

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steels) หมายถึงเหล็กกล้าที่ผสมโครเมียมอย่างน้อย 10.5 % ทำให้มีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อน โดยเหล็กกล้าไร้สนิมจะสร้างฟิล์มของโครเมียมออกไซด์ที่บางและแน่นที่ผิวเหล็กกล้า ซึ่งจะปกป้องเหล็กกล้าจากบรรยากาศภายนอก[4]

กลุ่มต่างๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างจุลภาคได้เป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้ [5]

2.1.1 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic Grade) ที่ใช้กันมากจะผสมโครเมียม (Cr) ประมาณ 12% หรือ 17% (ช่วงของส่วนผสมของ Cr +/-1%) มีนิเกิลน้อยมาก (ติดมากับวัตถุดิบ) เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะมี 5 โครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์และมีคุณสมบัติที่แม่เหล็กสามารถดูดติดได้ มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) และค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ปานกลาง มีค่าความยืด (Elongation) สูง เช่น เกรด 430, 409 เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเฟอร์ริติกมีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มออสเทนนิติก แต่อาจพบปัญหาเรื่องเกรนหยาบ (Grain Coarsening) และสูญเสียความแกร่ง (Toughness) หลังการเชื่อม การใช้งาน เช่น ชิ้นส่วนเครื่องซักผ้า ชิ้นส่วนระบบท่อไอเสียและในบางเกรดจะผสมโครเมียมสูงเพื่อใช้กับงานที่ต้องทนอุณหภูมิสูง [6]

2.1.2 เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic Grade) ที่ใช้กันมากจะผสมโครเมียมประมาณ 17% (ช่วงของส่วนผสมของ Cr +/-1%) และนิเกิล (Ni) ประมาณ 9% (ช่วงของส่วนผสมของ Ni +/-1%) การผสมนิเกิลทำให้เหล็กกลุ่มนี้ต่างจากกลุ่มเฟอร์ริติก โดยนิเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนและทำให้โครงสร้างจุลภาคเป็นออสเทนไนต์ เหล็กกลุ่มนี้บางเกรดจะผสมโครเมียมและนิเกิลเพิ่มเพื่อให้สามารถทนต่อการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้สามารถใช้เป็นส่วนประกอบของเตาหลอม เหล็กกลุ่มออสเทนนิติกนี้จะทนทานต่อการกัดกร่อนดีกว่าเหล็กกลุ่มเฟอร์ริติก ในด้านคุณสมบัติเชิงกล เหล็กกลุ่มออสเทนนิติกจะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield Strength) ใกล้เคียงกับของกลุ่มเฟอร์ริติก แต่จะมีค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และค่าความยืด (Elongation) สูงกว่าจึงสามารถขึ้นรูปได้ดีมาก เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กไม่ดูดติด (ในสภาพผ่านการอบอ่อน) เช่น เกรด 304, 316L, 321, 301 การใช้งาน เช่น หม้อช้อน ถาด

2.1.3 เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก (Martensitic Grade) จะผสมโครเมียมประมาณ 11.5-18% เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีคาร์บอนพอสมควรและสามารถชุบแข็งได้ เหล็กกล้ากลุ่มนี้มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) และความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) สูงมาก แต่จะมีค่าความยืด (Elongation) ต่ำ เช่น เกรด 420 การใช้งาน เช่น ใช้ทำเครื่องมือตัด ชิ้นส่วนมิด

2.1.4 เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (Duplex Grade) จะมีโครงสร้างผสมระหว่างออสเทนไนต์และเฟอร์ไรต์ มีโครเมียมผสมประมาณ 21-28% และนิเกิลประมาณ 3-7.5% เหล็กกล้ากลุ่มนี้จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดครากสูงและค่าความยืดสูง จึงเรียกได้ว่ามีทั้งความแข็งแรงและความเหนียว (Ductility) สูง เช่น เกรด 2204, 2205, 2507 [6]

2.1.5 เหล็กกล้าไร้สนิมอบชุบแข็งด้วยการตกผลึก (Precipitation-Hardening Grade) มีโครเมียมผสมประมาณ 15-18% และนิกเกิลอยู่ประมาณ 3-8% เหล็กกล้ากลุ่มนี้สามารถทำการชุบแข็งได้ จึงเหมาะสำหรับทำแกน ปัม หัววาล์ว ตัวอย่างเกรดของเหล็กกลุ่มนี้ เช่น PH13-9Mo, AM-350 [7]

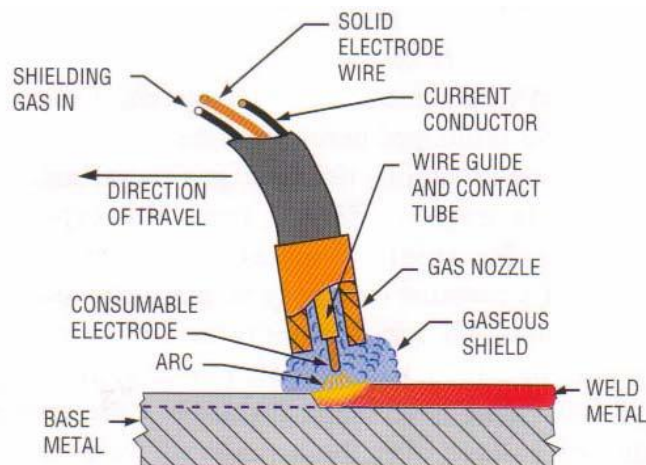
2.2 การเชื่อม GMAW

การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม เป็นการเรียกชื่อโดยรวมและจะใช้ชื่อแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของแก๊สคลุม เช่น การเชื่อมมิก (Metal Inert Gas Arc Welding: MIG) จะใช้แก๊สอาร์กอน (Ar) แก๊สฮีเลียม (He) หรือแก๊สผสมระหว่างอาร์กอนและฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมขณะเชื่อม การเชื่อมแม็ก (Metal Active Gas Arc Welding: MAG) เป็นการพัฒนาโดยการนำเอาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สอื่นๆ มาผสมกับแก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สคลุมขณะเชื่อม ส่วนการเชื่อม CO₂ คือการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สคลุมขณะเชื่อมเพียงอย่างเดียว [2]

กรรมวิธีการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม ลวดเชื่อมจะถูกหลอมเหลวและเติมเนื้อโลหะเชื่อมเหมือนกับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ทั่วไป เพียงแต่การเชื่อมแบบ GMAW จะใช้แก๊สคลุมขณะเชื่อมแทนการใช้ฟลักซ์ ดังนั้น จึงไม่มีสเกลปกคลุมภายหลังการเชื่อม โดยกระแสเชื่อมจากเครื่องเชื่อมจะถูกส่งไปสู่ท่อนำลวดภายในหัวเชื่อม ผ่านไปยังลวดเชื่อมสู่ชิ้นงาน ลวดเชื่อมจะทำหน้าที่เป็นตัวอาร์คและหลอมละลายรวมกับชิ้นงานเป็นการเติมเนื้อโลหะชุดป้อนลวดจะหน้าที่ขับเคลื่อนลวดเชื่อมไปสู่การอาร์คด้วยอัตราความเร็วที่สัมพันธ์กับการหลอมละลายของลวดเชื่อมด้วยชุดควบคุมกระแสเชื่อมของเครื่องเชื่อม

2.2.1 การอาร์ค (Arc)

ในกรรมวิธีการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม ความร้อนที่หลอมลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานจะเกิดจากการอาร์คระหว่างปลายลวดเชื่อมเคลื่อนที่กับชิ้นงานเชื่อมการอาร์คจะเกิดขึ้นได้เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกลุ่มอะตอมของแก๊สที่มีประจุไฟฟ้า (Ionized Gas) โมเลกุลและอะตอมของแก๊สจะแตกตัวออกทำให้มีสภาพไม่เป็นกลาง (Ionized) เพราะสูญเสียอิเล็กตรอนไปจากประจุไฟฟ้าบวก (Positive Charge) อีออนแก๊สที่เป็นบวกจะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ส่วนอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ปริมาณความร้อนประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ จะถูกส่งผ่านโดยอิเล็กตรอนและคงจะเป็นการส่งผ่านของอีออนบวก (Positive Ion) ความร้อนจากการอาร์คจะหลอมลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงาน ปลายลวดเชื่อมส่วนที่หลอมจะถูกถ่ายโอน (Transfer) ผ่านการอาร์คเข้าสู่บ่อหลอมเหลว บริเวณกระแทกและลวดเชื่อมจะถูกปกคลุมให้พ้นจากบรรยากาศรอบนอก โดยแก๊สที่ไหลพุ่งออกจากหัวเชื่อม แสดงในรูปที่ 2.1 ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการอาร์คของกระบวนการเชื่อมนี้จะสูงกว่าการเชื่อมอาร์คแบบอื่นๆ

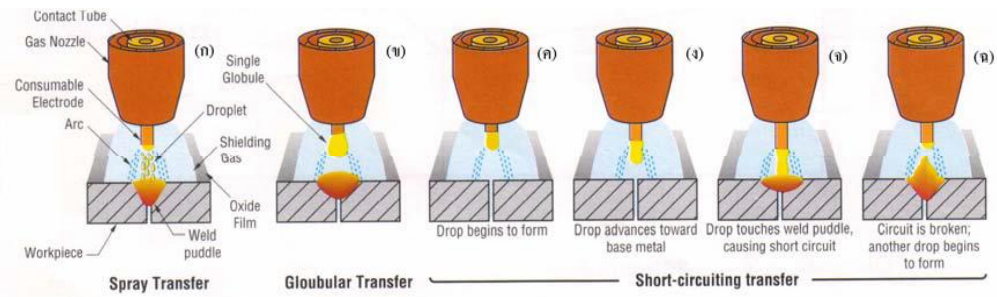


รูปที่ 2.1 การอาร์คของการเชื่อมแบบ GMAW [2]

2.2.2 การถ่ายโอนโลหะ (Metal Transfer)

การถ่ายโอนโลหะ หมายถึง การที่โลหะหลวดยึดเป็นหยดและหลุดออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านการอาร์คเข้าสู่บ่อหลอมละลายบนโลหะชิ้นงาน ซึ่งการถ่ายโอนให้ได้หยดของโลหะจะเกิดจากแรงที่กระทำต่อหยดโลหะที่ปลายลวดเชื่อม โดยปฏิกริยารวมกันระหว่างแรงและส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม ชนิดของแก๊สคลุม กระแสเชื่อม แรงดันเชื่อม และขนาดของลวดเชื่อม โดยแรงที่กระทำต่อหยดโลหะ เช่น แรงตึงผิว (Surface Tension) พลาสมาอาร์ค (Plasma Arc) ความเร็ว (Velocity) แรงโน้มถ่วง (Gravity) แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnetic Force) และพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จะเป็นตัวกำหนดลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะที่แตกต่างกันออกไป ทำให้เกิดรูปแบบการถ่ายโอนโลหะลักษณะต่างๆ ดังนี้

ก) การถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์ (Spray Transfer) กระบวนการถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์จะเกิดจากการหลอมของปลายลวดเชื่อมเป็นหยดโลหะขนาดเล็ก วงรอบการถ่ายโอนจะเริ่มขึ้นเมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมละลายแล้วก่อตัวเป็นหยดโลหะขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อม หยดโลหะจะเร็วเล็กลงตรงส่วนที่ต่ออยู่ระหว่างปลายลวดเชื่อมและหยดโลหะนี้จะถูกแยกตัวหรือถูกบีบให้หลุดออก (Pinched-Off) จากปลายลวดเชื่อมด้วยแรงแม่เหล็กไฟฟ้า หยดโลหะถูกถ่ายโอนอย่างรวดเร็วผ่านพลาสมาอาร์คลงสู่บ่อหลอมเหลวอย่างคงที่และต่อเนื่องตลอดเวลาที่กระแสเชื่อมยังไหลผ่านลวดเชื่อมอยู่ ปริมาณหยดโลหะที่ถ่ายโอนอาจต่ำกว่าหรือสูงกว่าเป็นหลายร้อยหยดในเวลาหนึ่งวินาที กระบวนการถ่ายโอนแบบสเปรย์ต้องใช้ความเข้มของกระแสสูง เพื่อลวดเชื่อมจะได้หลอมเป็นหยดขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมอย่างรวดเร็ว หยดที่มีขนาดเล็กนี้จะไม่มีส่วนต่อเสถียรภาพของอาร์ค การไหลพุ่งของหยดโลหะจึงเป็นเส้นตรงจากศูนย์กลางปลายลวดเชื่อมสู่บ่อหลอมละลาย ทำให้กำหนดทิศทางการถ่ายโอนได้ตามต้องการ ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่งานสูงแม้ลวดเชื่อมจะมีขนาดใหญ่ก็สามารถหลอมเป็นหยดขนาดเล็กได้ทันที ส่งผลให้เกิดการหลอมลึกของแนวเชื่อมมาก แสดงในรูปที่ 2.2 (ก)



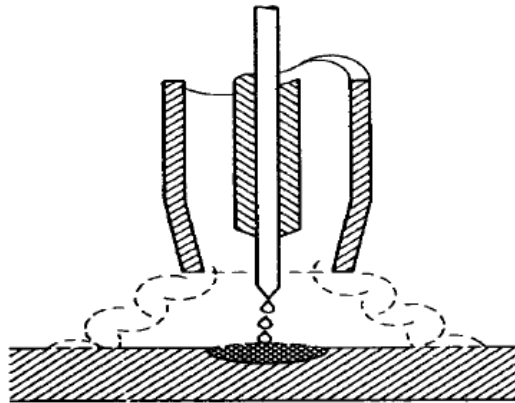
รูปที่ 2.2 การถ่ายโอนโลหะแบบต่างๆ [2]

ข) การถ่ายโอนโลหะแบบหยด (Globular Transfer) วงรอบของการถ่ายโอนจะเริ่มเมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมเหลวให้เป็นหยดโลหะ จากนั้นเกิดการก่อตัวเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมประมาณ 1.5 ถึง 2 เท่า ก่อนจะหลุดจากปลายของลวดเชื่อมแล้วถ่ายโอนผ่านการอาร์คสู่บ่อหลอมละลายด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ซึ่งจะทำให้อัตราการเติมเนื้อโลหะมาก และมีความร้อนสูงกว่าการถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร การถ่ายโอนโลหะแบบหยดสู่บ่อหลอมเหลวจะใช้แรงโน้มถ่วงมากกว่าแรงที่เกิดจากการอาร์ค ดังนั้น กระบวนการถ่ายโอนแบบนี้จึงเหมาะกับการเชื่อมที่ไม่ต้องการงานเชื่อมคุณภาพสูง มีขอบเขตใช้งานจำกัดเพราะปริมาณความร้อนเข้างานต่ำ สามารถทำการเชื่อมได้ดีกับงานที่อยู่ในแนวราบและแนวระดับ ใช้ระดับกระแสและแรงดันเชื่อมสูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ข)

