ใบเนื้อหา		สัปดาห์ที่ 1
หน่วยที่ 1	ความปลอดภัย	จำนวน 4 ชั่วโมง

สาระสำคัญ

อุตสาหกรรม (อังกฤษ: Industry) เป็นคำจำกัดความที่ใช้กับกิจกรรมที่ใช้ ทุนและแรงงาน เพื่อที่จะผลิตสิ่งของ หรือ จัดให้มีบริการ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ ในยุควิกตอเรีย นักประวัติศาสตร์เรียกช่วงเวลานั้นว่า การปฏิวัติอุตสาหกรรม โดยมีการผลิตเครื่องทุ่นแรงต่าง ๆ มากมาย และ ทำให้อุตสาหกรรมเจริญรุดหน้าอย่างรวดเร็วและมีระเบียบ เป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งหมด นอกจากนี้ การปฏิวัติอุตสาหกรรมยังเกี่ยวของกับลัทธิสังคมนิยมของคาร์ลมาร์ก (ลัทธิมาร์ก) อีกด้วยในปัจจุบันอุตสาหกรรมถือเป็นสิ่งหนึ่งที่จำเป็นต่อมนุษย์อย่างยิ่ง ด้วยว่ามนุษย์ต้องพึ่งพาการผลิตสิ่งที่จำเป็นต่อชีวิตประจำวัน หรือเรียกรวมว่า ปัจจัยสี่ โดยสิ่งที่สามารถผลิตปัจจัยสี่ให้ดี มีคุณภาพและไม่ก่ออันตราย หรือก่ออันตรายให้กับร่างกายและทรัพย์สินน้อยที่สุดคือการผลิตจากอุตสาหกรรม

เนื้อหาสาระ

1. ความปลอดภัยในงานอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรม พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน ให้ความหมายไว้ว่า [อุดสาหะกำ] น. กิจกรรมที่ใช้ทุนและแรงงานเพื่อผลิตสิ่งของหรือจัดให้มีบริการ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมท่องเที่ยว ; ชื่อกระทรวงที่มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวกับการอุตสาหกรรม การมาตรฐานเกี่ยวกับกิ จการอุตสาหกรรม และทรัพยากรธรณี ความรู้จาก "กรมโรงงานอุตสาหกรรม" กล่าวถึงในเรื่องของ "วิธีการทำงานภายในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อความปลอดภัย" ด้วยการแนะนำวิธีการปฏิบัติงานภายในโรงงานอุตสาห กรรมต่างๆ หลายรูปแบบ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในระหว่างการปฏิบัติงานภายในโรงงาน จากข้อมูลที่มีประโยชน์ของทางกรมโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อให้ประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน อีกทั้งเป็นการช่วยลดความเสี่ยงก่อนที่จะเกิดอันตรายในระหว่างการปฏิบัติงานลงได้ ความหมายของคำต่างๆ

ความปลอดภัย หมายถึง พฤติกรรมและสภาพการที่ปลอดภัยจากอุบัติภัย ที่อาจเกิดกับร่างกายชีวิต หรือ ทรัพย์สินในขณะปฏิบัติงาน ความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยจึงมีความจำเป็นสำหรับทุกคนและถือว่าเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนการสอน ปัญหาเรื่ องการป้องกันอุบัติเหตุในโรงงานเป็นปัญหาใหญ่ของเจ้าของโรงงาน เพราะการเกิดอุบัติเหตุแต่ละครั้งนอกจากจะทำให้งานหยุดชะงักแล้ว ยังจะต้องเสียค่ารักษาพยาบาลเพิ่มอีกด้วย จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นหรือลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุ เพื่อให้การปฏิบัติ งานเกิดความปลอดภัยสูงสุดทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สินจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเรียนรู้และปฏิบัติตามกฎความปลอดภัยจนเป็นนิสัยในการทำงานให้มีคติประจำใจว่า ปลอดภัยไว้ก่อน

การทำงาน ในที่นี้หมายถึง การทำงานภายในโรงงานอุตสาหกรรม หรือการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งต้องมี เครื่องจักร เครื่องยนต์กลไกต่างๆ จากคำนิยามใน พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ควรทราบมีดังนี้

คำว่า **"โรงงาน"** หมายถึง อาคาร, สถานที่, ยานพาหนะที่ใช้เครื่องจักร โดยมีกำลังตั้งแต่ 5 แรงม้า หรือกำลังเทียบเท่าตั้งแต่ 5 แรงม้าขึ้นไป, การใช้คนงานตั้งแต่ 7 คนขึ้นไป โดยใช้เครื่องจักรหรือไม่นั้น สำหรับทำการผลิต, การประกอบ, การบรรจุ, การซ่อม, การซ่อมบำรุง, การทดสอบ, การปรับปรุง, การแปรสภาพ, การลำเลียง, การเก็บรักษา และแม้กระทั่ง การทำลายสิ่งใด ๆ นั้นก็ตามที ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับแต่ละประเภท หรือชนิดของโรงงานที่ได้กำหนดขึ้นในกฎกระทรวง

คำว่า **"เครื่องจักร"** หมายถึง สิ่งที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ หลาย ๆ ชิ้น และใช้สำหรับการก่อกำเนิดพลังงาน, การเปลี่ยน, การแปลงสภาพพลังงาน หรือการส่งพลังงาน ทั้งนี้ด้วยกำลังของน้ำ , ไอน้ำ, ลม, ก๊าซ, ไฟฟ้า และพลังงานอื่น ๆ อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลาย ๆ อย่างรวมกัน และนั่นก็หมายความถึง สายพาน, เพลา, เกียร์, และสิ่งอื่นๆ ที่ทำงานตอบสนองกัน

คำว่า **"คนงาน"** หมายถึง ผู้ที่ทำงานภายในโรงงาน ทั้งนี้ไม่รวมถึงผู้ที่ทำงานฝ่ายธุรการ (ฝ่ายสำนักงาน)

คำว่า **"พนักงานเจ้าหน้าที่"** หมายถึง ผู้ที่รัฐมนตรีแต่งตั้งให้ปฏิบัติการตามพระราชบัญญัติโรงงาน การที่เราจะทำงานในกิจกรรมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการทำงานในภาคเกษตรกรรม หรือภาคอุตสาหกรรมที่จะต้องสัมผัสกับสภาวะอันตราย ซึ่งสามารถป้องกัน และทุเลาอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นนั้นได้

2. ประเภทของอันตราย

หากได้หันมาทำความเข้าใจถึงอันตรายนั้นๆ เสียก่อน โดยการเรียนรู้ถึงอันตรายต่าง ๆ ด้วยการจัดแบ่งอันตรายออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้ คือ

1. ด้านฟิสิกส์

เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับ ความดังของเสียงที่ดังเกินไปจากความดังเสียง , ความสั่นสะเทือน, อุณหภูมิ หรือรังสีของการสัมผัสเกินขนาด เหล่านี้เป็นต้น ที่จะสามารถทำให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความเครียด และจะมีผลทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้

2. ด้านเคมี

ในปัจจุบันกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการใช้สารเคมีกันมากขึ้น ดังนั้นการใช้งานทางด้านสารเคมี จึงมีความจำเป็นจะต้องมีระบบการระบายอากาศที่ดี หรือตัวผู้ปฏิบัติงานจะต้องใช้อุปกรณ์ในการป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personal Protective Device = PPD) เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับงานทางด้านสารเคมีแต่ละชนิด

3. ด้านชีววิทยา

เป็นงานที่จะต้องเกี่ยวข้องกับอินทรีย์ อันเนื่องมาจาก สัตว์, รา, เชื้อโรค และฝุ่นจากพืช กับการได้รับสิ่งเหล่านี้อยู่เป็นประจำ จึงทำให้เกิดโรคและเป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ขึ้นได้

4. ด้านเออร์โกโนมิกส์

เป็นเรื่องของการประยุกต์เอาศาสตร์ทางด้านสรีระของมนุษย์เข้ากับด้านวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

5. ด้านความปลอดภัยในการทำงานภายในโรงงานอุตสาหกรรม

ซึ่งโดยใหญ่แล้วจะ เกี่ยวข้องกับ เครื่องจักรกลต่าง ๆ อย่างเช่น ถังบรรจุก๊าซ , ถังมีความดัน ไฟฟ้า, ห้องเย็น , โรงน้ำแข็ง และแ ม้กระทั่ง หม้อไอน้ำ หรือหม้ อต้มฯ เหล่านี้เป็นต้นและสำหรับเครื่องจักรกลประเภท เครื่องปั้มโลหะ จัดเป็นเครื่องจักรกลที่สามารถก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้มากที่สุดในจำนวนเครื่องจักรกลชนิดหนึ่ง ซึ่งนักวิศวกรและนักสถาปนิกทั้งหลาย จะต้องช่วยกันคิดออกแบบหรือดัดแปลง เพื่อให้เครื่องจักรกลดังกล่าว สามารถป้องกันอุบัติเหตุและอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นการทำงานที่ปลอดภัยของงานแต่ละประเภทอย่างถ่องแท้ จึงปราศจากข้อสงสัยใดๆ

รูปที่ 1.1 แสดงการทำงานในโรงงาน

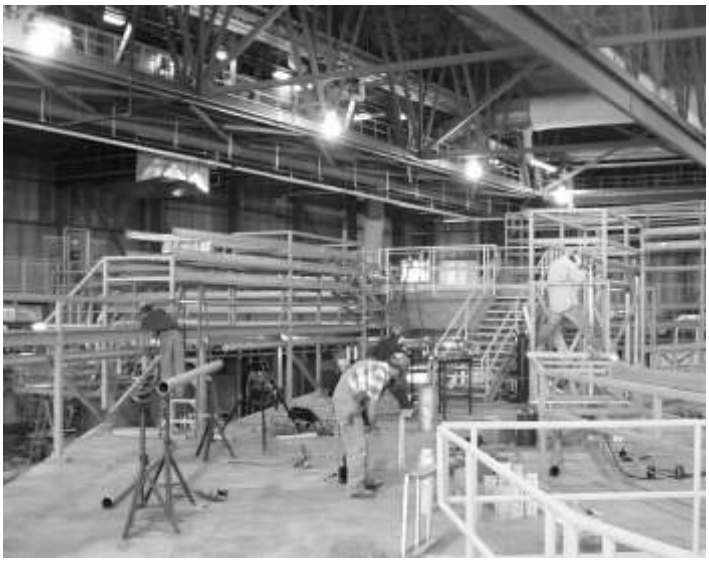
3. ประเภทของอุตสาหกรรม

3.1 อุตสาหกรรมครัวเรือน

คืออุตสาหกรรมการผลิตง่ายๆ เล็กๆ มักทำกันในครอบครัวหรือหมู่บ้าน ไม่ใช้แรงงาน ทุนและปัจจัยมาก แต่มักจะได้กำไรต่ำ อุตสาหกรรมจำพวกนี้มีตัวอย่างเช่น หัตถกรรมจักสาน เซรามิก ถ้วยโถโอชามต่างๆ รวมไปถึงสินค้าประเภทอาหารบรรจุถุงหรือหีบห่อที่มียี่ห้อบางชนิด เป็นต้นด้วย และสินค้าโอท็อป (หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์) บางชนิดเองก็ถือเป็นอุตสาหกรรมครัวเรือนด้วย

3.2 อุตสาหกรรมโรงงาน

คืออุตสาหกรรมที่ผลิตใน โรงงาน สินค้ามักมีมาตรฐานเดียวกัน ไม่แตกต่างกันมากนัก พบมากในเขตเมืองหรือเขตที่มีความเจริญต่างๆ สินค้าพวกนี้มักเป็นสิ่งอุปโภคบริโภคและสินค้าฟุ่มเฟือยต่างๆ เช่น กระดาษทิชชู บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป อาหารกระป๋ อง เครื่องนุ่งห่ม สุรา บุหรี่ เป็นต้น และสินค้าบางประเภทมีการโฆษณาส่งเสริมการขายด้วย



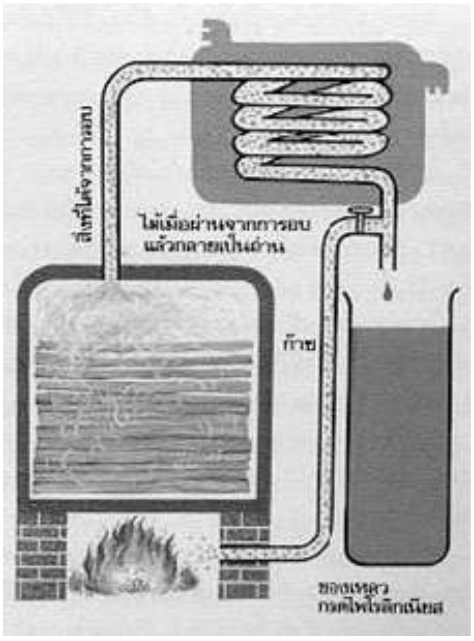
รูปที่ 1.2 แสดงอุตสาหกรรมที่ผลิตในโรงงาน

ในงานอุตสาหกรรมนั้นการจำแนกประเภทจะแบ่งออกตามลักษณะของวัสดุ วิธีการผลิต กระบวนการผลิต เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต งานอุตสาหกรรมที่สำคัญต่างๆมีดังนี้

อุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมเหล็ก เหล็กเป็นโลหะที่มีมากที่สุดในโลก รองจากอะลูมิเนียม เหล็กจัดเป็นโลหะที่จำเป็นในงานก่อสร้าง และการผลิตเครื่องจักร อุปกรณ์ต่างๆ ในปัจจุบันมีการใช้เหล็กมากกว่าร้อยละ 90 ของโลหะทั้งหมดที่ใช้อยู่ อุตสาหกรรมเ หล็กจึงเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาประเทศแต่ละประเทศ และยังเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่สำคัญของโลกด้วย เนื่องจากเป็นตัวแปรหนึ่งที่สามารถชี้แนวทางในการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจโลกได้ กล่าวคือ เมื่อภาวะเศรษฐกิจโดยรวมของโลกอยู่ในช่วงเฟื่องฟูมีอัตร าการขยายตัวมาก เมื่อนั้นกำลังการผลิตเหล็กของโลกและความต้องการใช้เหล็กจะมากตามไปด้วย แต่ถ้าหากภาวะเศรษฐกิจโลกถดถอย อัตราการผลิตเหล็กของโลกก็ลดลงตามไปด้วย

อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมเคมีของโลกปัจจุบัน ขึ้นอยู่กับถ่านหินและปิโตรเลียมเป็นสำคัญสารทั้งสองอย่างนี้เป็นของที่มีปริมาณตายตัว เมื่อหมดแล้วก็เป็นอันหมดไปเหมือนกั บสินแร่อย่างอื่น แต่ไม้เป็นสิ่งที่ธรรมชาติ สามารถทำให้มีขึ้นใหม่และมีต่อเนื่องไปได้เสมอ หากมนุษย์ให้โอกาสหรือส่งเสริมให้เป็นเช่นนั้น เชื่อกันว่าไม้นี้เองจะเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมเคมีในอนาคตเรารู้ว่า ไม้ประกอบด้วยเซลลูโลสและลิกนินเป็นส่วนใหญ่ เซลลูโลสนั้นเมื่อย่อยลงไปให้ถึงที่สุดจะได้เป็นกลูโคส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่

มีคุณค่าทางอาหารอย่างหนึ่งเซลลูโลสไนเตรตเป็นพลาสติกที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นได้ เป็นชนิดแรกเรียกว่า "เซลลูลอยด์" เซลลูโลสอะซีเทตเป็นพลาสติกเหมือนกันที่ทำเป็นใยเทียมเรียกกันว่า "เรยอง" อนึ่งเซลลูโลสไนเตรตสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงของยานอวกาศได้ เนื่องจากมีออกซิเจนช่วยในการเผาไหม้ได้ในตัวเอง ปัจจุบันเรายังใช้ลิกนินให้เป็นประโยชน์ได้ไม่มาก นัก แม้ว่าโครงสร้างของมันจะเป็นที่เข้าใจกันบ้างแล้ว สารที่มีกลิ่นหอมเรียกว่า "วานิลิน" ซึ่งใช้ผสมไอศกรีม หรือขนมต่างๆ สามารถทำได้จากลิกนินนี้ สารอินทรีย์อื่นๆ ที่แทรกอยู่ในเนื้อไม้นั้น เช่น แทนนิน สารให้สี และสารที่มีสรรพคุณเป็นยารักษาโรค ได้นำไปใช้ประโยช น์กันอย่างกว้างขวาง เช่น นำแทนนินไปใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังและทำกาวในการกลั่นไม้ กล่าวคือ ทำไม้ให้ร้อนในอุณหภูมิสูง ไม้จะสลายตัวเป็นสารประกอบอินทรีย์หลายอย่างปะปนกันอยู่ในของเหลวที่กลั่นได้เรียกว่า "กรดไพโรลิกเนียส" จากของเหลวที่ได้จากการกลั่นไม้นี้อาจแยกสารพวกรีโอโซตออกมา แล้วแยกออกเป็นกรดน้ำส้ม เมทิลแอลกอฮอล์ซึ่งใช้จุดตะเกียงและสารอื่นๆ สำหรับถ่านไม้ที่เหลือจากการกลั่นถ่านไม้ยังมีความบริสุทธิ์กว่าถ่านไม้ที่ได้จากการเผาด้วยวิธีธรรมดา



รูปที่ 1.3 แสดงอุตสาหกรรมเคมี

อุตสาหกรรมแก๊สและน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติเป็นพลังงานปิโตรเลียมชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับน้ำมัน ที่จริงแล้ว น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ก็คือซากพืชและซากสัตว์ที่ทับถมกันมานานหลายแสนหลายล้านปี และทับถมสะสมกันจนจมอยู่ใต้ดิน แล้วเปลี่ยนรูปเป็นสิ่งที่เรียกว่า ฟอสซิล ระหว่างนั้นก็มีกา รเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ จนซากพืชและซากสัตว์หรือฟอสซิลนั้นกลายเป็นน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินที่เรานำมาใช้ประโยชน์ได้ในที่สุดในทางวิทยาศาสตร์ เรารู้กันดีว่า ต้นพืชและสัตว์ รวมทั้งคนประกอบด้วยเซลล์เล็กๆ มากมาย เซลล์เหล่านี้ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและธาตุ คาร์บอนเป็นหลัก เวลา

ซากสัตว์และซากพืชทับถมและเปลี่ยนรูปเป็นน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติหรือถ่านหิน พวกนี้จึงมีองค์ประกอบของสารไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ และเมื่อนำไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้มาเผา จะให้พลังงานออกมาแบบเดียวกับที่เราเผาฟืน เพียงแต่เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมั น ก๊าซธรรมชาติ หรือถ่านหิน ให้ความร้อนมากกว่า คำว่า **"ปิโตรเลียม"** มีรากศัพท์มาจากภาษาละตินว่า "เพทรา" (Petra) แปลว่า หินและคำว่า "โอลิอุม" (Oleum) แปลว่า น้ำมันรวมความแล้ว ปิโตรเลียมจึงหมายถึงน้ำมันที่ได้มาจากหินโดยไหลซึมออกมาเองในรูปของของเหลวหรือแก๊ส มีการใช้ปิโตรเลียมเป็นเชื้อเพลิง สำหรับตะเกียงและเป็นยาขี้ผึ้งสำหรับรักษาโรคในพื้นที่ส่วนอื่นๆ ของโลกอาทิ เช่น บริเวณรอบๆทะเลสาบแคสเปียนโรมาเนีย พม่าและ อินเดีย ได้มีการนำปิโตรเลียมมาใช้ประ โยชน์ คือเป็นเชื้อเพลิงสำหรับจุดให้แสงสว่างและใช้ในการประกอบอาหารใ ช้เป็นวัสดุหล่อลื่นและใช้เป็นยา รักษาโรค

4. ความปลอดภัยในโรงงาน

ความหมายของความปลอดภัยในโรงงาน (Safety) หมายถึง สภาวะที่ปราศจากอุบัติเหตุในโรงงาน หรือสภาวะที่ปลอดภัยจากความเจ็บปวด การบาดเจ็บ เจ็บป่วย ทรัพย์สินเสียหาย และ ความสูญเสียเนื่องจากกระบวนการผลิต ซึ่งการควบคุมจะรวมถึงการป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุในโรงงาน และการดำเนินการให้สูญเสียน้อยที่สุดเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้นแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ความปลอดภัยในโรงงานที่ต้องป้องกันอุบัติเหตุกับผู้ปฏิบัติงาน
2. ความปลอดภัยในโรงงานที่ต้องป้องกันความเสียหายกับเครื่องมือ เครื่องจักรกล

ซึ่งบ่อยครั้งเมื่อเครื่องมือเครื่องจักรชำรุดเสียหายจะส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุแก่ผู้ปฏิ บัติงานการป้องกันดวงตาการป้องกันดวงตาจากอุบัติเหตุ ต้องสวมใส่แว่นตาตลอดเวลาการทำงานการป้องกันเท้าจากอุบัติเหตุสวมใส่รองเท้านิรภัยเพื่อป้องกันวัสดุ หล่นใส่เท้า ลักษณะของรองเท้านิรภัยนั้นส่วนหัวของรองเท้าจะเป็นหนังแข็งหรือโลหะการป้องกันหูจากเสียงดังเสียงในโรงงานอุตสาหกรรม ถ้าดังต่อเนื่องเกิน 85 เดซิเบลจะเป็นอันตรายต่อหู ถ้าดังเกิน 115 เดซิเบล ต้องใส่อุปกรณ์ป้องกันเสียงการสวมใส่เสื้อผ้าและเครื่องประดับขณะทำงานต้องถอดเครื่องประดับและสวมเสื้อผ้าให้รัดกุมการป้องกันมือจากอุบัติเหตุการทำงานกับเครื่องมือเครื่องจักรที่ต้องใช้มือ เช่น ขณะทำการกลึงไม่ควรใช้มือดึงเศษกลึง และขณะทำความสะอาดเครื่องเจาะต้องใช้แปรงปัดทำความสะอาด

4.1 ลักษณะของการทำงานด้วยความปลอดภัย

1. ทำงานอย่างประณีตและแต่งกายให้รัดกุม
2. พัฒนาความรับผิดชอบต่อความปลอดภัยส่วนบุคคลและความปลอดภัยต่อเพื่อนร่วมงาน
3. คำนึงถึงความปลอดภัยและทำงานด้วยความปลอดภัยตลอดเวลา

4.2 วิธีการยกของหนักด้วยความปลอดภัย

1. ยืดหลังให้ตรง
2. ย่อตัวลงและงอหัวเข่า

3. ยกของขึ้นโดยการใช้กล้ามเนื้อขาและยืดหลังให้ตรง

4. การวางของหลังจากการยก กระทำลักษณะเดียวกับการยกของ ข้อสำคัญคือหลังต้องตรง

4.3 การรักษาความสะอาดบริเวณพื้นที่ทำงาน

1. ปิดเครื่องจักรก่อนทำความสะอาดทุกครั้ง
2. รักษาความสะอาดเครื่องมือเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ
3. ใช้แปรงปัดทำความสะอาดเศษโลหะ
4. อย่าวางเครื่องมือ อุปกรณ์บนโต๊ะงานของเครื่องจักร
5. ปัดกวาดเศษโลหะบนพื้นบ่อยๆ
6. รักษาความสะอาดบริเวณพื้นโรงงานให้ปราศจากน้ำมันหรือจาระบี
7. อย่าวางเครื่องมือหรือวัสดุบนพื้นใกล้ๆ กับเครื่องจักร
8. ห้ามใช้ลมเป่าทำความสะอาดเครื่องจักร

5. ความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายวัสดุ

อุบัติเหตุหนึ่งในสี่ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการทำงานล้วนเกิดจาก การเคลื่อนย้ายวัสดุ โดยมีการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบไปสู่ขบวนการผลิต , จากขบวนการผลิตไปสู่โกดังสินค้า , จากโกดังสินค้าไปสู่ลูกค้า ดังนั้น การเคลื่อนย้ายวัสดุดังกล่าว จึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้ดังนี้ คือ การเคลื่อนย้ายด้วยมือและการเคลื่อนย้ายด้วยเครื่องจักร

5.1 การเคลื่อนย้ายด้วยมือ

ซึ่งจะต้องพิจารณาจากสิ่งของวัสดุที่จะต้องทำการเคลื่อนย้ายโดยใช้มือยก และจะต้องพิจารณาถึงการใช้เครื่องป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personal Protective Device = PPD) ตลอดจนความเหมาะสมข องผู้ที่จะปฏิบัติงานไปด้วยพร้อม ๆ กัน อย่างในกรณีที่มีก ารใช้อุปกรณ์ช่วยขนย้าย เช่น พวกล้อเลื่อน , รถเข็นต่างๆ นั้น ก็ควรที่จะมีข้อระวัง ดังต่อไปนี้

การวางของ ห้ามวางเอียง และไม่ควรบรรทุกของเกินน้ำหนักรถ หรือตั้งของสูงเกินไป จนในขณะที่เข็ญรถอยู่นั้นไม่สามารถมองเห็นทางข้างหน้าอย่างถนัดและชัดเจน

กรณีถ้าเป็นทางลาดลง ควรจะเข็นรถ โดยให้ตัวรถเข็นอยู่ทางด้านหน้าของผู้เข็น ถ้ากรณีเข็นรถขึ้นทางลาด ควรให้ผู้เข็นลากรถ โดยให้ตัวรถอยู่ทางด้านหลังของผู้เข็น

รูปที่ 1.4 แสดงการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยมือ

5.2 การเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยเครื่องจักร

เครื่องจักร หรือรถต้องมีหลังคา และต้องมีอุปกรณ์ควบคุม เพื่อจำกัดขีดความสูงสุดหรือต่ำสุดของรถการใช้รถให้ถูกลักษณะของงาน และถ้าเป็นรถที่ต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิง กรณีที่มีการใช้รถในที่ๆ อับอากาศ สถานที่ นั้น ควรจะมีออกซิเจนเพียงพอแก่การหายใจผู้ขับขี่จะต้องมีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรง รวมถึงผู้ขับขี่จะต้องได้รับการฝึกหัดให้มีการใช้รถสำหรับงานอุตสาหกรรมอย่างถูกต้อง และปลอดภัย อีกทั้งจะต้องเป็นผู้ที่ได้รับมอบหมายให้ขับขี่รถสำหรับงานอุตสาหกรรมเพียงเท่านั้น และควรมีเครื่องหมายเป็นหลักฐานที่สามารถมองเห็นอย่างชัดเจนได้ว่า บุคคลๆ นั้นได้รับมอบหมายในงานดังกล่าวโดยตรง

รูปที่ 1.5 แสดงการเคลื่อนย้ายวัสดุด้วยเครื่องจักร

6. การปฏิบัติงานด้วยความปลอดภัย

1. ก่อนปฏิบัติงานกับเครื่องจักรนั้นควรศึกษาและทำความเข้าใจในการใช้เครื่องจักร

2. ก่อนปฏิบัติงานกับเครื่องมือเครื่องจักรต้องตรวจสอบอุปกรณ์ที่ช่วยให้ทำงานปลอดภัยและเครื่องจักรมีสภาพพร้อมในการใช้งานหรือไม่

3. ขณะทำการซ่อมเครื่องจักรต้องปิดสวิตซ์ไฟฟ้าและติดป้ายให้ผู้อื่นทราบว่า เครื่องเสียกำลังซ่อม

4. ก่อนใช้เครื่องมือตัดในการปฏิบัติงานควรตรวจสอบเครื่องมือและชิ้นงานว่าอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องเหมาะสมก่อนที่จะเริ่มเดินเครื่อง

5. ต้องหยุดเครื่องจักรทุกครั้งก่อนทำการวัดชิ้นงาน

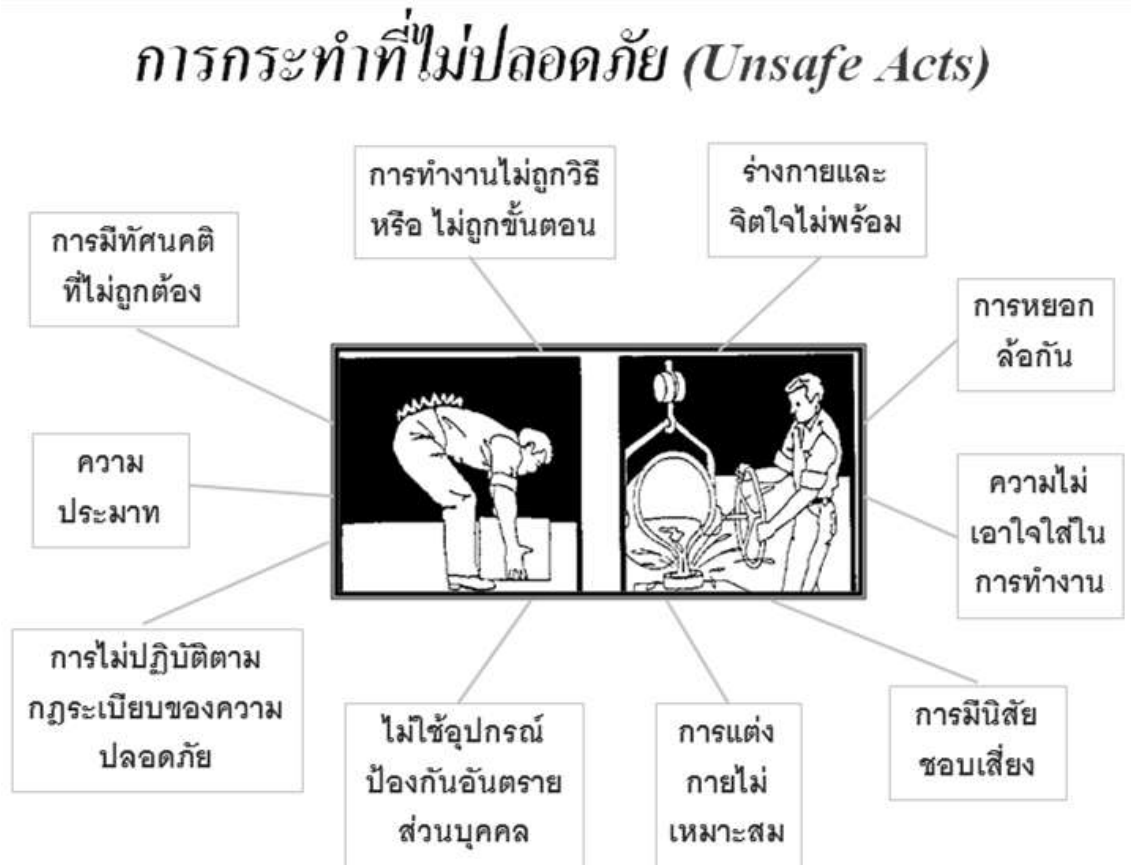
6. ก่อนที่จะจับต้องชิ้นงาน ควรขจัดรอยขรุขระและคริบคมด้วยตะไบ

7. ห้ามยกสิ่งของหนักโดยลำพัง

8. ตรวจสอบการจับยึดชิ้นงานบนปากกาจับยึดชิ้นงานและโต๊ะงานรองรับชิ้นงานว่าอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องเหมาะสม

9. ห้ามเปิดเครื่องจักรจนกระทั่งแน่ใจเครื่องมือตัดและชิ้นงานอยู่ห่างกัน

10. ควรเลือกใช้ประแจให้เหมาะสมกับงาน



รูปที่ 1.6 แสดงการปฏิบัติงานที่ไม่ปลอดภัย

6.1 การป้องกันอัคคีภัย

1. ตรวจสอบถังดับเพลิงให้พร้อมสำหรับการใช้งาน

2. เก็บวัสดุไวไฟให้เป็นระเบียบเรียบร้อย

3. ต้องรู้สถานที่ติดตั้งถังดับเพลิงทุกๆ จุดในโรงงาน

4. ต้องรู้วิธีการจุดไฟเชื่อมก๊าซอย่างปลอดภัย

5. เมื่อทำการเชื่อมไฟฟ้า ต้องทำการเชื่อมให้ห่างจากวัสดุไวไฟ

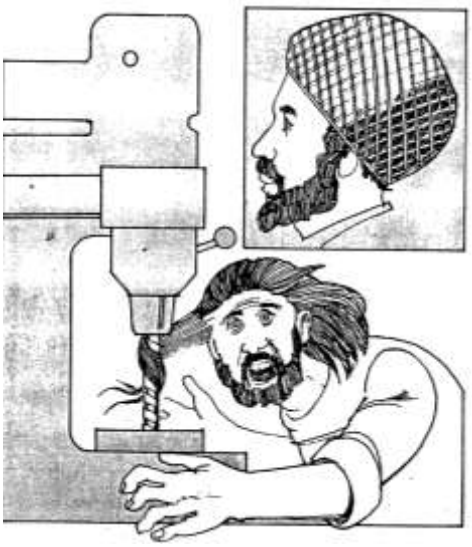
6. ต้องรู้ทางหนีไฟของโรงงาน

7. ต้องรู้ตำแหน่งที่ติดตั้งกล่องสัญญาณเตือนภัยไฟไหม้และรู้วิธีการทำงานของกล่อง

6.2 สัญญาณอันตรายจากเครื่องจักร

ก่อนที่จะทำงานกับเครื่องจักรควรตั้งคำถามเป็นหัวข้อความปลอดภัย ดังนี้

1. รู้วิธีการทำงานของเครื่องจักรหรือยัง
2. อะไรบ้างที่เป็นสาเหตุของอุบัติเหตุในการใช้เครื่องจักร
3. อุปกรณ์ป้องกันของเครื่องจักรพร้อมหรือไม่
4. ผู้ปฏิบัติงานทำงานด้วยความปลอดภัยอย่างไร
5. ผู้ปฏิบัติงานตรวจสอบการปรับและการล็อกโบลท์ สกรู แคลมป์หรือไม่
6. ผู้ปฏิบัติงานตรวจสอบชิ้นงานว่าจับยึดแน่นหรือไม่
7. ผู้ปฏิบัติงานใส่อุปกรณ์ป้องกันอุบัติเหตุเหมาะสมหรือไม่
8. ผู้ปฏิบัติงานรู้จักสวิตช์หยุดเครื่องฉุกเฉินหรือไม่
9. ผู้ปฏิบัติงานคำนึงถึงความปลอดภัยทุกอย่างหรือไม่



รูปที่ 1.7 แสดงสัญญาณอันตรายจากเครื่องจักร

6.3 ประเภทของความสูญเสียหรืออันตรายในการปฏิบัติงาน

1. อัคคีภัย (Fire) เป็นอันตรายที่สามารถบังเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท
2. การระเบิด (Explosion) เป็นอันตรายที่บังเกิดขึ้นกับอุปกรณ์บางอย่างของโรงงานอุตสาหกรรม
3. ความเป็นพิษ (Toxicity) เป็นอันตรายที่บังเกิดจากสารเคมีที่สัมผัสร่างกายโดยการสูดดมการสัมผัสกับอวัยวะ การรับประทานหรือกลืน

6.4 สาตุของการเกิดความไม่ปลอดภัย

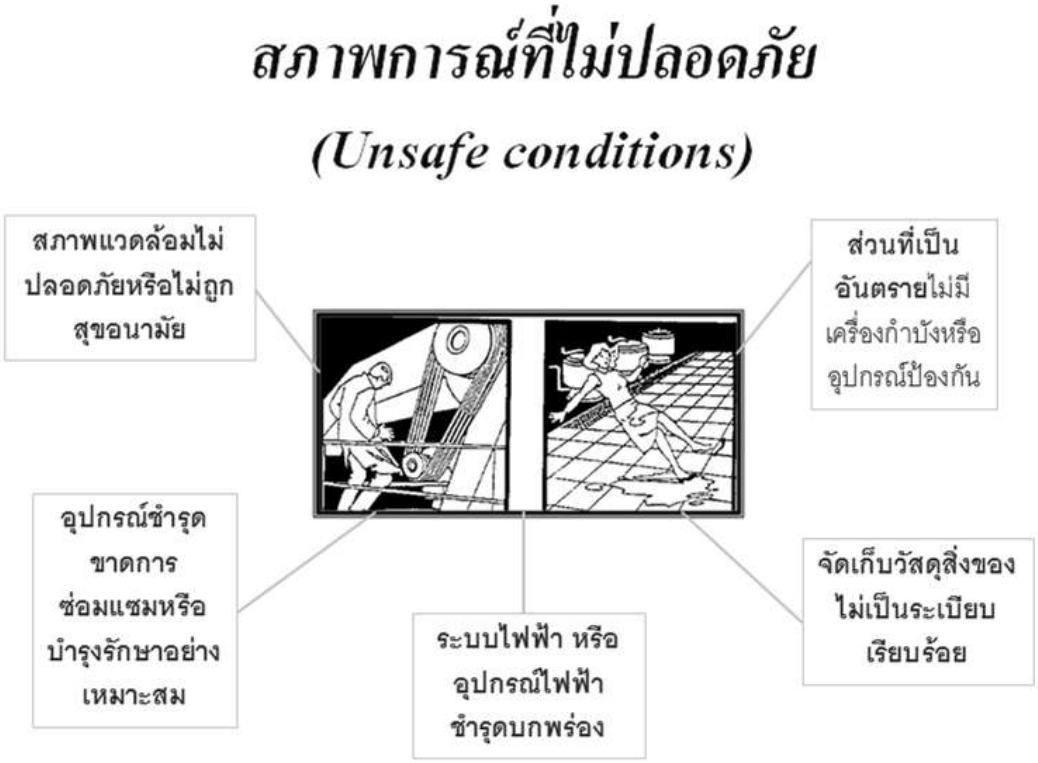
1. สาเหตุที่เกิดจากคนในโรงงาน (Human Causes) มีจำนวนสูงสุดคือ 88%
2. สาเหตุที่เกิดจากความผิดพลาดของเครื่องจักรในโรงงาน (Machine failure) มีจำนวนเพียง 10%
3. สาเหตุที่เกิดจากดวงชะตา (Acts of God) มีจำนวนเพียง 2%

