองด้าน
- รอยกดบนผิวทดสอบควรห่างกันอย่างน้อย 3 มิลลิเมตร
- วัดค่าความแข็งอย่างน้อย 3 จุด แล้วนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย จะได้เป็นค่าความแข็งที่ถูกต้อง
- ค่าความแข็งที่อ่านได้บนสเกลเป็นค่าที่นำไปใช้ได้เลย จึงมีความรวดเร็วในการทดสอบ
- ชิ้นงานที่จะทำการทดสอบควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 10 เท่าของรอยกดบนผิวทดสอบ



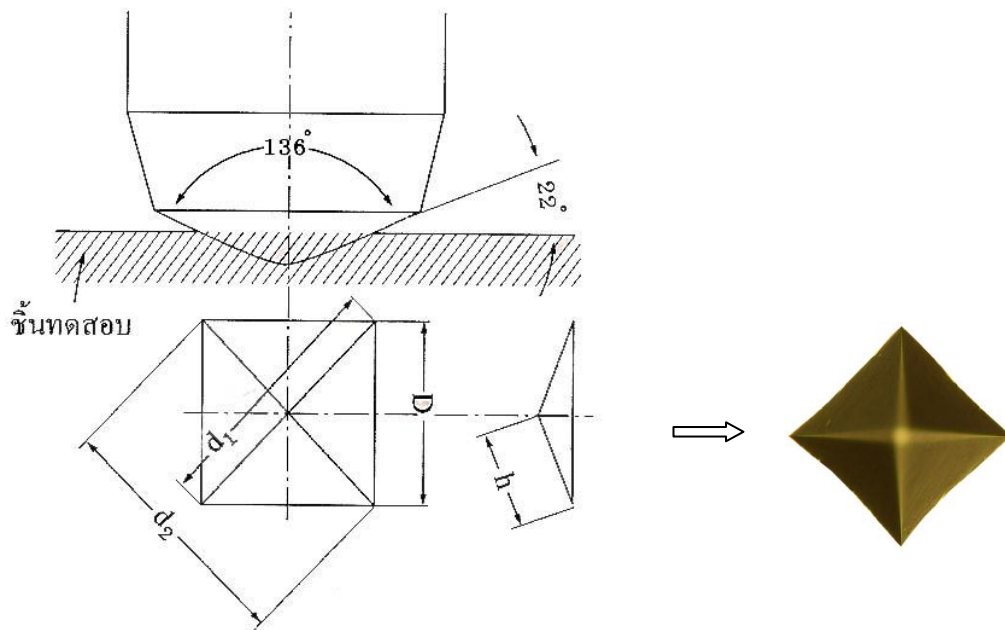
รูปที่ 2.20 เครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์

2.9.2 การทดสอบความแข็งแบบไมโครฮาร์ดเน็ตวิกเกอร์

การทดสอบความแข็งแบบนี้ มีหลักการคล้ายกับการทดสอบความแข็งแบบบริเนล แต่การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์สามารถวัดความแข็งได้อย่างถูกต้องแน่นอนกว่าแบบ บริเนล ทั้งนี้ก็เพราะว่าความแข็งที่ได้มาจากอัตราส่วนของน้ำหนักที่ใช้กดต่อพื้นที่สัมผัสกับหัวกดเพชรรูปพีระมิด



รูปที่ 2.21 เครื่องทดสอบไมโครฮาร์ดเนตวิกเกอร์



รูปที่ 2.22 ลักษณะการกดและรอยกดที่เกิดขึ้นจากหัวกดเพชรรูปทรงพีระมิด [11]

การทดสอบแบบวิกเกอร์นี้สามารถทดสอบความแข็งของเหล็กได้ทุกชนิดไม่ว่าจะมีขนาดหรือรูปทรงเช่นใดก็ตาม และสามารถทดสอบความแข็งของวัสดุที่มีความแข็งต่ำ จนกระทั่งมีความแข็งสูงมากๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นการทดสอบที่ให้ความละเอียดสูงทั้งนี้ก็เพราะว่าเมื่อทดสอบแล้วจะเกิดรอยกดบนชิ้นงานน้อยมาก จึงต้องนำมาขยายด้วยกล้องขยายและวัดค่าความยาวของเส้นทแยงมุมของรอยกดนั้น เมื่อทราบค่าแล้ว นำมาคำนวณหรือเปิดตารางเปรียบเทียบจึงจะทราบค่าความแข็งของชิ้นงานนั้น โดยการวัดค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการศึกษาวิจัยเนื่องจากสามารถวัดค่าความแข็งได้ในช่วงที่กว้างและมีหน่วยของค่าความแข็งเดียว คือ VHN ทำให้เหมาะสำหรับการทดลองวัสดุได้หลากหลายชนิด ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การวัดความแข็งแบบ