ค) การถ่ายโอนแบบลัดวงจร (Short Circuit Transfer) วงรอบการถ่ายโอนจะเกิดขึ้นเมื่อปลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานถูกทำให้เกิดการอาร์คขึ้น และมีอุณหภูมิสูงพอที่จะหลอมปลายลวดเป็นหยดโลหะขนาดเล็ก ขณะเดียวกันลวดเชื่อมจะถูกป้อนเข้าสู่บ่อหลอมเหลวด้วยอัตราเร็วสูงทำให้หยดโลหะบนปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมเหลวก่อนจะแยกออกจากปลายลวดเชื่อม ทำให้เกิดการลัดวงจรไฟฟ้า (Short Circuit) โดยที่การอาร์คจะดับไปชั่วขณะจังหวะที่ลัดวงจรอยู่นี้กระแสจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ปลายลวดเชื่อมที่หลอมเป็นหยดจะถูกบีบรัดออกแล้วถ่ายโอนสู่บ่อหลอมเหลวด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ซึ่งหยดโลหะที่ปลายลวดเชื่อมจะเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างช่องว่างปลายลวดเชื่อมกับบ่อหลอมเหลว เมื่อหยดโลหะหยดแรกหลุดจากปลายลวดเชื่อมแล้วก็จะเริ่มต้นอาร์คใหม่อีกครั้งหนึ่ง สภาวะอย่างนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันไปอย่างรวดเร็วมาก คือ มีความถี่ของการลัดวงจรราว 20 ถึง 200 ครั้งต่อวินาที กระแสและแรงดันเชื่อมจะตั้งอยู่ในช่วงต่ำจึงมีปริมาณความร้อนเข้าสู่งานน้อย สามารถใช้ลวดเชื่อมขนาดเล็กได้ งานเชื่อมบิดตัวน้อย รอยหลอมทะเล้นและประกายโลหะกระเด็นไม่มาก แสดงในรูปที่ 2.2 (ค)-(ง)

ง) การถ่ายโอนแบบพัลส์ (Pulse Spray Transfer) เป็นกระบวนการที่พัฒนามาแทนการถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์เพราะมีข้อจำกัดการใช้งาน แต่ยังคงรักษาการถ่ายโอนที่เป็นลักษณะแบบสเปรย์อยู่ การพัลส์ของกระแสเชื่อมจากระดับต่ำสุดถึงระดับสูงสุดที่ 60 ไซเคิลต่อวินาทีที่จังหวะการพัลส์แต่ละครั้งจะทำให้ปลายลวดเชื่อมเป็นหยดโลหะได้ 1 หยด และจะถ่ายโอนผ่านอาร์คสู่บ่อหลอมเหลวด้วยความถี่สม่ำเสมอต่อเนื่องกัน ระดับกระแสต่ำสุดจะตั้งในช่วงการถ่ายโอนแบบละออง การถ่ายโอนหยดโลหะจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสพัลส์ถึงระดับสูงสุด หลังจากถ่ายโอนหยดโลหะแล้วกระแสจะลดลงต่ำสุดตามที่ตั้งไว้ กระแสต่ำจะช่วยคงให้การอาร์คเกิดอยู่ตลอดเวลาช่วงจังหวะนี้การถ่ายโอนโลหะไม่

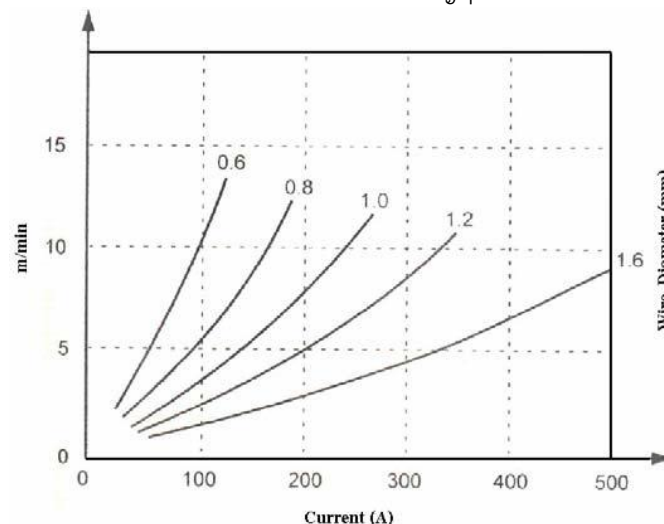
เกิดขึ้น การพัลส์ของกระแสสูงแล้วต่ำลงจะมีผลต่อการควบคุมปริมาณความร้อนเข้าสู่งานเชื่อม โดยความร้อนเฉลี่ยจะต่ำกว่าการถ่ายโอนแบบละออง จึงเหมาะกับการเชื่อมงานในทุกตำแหน่งท่าเชื่อม งานบัดตั๋วน้อย สามารถใช้ลวดเชื่อมขนาดใหญ่ได้ และการถ่ายโอนหยดโลหะผ่านการอาร์คยังคงเป็นหยดขนาดเล็กอยู่ จึงประหยัดกว่าการใช้ลวดเชื่อมขนาดเล็ก แสดงในรูปที่ 2-3



รูปที่ 2.3 การถ่ายโอนโลหะแบบพัลส์ [2]

2.3 กระแสเชื่อม (Welding Current)

กระแสเชื่อม คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องเชื่อมผลิตออกมา ซึ่งสามารถอ่านได้โดยตรงจากแอมป์มิเตอร์ของเครื่องเชื่อม ในกระบวนการเชื่อมมิก/แม็ก กระแสเชื่อมจะสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วของการป้อนลวด (Wire Feeder) ถ้าป้อนลวดเร็วขึ้นกระแสเชื่อมที่ผลิตออกมา ก็จะมากขึ้นด้วย แต่ถ้าป้อนลวดช้าลงกระแสเชื่อมก็จะลดลงเช่นกัน แสดงในรูปที่ 2.4 โดยในกระบวนการเชื่อมดังกล่าว สามารถแบ่งชนิดของกระแสเชื่อม เป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทดังนี้



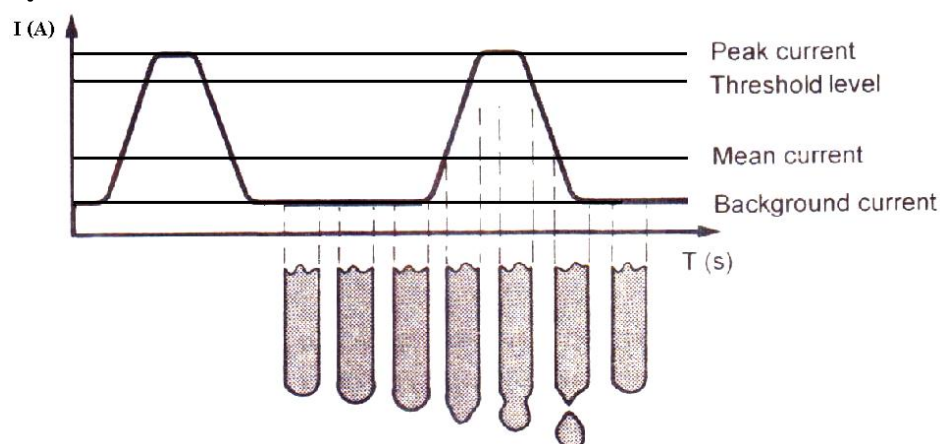
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเชื่อมกับความเร็วในการป้อนลวด [2]

2.3.1 กระแสเชื่อมแบบมาตรฐาน (Standard Arc Current)

กระแสเชื่อมแบบมาตรฐาน เป็นลักษณะของกระแสเชื่อมโดยทั่วไป ซึ่งกระแสในขณะเชื่อมโดยเฉลี่ยตลอดการเชื่อมจะมีค่าคงที่ สำหรับกระบวนการเชื่อมแม็ก กระแสเชื่อมจากเครื่องเชื่อมจะถูกส่งไปสู่ท่อนำลวดภายในหัวเชื่อมผ่านไปยังลวดเชื่อมสู่ชิ้นงาน ซึ่งการกำหนดค่ากระแสในการเชื่อมในทางปฏิบัติ จะนิยมตั้งค่ากระแสเชื่อมโดยพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดที่ใช้เชื่อมหรือจากความหนาของชิ้นงานเชื่อมเป็นหลัก

