บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) ร่วมการอบคืนตัวรอยเชื่อมต่อสมบัติการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 ประกอบด้วย เนื้อหาที่สำคัญและเกี่ยวข้องในการวิจัยครั้งนี้ ดังนี้

2.1 กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW)

2.2 อุปกรณ์การเชื่อม GMAW

2.3 ผลกระทบจากการเชื่อมที่บริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอน (Heat Affected Zone in Carbon Steels)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW) หรือการเชื่อมมิก/แม็ก (MIG/MAG Welding)

กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม [3] มีลวดเชื่อมจากม้วนลวดจะถูกป้อนด้วยลูกกลิ้งของกลไกป้อนลวด ผ่านท่อนำลวดและท่อนำกระแสออกมาพ้นปากหัวฉีดเมื่อปลายลวดเชื่อมแตะกับผิวชิ้นงานจะเกิดการอาร์คขึ้น ความร้อนจากการอาร์คจะหลอมผิวหน้าชิ้นงานและปลายลวดเชื่อมเป็นหยดโลหะ ถ่ายโอนผ่านการอาร์คเข้าสู่บ่อหลอมเหลวเพื่อเติมประสานรอยเชื่อมขณะเดียวกันแก๊สคลุมจะไหลผ่านหัวฉีด (nozzle) พุ่งออกมาปกคลุมรอบบริเวณการอาร์ค เพื่อป้องกันความเสียหายของรอยเชื่อมจากบรรยากาศรอบนอกที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับโลหะเชื่อมที่กำลังหลอมเหลว การอาร์คจะเกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลาปฏิบัติการเชื่อมเพราะใช้ลวดเชื่อมแบบสิ้นเปลืองและการป้อนลวดเชื่อมเป็นไปอย่างอัตโนมัติ ส่วนการเคลื่อนที่หัวเชื่อมใช้มือหรือกลไกแล้วแต่จะเป็นวิธีการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติหรืออัตโนมัติ การเชื่อม GMAW [7] เป็นขบวนการเชื่อมที่นำมาทดแทนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่สามารถเชื่อมโลหะต่างๆ ได้หลายชนิด โดยเฉพาะอะลูมิเนียมหนา Metal Inert Gas (MIG) หรือ Gas Metal Arc Welding (GMAW) และกระบวนการเชื่อม GMAW ยังแบ่งออกได้ตาม

ขบวนการถ่ายเทโลหะและการใช้แก๊สปกคลุมได้แก่

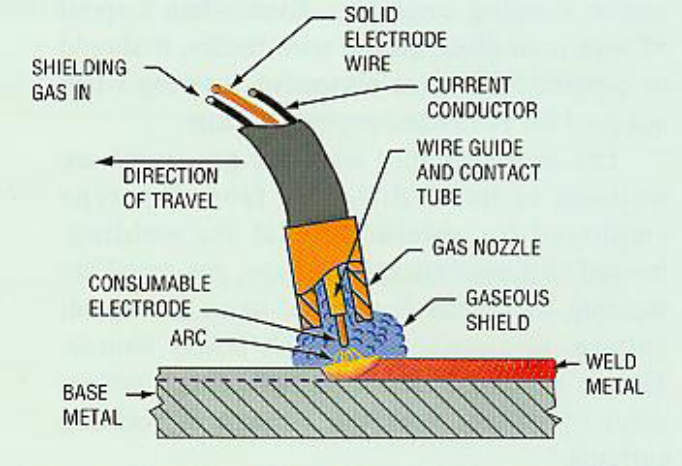
MIG ขบวนการเชื่อมโลหะนอกกลุ่มเหล็ก โดยใช้แก๊สเฉื่อยปกคลุม

MICRO-WIRE ขบวนการเชื่อมที่ใช้การถ่ายเทโลหะแบบ ลัดวงจร (Short Circuting) และสามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม

CO2 ขบวนการเชื่อมที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแก๊สปกคลุมและใช้ลวดเชื่อมขนาดใหญ่

Spray ขบวนการเชื่อมที่ใช้กระแสสูงและให้การถ่ายเทโลหะแบบ spray โดยใช้แก๊สอาร์กอน/ออกซิเจนเป็นแก๊สปกคลุม

การเชื่อม GMAW เป็นขบวนการเชื่อมที่ได้รับความร้อนจากอาร์คระหว่างลวดเชื่อม (Consumable electrode) กับชิ้นงาน สำหรับลวดเชื่อมที่ใช้เป็นลวดเชื่อมเปลือยแข็งที่ส่งป้อนอย่างต่อเนื่องไปยังบริเวณอาร์คและทำหน้าที่เป็นโลหะเติมลงยังบ่อหลอมละลายอีกด้วยบริเวณบ่อหลอมละลายจะถูกปกคลุมไว้ด้วยแก๊สปกคลุมไม่ให้เกิดการรวมตัวกับอากาศ ซึ่งอาจจะเป็นแก๊สบริสุทธิ์หรือแก๊สผสมก็ได



รูปที่ 2.1 แสดงพื้นฐานหลักการอาร์คของกระบวนการเชื่อม GMAW

2.1.1 การนำไปใช้งาน

ในกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) ลวดเชื่อมจะถูกป้อนมายังหัวเชื่อมด้วยระบบอัตโนมัติ ที่สามารถควบคุมความเร็วการป้อนได้ สำหรับการส่ายลวดเชื่อมนั้น ขึ้นอยู่กับระบบการเชื่อม ดังนี้- Semiautomatic welding เป็นขบวนการเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมการเชื่อมจะถูกควบคุมการทำงานด้วยมือ ยกเว้นการป้อนลวด

2.1.2 โลหะที่นำมาเชื่อม

ตอนแรกได้ใช้ กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) สำหรับเชื่อมแมกนีเซียม อะลูมิเนียมผสมและเหล็กกล้าไร้สนิม ในปัจจุบันสามารถนำไปเชื่อมโลหะและโลหะผสมได้เกือบทุกชนิด ซึ่งโลหะบางชนิดต้องอุ่นก่อนหรือหลังเชื่อม สำหรับโลหะที่มีจุดหลอมตัวต่ำไม่ควรเชื่อมด้วย GMAW เพราะอาจจะไหม้ได้ง่าย ดังนั้นโลหะที่เคลือบผิวไว้ด้วยโลหะที่มีจุดหลอมตัวต่ำ (เช่น ตะกั่ว สังกะสี ฯลฯ) ก่อนเชื่อมควรจะกำจัดโลหะที่มีจุดหลอมตัวต่ำออกจากบริเวณรอยต่อเสียก่อน

และเมื่อเชื่อมเสร็จแล้วจึงเคลือบใหม่ เพราะโลหะที่มีจุดหลอมตัวต่ำจะทำให้คุณสมบัติทางกลของโลหะงานเชื่อมต่ำลง

2.13 การถ่ายเทโลหะ (Metal Transfer)

การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) เป็นขบวนการเชื่อมแบบสิ้นเปลืองลวดเชื่อม โดยลวดเชื่อมหลอมละลายเติมลงไปในแนวเชื่อม ซึ่งตัวป้อนลวดจะดึงลวดออกจากม้วนผ่านไปตามที่อยู่ภายในสายหัวเชื่อมและจะไปถึงจุดสุดท้ายที่ปลายตัวเชื่อม การที่ปลายลวดเชื่อมหลอมและเติมลงไปยังบ่อหลอมละลายนั้นเรียกว่า “ถ่ายเทโลหะ” (MetalTransfer) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายแบบเช่น short arc, spart arc, globular transfer, และ pulse เป็นต้น ความแตกต่างของการถ่ายเทโลหะแต่ละชนิดนั้นขึ้นอยู่กับกระแสไฟ แรงเคลื่อนในการอาร์ค ขนาดลวดและชนิดของแก๊สปกคลุม

2.1.3.1 Short Arc Welding

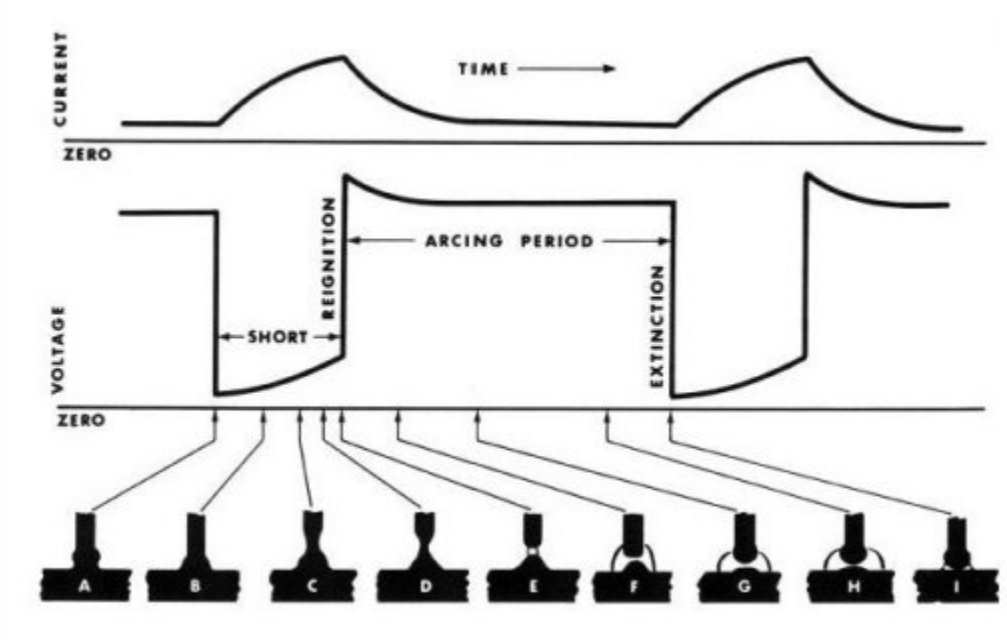
Short arc ใช้สำหรับการเชื่อมด้วยลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.6 มม. ถึง 1.2 มม. บางครั้งเรียกว่า Dip transfer, Micro-wire โดยใช้แรงเคลื่อนและกระแสเชื่อมต่ำ แนวเชื่อมที่ได้จากการถ่ายเทโลหะแบบ short arc จะเย็นตัวเร็ว แนวเชื่อมเล็ก และความเร็วในการถ่ายเทประมาณ 20-200 ครั้งต่อวินาที การถ่ายเทโลหะจะเกิดขึ้นในช่วงที่ลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมละลาย

ข้อดีของการถ่ายเทโลหะแบบ short arc มีดังนี้

1. สามารถเชื่อมโลหะบางๆ ได้ทุกท่าเชื่อม
2. สามารถเชื่อมโลหะที่หนาได้ ในทางตั้งขึ้นและท่าเหนือศีรษะ
3. สามารถเชื่อมงานที่มีระยะห่างรอยต่อมาก ๆได้
4. งานเชื่อมเสียรูปน้อย

ตารางที่ 2.1 ช่วงกระแสแบบ Short Arc สำหรับลวดเหล็กขนาดต่างๆ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง		ช่วงกระแสเชื่อม	
นิ้ว	มิลลิเมตร	ต่ำ	สูง
0.030	0.76	50	150
0.035	0.89	75	175
0.045	1.1	100	225

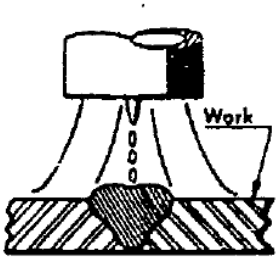


รูปที่ 2.2 การถ่ายเทโลหะแบบ Short Circuit

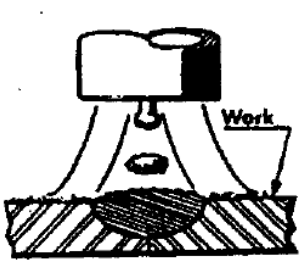
จากรูป 2.2 เป็นการถ่ายเทโลหะใน 1 Cycle โดยเริ่มจากจุด A ลวดจากขดลวดจะถูกป้อนสัมผัสกับชิ้นงาน และทำให้กระแสเพิ่มขึ้นจนถึงระดับ Short Circuit เมื่อกระแสขึ้นสูงสุดก็จะเกิดการถ่ายเทโลหะ และจะมีช่องว่างระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงานพร้อมกับการอาร์คก็เกิดขึ้นอีกและตัวป้อนลวดจะป้อนลวดออกมาเร็วทำให้ปลายลวดเชื่อมหลอมละลายไม่ทันจึงสัมผัสกับชิ้นงานและเปลวอาร์คดับลง ซึ่งเป็นการเริ่มวงจรใหม่ที่ A มีข้อสังเกตว่าในขณะอาร์คจะไม่มีการถ่ายเทโลหะเกิดขึ้นการถ่ายเทโลหะแบบนี้จะทำให้การอาร์คสม่ำเสมอและมีเม็ดโลหะกระเด็นน้อย เครื่องเชื่อมที่ใช้กับการถ่ายเทโลหะแบบนี้จะต้องมีการออกแบบไว้โดยเฉพาะ

2.1.3.2 Spray Arc Welding

การถ่ายเทโลหะแบบ Spray Arc ซึ่งโลหะจากลวดเชื่อมจะกลายเป็นเม็ดเล็ก ถ่ายเทจากปลายลวดเชื่อมสู่ชิ้นงานด้วยแรง Electromagnetic Force ซึ่งจะมีเสียงดังแช่ ๆ การที่ลวดเชื่อมหลอมละลายเป็นเม็ดเล็ก ๆ นั้นเนื่องมาจากการถ่ายเทโลหะนี้ใช้กระแสเชื่อมและแรงเคลื่อนสูงกว่าแบบอื่นทั้งหมดปลายลวดเชื่อมกับชิ้นงานจะไม่มีโอกาสสัมผัสกันเลย เพราะความร้อนที่ได้รับสูงพอที่จะหลอมละลายลวดเชื่อมได้ทันที การถ่ายเทโลหะแบบนี้จึงเรียบและเหมาะสำหรับเชื่อมงานที่มีอัตราการผลิตสูง ๆ ขนาดของเม็ดโลหะที่ถ่ายเทจะมีขนาดความโตใกล้เคียงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมแนวเชื่อมที่ได้จึงสวยแต่การถ่ายเทโลหะแบบนี้มีข้อจำกัดคือเชื่อมได้ดีเฉพาะท่าราบเท่านั้นแต่ถ้าจะให้เชื่อมท่าอื่น ๆ ต้องควบคุมบ่อหลอมละลายของโลหะให้เล็ก

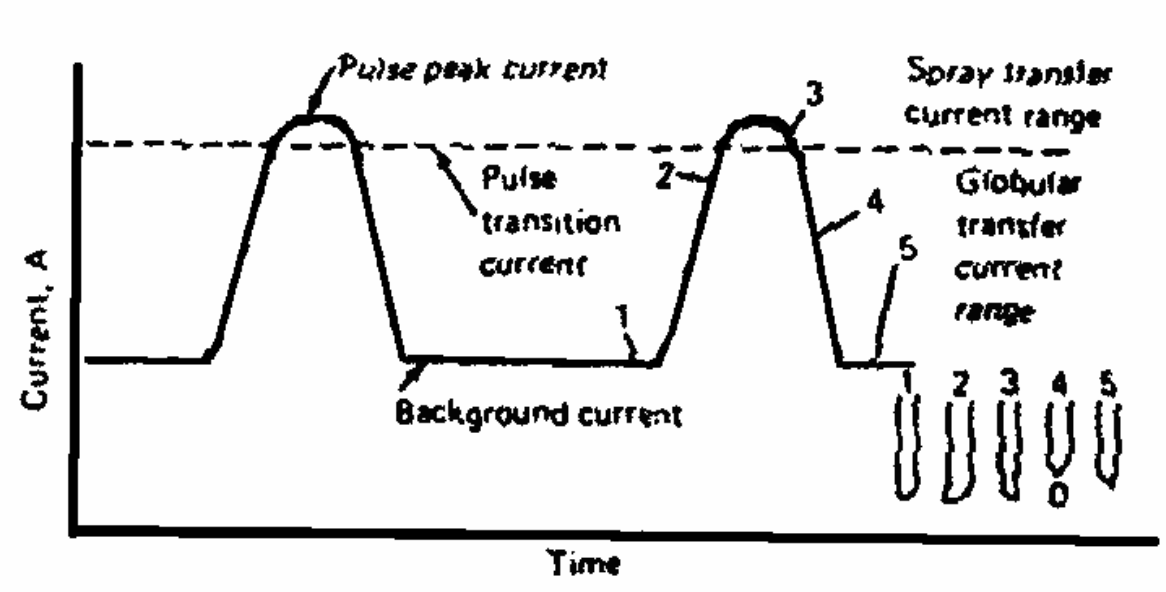


รูปที่ 2. 3 การถ่ายเทโลหะแบบ Spray arc



รูปที่ 2.4 การถ่ายเทโลหะแบบ Globular

การถ่ายเทโลหะแบบนี้เป็นลักษณะหนึ่งของ Spray Arc โดยใช้กระแสเชื่อมอยู่ในช่วงระหว่าง Spray Arc กับ Short Arc ซึ่งจะทำให้ปลายลวดเชื่อมหลอมละลายก่อนที่จะสัมผัสกับชิ้นงาน แต่เนื่องจากความร้อนที่หลอมปลายลวดเชื่อมนั้นต่ำ จึงไม่สามารถทำให้น้ำโลหะที่หลอมละลายที่ปลายลวดเชื่อมนั้นพ่นออกสู่ชิ้นงานได้ จึงเพียงแต่หลอมรวมตัวอยู่ที่ปลายลวดเชื่อมเป็นก้อนโตกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมและอาศัยน้ำหนักของมันเองตกลงสู่บ่อหลอมละลายของงานเชื่อมการถ่ายเทโลหะแบบนี้จะได้แนวเชื่อมที่ออกมาไม่สวยนักและมีเม็ดโลหะกระเด็นค่อนข้างมาก แต่เหมาะกับการเชื่อมงานหนา ส่วนแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมนิยมใช้คาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 2.5 การถ่ายเทโลหะแบบ Pulsed

2.1.3.3 Pulsed Tranfer

การถ่ายเทโลหะแบบ pulsed เป็นอีกลักษณะหนึ่งของ Spray Arc ซึ่งได้รวบรวมเอาข้อดีของ Short Arc กับ Spray Arc เข้าด้วยกัน จะได้กระแสเชื่อมที่อยู่ระหว่างช่วงสูงและช่วงต่ำ กระแสในช่วงต่ำจะมีค่าต่ำกว่า Transition Current ในขณะที่กระแสระดับสูงจะสูงกว่า Transittion Current และยังเป็นช่วงที่ถ่ายเทโลหะจากปลายลวดเชื่อมสู่บ่อหลอมละลายด้วย สำหรับกระแสช่วงต่ำเป็นกระแสที่รักษาการอาร์คที่เกิดขึ้น จึงทำให้การถ่ายเทโลหะแบบ Pulsed สม่ำเสมอเหมือนกับ Spray Arc แต่ใช้กระแสต่ำกว่าจึงเหมาะกับโลหะบางโดยเฉพาะอะลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิมและยังสามารถควบคุมการบิดงอได้ดี การเชื่อมด้วยระบบ Pulsed จะต้องใช้เครื่องเชื่อมที่ออกแบบเป็นพิเศษโดยเฉพาะ

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

2.2.1 เครื่องเชื่อม (Welding machine)

2.2.2 เครื่องป้อนลวดและระบบควบคุม (Feed Control And Control System)

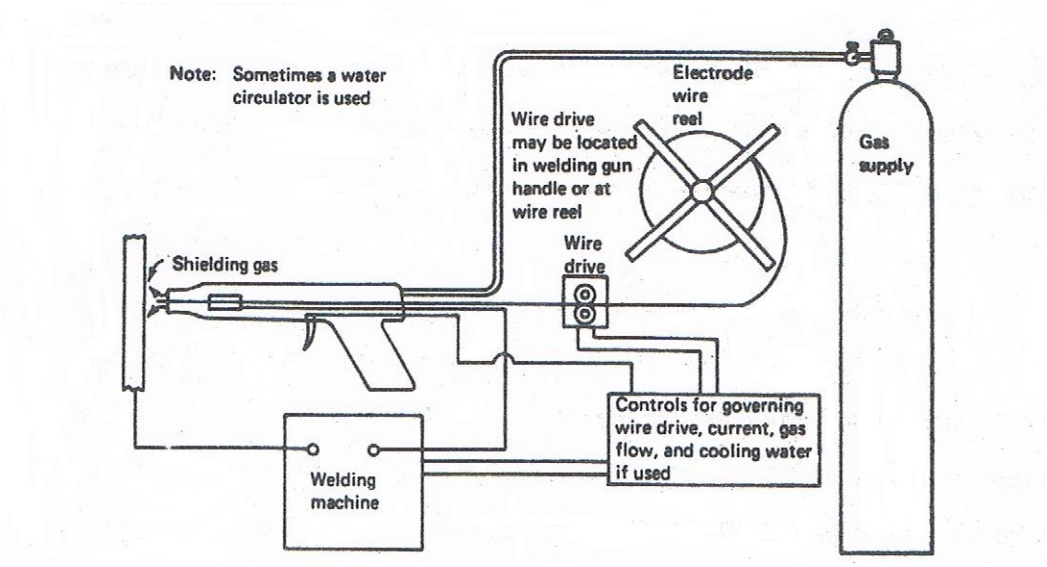
2.2.3 หัวเชื่อม (Welding Gun & Torch)