วิกเกอร์ควรเลือกน้ำหนักกดให้เหมาะเพื่อให้เกิดรอย Pyramid ที่สมบูรณ์ จากนั้นนำขนาดของรอย บุมไปคำนวณโดยใช้สูตรในการคำนวณตาม 2.1 และ 2.2

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

กำหนดให้

A = พื้นที่รอยกดเป็น มม.²

F = แรงที่ใช้กด เป็น N

d = เส้นทแยงมุมเฉียงของรอยกด เป็น มม.

$$A = \frac{d^2}{1.584} \quad (2.1)$$

$$HV = 0.189 \times \frac{F}{d^2} \quad (2.2)$$

จากค่า d ตามหลักการทดสอบของวิกเกอร์ เราสามารถที่จะทำการอ่านค่าความแข็งจากตาราง ได้โดยตรง แรงที่ใช้ในการทดสอบ แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

- ช่วงสูง คือ 980 , 490 , 294 , 196 , 98 , 49 N

- ช่วงต่ำ คือ 49 , 29.4 , 19.6 , 9.8 , 4.9 , 2.94 , 1.96 N

แรงที่เลือกใช้ในการทดสอบจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรง และความหนาของชิ้นงานทดสอบ การ กำหนดค่าความแข็ง ให้เขียนค่าความแข็งโดยใช้อักษร HV โดยค่าความแข็งจะอยู่ข้างหน้าตัวอักษร ตัวอย่างเช่น 113 HV / 10 ค่าความแข็งคือ 113 วิกเกอร์ แรงที่ใช้กด 9.8 N เวลาทดสอบนาน 10 วินาที

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยงยุทธ ดุลยกุล. ได้ศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้า คาร์บอนด้วยกระแสเชื่อม และส่วนผสมของแก๊สคลูมที่แตกต่างกันโดยกรรมวิธีการเชื่อมมิก โดยใช้ แก๊สคลูมที่แตกต่างกันกับกระแสเชื่อม 2 ชนิด คือกระแสพัลส์ และกระแสมาตรฐาน เชื่อมเหล็กกล้า คาร์บอนเกรด SS400 จากการทดลองพบว่าการเชื่อมด้วยกระแสแบบมาตรฐาน ที่แก๊สคลูมทุก อัตราส่วนมีการหลอมละลายระหว่างชั้นกับเนื้อโลหะงานบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อน (HAZ) สมบูรณ์ดี แนวเชื่อมเรียบ ส่วนการเชื่อมด้วยกระแสแบบพัลส์การหลอมละลายระหว่างชั้นกับเนื้อ โลหะงานบริเวณ HAZ มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ส่วนการทดสอบทางกลพบว่าการเชื่อมด้วย กระแสแบบมาตรฐานที่แก๊สคลูมทุกอัตราส่วนจะให้ค่าความแข็งแรง และความเค้นที่จุดครากสูง กว่าเชื่อมด้วยแก๊สคาร์บอนไออาร์ 100 % ส่วนกระแสแบบพัลส์ให้ค่าความแข็งแรงใกล้เคียง กัน เปรียบเทียบกระแสเชื่อมพบว่าการเชื่อมด้วยกระแสมาตรฐาน ทุกอัตราส่วนของแก๊สคลูมจะให้ ค่าความแข็งแรงและความเค้นที่จุดครากสูงกว่า การทดสอบความแข็งพบว่า การเชื่อมด้วยกระแส ทั้ง สองชนิดให้ค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกัน [3]