2.3.2 กระแสเชื่อมแบบพัลส์ (Pulsed Arc Current)

กระแสเชื่อมแบบพัลส์ เป็นกระแสที่เกิดจากการเปิดปิดวงจร (Switching) ระหว่างกระแสต่ำสุดกับกระแสสูงสุด ดังนั้น ในเครื่องเชื่อมตัวเดียวจึงมีต้นกำลังแยกออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่ให้กระแสต่ำสุด (Background Current) และส่วนที่ให้กระแสสูงสุด (Peak Current) เพื่อให้ได้กระแสพัลส์ที่เหมาะสม การตั้งค่ากระแสในการเชื่อมจะต้องตั้งค่ากระแสสูงสุดให้สูงกว่าระดับกระแสช่วงเปลี่ยน (Threshold Level) ของการถ่ายโอนแบบละอองและค่าของกระแสต่ำสุดต้องตั้งในช่วงการถ่ายโอนแบบหยด ในขณะที่อาร์คช่วงกระแสค่าสูงจะเป็นการถ่ายโอนน้ำโลหะให้พุ่งเข้าสู่บ่อหลอมละลายโลหะถูกแรงบีบรัดแยกตัวออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านอาร์คสู่บ่อหลอมเหลวที่วิ่งรอบพัลส์และเกิดขึ้นซ้ำๆ กันอย่างต่อเนื่อง ในช่วงประมาณ 30-300 ครั้งต่อวินาที ลงสู่บ่อหลอมละลาย ส่วนช่วงกระแสค่าต่ำจะเป็นการรักษาการอาร์คให้คงที่และต่อเนื่อง ลักษณะของรูปแบบของกระแสพัลส์แสดงใน รูปที่ 2-5



รูปที่ 2.5 รูปแบบของกระแสเชื่อมแบบพัลส์ [2]

2.4 แก๊สคลุม (Shielding Gas)

ในกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม ขณะที่เกิดการอาร์ค อากาศที่ปกคลุมรอบๆ บริเวณการอาร์คจะถูกแทนที่ด้วยแก๊สคลุมเพื่อป้องกันไม่ให้ แก๊สไนโตรเจน (N) แก๊สออกซิเจน (O₂) และความชื้นในบรรยากาศเข้าไปรวมตัวกับบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อม การเชื่อมเหล็กกล้าที่มีแก๊สออกซิเจนมากเกินไป จะทำให้แก๊สออกซิเจนรวมตัวกับคาร์บอนในเหล็กและจะอยู่ในรูปของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ฝังอยู่ในเนื้อเหล็กทำให้เกิดเป็นรูพรุน ส่วนแก๊สไฮโดรเจน (H₂) จากไอน้ำและน้ำมันจะแทรกอยู่ในเนื้อเหล็กเกิดเป็นรูพรุนหรือเป็นสาเหตุของการแตกร้าวได้แนวเชื่อม ซึ่งจาก

สาเหตุของการรวมตัวของแก๊สดังกล่าวสามารถป้องกันได้โดยใช้แก๊สคลุม โดยแก๊สคลุมที่ใช้ในงานเชื่อมมี 2 กลุ่ม คือ

2.4.1 แก๊สเฉื่อย (Inert Gas)

เป็นแก๊สที่ไม่เกิดปฏิกิริยารวมตัวกับสารอื่น ได้แก่ แก๊สอาร์กอน (Argon: Ar) และแก๊สฮีเลียม (Helium: He) หรือแก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สฮีเลียม แก๊สดังกล่าวสามารถใช้ได้เลยโดยไม่ต้องผสมกับแก๊สอื่น หรืออาจผสมกับแก๊สอื่นเพื่อให้แนวเชื่อมมีสมบัติที่ดีขึ้น

2.4.2 แอคทีฟแก๊ส (Active Gas)

แอคทีฟแก๊ส ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide: CO₂) หรือเป็นแก๊สผสมกันระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแอคทีฟแก๊สบางตัว เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊สไนโตรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือแก๊สไฮโดรเจน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่การเชื่อม 3 ประการ คือ

ก) การทำให้อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าแตกตัวให้อิออน (Ionization Potential) เป็นการสร้างพลังงานที่จำเป็นในการดึงเอาอิเล็กตรอน (Electron) ออกจากอะตอมของแก๊ส (Gas Atom) การแตกตัวให้อิออน ณ อุณหภูมิของการอาร์คจะมีผลต่อการส่งถ่ายพลังงานความร้อน (Heat Energy) ไปยังบริเวณที่เกิดการอาร์คของพลังงาน (Ionization Potential) ที่สูงขึ้น ซึ่งต้องใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงในการทำให้อะตอมของแก๊สแตกตัวให้อิออนมาก ตัวอย่าง กรณีแก๊สฮีเลียมซึ่งมีค่า Ionization Potential 24.5 eV หมายความว่า ต้องใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 24.5 โวลต์ ในการทำให้อะตอมของแก๊สฮีเลียมแตกตัวสูงกว่าแก๊สอาร์กอนซึ่งมีค่า Ionization Potential ที่ 15.7 eV ดังนั้น การใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมจะทำให้เริ่มต้นอาร์คได้ง่ายกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สคลุม

ข) การนำความร้อน (Thermal Conductivity) สำหรับแก๊สคลุมบางชนิดมีความสามารถในการนำความร้อนที่ต่ำ เช่น แก๊สอาร์กอน จะส่งผลทำให้การอาร์คเกิดความเข้มข้นสูงเฉพาะจุดและเป็นบริเวณแคบ ขณะที่แก๊สฮีเลียมมีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดีเลิศ จึงเป็นเหตุให้เปลวอาร์คที่ได้จากการใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมสามารถแผ่ขยายกว้างและในขณะเดียวกันศูนย์กลางของเปลวอาร์คจะเจาะทะลุลงไปยังส่วนล่างของรอยเชื่อม ส่งผลทำให้แนวเชื่อมที่ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สคลุมสามารถหลอมลึกกว่าการใช้แก๊สอาร์กอน

ค) การทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม (Reactivity) แก๊สอาร์กอนจัดเป็นแก๊สเฉื่อย ดังนั้นจึงไม่มีการทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อมแต่อย่างใด แก๊สที่ทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลาย ได้แก่

1. แก๊สไฮโดรเจน (Hydrogen) เป็นแก๊สที่ดึงเอาคาร์บอนให้เกิดขึ้นให้น้อยลงและลดออกไซด์ที่จะไปรวมตัวกับบ่อหลอมละลาย แต่อย่างไรก็ตาม แก๊สไฮโดรเจนถ้าใช้เป็นส่วนผสมของแก๊สคลุมในการเชื่อมเหล็กแข็ง (Hardened Steel) จะส่งผลเสียต่องานเชื่อม เช่น เกิดการแตกร้าวใต้แนวเชื่อม (Under Bead Cracking) ได้ง่าย

2. แก๊สออกซิเจน (Oxygen) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) แก๊สทั้งสองจัดอยู่ในกลุ่มของแก๊สทำปฏิกิริยา (Reactive Gas) เรียกว่า Oxidizers Gas จะทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลายในรูปของออกไซด์ (Oxides)

3 แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นแก๊สที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงและกระแสเชื่อมสูงจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีแต่เนื่องจากไม่ใช่เป็นแก๊สเฉื่อย ดังนั้น ในขณะที่เชื่อมจะทำปฏิกิริยากับเหล็กคาร์บอน (Carbon Steel)

2.4.3 สมบัติของแก๊สคลุม (Properties of Shielding Gas)