6.5 สรุปสาเหตุสำคัญของการเกิดอุบัติเหตุ

1. สาเหตุจากการกระทำที่ไม่ปลอดภัยในโรงงาน (Unsafe Acts)
2. สาเหตุจากสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัยในโรงงาน (Unsafe conditions)

6.6 การดำเนินงานการจัดการความปลอดภัย

1. การปฏิบัติตามกฎความปลอดภัย
2. การปฏิบัติตามกฎและมาตรฐานความปลอดภัย
3. หัวหน้างานและผู้บังคับบัญชาทุกระดับชั้น มีหน้าที่ควบคุมให้พนักงานทุกคนปฏิบัติตามกฎ
4. อุบัติเหตุสามารถเกิดขึ้นได้จากการทำงานที่ขาดประสบการณ์
5. หากพบเห็นสภาพการทำงานที่ไม่ปลอดภัยโปรดแจ้งผู้บังคับบัญชา
6. การควบคุมอันตรายในกระบวนการผลิต
7. กำหนด/จำกัด ชั่วโมงทำงาน สำหรับงานอันตราย ที่กำหนด
8. ให้นายจ้างจัดแพทย์ตรวจโรคให้ลูกจ้าง อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง
9. ให้นายจ้างจัดซื้ออุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล
10. การฝึกอบรม การสื่อสาร และการจูงใจด้านความปลอดภัย
11. ฝึกอบรมด้านความปลอดภัยแก่ผู้บริหารและผู้ควบคุมงานทุกระดับ
12. ปลูกฝังและทบทวนทัศนคติด้านความปลอดภัยให้กับคนงาน
13. จัดทำคู่มือมาตรฐานการปฏิบัติงานไว้เป็นแนวทางการทำงานที่ถูกวิธี
14. กำหนดข้อป้องกันแก้ไขที่ชัดเจน
15. การสอบสวนอุบัติเหตุ และการวิเคราะห์สาเหตุ
16. มีการสอนสวนและรายงานอุบัติเหตุทุกครั้ง
18. มีการเก็บรวบรวมและจัดทำสถิติอุบัติเหตุ



รูปที่ 1.8 แสดงการปฏิบัติงานที่ไม่ปลอดภัย

7. ประโยชน์ที่จะได้รับจากความปลอดภัยในโรงงาน

1. ผลผลิตในโรงงานเพิ่มขึ้น การทำงานอย่างปลอดภัยในโรงงานที่สภาพแวดล้อมที่ถูกสุขลักษณะมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายเพียงพอ
2. ต้นทุนการผลิตของโรงงานลดลง เมื่อสถิติการเกิดอุบัติเหตุของโรงงานลดลง ความสูญเสีย
3. กำไรของโรงงานมากขึ้น เมื่อการทำงานอย่างปลอดภัยทำให้ผลผลิตสูงขึ้น
4. สงวนทรัพยากรมนุษย์แก่ประเทศชาติ เนื่องจากการเกิดอุบัติเหตุในโรงงานทุกครั้งมักทำให้คนบาดเจ็บ พิการ ทุพพลภาพ
5. ความปลอดภัยในการดำรงชีวิตและการทำงาน เป็นความต้องการพื้นฐานของมนุษย์

8. ความปลอดภัยในงานเชื่อมไฟฟ้า

เพื่อความปลอดภัยในในงานเชื่อมโลหะ ช่างเชื่อมและผู้ ที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องศึกษาเรี ยนรู้และทราบถึงอันตรายหลักใหญ่ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยตรงซึ่งพบเสมอและช่างเชื่อมควรระมัดระวัง ได้แก่อันตรายจากไฟฟ้า อันตรายจากรังสีที่เกิดจากการอาร์ค อันตรายจากควันเชื่อมและก๊าซ อันตรายจากการลุกไหม้และการระเบิดของก๊าซติดไฟ

รูปที่ 1.9 แสดงปลอดภัยในงานเชื่อมไฟฟ้า

8.1 อันตรายจากไฟฟ้าดูด (Electric Shock)

อุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นเกี่ยวกับไฟฟ้าที่พบบ่อยคือ เรื่องไฟฟ้าดูด และไฟฟ้าอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เครื่องมืออุปกรณ์ชำรุดเสียหายได้ ไฟฟ้าดูดมักจะเกิดขณะที่ช่างเชื่อมเปลี่ยนลวดเชื่อมใหม่ การจับวางชิ้นงานบนโต๊ะเชื่อม หรือเปลี่ยนท่าเชื่อม และที่พบเสมอคือช่างเชื่อ มยืนเชื่อมบนพื้นที่เปียกชื้นเท้าเปียกน้ำหรือมีเหงื่อที่มือ ทำให้ร่างกายกลายเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้าซึ่งเป็นอันตรายมากหากช่วยไม่ทันอาจทำให้ช่างเชื่อมเสียชีวิตได้ นอกจากนี้ยังเกิดจากร่างกายส่วนหนึ่งส่วนใดของช่างเชื่อมไปโดนสายไฟที่เปลือกขาดชำรุดจะทำให้กระแ สไฟไหลผ่านเข้าสู่ร่างกายได้เช่นกัน เพราะการที่กระแสไฟฟ้าผ่านร่างกายของคนเรา ถ้ามีเหงื่อที่มือหรือเท้า กระแสจะเพิ่มขึ้นเป็น 12 เท่า หรือถ้ามือหรือเท้าเปียกน้ำ กระแสจะเพิ่มขึ้นเป็น 25 เท่า ซึ่งจะเป็นอันตรายมากการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า โดยการหลีกเลี่ยงไม่ให้เ ข้าไปอยู่ในวงจรไฟฟ้าโดยปฏิบัติดังนี้

1. สวมชุดปฏิบัติงานที่แห้ง ไม่เปื้อนน้ำมัน สวมถุงมือที่ไม่ชำรุด สวมรองเท้านิรภัยที่มีฉนวนหุ้มอย่างถูกต้อง

2. ไม่ปฏิบัติงานเชื่อมในที่ที่มีฝนตกและพื้นเปียกแฉะ

3. ไม่สวมถุงมือ เสื้อ รองเท้า ที่เปียกชื้น

4. พยายามหลีกเลี่ยงการสัมผัสหรือเข้าไปอยู่ในวงจรไฟฟ้า

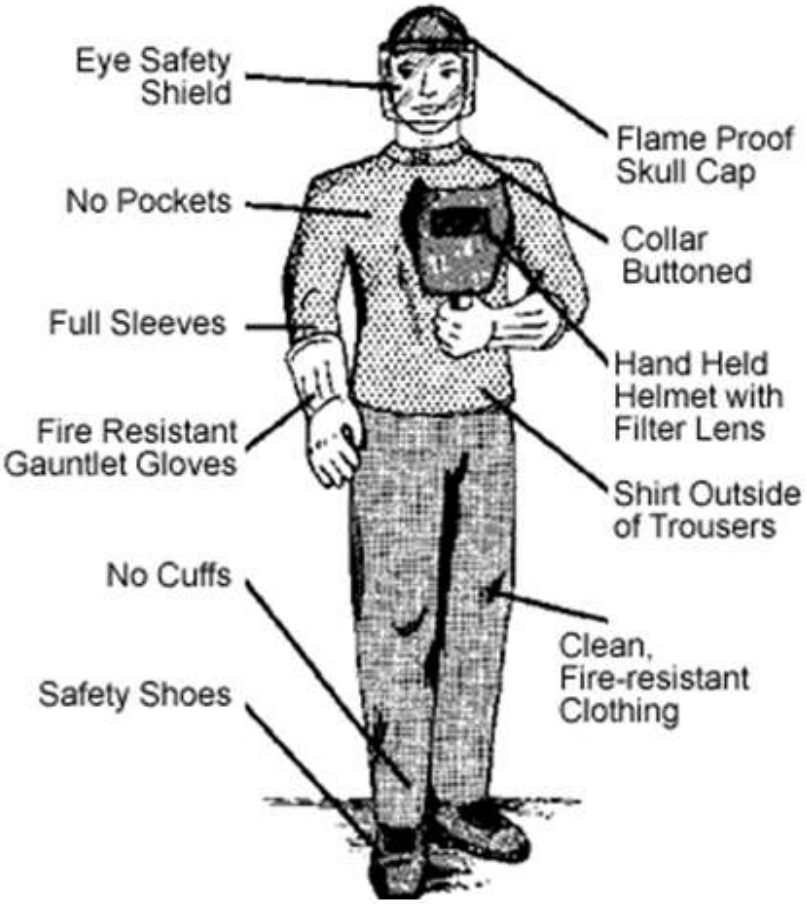
5. ขณะทำการเชื่อมไฟฟ้าไม่ควรสวมใส่เครื่องประดับ เพราะหากไปกระทบกับโลหะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอาจถูกไฟฟ้าดูดได้

6. ก่อนปฏิบัติการเชื่อม ต้องตรวจสอบสภาพของเครื่องเชื่อมว่าพร้อมใช้งานหรือไม่ สายไฟสายเชื่อมให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ เพราะอาจมีประกายไฟหรือเศษโลหะร้อนๆ ทำให้เปลือกหุ้มสายชำรุดได้

7. อย่าเปลี่ยนลวดเชื่อมเชื่อมด้วยมือเปล่า ควรสวมถุงมือ (Gloves) ที่ไม่เปียกชื้น

8. เครื่องเชื่อมควรต่อสายไฟ สายเชื่อม สายดินขนาดตรงตามขนาดกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อม

9. ระวังอย่าให้สายเชื่อมขดพันกันอาจก่อให้เกิดความร้อนทำให้สายชำรุดและควรระวังรักษาสายเชื่อมให้ปราศจากคราบน้ำมันหรือจารบี สายเก่าหรือชำรุดแก้ไขได้ก็ควรนำเทปพันสายไฟพันให้เรียบร้อย



รูปที่ 1.10 แสดงการสวมใส่ชุดอุปกรณ์ป้องกันอันตราย

8.2 อันตรายที่เกิดจากรังสี (Radiant Energy)

รังสีที่เกิดจากการเชื่อม มี 2 อย่างคือ รังสีอัลตราไวโอเลต และรังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเลตจะทำอันตรายต่อผิวหนังและดวงตาจะมีอาการปวดแสบปวดร้อนบริเวณที่โดนรังสี ส่วนรังสีอินฟราเรดจะทำอันตรายผิวหนังเช่นกัน

รังสีอัลตราไวโอเลต เมื่อแผ่กระจายออกไปจะมีผลรุนแรงในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับสิ่งมีชีวิต รังสีนี้จะดูดซึมโดยเยื่อตาและแก้วตา ถ้าตาได้รับรังสีนี้มากเกินปริมาณแล้วจะทำให้เกิดความรู้สึกเหมือนสิ่งแปลกคล้ายเม็ดทรายเข้าไปอยู่ภายในตาทำให้เกิดมีน้ำตาไหลเนื่องจากการตีบตันของทางเดินน้ำตาอย่างรุนแรง เกิดการเกร็งของกล้ามเนื้อ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการถูกรังสี ระยะเวลานับจากเมื่อได้รับรัง สีจนถึงแสดงอาการใช้เวลา 30 นาที ถึง 24 ชม. ถ้าได้รับรังสีมากจะแสดงอาการเ ร็วขึ้นอาการรุนแรงจะติดต่อกัน 6-24 ชม. และโดยทั่วไปอาการดังกล่าวจะหายไปภายใน 24 ชม.

รังสีอินฟราเรด อันตรายที่เกิดจากรังสีอินฟราเรด จะไม่แสดงให้เห็นในทันที รังสีนี้เมื่อถูกดูดซึมจะเปลี่ยนเป็นความร้อน ถ้าดวงตาได้รับรังสีนี้เป็นเวลานานจะเกิดอาการแสบของเยื่อหน้าดวงตา ทำให้ตาเสื่อมสภาพก่อนวัย และเกิดต้อกระจกได้ ในทำนองเดีย วกันถ้าผิวหนังได้รับรังสีนี้มาก ๆ จะทำให้ผิวหนังแห้ง และหนังกำพร้าลอกได้การป้องกันเกี่ยวกับอันตรายจากรังสี

1. ต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันรังสีสัมผัสกับผิวหนังและดวงตา คือสวมแว่นตาหรือหน้ากากเชื่อมจะเป็นชนิดที่สวมหัว (Helmet shield) หรือชนิดมือถือ (Hand shield) ก็ได้ และต้องเลือกกระจกกรองแสงให้ตรงตามมาตรฐาน ตามลักษณะงานที่นำไปใช้ และจำนวนกระแสไฟเชื่อมด้วย

2. ช่างเชื่อมควรสวมเสื้อผ้าที่ปกปิดร่างกายส่วนที่สัมผัสกับรังสี ควรเป็นเสื้อหนังและไม่ไหม้ไฟได้ง่ายเป็นเสื้อที่มีคอปกคลุมส่วนคอได้ มีแขนเสื้อยาว หมวก ปลอกแขน (Sleeves) และถุงมือหนัง

3. ต้องมีม่านกั้นป้องกันรังสี เพื่อป้องกันรังสีและแ สงจากการอาร์ครบกวนต่อผู้ผ่านไปมาหรือปฏิบัติงานอยู่ข้างเคียง

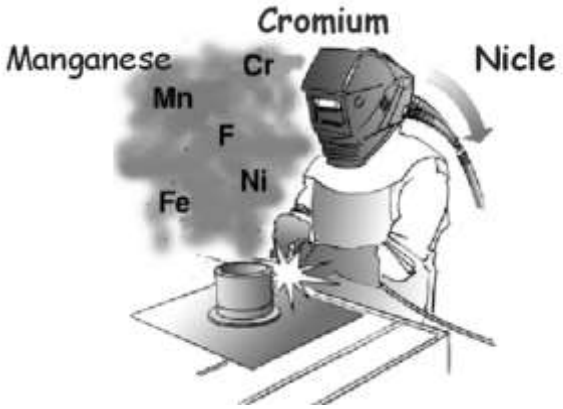
รูปที่ 1.11 แสดงการใช้ชุดป้องกันอันตรายจากรังสี

8.3 อันตรายจากควันและฝุ่นเชื่อม (Fumes and Dust)

ควันพิษที่เกิดจากการเชื่อม มาจากสารห่อหุ้มลวดเชื่อม (ฟลักซ์) จากออกไซด์ของเหล็ก เมื่อเหล็กได้รับความร้อน หรือจากรังสีที่ถูกความร้อน อันตรายโดยตรงจากควันพิษก็คือทำให้ดวงตาเกิดการอักเสบ เยื่อหลอดลมอักเสบ และปอดอักเสบเมื่อสูดหายใจเข้าไป พร้อมกันนี้ ทำให้สมองมึนงงเนื่องจากควันพิษนี้จะเป็นป้องกันออกซิเจนที่เข้าไปในร่างกายทำให้การทำงานของ หัวใจไม่ปกติ เป็นต้น ฉะนั้น ขณะทำการ

เชื่อมจะต้องมีการป้องกันไม่ให้ควันพิษเข้าไปในร่างกายโดยการหายใจได้ เช่น มีพัดลมดูดควันออกในขณะเชื่อมหรือหน้ากากป้องกันไอพิษเมื่อทำงานในที่จำกัด ฝุ่นเชื่อมเกิดจากสแลก (Slag) ที่เคาะออกจากแนวเชื่อม มีฝุ่นเล็กๆ ที่ทำให้ปอดอักเสบได้ สำหรับควันที่เกิดจากการเผาไม้ของโลหะงาน อาจเกิดเป็นควันพิษซึ่งทำอันตรายต่อช่างเชื่อมเป็นอย่างมาก การป้องกัน ควันและฝุ่นเชื่อมเป็นอันตรายต่อสุขภาพของช่างเชื่อมเป็นอย่างมาก ถ้าปฏิบัติการเชื่อมในบริเวณโรงงานหรือโรงฝึกงาน ควรมีการระบายอากาศหรือมีระ บบการดูดอากาศที่ถูกต้องปลอดภัย โดยเฉพาะในที่ซึ่งจำกัดคับแคบมีเพดา นสูงน้อยกว่า 16 ฟุตจะต้องมีระบบระบายอากาศในอัตราที่ไม่น้อยกว่า 200 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที และต่อช่างเชื่อม 1 คน ช่างเชื่อมต้องสวมหน้ากากเชื่อมทุกครั้งที่ปฏิบัติการเชื่อม และควรมีหน้ากากป้องกันควั นพิษและอุปกรณ์ช่วยหายใจสำหรับเชื่อมในสถานที่หรือโลหะที่น่าจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากเป็นพิเศษ เช่น โลหะพวกสังกะสี ทองเหลือง ตะกั่ว หรือแผ่นเหล็กอาบสังกะสี อาบตะกั่ว ซึ่งก๊าซที่ได้จะเป็นก๊าซพิษ และเป็นอันตรายต่อร่างกายดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้น ควรมีวิธีป้องกันและหลีกเลี่ยงดังนี้

1. บริเวณเชื่อมโลหะงานต้องมีการถ่ายเทอากาศที่ดี
2. ควรมีขนาดบริเวณพื้นที่เชื่อมที่เหมาะสม
3. ควรมีระบบดูดอากาศที่เพียงพอ
4. ควรอยู่เหนือลมขณะเชื่อม
5. ควรทราบถึงอันตรายและวิธีแก้ไขอันตรายที่เกิดจากสารพิษของโลหะงานที่จะเชื่อม
6. มีพัดลมดูดควันออกในขณะเชื่อมหรือหน้ากากป้องกันไอพิษเมื่อทำงานในที่จำกัด
7. ใช้เครื่องหรือผ้าปิดจมูกและปาก ป้องกันสารพิษต่างๆ เข้าสู่ร่างกาย



รูปที่ 1.12 แสดงควันพิษที่เกิดจากการเชื่อม

8.4 อันตรายจากการลุกไหม้และการระเบิดของก๊าซติดไฟ (Burns)

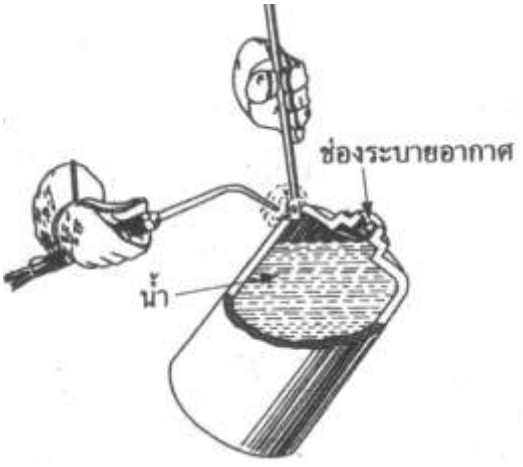
อันตรายของความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ (Burns) เกิดขึ้นจากการสัมผัสกับงานที่ร้อนจากเปลวอาร์ค และความร้อนจากสะเก็ดไฟการเชื่อมที่มีความร้อนสูง ช่างเชื่อมเป็นงานที่ช่างทำงานอยู่กับความร้อนและประกายไฟที่เกิดขึ้นหลาย ๆ ทาง ทั้งประกายไฟและความร้อนจากการอาร์ค ความร้ อนจากชิ้นงานซึ่ง

เชื่อมเสร็จใหม่ ๆ เป็นต้น ซึ่งความร้อนและประกายไฟดังกล่าวจะเป็นที่มาของการลุกไหม้และการระเบิดของก๊าซทำให้ติดไฟได้ง่ายถ้าทำ งานด้วยความประมาท ขาดความรอบคอบ และถ้าเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากสาเหตุดังกล่าวแล้วจะเป็นอันตรายอย่างยิ่ง ทั้งตัวช่างเชื่อมเองและสิ่งแวดล้อมข้างเคียงเป็นจำนวนมาก อันตรายจากกระบวนการอาร์คในขณะเชื่อม เช่น ประกายไฟอันเกิดจากการเชื่อมไฟฟ้าและสะเก็ดไฟที่กระเด็นออกมาจากการเชื่อม อย่างเช่นในกรณีการเชื่อมซ่ อมถังหรือภาชนะที่บรรจุน้ำมัน ก๊าซที่ติดไฟง่ายหรือถังบรรจุจารบี ซึ่งก่อให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรงได้ง่าย เพราะไอของสารเหล่านี้ไปโดนประกายไฟจากการเชื่อม แม้จะถ่ายเทสารเหล่านั้นออกหมดแล้วก็ตาม แต่ไอของมันยังมีหลง เหลืออยู่ ซึ่งต้องใช้ความระมัดระวังรอบคอบในการเชื่อม การป้องกันอันตรายจากการลุกไหม้และการระเบิดของก๊าซติดไฟ ผิวหนังถูกเผาไหม้ทำให้บาดเจ็บ มักเกิดขึ้นกับช่างเชื่อมเสมอนั้นมีวิธีป้องกัน ดังนี้

1. สวมถุงมือ ปลอกแขน และชุดเสื้อหนัง
2. ใช้คีมจับโลหะงานร้อนเสมอ
3. หลีกเลี่ยงการสัมผัสชิ้นงานบริเวณโต๊ะเชื่อม
4. ไม่พับแขนเสื้อ และขากางเกง
5. ใส่หน้ากากเชื่อมเสมอ

6. ถ้าจำเป็นต้องเชื่อมโลหะใกล้กับวัสดุที่ติดไฟได้ง่าย เช่น ผ้าและไม้ เป็นต้น ต้องย้ายวัสดุเหล่านั้นออกไปให้ห่างจากการเชื่อมเสียก่อน แต่ถ้าย้ายไม่ได้ก็ต้องมีแผ่ นเหล็กหรือผ้าใบปิดบังวัสดุนั้น ๆ เสียก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้สะเก็ดไฟเชื่อมหรือเศษโลหะร้อนหล่นลงไป ซึ่งอาจก่อให้เกิดไฟไหม้ได้

7. กรณีที่ต้องการเชื่อมซ่อมถังหรือภาชนะที่บรรจุน้ำมัน จารบี หรือถังก๊าซที่ติดไฟง่ายจะต้องล้างถังให้สะอาดหมดจดเสียก่อนโดยใช้ฉีดด้วยด้วยไอน้ำหรือสารเคมีบางชนิดที่กำจัดคราบน้ำมัน และก่อนเชื่อมต้องใส่น้ำลงในถังเกือบเต็ม โดยให้ต่ำกว่าบริเวณที่จะเชื่อม 1 หรือ 2 นิ้วและต้องเปิดวาล์วหรือฝาไว้ เพื่อให้ก๊าซและควันระเหยออกสู่ภายนอก วาล์วและข้อต่อต่าง ๆ ควรหาผ้าเปียกน้ำมาพันไว้เพื่อป้องกันการติดไฟ และต้องเตรียมเครื่องมือดับเพลิงไว้ใกล้ๆ บริเวณที่ทำการเชื่อมเสมอ



รูปที่ 1.13 แสดงการเชื่อมถังน้ำมัน

9. การปฏิบัติเพื่อความความปลอดภัยในการเชื่อมโลหะ

ในงานเชื่อมโลหะไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมด้วยไฟฟ้าหรือเชื่อมด้วยก๊าซก็ตามอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับ ช่างเชื่อมหรือที่ สร้างความเสียหายให้แก่สิ่งต่าง ๆ ภายในโรงงาน เครื่องมือ เครื่องจักร ส่วนหนึ่งมาจากการใช้เครื่องมือที่ไม่ถูกต้อง ใช้เครื่องมือชำรุดใช้เครื่องมือผิดประเภท ดังนั้นช่างเชื่อมจึงควรเรียนรู้เรื่องนี้

1. ก่อนการเชื่อมทุกครั้ง ช่างเชื่อมจะต้องตรวจสอบอุปกรณ์ และเครื่องมือทุกชิ้นเพื่อความพร้อมในการปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพ

2. บริเวณที่จะเชื่อมจะต้องมีการถ่ายเทอากาศที่ดี หรือมีระบบระบายอากาศที่ถูกต้อง

3. การเชื่อมโลหะที่เคลือบสังกะสี จะต้องทำการเชื่อมในที่ที่มีการถ่ายเทอากาศที่ดีเพราะควันที่เกิดจากสังกะสีที่เคลือบจะเป็นอันตรายต่อช่างเชื่อมอย่างมาก เช่น ทำให้เป็นไข้ แน่นหน้าอก และปวดศีรษะ

4. เครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่ขับด้วยเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน ควรติดตั้งเครื่องเชื่อมไว้ในที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก เพื่อป้องกันก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซพิษที่ถูกขับออกมาจากท่อไอเสีย

5. การเชื่อมชิ้นส่วนของงานส่วนใดส่วนหนึ่งประกอบติดกับชิ้นส่วนอื่นๆ ควรถอดออกมาก่อนเพื่อหลีกเลี่ยงการบิดงอ หรือป้องกันการละลายของโลหะผสมบางอย่างที่มีจุดหลอมต่ำเมื่อได้รับความร้อน

6. ต้องติดตั้งสวิตซ์ไฟกำลัง (Power disconnect switch) ไว้ใกล้มือในที่ที่ทำการเชื่อม เพื่อสามารถปิดเครื่องได้ทันทีด้วยความรวดเร็วเมื่อเกิดอุบัติเหตุ

7. อย่าทำการเชื่อมโลหะบนพื้นหรืออาคารที่ทำด้วยไม้ นอกจากได้ปูพื้นนั้นด้วยแผ่นแอสเบสทอส (Asbestos) หรือทรายรองรับโลหะร้อนๆ ไว้ก่อนแล้ว และก่อนการเชื่อมต้องนำวัสดุที่ติดไฟง่าย เช่น กระดาษ ไม้ น้ำมัน และเบนซิน ให้พ้นจากบริเวณที่จะทำการเชื่อม

8. สวมแว่นตา (Safety goggle) ทุกครั้งขณะที่ใช้ค้อนเคาะสแลกที่แนวเชื่อมเมื่อต้องการจะขัดผิวโลหะและผิวรอยเชื่อม ซึ่งช่างเชื่อมต้องแต่งกายให้ถูกต้องรัดกุม สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายให้พร้อม

9. เมื่อทำการเชื่อมนอกโรงงานหรือเชื่อมใกล้ๆ บุคคลอื่น ควรมีฉากกั้นป้องกันไม่ให้แสงเข้าตารบกวนผู้อื่นได้ และควรมีฉากชนิดยกเคลื่อนที่ได้ สำหรับกันลมมารบกวนขณะเชื่อมด้วย

10. อย่าทิ้งอุปกรณ์เครื่องมือ หรือโลหะร้อนๆ ลงบนพื้นโรงงาน เพราะจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการปฏิบัติงาน และอาจเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุแก่ตัวเองและเพื่อนร่วมงาน หรืออาจเกิดไฟไหม้ขึ้นได้ โดยเฉพาะโลหะชิ้นงานร้อนๆ อย่าใช้มือเปล่าจับ ควรใช้คีม

11. จะต้องเตรียมเครื่องมือดับเพลิงไว้ในที่ที่สามารถนำมาใช้ได้สะดวกรวดเร็วเมื่อต้องการและต้องตรวจสอบอยู่เสมอให้พร้อมที่จะใช้งานได้ตลอดเวลา

12. ภายหลังจาการเชื่อมเสร็จแล้ว ควรปิดสวิตซ์กระแสไฟฟ้าทั้งหมด และตรวจความเรียบร้อยไม่ให้มีสะเก็ดไฟร้อนๆ คงเหลืออยู่ในบริเวณนั้น

13. อย่าทำการเชื่อมหรือมองการเชื่อมด้วยตาเปล่า เพราะนอกจากจะไม่สามารถมองเห็นการเชื่อมได้แล้ว ความร้อนแรงของรังสีอัลตราไวโอเลตและรังสีอินฟราเรดที่เกิดขึ้นระหว่างทำการเชื่อม จะทำให้เป็นอันตรายแก่ร่างกายและสายตาอย่างมาก

14. ต้องเลือกใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจัก ให้ตรงกับหน้าที่และถูกต้องกับงานนั้นๆ เสมอ

15. เสื้อผ้าชุดปฏิบัติงานเชื่อมต้องแห้ง ติดไฟยาก สะอา ด ไม่เปื้อนน้ำมันหรือฝุ่นผงต่าง ๆ ถ้าเปื้อนฝุ่นห้ามใช้ออกซิเจนจากท่อเป่าไล่โดยเด็ดขาด

16. บริเวณทำการเชื่อม ต้องเตรียมระบบความปลอดภัยให้พร้อม และมีการถ่ายเทอากาศที่ดี

17. ช่างเชื่อมต้องปฏิบัติการเชื่อมด้วยความระมัดระวัง รอบคอบเสมอ ใช้ส ตินึกคิด จิตใจอยู่กับงานที่ทำ อย่าประมาทในการทำงาน

18. ช่างเชื่อมต้องแต่งกายเรียบร้อย รัดกุม สวมถุงมือ ปลอกแขน มีผ้าปิดอกหรือสวมเสื้อคลุมแบบแจ๊กเกต (Apron) อาจจะทำด้วยหนังหรือใยหินทับอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้ องกันความร้อนหรือ สะเก็ดโลหะร้อนๆ ที่กระเด็นออกมาจากการเชื่อม ส่วนปลายขากางเกงไม่ควรพับขึ้นใช้กางเกงที่ปล่อยขาคลุมรองเท้า เพื่อป้องกันสะเก็ดไฟหรือเศษโลหะร้อนๆ กระเด็นเข้าไปในขอบที่พับหรือเข้าไปในรองเท้าได้

19. อย่าทำการเชื่อมบนพื้นที่เปียกแฉะหรือมีน้ำขังยกเว้นได้จัดวัสดุทนไฟที่แห้งมารองแล้วเท่านั้น

20. ต้องตรวจสอบหัวจับลวดเชื่อมที่นำมาใช้ ซึ่งจะต้องมีฉนวนหุ้มอยู่ในสภาพที่ดี

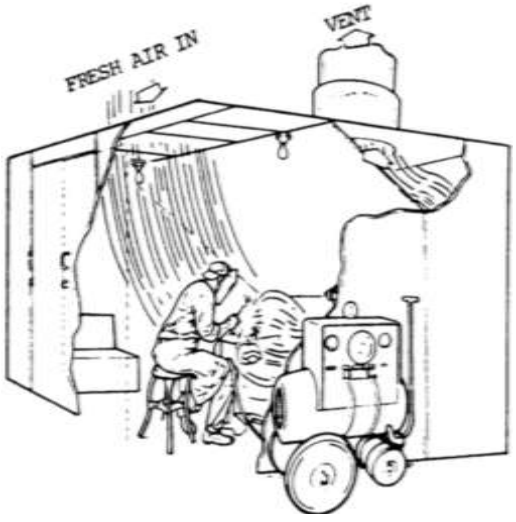
21. ขณะทำการเชื่อม ต้องยืนอยู่บนพื้นรองรับที่แข็งแรง เช่น พื้นไม้หรือคอนกรีต และถ้าพื้นเปียกชื้น จะต้องสวมรองเท้ายางหรือแผ่นไม้แห้งๆ มารองยืน

22. อย่าทำการเปลี่ยนสวิตซ์ปรับขั้วของเครื่องเชื่อม ขณะที่กำลังใช้เครื่องนั้นเชื่อมอยู่เพราะอาจจะเกิดสปาร์ค (Spark) ขึ้นทำให้ผิวหน้าตรงปลายของสวิตซ์ไหม้เกรียม และอาจทำให้ผู้เปลี่ยนสวิตซ์เป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ ควรเปลี่ยนสวิตช์ปรับขั้ว (Polarity switch) ในขณะที่เครื่องไม่ได้ทำงาน

23. เก็บวัสดุที่ติดไฟง่ายออกจากบริเวณที่ทำการเชื่อมให้หมด

24. การเชื่อมท่าเหนือศีรษะจะต้องสวมหมวกเพื่อป้องกันสแลคและสะเก็ดไฟตกลงบนศีรษะ

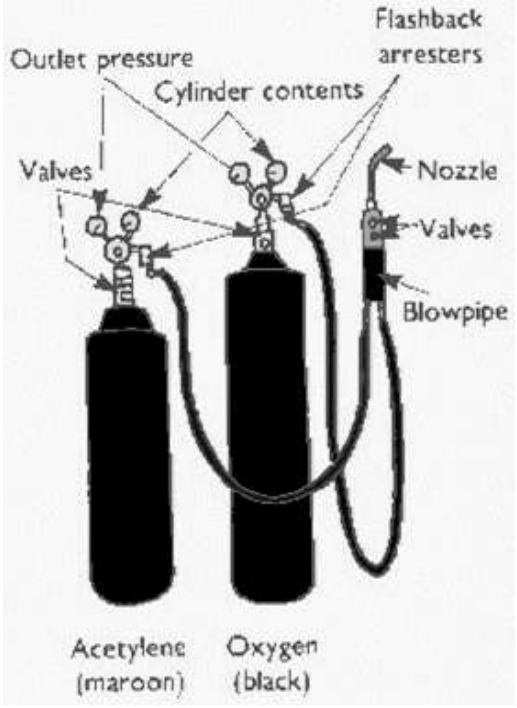
25. ระหว่างที่หยุดพักการเชื่อมเป็นเวลานานหรือเลิกเชื่อมจะต้องปิดเครื่องเชื่อมเสมอ ทั้งนี้เพื่อ ยืดอายุการใช้งานของเครื่องเชื่อมและป้องกันไม่ให้เครื่องเชื่อมเสียหาย



รูปที่ 1.14 แสดงการระบายอากาศ

10. ความปลอดภัยในงานเชื่อมก๊าซ

สาเหตุที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายจากการเชื่อมก๊าซ สามารถพิจารณา ความร้อนจากเปลวไฟบ่อหลอมละลาย โดยเฉลี่ยประมาณ 3250 °C และสะเก็ดไฟจากการเชื่อมแสงสว่างจากเปลวไฟ ปฏิกิริยาจากการเผาไหม้ ซึ่งทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์การชำรุดของอุปกรณ์ในการเชื่อมหรือการรั่วของก๊าซ



รูปที่ 1.15 แสดงชุดอุปกรณ์เชื่อมก๊าซ

10.1 ข้อควรปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในการเชื่อมก๊าซ

1. สวมแว่นตากรองแสง (Goggles) เสมอก่อนทำการจุดไฟที่ทอร์ชเชื่อม ปรับเปลวไฟและทำการเชื่อม แว่นที่ใช้จะต้องเป็นแว่นที่ออกแบบใช้กับการเชื่อมโลหะโดยเฉพาะ มีขนาดนัมเบอร์ความเข้มข้นของกระจกสีพอเหมาะกับสายตาของผู้เชื่อม

2. อุปกรณ์การเชื่อมและการตั ดด้วยก๊าซ ห้ามใช้สิ่งหล่อลื่นใด ๆ เช่น น้ำมันหรือจาระบีและห้ามไม่ให้ท่อออกซิเจนที่มีก๊าซออกซิเจนบรรจุอยู่ถูกกับน้ำมันหรือจาระบีอย่างเด็ดขาด

3. ก่อนการเชื่อมหรือทำการตัดด้วยก๊าซ จะต้องเตรียมสถา นที่โดยการนำเอาวัสดุที่ไวไฟต่าง ๆ ออกให้ห่างจากที่ทำการเชื่อม และจะต้องห่างจากท่อก๊าซทั้งสองด้วยนอกจากนี้ต้องเตรียมป้องกั นไม่ให้ประกายไฟหรือเศษโลหะร้อนๆ ตกลงไปโดนขาหรือเท้า หรือไปโดนสายเชื่อมและท่อก๊าซได้

4. ท่อก๊าซควรเก็บไว้ในที่ที่มีการถ่ายเทอากาศได้ดี และระหว่างท่อก๊าซกับที่ทำการเชื่อมไม่ควรมีสิ่งอื่นกีดขวาง เพราะหากเกิดเหตุฉุกเฉินจะได้ไปปิดวาล์วที่ท่อได้ทันท่วงที

5. จะต้องติดตั้งเครื่องดับเพลิงไว้ในที่ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้สะดวกรวดเร็วเมื่อต้องการ

6. อย่าจุดไฟกับโลหะชิ้นงานร้อน เพราะควันไฟจากการจุดจะทำให้ชิ้นงานดำไม่เรียบร้อย และไม่ควรใช้ไม้ขีดจุด เพราะจะทำให้ไฟไหม้มือ ควรใช้ที่จุดก๊าซ

7. อย่าทำการเชื่อมหรือตัดบนพื้นที่เป็นไม้ ถ้าจำเป็นจะต้องหาแผ่นเหล็ก แผ่นแอสเบสทอสหรือรองรับประกายไฟเสียก่อน

8. ขณะทำการเชื่อม อย่านำทอร์ช ซึ่งกำลังติดไฟเข้าไปใกล้ท่อก๊าซเพื่อปรับความดัน เพราะอาจระเบิดขึ้นได้เมื่อวาล์วก๊าซที่ท่อรั่ว