ฉัตรทอง ไสแสง. ได้ศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 โดยการวิจัยได้ออกแบบค่าพารามิเตอร์ในการศึกษา ได้แก่ กระแสเชื่อม , ความเร็วในการเชื่อม และแกสปกคลุม โดยศึกษาด้านความแข็งแรงดึงสูงสุด , ความแข็งแรงดึงจุดคราก , อัตราการยึดตัว และความแข็ง โดยได้ผลการทดลองคือ 1. ผลที่มีต่อความแข็งแรงสูงสุด คือความเร็วในการเชื่อม 2. ผลที่มีต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก พบว่าปัจจัยทั้งสามไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง 3.ผลที่มีต่อการยึดตัว พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคือ กระแส ,ความเร็ว และแกสปกคลุม 4. ผลต่อความแข็งพบว่าปัจจัยที่ผลต่อความเปลี่ยนแปลงคือ ความเร็ว และแกสปกคลุม [12]

ปริญญ์ แสงทอง. ได้ศึกษาผลการแปรพารามิเตอร์ การเชื่อม MIG ต่อโครงสร้าง และสมบัติของงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม โดยมีปัจจัยคือกระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 150 160 และ170 Amp. แรงดันไฟฟ้ามี 3 ระดับ คือ 20 22 และ 24 Volt และแกสอาร์กอน 2 ระดับ คือใช้ที่ความบริสุทธิ์ 99.990% และแกสอาร์กอนความบริสุทธิ์ 99.999% โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด คือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และแกสอาร์กอน ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว คือกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และแกสอาร์กอนค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก คือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและแกสอาร์กอน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 [13]

ตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ. ได้ศึกษาอิทธิพลของระยะยื่นของลวดเชื่อมที่มีผลต่ออัตราการหลอมละลายในการอาร์กโลหะแกสปกคลุม โดยใช้การถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร (Short Circuit Transfer) การถ่ายโอนแบบหยด (Globular Transfer) และการถ่ายโอนแบบละออง (Spray Transfer) ที่ระยะยื่นของลวดเชื่อมที่ 10-30 มม. ที่มีต่ออัตราการหลอมละลายของลวดเชื่อมในช่วงกระแสเชื่อมและแรงดันเชื่อมที่แตกต่างกันหรือสภาวะการถ่ายโอนน้ำโลหะที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่าระยะยื่นของลวดเชื่อมที่เพิ่มขึ้นจะเป็นผลโดยตรงต่ออัตราการหลอมละลายและค่าสโลปที่ได้จากการถ่ายโอนแบบลัดวงจร ที่ระยะยื่นของลวดเชื่อมและกระแสเชื่อมตลอดจนแรงดันเชื่อมแตกต่างกันค่าสโลปที่ได้อยู่ในช่วง 0.0116 – 0.0393 และช่วงการถ่ายโอนน้ำโลหะแบบหยดได้ค่าสโลปที่ได้อยู่ในช่วง 0.0672 – 0.1338 และช่วงการถ่ายโอนน้ำโลหะแบบละอองได้ค่าสโลปที่ได้อยู่ในช่วง 0.113 – 0.1913 [14]

Danut Iordachescu. et al., (2004) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของแกสคลุมและตัวแปรของกรรมวิธีการเชื่อมแบบ MIG Brazing จากการทดลอง พบว่า การใช้แกสคลุมอาร์กอนเพียงอย่างเดียว แนวเชื่อมที่ได้จะมีลักษณะแบนเรียบ มีเกล็ดเกิดขึ้นเล็กน้อย การซึมลึกดี ไม่มีรูพรุนที่ผิวหน้า และปราศจากเม็ดโลหะ แต่ลักษณะของเปลวอาร์คจะมีความไวต่อการหักเหเนื่องจากเกิดสนามแม่เหล็กขณะทำการเชื่อม เมื่อทดลองใช้แกสคาร์บอนไดออกไซด์ผสมลงในแกสอาร์กอนที่อัตราส่วนผสม 97.5%Ar+2.5%CO₂ ทำให้แนวเชื่อมเรียบและการซึมลึกดีขึ้น เปลวอาร์คมีความเสถียรมากขึ้นและไม่เกิดการหักเหเนื่องจากสนามแม่เหล็กในขณะทำการเชื่อม [15]

Johnson J.A. et al., (2002) ได้ศึกษาการถ่ายโอนน้ำโลหะในกรรมวิธีการเชื่อมแบบ GMAW-P เพื่อศึกษาถึงผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่และความกว้างพัลส์ของวงจรการถ่ายโอนน้ำโลหะ โดยกำหนดให้ตัวแปรการเชื่อมของกระแสพัลส์คงที่ ใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเป็นชิ้นงานทดลองเชื่อม ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน AWS A5.18 ER70S-6 และแกสคลุมในขณะเชื่อม