โดยทั่วไป แก๊สคลุมที่นำไปใช้ในการเชื่อมจะสมบัติในการนำความร้อนและทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สคลุมกับธาตุต่างๆ ที่ผสมอยู่ในโลหะงานและลวดเชื่อม สรุปได้ดังนี้

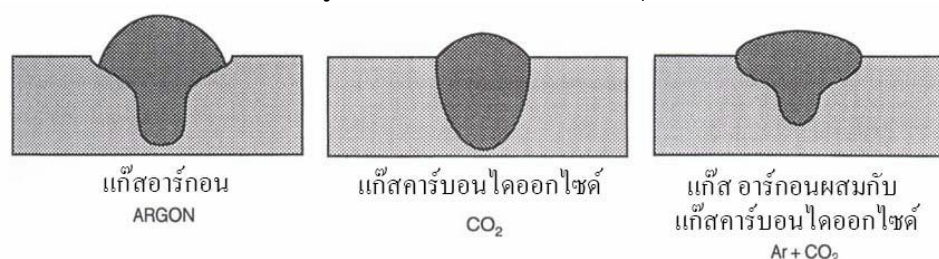
ก) สมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) การนำความร้อนของแก๊สที่อุณหภูมิสูง การอาร์คจะมีผลต่อแรงดันอาร์ค (Arc Voltage) และพลังงานความร้อนที่จ่ายให้กับการเชื่อม กล่าวคือ ขณะที่แก๊สคลุมมีการนำความร้อนเพิ่มขึ้น แรงดันที่ใช้เชื่อมก็ต้องเพิ่มขึ้นด้วยเพื่อให้สามารถรักษาระดับอาร์คได้ เช่น แก๊สฮีเลียมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีการนำความร้อนสูงกว่าแก๊สอาร์กอน จึงมีการถ่ายพลังงานความร้อนให้กับงานเชื่อมมาก ดังนั้นแก๊สฮีเลียมและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จึงต้องมีแรงดันสูงเพื่อรักษาราคให้สม่ำเสมอ

ข) แก๊สที่จะนำมาเป็นแก๊สคลุมจะต้องเข้ากันได้และเหมาะสมกับชนิดของลวดเชื่อมและชิ้นงานเชื่อม เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคลุมที่ผสมด้วยแก๊สออกซิเจน จะไม่ใช่เชื่อมอลูมิเนียม เพราะจะเกิดอลูมิเนียมออกไซด์ขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สผสมด้วยแก๊สออกซิเจนจะใช้กับการเชื่อมเหล็กกล้าได้ดี ในการเชื่อม GMAW แก๊สคลุมที่ผสมกับแก๊สออกซิเจน จะช่วยให้การอาร์คสม่ำเสมอ แก๊สออกซิเจนจะทำหน้าที่ Oxidizing ได้ดีกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้แก๊สออกซิเจนโดยทั่วไปจะผสมกับแก๊สอาร์กอนไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ขณะเดียวกันลวดเชื่อมที่ใช้จะต้องผสมธาตุ (Deoxidizing) ลงไปด้วยเพื่อไม่ให้เกิดรูพรุนกับรอยเชื่อม

ค) รูปแบบของการส่งผ่านน้ำโลหะจะขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สคลุมด้วย กล่าวคือ การเลือกใช้แก๊สคลุมยังขึ้นอยู่กับรูปแบบของการถ่ายโอนโลหะและการหลอมลึก เช่นการถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์จะไม่เกิดขึ้นเมื่อใช้แก๊สคลุมที่ผสมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร เพียงแต่จะเกิดการถ่ายโอนโลหะที่คล้ายกับการถ่ายโอนโลหะแบบสเปรย์ และเมื่อใช้แก๊สคลุมที่ผสมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในเปอร์เซ็นต์สูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร จะต้องใช้กระแสและแรงดันเพิ่มมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถรักษาราคให้คงที่และสม่ำเสมอได้ ส่งผลให้แนวเชื่อมไม่เรียบและมีเมตโลหะเกิดขึ้นมาก

2.4.4 ชนิดของแก๊สคลุม (Type of Shielding Gas)

โดยทั่วไป กระบวนการเชื่อมแบบอาร์ค (Arc Welding) มีหลายกระบวนการเชื่อมที่ต้องใช้แก๊สคลุมในขณะที่เชื่อม สำหรับแก๊สคลุมที่มีใช้ในเมื่องไทยนั้นมีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้ทำการวิจัยได้เลือกใช้แก๊สคลุมสำหรับการทดลอง 3 ชนิด ดังนี้



รูปที่ 2.6 รูปร่างของรอยเชื่อมจากการใช้แก๊สคลุมที่แตกต่างกัน [4]

ก) แก๊สอาร์กอน (Argon) มีความหนาแน่น 1.665 กก./ลบ.ม. ผลิตได้จากอากาศที่มีอยู่ในบรรยากาศประมาณ 0.9 เปอร์เซ็นต์ แก๊สอาร์กอนเป็นอออนไนส์แก๊สที่ดี มีน้ำหนักมากกว่าอากาศสามารถผลิตได้โดยการแยกอากาศเหลว ลักษณะแก๊สจะมีในรูปแบบของแก๊สเหลวและแก๊สถึง การเก็บแก๊สอาร์กอนเหลวจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -184 องศาเซลเซียสเล็กน้อย สามารถใช้เป็นแก๊สคลุมได้ทั้งในสภาพบริสุทธิ์และผสมกับแก๊สอื่นๆ เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการเหมาะสำหรับใช้เชื่อมโลหะเหล็กและโลหะนอกกลุ่มเหล็ก ลักษณะของเปลวอาร์คที่เกิดขึ้นจะเรียบนิ่งและพุ่งเป็นลำตรงทำให้ได้แนวเชื่อมที่แคบแต่ลึก ให้รูปร่างการหลอมลึกเหมือนแก้วไวน์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะจะเป็นได้ทั้งแบบสเปรย์และแบบพัลส์ ดังนั้นจึงช่วยให้การเชื่อมไม่มีเม็ดโลหะกระเด็น

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของแก๊สอาร์กอนเมื่อเทียบกับแก๊สฮีเลียม [2]

ข้อดี	ข้อเสีย
1) การอาร์คเสียงเงียบและสม่ำเสมอ 2) เริ่มต้นอาร์คกระทำได้ง่าย มี Ionization Potential 15.7 eV 3) ใช้แรงเคลื่อนอาร์คต่ำและระยะอาร์คสั้น ให้ผลดีกับการเชื่อมโลหะบาง 4) ให้ปฏิกิริยาทำความสะอาดได้ดีซึ่งเหมาะที่จะนำไปเชื่อมโลหะประเภทอลูมิเนียมและแมกนีเซียม 5) ใช้อัตราการไหลแก๊สต่ำเนื่องจากแก๊สหนักกว่าอากาศ 1.4 เท่า 6) ราคาถูกและหาได้ง่าย 7) มีความต้านทานต่อการเป่าของอากาศ 8) เหมาะสำหรับการเชื่อมโลหะต่างชนิด 9) ควบคุมบ่อหลอมละลายได้ง่ายเมื่อเชื่อมทำเหนือศีรษะและทำตั้ง 10) ลดการเกิดโอโซนซึ่งเป็นมลพิษต่อสภาพแวดล้อม	ไม่เหมาะในการนำไปใช้สำหรับงานเชื่อมที่มีความหนาแน่นมาก