9. ท่อก๊าซควรวางในตำแหน่งตั้งตรงตลอดเวลา และท่อใดที่ก๊าซหมดควรทำเครื่องหมายหรือเขียนบอกกำกับไว้

10. ห้ามปฏิบัติการเชื่อมใกล้ท่อก๊าซน้อยกว่า 1.5 เมตร (5 ฟุต) เพราะเป็นระยะอันตราย เปลวไฟเชื่อมอาจทำให้ท่อก๊าซลุกติดไฟและระเบิดได้

11. เมื่อเลิกใช้ทอร์ชเชื่อม ต้องปิดวาล์วที่หัวถังทันที เพื่อไล่ก๊าซที่ค้างอยู่ในสายเชื่อมออก แล้วปิดวาล์วที่ทอร์ชเชื่อม เก็บสายเชื่อมแขวนไว้ในที่ซึ่งจัดไว้โดยเฉพาะ อย่าแขวนสวมถังไว้

12. ขณะเชื่อมเมื่อมีปัญหาใหม่เกิดขึ้นเกี่ยวกับ การเชื่อมหรืออุปกรณ์ในการเชื่อม หรือเมื่อมีเหตุฉุกเฉินเกิดขึ้น ต้องรีบแจ้งให้ผู้ควบคุมหรือผู้ที่รับผิดชอบทราบทันที

13. อย่านำเครื่องมือเครื่องใช้ที่ชำรุดมาใช้งาน ควรนำไปซ่อมเสียก่อนหรือแจ้งต่อผู้รับผิดชอบ

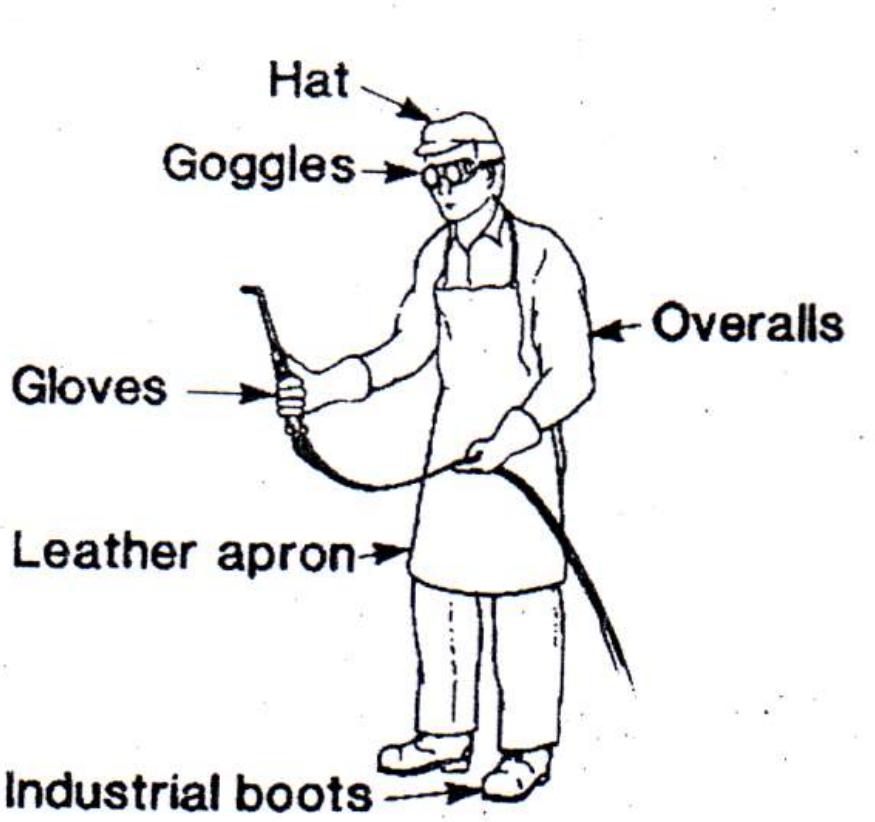
14. ช่างเชื่อมควรสวมเสื้อผ้าที่ทำด้วยขนสัตว์ ไม่ควรใช้ผ้าฝ้าย เพราะขนสัตว์ทนไฟกว่าและป้องกันผิวหนังได้ดีกว่าด้วย และเสื้อผ้าจะต้องไม่เปื้อนน้ำมันหรือจาระบี

15. ควรสวมถุงมือ ปลอกแ ขน หรือวัสดุป้องกันความร้อนอื่น ๆ เพื่อป้องกัน ข้อมือ แขนของช่างเชื่อม และจะต้องไม่ให้สิ่งเหล่านี้เปื้อนน้ำมันหรือจาระบี

16. อย่าใช้ออกซิเจนเป่าฝุ่น น้ำมันหรือจาระบีบนเสื้อผ้า เพราะจะทำให้เกิดลุกไหม้เป็นอันตรายได้โดยเฉพาะในที่ที่ปิดมิดชิดและอับอากาศ

17. ขณะที่ทำการเชื่อมยังไม่เสร็จเมื่อต้องการลุกไปหยิบเครื่องมือหรืออย่างอื่นชั่วคราวต้องดับไฟที่ทอร์ชเชื่อม แล้วแขวนไว้ให้เรียบร้อยเสียก่อน ไม่ควรติดไฟที่ทอร์ชทิ้งไว้

18. เมื่อที่ทำการเชื่อมโลหะผสมที่มีควันเป็นพิษ เช่น สังกะสี ทองเหลือง หรือเหล็กที่ทาสีไว้ก่อน ต้องทำในที่อากาศถ่ายเทสะดวกหรือต้องใช้เครื่องกรองอากาศช่วยหายใจเมื่อทำการเชื่อมหรือตัดโลหะที่บรรจุหรือเคลือบไว้ด้วยสังกะสี ปรอท อะลูมิเนียมหรือตะกั่ว จะต้องกระทำในที่ที่อากาศถ่ายเทได้สะดวกหรือควรใช้เครื่องกรองอากาศหายใจทุกครั้งเพราะเมื่อเชื่อมโลหะที่เคลือบด้วยโลหะเหล่านี้แล้ว จะทำให้เกิดก๊าซพิษ เมื่อสูดหายใจเข้าไปจะทำให้เป็นอันตราย



รูปที่ 1.16 แสดงชุดอุปกรณ์ป้องกันอันตราย

10.2 ข้อควรปฏิบัติเกี่ยวกับท่อก๊าซและสายยางเชื่อม

1. การเก็บท่อก๊าซออกซิเจน (Oxygen cylinder) และท่อก๊าซเซติลีน (Acetylene cylinder) ไม่ควรเก็บไว้รวมกัน ควรแยกออกจากกันคนละที่ และจะต้องเก็บท่อไว้ในที่มั่นคงยึดไว้ให้แน่น เพื่อป้องกันการโค่นล้ม ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ เสียหายได้

2. ต้องเก็บท่อก๊าซออกซิเจนให้พ้นจากน้ำมัน จาระบี และวัสดุไวไฟอื่นๆ อย่าใช้ถุงมือหรือมือที่เปื้อนน้ำมันจับวาล์วที่ท่อ หัวปรับความดัน สายเชื่อม และอุปกรณ์เชื่อมก๊าซอื่นๆ

3. ในการเคลื่อนย้ายท่อก๊าซออกซิเจน ต้องทำด้วยความระมัดระวัง อย่าให้ตกกระแทกพื้นแรง ๆ หรือระวังอย่าให้มีของหนัก ๆ มากกระทบ กระแทกได้ และต้องใช้ฝาครอบเหล็กปิดแล้วบิดเกลียวให้แน่น เพื่อป้องกันเกลียวไม่ให้ชำรุด

4. อย่าทำการเชื่อมหรือทำให้เกิดการอาร์คบนท่อก๊าซ

5. การเปิดวา ล์วที่ท่อก๊าซออกซิเจนจะต้องค่อย ๆ เปิดและผู้เปิดต้องยืนด้านข้างหัวปรับความดัน (Regulator) เพราะอาจเกิดก๊าซไหลพุ่งออกมาเป็นอันตรายต่อผู้เปิดได้ และก่อนเปิดจะต้องแน่ใจว่าได้คลายความตึงของเกลียวที่หัวปรับแล้ว ท่อก๊าซออกซิเจนต้องเปิดให้สุดรอบ เพื่อป้องกันการรั่วที่รอบแกนวาล์ว เมื่อเลิกใช้ก็ควรปิดวาล์วที่ท่อทันที

6. ในการจะเอาก๊าซออกซิเจนจากท่อมาใช้งาน จะต้องต่อผ่านหัวปรับก่อนเสมอ เพื่อลดความดันของก๊าซที่นำมาใช้ให้ต่ำลง เพราะถ้าต่อสายมาใช้โดยตรงเลย ความดันสูงจากภายในท่อจะทำให้สายเชื่อมไหม้หรือแตกได้

7. อย่าพยายามสับเปลี่ยนเอาหัวปรับความดันอย่ างอื่น สายเชื่อมหรืออุ ปกรณ์อื่นๆ ซึ่งมิได้ออกแบบไว้สำหรับใช้กับท่อก๊าซออกซิเจนโดยเฉพาะมาใช้เป็นอันขาด

8. ก่อนประกอบหัวปรับความดันเข้ากับท่อก๊าซออกซิเจน จะต้องเปิดวาล์วหัวท่อเพื่อไล่ฝุ่นก่อน โดยการเปิดปิดอย่างเร็ว เรียกว่า แครกกิ้ง (Cracking)

รูปที่ 1.17 แสดงการเก็บสายเชื่อม

10.3 ข้อควรปฏิบัติเกี่ยวกับท่อก๊าซอะเซติลีน

1. การเก็บท่อก๊าซอะเซติลีน ควรเก็บไว้ในที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก เป็นที่แห้งและเย็นแต่ไม่ชื้น แฉะ ห่างไกลจากวัสดุติดไฟได้ง่าย เช่นน้ำมัน เป็นต้น

2. เมื่อต้องการใช้ก๊าซจากท่อก๊าซอะเซติลีน ควรต่อหัวผ่านหัวปรับสำหรับใช้ท่อก๊าซอะเซติลีนโดยเฉพาะเสียก่อน และอย่าใช้ก๊าซอะเซติลีนจากท่อเกินกว่า 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

3. การเปิดวาล์วที่ท่อก๊าซอะเซติลีน อย่าเปิดให้เกินกว่า 1 รอบ

4. ก่อนที่จะประกอบหัวปรับความดันเข้ากับท่อก๊าซเซติลีน จะต้องเปิดวาล์วที่ ท่อแล้วปิดทันทีเสียก่อน เพื่อให้ก๊าซออกมาเป่าสิ่งสกปรก ฝุ่นละออง และเศษผลต่างๆ ออกจากนอลเซิล (Nozzle) ขณะที่เปิดก๊าซไล่ฝุ่นออก อย่ายืนอยู่ตรงทางออกของก๊าซ

5. เมื่อก๊าซหมดท่อ ก่อนส่งไปอัดก๊าซใหม่ จะต้องปิดวาล์วที่ท่อให้แน่น เพื่อป้องกันไม่ให้พวกก๊าซหรือสารละลายอะซีโตน (Acetone solvent) ที่ยังเหลืออยู่ออกมาได้ และใช้ฝาครอบเหล็กครอบวาล์วที่ท่อเสียด้วย เพื่อกันการกระทบกระแทกซึ่งวาล์วจะชำรุดได้

6. ถ้าจำเป็นต้องเก็บท่อก๊าซออกซิเจนและท่อก๊าซอะเซติลีนไว้รวมกันหรือใกล้กัน จะต้องหันรู ซึ่งเป็นทางออกของก๊าซทั้งสองไว้สองไว้ตรงข้ามกันห้ามหันรูทางก๊าซออกเข้าหากัน

7. อย่านำเปลวไฟเข้าไปสัมผัสหรือเข้าใกล้ท่อก๊าซอย่างเด็ดขาด

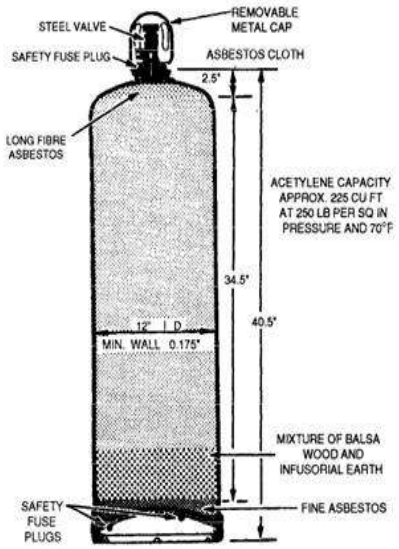
8. อย่าใช้ท่อก๊าซแทนลูกกลิ้ง ถึงแม้ก๊าซในท่อหมดแล้วก็ตาม ซึ่งจะทำให้เป็นอันตรายได้

9. ประแจสำหรับเปิดท่อก๊าซจะต้องปล่อยไว้ที่วาล์วหัวท่อตลอดเวลาในขณะที่เปิดท่อก๊าซใช้

10. อย่าเปิดวาล์วก๊าซอะเซติลีนใกล้ๆกับที่กำลังเชื่อม ใกล้ประกายไฟ หรือโลหะงานเชื่อมที่ร้อน

11. อย่าทำการอาร์คบนท่อก๊าซหรือใกล้ๆ ท่อก๊าซ

12. อย่าพยายามสับเปลี่ยนหัวปรับความดัน สายเชื่อม หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้สำหรับท่อก๊าซอะซิติลีนโดยเฉพาะไปใช้กับท่อก๊าซออกซิเจน หรือนำอุปกรณ์จากท่อก๊าซออกซิเจนมาใช้กับท่อก๊าซอะซิติลีน



รูปที่ 1.18 แสดงท่อแก๊สอะเซติลีน

10.4 ข้อควรปฏิบัติเกี่ยวกับสายท่อเชื่อม

1. ระวังอย่าให้โลหะร้อน ประกายไฟ ทับบนสายเชื่อม และอย่าใช้สายเชื่อมก๊าซที่เชื่อมคุณภาพ

2. อย่าวางสายท่อเชื่อมไว้เกะกะ หรือกีดขวางทางเดิน ซึ่งจะทำให้ไม่สะดวกในการทำงาน และอาจสะดุดล้มจนทำให้ท่อก๊าซและอุปกรณ์อื่นๆ ล้มลงได้

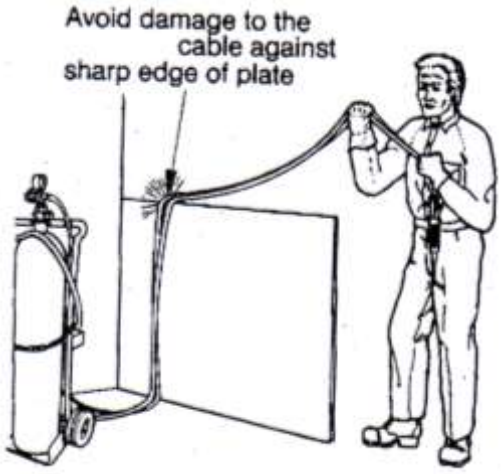
3. การตรวจรอยรั่วของก๊าซที่ข้อต่อและสายเชื่อม โดยการจุ่มสายเชื่อมที่มีความดันก๊าซอยู่ลงในถังน้ำ หรือใช้น้ำสบู่ทาลงบนที่ที่สงสัยว่าจะรั่ว แล้วสังเกตดูฟองอากาศ ห้ามใช้ไม้ขีดจุดเพื่อตรวจรอยรั่วของก๊าซอะเซติลีนโดยเด็ดขาด

4. อย่าพยายามซ่อมสายเชื่อมด้วยเทปหรือใช้ลวดพัน การซ่อมสายเชื่อมควรจะตัดสา ยตรงที่รั่วออกแล้วต่อด้วยข้อต่อหรือนิปเปิล

5. สายเชื่อมต้องระวังอย่าให้มีรอยขีดข่วนหรือเป็นรอยตัด ซึ่งจะเป็นเหตุให้ก๊าซรั่ว

6. อย่าให้สายเชื่อมโดนน้ำมัน จาระบี เพราะน้ำมันแทรกซึมเข้าไปในเนื้อยางผสมกับก๊าซออกซิเจน ทำให้เกิดอันตรายขึ้นได้

7. ต้องเลือกสายเชื่อมหรือสายท่อก๊าซมา ต่อให้ถูกต้องตามชนิดของก๊าซนั้น ๆ สาย และข้อต่อมาตรฐานของก๊าซกำหนดด้วยโค้ดสี ก๊าซออกซิเจนโดยทั่ วไป ๆ มีสายสีเขียวหรือสีดำ ข้อต่อต่าง ๆ เป็นเกลียวขวาทั้งหมด ก๊าซอะเซติลีนใช้สายสีแดง และข้อต่อต่างๆ เป็นเกลียวซ้ายทั้งหมด



รูปที่ 1.19 แสดงการปฏิบัติเกี่ยวกับสายเชื่อม

บทสรุป

อันตรายจากเครื่องจักร เป็นเรื่องที่เกิดขึ้นคู่ไปกับการขยายตัวของงานภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การก่อสร้าง และอื่นๆ ทั้งนี้เพราะไม่ว่างานประเภทใดก็ตามย่อมจะต้องเกี่ยวข้องและนำเอาเครื่องกล เครื่องจักร มาใช้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลอย่างสูงสุด ซึ่งเป็นการทุ่นเวลาและแรงงานของทรัพยากรมนุษย์อย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เครื่องจักรที่มีวิทยาการสมัยใหม่ปรับปรุงให้มีความเร็วสูงขึ้นและประสิทธิภาพดีเยี่ยมนั้น ย่อมจะมีโอกาสที่จะทำให้เกิดอันตรายขึ้น ซึ่งอันตรายนั้นย่อมทวีความรุนแรงมากขึ้นตามวิทยาการและเทคโนโลยีใหม่ๆ นั่นเอง

ใบเนื้อหา		สัปดาห์ที่ 2
หน่วยที่ 2	กระบวนการเชื่อมไฟฟ้า	จำนวน 4 ชั่วโมง

สาระสำคัญ

เทคโนโลยีการเชื่อมได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในศตวรรษที่ 20 ซึ่งอยู่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เทคโนโลยีการเชื่อมแบบใหม่ๆ ได้มีการเร่งพัฒนาเพื่อรองรับต่อการสู้รบในช่วงเวลานั้น เพื่อทดแทนการต่อโลหะแบบเดิม เช่นการใช้หมุดย้ำซึ่งมีความล่าช้าอย่างมาก ขบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ (SMAW) เป็นขบวนการหนึ่งที่พัฒนาขึ้นมาในช่วงนั้นและกระทั่งปัจจุบัน ยังคงเป็น กรรมวิธีที่ใช้งานกันมากที่สุดในประเทศไทยและประเทศกำลังพัฒนาทั้งหลาย

เนื้อหาสาระ

1. กระบวนการเชื่อมโลหะ

การเชื่อมโลหะ หมายถึง กระบวนการที่ใช้ในการต่อโลหะให้ติดกันโดย การใช้ความร้อนหรือไม่ใช้ความร้อนก็ได้จะเป็นโลหะชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ ให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน หรือไม่ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก็ได้ ประสานเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่ก็ได้โดยใช้ลวดเชื่อมหรือไม่ใช้ลวดเชื่อมก็ได้

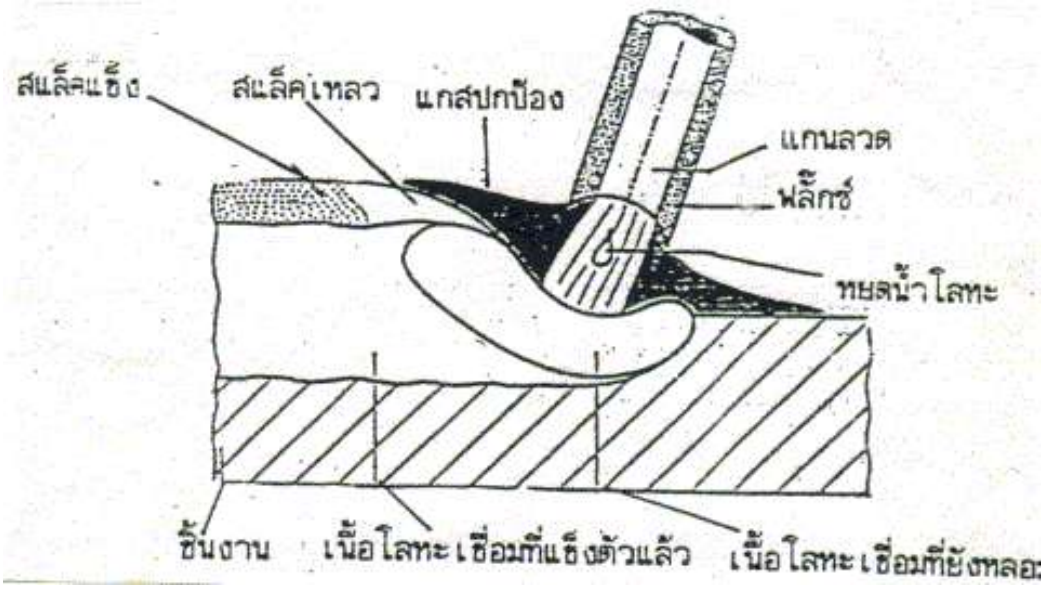
การเชื่อมไฟฟ้า (Arc Welding) เป็นวิธีการเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion Welding) โดยใช้ลวดเชื่อม (Electrode) จับเข้ากับหัวจับลวดเชื่อม (Electrode Holder) หัวจับลวดเชื่อมจะต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า และอีกขั้วหนึ่งจะต่อเข้ากับชิ้นงาน เมื่อปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับชิ้นงาน จะทำให้เ กิดการอาร์คระหว่างชิ้นงานกับลวดเชื่อม ถ้ายกลวดเชื่อมให้ห่างจากชิ้นงานประมาณ 2-3 มิลลิเมตรจะเกิดการอาร์คอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดแสงสว่างและความร้อนอุณหภูมิสูง ชิ้นงานจะถูกหลอมละลายทันที และตำแหน่งก็จะถูกลวดเชื่อมประสานเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งมีหลายกระบวนการเชื่อม เช่น

1. การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์
2. การเชื่อม TIG (TUNGSTEN INERT-GAS)
3. การเชื่อม MIG (METAL INERT-GAS WELDING)
4. การเชื่อมซับเมอร์ท (Submerged Arc Welding)

1.1 การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์

การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวด หุ้มฟลั๊กซ์ เป็นการเชื่อมไฟฟ้าแบบ Shield Metal Arc Welding (SMAW) หรือการเชื่อมแบบ Manual Metal Arc (MMA) จะใช้ความร้อนจากการอาร์คระหว่างปลายลวดเชื่อมกับชิ้นงานเพื่อหลอมละลายชิ้นงาน (Base Metal) เกิดเป็นแนวเชื่อม (Weld Bead) บ่อหลอมละลายจะมีก๊าซปกคลุม (Gas Shield) ซึ่งเกิดจากฟลั๊กซ์ที่หลอมละลาย ฟลั๊กซ์ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ก๊าซออกซิเจนและก๊าซ

ไนโตรเจนในอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะที่หลอมละลาย และควบคุมการอาร์ค ฟลั๊กซ์ที่หลอมละลายจะลอยขึ้นปกคลุมแนวเชื่อมเรียกว่า สแลค (Slag) โลหะที่สามารถเชื่อมด้วยกระบวนการ นี้มีหลายชนิด เช่น เหล็กเหนียว เหล็กหล่อ สแตนเลส เหล็กผสมต่ำ และเหล็กผสมสูง



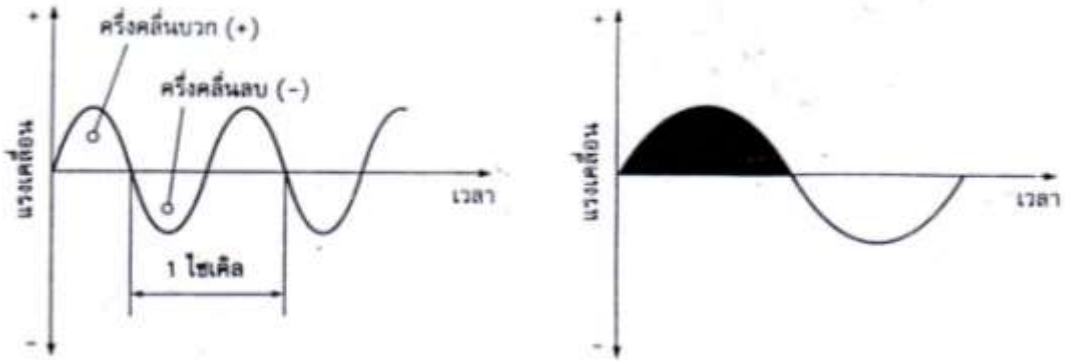
รูปที่ 2.1 แสดงการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์

2. กระแสไฟเชื่อม (Welding Current)

กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมป์หรือแอมแปร์วัดได้ด้วยแอมมิเตอร์ กระแสไฟเชื่อมมี 2 ชนิด คือ

2.1 กระแสไฟฟ้าสลับ (Alternating Current; AC)

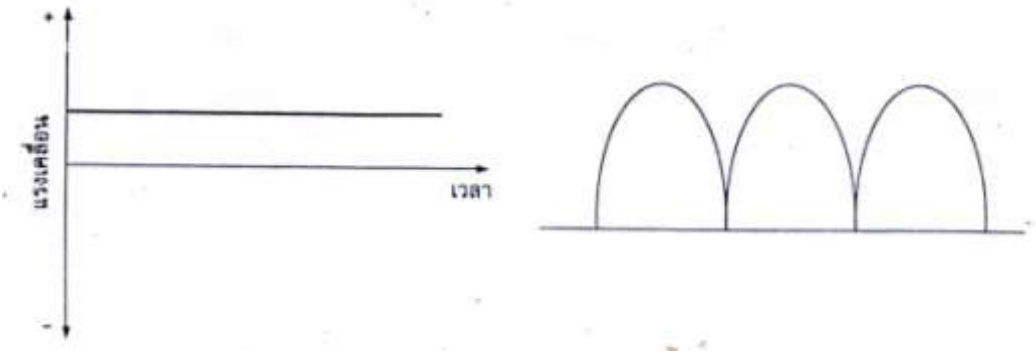
กระแสสลับ (AC) หมายถึงกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางการเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางสลับเป็นคลื่น (Wave) ตลอดเวลาโดยใน 1ไซเกิล กระแสไฟจะไหลผ่าน 0 (ศูนย์) จำนวน 2 ครั้งผ่านคลื่นบวก 1 ครั้งและคลื่นลบ 1 ครั้ง ในช่วงคลื่นบวกอิเล็กตรอนจะไหลไปทิศทางหนึ่ง ในช่วงคลื่นลบอิเล็กตรอนจะไหลไปอีกทิศทางหนึ่งที่ทิศทางตรงกันข้าม



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้าสลับ

2.2 กระแสไฟฟ้าตรง (Directing Current; DC)

กระแสไฟตรง (DC) หมายถึง กระแสไฟที่มีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในทิศทางตามยาวของตัวนำในทิศทางเดียวเท่านั้นการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเหมือนกับการเคลื่อนที่ของน้ำประปาในท่อ กระแสไฟตรงจะไหลจากขั้วหนึ่งไปอีกขั้วหนึ่งตลอดไม่มีการเปลี่ยนแปลงขั้ว

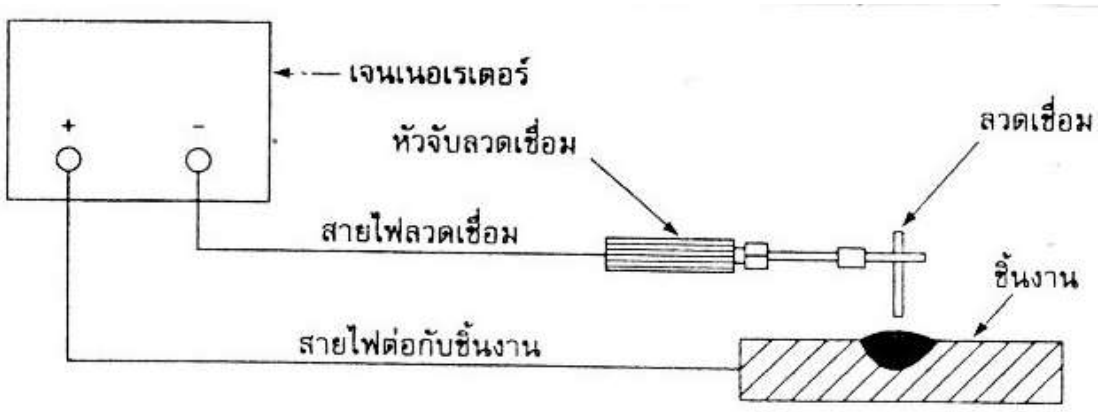


รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะกระแสไฟฟ้าตรง

2.3 ขั้วไฟเชื่อม

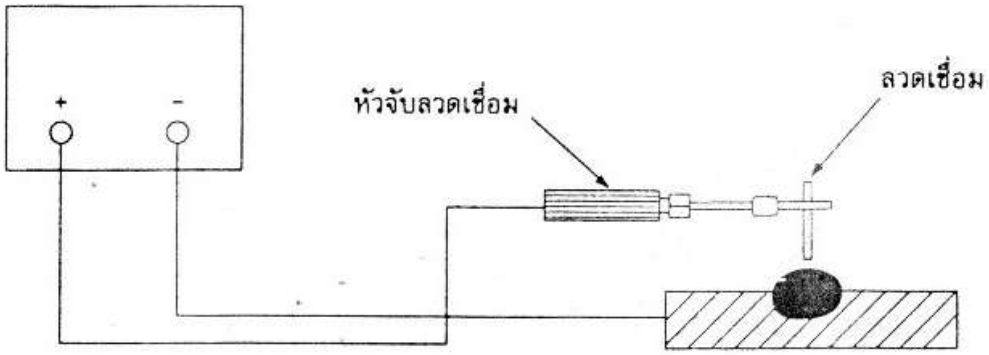
เครื่องเชื่อมกระแสตรง สามารถเปลี่ยนขั้วไฟที่สายเชื่อมได้จากขั้วหนึ่งไปต่อเข้ากับอีกขั้วหนึ่งเพื่อคุณภาพของการใช้ในงานเชื่อม การเปลี่ยนขั้วเชื่อมทำได้ด้วยการเปลี่ยนขั้วของสายเชื่อมที่เครื่องเชื่อม แต่เครื่องรุ่นใหม่ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนขั้ วสายเชื่อม สามารถใช้วิธีสับเปลี่ยนสวิทซ์ที่อยู่ด้านหน้าของเครื่องเชื่อมแทน เครื่องเชื่อมกระแสสลับไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนขั้วสายเชื่อมเนื่องจากกระแสไฟสลับมีการเปลี่ยนขั้วในหลายๆ ครั้งต่อนาทีอยู่แล้ว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงขั้วของกระแสไฟ การเชื่อมด้วยก ระแสตรงสามารถต่อขั้วเชื่อมได้ 2 แบบ คือ

1. การต่อสายเชื่อมให้ลวดเชื่อมเป็นขั้วลบ ชิ้นงานเป็นขั้วบวก หรือที่เรียกว่ากระแสตรงขั้วตรง (Direct Current Electrode Negative) ใช้สัญลักษณ์ว่า DCEN การต่อขั้วแบบนี้จะมีผล ทำให้ความร้อนเกิดขึ้นที่ลวดเชื่อมน้ อยกว่าที่ชิ้นงาน จึงเหมาะสำหรับเชื่อมชิ้นงานที่มีความหนามากและงานที่ต้องการการซึมลึกสูง

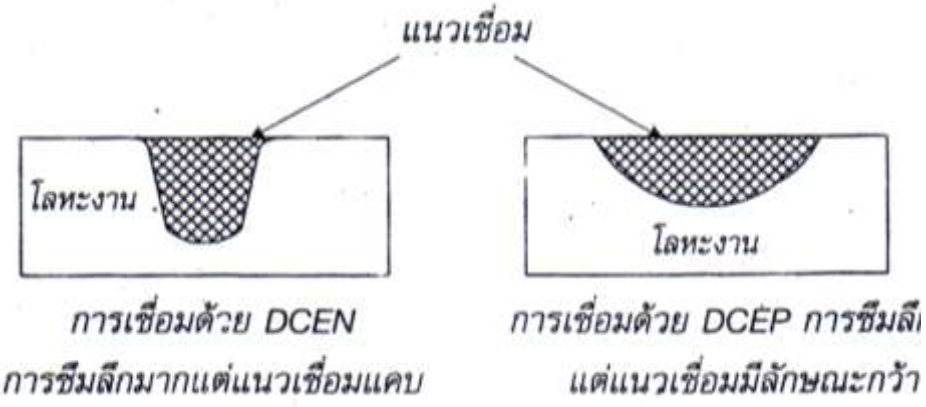


รูปที่ 2.4 แสดงวงจรต่อขั้วตรง

2. การต่อสายเชื่อมให้ลวดเชื่อมเป็นขั้วบวก ชิ้นงานเป็นขั้วลบ หรือที่เรียกว่ากระแสตรงกลับขั้ว (Direct Current Electrode Positive) ใช้สัญลักษณ์ว่า DCEP การต่อขั้วแบบนี้จะมีผลทำให้ความร้อนเกิดขึ้นที่ลวดเชื่อมมากกว่าที่ชิ้นงาน (ประมาณ 70% อยู่ที่ลวดเชื่อม 30% อยู่ที่ชิ้นงาน) เหมาะสำหรับการเชื่อมงานบางๆ และงานที่ต้องการการซึมลึกต่ำ



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรต่อกลับขั้ว



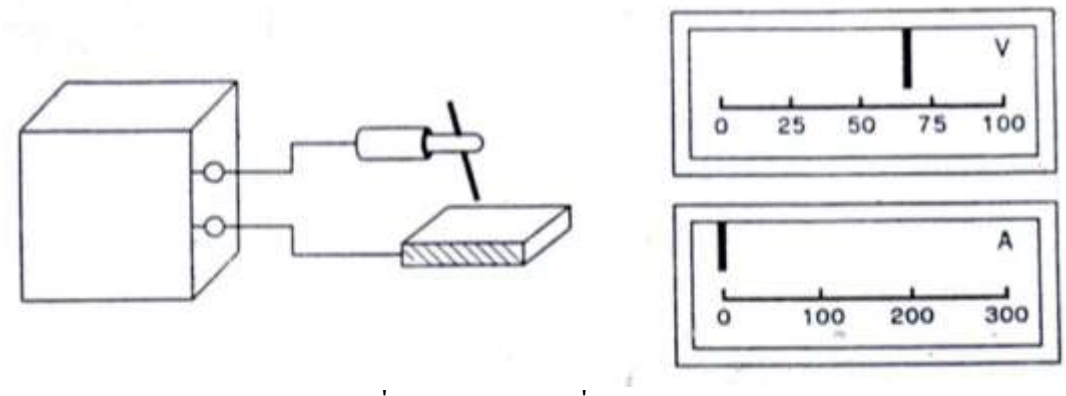
รูปที่ 2.6 แสดงเปรียบเทียบลักษณะแนวเชื่อม

3. แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องเชื่อม (WELDNG MACHINE VOLTAGE)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงานคือแรงที่ดันให้อิเล็กตรอนเคลื่อนผ่านช่องระหว่างปลายลวดเชื่อมกับชิ้นงานมีหน่วยวัดเป็นโวลท์ (Volt) สามารถวัดได้ด้วยโวลท์มิเตอร์ ชนิดของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Type of Voltage)

3.1 แรงเคลื่อนวงจรเปิด (Open Circuit Voltage)

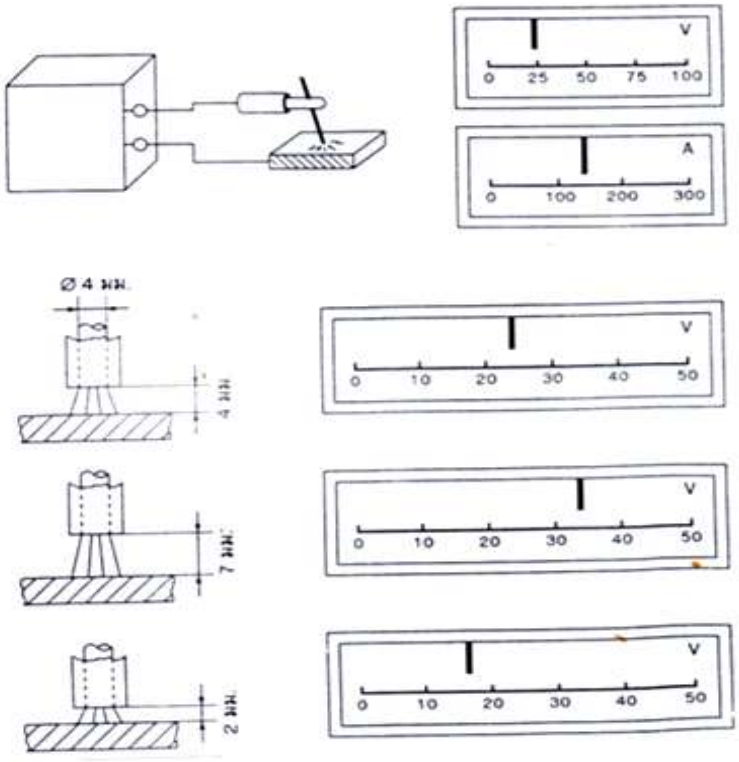
ขณะที่เครื่องเชื่อมเปิดอยู่แต่ไม่ได้ทำการเชื่อมแรงเคลื่อนจะสูงแต่เมื่อทำการเชื่อมแรงเคลื่อนจะลดลงเครื่องเชื่อมมาตรฐานจะมีขนาดแรงเคลื่อนวงจรเปิดอยู่ที่ประมาณ 70-80 โวลท์ถ้าหากสูงมากกว่านี้จะเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน และถ้าต่ำเกินไปจะทำให้การเริ่ มต้นอาร์คทำได้ยาก แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสองของเครื่องเชื่อมขณะที่เปิดเครื่องเชื่อมนั้นคือแรงเคลื่อนวงจรเปิด วัดค่าได้โดยเอาโวล ท์มิเตอร์จับวัดที่ขั้วทั้งสองของเครื่องเชื่อม