เป็นแก๊สผสมระหว่าง 98%Ar+2%O₂ รอยต่อแบบเดินแนวบนชิ้นงาน ตั้งค่าตัวแปรการเชื่อมของ กระแสพัลส์จากเครื่องเชื่อมในสภาวะปกติ หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงความถี่และความกว้าง พัลส์ จากการทดลอง พบว่า ที่ค่าตัวแปรการเชื่อมในสภาวะปกติ การถ่ายโอนของหยดโลหะมี ขนาดโตกว่าลวดเชื่อมเล็กน้อยที่ความกว้างพัลส์สิ้นสุดลง และการเริ่มต้นของกระแสต่ำจะเกิดการ แตกตัวเป็นหยดขนาดเล็กก่อนและยังคงรักษาให้เป็นหยดต่อเนื่องจนรอบก่อนที่เกิดการถ่ายโอนหยด โลหะที่ความกว้างพัลส์สิ้นสุดลงในวงจรต่อไป ส่งผลทำให้เกิดการถ่ายโอนโลหะแบบหยดที่ สม่่าเสมอ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าและความกว้างพัลส์หนึ่งเท่า การถ่าย โอนหยดโลหะมีมากขึ้นแต่ขนาดหยดโลหะจะไม่สม่่าเสมอในแต่ละวงรอบ และบางครั้งไม่เกิดการถ่าย โอนหยดโลหะในวงจรต่อไปจึงเป็นสาเหตุทำให้การถ่ายโอนหยดโลหะมีขนาดใหญ่ขึ้น [16]

French I.E. And Bosworth M.R. (1995) ได้ศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีการเชื่อมด้วย กระแสเชื่อมแบบมาตรฐานและแบบพัลส์ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบ GMAW โดยใช้ลวดเชื่อมเปลือย ไส้ตันและลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ ทั้งนี้ เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของการเชื่อมและลักษณะแนวเชื่อม กำหนดการเชื่อมท่าระดับและท่าตั้งเชื่อมขึ้น ใช้เครื่องเชื่อมที่ไม่มีกระแสพัลส์และมีกระแสพัลส์ ควบคุมด้วยการเชื่อมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ใช้แก๊สคลุมขณะเชื่อมเป็นแก๊สผสมระหว่าง 82%Ar+18%CO₂ วัสดุทดลองเชื่อมเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน จากการทดลอง พบว่า การเชื่อมโดย กรรมวิธี GMAW ด้วยเครื่องเชื่อมที่มีกระแสพัลส์ควบคุมการเชื่อมด้วยโปรแกรมของเครื่องเชื่อม ผล ของการเชื่อมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการเชื่อมได้ดีขึ้น การซึมลึกดี แนวเชื่อมที่ได้มีสมบัติ ทางกลดีกว่าการเชื่อมด้วยกระแสมาตรฐานทั้งลวดเชื่อมเปลือยตันและลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ [17]

P.K. Ghosh Lutz Dorn Shrirang Kulkarni And F.Hofmann ได้ศึกษาคูณลักษณะและ พฤติกรรมของการอาร์กในการถ่ายโอนโลหะในการเชื่อมแบบ GMAW กระแสแบบพัลส์ของเหล็กกล้า ไร้สนิม โดยใช้การถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูงในช่วงการเติมเนื้อโลหะของงานเชื่อมอาร์ก ศึกษา ลักษณะของเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีการวางแผนไว้ ความยาว ความตึงผิวและพฤติกรรมการถ่ายโอนน้ำ โลหะจากขนาดเส้นลวด และขนาดของหยด และความเร็วของการหยด ณ เวลาต่าง ๆ พบว่าให้ความ แปรผันที่แตกต่างกันในเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดโลหะ ค่าที่กำหนด ค่าที่ได้จากการทดลองพบว่า สอดคล้องกันกับค่าทฤษฎีที่ประมาณการได้จากสูตรทางคณิตที่รายงานไว้ก่อนหน้านี้ การเพิ่มขึ้นของ เส้นผ่านศูนย์กลางหยดโลหะ และอัตราส่วนของ I_b / I_p พบว่าเป็นผลเสียต่อความเสถียรของแก๊สปก คลุมแนวเชื่อม และลักษณะการอาร์ก โดยเฉพาะแรงดันไฟฟ้าที่มีการอาร์กสูง [18]