ข) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) มีความหนาแน่น 1.849 กก./ลบ.ม. เป็นแก๊สที่ให้ความร้อนได้สูงมากในบริเวณขอบรอบนอกของเปลวอาร์ค เมื่อสัมผัสกับแกนนำของกระแสจะช่วยให้เกิดพลังที่เข้มข้นสูงขึ้น มีผลทำให้เกิดการหลอมลึกได้สูง และจะเกิดการแตกตัวเมื่ออยู่ภายใต้เปลวอาร์ค และถึงแม้ว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นแอคทีฟแก๊สที่ให้แก๊สออกซิเจน แต่คุณภาพรอยเชื่อมที่ได้จะมีความสมบูรณ์ปราศจากรูพรุนและตำหนิ โดยปกติแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะนิยมใช้ในการเชื่อมแบบแม็กซี (MAG-C) หรือใช้ผสมกับแก๊สเฉื่อย เช่น แก๊สอาร์กอนเรียกว่าการเชื่อมแบบแม็กเอ็ม (MAG-M) เพื่อนำไปใช้สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าคาร์บอนผสมต่ำ เนื่องจากเป็นแก๊สที่หาง่าย ราคาถูก คุณภาพรอยเชื่อมดีและติดตั้งง่าย แต่ประสิทธิภาพของการเติมเนื้อโลหะของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะต่ำ เพราะเกิดการสูญเสียไปเป็นเม็ดโลหะ ซึ่งจะส่งผลถึงต้นทุนราคารวมทั้งหมดเมื่อเชื่อมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับงานที่ต้องการสมบัติทนต่อแรง

กระแทกสูงการใช้แก๊สอาร์กอนผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเหมาะสมกว่าใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดเดียว

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ [2]

ข้อดี	ข้อเสีย
1) ให้การหลอมลึกของแนวเชื่อมดี 2) เชื่อมด้วยความเร็วสูงได้	1) เกิด Oxidation ทำลายคุณสมบัติของแนวเชื่อมและไม่เหมาะสมสำหรับเชื่อมวัสดุที่นอกเหนือจากเหล็กกล้า 2) เชื่อมค่อนข้างยากกว่าเมื่อเทียบกับแก๊สอาร์กอน 3) เกิดเม็ดโลหะกระเด็นมากทำให้สิ้นเปลืองลวดเชื่อม 4) มีผลต่อการเกิดโอโซนซึ่งจะเป็นมลพิษต่อสภาพแวดล้อม

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแก๊สที่มีคุณสมบัติไม่ติดไฟ ไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่นและไม่มีสี นอกจากนี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังหนักกว่าอากาศประมาณ 1.5 เท่า เกรดของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังสามารถแบ่งออกได้หลายเกรดตามลักษณะส่วนประกอบและความบริสุทธิ์ได้แก่ เกรดอาหาร (Food Grade) เกรดการแพทย์ (Medical Grade) และ เกรดอุตสาหกรรม (Industrial Grade) การต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกใช้งานในแต่ละถังไม่ควรให้มีอัตราการไหลออกจากถังเกิน 25 C.F.H. (12 ลิตร/นาท) ถ้าหากมีความต้องการเกินกว่าที่กำหนดควรใช้ระบบ Manifold หรือใช้ Flow Meter ชนิดมี Heater ให้ความร้อนจะดีกว่า เพราะถ้าหากอัตราการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป จะทำให้เกิดการแข็งตัวของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อุดตันอยู่ที่ Flow Meter หรือดึงเอาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไหลออกมาจากถังบรรจุด้วย

ค) แก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้แก๊สผสมระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีจุดประสงค์สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กคาร์บอนผสมต่ำ เพื่อให้การอาร์คมีความร้อนสูงทำให้กินบริเวณกว้างขึ้น การหลอมลึกมากขึ้น และสามารถช่วยลดการเกิดเม็ดโลหะได้ดีกว่าการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ การผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนเล็กน้อยเข้าไปในแก๊สอาร์กอน จะทำให้ได้คุณสมบัติของการถ่ายโอนแบบสเปรย์ที่เกิดขึ้นเหมือนกับการผสมด้วยแก๊สออกซิเจนลงในแก๊สอาร์กอนจำนวนเล็กน้อย ในกระบวนการเชื่อมแบบ GMAW ที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผสมเข้าไปในแก๊สชนิดอื่น เมื่อกระแสเชื่อมสูงขึ้นเล็กน้อยจะเกิดการถ่ายโอนแบบสเปรย์ที่สม่ำเสมอ การอาร์คนี้ ทำให้มีเม็ดโลหะกระเด็นและเขม่าควันที่เกิดขึ้นในขณะที่เชื่อมน้อย ในการผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกินกว่า 25 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ จะได้การถ่ายโอนแบบสเปรย์ที่ไม่สม่ำเสมอและอาจเกิดเป็นการถ่ายโอนแบบลัดวงจรหรือแบบหยุดแทน

2.5 ลวดเชื่อม (Electrode Wire) [8]

ลวดเชื่อมเป็นหัวใจสำคัญของการเชื่อม MIG ดังนั้นจึงต้องรู้จักเลือก ใช้ลวดเชื่อมให้ถูกต้อง ลวดเชื่อมจะหลอมผ่านเปลวอาร์กไปยังบ่อหลอมละลายเกิดเป็นแนวเชื่อม ลวดเชื่อมที่ผ่านเปลวอาร์ก นั้น จะทำปฏิกิริยากับแก๊สปกคลุมจึงทำให้ส่วนผสมของลวดเปลี่ยนไป และจะเป็นผลต่อคุณสมบัติ ทางด้านกายภาพและทางกลของเนื้อเชื่อมการเลือกลวดเชื่อมจะต้องพิจารณาองค์ประกอบต่อไปนี้

- 1) ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานที่จะนำมาเชื่อม
- 2) คุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่จะนำมาเชื่อม
- 3) ชนิดของแก๊สปกคลุม
- 4) ชนิดของงานที่เชื่อมหรือข้อกำหนดการใช้งาน
- 5) ชนิดของการออกแบบรอยต่อ

2.6 การทดสอบสมบัติทางกล

2.6.1 การทดสอบแรงกระแทก [9]

การทดสอบการกระแทกเป็นการวัดการสงถ่ายพลังงานที่จำเป็นในการแตกหักของวัสดุ ความแข็งแรงการกระแทกจะบ่งบอกถึงความสามารถในการรับแรงแบบฉับพลัน (Shock Load) แม้พลังงานไม่สามารถสร้างและทำลายแต่พลังงานการกระแทกจะสูญเสียไปในหลายลักษณะเช่น ถูกใช้ ในการเสียรูปแบบยืดหยุ่นและแบบถาวรของวัสดุและแรงเสียดทานจากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆ เป็นต้น โดยการออกแบบโครงสร้างและเครื่องจักรประการแรกต้องให้ชิ้นงานสามารถดูดซับพลังงาน ให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในช่วงของการยืดหยุ่น และประการที่สองคืออาศัยการหวนบาง รูปแบบเพื่อลดการดูดซับพลังงานของเครื่องในการทดสอบการกระแทกจะใช้พลังงานของลูกตุ้ม กระแทกให้ชิ้นทดสอบแตกหักโดยพลังงานจะนิยามเป็นงานซึ่งเป็นแรงที่กระทำเป็นระยะทางหนึ่งดัง สมการ

$$W = FD$$

เมื่อ W คืองาน (ปอนด์ฟุตหรือนิวตันเมตร)

F คือแรงที่กระทำ (ปอนด์หรือนิวตัน)

D คือระยะทางในช่วงที่แรงกระทำ (นิ้วหรือเมตร)