รูปที่ 2.7 แสดงแรงเคลื่อนวงจรเปิด

3.2 แรงเคลื่อนวงจรปิดหรือแรงเคลื่อนอาร์ค (Arc Voltage)

แรงเคลื่อนวงจรเปิดจะเปลี่ยนเป็นแรงเคลื่อนอาร์ค เมื่อเริ่มทำการอาร์ค แรงเคลื่อนอาร์คสามารถวัดได้โดยเอาโวลท์มิเตอร์จับวัดที่ขั้วทั้งสองของสายเชื่อมในขณะทำการเชื่อมอยู่แรงเคลื่อนจะเปลี่ยนแปลงตามระยะอาร์คถ้าระยะอาร์คยาวแรงเคลื่อนจะเพิ่มสูงขึ้นแต่กระแสไฟเชื่อมจะลดลง ถ้าหากให้ระยะอาร์คสั้นลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะลดลงตามแต่กระแสไฟเชื่อมจะเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นในการเชื่อมจะต้องรักษาระยะอาร์คให้คงที่และถูกต้อง เพื่อไม่ให้กระแสไฟเชื่อมเปลี่ยนแปลงมากเกินไปในขณะเชื่อมให้ระย ะอาร์คสั้นที่สุดเพื่อการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนในขณะเชื่อมจะได้มีน้อยที่สุด



รูปที่ 2.8 แสดงแรงเคลื่อนการอาร์ค

4. เครื่องเชื่อมไฟฟ้า (ARC WELDING MACHINE)

เครื่องเชื่อมไฟฟ้ามีความสำคัญยิ่งในการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าเป็นต้นกำลังที่ใช้ผลิตกระแ สและแรงดันไฟฟ้าให้กับการเชื่อมมี ใช้ทั้งไฟฟ้าเฟสเดียวและสามเฟส ระบบ 220 โวลท์ และ 380 โวลท์ ความถี่ 50 หรือ 60 เฮิร์ท กระแสไฟเชื่อมตั้งแต่ 150 ถึง 500 แอมแปร์การเชื่อมไฟฟ้ามีหลักการที่สำคัญ คือ การทำให้ชิ้นงานหลอมละลายติดเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ความร้อนซึ่งมี อยู่ด้วยกันหลายวิธี หลายกระบวนการในขณะที่วัสดุหลอมละลายหากนำเอาวัสดุชนิดเดียวกันเติมเข้าไปตรงจุดที่หลอมละลายก็จะทำให้วัสดุทั้งสองติดเป็นเนื้อเดียวกันมีความแข็งแรงมากขึ้นเรียกวัสดุเติม ว่า ลวดเชื่อม (ELECTRODE) ในการเชื่อมจำเป็นต้องปรับค่ากระแสไฟ ตามชนิดลวดเชื่อม ขนาดลวดเชื่อม ตำแหน่งท่าเชื่อม ชนิดโลหะงาน ขนาดความหนา บางของชิ้นงานเพื่อให้ได้ปริมาณความร้อนที่เพียงพอที่จะหลอมละลายชิ้นงานตรงบริเวณที่จะเชื่อมและลวดเชื่อม เครื่องเชื่อมมีทั้งแบบปรับเปลี่ยนกระแสไฟและ ปรับเปลี่ยน แรงเคลื่อนไฟฟ้า เพื่อให้สามารถเชื่อมชิ้นงานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพสำหรับเครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่มีใช้กันปัจจุบันมีด้วยกัน 5 แบบ

1. เครื่องเชื่อมแบบเยนเนอเรเตอร์ (GENRATOR) ผลิตกระแสไฟฟ้าตรงเพื่อใช้ในการเชื่อม
2. เครื่องเชื่อมแบบหม้อแปลงไฟฟ้า(TRANSFORMER) ผลิตไฟฟ้ากระแสสลับในการเชื่อม
3. เครื่องเชื่อมแบบเรียงกระแส (RECTIFIER) ผลิตไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อใช้ในการเชื่อม
4. เครื่องเชื่อมไทริสเตอร์ (THYRISTOR) ผลิตทั้งไฟฟ้ากระแสตรง และสลับ

5. เครื่องเชื่อมแบบอินเวอร์เตอร์ (INVERTOR) ผลิตทั้งไฟฟ้ากระแสตรง และสลับ

4.1 ชนิดของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบ่งตามชนิดกระแสไฟได้ 2 ชนิด คือ

1. เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง (DC.WELDING MACHINE)

2. เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับ (AC. WELDING MACHINE)

4.2 เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง (DC.WELDING MACHINE)

เครื่องเชื่อมกระแสตรงมี 2 แบบ คือ

1. เครื่องเชื่อมกระแสตรงแบบเยนเนอเรเตอร์ (Generator) เป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้เยนเนอเรเตอร์ เป็นแหล่งพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นเป็นพิเศษสำหรับงานเชื่อมโลหะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าสูงที่มีแรงเคลื่อนต่ำมีทั้งแบบที่ขับเคลื่อน ด้วยมอเตอร์ (Electric Driven motor Generator) และแบบที่ขับด้วยเครื่องยนต์ (Engine Motor Generator) ซึ่งจะเป็นแบบเครื่องยนต์ดีเซล หรือเครื่องยนต์แก๊สโซลีนก็ได้ เครื่องเชื่อมแบบขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์นี้เหมาะสำหรับงานภาคสนามที่ไม่มีไฟฟ้าใช้

2. เครื่องเชื่อมกระแสตรงแบบเรกติไฟเออร์ (Rectifier Welding Machine) เป็นเครื่องเชื่อมแบบหม้อแปลงไฟฟ้าที่จะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยไฟกระแสสลับจะถูกแปลงให้มีแรงดันไฟฟ้าต่ำลงแต่มีกระแสสูง แล้วผ่านเข้าไปในเครื่องเรียงกระแส (Rectifier) กระแสไฟจะถูกบังคับให้ไหลในทิศทางเดียว กระแสที่ออกมาจากเครื่องจึงเป็นกระแสตรง

เครื่องเชื่อมกระแสตรง สามารถปรับกระแสสูง -ต่ำได้ แต่การเชื่อมบริเวณมุมจะทำได้ไม่ค่ อยดีนัก เนื่องจากขณะกำลังเชื่อมจะเกิดอำนาจ แม่เหล็กดึงดูดแนวเชื่อม ทำให้ลวดเชื่อมที่กำลังหลอมละ ลายถูกอำนาจแม่เหล็กดึงให้น้ำโลหะเฉออกไปทำให้เชื่อมงานไม่ติดหรือเป็นโพรงอากาศเครื่องเชื่อมกระแสตรงสามารถสลับขั้วไฟฟ้าบวก (+) และขั้ว (-) ได้ดังนั้นเมื่อเกิดการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน ถ้าให้ขั้วลบเป็นสายดินต่อเข้ากับชิ้นงาน ประจุไฟฟ้าจะวิ่งจากสายดิน หรือชิ้นงานไปยังขั้วบวกซึ่งเป็นลวดเชื่อม (DCEP) ทำให้ความร้อนที่ชิ้นงานสูงกว่าที่ลวดเชื่อมการซึมลึกจะต่ำเหมาะกับการเชื่อมเหล็กบางๆ ในทำนองเดียวกันหากให้ลวดเชื่อมเป็นขั้วลบ ประจุไฟฟ้าจะวิ่งจากลวดเชื่อมไปหาชิ้นงาน ลวดเชื่อมจึงได้รับความร้อนมาก แต่ชิ้นงานได้รับความร้อนน้อยกว่าการหลอมละลายที่ชิ้นงานจึงน้อย ดังนั้ นการเชื่อมชิ้นงานที่ความหนามากๆ การเชื่อมลึกสูงต้องให้สายดินเป็นขั้วบวก (DCNP)

รูปที่ 2.9 แสดงเครื่องเชื่อมกระแสตรง

4.3 เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับ (AC. WELDING MACHINE)

เครื่องเชื่อมกระแสสลับเป็นเครื่องเชื่อมแบบหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformers) เครื่องเชื่อมแบบนี้จะแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแรงเคลื่อนสูงเป็นแรงเคลื่อนต่ำและแปลงกระแสต่ำเป็นกระแสสูง โดยหม้อแปลงไฟฟ้า ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าจึงสลับกันระหว่างชิ้นงานกับลวดเชื่อมใน การเชื่อมงานที่มีขนาดความหนามากๆ หรือการเชื่อมซึมลึกเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบกระแสตรง จะกระทำได้ไม่ค่อยดีนักแต่ในการเชื่อมเข้ามุมจะเชื่อมได้ดีกว่า เนื่องจากไม่เกิดอำนาจแม่เหล็กดึงดูดแนวเชื่อม

รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของเครื่องเชื่อมกระแสสลับ

4.4 หลักการเลือกใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้า

1. การเชื่อมมุมควรเลือกเครื่องเชื่อมกระแสไฟฟ้าสลับ เนื่องจากเครื่องเชื่อมกระแสสลับไม่เกิดอำนาจแม่เหล็กขณะทำงานการเชื่อม

2. การเชื่อมที่ต้องการซึมลึก ควรเลือกเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากกระแสไฟฟ้าจะวิ่งไปในทางเดียว จากขั้วลบไปหาขั้วบวก (กรณีให้ชิ้นงานเป็นขั้วบวก) แต่มีข้อยกเว้นถ้าใช้ลวดเชื่อม เบสิก (BASIC) ให้ลวดเชื่อมเป็นขั้วบวก

3. การเชื่อมพอกเพื่อเพิ่มความหนา ควรเลือกเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าสลับวิ่งสลับเป็นความถี่ ทำให้เกิดการซึมลึกได้น้อย

4. การเชื่อมแผ่นเหล็กหนาๆ ควรเลือกเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากให้การซึมลึกที่ดี และยังสามารถปรับกระแสไฟได้สูงกว่า เครื่องเชื่อมแบบกระแสไฟสลับ

5. การเชื่อมชิ้นงานบางๆ ควรใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงกลับขั้วให้ลวดเชื่อมเป็นขั้วบวก (+)

ความหนาชิ้นงาน (มม.)	ขนาดลวดเชื่อม (มม.)	กระแสไฟ (แอมป์)/ ท่าเชื่อม			
		F	H	V	O
ไม่เกิน 2 มม.	1.6	20-40	20-40	20-40	20-40
2.0	2.0	60-100	60-100	60-100	60-100
2.0-3.0	2.6	45-95	45-95	45-95	45-95
3.0-5.0	3.2	65-125	65-125	65-125	65-125
5.0-ขึ้นไป	4	130-150	120-140	120-140	120-140
	5	130-250	120-240	120-240	130-240
	6	230-300	220-300	220-300	220-300
	8	330-400	330-400	330-400	330-400

ตารางที่ 3.1 ขนาดลวดเชื่อมกับกระแสไฟฟ้าที่ใช้

การฝึกเชื่อมงานเบื้องต้น นิยมใช้ลวดที่มีขนาด 3.2 และ 2.6 มม. ดังนั้นก่อนทำการเชื่อมควรฝึกตั้ งกระแสไฟให้ถูกต้องเหมาะกับขนาดลวดเชื่อมและความหนาของชิ้นงาน ตำแหน่งการเชื่อมซึ่งโดยทั่วไปจะมีระยะห่างระหว่าง 2 - 4 มม. หรือเท่ากับความโตของลวดเชื่อม

4.5 การตรวจสอบและการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อม

จะต้องทำการตรวจสอบและดูแลรักษาสม่ำเสมอ เพื่อให้เครื่องเชื่อมอยู่ในสภาพพร้อมที่จะใช้งานและสามารถทำการเชื่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ช่วงเวลา	จุดตรวจ
การตรวจสอบประจำวัน	1. สวิตซ์ไฟ มือหมุน เข็มวัดกระแสไฟ การเป็นฉนวนและความแน่นของขั้วสายไฟ
การตรวจสอบประจำเดือน	2. สวิตซ์ไฟ,การเปลี่ยนเทป,การสึกหรอของสิ่งที่เคลื่อนที่,การหล่อลื่นการหลุดของขั้วปฐมภูมิและทุติยภูมิ,การต่อสายเคเบิลและสายดิน
การตรวจสอบประจำปี	3. เปลี่ยนชิ้นส่วนที่สึกหรอ,ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ,ซ่อมแซมส่วนของเครื่องเชื่อมที่แตกหักหรือเปลี่ยนรูปไป,การตรวจสอบความเป็นฉนวนของวงจรไฟฟ้า,ขันเกลียวที่แกนและขดลวดให้แน่นเป็นต้น

ตารางที่ 3.2 การตรวจสอบและการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อม

4.6 ข้อควรระวังและข้อพึงปฏิบัติในการใช้เครื่องเชื่อม

1. การใช้เครื่องเชื่อมจะต้องได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมและต้องแน่ใจว่าสามารถใช้ได้อย่างถูกต้อง

2. ก่อนใช้เครื่องต้องตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่องเชื่อมเช่น สายไฟ สานดิน สายไฟที่ต่อกับเครื่องจะต้องถูกยึดแน่น

3. เมื่อเลิกใช้เครื่องหรือหยุดพักการใช้เครื่องชั่วคราวจะต้องปิดเครื่องเสมอ เพื่อป้องกันเครื่องเชื่อมไฟฟ้าเสียหาย และมีอายุการใช้งานที่นานขึ้น

4. ต้องทำความสะอาดเครื่องอยู่เสมอ ทั้งด้านในและด้านอก โดยใช้วิธีเป่าเอาฝุ่นออก

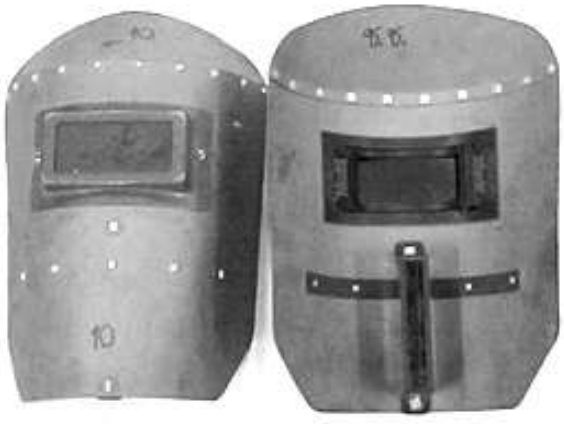
5. ห้ามอุ่นลวดเชื่อมด้วยวิธีจี้ลวดติดชิ้นงานแล้วแช่ไว้

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันอันตราย (Protective Equipment)

5.1 หน้ากากเชื่อมไฟฟ้า

ใช้สำหรับป้องกันใบหน้าและดวงตา จากรังสีอุลตร้าไวโอเลต รังสีอินฟราเรทความร้อนและเม็ดโลหะร้อนกระเด็น หน้ากากเชื่อมทำจากวัสดุทนความร้อน เช่นพลาสติกทนไฟ หรือไฟเบอร์กลาสโดยมีกระจกกรองแสงเป็นส่วนประกอบซึ่งหน้ากากเชื่อมที่ดีต้องมีน้ำหนักเบาและทนต่อความร้อน หน้ากากเชื่อมมี 2 แบบ คือ แบบสวมหัว และแบบมือถือกระจกกรองแสงหรือเลนส์เชื่อมสามารถดูดซึมรังสีอุตราไวโอเลต และรังสีอินฟราเรทได้ประมาณ 99.5 ถึง 99.75% การเชื่อมด้วยการอาร์คควรใช้กระจกกรองแสงเบอร์ 8-14 สำหรับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์และคาร์บอนอาร์ค

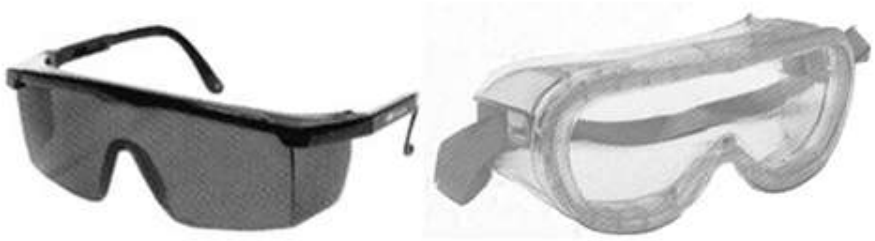
เลนส์เชื่อมเบอร์ 8	ใช้กับกระแสไฟเชื่อม	ประมาณ 75 แอมแปร์
เลนส์เชื่อมเบอร์ 10	ใช้กับกระแสไฟเชื่อม	ประมาณ 200 แอมแปร์
เลนส์เชื่อมเบอร์ 11	ใช้กับกระแสไฟเชื่อม	ประมาณ 300 แอมแปร์



รูปที่ 2.11 แสดงหน้ากากแบบมือถือ

5.2 แว่นตากันสะเก็ดเชื่อมไฟฟ้า (Goggles)

การปฏิบัติงานบางครั้ง เช่นการทำงานในที่สูงต้องใช้แว่นตาเชื่อมเพื่อความสะดวก



รูปที่ 2.12 แสดงแว่นตานิรภัย

5.3 ชุดปฏิบัติงานเชื่อม

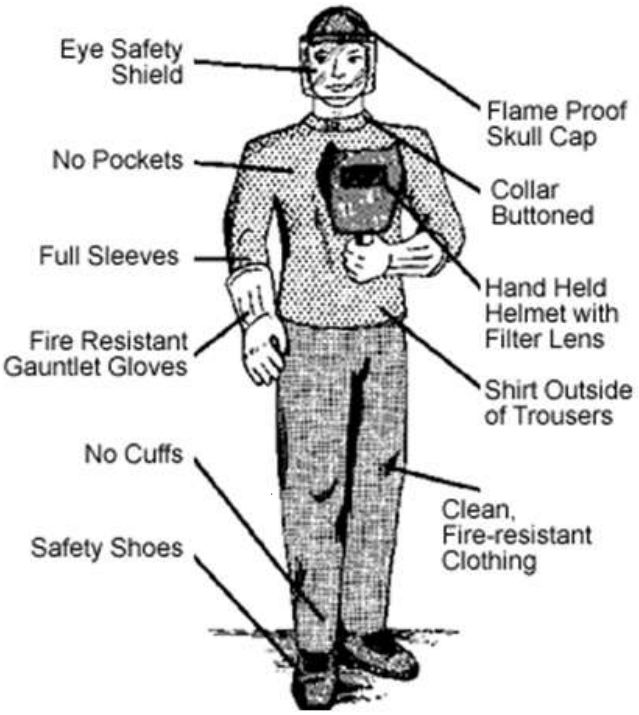
เสื้อหนัง ใช้สำหรับป้องกันสะเก็ดไฟและรังสี ทำมาจากวัสดุต้านทาน เช่น หนังสัตว์ เอสเบสทอส เป็นต้น เพื่อป้องกันการแผ่รังสีของแสงจากความร้อน

ถุงมือ ทำมาจากวัสดุต้านไฟ เช่น หนังสัตว์ เอสเบสทอส เพื่อป้องกันแสงและความร้อนบริเวณมือ

ปลอกแขน ใช้ป้องกันอันตรายสะเก็ดไฟและความร้อนบริเวณแขนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อม

ปลอกหุ้มข้อเท้า ใช้ป้องกันสะเก็ดไฟและความร้อนที่บริเวณขาของช่างเชื่อม

รองเท้านิรภัย เป็นแบบหัวเหล็ก หนังที่ทำต้องทนไฟและความร้อนได้ดีเพื่อป้องกันวัตถุทับนิ้วเท้า

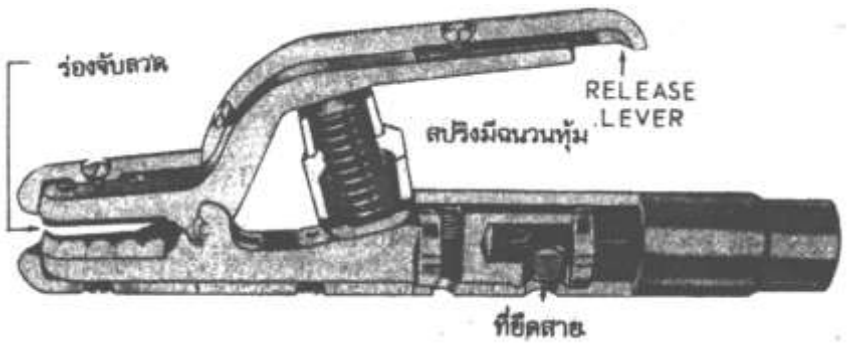


รูปที่ 2.13 แสดงชุดปฏิบัติงานเชื่อม

6. เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อม

6.1 หัวจับลวดเชื่อม (Electrode Holder)

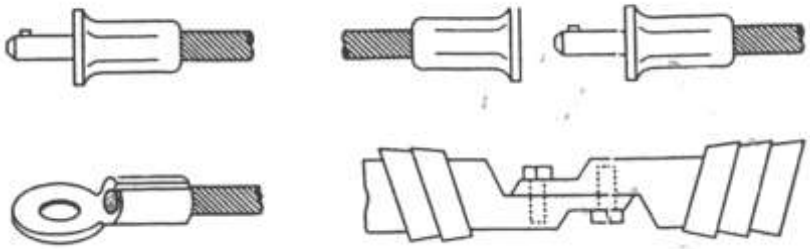
ใช้สำหรับจับลวดเชื่อมและเป็นตัวนำไฟฟ้าสู่ชิ้นงานลักษณะของหัวเชื่อมที่ดีมีลักษณะดังนี้ มีน้ำหนักเบา ทนความร้อนสูงถอดใส่ลวดเชื่อมได้ง่าย เป็นชนวนป้องกันไฟฟ้าดูด และมีฉนวนกันความร้อนหุ้มอย่างดี ทนกระแสเชื่อมสูงขนาดหัวเชื่อมขึ้นอยู่กับกระแสสูงสุดที่ใช้ในการเชื่อม



รูปที่ 2.14 แสดงหัวจับลวดเชื่อม

6.2 ข้อต่อสายเชื่อม (Cable Connectors)

ทำหน้าที่ต่อสายดิน หรือใช้ต่อสายเชื่อมให้ยาวขึ้นการต่อสายเชื่อมต้องต่อให้แน่นเพื่อป้องกันการอาร์คที่จุดต่อซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานและสายเชื่อมจะร้อนเร็ว



รูปที่ 2.15 แสดงข้อต่อสายเชื่อม

6.3 สายเชื่อมไฟฟ้า (Cable)

สายเชื่อมไฟฟ้ามี 2 สาย คือ สายเชื่อม (Electrode Cable) และสายดิน (Ground) สายเชื่อมมีหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าจากเครื่องเชื่อมผ่านหัวเชื่อม ลวดเชื่อมไปสู่ชิ้นงาน สายดิน คือสายไฟฟ้าเชื่อมที่ต่อเข้ากับชิ้นงานเพื่อให้กระแสไฟไหลครบวงจรสายเชื่อมโดยทั่วไปทำด้วยลวดทองแดงที่มีขนาดเล็กเหมือนเส้นผมพันรวม กันไว้จำนวนมากตามความโตของสายเชื่อม แล้วจึงใช้เส้นใยพันทับไว้เพื่อ รักษารูปทรงของลวดทองแดงขนาดเล็ก ๆเอาไว้ และชั้นนอกหุ้มไว้ด้วยยางฉนวน สาเหตุที่ต้องใช้สายเ ชื่อมที่ทำด้วยลวดทองแดงขนาดเล็ก ๆจำนวนมากเพราะต้องการให้สายเชื่อมสามารถโค้งงอตัวได้ง่ายอ่อนตัวได้ดีแล ะระบายความร้อนได้ดีสะดวกต่อการทำงานที่ต้องมีการเคลื่อนย้ายสายเชื่อมตลอดเวลา

รูปที่ 2.16 แสดงสายเชื่อมไฟเชื่อม

6.4 หัวจับสายดิน (Ground Connectors)

เป็นหัวจับที่ต่อกับสายเชื่อมซึ่งต่อจากเครื่องเชื่อมมายังชิ้นงาน หัวจับสายดินจะจับเข้ากับชิ้นงานที่จะเชื่อมทำให้ไฟวงจรครบวงจร ถ้าหัวจับสายดินจับไม่แน่นหรือจุดหนึ่งจุดใดในวงจรการเชื่อมหลวมจะสูญเสียพลังงานและสายเชื่อม (Cable) จะร้อนเร็ว ดังนั้น การประกอบสายเชื่ อมเข้ากับหัวจับสายดินต้องแน่น มีหลายแบบ ดังแสดงในรูป

รูปที่ 2.17 แสดงอุปกรณ์ต่อสายดิน

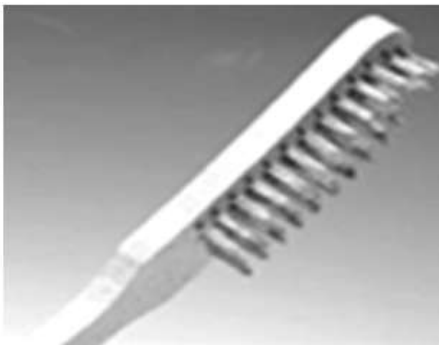
6.5 คีมจับงานร้อน (Pliers)

ใช้สำหรับจับชิ้นงานเชื่อมที่ร้อน มีด้ามยาวเป็นพิเศษ จับชิ้นงานแน่นแข็งแรงมั่งคง

รูปที่ 2.18 แสดงคีมจับงานร้อน

6.6 อุปกรณ์ทำความสะอาดชิ้นงาน (Cleaning Tools)

แปรงลวด (Wire Brush) จะมีกลุ่มเส้นลวดเรียงเป็นแถวตั้งแต่สองแถวขึ้นไปอยู่บนด้ามไม้ใช้สำหรับทำความสะอาดแนวเชื่อม ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.19 แสดงแปรงลวด

6.7 ค้อนเคาะสแลก (Chipping Hammer)

จะมีลักษณะเป็นเหล็กคาร์บอนชุบแข็งบริเวณปลายทั้งสองข้าง เพื่อให้ทนต่อแรงกระแทกได้ดีโดยไม่ย่น ปลายข้างหนึ่งจะมีลักษณะแบนเหมาะสำหรับเคาะเปิด สแลกออกจากแนวเชื่อมและเม็ดโลหะ (Spatter) ทั่วไป ปลายอีกข้างหนึ่งขึ้นรูปเป็นมุมแหลมใช้สำหรับเคาะสแลกที่อยู่ในกลุ่มเล็กๆ

รูปที่ 2.20 แสดงค้อนเคาะสแลก

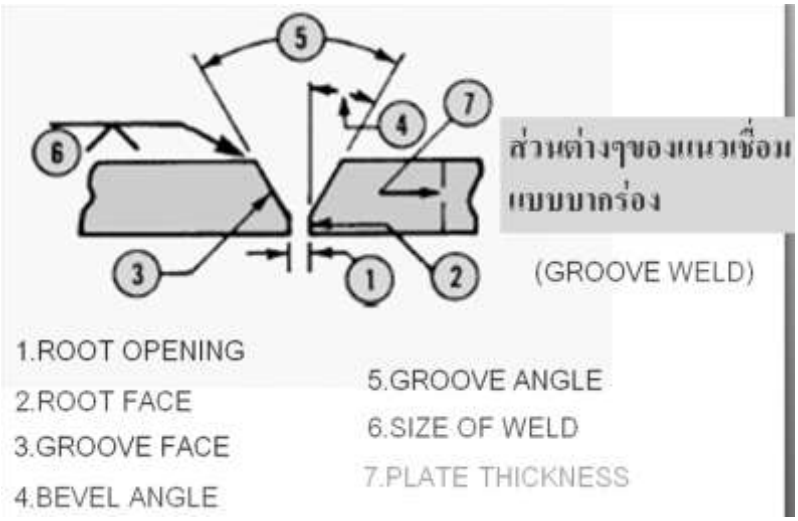
7. ชนิดของแนวเชื่อม

7.1 แนวเชื่อมร่อง (Groove Weld)

มีหลายแบบขึ้นอยู่กับความห นาชิ้นงานและลักษณะของงานแบบต่าง ๆ รอยเชื่อมต่อชนิดนี้จะเป็นแนวเชื่อมที่ใช้เชื่อมลักษณะต่อชนบริเวณขอบของชิ้นงาน โดยเว้นช่องว่างระหว่างชิ้นงานและชิ้นงานบากหน้าหรือไม่บากก็ได้แต่จะต้องให้มีช่องว่าง โดยการบากหน้างานนั้นจะมีลักษณะการบวกเป็นรูปต่าง ๆ เช่น ตัววี ตัวยู เป็นต้นและถึงจะเป็นการต่อมุมฉากแต่ถ้าเว้นช่องว่างของชิ้ นงานทั้งสองห่างกันเป็นรูปต่าง ๆ ก็ถือว่าเป็นรอยเชื่อมชนิดรอยเชื่อมร่อง

7.2 ชื่อส่วนต่างๆของแนวเชื่อมแบบร่อง (Groove Weld)

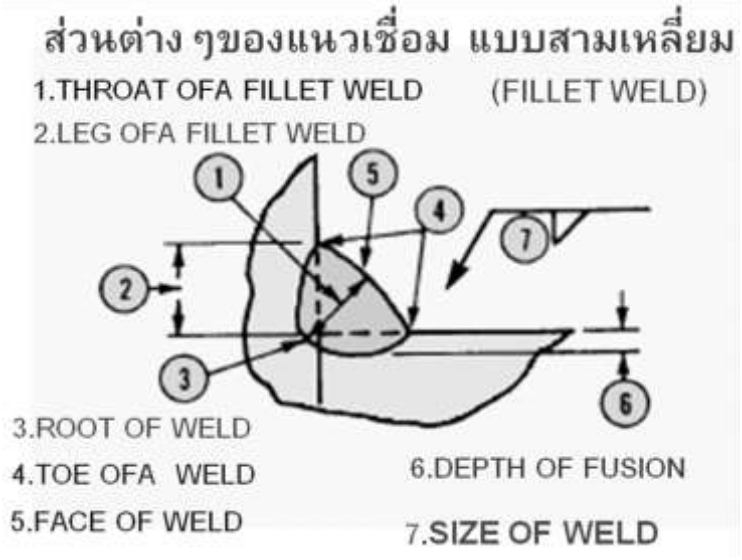
1. ROOT OPENING คือระยะห่างระหว่างชิ้นงานทั้งสอง ที่ส่วนล่างสุดของแนวต่อ
2. ROOT FACE คือความหนาผิวหน้าตัดส่วนที่ถัดจากส่วนล่างสุดของแนวต่อ
3. GROOVE FACE คือ พื้นผิวรวมของชิ้นงานตรงส่วนที่บาก
4. BEVEL ANGLE คือ มุมของการบากหน้างาน
5. GROOVE ANGLE คือ ผลรวมของมุมบากทั้งสองข้างของชิ้นงาน
6. SIZE OF WELD คือสัญลักษณ์งานเชื่อมแบบร่องตัววี
7. PLATE THICK NESS คือความหนาชิ้นงาน



รูปที่ 2.21 แสดงการต่อของแนวเชื่อมแบบร่อง

7.3 ชื่อส่วนต่างๆของแนวเชื่อมแบบฟิลเล็ท (Fillet Weld)

1. THROAT OF A FILLET WELD คือระยะจากส่วนลึกสุดของแนวเชื่อมตรงก้นมุมถึงผิวหน้า
2. LEG OF AFILLET WELD คือระยะก้นมุมของรอยต่อ ถึงปลายสุดของขอบแนวเชื่อม
3. ROOT OF WELD คือจุดที่แนวเชื่อมกินลึกที่สุดตรงก้นมุม
4. TOE OF A WELD คือจุดต่อระหว่างผิวแนวเชื่อมกับชิ้นงาน
5. FACE OF WELD คือผิวหน้าของแนวเชื่อม
6. DEPTH OF FUSION คือระยะละลายลึกลงในเนื้องาน
7. SIZE OF WELD คือสัญลักษณ์งานเชื่อมแบบฟิลเล็ท



รูปที่ 2.22 แสดงส่วนต่างๆของแนวเชื่อมแบบฟิลเล็ท (Fillet Weld)

8. ตำแหน่งท่าเชื่อม (Welding Position)

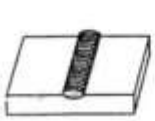
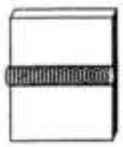
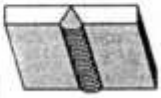
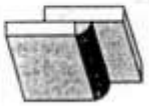
8.1 ตำแหน่งท่าเชื่อมพื้นฐาน

1. ท่าราบ (Flat Position) เป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในระนาบเดียวกันกับพื้นราบ เป็นท่าที่ง่ายกว่าท่าเชื่อมอื่น

2. ท่าขนานนอน (Horizontal Position) เป็นตำแหน่งท่าเชื่อมที่ชิ้นงานจะวางอยู่ในแนวระดับซึ่งขนานกับแนวระนาบ จะมีปัญหาเรื่องแรงดึงดูดของโลก ดึงน้ำโลหะย้อยลงข้างล่างทำให้เกิดอุปสรรคในการเชื่อมเกิดเป็นข้อบกพร่องในการเชื่อมโดยทั่วไปจะเกิด Overlap รอยแหว่งที่ขอบงานด้านบนจึงต้องใช้เทคนิคพิเศษในการเชื่อม

3. ท่าตั้ง (Vertical Position) เป็นตำแหน่งท่าเชื่อมที่ชิ้นงานวางอยู่ในแนวดิ่ง ซึ่งตั้งฉากกับแนวระนาบ จะมีปัญหาน้ำโลหะหยด ทำให้เกิดอุปสรรคในการเชื่อมเกิดข้อบกพร่องในการเชื่อมโดยทั่วไปจะเกิดรอยแหว่งที่ขอบงาน จึงต้องใช้เทคนิคพิเศษในการเชื่อมจึงจะไม่เกิดข้อบกพร่อง

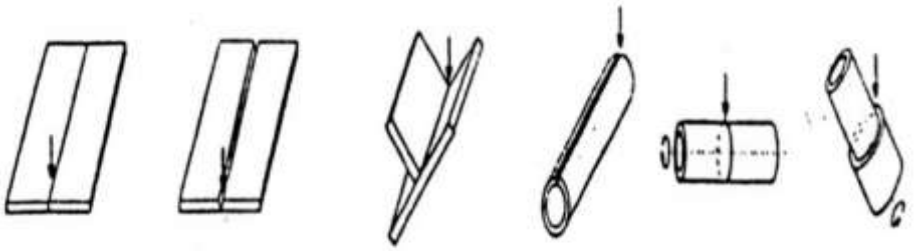
4. ท่าเหนือศีรษะ (Overhead Position) เป็นตำแหน่งท่าเชื่อมที่ชิ้นงานวางอยู่ในตำแหน่งแนวระนาบเหนือศีรษะ แนวเชื่อมอยู่ ด้านล่างชิ้นงานดังนั้น อาจเกิดอันตรายขึ้นต่อผู้ปฏิบัติงานเชื่อมจากสะเก็ดไฟหรือโลหะที่หลอมละลายหยด เปลวไฟที่สะท้อนกลับ เพราะฉะนั้นต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่ถูกต้องครบถ้วน

ตำแหน่งท่าเชื่อม	เชื่อมบูน	เชื่อมแบบร่อง		เชื่อมฟิลเลท	
	แผ่นราบ	ต่อชน	ต่อมุม	ต่อตัวที	ต่อเกย
ท่าราบ					
ท่าขนานนอน					
ท่าตั้ง					
ท่าเหนือศีรษะ					

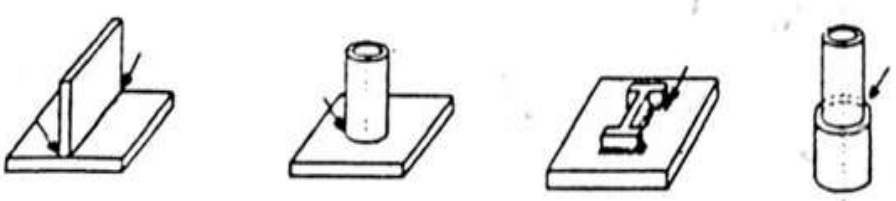
รูปที่ 2.23 แสดงท่าเชื่อมพื้นฐาน (AWS)