2.2.4 แก๊สปกคลุม (Shielding Gas)

2.2.5 ลวดเชื่อม (Electrode Wire)

2.2.1 เครื่องเชื่อม (Welding machine)

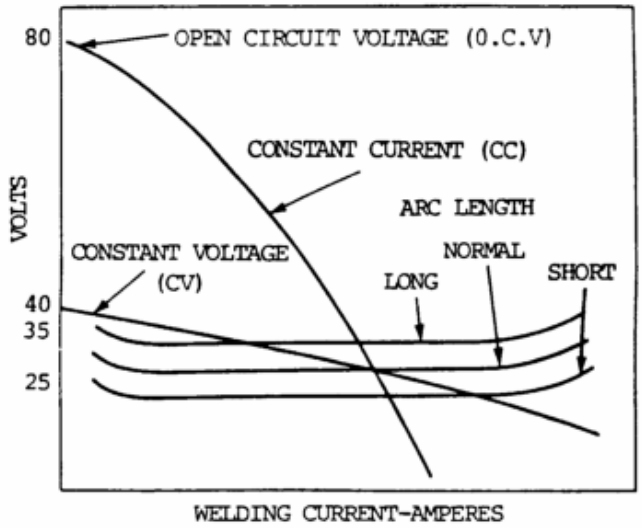
เครื่องเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) เป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงต่อกลับขั้ว (DCRP) ชนิดแรงเคลื่อนคงที่ (Constant Voltage) สำหรับกระแสตรงต่อขั้วตรง (DCSP) อาจจะมีใช้ไม่มากนักเนื่องจากเป็นกระแสไฟที่ให้การซึมลึกต่ำกว่า DCRP เครื่องเชื่อมแบบแรงเคลื่อนคงที่นี้มีทั้งชนิดขับด้วยมอเตอร์ เครื่องยนต์และหม้อแปลงเรคติไฟเออร์ จาก Volt-Ampere curve จะเป็น Curve ที่ออกมาเรียงขนานกับแนวระดับแรงเคลื่อนวงจรเปิด โดยปกติอยู่ในช่วง 40 – 50 โวลต์และแรงเคลื่อนอาร์คประมาณ 35 โวลต์เนื่องจากว่า Slope ของเครื่องชนิดนี้ต่ำ เครื่องเชื่อมชนิดกระแสคงที่เป็นเครื่องที่นำเอาไปใช้เชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ ซึ่งมีทั้งชนิดมอเตอร์ขับเครื่องยนต์ขับและหม้อแปลงเรคติไฟเออร์ แต่แรงเคลื่อนวงจรเปิดสูงถึง 80 โวลต์ ในการเชื่อมแบบ Short Arc จะต้องมี Inductance ประกอบไว้ด้วยเนื่องจากว่าเมื่อเกิดการลัดวงจรกระแสเชื่อมจะเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด ซึ่งการเพิ่มอย่างทันทีทันใดนั้น เครื่องเชื่อมจะไม่สามารถรับได้ อาจทำให้เครื่องเสียหาย ดังนั้นจึงต้องมี Inductance ต่ออนุกรมเพื่อทำหน้าที่หน่วงเวลาการเพิ่มของกระแสเชื่อม ซึ่งให้ผลดีต่อการเชื่อม คือ ลดเม็ดโลหะ ให้อาร์คสม่ำเสมอและการหลอมละลายดี



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์เชื่อม GMAW

2.2.2 เครื่องป้อนลวดและระบบควบคุม (Feed Control and Control System)

เครื่องป้อนลวดรวมอยู่ในชุดควบคุมซึ่งต่อโดยตรงกับเครื่องเชื่อม เครื่องป้อนลวดมีอยู่ 2 ชนิด จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับเครื่องเชื่อมและการนำไปใช้งานสำหรับการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) นั้น ใช้เครื่องป้อนลวดชนิดความเร็วคงที่ (Constant Speed) ซึ่งเหมาะกับเครื่องเชื่อมแบบแรงเคลื่อนคงที่ และลวดเชื่อมที่มีขนาดเล็กด้วย เครื่องป้อนลวดชนิดนี้จะมีที่ปรับความเร็วของลวดซึ่งสามารถเลือกปรับได้ตามความเหมาะสมกับงานที่จะเชื่อม ส่วนกระแสไฟที่จะหลอมละลายลวดเชื่อมจะถูกปรับออกมาโดยอัตโนมัติให้สัมพันธ์กับการป้อนของลวดเชื่อม เช่นป้อนลวดออกมามากกระแสก็จะมากถ้าป้อนลวดออกน้อยกระแสที่ออกมาก็จะน้อยด้วย



รูปที่ 2.7 แสดง Curve ของ Constant Current และ Constant Voltage

ชุดเครื่องป้อนลวดประกอบไปด้วย มอเตอร์สำหรับขับกลไกป้อนลวดจากขดลวดให้ออกสู่บริเวณหลอมละลายที่ปลายหัวเชื่อม ซึ่งกลไกในการขับลวดอาจจะเป็นระบบเฟืองก็ได้ ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้กับลวดแต่ละขนาดได้ในชุดควบคุมนี้จะมี Solenoids ควบคุมการไหลของแก๊สปกคลุมการอาร์คและน้ำระบายความร้อนที่หัวเชื่อมรวมอยู่ด้วย การป้อนลวดเชื่อม GMAW สามารถกระทำได้หลายแบบได้แก่

2.2.2.1 การป้อนลวดแบบดั้น (Push-Type Wire-Feed Systems)

การป้อนลวดเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) โดยทั่วไปจะใช้แบบดัน โดยมีชุดเฟืองซึ่งอาจเป็นแบบ 2 ตัวหรือ 4 ตัวที่ขับด้วยมอเตอร์ ทำหน้าที่ดึงลวดออกจากล้อพร้อมทั้งดันลวด ผ่านสายเชื่อมออกไปทางหัวเชื่อมสำหรับความยาวของสายเชื่อมที่ใช้กับลวดเชื่อมเหล็กจะยาวไม่เกิน 10 ฟุต และยาวไม่เกิน 6 ฟุต เมื่อใช้กับลวดอะลูมิเนียมทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของลวดที่สามารถทนต่อแรงดันโดยไม่โค้งงอ ส่วนแกนสำหรับใส่ล้อลวดเชื่อมนั้น บางชนิดจะประกอบไว้ด้วย Friction Brake ซึ่งทำหน้าที่เป็นเบรกล้อลวดเชื่อมไม่ให้หมุนต่อไปเมื่อหยุดมอเตอร์ป้อนลวดเชื่อมแล้ว ชุดป้อนลวดนี้สามารถใช้ได้กับการป้อนลวดเชื่อมชนิดแข็งที่มีขนาดใหญ่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.030-0.125 นิ้ว และลวดเชื่อมอ่อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.045-0.093 นิ้ว

2.2.2.2 การป้อนลวดแบบดึง (Pull-Type Wire-Feed Systems)

การป้อนลวดแบบดึงเป็นการป้อนลวดแบบหนึ่ง โดยใช้หัวเชื่อมที่มีชุดป้อนลวดพร้อมมอเตอร์ขับและล้อลวดเชื่อมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 4 นิ้ว ประกอบอยู่พร้อมภายในหัวเชื่อมซึ่งหัวเชื่อมแบบนี้เหมาะสำหรับลวดเชื่อมขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.045 นิ้ว โดยเฉพาะใช้เชื่อมงานบางที่มีความต้องการปริมาณลวดเชื่อมเติมน้อย และยังเหมาะกับการเชื่อมงานที่มีเนื้อที่สำหรับทำการเชื่อมจำกัด

2.2.2.3 การป้อนลวดแบบดันและดึง (Push-Full Wire-Feed Systems)

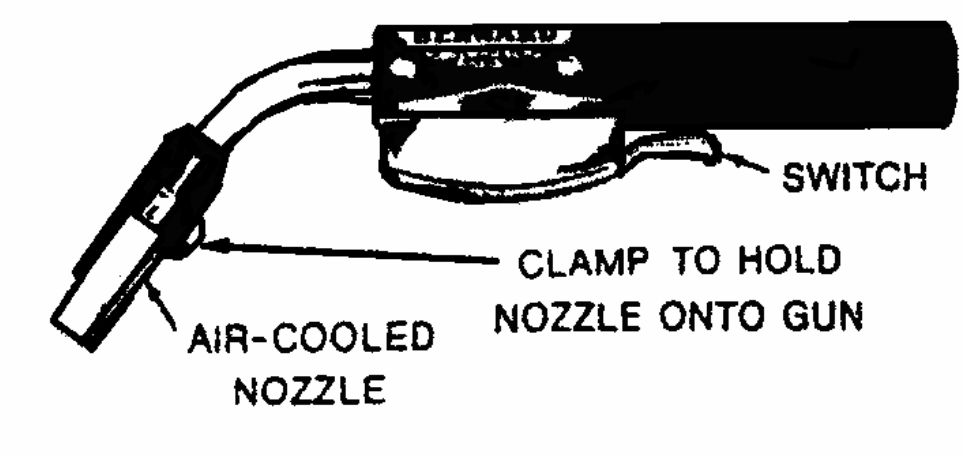
การป้อนลวดแบดันและดึงเหมาะสำหรับลวดเชื่อมที่มีความแข็งแรงต่ำ ซึ่งหัวเชื่อมจะประกอบติดไว้ด้วยมอเตอร์ขับและกลไกป้อนลวด ที่ทำหน้าที่เหมือนหน่วยควบคุมความเร็วในการป้อนลวดพร้อมทั้งเป็นตัวป้อนลวดที่ผ่านออกมาทางท่อ (Conduit) ในลักษณะดันให้ออกจากหัวเชื่อม โดยระบบป้อนลวดแบบดันนี้จะมีการต่อไปควบคุมความเร็วของตัวป้อนลวดแบบดึง ที่ติดตั้งอยู่อีกด้านหนึ่งใกล้กับล้อลวดเชื่อมแต่ความเร็วของตัวป้อนลวดทั้งสองนี้ต้องสัมพันธ์กันโดยใช้หลักการของแรงดึงในเส้นลวด แม้แต่ลวดเชื่อมอะลูมิเนียมผสมขนาดเล็กก็สามารถป้อนผ่านสายเชื่อมได้ยาวกว่า 50 ฟุตสำหรับท่อส่งผ่านลวดของสายเชื่อม ภายในควรบุด้วยพลาสติกเพื่อลดการครูดตัวระหว่างท่อกับลวดเชื่อม