วัตถุประสงค์การทดสอบการกระแทกคือการวัดงานที่ใช้ในการแตกหักภายใต้การกระแทก อย่างฉับพลัน ซึ่งสามารถหาได้จากการปล่อยลูกตุ้มที่ทราบค่าน้ำหนักแน่นอนลงบนชิ้นทดสอบด้วยความสูงค่าหนึ่ง ดังรูปที่ 8.1 แล้วทำการคำนวณค่าการดูดซับพลังงานการกระแทกหรือความต้านทาน การกระแทกของวัสดุจากผลต่างของระดับพลังงานศักย์ของลูกตุ้มก่อนและหลังการกระแทกด้วย สมการต่อไปนี้

$$E = w(h-h') \text{ หรือ } = mg(h-h') \text{ (ในหน่วยเมตริก)}$$

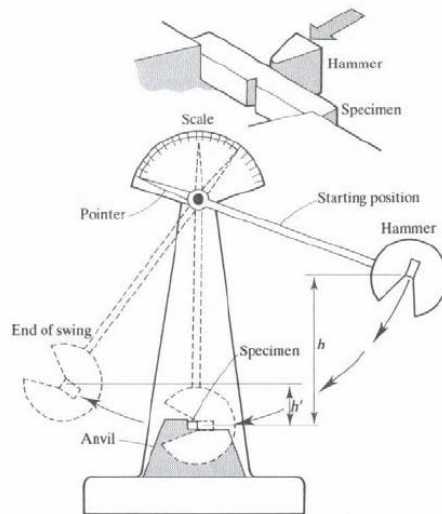
เมื่อ E คือพลังงานที่ได้จากการปล่อยตุ้มน้ำหนัก (ปอนด์ฟุตหรือนิวตันเมตร)

w คือน้ำหนักของลูกตุ้ม (ปอนด์)

m คือมวลของตุ้มน้ำหนัก (กิโลกรัม)

h, h' คือความสูงของลูกตุ้มก่อนและหลังกระแทกตามลำดับ (ฟุตหรือเมตร)

g คืออัตราเร่งจากแรงดึงดูดของโลก (9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)



รูปที่ 2.7 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบแรงกระแทก [10]

2.6.2 การทดสอบความแข็ง [11]

ความแข็งเป็นสมบัติทางกลของวัสดุอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญโดยความแข็งของวัสดุเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงและความสามารถในการต้านทานต่อการสึกหรอของเครื่องมือ (Tools) และชิ้นส่วนในเครื่องจักรกล (Machine Part) โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุนั้นมีอยู่ 2 ปัจจัย คือ ลักษณะโครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยา และส่วนผสมทางเคมีภายในวัสดุ โดยค่าความแข็งจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกลด้านอื่นด้วยได้แก่ ค่าความต้านแรงดึง ความเหนียว และความต้านทานต่อการขูดขีด โดยการทดสอบความแข็งของวัสดุมีอยู่หลายวิธีที่นิยมใช้ได้แก่

- 1) การวัดความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Testing)
- 2) การวัดความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Testing)
- 3) การวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Testing)
- 4) การวัดความแข็งแบบนูป (Knoop Hardness Testing)

การทดสอบความแข็งระดับจุลภาคนิยมใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ โดยค่าที่ได้จะเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงที่ใช้ ต่อพื้นที่ของรอยกดซึ่งแรงที่ใช้จะเป็นแรงกดคงที่ โดยความแข็งของวัสดุจะมีผลต่อความลึกของรอยกด หัวกดที่ใช้จะเป็นหัวกดที่ทำด้วยเพชรรูปทรงพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสทุกด้านทำมุม 136° โดยแรงที่ใช้กดมีตั้งแต่ 1-1000 กรัม ขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุและความหนา ดังภาพผนวก ค โดยค่าความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์จะไดจากการวัดความกว้างของรอยกดที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสจากนั้นนำมาคำนวณค่าความแข็งโดยใช้สูตร

$$HV = \frac{1.8544P}{d^2} \quad (2.1)$$

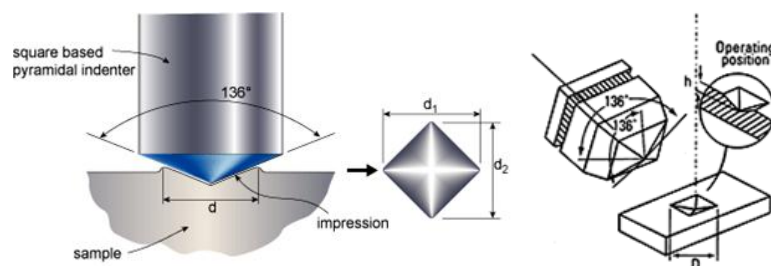
โดยที่

HV คือ ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์

P คือ แรงกด (กรัม)

D คือ ขนาดเส้นทแยงมุม d_1 และ d_2 เฉลี่ย (มม.)

วิธีการวัดค่าความแข็งวิธีนี้จะเหมาะกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กพื้นที่การวัดความแข็งน้อยแต่นิยมมากที่สุดคือการนำไปวัดความแข็งของโครงสร้างจุลภาคในวัสดุ การวัดชั้นความแข็งลึกของงานชุบผิวแข็ง และการวัดความแข็งของแนวเชื่อมโดยค่าความแข็งที่วัดได้จะมีหน่วยเป็น HV (Hardness of Vickers Hardness Testing) [9]



รูปที่ 2.8 ลักษณะหัวกดเพชรที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ [11]

2.7 การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ

โลหะทุกชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เนื่องจากอิทธิพลของธาตุต่างๆ ที่ผสมอยู่ในโลหะแต่ละชนิด ตลอดจนกระบวนการผลิต คุณสมบัติโดยธรรมชาติของโลหะนั้น และกรรมวิธีทางความร้อนที่กระทำต่อโลหะ ดังนั้น เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติบางอย่างของโลหะ การทดสอบและการตรวจสอบทางโลหะวิทยาจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macro Structure) และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microscope) การตรวจสอบโครงสร้างทั้ง 2 วิธีดังกล่าว ก็เพื่อต้องการทราบอิทธิพลของธาตุผสมในโลหะที่ทำการตรวจสอบนั้นๆ อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายหลังจากกระทำทางความร้อนสิ้นสุดลงด้วย และข้อมูลที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

2.7.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค เป็นการตรวจสอบโครงสร้างด้วยตาเปล่าหรือใช้กล้องขยายที่มีกำลังขยายที่ไม่เกิน 50 เท่า การเตรียมชิ้นงานเพื่อการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคนั้นไม่ยุ่งยาก เพราะว่าเป็นการตรวจสอบรูพรุนภายในของโลหะ การแยกชิ้นของผลึก รอยร้าว รอยแตก หน้าตัดที่ถูกดึงจนขาด และปริมาณธาตุผสมในโลหะ เป็นต้น การตรวจสอบด้วยวิธีนี้ จะมีวิธีการตรวจสอบอยู่หลายวิธีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและจุดประสงค์ของการตรวจสอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก) การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคโดยวิธี Baumann เป็นการตรวจสอบการแพร่กระจายของธาตุกัมมันตรังสีในโลหะว่ามีมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะใช้กับเหล็กกล้าเท่านั้น

ข) การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคโดยวิธี Fly Etching เหมาะสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ หรือเหล็กกล้าที่ผ่านการอบปฏิกิริมาแล้ว การตรวจสอบวิธีนี้จะใช้สำหรับการตรวจหาแนวเส้นใยการครากหรือแนวใยรับแรง ซึ่งเกิดจากการขึ้นรูปเย็น และกรรมวิธีทางความร้อน และมีผลต่อความแข็งแรงของโลหะนั้นๆ

ค) การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคโดยวิธี Grain Flow เป็นการตรวจสอบเหล็กกล้าที่ผ่านการตีขึ้นรูป ซึ่งจะทำให้เกรนของเหล็กเกิดการไหลเลื่อนไปตามแนวแรงที่ดี เกรนที่ดีจะต้องมีการไหลของเกรนอย่างต่อเนื่องตามรูปร่างลักษณะของชิ้นงานนั้นๆ ซึ่งจะส่งผลให้ชิ้นงานนั้นมีความแข็งแรงสูง