8.2 ท่าเชื่อมตามมาตรฐานสากล หรือ ISO

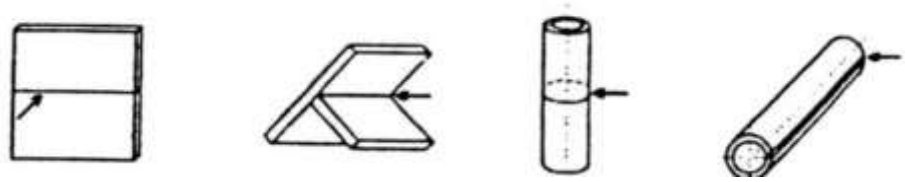
1. PA (Flat) = ท่าราบ



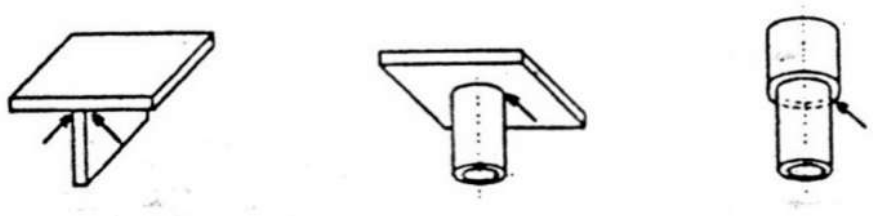
2. PB (Horizontal; Incline) = ท่ากึ่งราบกึ่งขนานนอน



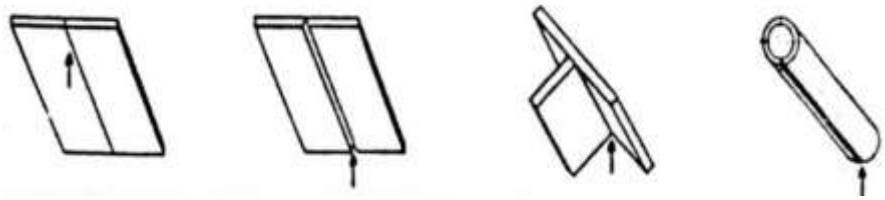
3. PC (Horizontal) =ท่าขนานนอน



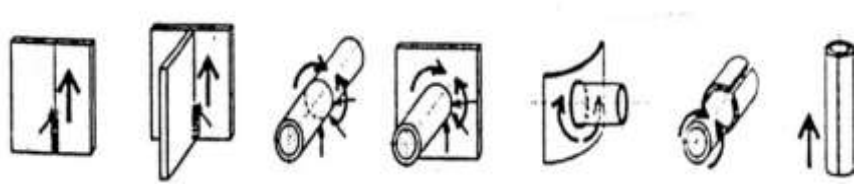
4. PD (Incline; Overhead) = ท่ากึ่งขนานนอนกึ่งเหนือศีรษะ



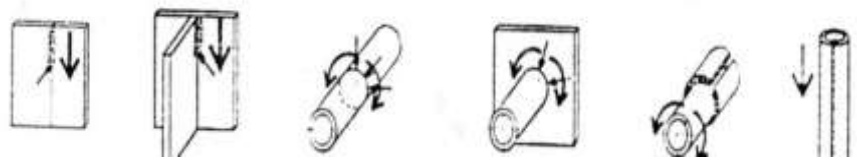
5. PE (Overhead) = ท่าเหนือศีรษะ



6. PF (Vertical Up) = ท่าตั้งเชื่อมขึ้น



7. PG (Vertical Down) ท่าตั้งเชื่อมลง



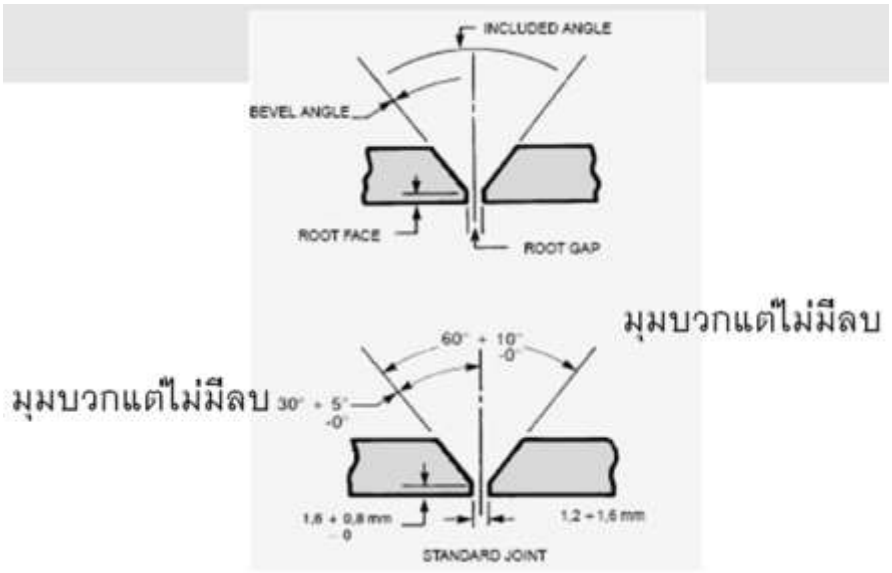
รูปที่ 2.24 แสดงท่าเชื่อมตามมาตรฐานสากล (ISO)

8.3 มุมการเชื่อม

มุมของลวดเชื่อม (Electrode Angle) มี 2 ลักษณะ ดังนี้

1. มุมที่กระทำกับชิ้นงาน (Work Plane) จะมีทิศทางอยู่ในแนวกว้างกับการเดินลวดเชื่อมเป็นมุมที่มองจากด้านข้างโดยปกติลวดเชื่อมจะมุมกับชิ้นงาน 90 องศา ในการเชื่อมท่าราบ ท่าเหนือศีรษะและ 45 – 60 องศาในการเชื่อมมุม เชื่อมฟิลเล็ท

2. มุมที่กระทำกับทิศทางการเชื่อม (Travel Plane) หรือมุมเดินลวดเชื่อม เรี ยกโดยทั่วไปว่ามุมหน้าลวดเชื่อม หรือมุมนำ มีทิศทางไปทางเดียวกับทางเดินแนวเชื่อม โดยปกติลวดเชื่อมจะทำมุมกับชิ้นงานประมาณ 65-75 องศา



รูปที่ 2.25 แสดงมุมของลวดเชื่อมในการเชื่อม

9. องค์ประกอบในการเชื่อม

ในการเชื่อมไฟฟ้าทุกท่าเชื่อมและตำแหน่งเชื่อมเพื่อให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงสมบูรณ์และมีจุดบกพร่องน้อยที่สุด งานที่ได้จะที่มีประสิทธิภาพสูงมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลัก 5 ประการ ที่นอกเหนือจากฝีมือช่างเชื่อม

9.1 การเลือกลวดเชื่อม (Correct Electrode)

การเลือกลวดเชื่อมให้เหมาะสม คือ การเลือกลวดเชื่อมให้เหมาะสมกับโลหะงานมากที่สุด รวมทั้งต้องพิจารณาถึงตำแหน่งท่าเชื่อม ขนาดของลวดเชื่อม ชนิดโลหะงาน การเตรียมงานและความแข็งแรง

9.2 การตั้งกระแสไฟเชื่อม (Correct Current)

การปรับกระแสไฟในการเชื่อมให้เหมาะสมควรพิจารณาจากขนาดความหนาของโลหะงาน ท่าเชื่อม ขนาดของลวดเชื่อม ถ้าปรับกระแสไฟสูงเกินไปจะควบคุมแอ่งหลอมละลายได้ยาก มีการอาร์ครุนแรง

มีควันมาก มีเม็ดโลหะกระเด็นบนโลหะงานมาก และยังเกิดรอยแหว่งขอบแนวเชื่อม (Undercut) อีกด้วย การตั้งกระแสไฟที่จะใช้ในการเชื่อม จะพิจารณาจากองค์ประกอบหลักคือ

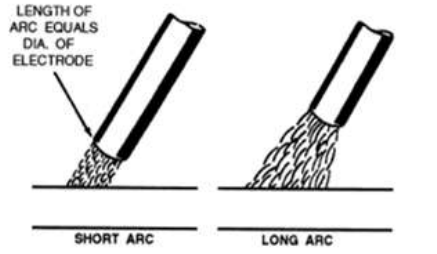
1. ตำแหน่งเชื่อม (ท่าเชื่อม)
2. ชนิดและขนาดของลวดเชื่อม
3. ความหนาของชิ้นงาน
4. ชนิดโลหะงาน
5. ลักษณะรอยต่อ

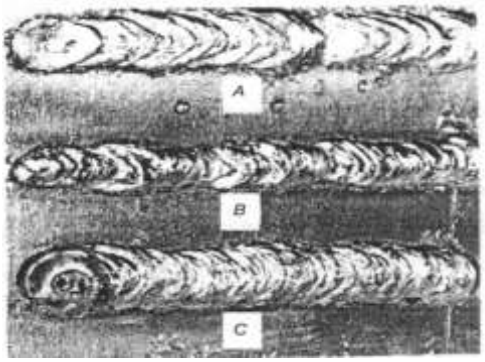
9.3 การตั้งมุมของลวดเชื่อม (Correct Angel of Electrode)

มุมของลวดเชื่อมที่ถูกต้องมีผลต่อการเกิดความร้อนในบ่อหลอมละลาย และเกิดข้อบกพร่องในงานเชื่อม คือการเกิดสแลกฝังใน (Slag Inclusion) มุมของลวดเชื่อมขึ้นอยู่กับตำแหน่งท่าเชื่อมต่าง ๆ ซึ่งช่างเชื่อมต้องปฏิบัติอย่างถูกต้อง

9.4 ระยะห่างในการอาร์ค (Correct Arc Length)

ระยะอาร์คพอเหมาะ ระยะอาร์คจะเกิดขึ้นที่ปลายลวดเชื่อมกับโลหะงาน การเริ่มต้นอาร์คมี 2 วิธี คือ การเริ่มต้นแบบเคาะ (Tapping Method) และแบบเขี่ยสัมผัส (Scratch Method) ถ้าระยะอาร์คยาวเกินไป จะทำการอาร์คที่รุนแรงมีเสียงดัง มีควันมาก และมีเม็ดโลหะกระจายมากถ้าระยะอาร์คสั้นเกินไป ความร้อนจะลดลง ทำให้การหลอมละลายไม่ดีพอ แนวเชื่อมแคบและนูน ลวดเชื่อมจะติดกับโลหะงานได้



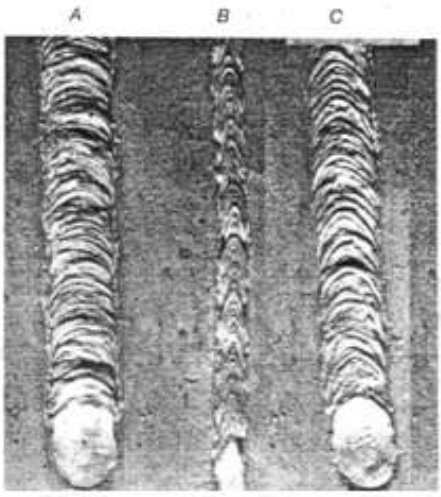


ภาพ (A) ระยะอาร์คยาวเกินไป
ภาพ (B) ระยะอาร์คสั้นเกินไป
ภาพ (C) ระยะอาร์คพอเหมาะ

รูปที่ 2.26 แสดงแนวเชื่อมที่เกิดจากระยะห่างในการอาร์ค

9.5 ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม (Correct Travel Speed)

ความเร็วในการเชื่อมที่พอเหมาะ ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมมีผลต่อขนาดและการหลอมละลายของแนวเชื่อมเป็นอย่างยิ่ง ถ้าความเร็วในการเดินลวดเชื่อมเร็วเกินไปจะทำให้การละลายลึกน้อย แนวเชื่อมแคบ แต่ถ้าความเร็วในการเดินลวดเชื่อมช้าเกินไปจะทำให้แนวเชื่อมกว้าง นูน และอาจทำให้โลหะงานทะลุ



รูปที่ 2.27 แสดงแนวเชื่อมที่เกิดจากความเร็วในการเดินลวดเชื่อม

ภาพ (A) ความเร็วในการเชื่อมช้าเกินไป

ภาพ (B) ความเร็วในการเชื่อมช้าเกินไป

ภาพ (C) ความเร็วในการเชื่อมพอเหมาะ

9.6 ตำแหน่งท่าเชื่อม

1. การเชื่อมท่าราบ จะใช้กระแสไฟสูงกว่าท่าอื่น

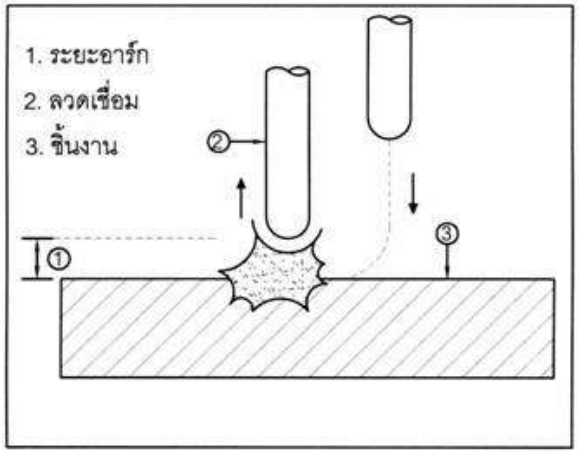
2. การเชื่อมท่าขนานนอน ท่าตั้งและท่าเหนือศีรษะ น้ำโลหะจะหลอมละลายไหลลงสู่ข้างล่างเสมอ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องให้ลวดเชื่อมหลอมละลายให้พอดีกับจังหวะการหลอมละลายของชิ้นงาน

3. ลวดเชื่อมแต่ละชนิดจะมีสารพอกหุ้ม ไม่เหมือนกัน บริษัทผู้ผลิตจะแจ้งการตั้งค่ากระแสไฟไว้ให้ทราบที่ข้างกล่องลวดเชื่อมสำหรับแต่ละท่าเชื่อม

10. เทคนิคการเชื่อม

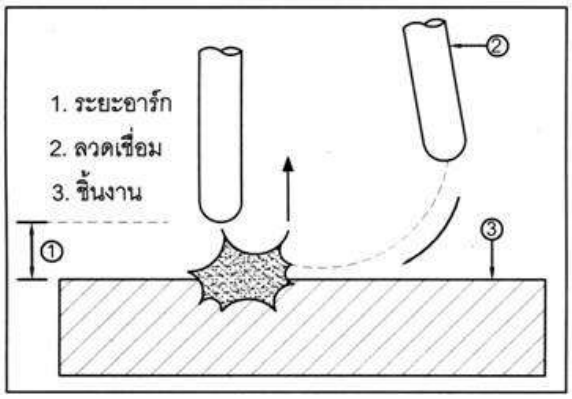
กรรมวิธีการเชื่อมโลหะด้วยลวดเชื่อม หุ้มฟลั๊กซ์ เป็นกรรมวิธีที่อาศัยการอาร์ก ระหว่างปลายลวดเชื่อมกับชิ้นงานหลอมเป็นแนวเชื่อมได้อย่างต่อเนื่องและสมบูรณ์ จะต้องใช้ทักษะจากช่างเชื่อมในการปฏิบัติงาน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ช่างเชื่อมหรือผู้ปฏิบัติงาน จำเป็นต้องรู้ถึงเทคนิคต่างๆ ในการปฏิบัติงานดังนี้

1. วิธีขีดเคาะ



รูปที่ 2.28 แสดงถึงวิธีการเริ่มต้นอาร์กแบบเคาะ

2. วิธีขีด (Scratching) หรือวิธีเขี่ยลวดเชื่อม ซึ่งมีวิธีการปฏิบัติดังนี้



รูปที่ 2.29 แสดงถึงวิธีการเริ่มต้นอาร์กแบบขีด

3. การเริ่มต้นและสิ้นสุดแนวเชื่อม

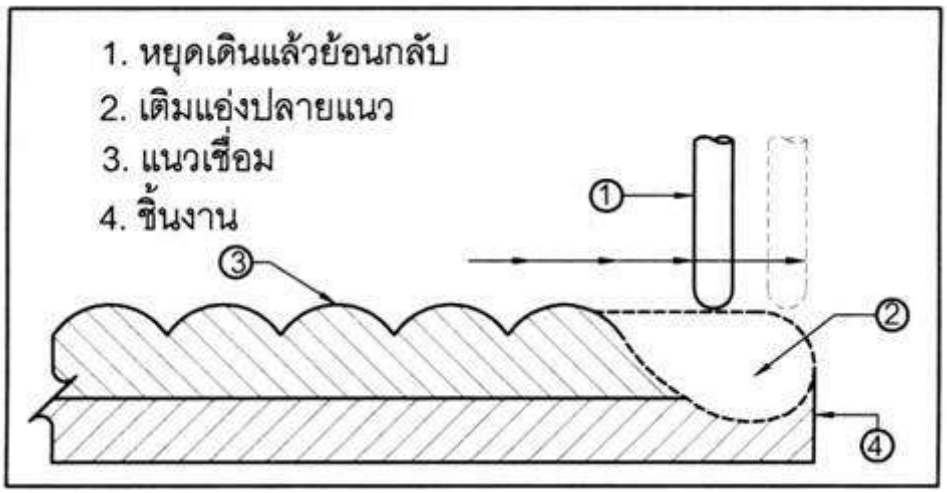
คุณภาพของแนวเชื่อมนั้นไม่ได้ดูตรงส่วนหนึ่งส่วนใดเป็นการเฉพาะแต่จะต้องดูตลอดทั้งแนว ช่างเชื่อมหลายคนไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากละเลยข้อปฏิบัติการเริ่มต้น และการสิ้นสุดแนวเชื่อม จึงควรพิจารณาวิธีปฏิบัติดังนี้

4. การเริ่มต้นเชื่อม

ควรเตรียมงานให้สะอาด ปราศจากสิ่งต่างๆ เช่น จาระบี น้ำมันสนิมเพราะจะทำให้รอยเชื่อมที่ได้ไม่มีคุณภาพตามต้องการ การเริ่มต้นเชื่อมบริเวณจุด เริ่มต้นของแนวเชื่อมจะเริ่มจากการทำให้เกิดการอาร์ก เมื่อเกิดการอาร์กขึ้นแล้วให้ยกลวดเชื่อม ขึ้นประมาณ **2** เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเชื่อม ทำมุมเชื่อมตามลักษณะของรอยต่อ แบบต่างๆ ซึ่งมุมเชื่อมจะแตกต่างกันไป หลังจากนั้นให้สร้างบ่อหลอมเหลวซึ่งจะกว้างประมาณ 1.5 – 2 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเชื่อม และต้องให้มีการซึมลึกอย่างสม่ำเสมอ

5. วิธีการเชื่อมเมื่อสิ้นสุดแนวเชื่อม

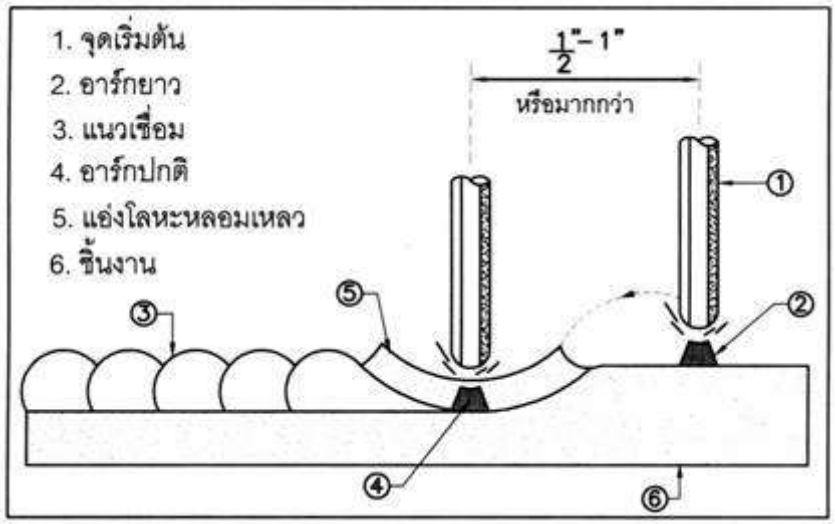
เมื่อทำการเชื่อมถึงจุดสุดท้ายของแนวเชื่อมจะเป็นแอ่งโลหะปลายแนวเชื่อม (Crater) ซึ่งเป็นจุดที่มีความแข็งแรงต่ำสุดของแนวเชื่อมและเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดรอยร้าวขึ้นได้ จึงจำเป็นต้องเติมลวดเชื่อมที่ปลายแอ่งโลหะให้เต็ม โดยให้เดินย้อนกลับเล็กน้อย แล้วหยุดเติมแอ่งปลายแนวเชื่อมให้เต็ม



รูปที่ 2.30 แสดงถึงวิธีการเชื่อมเมื่อสิ้นสุดแนวเชื่อม

6. การต่อแนวเชื่อม

ลวดเชื่อมไฟฟ้าแบบหุ้มฟลั๊กซ์ เมื่อเชื่อมจนปลายลวดเชื่อมเหลือประมาณ 38.10 ม.ม จะต้องมีการเปลี่ยนลวดเชื่อมใหม่และในการเปลี่ยนลวดเชื่อมใหม่ จะต้องมีการต่อแนวเชื่อมซึ่งจะต้องเป็นแนวเดียวกันกับแนวเดิมและจะต้องมีความแข็งแรงและมีคุณสมบัติเท่ากับแนวเดิมด้วยซึ่งวิธีการต่อแนวเชื่อมมีวิธีการปฏิบัติดังนี้



รูปที่ 2.31 แสดงวิธีการต่อแนวเชื่อม

7. ในกรณีที่แอ่งปลายแนวเชื่อมยังร้อนอยู่

ให้เชื่อมต่อได้ทันที ไม่ต้องเคาะทำความสะอาดโดยให้เริ่มต้นอาร์กห่างจากแอ่งหลอมเหลวเดิมไปทางด้านหน้า ประมาณ 1/2 - 1 นิ้ว เริ่มอาร์กที่จุด **A** แล้วจึงถอยหลังกลับไปที่จุด B ซึ่งเป็นบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อมเดิม (วิธีนี้ถ้าช่างเชื่อมขาดทักษะจะเกิดสแลกฝังในรอยเชื่อม)

8. ในกรณีที่แอ่งปลายแนวเชื่อมเย็นแล้ว

ให้ทำความสะอาดโดยใช้ค้อนเคาะสแลก (Slag) ออกและใช้แปรงลวดขัดให้สะอาดอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นให้เริ่มต้นอาร์กห่างจากแอ่งหลอมเหลวเดิมไปทางด้านหน้าประมาณ 1/2 นิ้ว – 1 นิ้ว เริ่มอาร์กที่จุด **A** แล้วจึงถอยหลังกลับไปที่จุด B ซึ่งเป็นบ่อหลอมเหลวของแนวเชื่อมเดิม

ข้อสังเกตในการต่อแนวเชื่อม ไม่ควรเริ่มต้นอาร์กใหม่ข้างแอ่งโลหะ ปลายแนวเชื่อมเพราะจะทำให้ความร้อนไม่เพียงพอที่จะหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกันของแนวเชื่อม และการเติมลวดเชื่อมตรงแนวต่อจะต้องควบคุมอย่าให้มากเกินไป เพราะจะทำให้แนวเชื่อมนูนกว่าแนวเดิมแต่ถ้าเติมลวดเชื่อมน้อยเกินไป จะทำให้แนวเชื่อมแบนและเกิดรอยแหว่ง

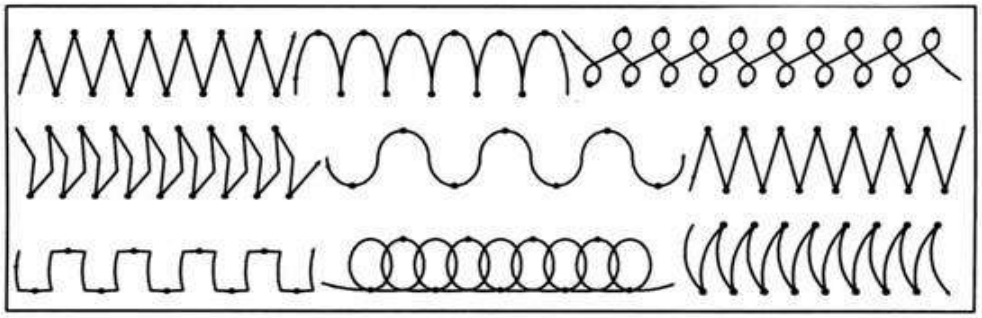
10.1 การเชื่อมแนวเส้นเชือก

หมายถึง การเชื่อมโดยไม่ส่ายลวดเชื่อมขณะทำการเชื่อมเพียงแต่ควบคุมระยะอาร์ก มุมของลวดเชื่อม และความเร็วในการเดินลวดเชื่อมเท่านั้น ซึ่งการเชื่อมแนวเส้นเชือกนี้ โดยทั่วไปจะใช้กับการเชื่อมในท่าขนานนอน และท่าตั้งเชื่อมลง เพราะถ้าส่ายลวดเชื่อมอาจทำให้แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์โดยเฉพาะเกิดรอยแหว่งขึ้นได้

10.2 การเชื่อมส่ายลวดเชื่อม

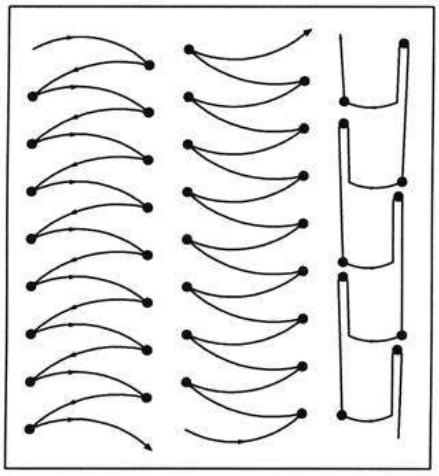
หมายถึง การลากลวดเชื่อมไปทางด้านข้างเพื่อให้แนวเชื่อมมีขนาดกว้างขึ้น โดยทั่วไปแล้วความกว้างของแนวเชื่อมไม่ควรเกิน 5 เท่าของความโตลวดเชื่อม การเลือกรูปร่างหรือแบบของการส่ายลวดเชื่อมจะต้องคำนึงถึงชนิดของรอยต่อขนาดของแนวเชื่อมและตำแหน่งท่าเชื่อมด้วย การเชื่อมส่ายลวดเชื่อมนี้ โดยทั่วไปใช้เทคนิคนี้กับการเชื่อมรอยต่อร่องของตัววี สำหรับงานหนา ๆ และรอยเชื่อมฟิลเลทบนรอยต่อแบบต่างๆ หรือการเชื่อมเสริมทับกันหลายๆ ชั้น การเชื่อมส่ายลวดเชื่อมจะเป็นเทคนิคที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์ก แต่ต้องระลึกไว้เสมอว่า การเปลี่ยนแปลงใดๆ ในการเชื่อม เช่น เปลี่ยนแปลงมุมเอียงระยะอาร์ก รูปแบบการส่ายลวดเชื่อม จะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของแนวเชื่อม อนึ่งการส่ายลวดเชื่อมในบางกรณี จะทำเพื่อให้รอยเชื่อมมีเกล็ดสวยเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงประโยชน์ด้านอื่นๆ การส่ายลวดเชื่อมอาจแบ่งตามลักษณะของตำแหน่งท่าเชื่อมดังต่อไปนี้

10.3 การส่ายลวดเชื่อมในตำแหน่งท่าเชื่อม ท่าราบ (Flat Surface)



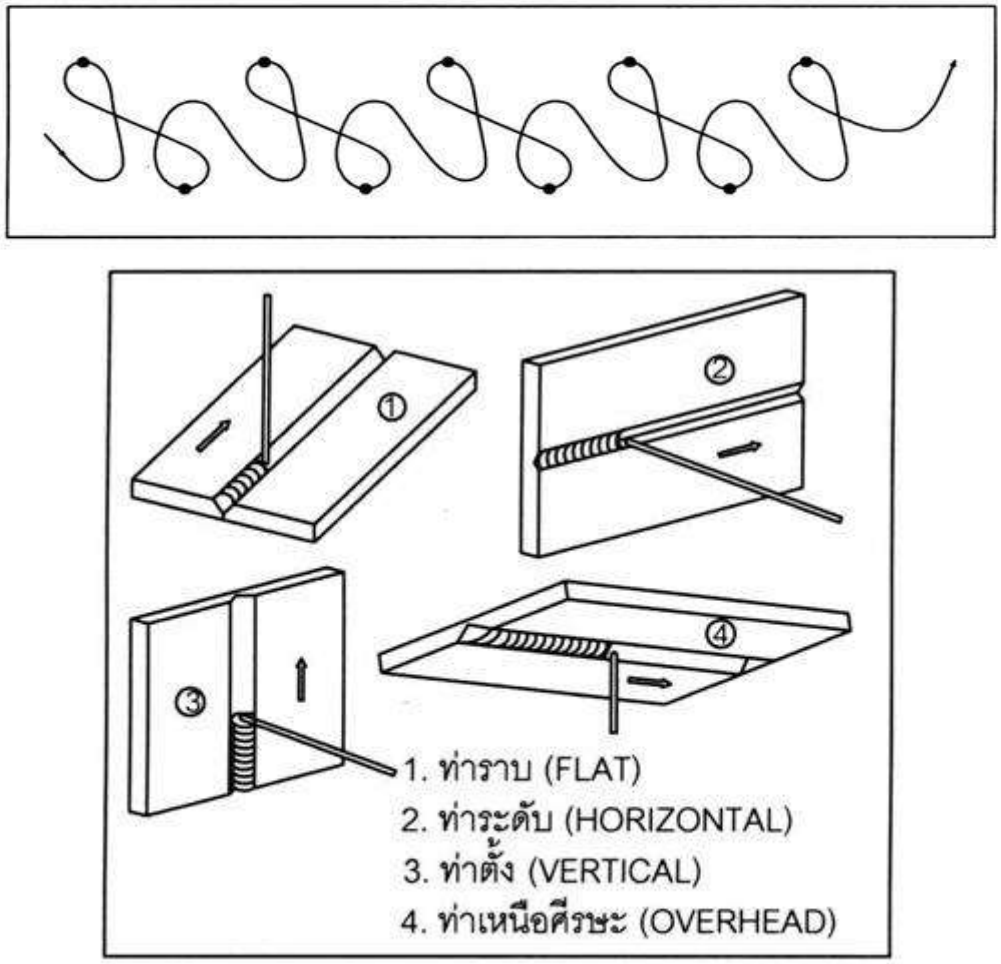
รูปที่ 2.32 แสดงการส่ายลวดเชื่อมท่าราบ

10.4 การส่วยลวดเชื่อมในตำแหน่งท่าเชื่อม ท่าตั้ง (Vertical Line)



รูปที่ 2.33 แสดงการส่ายลวดเชื่อมท่าตั้ง

10.5 การส่ายลวดเชื่อมในตำแหน่งท่าเชื่อม ท่าเหนือศีรษะ (Overhead)



รูปที่ 2.34 แสดงการส่ายลวดเชื่อมในท่าต่างๆ

บทสรุป

การเชื่อม เป็นขบวนการที่ใช้สำหรับต่อวัสดุ ส่วนใหญ่เป็นโลหะและพลาสติก โดยให้รวมตัวเข้าด้วยกัน ปกติใช้วิธีทำให้ชิ้นงานหลอมละลายและการเพิ่มเนื้อโลหะเติมลงในแอ่งหลอมละลายของวัสดุที่หลอมเหลว เมื่อเย็นตัวรอยต่อจะมีความแข็งแรง บางครั้งใช้แรงดันร่วมกับความร้อน หรืออย่างเดียว เพื่อให้เกิดรอยเชื่อม ซึ่งตรงข้ามกับการบัดกรีอ่อนและการบัดกรีแข็งซึ่งไม่มีการหลอมละลายของชิ้นงาน มีแหล่งพลังงานหลายอย่างสำหรับนำมาใช้ในการเชื่อม เช่น การใช้ความร้อนจากเปลวแก๊ส , การอาร์คโดยใช้กระแสไฟฟ้า การเชื่อมมีอันตรายเกิดขึ้นได้ง่าย จึงควรมีความระมัดระวังเพื่อป้องกันอันตราย เช่น ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า, ความร้อน, สะเก็ดไฟ, ควันเชื่อม, แก๊สพิษ, รังสีอาร์ค, ชิ้นงานร้อน, ฝุ่นละออง หลังจากได้มีการพัฒนาการเชื่อมอาร์ค และการเชื่อมโดยใช้เปลวแก๊สออกซิเจน และหลังจากนั้ นมีการ เชื่อมแบบความต้านทานตามมา

ใบเนื้อหา		สัปดาห์ที่ 4
หน่วยที่ 3	กระบวนการเชื่อมก๊าซ	จำนวน 4 ชั่วโมง

สาระสำคัญ

การเชื่อม ก๊าซ หมายถึง การทำให้โลหะหลอมเหลวติดกัน โดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากการสันดาปของก๊าซเชื้อเพลิงและก๊าซออกซิเจน จนเกิดความร้อนทำให้เกิดการหลอมเหลวติดกันของโลหะงาน โดยจะเติมลวดเชื่อมหรือให้โลหะหลอมเหลวติดกันเองก็ได้

เนื้อหาสาระ

1. กระบวนการเชื่อมก๊าซ

การเชื่อมก๊าซ (Gas Welding) เป็นกระบวนการประสานเนื้อโลหะให้ติดกันโดยหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันที่ใช้กันมานานมาก สามารถเชื่อมโลหะได้เกือบทุกชนิด โดยใช้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของก๊าซเชื้อเพลิงกับก๊าซออกซิเจนให้ได้เปลวไฟที่ร้อนมากพอจนทำให้เนื้อโลหะงานหลอมละลายติดกัน ด้วยการเติมลวดเชื่อมหรือใช้เนื้อของงานหลอมละลายติดกันเองโดยไม่ต้องเติมลวดเชื่อมก็ได้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้มีหลายชนิดการเลือกใช้ต้องพิจารณาถึงค่าความร้อนที่ได้ ผลกระทบกับโลหะงานและผู้ปฏิบัติงาน รวมทั้งราคา ก๊าซเชื้อเพลิงที่นิยมใช้ คือก๊าซอะเซติลีนเพราะให้ความร้อนสูงสุดเมื่อรวมตัวกับออกซิเจน ซึ่งจะได้ความร้อนสูงถึงประมาณ 3,316 องศาเซลเซียส (6,000 องศาฟาเรนไฮต์) เรียกการเชื่อมวิธีนี้ว่าการเชื่อมด้วย Oxy-acetylene ซึ่งเหมาะแก่การเชื่อมเหล็กและโลหะผสมต่าง ๆ เป็นที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมการเชื่อมโดยทั่วไป สำหรับความร้อนที่ได้จากก๊าซเชื้อเพลิงแต่ละชนิดแตกต่างกันดังนี้

ก๊าซเชื้อเพลิง	ความร้อนสูงสุดที่ได้
ออกซิเจน + อะเซติลีน	3,316 °C หรือ 6,000 °F
ออกซิเจน + โปรเพน	2,500 C หรือ 4,600 °F
ออกซิเจน + ไฮโดรเจน	2,400 °C หรือ 4,300 °F
อากาศ+ อะเซทิลีน	2,500 C หรือ 4,500 °F
อากาศ + โปรเพน	1,750 °C หรือ 3,200 °F

ตารางที่ 3.1 ชนิดเชื้อเพลิงและค่าความร้อน

1.1 การเตรียมก๊าซออกซิเจน (O_2)

การผลิตก๊าซออกซิเจนจากการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าคือการผ่านกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสตรงไปยังสารอิเล็กโทรไลด์ เพื่อแยกออกซิเจนจากน้ำแต่ไม่เป็นที่นิยมเพราะต้นทุนในการผลิตสูง การผลิตก๊าซออกซิเจนจากอากาศเหลว ห รือเตรียมจากการอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) ผลิตจากอากาศ ในอากาศประกอบไนโตรเจน 78% ออกซิเจน 21% นอกนั้นเป็นก๊าซอื่น ๆ วิธีผลิตออกซิเจนจากอากาศนี้กระทำได้โดยการนำเอาอากาศไปอัดภา ยใต้ความดันสูงจนกลายเป็นของเหลว (Liquid air) อากาศเหลวนี้อยู่ในสภาวะอุณหภูมิที่ต่ำมาก เนื่องจากก๊าซไนโตรเ จนและก๊าซออกซิเจนมีจุดเดือดที่ต่างกัน ณ อุณหภูมิที่ - 195.7 °C ไนโตรเจนเหลวจะระเหยกลายเป็นก๊าซจึงสามารถจัดเก็บไนโตรเจนได้ก่อน จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ลดความดันให้ต่ำลง จนถึงอุณหภูมิที่ - 182.9 °C ออกซิเจนก็จะเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นก๊าซขึ้นมา สามารถจัดเก็บได้ โดยมีความบริสุทธิ์ถึง 99.5% กรรมวิธีนี้เป็นที่นิยมในปั จจุบัน เพราะผลิตได้คราวละมากๆ จากนั้นจึงนำมาบรรจุท่อเพื่อจำหน่ายต่อไป กระบวนการกลั่นลำดับส่วน (Fractional Distillation) ซึ่งกระบวนนี้เป็นการผลิตก๊าซออกซิเจนเพื่อการค้าในอุตสาหกรรมปัจจุบัน