สำหรับท่อส่งผ่านลวดเชื่อม จะต้องมีการบำรุงรักษาและทำความสะอาดอยู่เสมอ มิฉะนั้นแล้วอาจจะเป็นเหตุให้เกิดการติดขัดของการป้อนลวดขึ้นได้ โดยปกติแล้วท่อจะต้องทำความสะอาด เมื่อมีการเปลี่ยนล้อลวดเชื่อมใหม่ทุกครั้งวิธีทำความสะอาดท่อนั้น ให้ถอดลวดเชื่อมออกจากท่อแล้วใช้อากาศที่สะอาดเป่าทะลุผ่านท่อ ในทิศทางตรงข้ามกับการไหลของแก๊สปกคลุม ในโรงงานหลายๆ แห่งไม่สามารถจัดหาอากาศที่สะอาดได้ให้ใช้แก๊สปกคลุมเป่าทำความสะอาดแทน แต่อย่าใช้ออกซิเจนเป่าแทน

2.2.3 หัวเชื่อม (Welding Gun & Torch)

หัวเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) แตกต่างกันจากหัวเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ เนื่องจากหัวเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) ต้องจ่ายแก๊สเพื่อปกคลุมบริเวณอาร์คและเป็นทางผ่านของกระแสไฟพร้อมกับลวดเชื่อมสู่บริเวณอาร์ค หัวเชื่อมจะประกอบติดอยู่กับสายเชื่อม ซึ่งสายเชื่อมนั้นจะเป็นทางผ่านแก๊สปกคลุม ลวดเชื่อมและกระแสไฟโดยภายในของสายเชื่อมที่ลวดผ่านจะทำด้วยเหล็กสปริงที่ม้วนขดเป็นท่อ และภายนอกจะหุ้มไว้ด้วยท่อพลาสติก ลักษณะของหัวเชื่อมมีทั้งชนิดหัวตรงและหัวโค้ง จากรูป 2.8 เป็นหัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled) ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

Nozzle ทำด้วยทองแดงหรือทองแดงเบริลเลียม (Beryllium Copper) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในระหว่าง 3/8-7/8 นิ้ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของหัวเชื่อม ทำหน้าที่ควบคุมให้แก๊สปกคลุมไหลออกเป็นลำเพื่อปกคลุมบริเวณอาร์ค

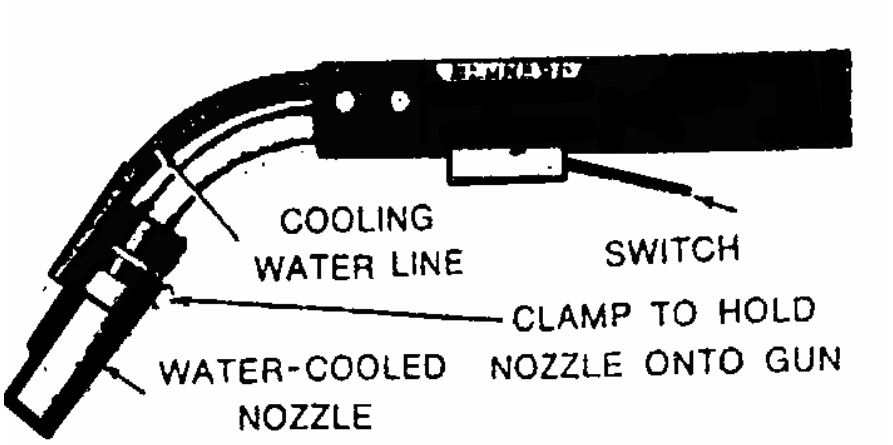


รูปที่ 2.8 หัวเชื่อมแบบ Air Cooled

Contact tube หรือ Contact Tip ทำด้วยทองแดงผสมเป็นทางผ่านของลวดเชื่อมออกไปยัง Nozzle และยังเป็นตัวจ่ายกระแสไฟเชื่อมให้กับลวดเชื่อม

Wire Feed Conduit โดยมากทำด้วยเหล็กสปริงขดเป็นท่อ เพื่อเป็นทางผ่านของลวดเชื่อมจากม้วนไปยังหัวเชื่อม

Gas Duct เป็นท่อส่งแก๊สปกคลุมจากแหล่งจ่ายไปยังหัวเชื่อม หัวเชื่อมชนิดนี้จะมีไกสำหรับบังคับการเริ่มต้นและหยุดทำงานของการเชื่อม สำหรับหัวเชื่อมแบบหัวโค้งนี้เหมาะแก่การเชื่อมทุกท่า เชื่อมหัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ คล้ายกับหัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ เพียงแต่เพิ่มน้ำเพื่อระบายความร้อนโดยรอบ Contact Tube และ Nozzle การระบายความร้อนยังช่วยลดการเกิดเม็ดโลหะที่ Nozzle จากรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นส่วนประกอบภายในหัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยน้ำชนิดหัวโค้ง การเลือกใช้หัวเชื่อมทำเชื่อมที่ใช้กันอยู่มีแบบระบายความร้อนด้วยน้ำกับแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งในการเลือกให้หัวเชื่อมทั้งสองแบบนั้นต้องคำนึงถึงชนิดของแก๊สปกคลุมกระแสเชื่อมแรงเคลื่อนและลักษณะของรอยต่อ เช่นหัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถเชื่อมแบบต่อเนื่องโดยใช้กระแสสูงๆ ได้ เมื่อได้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สปกคลุม จะช่วยไม่ให้หัวเชื่อมร้อนเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีอุณหภูมิต่ำจึงช่วยระบายความร้อนไปในตัว และสำหรับรอยต่อแบบตัวทีเป็นรอยต่อที่ทำให้ความร้อนสะท้อนกลับจากชิ้นงานสู่หัวเชื่อม ดังนั้นการเชื่อมรอยต่อตัวทีจึงทำให้หัวเชื่อมร้อนมาก หัวเชื่อมแบบระยายความร้อนด้วยอากาศจะใช้กับกระแสไม่เกิน 500 แอมแปร์ ส่วนหัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยน้ำใช้กับกระแสระหว่าง 200-750 แอมแปร์



รูปที่ 2.9 หัวเชื่อมแบบ Water cooled

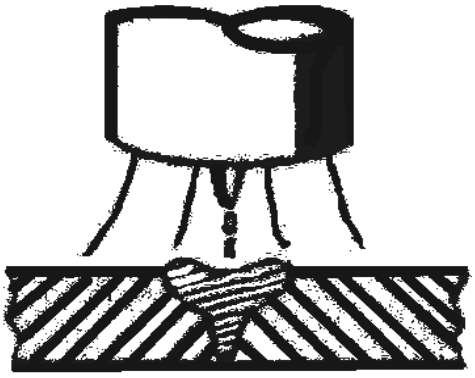
2.2.4 แก๊สปกคลุม (Shielding Gas)

แก๊สปกคลุมเป็นแก๊สที่ใช้ปกคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลายไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิชันหรือสกปรก เนื่องจากวัสดุงานรวบตัวกับออกซิเจน, ไนโตรเจน และไอน้ำในอากาศไนโตรเจนที่ฝังตัวอยู่ในแนวเชื่อม จะทำให้แนวเชื่อมมี Ductility และ Impact Strength ลดลงและแตกง่าย แต่ถ้าไนโตรเจนมีปริมาณมากจะทำให้แนวเชื่อมเป็นรูพรุนออกซิเจนที่มีอยู่มากในเหล็กจะรวมตัวกับคาร์บอนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO_2) ซึ่งแก๊สนี้จะฝังตัวอยู่ในโลหะและเกิดเป็นรูพรุนและ

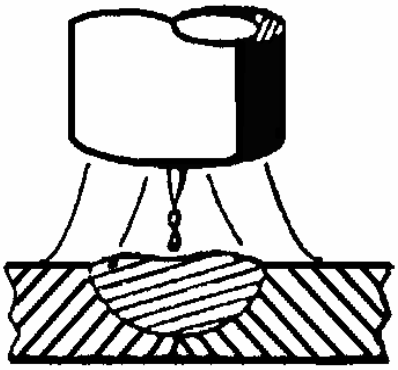
ออกซิเจนที่อยู่ในเหล็กสามารถรวมตัวกับธาตุอื่นๆที่อยู่ในเหล็กได้เช่นกันซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบฝังตัวอยู่ภายในแนวเชื่อมส่วนไฮโดรเจนที่อยู่ภายในไอน้ำเมื่อแยกตัวออกมาจะรวมตัวกับเหล็กหรืออะลูมิเนียมทำให้เกิดรูพรุนและแตกใต้แนวเชื่อมการหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวนั้นกระทำได้โดยการใช้แก๊สปกคลุม ซึ่งเดิมที่ใช้แก๊สเฉื่อยจำพวกอาร์กอนและฮีเลียม แต่ปัจจุบันใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Co_2) และออกซิเจนผสมกับแก๊สเฉื่อยสำหรับแก๊สอาร์กอน, ฮีเลียมและ Co_2 สามารถใช้ได้เลยโดยไม่ต้องผสมกับแก๊สอื่นใดหรืออาจจะผสมกับแก๊สอื่นเพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ก็ได้

2.2.4.1 แก๊สอาร์กอน [8]