กรภัทร์ จุ้ยยิ้ม ได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์การเชื่อมที่มีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคของ เนื้อเชื่อมและบริเวณผลกระทบร้อนในการเชื่อมต่อโลหะต่างชนิดระหว่าง เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 304 กับ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ด้วยกระบวนการเชื่อมแก๊สเมทัลอาร์ค โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการศึกษา คือ กระแสไฟเชื่อม กับ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมและทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเปลือย ตาม มาตรฐาน AWS A5.9-93 เกรด GFW308L , GFW316L และ GFW430 ผลการทดลองพบว่ารอยต่อที่เชื่อมด้วย ลวดเชื่อม GFW 316L สามารถต้านแรงดึงได้สูงสุด ชิ้นงานทดสอบแรงดึงส่วนมากแตกหักที่ตำแหน่งแนวเชื่อม ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ในการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ พบว่าบริเวณผลกระทบร้อนด้านเหล็กกล้า คาร์บอนปานกลางมีความแข็งสูงสุด และเนื้อโลหะงานด้าน AISI 304 บริเวณผลกระทบร้อนที่ชิดติดกับแนวเชื่อม มีความแข็งต่ำสุด ในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคบริเวณผลกระทบร้อนและเนื้อเชื่อม พบว่า บริเวณ

ผลกระทบของโลหะงานทั้งสองด้านมีเกรนหยาบ การเติบโตของเกรนกระจายไปในทุกทิศทาง เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างของเนื้อโลหะงานที่ไม่ได้รับผลกระทบซึ่งมีเกรนละเอียดสม่ำเสมอและมีทิศทางของเกรนอยู่ในแนวรีด ตามการผลิตเหล็กรีดร้อน โครงสร้างจุลภาคโลหะงานด้านเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางบริเวณผลกระทบร้อนปรากฏเป็นโครงสร้างเพิร์ลไลท์ ในส่วนของโครงสร้างจุลภาคเนื้อเชื่อม มีโครงสร้างสลับเฟอร์ไรท์ ออสเทนไนท์ และเพิร์ลไลท์ และโครงสร้างจุลภาคโลหะงานด้านเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI304 บริเวณผลกระทบร้อนปรากฏโครงสร้างออสเทนไนท์ และไม่พบแนวโครงสร้างมาร์เทนไซต์บริเวณผลกระทบร้อน และเขตการหลอมละลายตามแนวรอยต่อเชื่อมทั้งสองด้าน [19]

บัณฑิต อมรสิน ได้ศึกษาผลกระทบของปัจจัยจากการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าสเตนเลส AISI 304 กับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ด้วยกรรมวิธีการเชื่อม Gas Metal Arc Welding ต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณขอบเขตการหลอมละลาย บริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน บริเวณเนื้อโลหะงาน และสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด อัตราการยืดตัว และความแข็ง ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาวิจัยประกอบด้วย ลวดเชื่อม ความเร็วและกระแสไฟ ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 3 ชนิด มีผลกระทบต่อสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด อัตราการยืดตัว ความแข็งบริเวณแนวเชื่อมด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและด้านเหล็กกล้าสเตนเลส ความแข็งบริเวณกระทบร้อนด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และด้านเหล็กกล้าสเตนเลส ความแข็งบริเวณโลหะงานของเหล็กกล้าสเตนเลส อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 แต่ไม่มีผลกระทบต่อความแข็งบริเวณโลหะงาน ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และจากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค พบว่าบริเวณขอบเขตการหลอมละลาย บริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อนทั้งสองด้านมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค เนื่องจากผลกระทบของความร้อน แต่ไม่มีผลกระทบต่อบริเวณเนื้อโลหะงาน [20]