สมบัติของก๊าซออกซิเจน

1. ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ในสภาพเป็นก๊าซ แต่ในสภาพของเหลวจะมีสีน้ำทะเลอ่อน
2. เป็นไปได้ทั้ง 3 สถานะ คือ ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง
3. มีอยู่ประมาณ 21% โดยปริมาตรในบรรยากาศ
4. มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -183 ˚C และกลายเป็นของแข็งที่อุณหภูมิ -218˚C

1.2 การเตรียมก๊าซอะเซติลีน ($C_2 H_2$)

อะเซทิลีน มีความไวไฟมาก น้ำหนักเบากว่าอากาศ สามารถละลายได้ในอะซิโตน (300 : 1 โดยปริมาตรที่ 175 PSI) ทำให้สามารถบรรจุอะเซทิลีนใส่ถังโดยอาศัยอะซิโตนละลาย ดังนั้น ท่อบรรจุ ก๊าซอะเซทิลีน จึงบรรจุวัสดุซึมซับที่สามารถจับสารละลายอะซิโตนไว้ภายใน ซึ่งทำให้ท่อ ก๊าซอะเซทิลีน ต่างจากท่อก๊าซทั่วไปการผลิตก๊าซอะเซติลีนใช้กรรมวิธี ปฏิกิริยาทางเคมีให้น้ำทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์ไบด์ จะได้ดังสมการทางเคมี $CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$

เมื่อ CaC_2 = แคลเซียมคาร์ไบด์ H_2O = น้ำ

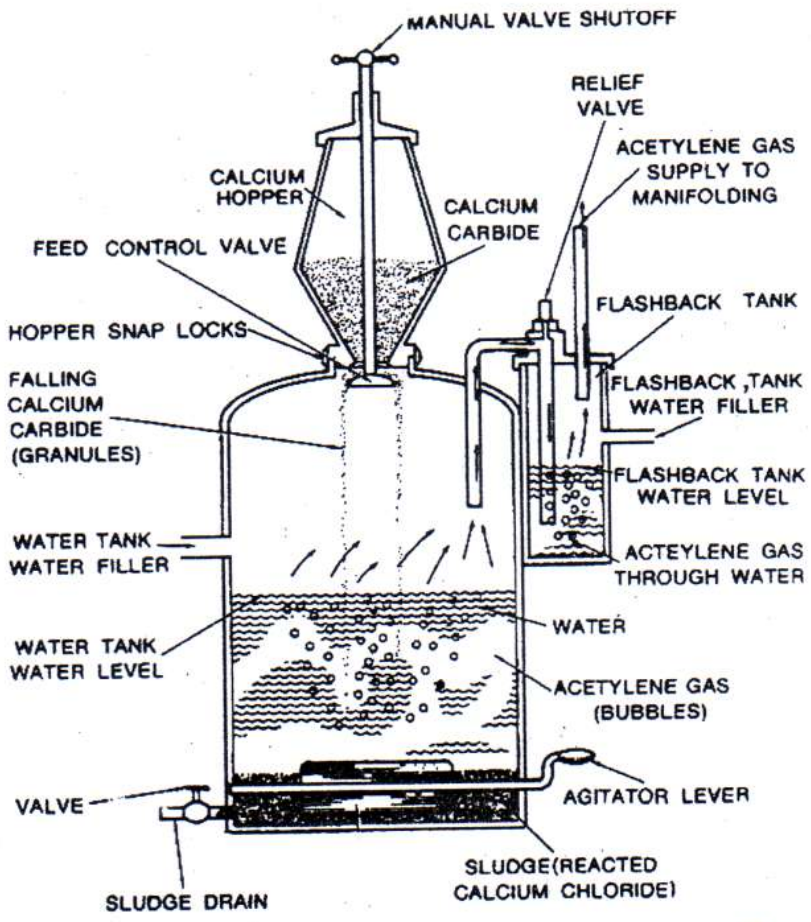
C_2H_2 = ก๊าซอะเซติลีน $Ca(OH)_2$ = แคลเซียมไฮดรอกไซด์

ในปัจจุบันการผลิตก๊าซอะเซทิลีน มี 2 วิธี คือ

1. การผลิตโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำ โดยการปล่อยแคลเซียมคาร์ไบด์ลงในน้ำ และปล่อยน้ำลงบนแคลเซียมคาร์ไบด์ เป็นกรรมวิธีผลิตแบบดั้งเดิม ก๊าซที่ได้จะมีความบริสุท ธิ์ค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 85-95% ตามคุณภาพของแคลเซียมคาร์ไบด์) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นวัตถุที่มีฤทธิ์เป็นด่างสูง

2. การผลิตโดยอาศัยผลผลิตที่ได้จากกระบวนการแตกตัวทางเคมี จากโรงงานปิโตรเคมี ซึ่งเป็นวิธีที่ทันสมัยที่สุดในปัจจุบัน ก๊าซอะเซทิลีนที่ได้จากการผลิตนี้ จะมีความบริสุทธิ์สูงกว่ากระบวนการผลิต

แบบเดิม ทำให้เปลวไฟมีอุณหภูมิสูงกว่า โดยประเทศไทยเริ่มผลิตได้เมื่อปี 2539 โดยบริษัทระยองอะเซทิลีน



รูปที่ 3.1 แสดงการผลิตอะเซทิลีน

สมบัติของอะเซทิลีน

1. ติดไฟได้ และเมื่อรวมตัวกับออกซิเจนในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วจะได้เปลวไฟที่มีความร้อนสูงประมาณ 5,500-6,000 องศาฟาเรนท์ไฮท์

2. เบากว่าอากาศ

3. ไม่มีสี

4. มีกลิ่นฉุนรุนแรงคล้ายกลิ่นกระเทียม

5. สามารถละลายในของเหลวได้

6. ไม่สามารถควบคุมได้เมื่อมีความดันเกิน 30 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรือที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,435 °F (780 C) และถ้าความดันหรืออุณหภูมิสูงถึงจุดวิกฤตก็จะระเบิดได้

7. เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 92.3% และไฮโดรเจน 7.7% โดยน้ำหนัก

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกัน (Protective Equipment)

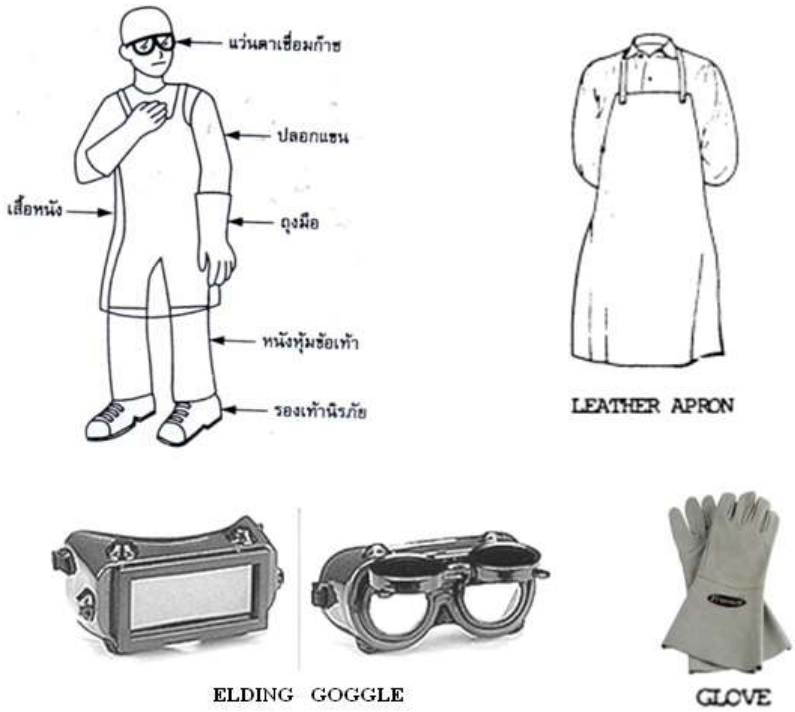
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นที่ใช้ในการป้องกัน มีดังต่อไปนี้

ถุงมือ (Gloves) เป็นอุปกรณ์สวมป้องกันมือจากความร้อน และประกายไฟจากการเชื่อม ทำด้วยหนังหรือวัสดุอื่นที่ไม่ติดไฟ

หมวก (Cap) ใช้สวมศีรษะเพื่อป้องกัน ศีรษะและผมจากเปลวไฟและสะเก็ดเชื่อม

เสื้อคลุมหนัง (Apron) ใช้สวมเพื่อป้องกันความร้อนไฟและสะเก็ดไฟไหม้เสื้อผ้าและผิวหนังขณะปฏิบัติงานเชื่อม

แว่นตาเชื่อม (Welding Goggle) เป็นอุปกรณ์ใช้ป้องกันตาขณะเชื่อมเพราะแสงจากการเชื่อมจะจ้ามากสายตาไม่สามารถมองเห็นแนวเชื่อมหรือบ่อหลอมละลายขณะเชื่อมได้ถนัดชัดเจน การใช้แว่นตาเชื่อมต้องเลือกที่มีกระจกกรองแสงที่เหมาะสม ควรใช้เลนส์เชื่อมเบอร์ 4-6 และต้องถ่ายเทอากาศได้สะดวก



รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ป้องกันอันตรายงานเชื่อมก๊าซ

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการเชื่อมก๊าซ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นที่ใช้ในการเชื่อมก๊าซ มีดังต่อไปนี้

1. ถังบรรจุออกซิเจน (Oxy Cylinder)
2. ถังบรรจุก๊าซอะเซทิลีน (Acetylene Cylinder)
3. มาตรวัดปรับความดันก๊าซออกซิเจนและก๊าซอะเซทิลีน (Pressure Regulators)
4. ทอร์ชเชื่อม (Welding Torch)
5. หัวทิพ (ทิพเชื่อม) (Welding Tip)

6. ที่ทำความสะอาดหัวทิพ (Tip Cleaner)

7. ที่จุดเปลวไฟ (Friction lighter or Spark lighter)

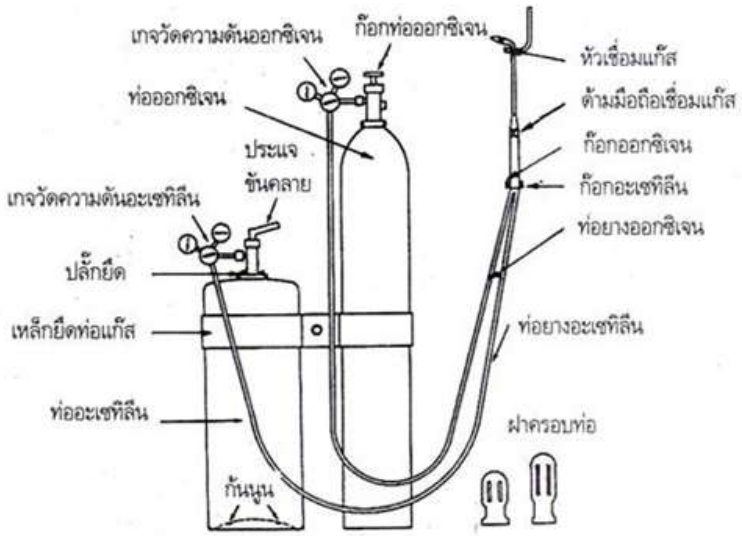
8. สายเชื่อม (Hoses)

9. ข้อต่อและนัท (Connecting Nut)

10. ประแจสำหรับเปิดปิดก๊าซ

11. ข้อต่อและนัท (Connecting Nut)

12. ประแจสำหรับเปิดปิดก๊าซ

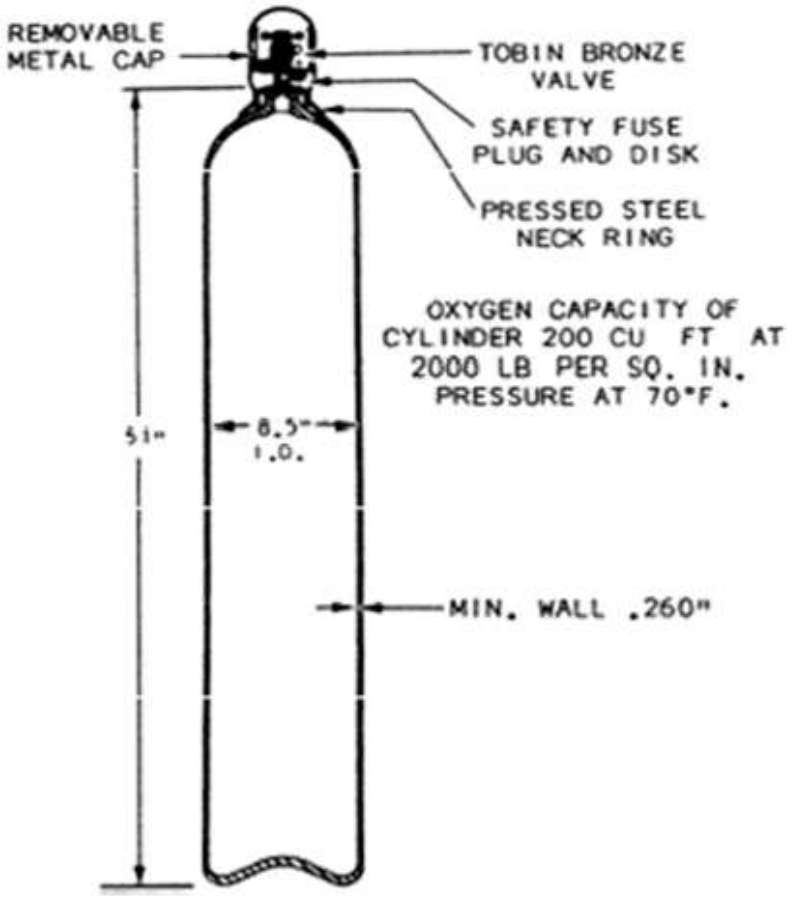


รูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมก๊าซ

2.2 ถังบรรจุก๊าซออกซิเจน

เป็นถังความดัน สูง ทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High carbon steel) เป็นถังไม่มีตะเข็บ ไม่มีรอยต่อ ไม่มีรอยเชื่อม มีความหนาไม่น้อยกว่า 9 มม.สามารถทนความดันได้สูง โดยถังต้องผ่านการทดสอบคุณภาพด้วยความดันน้ำที่ 3,360 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ตามมาตรฐาน ICC (Interstate Commerce Commission) โดยถังไม่ได้รับความเสียหายและต้อง ทดสอบใหม่ทุกๆ 10 ปีลักษณะของถังบรรจุก๊าซออกซิเจน เป็นถังรูปทรงกระบอกคล้ายขวด ด้านบนมีวาล์ว (Valve) สำหรับเปิด - ปิด ให้ก๊าซไหลออก ซึ่งจะต่อเข้ากับมาตรวัดความดัน (Regulator) ลักษณะของเกลียวต่อจะเป็นเกลียวขวา เพื่อป้องกันการติด ตั้งมาตรวัดสลับกับมาตราวัดของก๊าซ อะเซทิลีนที่เป็นเกลียวซ้าย ที่คอถังก๊าซออกซิเจนจะมีตัวอักษร O_2 สีของถังบรรจุก๊าซออกซิเจนจะมี 2 สี คือ สีดำและสีเขียว ความดันออกซิเจนเมื่อบรรจุเต็มถังจะมีความดันประมาณ 2200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (150 บาร์) ในปัจจุบันมีการผลิตถังบรรจุออกซิเจนได้ความดันสูงถึง 183 บาร์นอกจากมีวาล์วสำหรับเปิด- ปิด แล้วยังมีเกลียวที่คอถังสำหรับ

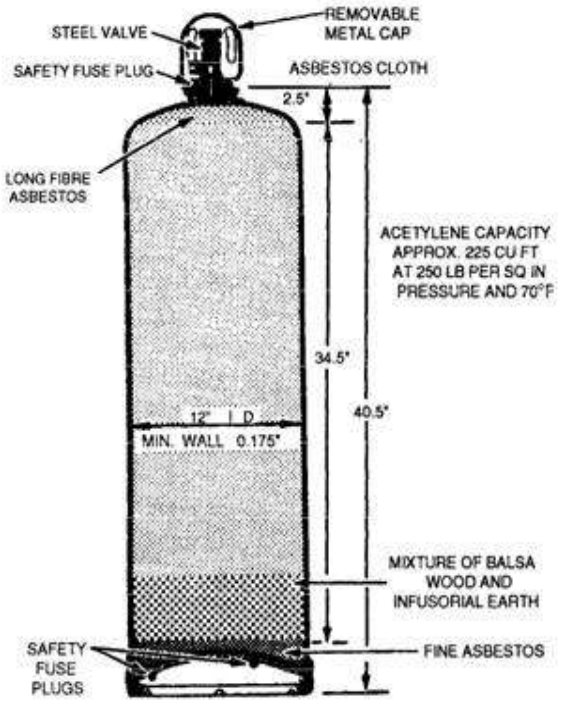
ขันยึดฝาครอบหัวถังเพื่อป้องกันวาล์วหัวถังชำรุดเสียหายที่อาจเกิดจากการหรือการกระแทกขนาดถังบรรจุออกซิเจนมีหลายขนาดแต่นิยมใช้ขนาด 6



รูปที่ 3.4 แสดงภาพตัดของถังออกซิเจน

2.3 ถังบรรจุก๊าซอะเซติลีน

เป็นถังบรรจุก๊าซที่ทำจากเหล็กรูปลักษณะเป็นท่อกลมเหมือนกับถังบรรจุก๊าซออกซิเจน แต่แบ่งเป็น 2 ท่อน แล้วนำเชื่อมติดกันภายในถังบุด้วย วัสดุดูดซับซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วยวัสดุหลายอย่าง เช่น นุ่น แร่ใยหิน ถ่าน ซีเมนต์ แคลเซียมซิลิเกต ถ่านพีท ซึ่งนำมาหลอมอัดเข้าด้วยกันเป็นวัสดุที่มีรุพรุนบุภายในถึงบรรจุ ในวิธีการบรรจุ ณ ความดัน 164 kpa (23.8 psi) ก๊าซอะเซทีลีนสามารถจะระเบิดได้ ถ้าไม่มีตัวช่วยดูดซับ แต่มีการค้นพบว่า อะซีโตน (Acetone) ในสภาพของเหลวสามารถดูดซั บก๊าซอะเซทีลีนได้ถึง 25 เท่า โดยปริมาตร ก๊าซอะเซทีลีนที่ได้จากถังกำเนิด จะเรียกว่า “ Generated gas ” แต่เมื่อนำก๊าซนี้มาบรรจุภายใต้ความดันที่เหมาะสมกับละลายอะซิโตน (Acetone) ลงไปและจ่ายออกมาตามท่อแล้วเรียกว่า “Dissolved Acetylene” ก๊าซอะเซทีลีนเป็นก๊าซที่ ไวไฟมาก และสามารถจะระเบิดได้ง่าย ดังนั้นในการใช้งานเชื่อมจึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ



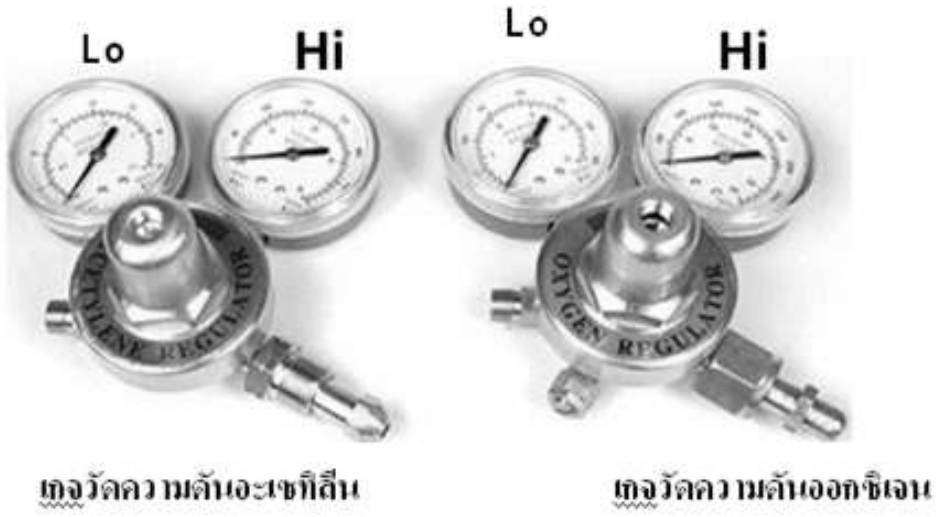
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของถังอะเซทิลีน

2.4 มาตรวัดความดัน หรือเก็จวัดความดัน (Regulator)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัดและควบคุมความดันของก๊าซที่จะบอกสถานะความดันภายในถัง และความดันใช้งานที่เหมาะสมโดยการปรับสกรูมาตรวัด มาตรวัดความดันจะประกอบด้วย เก็จวัดความดัน 2 เก็จ คือ เก็จวัดความดันสูง และเก็จวัดความดันต่ำ

เก็จวัดความดันสูง (High pressure gage) จะทำหน้าที่วัดความดันภายในถังเพื่อให้ทราบว่าในขณะนี้มีก๊าซอยู่ในถังจำนวนเท่าใด เก็จวัดความดันสูงของก๊าซออกซิเจนจะวัดความดันได้สูงถึง 3000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ส่วนเก็จวัดความดันของก๊าซอะเซทิลีนจะวัดความดันสูงถึง 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

เก็จวัดความดันต่ำ (Low pressure gage) เป็นตัวปรับวัดความดันที่นำไปใช้งานให้เหมาะสมกับขนาดหัวทิพเชื่อมและขนาดความหนาของชิ้นงาน เก็จวัดความดันต่ำของก๊าซออกซิเจนโดยทั่วไปจะตั้งวัดค่าความดันไว้ที่ประมาณ 0-100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยทั่วไปจะใช้ความดันไม่เกินประมาณ 25 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ส่วนเก็จวัดความดันต่ำก๊าซอะเซทิลีนจะตั้งค่าความดันไว้ที่ไว้ประมาณ 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แต่โดยทั่วไปจะใช้งานที่ความดันไม่เกิน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วห้ามปรับใช้ความดันเกินเส้นขีดสีแดงที่บอกไว้ให้รู้ว่าใช้ความดันสูงเกินเขตความปลอดภัย



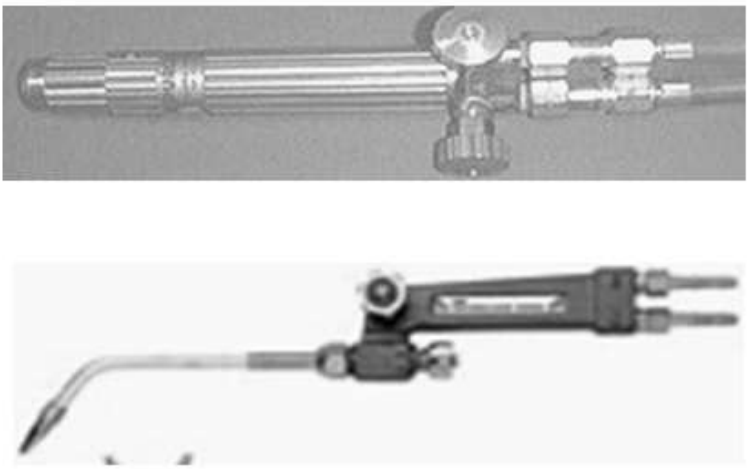
รูปที่ 3.6 แสดงเก็จวัดความดัน

2.5 ทอร์ชเชื่อม (Welding Torch)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นทั้งมือจับและเป็นห้องสำหรับผสมก๊าซระหว่างก๊าซออกซิเจนและก๊าซอะเซทิลีนเพื่อให้เกิดเปลวไฟที่ให้ความร้อนสูง โดยมีวาล์วควบคุมการ เปิด-ปิด ของก๊าซแยกต่อไปจากถังบรรจุก๊าซทอร์ชเชื่อมมีใช้ 2 แบบ คือ

แบบหัวฉีด (Injector Type) ใช้กับก๊าซอะเซทิลีนความดันต่ำ จากการเตรียมก๊าซอะเซทิลีนเองโดยเอาแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับน้ำในเครื่องกำเนิดก๊าซ

แบบสมดุลความดัน (Equal Pressure Type) ใช้กับก๊าซอะเซทิลีนที่บรรจุในถังสำเร็จรูปซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้ทอร์ชเชื่อมแบบสมดุลความดัน



รูปที่ 3.7 แสดงทอร์ชเชื่อม

2.6 หัวทิพ (Tip)

อุปกรณ์ที่ประกอบเข้ากับทอร์ชเชื่อมทำหน้าที่ให้ก๊าซที่ผสมจากห้องผสมก๊าซผ่านเพื่อให้ได้เปลวไฟเชื่อมตามที่ต้องการมีให้เลือกหลายขนาดตามชนิดและความหนาของชิ้นงาน เทคนิคการเชื่อม ขนาดหัวทิพจะตอกตัวเลขบอกไว้ที่โคนของลำตัวหัวทิพถ้างานบางจะใช้หัวทิพที่มีรูขนาดเล็กห รือตัวเลขมีค่าต่ำ ถ้างานหนาต้องใช้หัวทิพที่มีรูขนาดใหญ่หรือหัวทิพที่ตัวเลขมีค่ามาก เช่น เบอร์ 0 จะเล็กกว่าเบอร์ 1 ทิพเชื่อมมี 2 แบบ คือ แบบชิ้นเดียว กับแบบแยกชิ้น

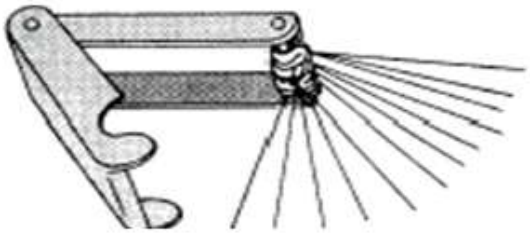
รูปที่ 3.8 แสดงหัวทิพเชื่อม

ขนาดเบอร์หัวทิพ	ขนาดความหนาโลหะที่ต้องการเชื่อม
0	0.8 มม. (1/32 นิ้ว)
1	1.6 มม. (1/16 นิ้ว)
2	2.4 มม. (3/32 นิ้ว)
3	3.2 มม. (1/8 นิ้ว)

ตาราง 3.2 แสดงขนาดหัวทิพและความหนาแผ่นโลหะ

2.7 เข็มแยงหัวทิพ (Tip Cleaner)

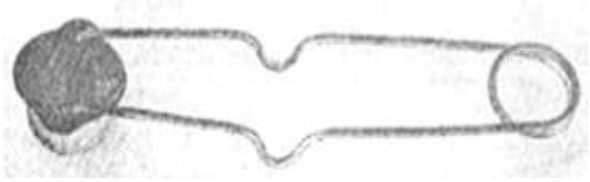
ใช้สำหรับทำความสะอาดหัวทิพ เพราะหัวทิพเมื่อใช้เชื่อมนานไปจะเกิดสะเก็ดโลหะเล็ก ๆ เกาะติดปลายหัวทิพทำให้ก๊าซออกไม่สะดวก จึงต้องทำความสะอาดหัวทิพด้วยเข็มแยงหัวทิพ ซึ่ งมีลักษณะคล้ายตะไบกลมมีขนาดเท่าๆ กับขนาดหัวทิพ และยังมีลักษณะคล้ายตะไบแบนอันเล็กๆ ไว้ตะไบตกแต่งหัวทิพ



รูปที่ 3.9 แสดงเข็มแยงทำความสะอาดหัวทิพ

2.8 ที่จุดเปลวไฟ (Spark Lighter)

ใช้สำหรับจุดเปลวไฟที่ทิพเชื่อม โดยการทำให้เกิดประกายไฟเหมือนไม้ขีดไฟก็สามารถจุดเปลวไฟที่ปลายทิพเชื่อมได้



รูปที่ 3.10 แสดงที่จุดเปลวไฟ

2.9 สายยางเชื่อม (Welding Hoses)

เป็นอุปกรณ์สำหรับส่งก๊ าซจากท่อบรรจุก๊าซสู่หัวเชื่อม โดยต่อจากมาตรวัดความดันมายังทอร์ชเชื่อม สายยางจะประกอบด้วยยาง 3 ชั้นชั้นในทำจากยางชั้นดีไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ผ่าน ชั้นกลางเสริมความแข็งแรงและอ่อนตัวได้ดี ชั้นนอกสุดมีความเหนียวทนต่อการสึกหรอและการเผาไหม้ได้ดี ระหว่างชั้นจะมีเส้นใยในลอนกั้นอยู่ทุกชั้น ซึ่งต้องทนกับความดันสูงของก๊าซสูงถึง 400 ปอนด์ต่อตารางนิ้วได้ มี 2 แบบ คือ แบบสายเดี่ยวและสายคู่ โดยสายสีเขียวหรือสีดำสำหรับก๊าซออกซิเจน สายสีแดงสำหรับก๊าซอะเซทิลีน

สมบัติของสายยางท่อก๊าซ

1. ทนต่อแรงดันได้ดี
2. มีความอ่อนตัวดีเพื่อง่ายต่อการใช้งาน
3. ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ผ่าน
4. ทนต่อการเผาไหม้ได้ดี

รูปที่ 3.11 แสดงสายยาง

2.10 ข้อต่อและนัท (Connecting Nut)

เป็นอุปกรณ์ที่ติดกับสายยาง ประกอบด้วย นัทและนิปเปิล ข้อต่อออกซิเจนจะมีอักษรย่อ “OX” อยู่บนตัวนัทเป็นเกลียวขวาส่วนข้อต่ออะเซติลีนเป็นเกลียวซ้ายมีอักษรย่อ “AC” และมีรอยบากอยู่บนตัวนัทโดยรอบ

รูปที่ 3.12 แสดงข้อต่อ

2.11 ประแจสำหรับเปิดปิดก๊าซ (Wrench)

ประแจที่ใช้กับอุปกรณ์เชื่อมก๊าซเป็นประแจพิเศษที่ผลิตจากโรงงานผู้ผลิตอุปกรณ์การเชื่อมให้มีขนาดพอดีกับอุปกรณ์เฉพาะชิ้นส่วน

รูปที่ 3.13 แสดงประแจสำหรับเปิดปิดก๊าซ

2.12 แว่นตาเชื่อมก๊าซ (Gas Goggles)

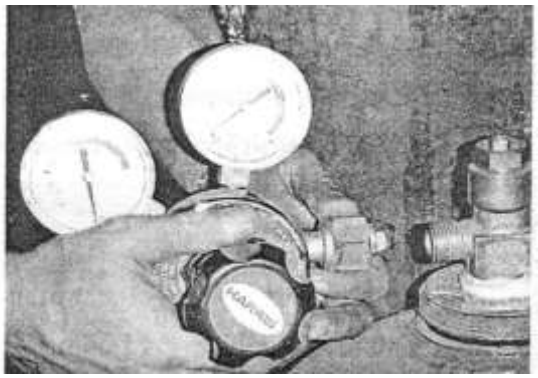
เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับป้องกันอันตรายจากแสงที่เกิดจากเปลวไฟขณะเชื่อม ช่วยให้มองเห็นการเชื่อมอย่างชัดเจนด้วยกระจกกรองแสงที่มีความเข้มเพียงพอในการกรองแสง กระจกกรองแสงที่เหมาะสมในการเชื่อมก๊าซควรใช้เบอร์ 4 – 6 หากใช้เบอร์ที่มีความเข้มมาก เช่น ใช้เบอร์ 10 ก็เข้มเกินไปจนมองไม่เห็นแนวเชื่อมขณะเชื่อม แว่นตาเชื่อมก๊าซมี 2 แบบ คือ แบบเลนส์เดียวและแบบเลนส์คู่ซึ่งทั้ง 2 แบบมีทั้งชนิดปิดเปิดเลนส์ได้และปิดเปิดเลนส์ ไม่ได้

รูปที่ 3.14 แสดงแว่นตาเชื่อมก๊าซ

3. การประกอบและติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมก๊าซ

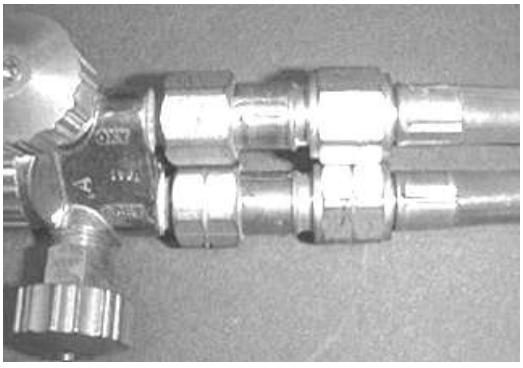
การประกอบและติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อความพร้อมในการใช้งาน เป็นสิ่งสำคัญมากที่จะต้องทราบและสามารถประกอบติดตั้งเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ได้ด้วยตนเอง เราต้องรู้จักเครื่องมือและอุปกรณ์การเชื่อมก๊าซเป็นอย่างดี จึงจะเป็นการง่ายที่จะประกอบและติดตั้งโดยมีลำดับ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ประกอบมาตรวัดความดันก๊าซออกซิเจนซึ่งเป็นเกลียวขวาเข้ากับถังบรรจุก๊าซออกซิเจน โดยการเปิดวาล์วที่หัวถังบรรจุก๊าซไล่สิ่งสกปรกออกก่อนแล้วจึงติดตั้งมาตรวัดความดันเข้ากับถังบรรจุก๊าซ มาตรวัดความดันก๊าซอะเซทิลีนเป็นเกลียวซ้าย โดยใช้มือหมุนเข้าจนรู้สึกตึงมือแล้วจึงใช้ประแจขันข้อต่อให้แน่นจากนั้นต่อสายเชื่อมเข้ากับมาตรวัดเพื่อนำไปใช้งานโดยพิจารณาสายสีเขียวต่อเข้ากับถังก๊าซออกซิเจน สายสีแดงต่อเข้ากับถังก๊าซอะเซทิลีน



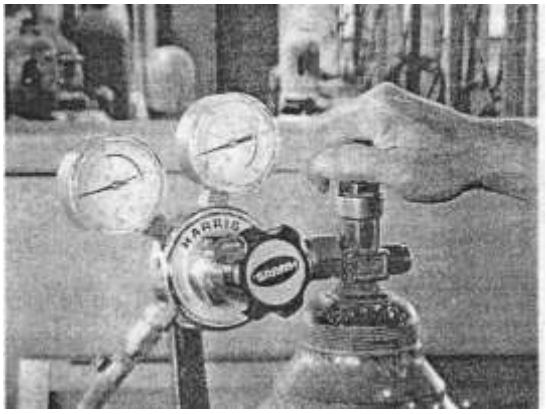
รูปที่ 3.15 แสดงขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 ประกอบสายเชื่อมกั บทอร์ชเชื่อม โดยการประกอบ สายเชื่อมให้ สังเกต ที่ข้อต่อทอร์ชเชื่อมจะมีอักษรภาษาอังกฤษ “AC” หมายถึง ก๊าซอะเซทิลีน ให้ใช้สายเชื่อมสีแดงต่อเข้ากับข้อต่อเกลียวด้านนี้ ซึ่งเป็นเกลียวซ้ายแล้วประกอบสายสีเขียวซึ่งเป็นสายก๊าซออกซิเจนเข้ากับทอร์ชเชื่อมที่มีอักษรภาษาอังกฤษ “OX” ซึ่งข้อต่อเป็นเกลียวขวา จากนั้นให้ปิดวาล์วที่ทอร์ชเชื่อม



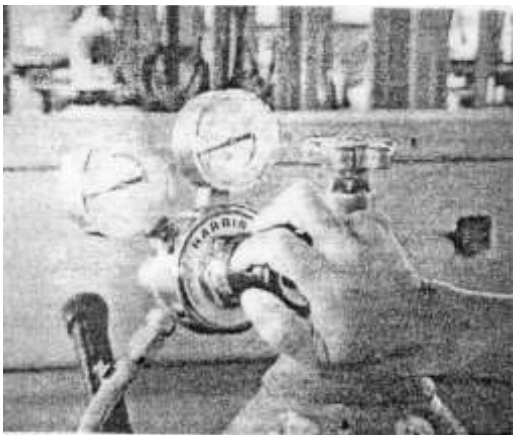
รูปที่ 3.16 แสดงขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 3 เปิดวาล์วหัวถังบรรจุก๊าซ ก่อนเปิดวาล์วหัวถังบรรจุก๊าซต้องแน่ใจว่ามาตรวัดความดันอยู่ในตำแหน่งปิดสุดก่อนทุกครั้งโดยหมุนสกรูปรับมาตรวัดความดันทวนเข็มนาฬิกา จากนั้นหมุนเปิดวาล์วที่หัวถังช้าๆ โดยถังออกซิเจนให้เปิดวาล์วจนหมดสุดเกลียวแต่ถังอะเซทิลีนให้หมุนเปิด ¼ - ½ รอบเท่านั้น หรืออย่างมากสุดไม่เกิน 1 รอบ และปล่อยประแจคาไว้ที่หัวถังเพื่อจะได้ปิดได้ทันทีหากมีเหตุฉุกเฉิน เช่น สายเชื่อมแตก ไฟลุกไหม้ ไฟย้อนกลับ ก๊าซรั่ว