กระบวนการเชื่อมโลหะแก๊สคลุม ได้นำเอาอาร์กอนซึ่งเป็นแก๊สเฉื่อยมาใช้กับการเชื่อมอลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิม ในบรรยากาศจะมีอาร์กอนอยู่ประมาณ 0.94% โดยปริมาตร หรือ 1.3% โดยน้ำหนักมีจุดหลอมที่ -189.2 °C จุดเดือด -185.7 °C หนักกว่าอากาศประมาณ 1.4 เท่า และหนักกว่าฮีเลียมประมาฯ 10 เท่า อาร์กอนที่นำมาใช้กับการเชื่อมอาร์ค ต้องมีความบริสุทธิ์ประมาณ 99.995% เมื่อต้องการความบริสุทธิ์มากขึ้นให้ใช้วิธีทำความสะอาดทางเคมีเพิ่มเติมอีกก็จะได้ความบริสุทธิ์ของแก๊สถึง 99.999% อาร์กอนมีศักย์การเกิดอิออนต่ำ(low ionization potential) จึงให้ความเสถียรต่อการอาร์คสูงการอาร์คราบเรียบ (นิ่ง) การอาร์คสม่ำเสมอถึงแม้ความยาวอาร์คจะสูงๆ ต่ำๆ ก็ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงกระแสเชื่อมมากนัก ลดการเกิดประกายโลหะ และให้รูปหน้าตัดของรอยซึมลึกแหลมลงลึกคล้ายตะปู เมื่ออาร์กอนมีศักด์การเกิดอิออนต่ำ แรงดันอาร์คจึงอยู่ในเกณฑ์ต่ำทำให้สามารถอาร์คในกระแสไฟฟ้าต่ำๆได้ การเลือกใช้อัตราการไหลของแก๊สคลุมต่ำเพราะอาร์กอนมีความหนาแน่นสูงทำให้การปั่นป่วนของเปลวเชื่อมน้อยลง ความเสถียรของการอาร์คจะขึ้นอยู่กับศักด์ของการเกิดอิออน ด้วยเช่นกัน แต่แก๊สอาร์กอนมีศักด์การเกิดอิออนต่ำ อะตอมจึงหลุดเข้าไปในอิออนได้ง่าย ซึ่งทำให้อาร์คเสถียรและอาร์คสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับฮีเลียมซึ่งมีศักด์การเกิดอิออนสูงกว่าจึงต้องใช้พลังงานถึง 24.5 eV เพื่อขับอิเล็กตรอนตอนแรกออกจากอะตอม และใช้พลังงานถึง 54.4 eV สำหรับอิเล็กตรอนที่สอง ซึ่งสูงกว่าอาร์กอนที่ใช้พลังงานเพียง 15.76 eV ในการขับอิเล็กตรอนตัวแรก และอิเล็กตรอนที่สองเพียง 27.6 eV เท่านั้นพลังงานเชื่อมต่ำ เพราะอาร์กอนทำให้บ่อหลอมเหลวแข็งตัวเร็ว การหลอมเข้าด้วยกันของเนื้อโลหะเชื่อมกับขอบตะเข็บเชื่อมไม่ค่อยดี จึงไม่นิยมใช้กับงานเชื่อมอะลูมิเนียม ทองแดง นิเกิล และไทเทเนียมเป็นแก๊สเฉื่อยที่นำความร้อนต่ำ จึงเกิดเปลวอาร์คแคบและมีความเข้มข้นสูง ทำให้งานได้รับพลังงานและความร้อนสูง ดังนั้นแนวเชื่อมที่ได้จะแคบและซึมลึกดี การที่แก๊สอาร์กอนให้เปลวอาร์คที่เข้มข้นทำให้เกิดปฏิกิริยาทำความสะอาดออกไซด์บนผิวของชั้นงานเชื่อม โดยเฉพาะในการเชื่อมอะลูมิเนียม แก๊สอาร์กอนใช้เป็นแก๊สปกคลุมสำหรับการเชื่อม GMAW ซึ่งใช้ในการเชื่อมโลหะที่ไม่ ใช่เหล็กและโลหะผสมได้แก่ อะลูมิเนียม, แมกนีเซียม, อะลูมิเนียมผสมกับแมกนีเซียมและทองแดง



รูปที่ 2.10 แนวเชื่อมใช้แก๊สอาร์กอนปกคลุม



รูปที่ 2.11 แนวเชื่อมใช้แก๊สฮีเลียมปกคลุม

2.2.4.2 แก๊สฮีเลียม

แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สเฉื่อย มีน้ำหนักเบากว่าแก๊สอาร์กอนและนำความร้อนดีกว่าอาร์กอน ดังนั้นเปลวอาร์คที่เกิดจากการใช้แก๊สฮีเลียมปกคลุม จะขยายกว้างและความเข้มข้นของการอาร์คจะต่ำกว่าเมื่อใช้แก๊สอาร์กอนจึงได้แนวเชื่อมกว้างและซึมลึกน้อยกว่าใช้แก๊สอาร์กอน (สำหรับการเชื่อม TIG จะเกิดผลตรงข้าม) แก๊สฮีเลียมจะให้อาร์คโวลท์เตจสูงกว่าแก๊สอาร์กอนเมื่อใช้ระยะอาร์คเท่านั้น แก๊สฮีเลียมได้มาจากการผลิตแก๊สธรรมชาติโดยการอัดแก๊สธรรมชาติและทำให้เย็นตัวลง ด้วยขบวนการของแก๊สเหลว แล้วจึงแยกเอาไฮโดรคาร์บอนออก จากนั้นจึงแยกเอาไนโตรเจนออกและสุดท้ายเป็นแก๊สฮีเลียม การเริ่มอาร์คจะเกิดขึ้นยากในบรรยากาศของแก๊สฮีเลียมเมื่อทำการเชื่อม TIGแต่ปัญหานี้จะน้อยลงเมื่อเชื่อมด้วย GMAW แก๊สฮีเลียมใช้เป็นแก๊สปกคลุมสำหรับการเชื่อมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ได้แก่ อะลูมิเนียม, แมกนีเซียมและทองแดง แก๊สฮีเลียมนี้ยังใช้ผสมกับแก๊สอื่นเพื่อใช้เป็นแก๊สปกคลุม

2.2.4.3 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

การใช้ CO_2 เป็นแก๊สปกคลุมมักจะเกิดเม็ดโลหะและการอาร์คไม่สม่ำเสมอ แต่เมื่อผสมกับอาร์กอนจะทำให้ปัญหาดังกล่าวลดลง ลักษณะของเปลวอาร์คและแนวเชื่อมจะแตกต่างกันตามความแตกต่างของอัตราส่วนผสมของแก๊สทั้งสอง ส่วนคุณสมบัติเชิงกลนั้นเมื่อใช้แก๊สอาร์กอนผสมกับ CO_2 จะให้ผลดีกว่าการใช้แก๊ส CO_2 อย่างเดียว แก๊สผสมชนิดนี้ใช้กับการเชื่อมเหล็กละมุนซึ่งซึมลึกลวดเชื่อมหลอมละลายได้ดี แก๊ส CO_2 ซึ่งอยู่ในลักษณะของสารประกอบ ที่ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กับออกซิเจนซึ่งมิใช่เป็นแก๊สเฉื่อยเหมือนกับแก๊สอาร์กอนและแก๊สฮีเลียม ดังนั้นในบริเวณอาร์คที่มีความร้อนสูงจะเกิดออกซิเจนอิสระ เมื่อใช้แก๊ส CO_2 เป็นแก๊สปกคลุมและเปลวอาร์คที่เกิดขึ้นจะกว้างกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนแต่จะแคบกว่าการใช้แก๊สฮีเลียม [9] แก๊ส CO_2

เป็นผลที่ได้จากการเผาแก๊สธรรมชาติ น้ำมันหรือถ่านโค๊ก สำหรับแก๊ส CO_2 ที่ได้จากการผลิตแอมโมเนีย และการหมักแอลกอฮอล์จะมีความบริสุทธิ์ 100% แนวเชื่อมที่ปกคลุมด้วย CO_2 จะมีความกว้างปานกลาง การซึมลึกดี การหลอมละลายดี ลักษณะแนวเชื่อมดีและไม่เกิดการกัดแหว่งที่ขอบแนวเชื่อม แต่การใช้แก๊ส CO_2 จะเกิดเม็ดโลหะและอาร์คไม่สม่ำเสมอโดยเฉพาะเมื่อใช้กับการถ่ายเทโลหะลวดเชื่อมแบบ Open Arc ดังนั้นการใช้แก๊ส CO_2 ปกคลุม จึงเหมาะแก่การเชื่อมด้วย Micro-Wire โดยนำไปเชื่อมเหล็กละมุนและแก๊ส CO_2 มีราคาถูกกว่าแก๊สปกคลุมชนิดอื่นๆ จึงทำให้ต้นทุนในการเชื่อมต่ำ แก๊ส CO_2 จะบรรจุไว้ในถัง อาจจะเป็นรูปของเหลวหรือแก๊ส แต่สำหรับแก๊สที่นำมาใช้ในการเชื่อมจะมีความชื้นต่ำ และปริมาณของแก๊สที่ใช้ปกคลุมแนวเชื่อมโดยทั่วไปจะใช้ 25 C.F.H. (ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง)ถ้าต้องการใช้อัตราการไหลของแก๊สเกินกว่า 25 C.F.H. ควรจะใช้แบบ Manifold ที่ต่อแก๊ส CO_2 จำนวน 2 ถังขนานกันหรือติดตัวทำความร้อนไว้ระหว่างถังแก๊สกับ Regulator ก็ได้ การใช้ปริมาณการไหลของแก๊สมากเกินไปอาจจะเป็นต้นเหตุให้แก๊ส CO_2 เหลวภายในถังไหลออกได้

2.2.4.4 อาร์กอน+ออกซิเจน

แก๊สอาร์กอนให้ผลดีกับการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) การซึมลึกลงกลางแนวเชื่อมไม่ดีและจะเกิดการกัดแหว่งที่ขอบแนวเชื่อมการป้องกันการกัดแหว่งที่ขอบแนวเชื่อมดังกล่าวอาจทำได้โดยใช้แก๊สปกคลุม ผสมด้วยออกซิเจน 1-5% กับแก๊สอาร์กอน โดยออกซิเจนที่ผสมลงไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันซึ่งเหมือนกับเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับลวดเชื่อมที่หลอมละลาย ให้สามารถซึมเข้าไปถึงกลางของแนวเชื่อมและยังเป็นการลดการกัดแหว่งที่ขอบแนวเชื่อมอีกด้วย เปลวอาร์คที่เกิดขึ้นจะสม่ำเสมอ ส่วนลักษณะของแนวเชื่อมจะสวยงามไม่นูนจนเกินไป แก๊สผสมชนิดนี้จะใช้กับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมและสามารถใช้เชื่อมเหล็กละมุนและเหล็กกล้าผสมต่ำได้ แต่ราคาของแก๊สนี้ค่อนข้างสูง