อนุสิทธิ์ อ่ำไพบูลย์ ได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของการเชื่อมแบบอาร์กโลหะแกสคลุมโดยเริ่มต้นจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ เพื่อกรองปัจจัย 5 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟ แรงดันไฟเชื่อม ความเร็วเชื่อม มุมหัวเชื่อมและแกสคลุม ให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความต้านแรงดึงของตะเข็บเชื่อมจากนั้นใช้การทดลองแบบ บ็อกซ์ – เบนเคน เพื่อวิเคราะห์หาผลตอบที่ดีที่สุด ในการศึกษาใช้เครื่องเชื่อมรุ่น Hobart รุ่น RC – 304 ใช้ลวดเชื่อมรหัส ER70S-6 ขนาด 1.0 มิลลิเมตร โดยนำชิ้นงานมาทำการเชื่อมทางตรงและทดสอบหาคุณภาพทางกล ด้วยการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง ผลการทดลองความต้านแรงดึงของตะเข็บเชื่อมที่ระดับ $\alpha = 0.05$ พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยต่าง ๆ คือ กระแสไฟ เท่ากับ 220 A แรงดันไฟเชื่อมเท่ากับ 30 V ความเร็วในการเชื่อมเท่ากับ 10 นิ้วต่อนาที มุมหัวเชื่อม เท่ากับ 75 องศา และแกส CO₂ คลุมแนวเชื่อม เท่ากับ 10 ลิตรต่อนาที ซึ่งได้ค่าแรงดึงสูงสุด คือ 8192 kgf [21]

ภาคติ ดำเนินผล ได้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในกระบวนการเชื่อมมิกต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลเหล็กกล้าสเตนเลสออสเทนนิติก เกรด AISI 304 ในการทดลองได้กำหนดปัจจัยการเชื่อมได้แก่ กระแสไฟเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม และแกสปกคลุม ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วยปัจจัยละ 3 ระดับ ทำการศึกษาด้านความแข็งแรงเปอร์เซ็นต์การยืดตัว จุดคราก ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงพบว่าปัจจัยการร่วมระหว่างกระแสไฟเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม และแกสปกคลุม ส่งผลต่อความแข็งแรงรอยเชื่อม โดยปัจจัยในการเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงสูงสุดคือกระแสไฟเชื่อมที่ 100 A

ความเร็วในการเชื่อม 400 มม./นาที่ และแกสปกคลุมด้วย Ar85% + CO₂15% มีค่าความแข็งสูงสุด เท่ากับ 300.55 HV เปอร์เซนต์การยึดตัวพบว่า Ar85% + CO₂15% ให้ค่าการยึดตัวสูงสุดที่ 56.5% การศึกษาจุลทรรศน์พบว่าความเร็วที่ 400 มม./นาที่ กระแสเชื่อม 95A แกสปกคลุม Ar84.5% + He0.5% + O₂15% จะให้ค่าจุลทรรศน์สูงสุดที่ 925.65 N/mm² โครงสร้างจุลภาคในแนวเชื่อมพบว่า ประกอบด้วยโครงสร้างออสเทนไนต์ และผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ (Cr₂₃ C₆) ตามขอบเกรนกระจาย ทั่วบริเวณ และลักษณะโครงสร้างของ Columnar Dendrite [22]

ในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมมิกต่อสมบัติของรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430 โดยกำหนดปัจจัยในการทดลองไว้ 3 ตัวแปร คือ กระแสไฟ 4 ระดับ ได้แก่ 90, 100, 110 และ 120A แกสปกคลุม 3 ชนิด คือ 80%Ar + 20%CO₂ , Ar100% และ CO₂ 100% ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 3 ระดับ คือ 350, 400 และ 450 mm/min ปัจจัยด้านกระแสไฟ แกสปกคลุม และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม มีผลต่อการหลอม ละลายและการถ่ายโอนน้ำโลหะระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน ตลอดจนส่งผลต่อสมบัติทางกลของแนว เชื่อม ที่ชิ้นงานหนา 3 mm. ช่วงกระแส 90 – 120 A มีความสามารถในการเชื่อมที่แตกต่างกันโดยที่ ช่วงกระแสไฟนี้สามารถควบคุมการเชื่อมได้ แกสปกคลุมทั้ง 3 ชนิดเป็นแกสที่นิยมใช้ในกระบวนการ เชื่อมแบบแกสปกคลุม และสามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ที่ความเร็ว 350 – 450 mm/min เป็นช่วงความเร็วที่นิยมใช้ในการเชื่อมที่ความหนาของชิ้นงาน 3 mm. และจากการศึกษางานวิจัยที่ เกี่ยวข้องพบว่าทั้ง 3 ตัวแปรมีการนำมาใช้ในการทดลองมากที่สุด