รูปที่ 3.17 แสดงขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 4 ปรับมาตรวัดความดัน มาตรวัดความดันแสดงความดันก๊าซภายในถังบนหน้าปัด เก็จวัดทางด้านขวามือ ส่วนมาตรวัดความดันต่ำหรือแรงดันที่ต้องการใช้งานอยู่บนหน้าปัดทางซ้ายมือการปรับความดันก๊าซเพื่อใช้งานให้หมุนสกรูมาตรวัดความดันตามเข็มนาฬิกาจนได้ความดันที่ต้องการ มีข้อแนะนำการเลือกใช้ความดันเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับความหนาของโลหะงานและขนาดควา มโตหัวทิพที่ใช้ โดยทั่วไปจะปรับความดันก๊าซออกซิเจนอยู่ระหว่างประมาณ 25 – 35 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และก๊าซอะเซทิลีนประมาณ 6 ปอนด์ต่อตารางนิ้วสูงสุดไม่เกิน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



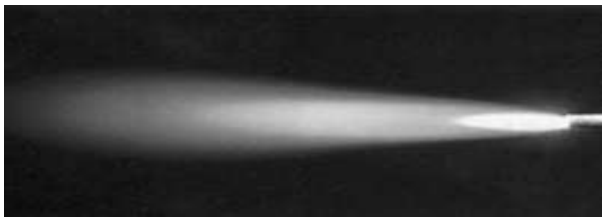
รูปที่ 3.18 แสดงขั้นตอนที่ 4

4. เปลวไฟในงานเชื่อมก๊าซ

เปลวไฟในงานเชื่อมมี 3 แบบดังนี้

4.1 เปลวลดหรือเปลวคาร์บูไรซิ่ง (Carburizing Flame)

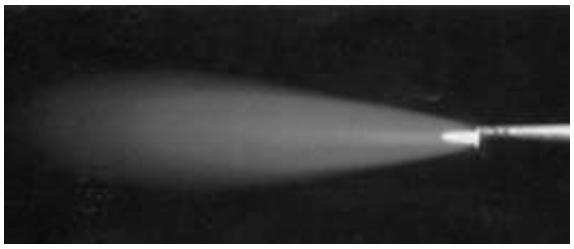
เป็นเปลวที่มีส่วนผสมของ ก๊าซอะเซทิลีนในปริมาณที่มากกว่าก๊าซออกซิเจน 2 เท่าให้ความร้อนประมาณ 3,200 องศาเซลเซียส เปลวไฟแบบนี้จะมีธาตุคาร์บอนเข้าไปรวมตัวกับน้ำโลหะ ทำให้แนวเชื่อมแข็งและเปราะอาจแตกได้ เปลวไฟจะมีอยู่ 3 ชั้นๆ นอกเป็นกรวยพุ่งยาวสีส้มอ่อน ชั้นที่ 2 สีฟ้าและชั้นที่ 3 สีขาว ดังรูป



รูปที่ 3.19 แสดงลักษณะของเปลวไฟคาร์บูไรซิ่ง

4.2 เปลวกลางหรือเปลวนิวตรัล (Neutral Flame)

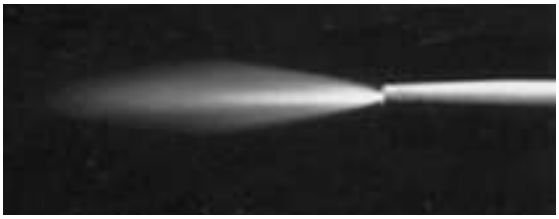
เป็นเปลวไฟที่มีส่วนผสมของก๊าซอะเซทิลีนกับก๊าซออกซิเจนในอัตราส่วนเท่ากัน คือ 1:1 ให้ความร้อนสูงประมาณ 3,400 องศาเซลเซียส ลักษณะเปลวไฟสั้นกว่าเปลวคาร์บูไรซิ่ง เป็นเปลวไฟ 2 ชั้นๆ นอกเป็นกรวยไฟสีฟ้า ชั้นในเป็นกรวยแหลมมนสีขาว เหมาะสำหรับการนำมาใช้เชื่อมเหล็กเหนียวและเหล็กหล่อ



รูปที่ 3.20 แสดงลักษณะของเปลวกลางหรือเปลวนิวตรัล

4.3 เปลวเพิ่มหรือเปลวออกซิไดซิ่ง (Oxidizing Flame)

เป็นเปลวไฟที่มีส่วนผสมของก๊าซออกซิเจนมากกว่า ก๊าซอะเซทิลีน ให้ความร้อนสูงสุดประมาณ 3,500 องศาเซลเซียส ลักษณะเปลวไฟสั้นกว่าเปลวกลาง เป็นเปลวไฟ 2 ชั้น หากใช้เชื่อมเหล็กเหนียวออกซิเจนจะทำให้น้ำโลหะเป็นฟองจึงนิยมใช้สำหรับเชื่อมเฉพาะทองเหลืองและบรอนซ์



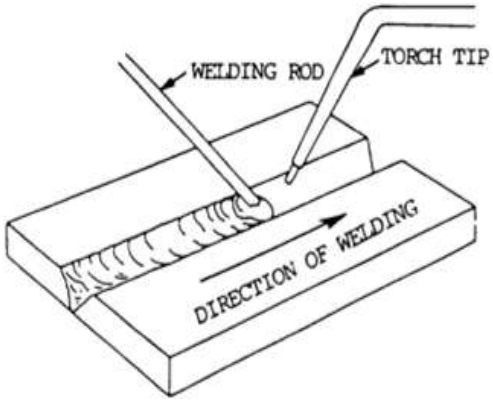
รูปที่ 3.21 แสดงลักษณะของเปลวออกซิไดซิ่ง

5. ลักษณะทิศทางการเชื่อม

ลักษณะการเชื่อมก๊าซจะมีความแตกต่างกันไปแล้วแต่ความหนาของชิ้นงาน รูปร่างลักษณะชิ้นงานหรือลักษณะรอยต่อ แม้กระทั่งลักษณะของท่าเชื่อมเพราะบางครั้งลักษณะรอยต่อบังคับให้ต้องใช้ลักษณะท่าเชื่อมที่เหมาะสมกับชิ้นงานด้วย เพราะฉะนั้นในการเชื่อมก๊าซจึงต้องศึกษาลักษณะการเชื่อมก๊าซดังต่อไปนี้ การเชื่อมแบบเปลวไฟนำหน้าลวดเชื่อม (Backhand Welding) และการเชื่อมแบบลวดเชื่อมนำหน้า

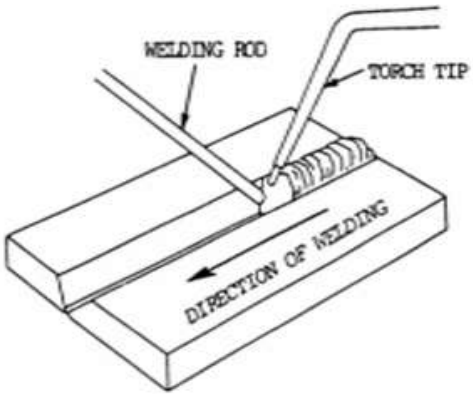
6. เปลวไฟ (Forehand Welding)

การเชื่อมแบบเปลวไฟนำหน้าลวดเชื่อม (Backhand Welding) การเชื่อมแบบนี้เหมาะสำหรับการเชื่อมชิ้นงานที่มีความหนาตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป เพราะความร้อนจะเกิดขึ้นกับชิ้นงานมาก กล่าวคือ ลักษณะของเปลวไฟจะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเชื่อม โดยลวดเชื่อมจะเติมน้ำโลหะตามหลังเปลวไฟ ถ้าผู้เชื่อมถือหัวเชื่อมด้วยมือขวา การเชื่อมจะเริ่มจากซ้ายไปขวา ดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.22 แสดงการเชื่อมแบบ Backhand

การเชื่อมแบบลวดเชื่อมนำหน้าเปลวไฟ (Forehand Welding) การเชื่อมแบบนี้เหมาะสำหรับการเชื่อมชิ้นงานที่มีความหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานจะมีไม่มาก ทำให้เชื่อมงานบางและโลหะอื่นที่ไม่ใช้เหล็กได้ง่าย โดยทิศทางของเปลวไฟจะเป็นทิศทางเดียวกับทิศทางการเชื่อม สำหรับผู้เชื่อมที่ถนัดมือขวาจะเชื่อมจากขวามาซ้าย

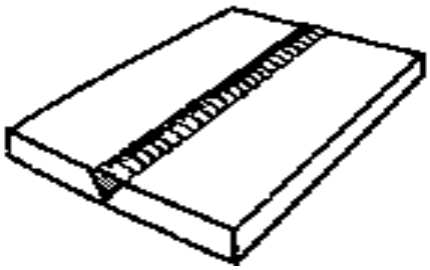


รูปที่ 3.23 แสดงการเชื่อมแบบ forehand

7. ชนิดของรอยต่อ (Type of Joint)

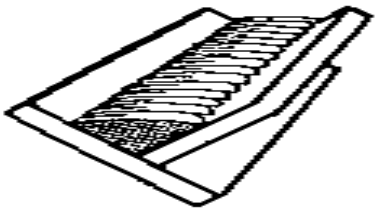
การเชื่อมต่อโลหะให้ติดกัน มีลักษณะรอยต่อพื้นฐานที่ต้องเรียนรู้ให้เข้าใจเพื่อการ พิจารณาเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะงาน มีอยู่ 5 แบบ ดังนี้

1. การเชื่อมต่อชน (Butt Joint or Butt Welding)



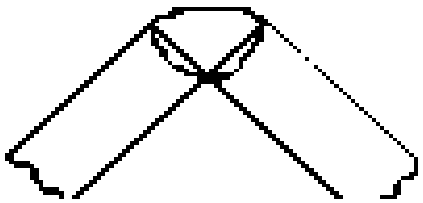
รูปที่ 3.24 รอยเชื่อมต่อชน

2. รอยเชื่อมต่อมุมในหรือตัวที (Inside Corner or Tee Joints)



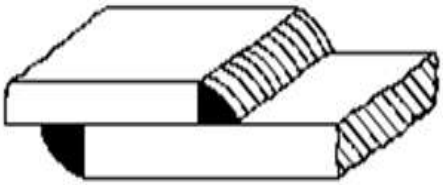
รูปที่ 3.25 รอยเชื่อมต่อตัวที

3. รอยเชื่อมต่อมุมนอก (Outside Corner Joints)



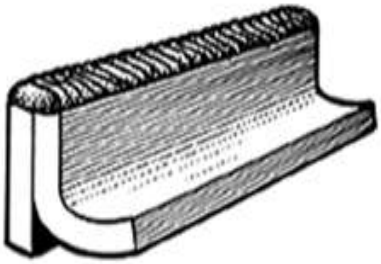
รูปที่ 3.26 รอยเชื่อมต่อมุม

4. รอยเชื่อมต่อเกย (Lap Joints)



รูปที่ 3.27 รอยเชื่อมต่อเกย

5. รอยเชื่อมต่อขอบ (Edg Joints)



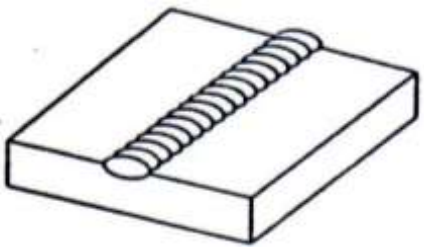
รูปที่ 3.28 รอยเชื่อมต่อขอบ

8. ชนิดของแนวเชื่อม (Type of Weld)

1. แนวเชื่อมสันนูน (Bead Weld)
2. แนวเชื่อมแบบฟิลเลท (Fillet Weld)
3. แนวเชื่อมแบบร่อง (Groove Weld)
4. แนวเชื่อมอุดรูหรืออุดร่อง (Plug or Slot Weld)

8.1 แนวเชื่อมสันสูน (Bead Weld)

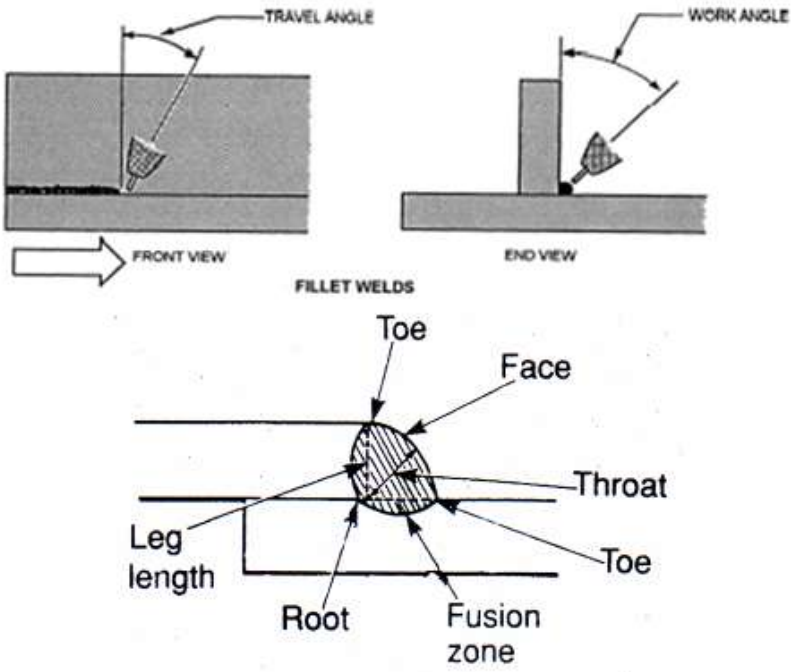
ใช้เชื่อมพอกเสริมชิ้นงานให้สูงขึ้น หนาขึ้นขึ้น หรือเชื่อมพอกผิวแข็งในงานเชื่อมซ่อมบำรุง



รูปที่ 3.29 แสดงลักษณะของแนวเชื่อมแบบสันนูน

8.2 แนวเชื่อมแบบสามเหลี่ยม (Fillet Weld)

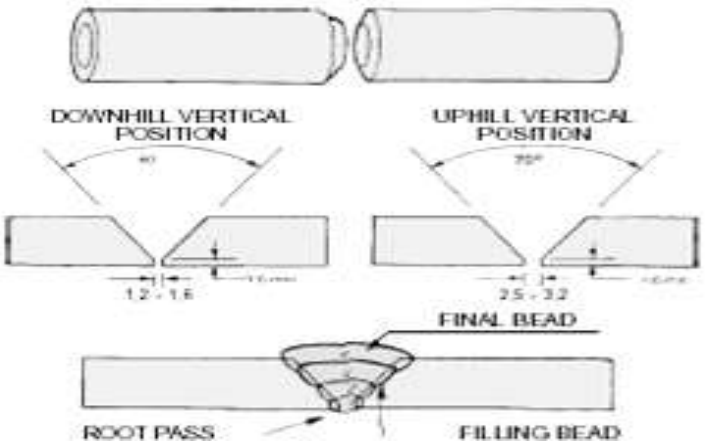
น้ำโลหะจากลวดเชื่อมที่เติมลงที่รอยต่อทำให้เกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมไม่ว่าจะเป็นรอยต่อตัวที รอยต่อมุม รอยต่อเกย ดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 3.30 แสดงลักษณะรอยเชื่อมแบบสามเหลี่ยม (Fillet Weld)

8.3 แนวเชื่อมแบบร่อง (Groove weld)

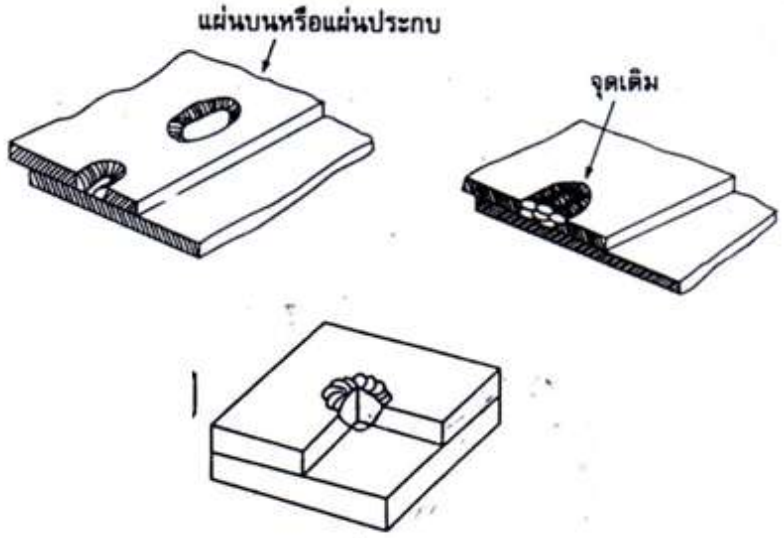
แนวเชื่อมแบบต่อชนจะบากร่องหรือไม่บากก็ได้มีข้อสังเกต คือถ้างานหนาเกิน 3 มิลลิเมตรต้องบากหน้างานหรือที่เรียกว่าเชื่อมต่อชนบากหน้างานลักษณะตามรูป



รูปที่ 3.31 แสดงรอยเชื่อมแบบต่อชนบากหน้างานแบบต่าง ๆ

8.4 แนวเชื่อมอุดรูหรืออุดร่อง (Plug or Slot Weld)

ใช้กับงานที่ไม่ต้องการให้ขอบงานมีรอยเชื่อม เช่น งานแบบพิมพ์อัด



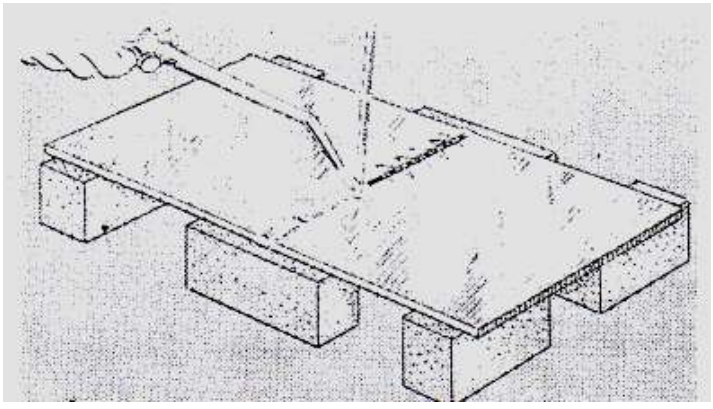
รูปที่ 3.32 แสดงแนวเชื่อมอุดรูหรืออุดร่อง

9. ตำแหน่งท่าเชื่อมหรือลักษณะท่าเชื่อม (Welding Position)

ในการเชื่อม บางครั้งไม่สามารถเลือกที่จะเชื่อมชิ้นงานในท่าเชื่อมราบที่ถนัดได้ เพราะต้องเชื่อมในสถานการณ์ที่บังคับทำให้ต้องทำการเชื่อมในตำแหน่งต่างๆ ท่าเชื่อมมีอยู่ 4 ท่าด้วยกัน คือ

9.1 ท่าราบ (Flat Position); F

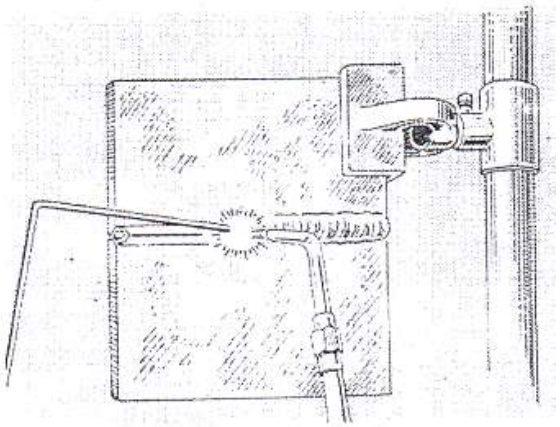
เป็นท่าการเชื่อมที่ง่ายที่สุดโดยวางชิ้นงานราบกับพื้นดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.33 แสดงการเชื่อมท่าราบ

9.2 การเชื่อมท่าขนานนอน (Horizontal Position); H

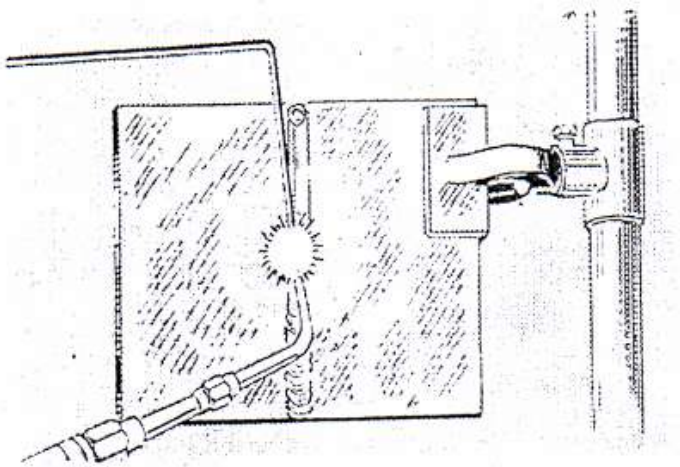
การเชื่อมท่านี้รอยต่อชิ้นงานจะอยู่ในดิ่งตั้งฉากกับพื้นแนวเชื่อมขนานกับพื้น การเชื่อมต้องใช้เทคนิคการควบคุมน้ำโลหะ ดังแสดงในรูป



รูป 3.34 แสดงการเชื่อมท่าขนานนอน

9.3 การเชื่อมท่าตั้ง (Vertical Position); V

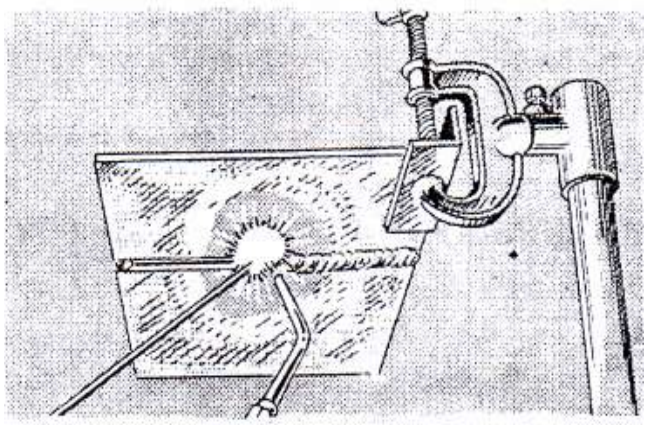
การเชื่อมท่านี้ชิ้นงานจะตั้งฉากกับแนวระนาบ อยู่ในแนวดิ่ง การเชื่อมท่าตั้งสามารถเชื่อมได้ทั้งเชื่อมขึ้นและเชื่อมลง



รูปที่ 3.35 แสดงการเชื่อมท่าตั้ง

9.4 การเชื่อมท่าเหนือศีรษะ (Overhand position); O

เป็นท่าเชื่อมที่รอยต่อของชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งขนานกับระนาบอยู่เหนือศีรษะ



รูปที่ 3.36 แสดงการเชื่อมท่าเหนือศีรษะ

10. อันตรายจากงานเชื่อมก๊าซ

อันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการเตรียมเครื่องมือ-อุปกรณ์ มีดังนี้

10.1 ไฟย้อนกลับทาง (Back Fire)

สาเหตุที่ทำให้ไฟย้อนกลับทาง มี 4 ประการคือ

1. เกิดจากความดันภายในท่อบรรจุอ๊อกซิเจน (Oxygen Cylinder) และท่อบรรจุอะเซทิลีน (Acetylene Cylinder) มีน้อย และไม่อยู่ในสภาพที่สมดุล (อย่างหนึ่งอย่างใดมาก และอีกอย่างน้อย)

2. เกิดจากความดันภายในถังอ๊อกซิเจนและถังอะเซทิลีนที่นำมาใช้ ไม่เกิดความสมดุลในอัตรา 1:1 ทำให้เปลวไฟมีเสียงดังป๊อป ในขณะเดียวกันก็จะจะทำให้เปลวไฟย้อนกลับ โดยปกติในการปรับความดันอ๊อกซิเจนและความดันอะเซทิลีนให้มีความสมดุลจะให้ เปลวไฟที่รุนแรงและสิ้นเปลือง ก๊าซโดยใช่เหตุ ถ้าปรับความดันก๊าซที่ต่ำกว่าความดันสมดุลจะทำให้มีเสียงดัง และไฟย้อนกลับทาง (Back Fire)

3. เกิดจากหัวทิพจ่อลงไปในบ่อหลอมละลายของโลหะขณะร้อน ทำให้เปลวไฟดับและย้อนกลับเข้าหัวเชื่อม ทำให้ห้องผสมก๊าซร้อน และอาจย้อนกลับถึงกันได้

4. หัวทิพอาจจะร้อนมากเกินไป โดยเฉพาะการเชื่อมแบ็คแฮนด์ (back hand) ซึ่งเป็นกรรมวิธีในการเชื่อมที่ให้ลวดเชื่อมและแนวเชื่อมอยู่ในทิศทางเดียว กัน และอยู่ตรงกันข้ามกับหัวทิพ หรือการเชื่อมแบบฟิลเลท (Fillet Weld) ต่อตัวที (T Joint) เมื่อไฟย้อนกลับจะผ่านหัวเชื่อม และสายเชื่อม ก๊าซ อาจเข้าถังได้ จึงต้องมีตัวป้องกันไฟย้อน (Anti Back Fire) ติดตั้งไว้ระหว่างหัวเชื่อม (Torch) กับสายก๊าซ (Hose) อุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับ อาจมีแบบท่อให้ก๊าซไหลผ่านได้ทางเดียว เฉพาะก๊าซไหลออกมาใช้งาน ส่วน ก๊าซไหลย้อนกลับไม่สามารถไหลผ่านได้ เครื่องป้องกันไฟย้อน กลับอีกชนิดหนึ่ง คือ ถังน้ำ ติดตั้งไว้ระหว่าง

แหล่งกำเนิดก๊าซและหัวเชื่อม มีจุดมุ่งหมายอย่างเดียวกัน คือ ป้องกันไม่ให้ไฟย้อนกลับ ถึงถังบรรจุ ก๊าซได้

10.2 การระเบิดตามข้อต่อ

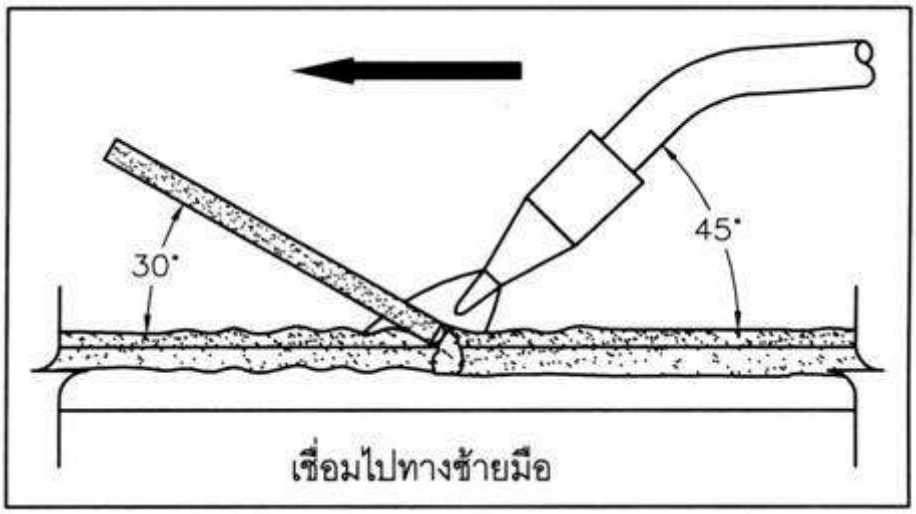
เกิดขึ้นเนื่องจากข้อต่อแต่ละจุดไม่แน่นสนิทจะต้องไม่ลืมว่าอุปกรณ์เชื่อม ก๊าซเป็นอุปกร ณ์ที่มีแรงดันอยู่ภายใน เมื่อจุดใดไม่แน่นสนิทก็เกิดการระเบิดขึ้น ข้อต่อที่เกิดการระเบิดขึ้นบ่อยๆ เช่น ระหว่างหัวทิพ (Tip) กับหัวเชื่อม (Torch) หรือระหว่างสายยางกับหัวปรับความดัน เป็นต้น เพราะฉะนั้นข้อต่อทุกๆจุดจึงต้องแน่นสนิท

11. ทิศทางการเชื่อม (Direction of welding)

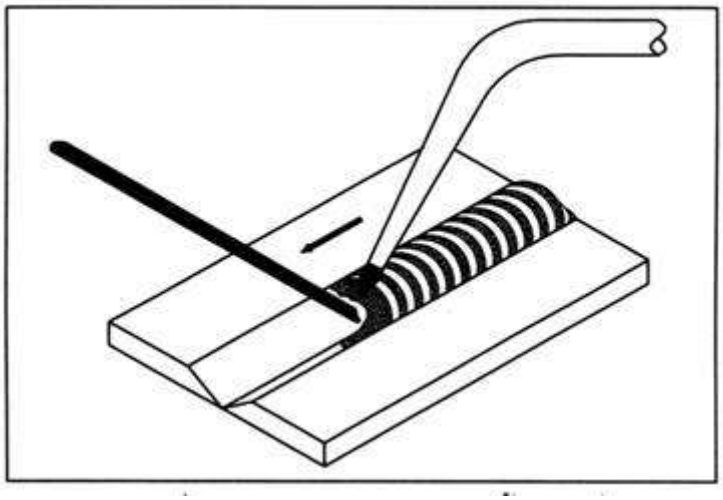
ในงานอุตสาหกรรมทั่วไปนั้น จะมีโลหะหลายประเภทด้วยกัน อีกทั้งความหนาก็แตกต่างกันออกไปตามลักษณะของงาน ดังนั้น การเชื่อมโลหะที่มีความหนาไม่เท่ากัน จึงมีทิศทางการเชื่อมที่แตกต่างกันดังนี้

11.1 ลวดเชื่อมนำหน้าเปลวไฟ (Fore Hand Welding)

การเชื่อมโลหะโดยให้ลวดเชื่อมนำหน้าเปลวไฟหรือการเชื่อมแบบ FOREHAND เป็นการเชื่อมที่ใช้ลวดเชื่อมนำหน้าและเปลวไฟอยู่ตามหลัง ในกรณีที่ใช้ลวดเชื่อมโดยผู้ที่ถือด้ามเชื่อมด้วยมือขวาจะเริ่มเชื่อมจากทางขวาไปทางซ้ายและจะต้องควบคุมให้เปลวเชื่ อมมุ่งไปในทิศทางเดียวกับทิศทางของการเชื่อม วิธีนี้เหมาะสำหรับเชื่อมชิ้นงานบางๆ ซึ่งมีความหนาไม่เกิน **3** มม. และชิ้นงานที่มีความหนาเกิน **3** มม. จะต้องทำการบากหน้างาน



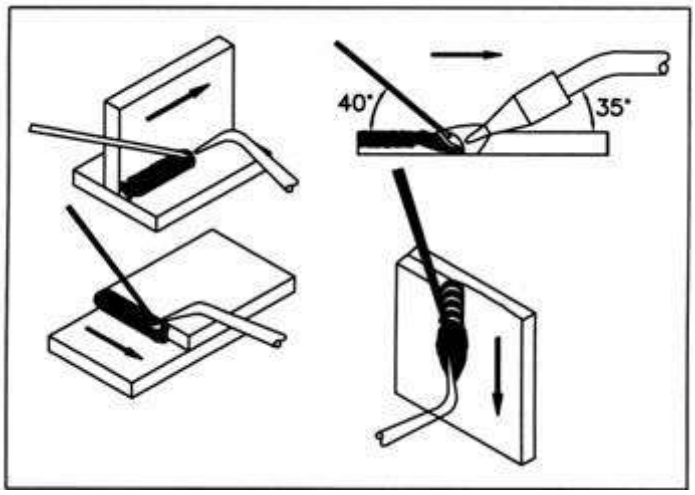
รูปที่ 3.37 แสดงทิศทางการเชื่อม



รูปที่ 3.38 แสดงทิศทางการเชื่อม

11.2 เปลวไฟนำหน้าลวดเชื่อม (Back Hand Welding)

การเชื่อมโลหะโดยให้เปลวไฟนำหน้าลวดเชื่อมหรือการเชื่อมแบบ Backhand เป็นการเชื่อมโลหะที่ให้ลวดเชื่อมอยู่ตามหลังและเปลวไฟนำหน้า ในกรณีที่ใช้ลวดเชื่อม โดยที่ผู้เชื่อมถือด้ามเชื่อมด้วยมือขวา จะเริ่มต้นเชื่อมจากทางด้านขวาไปทางซ้าย และต้องควบคุมเปลวไฟเชื่อมให้พุ่งไปในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของการเชื่อม วิธีนี้เหมาะสำหรับเชื่อมชิ้นงานที่มีความหนา 3 มม.ขึ้นไป



รูปที่ 3.39 แสดงการเชื่อมแบบเปลวไฟนำหน้าลวดเชื่อม

12. ตำแหน่งในการเชื่อม (Welding Position)

ตำแหน่งในการเชื่อมหรือท่าเชื่อม คือ ตำแหน่งและทิศทางการเชื่อมของแนว เชื่อมดังที่กล่าวมาแล้ว แบ่งออกเป็น 4 ตำแหน่งคือ

12.1 ท่าราบ (Flat Position)

ท่าราบเป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในระนาบเดียวกันกับพื้นราบซึ่งไม่มีปัญหาเรื่องแรงดึงดูดของโลก จึงเป็นท่าเชื่อมที่เชื่อมง่ายกว่าท่าเชื่อมอื่นๆ

12.2 ท่าขนานนอน (Horizontal Position)

ท่าขนานนอนหรือท่าระดับเป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในแนวระดับ ซึ่งขนานกับแนวระนาบ ในการเชื่อมท่าเชื่อมนี้นั้น แรงดึงดูดของโลกจะมีผลต่อการเชื่อม ทำให้เกิดข้อบกพร่อง คือ รอยแหว่ง (Undercut) ขอบด้านบนของรอยเชื่อม

12.3 ท่าตั้ง (Vertical Position)

ท่าตั้งเป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในแนวดิ่ง ซึ่งตั้งฉากกับแนวระดับ ในการเชื่อมท่านี้นั้นแรงดึงดูดของโลก จะมีผลต่อการเชื่อมเช่นกัน ตามทิศทางของการเชื่อม เช่น การเชื่อมลง (Vertical Down) และการเชื่อมขึ้น (Vertical Up)

12.4 ท่าเหนือศีรษะ (Overhead Position)

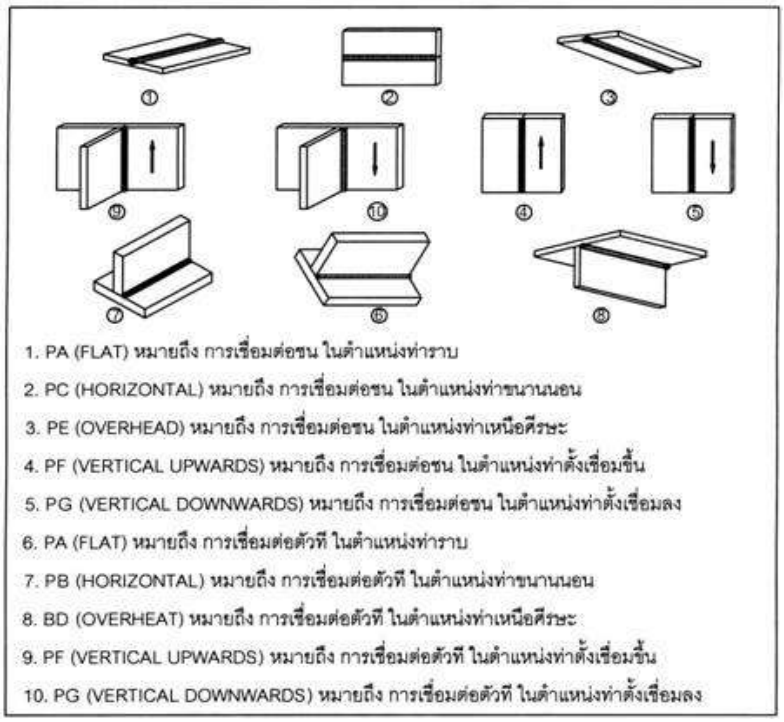
ท่าเหนือศีรษะ เป็นการเชื่อมชิ้นงานที่วางอยู่ในแนวระนาบ ในระดับเหนือศีรษะของผู้เชื่อม ในการเชื่อมท่านี้นั้น แรงดึงดูดของโลก มีผลต่อการเชื่อมเป็นอย่างมาก ทั้งข้อบกพร่องในรอยเชื่อมและอันตรายจากสะเก็ดไฟโลหะที่หลอมละลาย และความร้อนจากเปลวไฟที่สะท้อนกลับ

13. สัญลักษณ์บอกตำแหน่งท่าเชื่อมมาตรฐาน

สัญลักษณ์บอกตำแหน่งท่าเชื่อมมาตรฐาน คือ สัญลักษณ์ที่ทางสถาบันต่างๆ ได้กำหนดขึ้นเพื่อให้เป็นแนวทางเดียวในการปฏิบัติงานเชื่อม สถาบันกำหนดมาตรฐานที่สำคัญๆ คือ

มาตรฐานสากล (ISO) มาตรฐานสมาคมการเชื่อมอเมริกัน (American Welding Society; AWS)

มาตรฐานเยอรมัน (Deutch Industrie Norm; DIN)