2.2.4.5 อาร์กอน-ฮีเลียม

การนำแก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สฮีเลียม เพื่อรวมเอาคุณสมบัติในการเชื่อมของแก๊สทั้งสองเข้าด้วยกันโดยผสมฮีเลียม 20-90% หรือมากกว่าอัตราส่วนในการผสมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้และการผสมนั้นกระทำได้หลายวิธี และก็เชื่อมก้นโดยการต่อแก๊สจากถังแก๊สแต่ละชนิดเข้ามาผสมกันที่ชุดผสม ซึ่งชุดผสมนี้สามารถควบคุมเปอร์เซ็นต์ของแต่ละชนิดได้ตามต้องการ

2.2.4.6 อาร์กอน-ฮีเลียม- CO_2

แก๊สผสมชนิดนี้ใช้สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กความแข็งแรงสูง (High Stremgth Stool)

ด้วยวิธี Short Arc ซึ่งปริมาณของแก๊สแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติตามต้องการเช่น ทำให้งานทนต่อการกัดกร่อนดี อาร์คสม่ำเสมอ ซึมลึกดี และปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของเนื้อเชื่อมเป็นต้น การใช้แก๊สปกคลุมผสมอาจจะใช้แก๊สดังกล่าวผสมกัน หลายชนิดก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติตามที่ผู้ใช้ต้องการ และอัตราส่วนก็จะเปลี่ยนแปลงตามต้องการด้วย

2.2.4.7 อาร์กอน - ไฮโดรเจน

แก๊สผสมแก๊สไฮโดรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ทำให้เพิ่มความเร็วเชื่อมได้สูงขึ้น เนื่องจากแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มศักย์การอาร์ค (Arc Voltage) และการเหนี่ยวนำความร้อน (Thermal Conductivity) แต่เมื่อผสมแก๊สไฮโดรเจนในปริมาณมาก จะก่อให้เกิดโพรง (Porosity) ขึ้นในเนื้อโลหะรอยเชื่อม ได้ฉะนั้นการเลือกใช้แก๊สปกคลุมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อม GMAW จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง แก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สไฮโดรเจน จะนำไปใช้ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม, Inconel Monel และโลหะที่มีปัญหาเนื่องจากรูพรุน จุดประสงค์ของการใช้แก๊สผสมชนิดนี้ เพื่อช่วยเพิ่มความร้อนในการเชื่อมให้สูงขึ้น ช่วยควบคุมรูปร่างของรอยเชื่อม การไหลตัวของน้ำโลหะในบ่อหลอมละลายดีและรอยเชื่อมสม่ำเสมอ แก๊สผสมชนิดนี้ไม่ใช่แก๊สเฉื่อยที่สมบรูณ์ ดังนั้นจึงไม่ควรนำไปเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน หรือเหล็กกล้าผสมต่ำ ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถใช้แก๊สผสมนี้ที่มีอัตราส่วนผสมของไฮโดรเจนสูงถึง 15 % อัตราส่วนผสมที่เป็นแบบอย่างมีอาร์กอน 95 % และไฮโดรเจน 5 % [10]

2.2.4.8 อาร์กอน – คาร์บอนไดออกไซด์

แก๊สผสมอาร์กอน - คาร์บอนไดออกไซด์ จุดประสงค์หลักใช้สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กผสมต่ำ ห้ามนำไปใช้กับการเชื่อม Stainless Steel การเติมอาร์กอนเข้าไปใน CO_2 จะช่วยลด Spatter ได้ดีกว่าการใช้ CO_2 อย่างเดียว และถ้าเติม CO_2 จำนวนเล็กน้อยเข้าไปในแก๊สอาร์กอน ก็จะยังคงได้คุณสมบัติของ Spray Arc เหมือนกับเติมออกซิเจนลงในแก๊สอาร์กอนจำนวนเล็กน้อยเหมือนกัน การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม GMAW โดยใช้ CO_2 ผสมเติมเข้าไปในก๊าซอื่น เมื่อระดับกระแสสูงขึ้นเล็กน้อยก็จะได้ Spray Transfer ที่ส่งผ่านอาร์คที่สม่ำเสมอ แต่ถ้าเติม O_2 ลงไปจะช่วยลดขนาดกระแส (Transition Current) ของ Spray Transfer ลง การผสม CO_2 เกินกว่า20% โดยประมาณจะได้ Spray Transfer ที่ไม่สม่ำเสมอ และอาจจะเกิดเป็นแบบ Short Circuiting และ Globular Transfer ไป

2.2.5 ลวดเชื่อม (Electrode Wire) [11]

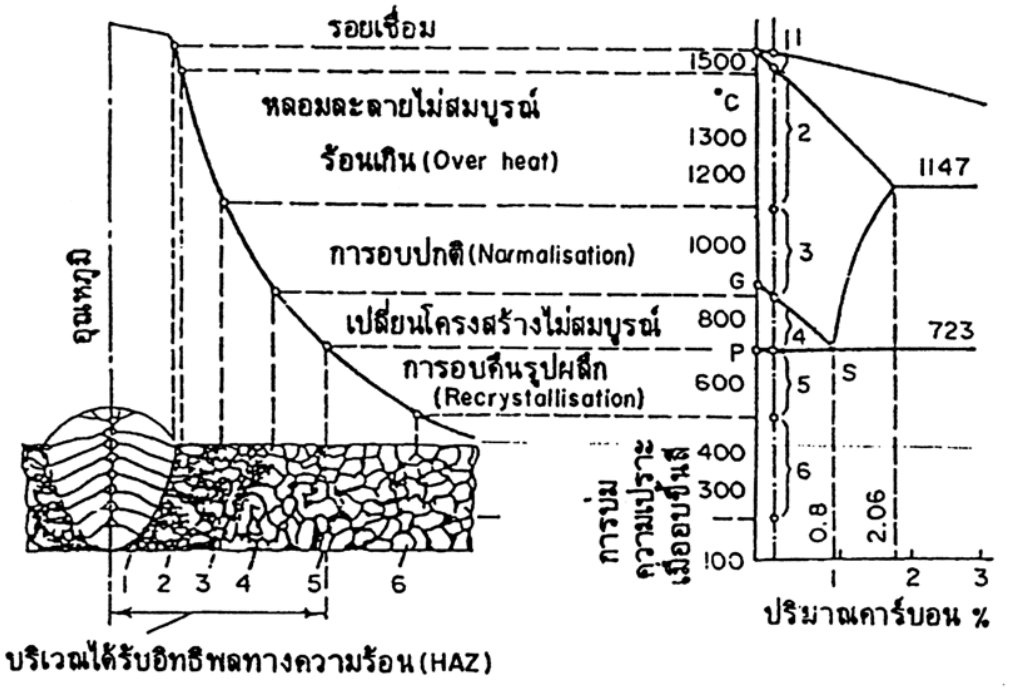
ลวดเชื่อมเป็นหัวใจสำคัญของการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) ดังนั้นจึงต้องรู้จักเลือก ใช้ลวดเชื่อมให้ถูกต้อง ลวด

เชื่อมจะหลอมผ่านเปลวอาร์คไปยังบ่อหลอมละลายเกิดเป็นแนวเชื่อมลวดเชื่อมที่ผ่านเปลวอาร์คนั้นจะทำปฏิกิริยากับแก๊สปกคลุมจึงทำให้ส่วนผสมของลวดเปลี่ยนไป และจะเป็นผลต่อคุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางกลของเนื้อเชื่อมการเลือกลวดเชื่อมจะต้องพิจารณาองค์ประกอบต่อไปนี้

1. ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานที่จะนำมาเชื่อม
2. คุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่จะนำมาเชื่อม
3. ชนิดของแก๊สปกคลุม
4. ชนิดของงานที่เชื่อมหรือข้อกำหนดการใช้งาน
5. ชนิดของการออกแบบรอยต่อ

2.3 ผลกระทบจากการเชื่อมที่บริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอน (Heat Affected Zone in Carbon Steels)[]

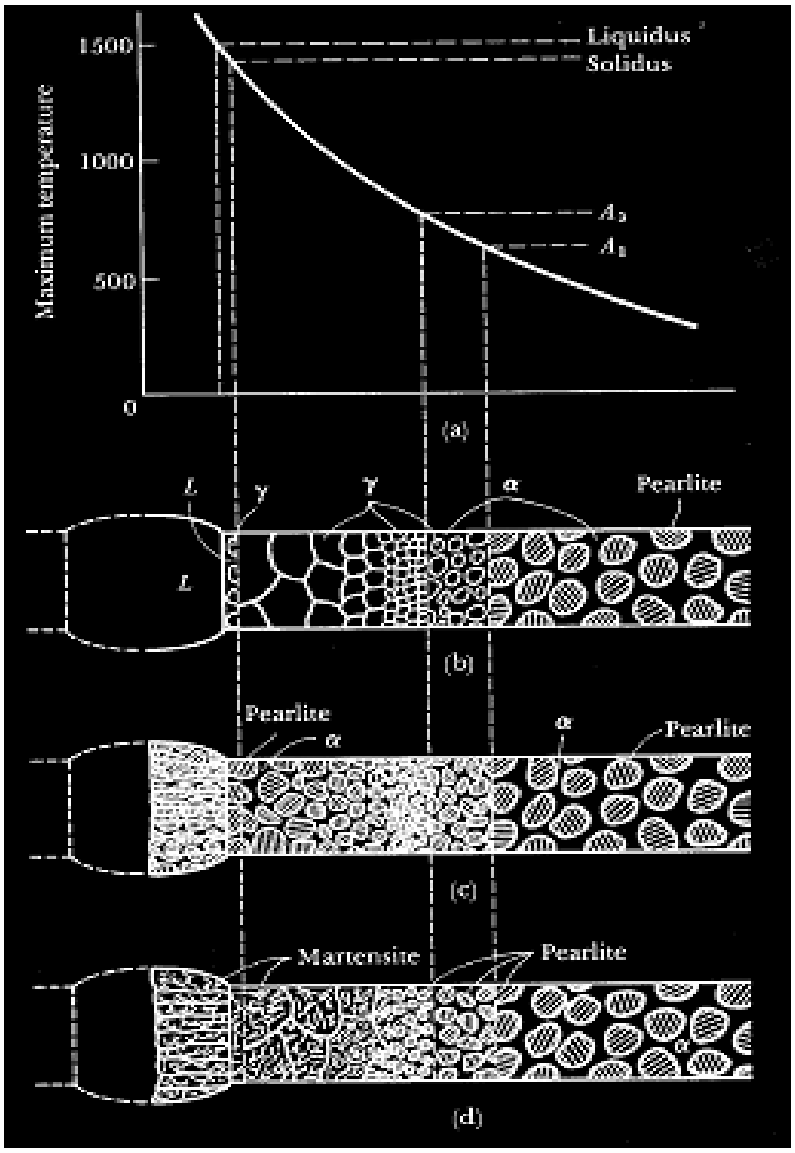
การศึกษาผลกระทบร้อนของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1010 สามารถแบ่งพื้นที่สำคัญตั้งแต่บริเวณที่มีการหลอมละลาย (Fusion zone) บริเวณที่รับ ผลกระทบจากการเชื่อม (Heat Affected Zone: HAZ) และบริเวณที่ได้รับผลกระทบ (ดังแสดงในรูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.12 แสดงพื้นที่ของแนวเชื่อมบริเวณผลกระทบจากการเชื่อม
เทียบกับ Fe3C- Diagram ของ เหล็กกล้าคาร์บอน

จากการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างในบริเวณต่างๆปัจจัยที่สำคัญที่สุดคืออุณหภูมิ (Temperature)ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคซึ่งเรียกว่าสมบัติทางกายภาพ

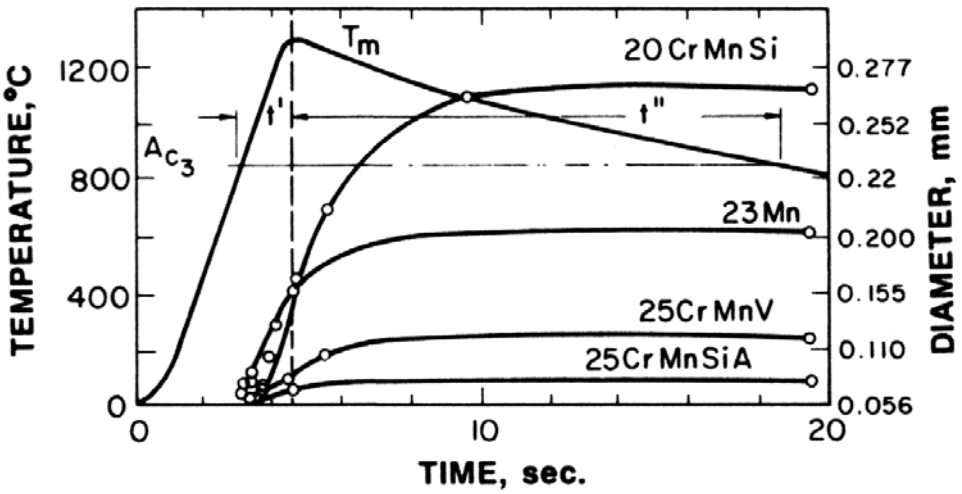
กล่าวคือ เมื่อสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนไป ก็จะส่งผลต่อ สมบัติทางกลอย่างไร ซึ่งจะเป็นตัวที่จะคาดเดาได้ว่าจะเกิดปรากฏการณ์อะไรขึ้นบ้างในบริเวณ HAZ สิ่งที่น่าสนใจคือ สภาพของรอยเชื่อมที่อยู่ในสภาพของเหลวและของแข็ง ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเฟส (Phase Transformation) มีขั้นตอนดังนี้ คือเมื่อโลหะหลอมเหลวถูกลดอุณหภูมิจะเกิดการลดพลังงานในระบบจากระดับที่สูงลงมาที่ระดับต่ำขึ้นพร้อมกันและเกิดโครงสร้าง ออสเทนไนท์ (γ) เป็นโครงสร้างพื้นฐาน การเปลี่ยนเฟสในสภาวะของเหลว กลายเป็นของแข็ง หรือของแข็ง 1 กลายเป็นของแข็ง 2 เกิดจากการแพร่ (Diffusion) เป็นหลัก ดังนั้น ถ้าอุณหภูมิลดลง ความสามารถในการแพร่ ก็จะลดลง และส่งผลต่อลักษณะและขนาดของเกรน สรุปได้ว่า ความสามารถในการแพร่ในระบบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิหรือความร้อน และเวลา การเปลี่ยนเฟสในช่วงดังกล่าวองค์ประกอบของเวลาจะเป็นตังกำหนดอัตราการเย็นตัว (Coolingrate) ถ้าอัตราการเย็นตัวเร็วหมายถึงใช้ระยะเวลาที่สั้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างตามไปด้วย สิ่งที่น่าสนใจอีกอย่าง คือ Driving force การพิจารณาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และเวลา ถ้าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใช้เวลามาก จะมีอัตราการเย็นตัวที่ช้า จัดอยู่ในกลุ่มที่เกิดเฟสใหม่โดยอาศัยการแพร่ ซึ่งโครงสร้างที่ได้ คือ เฟอร์ไรท์ เพิร์ลไลท์ และเบนไนท์ เป็นต้น แต่ถ้าเป็นกรณีของการเปลี่ยนเฟสจะได้โครงสร้างที่มีความแข็งมาก คือ มาร์เทนไซท์ เนื่องจากมีอัตราการเย็นตัวเร็วมากในระบบ เนื่องจากไม่มีเวลาพอ หรืออุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอะตอมของธาตุต่างๆ จึงเกิดการเปลี่ยนเฟสโดยการเลื่อน การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่อุณหภูมิสูง และต่ำ เมื่อมีการลดอุณหภูมิลงมาจากโครงสร้างออสเทนไนท์จะมีการเปลี่ยนเฟสใหม่ คือโครงสร้าง เฟอร์ไรท์ ซึ่งโครงสร้าง เฟอร์ไรท์ในงานเชื่อมจะมีความแตกต่างจากโครงสร้าง เฟอร์ไรท์ที่ได้จากการอบชุบ (Heat treatment) คือเป็น เฟอร์ไรท์รูปเข็ม หรือที่เรียกว่า Widmanstatten มีคุณสมบัติด้านความแข็งสูงกว่าโครงสร้าง เฟอร์ไรท์ปกติเล็กน้อย มีทิศทางไปตามลักษณะของการเย็นตัว คือพุ่งเข้าหาศูนย์กลางของแนวเชื่อม



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของโครงสร้างที่ได้รับผลกระทบจากการเชื่อม
ของโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน

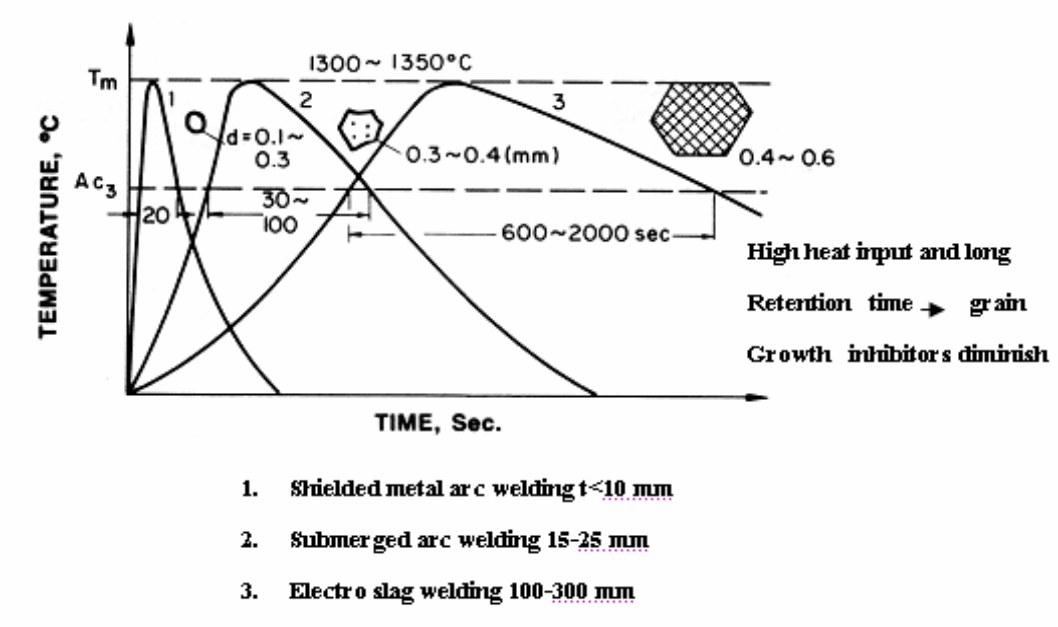
2.3.1 การเติบโตของเกรนในรอยเชื่อม (Grain Growth of weld)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา พบว่าโลหะที่มีธาตุผสมแตกต่างกันมีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน เพราะลักษณะของการเกิดเกรนในการเชื่อมสามารถเติบโตได้ทั้ง Heat up และ Cool down ก็ได้ การเติมธาตุผสมเข้าไปหลาย ๆชนิด สามารถหยุดยั้งการเติบโตของเกรนได้เกิดเป็น สารประกอบโลหะ (Intermetallic compound) ที่บริเวณขอบเกรนสกัดกั้นไม่ให้เกรนเกิดการขยายตัว (ดังแสดงในรูปที่2.14)



รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ เวลา และขนาดของเกรน

ผลกระทบจากกรรมวิธีในการเชื่อม เนื่องจากกรรมวิธีการเชื่อมแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันในด้าน Heat input ซึ่งกรรมวิธีการเชื่อมใดมี Heat input สูงจะได้เกรนที่มีขนาดโต เนื่องจากมีอัตราการเย็นตัวช้า ทำให้ HAZ ได้รับความร้อนสูงไปด้วย และมีความกว้างมาก จะพบกับการเชื่อมที่มีความหนามาก ๆ และกระบวนการเชื่อมที่มี Heat input สูง เช่น กรรมวิธีการเชื่อมแบบ Electro slag welding (ดังแสดงในรูปที่2.15)



รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของกรรมวิธีการเชื่อม กับอุณหภูมิ เวลา และขนาดของเกรน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของกรภัทร์ จุ้ยยิ้ม [1] ได้ศึกษาอิทธิพลของพาลามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 กับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง พบว่าบริเวณผลกระทบร้อนของโลหะงานทั้งสองด้านมีเกรนหยาบ การเติบโตของเกรนกระจายไปในทุกทิศทาง เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างของเนื้อโลหะงานที่ไม่ได้รับผลกระทบร้อนซึ่งมีเกรนละเอียดสม่ำเสมอและมีทิศทางของเกรนอยู่ในแนวรีด ตามการผลิตเหล็กรีดร้อน โครงสร้างจุลภาคโลหะงานด้านเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางบริเวณผลกระทบร้อนปรากฏเป็นโครงสร้างเพิร์ลไลท์ ในส่วนของโครงสร้างจุลภาคเนื้อเชื่อม มีโครงสร้างสลับเฟอร์ไรท์ ออสเทนไนท์ และเพิร์ลไลท์ และโครงสร้างจุลภาคโลหะงานด้านเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 บริเวณผลกระทบร้อนปรากฏโครงสร้างออสเทนไนท์ และไม่พบแนวโครงสร้างมาร์เทนไซท์บริเวณผลกระทบร้อน และ เขตการหลอมละลายตามแนวรอยต่อเชื่อมทั้งสองด้าน