2.7.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เป็นการตรวจสอบที่กระทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง ถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงจากหลอดไฟจะให้กำลังขยายไม่เกิน 2,000 เท่า แต่ถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงอิเล็กตรอนจะสามารถให้กำลังขยายได้สูงถึง 100,000 เท่า หรือมากกว่านี้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรศิริ จันทรเมือง [12] ได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาชนิดของก๊าซที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึง ของการเชื่อมบนเหล็กกล้าไร้สนิม ในกระบวนการเชื่อม MIG โดยใช้ก๊าซเพื่อการเปรียบเทียบ 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซอาร์กอน ก๊าซอาร์โกซิล 50 และก๊าซอาร์โกซิล 63 พร้อมทั้งกำหนดอัตราการไหลของก๊าซที่ 15, 20 และ 25 ลิตรต่อนาที และใช้ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS. A5.9 308LSi: MIG ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร โดยทำการเชื่อมบนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI. เบอร์ 304 ที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร ใช้แขนกลควบคุมการเชื่อมโดยเป็นการเชื่อมแบบเดินบนชิ้นงานในตำแหน่งการเชื่อมทำราบ ชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นมีมุมฉากเท่ากับ 30 องศา (หรือเท่ากับมุมรวม 60 องศา) ชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 90 ชิ้น แบ่งเป็น 30 ชิ้นต่อก๊าซแต่ละชนิดและใช้ตัวอย่างชิ้นงาน 10 ชิ้นต่ออัตราการไหลแต่ละระดับ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมมินิแท็บ พบว่าค่าความแข็งแรงดึง ของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบด้วยการเชื่อมก๊าซ 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงของก๊าซอาร์โกซิล 50 เท่ากับ 607.19 MPa ก๊าซอาร์โกซิล 63 เท่ากับ 600.03 MPa และก๊าซอาร์กอนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 588.51 MPa สำหรับอัตราการไหลของก๊าซทั้ง 3 ชนิด นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงควรใช้ก๊าซอาร์โกซิล 50 และปรับอัตราการไหลที่ 15 ลิตรต่อนาที ในกระบวนการเชื่อม MIG สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมทุกๆ ไป

ฉัตรทอง ไสแสง [13] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อสมบัติทางกล และโครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 การวิจัยเป็นการออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design ที่มีพารามิเตอร์ในการศึกษา ได้แก่ กระแสเชื่อม , ความเร็วในการเชื่อม และ แก๊สปกคลุม โดยทำการศึกษาทางด้าน ความแข็งแรงดึงสูงสุด , ความแข็งแรงดึงจุดคราก , อัตราการยืดตัว และ ความแข็ง โดยได้ผลการทดลองดังนี้ 1) ผลการศึกษาต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง คือ ความเร็วในการเชื่อม ความสัมพันธ์ คือ กระแส*ความเร็ว*แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์การเชื่อมที่กระแส 90 แอมป์ ความเร็ว 500 มม./นาที่ และปกคลุมด้วยแก๊ส Ar+5%O₂ จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่มีค่าสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 95.85 Kg/mm² 2) ผลการศึกษาต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก (Yield Point) พบว่าปัจจัยหลักทั้งสามตัวไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง ความสัมพันธ์ คือ กระแส*ความเร็ว*แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์

การเชื่อมที่กระแส 90แอมป์ ความเร็ว 300 มม./นาที่ ปกคลุมด้วยแก๊ส Ar+3%N₂ มีค่าเท่ากับ 66.09 Kg/mm² 3) ผลการศึกษาต่ออัตราการยืดตัว (Elongation) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง คือพารามิเตอร์การเชื่อมทั้งสาม ความสัมพันธ์ คือ กระแส ความเร็ว แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์การเชื่อมที่กระแส 100 แอมป์ ความเร็ว 400 มม./นาที่ ปกคลุมด้วยแก๊ส Ar+5%H₂ มีค่าเท่ากับ 20 %4) ผลการศึกษาต่อความแข็ง (Hardness) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง คือความเร็ว และ แก๊สปกคลุม ความสัมพันธ์ คือ กระแส*ความเร็ว*แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์การเชื่อมที่กระแส 90 แอมป์ ความเร็ว 300 มม./นาที่ ปกคลุมด้วยแก๊ส Ar+5%H₂ มีค่าเท่ากับ 278.33 HV ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile) ที่มีค่ามากที่สุดกับชิ้นงานที่มีค่าต่ำที่สุด พบว่าลักษณะโครงสร้างของ Columnar Dendrite และการโตของเกรนในบริเวณ HAZ มีความแตกต่างกันมาก กล่าวคือ ขนาดของ Columnar Dendrite จะเล็กกว่า ในกรณีของชิ้นงานที่มี Ultimate Tensile สูงกว่า และขนาดของเกรนที่โตในบริเวณ HAZ ก็โตได้น้อยกว่า ส่วนโครเมียมคาร์ไบด์ (Cr₂₃ C₆) สามารถเกิดขึ้นได้กับทั้งสอง

ปริญญ์ แสงทอง [14] ได้ทำการศึกษาปัจจัยซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โดยใช้กระบวนการเชื่อม MIG โดยมีปัจจัยคือ กระแสไฟฟ้ามี 3 ระดับคือ 150 160 และ 170 Amp. แรงดันไฟฟ้ามี 3 ระดับคือ 20 22 และ 24 Volt และแก๊สอาร์กอนมี 2 ระดับคือ ความบริสุทธิ์ของแก๊สอาร์กอน 99.990 % และความบริสุทธิ์ของแก๊สอาร์กอน 99.999 % ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อ ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดคือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและแก๊สอาร์กอน ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวคือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและแก๊สอาร์กอน ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดครากคือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและแก๊สอาร์กอน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

M. ONSOEN และคณะ [15] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของแก๊สไฮโดรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอนสำหรับการเชื่อม GMAW ต่อลักษณะรอยเชื่อม (Bead Morphology) และคุณลักษณะของการอาร์ค (Arc Characteristic) โดยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 ใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไฮโดรเจน 1, 2, 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่า เมื่อปริมาณแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นทำให้ศักระการอาร์คและความต้านทานอาร์คเพิ่มขึ้น เนื่องจากแก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไฮโดรเจนมีประจุไฟฟ้า (Charge Carrier) น้อยกว่าแก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ และแก๊สไฮโดรเจนมีค่า Thermal Conductivity มากกว่าแก๊สอาร์กอน ทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Arc Column มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้เมื่อปริมาณแก๊สไฮโดรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนของความกว้างต่อรอยซึมลึกของรอยเชื่อมมีค่าลดลง

T. OGAWA, K.SUAUKI และ T.ZAIZEN [16] ได้ศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนผสมต่อการเกิดโพรง รอยร้าว (Cracking) และสมบัติการคืบ (Creep Properties) โดยการใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ และแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน พบว่า เมื่อปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดปัญหาคือ 1) เกิดโพรงเพิ่มขึ้น 2) เกิดรอยแตกร้าวขณะร้อน (Hot Cracking) เพิ่มขึ้น จากการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 ใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่า เนื้อโลหะรอยเชื่อมมีโพรงเกิดขึ้น และเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปก

คลูมอาร์กอน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อม ซึ่งปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มความต้านทานการเกิดแตกร้าวของรอยเชื่อม ในกรณีที่เนื้อโลหะรอยเชื่อมมีโครงสร้างอสเทนไนต์ทั้งหมด เนื่องจากไนโตรเจนทำให้ขนาดเกรนอสเทนไนต์เล็กลง