จากการศึกษาของ A.Alorarier ,R. Ibrahim ,P. Thomson [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการหลีกเลี่ยงการให้ความร้อนภายหลังจากกระบวนการเชื่อม FCAW. พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกันของเนื้อแนวเชื่อมที่ Overlap กันประสิทธิภาพของความแข็งและโครงสร้างจุลภาคของ HAZ ซึ่งได้มีการตรวจสอบผลลัพธ์แสดงว่า โครงสร้างจุลภาคที่ดีกว่า และค่าความแข็งที่ต่ำกว่า เมื่อผ่านการเชื่อมแบบ FCAW ช่วง 50% - 70% ที่ Overlap กับแนวเชื่อม เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้งาน

จากการศึกษาของ จักรพันธ์ จ๊อดจินดา และอรรถพล แจ่มใส [6] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของแนวเชื่อมโดยใช้กระบวนการเชื่อมแบบ MAG พบว่า ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีค่าแรงดึงแนวเชื่อมสูงที่สุดความแข็งของแนวเชื่อมเกย คือ การเกยทับกันของแนวเชื่อมที่ 50 เปอร์เซ็นต์ 2. กระแสไฟฟ้าที่ 105 แอมแปร์ 3. แรงดันไฟฟ้าที่ 24 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อมที่ 40 เซนติเมตรต่อนาที จะได้ผลค่าแรงดึงของแนวเชื่อมที่ 567.10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

จากการศึกษาของ อนุสิทธิ์ อ่ำไพบูลย์ [13] ได้ศึกษาเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการเชื่อมแบบแม็ก สำหรับเหล็ก เอสที 37โดยแต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 2 ระดับ เพื่อกรองปัจจัย 5 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟ แรงดันไฟเชื่อม ความเร็วเชื่อม มุมหัวเชื่อม และแก๊สคลุม ให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านแรงดึงของตะเข็บเชื่อม วิธีการทดลอง โดยใช้เครื่องเชื่อม HOBART รุ่น RC-304 ใช้ลวดเชื่อมรหัส ER70S-6 ขนาด 1.0 มม.ทำการเชื่อมเหล็ก ST 37 เชื่อมทางตรง และทดสอบหาคุณภาพทางกลด้วยการทดสอบค่าความต้านแรงดึง ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าค่าที่เหมาะสม คือ กระแสไฟเชื่อม เท่ากับ 220 แอมแปร์ แรงดันไฟเชื่อม เท่ากับ 30โวลต์ ความเร็วในการเชื่อม เท่ากับ 10 นิ้วต่อนาที มุมหัวเชื่อม เท่ากับ 75 องศา แก๊สคลุมแนวเชื่อม เท่ากับ 10 ลิตรต่อนาที ซึ่งได้ค่าแรงดึงสูงสุด คือ 6040 Kgf.

จากการศึกษาของ ไพบูลย์ หาญมนต์ [14] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาอิทธิพลความร้อนในงานเชื่อมที่มีผลต่อการหลอมลึก ความกว้าง ความสูง และบริเวณกระทบร้อน ของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม โดยการเชื่อมมิก พบว่าแนวเชื่อมที่ได้รับความร้อนในงานเชื่อม (Heat Input) สูงขึ้น จะได้ค่าการหลอมลึกเพิ่มมากขึ้น ให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อมกว้างมากขึ้น ให้ค่าความสูงของแนวเชื่อมต่ำลง และทำให้บริเวณกระทบร้อน (HAZ) มีค่าความกว้างและความแข็งเพิ่มมากขึ้น

จากการศึกษาของ ปริญญา แสงทอง [15] ได้ศึกษาผลการแปรพารามิเตอร์ การเชื่อม MIG ต่อโครงสร้างและสมบัติของงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อ ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด คือกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและแก๊สอาร์กอน ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว คือกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและแก๊สอาร์กอน ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก

จากการศึกษาของ กิตติ ภัทรชัยยาคุปต์ [16] ได้ศึกษาการออกแบบกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งในงานซ่อมบำรุงเชิงแก้ไข พบว่ากระบวนการเชื่อมที่เหมาะสมกับการเชื่อมพอกผิวแข็งคือ การใช้ไฟฟ้ากระแสตรง โดยให้ลวดเชื่อมเป็นขั้วบวก ใช้ระดับกระแสไฟฟ้าตามข้อแนะนำของลวดเชื่อม โดยก่อนทำการเชื่อมควรให้ความร้อนที่ 170 ให้ความร้อน 350 หลังทำการเชื่อม และอบคลายเครียดชิ้นงานที่อุณหภูมิ 570 นาน 2 ชั่วโมง ค่าความแข็งที่ได้จากกระบวนการเชื่อมดังกล่าวเท่ากับ 22.18 HRC ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความแข็งที่ควรได้จากลวดเชื่อมพอกผิวแข็งที่ใช้ในการทดลองมากที่สุด

จากการศึกษาของ สุริยา เห้าชุน, ธนพล เยือกเย็น, เชาวลิต บำรุงภักดิ์ [17] ได้ศึกษาวิธีการเชื่อมซ้อนแนว ด้วยวัสดุ S50C ใช้กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลั๊กซ์ (Shield Metal Arc Welding) ทำการเชื่อมซ้อนแนวจำนวน 2 แนว พบว่าค่าความแข็งของแนวเชื่อมมีความแข็งมากที่สุดอยู่ในช่วง 80 % มีค่าความแข็งประมาณ 329.5 HV แต่เมื่อมองถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้นจากการตกแต่งผิวแนวเชื่อม ควรที่จะใช้การเชื่อมซ้อนแนวในช่วงประมาณ 50%-60% ที่มีค่าเฉลี่ยของความแข็งที่ประมาณ 310.4 HV และที่สำคัญค่าความแข็งมีความแตกต่างจากช่วงของการเชื่อมซ้อนแนว 80 ไม่มาก

จากการศึกษาของ มุยส์ ยูนุส โมกุล [18] ได้ศึกษาการลดความเค้นในเหล็กกล้าผสมต่ำ A516 Gr70 ด้วยเทคนิคการเชื่อมแบบเทมเปอร์บีด (Temper Bead) ด้วยวิธีการเชื่อมที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1) แบบเต็มแนวเชื่อม (Full Bead) 2) แบบแนวเชื่อมและอบคายความเค้น (Post Weld Heat Treatment) และ 3) แบบเทมเปอร์บีด (Temper Bead) พบว่าการเชื่อมแบบเทมเปอร์บีด มีค่าความเค้นตกค้างทิศขนานแนวเชื่อมในบริเวณแนวเชื่อมและวัสดุเดิมน้อยกว่าเชื่อมแบบเต็มแนวเชื่อมแต่มากกว่าแบบ

เต็มแนวและอบคายความเค้น ในบริเวณที่ได้รับผลจากการเชื่อมมีความเค้นตกค้างมากกว่าทั้งแบบเต็มแนวเชื่อมและแบบเต็มแนวและอบคายความเค้น ส่วนในทิศขวางแนวเชื่อมพบว่าการเชื่อมด้วยกรรมวิธีเทมเปอร์บีด (Temper Bead) มีค่าความเค้นตกค้างมากกว่าแบบเต็มแนวเชื่อมและมากกว่าแบบเต็มแนวเชื่อมและอบคายความเค้นในทั้ง 3 บริเวณจากผลการทดลองจึงไม่สามารถสรุปโดยชัดเจนได้ว่ากรรมวิธีการเชื่อมแบบเทมเปอร์บีด (Temper Bead) ลดความเค้นตกค้างที่เกิดจากการเชื่อมได้ แต่ทำให้เกิดกระบวนการ Grain refining ที่ทั่วถึงอันเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลโดยรวมของรอยเชื่อมต่อ

จากการศึกษาของ Z. Sterjovski, D.P. Dunne และS. Ambrose. [19] ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมก่อนและหลังทำกรรมวิธีทางความร้อนภายหลังการเชื่อม(Post Weld Heat Treatment) พบว่าความแข็งและความเค้นตกค้างบริเวณพื้นผิวจะลดหลังจากการทำกรรมวิธีทางความร้อนภายหลังการเชื่อม

จากการศึกษาของ H.W. Lee และ S.W. Kang [20] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นตกค้างและรายแตกขวางแนวเชื่อมแผ่นเหล็กหนาโดยใช้วิธีการเชื่อมแบบ Flux Cored Arc Welding (FCAW) และวิธีการเชื่อมแบบ Submerged Arc Welding (SAW) พบว่าการเชื่อมแบบซ้อนแนว (multipass welding) จะทำให้เกิดความเค้นตกค้างที่ไม่สม่ำเสมอ และเกิดรอยแตกร้างตามขวางแนวเชื่อมจะเกิดในบริเวณที่มีความเค้นตกค้างปริมาณมากและไม่จำเป็นต้องเกิดจากของผลึก (grain boundary) ของ ferrite

จากการศึกษาของ Baldev Raj และ T. Jayakumar [21] ได้ศึกษาวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลาย (Non Destructive Examination) ต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ถึงตำหนิ ความเค้น หรือโครงสร้างจุลภาคของวัสดุสำหรับภาชนะความดัน (pressure vessel) และท่อ พบว่าสามารถใช้วิธีการ X-Ray Diffaction (XRD) หรือ Magnetic Berkhausen Noise (MBN) หรือ Acoustic Berkhausen Noise (ABN) ในการวัดความเค้นตกค้างได้ และนอกเหนือจากการศึกษาถึงการวัดค่าความเค้นตกค้างแล้วยังสามารถนำผลที่ได้นี้ไปเป็นข้อมูลสนับสนุนต่อข้อกำหนดของ American Socity of Machanical Engineers code ในการเชื่อมซ่อมด้วยวิธีการ Temper bead หรือ Butter bead โดยงดเว้นการทำกรรมวิธีทางความร้อนภายหลังการเชื่อม (PWHT) ได้อีกด้วย