รูปที่ 3.40 แสดงสัญลักษณ์บอกตำแหน่งท่าเชื่อมมาตรฐาน ISO

14. องค์ประกอบในการเชื่อมโลหะด้วยก๊าซออกซีอะเซทิลีน

ในการเชื่อมโลหะด้วย ก๊าซออกซีอะเซทิลีน ให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการนั้น จะต้องควบคุมองค์ประกอบ 4 ประการให้ถูกต้องและเหมาะสม ดังนี้

14.1 ปริมาณความร้อนถูกต้อง

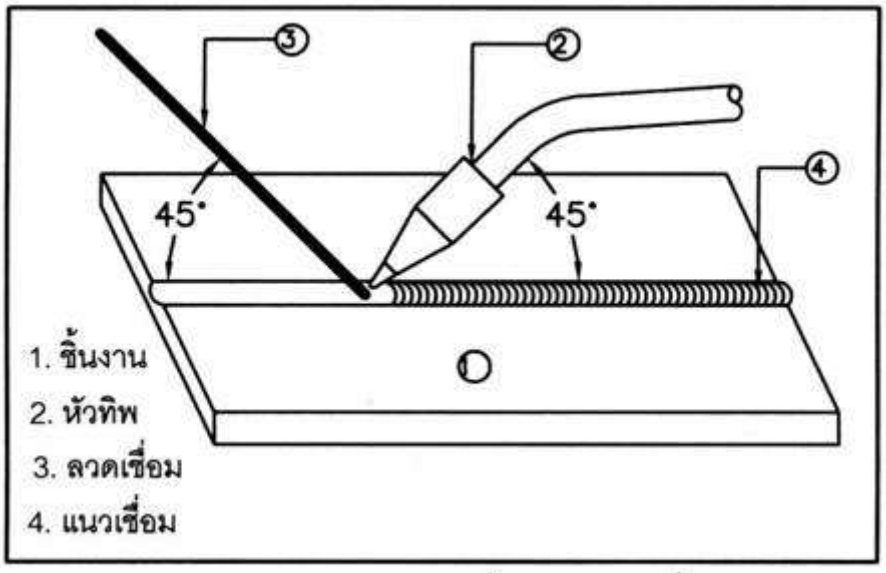
ปริมาณความร้อนที่ถูกต้อง จะขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานและขนาดของหัวทิพที่ใช้ ถ้าชิ้นงานบางจะต้องใช้หัวทิพขนาดเล็ก แต่ถ้าชิ้นงานหนาจะต้องใช้หัวทิพที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงานเชื่อม จะต้องไม่มากหรือน้อยจนเกินไป ถ้าให้ความร้อนน้อยไป การหลอมละลายจะเกิดปัญหา คือ หลอมละลายยาก แต่ถ้าให้ความ ร้อนมากไป อาจทำให้ชิ้นงานทะลุเป็นรู

14.2 ระยะห่างของกรวยไฟ

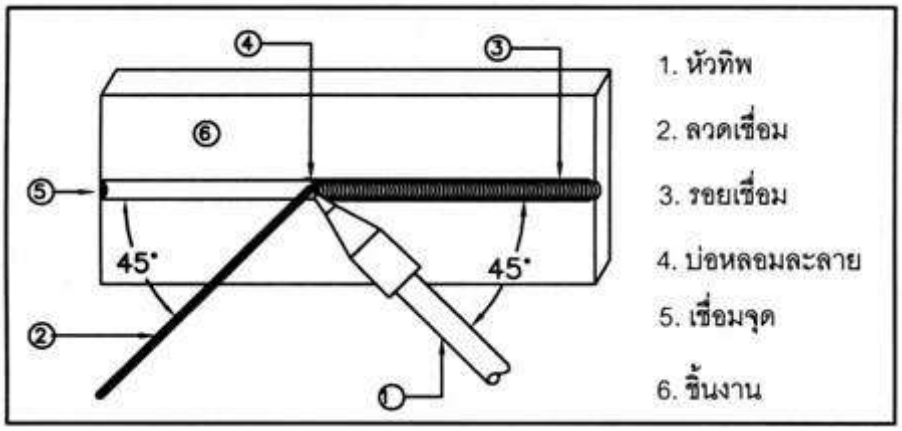
ระยะห่างของกรวยไฟ ระยะห่างควรจะอยู่ระหว่าง 2–3 มม.ระหว่างกรวยไฟกับผิวหน้าชิ้นงาน กรวยไฟชั้นในอย่าให้แตะชิ้นงานเพราะจะทำให้ความร้อนลดลง บ่อหลอมละลายจะไม่เกิดขึ้น และชิ้นงานยังจะได้รับ ก๊าซต่างๆ เข้าไปรวมกับบ่อหลอมละลาย เช่น ออกไซด์ ไฮโดรเจ น เป็นต้น ความร้อนสูงสุดของเปลวไฟจะอยู่ที่ปลายกรวยไฟและจะลดลงไปเรื่ อยๆ ถ้าระยะห่างจากกรวยไฟมากขึ้นหรือสั้นเข้าชิดหัวทิพมากเกินไป

14.3 มุมหัวทิพและลวดเชื่อม

มุมหัวทิพและลวดเชื่อม จะต้องมีความสัมพันธ์กับชนิดของรอยต่อและตำแหน่งในการเชื่อม โดยจะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ตามลักษณะของความสัมพันธ์



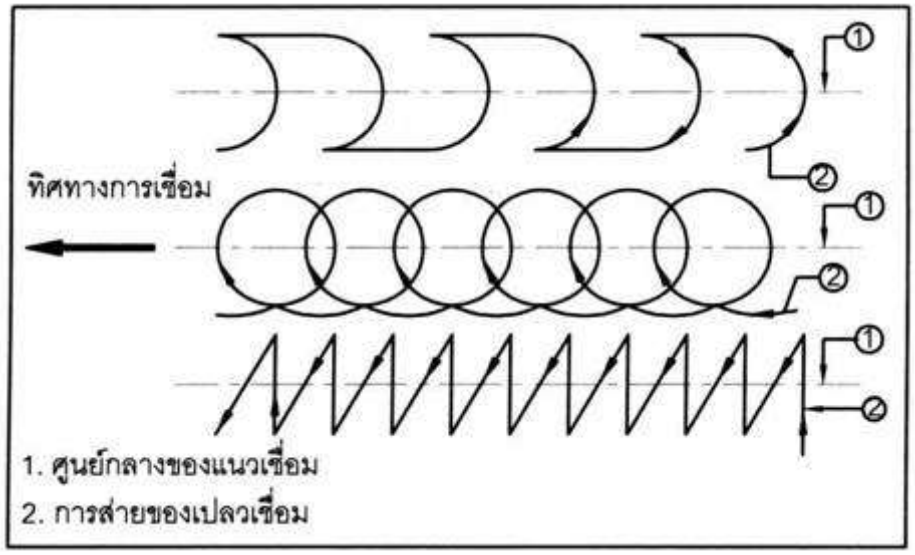
รูปที่ 3.41 แสดงมุมหัวทิพและลวดเชื่อมการเชื่อมท่าราบ



รูปที่ 3.42 แสดงมุมหัวทิพและลวดเชื่อมในการเชื่อมท่าขนานนอน

14.4 ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม

ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมจะมีความสัมพันธ์กับความหนาของงานชนิดของรอยต่อและตำแหน่งของการเชื่อม ซึ่งมีผลโดยตรงกับขนาดของแนวเชื่อมตามลักษณะงาน เช่น แนวเล็ก แนวกว้าง โดยจะต้องใช้เทคนิคการส่ายหัวทิพแบบต่างๆ ในการควบคุมความเร็วในการเชื่อม



รูปที่ 3.43 แสดงการส่ายหัวทิพ

บทสรุป

การเชื่อมก๊าซมีหลักการทำงานคล้ายกับการเชื่อมหลอมละลายทั่วๆ ไป แตกต่างกันที่ต้นกำเนิดการให้ความร้อน การเชื่อมก๊าซให้ความร้อนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของก๊าซอะเซทีลีนกับก๊าซออกซิเจน เกิดเป็นเปลวไฟให้ความร้อนได้โดยเฉลี่ยประมาณ 3250 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการเชื่อมก๊าซจึ งอาจจะก่อให้เกิดอันตรายได้

ใบเนื้อหา		สัปดาห์ที่ 6
หน่วยที่ 4	การแก้ไขปัญหาในการเชื่อม	จำนวน 4 ชั่วโมง

สาระสำคัญ

การออกแบบชิ้นงานทางด้านวิศวกรรม ให้มีความแข็งแรงและอายุการใช้งานเหมาะสมตามความต้องการของการใช้งานชิ้นงานนั้น การเสียหายของชิ้นงานก่อนเวลาอันสมควรไม่ควรเกิดขึ้นจากการใช้งานตามปกติ แต่ในกรณีที่ชิ้นงานนั้นมีความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้น ความไม่ต่อเนื่องนี้ทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานต่ำกว่าที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งก็มีวิธีการแก้ไขโดยการใช้ตัวประกอบความปลอดภัย (Safety Factor) ที่สูงขึ้น เพื่อชดเชยไว้หากเกิดความไม่ต่อเนื่อง การตรวจสอบจึงเข้ามามีบทบ าทสำคัญ ในการค้นหาความไม่ต่อเนื่องก่อนการนำไปใช้งาน

เนื้อหาสาระ

1. การตรวจสอบการเชื่อม

ในการตรวจสอบการเชื่อมสามารถสรุปเป็นขั้นตอนต่างๆได้ 3 ขั้นตอนดังนี้

1.1 การตรวจสอบก่อนการเชื่อม

รายการที่จะตรวจสอบสามารถแบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆคือ

1. สิ่งแวดล้อมในการทำงาน

สภาพความปลอดภัยและสุขอนามัยสภาพที่มีผลต่อการเชื่อม เช่นกระแสลม ลักษณะพื้นที่ทำงานเป็นต้น

2. วัสดุและเครื่องมือ

คุณภาพของวัสดุงานได้แก่ชนิด สมบัติ พิกัดขนาด สภาพความคงตัวของรูปทรงและผิวคุณภาพของวัสดุช่วยงาน เช่นลวดเชื่อม ฟลั๊กซ์ แผ่นประกับด้านล่างของแนว เชื่อมต้องตรวจ ชนิด สมบัติ พิกัดขนาด สภาพความคงตัวของรูปทรงและผิว โดยเฉพาะลวดเชื่อมอาจต้องตรวจการเก็บรักษาและการอบด้วย

3. การสร้างและประกอบ

ลักษณะรูปทรงตามแบบได้แก่การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ พิกัดขนาดต่างๆ ลักษณะรูปร่างของรอยต่อได้แก่ขนาดมุมบากงาน ขนาดร่องรอยผิวและระนาบของรอยต่อ ความสะอาด ลักษณะการจับยึดได้แก่การเชื่อมยึดชิ้นงาน การใช้อุปกรณ์จับยึดป้องกันการบิดงอ

4. กระบวนการหรือวิธีการพิเศษ

กระบวนการหรือวิธีการพิเศษได้แก่อุณหภูมิการอุ่นชิ้นงาน การใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม

1.2 การตรวจสอบขณะทำการเชื่อม

เป็นการตรวจสอบกรรมวิธีการเชื่อมของช่างเชื่อม ลำดับขั้นในการเชื่อม การตั้งขนาดกระแสหรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะเชื่อม เทคนิคการเดินและความเร็วในการเดินลวดเชื่อม อุณหภูมิของชิ้นงานขณะเชื่อม การทำความสะอาดรอยเชื่อมระหว่างต่อลวดเชื่อม

1.3 การตรวจสอบหลังการเชื่อม

เป็นการตรวจสอบเพื่อประเมินผลงานว่า ลักษณะและข้อบกพร่องต่างๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้หรือไม่จุดที่จะตรวจได้แก่ ขนาดและลักษณะแนวเชื่อม ขนาดความกว้าง ความสูง ความยาว ขนาดขา ของแนวเชื่อมขนาดความกว้าง ความสูงของรอยซึมลึก ลักษณะ ความหยาบ ละเอียด ความต่อเนื่องของแนวเชื่อม

2. จุดบกพร่องในงานเชื่อม

ความหมายของจุดบกพร่องมีศัพท์เทคนิคอยู่ 2 คำที่ใช้เกี่ยวข้องกับความหมายของจุดบกพร่องคือคำว่า “Discontinuities” ซึ่งหมายถึง จุดบกพร่องที่มีขนาดยอมรับ (Accepted) สามารถใช้งานได้ส่วนอีกคำหนึ่งคือคำว่า “Defected” ที่หมายถึง จุดบกพร่องที่เกินมาตรฐานการยอมรับ (Non-Passed) ต้องสั่งแก้ไขหรือให้ทำใหม่ (Rejected)

ตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดจุดบกพร่องในงานเชื่อมกระบวนการเชื่อม ที่มีอยู่มากมายหลายวิธีการ ทั้งกระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion Welding) และกระบวนการเชื่อมที่โลหะติดกันในสภาพของแข็งและใช้แรงอัด (Solid State Welding) ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดจุดบกพร่องในแน วเชื่อมมีดังนี้ ความร้อน การปกคลุม (Shielded) ระหว่างการเชื่อม ส่วนผสมทางเคมี ความสะอาด ความ พร่องในงานเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ที่จะเกิดขึ้นในแนวเชื่อมมีมากมายหลายชนิดแต่ที่พบเห็นเป็นส่วนมากในงานเชื่อมสรุปได้ดังนี้

2.1 ประเภทฟองอากาศ (Porosity)

ฟองอากาศจะเกิดจาก แก๊สภายในแนวเชื่อมหรือวัสดุที่โลหะงานไม่สามารถวิ่งออกมาข้างนอกได้ เนื่องจากการเย็นตัวของโลหะอาจจะเป็นรูปร่างลักษณะต่างๆ เช่นทรงกลม ทรงกระบอก ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการเย็นตัวของโลหะและอัตราความเร็วของแก๊ส ฟองอากาศเป็นจุดเสียในงานเชื่อมที่ไม่ค่อยจะอันตรายมากนัก แต่ต้องขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะ และทิศทางของแรงที่กระทำ ซึ่งสาเหตุอาจจะเกิดมาจากขบวนการเชื่อมแบบต่างๆ และอาจจะเกิดมากจากเนื้อของโลหะที่เชื่อมไม่สะอาด หรือส่วนผสมของลวดที่เติมไม่เหมาะสมกับโลหะงาน ฟองอากาศอาจจะเกิดออกซิเจนไฮโดรเจนได้ด้วย แต่ไฮโดรเจนนั้นอาจจะนำไปสู่การแตกร้าวที่แนวเชื่อมและส่วนที่มีผลเนื่องจากความร้อนได้ในภายหลัง โดยมีลักษณะต่างๆดังนี้

ฟองอากาศแบบกระจาย (Uniformly Scattered Porosity) เป็นลักษณะของฟองอากาศที่กระจายตัวอยู่ทั่วไป ทั้งภายในและภายนอกอาจเกิดจากเทคนิคการเชื่อมหรือ วัสดุไม่ถูกต้อง หรือการเตรียมรอยต่อไม่ถูกต้อง วิธีป้องกันก็คือปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวช้าๆ อาจจะทำให้แก๊สหนีออกจากแนวเชื่อมได้ทัน

ฟองอากาศแบบรวมกลุ่ม (Cluster Porosity) ฟองอากาศแบบนี้จะอยู่บริเวณร่องของรอยบากส่วนใหญ่จะเกิดตอนเริ่มต้นหรือรอยต่อของการเชื่อมไฟฟ้า

ฟองอากาศตามแนวยาว (Linear Porosity) เป็นฟองอากาศที่เกิดขึ้นตามแนวยาว บ่อยครั้งจะเกิดบริเวณผิวหน้าของรอยเชื่อมและตรงรอยต่อระหว่างแนวเชื่อม กับวัสดุงานหรือบริเวณใกล้ รากของแนวเชื่อม ส่วนใหญ่เกิดจากความสกปรกของรอยต่อ

ฟองอากาศเป็นโพรง (Piping Porosity) รูปร่างเป็นโพรงยาวส่วนใหญ่เกิดบริเวณของแนวเชื่อมแบบฟิลเล็ท (Fillet Weld) อาจจะทะลุขึ้นมาบนผิวหน้าแนวเชื่อมได้ หรืออยู่ภายใต้แนวเชื่อมได้ และอาจจะพบยาวมากในกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Electro Slag

2.2 ประเภทสารมลทินฝังใน (Slag Inclusion)

สารมลทินฝังใน (Slag Inclusion) เกิดจากการรวมตัวของสารที่ไม่ใช่โลหะฝังอยู่ในแนวเชื่อมหรือระหว่างแนวเชื่อมกับโลหะชิ้นงาน จะพบได้ในงานเชื่อมไฟฟ้า อันเป็นผลมาจากความผิดพลาดทางด้านเทคนิคการเชื่อม หรือการออกแบบที่ไม่ถูกต้องหรือชิ้นงานสกปรก เพราะปกติ สแลก จะลอยขึ้นสู่ผิวหน้า แต่บางครั้งอาจจะถูกปิดกั้นโดยน้ำโลหะ ทำให้ฝังตัวอยู่ในแนวเชื่อม

ทังสเตนฝังในรอยเชื่อม (Tungsten Inclusion) เกิดจากทังสเตนฝังอยู่ในรอยเชื่อมของกระบวนการเชื่อมทิก (GTAW) ในกระบวนการนี้จะใช้ทังสเตนเป็นตัวอาร์กกับชิ้นงานเพียงอย่างเดียวจะเป็นการเชื่อมแบบไม่สิ้นเปลืองลวดเชื่อม (Non-Consumable Electrode) ในทางปฏิบัติน่าจุ่มทังสเตนลงในบ่อหลอมละลาย หรือใช้กระแสไฟสูงเกินไป จะทำให้ทังสเตนหักฝังอยู่ในรอยเชื่อม ทังสเตนจะจมอยู่ในรอยเชื่ อม เพราะหนักกว่าเหล็กและอลูมิเนียม ถ้านำชิ้นงานไปตรวจสอบโดยใช้การถ่ายภาพรังสี จะเห็นเป็นสีขาวบนฟิล์ม

การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์เป็นผ ล มากจากเทคนิคการเชื่อม รวมทั้งการเตรียมรอยต่อไม่ถูกต้อง หรือการออกแบบแนวเชื่อมไม่ดี หรือเกิดจากการให้ความร้อนไม่เท่ากันในขณะเชื่อม หรือมีออกไซด์เกิดขึ้นในขณะหลอมละลาย

รอยต่อไม่หลอมละลาย (Incomplete Penetration) เป็นลักษณะของการซึมลึกตรงรอยต่อไม่เพียงพอ อาจจะเกิดจากความร้อนไม่เพียงพอ หรือการออกแบบไม่ถูกต้อง เช่นบริเวณรอยต่อหนาเกินไป สำหรับรอยต่อที่ต้องการเชื่อมให้ซึมลึกตลอดความหนา อาจจะออกแบบให้เชื่อมข้างหลัง โดยก่อนที่จะเชื่อมข้างหลังต้องมีการเซาะร่อง (Gouging) หรือเจียระไนเสียก่อนหรืออาจจะออกแบบโดยใช้แผ่นประกอบหลัง (Backing Bar)

รอยกัดแหว่ง (Undercut) โดยทั่วไปแล้วเกิดจากเทคนิคการเชื่อมหรือใช้กระแสไฟมากเกินไป รอยกัดแหว่งส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณรอยต่อระหว่างแนวเชื่อมกับโลหะชิ้นงานทั้งด้านหน้าและด้านรากแนวเชื่อม รอยกัดแหว่งนี้เป็นรอยบากซึ่งเป็นอันตรายเพราะจะเป็นแหล่งรวมความเค้น (Stress Concentrator)

รอยเชื่อมไม่เต็ม (Under Fill) คือรอยเชื่อมไม่เต็มอาจจะเป็นด้านหน้า หรือด้านรากแนวเชื่อม เป็นผลมาจากช่างเชื่อมไม่เติมให้เต็ม หรือเชื่อมไม่ถูกต้องตามลักษณะของการเชื่อม

รอยพอกเกย (Overlap) คือส่วนของรอยเชื่อมพอกเกยออกมาจากแนวเชื่อม โดยที่ไม่หลอมละลาย อาจจะเกิดที่ด้านหน้าหรือด้านรากของแนวเชื่อม เป็นผลมาจากการควบคุมการเชื่อมไม่ดี หรือวัสดุเติมไม่ถูกต้อง หรือผิวหน้าของวัสดุมีออกไซด์ รอยพอกเกยเป็นจุดบกพร่องที่ผิวหน้าและเป็นรอยบาก (Notch) ที่จะทำให้เกิดการรวมความเค้น

รอยแยกชั้น (Laminations) ส่วนใหญ่จะเกิดตามยาวของวัสดุ ปกติจะพบที่กึ่งกลางของชิ้นงาน อาจจะตรวจได้โดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูง และถ้าเกิดรอยแยกชั้นออกมาที่บริเวณ หน้าตัดของชิ้นงาน อาจตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม หรืออนุภาคแม่เหล็กได้ รอยแยกชั้นอาจเกิดมาจากฟองอากาศ โพรงอากาศจากการหดตัว สารมลทินฝังในเมื่อผ่านการรีดจะทำให้จุดบกพร่องเหล่านี้แบนราบขนานไปทิศทางของแนว วัสดุที่มีรอยแยกชั้น ภายในไม่สามารถรับแรงในแนวตั้งฉากกับความหนาได้

รอยแยกชั้นแบบเป็นโพรง (Delamination) เป็นการแยกออกจากกันของรอยแยกชั้นอันเนื่องมาจากรอยแยกชั้น (Lamination) ความเค้นอาจมาจากการเชื่อมหรือเกิดจากแรงภายนอก การแยกชั้นออกจากกันอาจจะตรวจพบได้ที่ขอบด้านความหนาของชิ้นงาน หรือตรวจด้วยอุลตราโซนิค ด้วยหัวตรวจสอบแบบตรง (Normal Probe) รอยบกพร่องแบบนี้ไม่สามารถรับแรงดึงในแนวตั้งฉากกับความหนาได้เช่นกัน

รอยตะเข็บและรอยเกย (Seam and Laps) คือจะเกิดตามความยาวของโลหะอาจพบได้ในการผลิตเหล็ก ถ้ารอยตะเข็บและรอยเกยขนานไปกับทิศทางความเค้น จะไม่ค่อยอันตรายเท่าไร แต่ถ้ารอยตะเข็บและรอยเกยตั้งฉากกับความเค้น จะทำให้เกิดรอยร้าวได้ รอยตะเข็บและรอยเกยจะอยู่บนผิวหน้างาน ในการเชื่อมอาจจะไปเชื่อมตรงบริเวณรอยตะเข็บ และรอยเกย อาจจะเกิดรอยแตกได้

รอยฉีกขาดของเนื้อโลหะ (Lamellar Tears) คือรอยฉีกเป็นขั้นบันไดในเนื้อโลหะชิ้นงาน จะเกิดจากความเค้นในทิศทางตามความหนาจากการเชื่อม และสาเหตุจากมีสารมลทินที่ไม่ใช่เหล็ก อยู่ในวัสดุโลหะงาน ซึ่งยาวไปตามแนวรีด เมื่อเกิดแรงหดตัวหรือแรงดึงจากการเชื่อมก็อาจฉีกขาดตามแนวทิศทางการรีด

รอยแตก (Crack) รอยแตกสามารถเกิดขึ้นได้ในเนื้อเชื่อม และโลหะชิ้นงานจะเกิดขึ้นเมื่อได้รับความเค้นสูง เหนือจุดความแข็งแรงของวัสดุ (Ultimate Strength) โดยทั่วไปรอยแตกจะเกิดจากความเค้นในรอยเชื่อม หรือในวัสดุงาน หรือความเค้นอันเกิดจากการออกแบบแนวเชื่อมที่ทำให้เกิดรอยบาก (Notch) และรอยแตกยังอาจเกิดจากไฮโดรเจนที่แทรกตัวอยู่ในรอยเชื่อมและวัสดุงานและจะเกิดกับวัสดุที่เปราะหรือวัสดุที่มีสภาวะพลาสติกน้อย (Plastic Deformation) รอยแตก (Crack) รอยแตกอาจจะแบ่งออกเป็นรอยแตกร้อน และรอยแตกเย็น (Hot Crack and Cold Crack) รอยแตกร้อนสาเหตุมาจากการเย็นตัวไม่เท่ากันอันเกิดมาจากจุดแข็งตัวของธาตุต่างๆ ไม่เท่ากัน รอยแตกเย็นจะเกิดหลังจากโลหะเย็นตัวแล้ว อันเนื่องมาจากไฮโดรเจนรอยแตกระหว่างขอบเกรน ส่วนรอยแตกเย็นจะแตกระหว่างขอบเกรน หรืออาจจะแตกผ่าเกรน ทิศทางของรอยแตก รอยแตกจะเกิดตามความยาวของแนวเชื่อม หรือตามขวางของแนวเชื่อม ขึ้นอยู่กับทิศทางจะเกิดขึ้น รอยแตกที่ขนานกับแกนของแนวเชื่อมจะเรียกว่า รอยแตกตามยาว (Longitudinal Crack) อาจจะเกิดกลางแนวเชื่อม ห รือในเขตที่มีผลกระทบจากความร้อนใกล้กับแนวเชื่อม รอยแตกตามขวาง (Transverse Crack) จะเกิดตั้งฉากกับแนวเชื่อมอาจจะแตกอยู่ ภายในแนวเชื่อม หรือเลยออกมาทางเขตที่

ผลกระทบจากความร้อนในโลหะชิ้นงาน ในบางครั้งรอยแตกตามขวางจะเกิดที่โลหะชิ้นงานแต่ไม่แตกที่รอยเชื่อมมีลักษณะดังนี้

รอยแตกตามยาว (Longitudinal Cracks) อาจจะเกิดได้ในการเชื่อมแบบใต้ผงฟลั๊กซ์ (Submerge Arc Welding) เพราะความเร็วในการเชื่อมสูง หรือบางครั้งอาจจะมีโพรงอากาศอยู่ภายใต้แนวเชื่อม รอยแตกตามยาวจะเกิดกับรอยเชื่อมขนาดเล็กกับชิ้นงานที่มีความหนามากๆ เพราะมีอัตราความเร็วของการเย็นตัวสูง

รอยแตกตามขวาง (Transverse Cracks) รอยแตกแบบนี้เกิดจากสาเหตุของการหดตัวตามความยาวของแนวเชื่อม ส่วนใหญ่จะเกิดกับวัสดุที่เปราะ

รอยแตกที่บ่อหลอมละลาย (Crater Cracks) เกิดบริเวณบ่อหลอมละลายตรงจุดหยุดลวดเชื่อม บางครั้งอาจจะแตกเป็นรูปดาว (Star Cracks) หรือมีรูปร่างอื่นๆ ก็ได้ เช่น ตาข่าย (Network) จะเป็นรอยแตกแบบตื้นๆ เท่านั้น และเป็นรอยแตกแบบร้อน

รอยแตกที่โทรด (Throat Cracks) รอยแตกจะเป็นแบบยาวตามทิศทางของแนวเชื่อม จะปรากฏที่ผิวหน้ารอยเชื่อม ปกติจะเป็นรอยแตกแบบร้อนแต่ก็ไม่เสมอไป

รอยแตกที่โท (Toe Cracks) โดยทั่วๆ ไปจะเป็นรอยแตกเย็น จะเกิดจากความเครียดในการหดตัว จะเกิดบริเวณรอยต่อระหว่างแนวเชื่อมกับโลหะงาน เป็นผลมาจากการหดตัวบริเวณที่มีผลกระทบเนื่องจากความร้อน บางครั้งเกิดจากโลหะชิ้นงานไม่มีสมบัติทนแรงดึงตามขวาง ซึ่งแรงดึงมาจากการหดตัวจากการเชื่อม

รอยแตกที่ราก (Root Cracks) จะเป็นรอยแตกตามยาวที่รากของแนวเชื่อมอาจเป็นรอยแตกร้อนหรือรอยแตกเย็นก็ได้

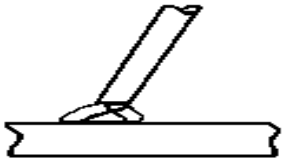
รอยแตกใต้แนวเชื่อม และเขตที่มีผลกระทบเนื่องจากความร้อน (Under Bead And Heat Affected Zone Cracks) จะเป็นรอยแตกแบบเย็นที่ เขตที่มีผลกระทบเนื่องจากความร้อนของเนื้อโลหะงาน ปกติจะเกิดขึ้นเป็นช่วงสั้นๆ แต่ก็อาจเกิดแตกต่อเนื่องได้เช่นกัน รอยแตกใต้แนวเชื่อมอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากไฮโดรเจน ทำให้โครงสร้างมีความเปราะสูง และความเค้นตกค้างปกติจะแตกใต้แนวเชื่อมในบริเวณเขตที่มีผลกระทบจากความร้อนเนื่องจากมีความเค้นสูง

โทรดไม่เพียงพอ (Insufficient Throat) คือผิวหน้าของรอยเชื่อมฟิลเล็ท (Fillet Weld) เป็นหลุมลึกต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด เกิดจากช่างเชื่อมและการเติมลวดเชื่อมไม่พอ

รอยเชื่อมนูนเกินไป (Convexity and Weld Reinforcement) คือรูปทรงแนวเชื่ อมฟิลเล็ท (Fillet Weld) นูนเกินไปส่วนในรอยเชื่อมแบบบากร่อง (Groove) แนวเชื่อมจะสูงนูนจากโลหะชิ้นงานมากไป

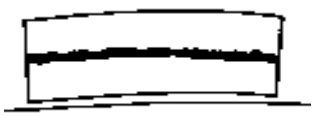
3. ลักษณะข้อบกพร่องของการเชื่อม ในงานเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า

ลักษณะข้อบกพร่อง	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
 การเกิด Over Lap	1. ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมช้าเกินไป 2. ทำมุมลวดเชื่อมไม่ถูกต้อง 3. ระยะอาร์กชิด หรือตั้งกระแสไฟต่ำเกินไป	1. เดินลวดเชื่อมให้เร็วขึ้น 2. ตั้งมุมลวดเชื่อมให้ถูกต้อง 3. ปรับระยะอาร์กและตั้งกระแสไฟให้ถูกต้อง
 รอยกัดแหว่ง (Undercut)	1. ปรับกระแสไฟสูงเกินไป 2. ระยะอาร์กสูงเกินไป 3. เดินลวดเชื่อมเร็วเกินไป 4. ส่ายลวดเชื่อมกว้างเกินไป	1. ปรับกระแสไฟให้ถูกต้อง 2. ปรับระยะอาร์กให้ถูกต้อง 3. ใช้ความเร็วให้เหมาะสม 4. ไม่ควรส่ายลวดเกิน 3 เท่าความโตลวด และหยุดที่ขอบแนวทั้งสองข้าง
 การเกิดเม็ดเสก็ดโลหะ	1.กระแสไฟสูงเกินไป 2. ระยะอาร์กสูงเกินไป 3. ใช้ลวดเชื่อมผิดประเภท 4. ใช้ขั้วไฟไม่ถูก (DCRP, DCSP) 5. การเฉของลำอาร์ก (ARC BLOW)	1.ปรับกระแสไฟให้เหมาะสม 2. ปรับระยะอาร์กให้ถูกต้อง 3. เลือกลวดเชื่อมให้เหมาะกับงาน 4. ตั้งขั้วไฟให้ถูกต้อง 5. ปรับระยะอาร์กให้ชิด
 แนวเชื่อมไม่เรียบ	1. ปรับกระแสไฟสูง หรือต่ำเกินไป 2. ใช้ลวดเชื่อมผิดประเภท 3. ความร้อนสะสมบนชิ้นงานมาก 4. ระยะอาร์กไม่สม่ำเสมอ 5. เดินลวดเชื่อมไม่สม่ำเสมอ	1. ปรับกระแสไฟให้เหมาะสม 2. เลือกลวดเชื่อมให้เหมาะสมกับงาน 3. หยุดพักบ้างอย่าเชื่อมติดต่อกันหลายแนว 4. รักษาระยะอาร์กให้คงที่ 5. รักษาความเร็วให้เหมาะสมและคงที่
 Arc ติด	1. ปรับกระแสไฟต่ำเกินไป 2. ชิ้นงานสกปรก 3. สายดินไม่แน่น 4. ฟลั๊กซ์คลุมปลายลวดเชื่อม	1.ปรับกระแสไฟให้ถูกต้อง 2. ทำความสะอาดชิ้นงาน 3. จับสายดินให้แน่น 4. เคาะฟลั๊กซ์ที่ปลายออก

 การเกิด Arc Blow	1. เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กมักเกิดกับการเชื่อมด้วยกระแสตรง	1. ใช้แท่งเหล็กวางบนชิ้นงานเพื่อเปลี่ยนทิศทางเส้นแรงแม่เหล็ก 2. เปลี่ยนที่จับสายดินใหม่ 3. เวลาเชื่อมเริ่มต้นจากใกล้ๆที่จับสายดินออก 4. ใช้ระยะอาร์กสั้นๆ

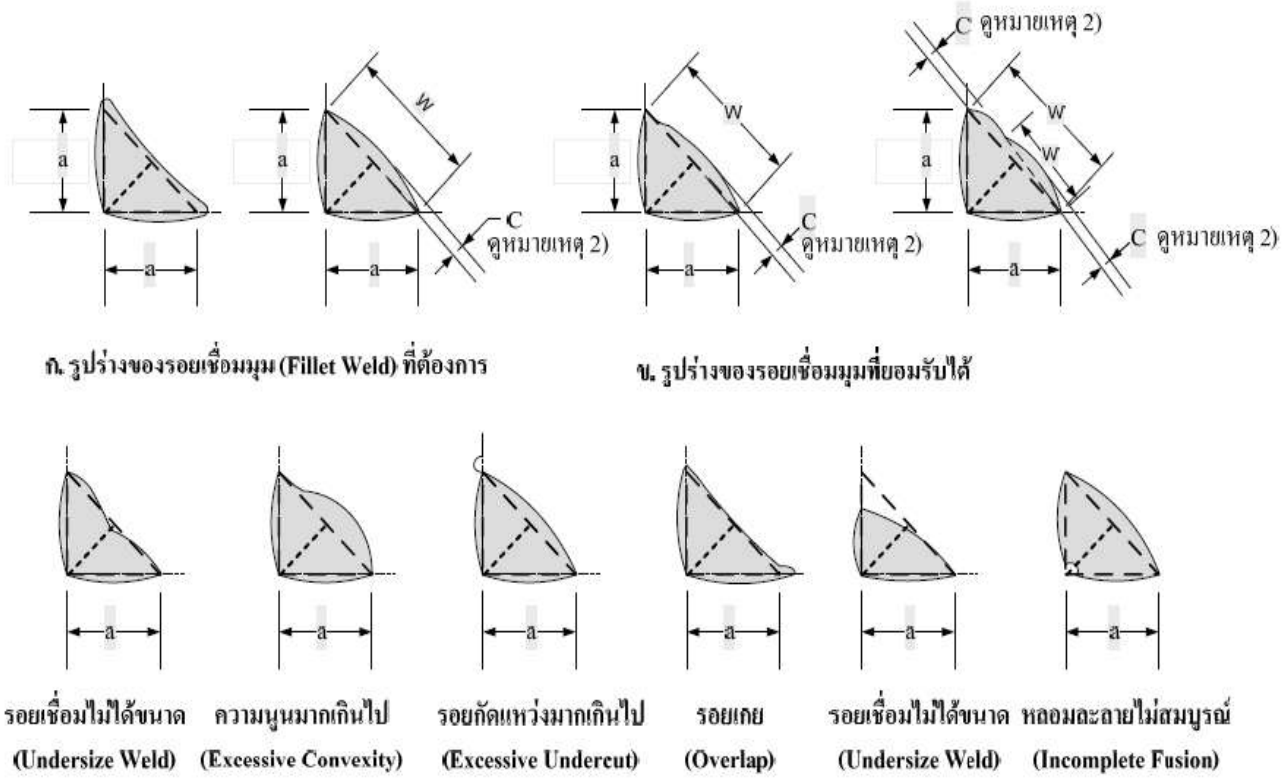
4. ลักษณะข้อบกพร่องการเชื่อมต่อชนท่าราบไม่บากงาน

ลักษณะข้อบกพร่อง	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
 การหลอมละลายไม่สมบูรณ์	1. ปรับกระแสไฟต่ำเกินไป 2. ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมไม่ถูกต้อง 3. ใช้ลวดเชื่อมผิดประเภท 4. ระยะอาร์กยาวมากเกินไป	1. ปรับกระแสไฟให้ถูกต้อง 2. ปรับการเดินลวดเชื่อมถูกต้อง 3. ใช้ลวดเชื่อมให้ถูกต้อง 4. ใช้ระยะอาร์กให้ถูกต้อง
 การซึมลึกไม่สมบูรณ์	1. ปรับกระแสไฟต่ำเกินไป 2. เดินลวดเชื่อมเร็วเกินไป 3. ให้ลวดเชื่อมขนาดโตเกินไป 4. ชิ้นงานสกปรก 5. ช่องเว้นของรอยต่อน้อยเกินไป	1. ปรับกระแสไฟให้ถูกต้อง 2. เดินลวดเชื่อมให้ช้าลง 3. เลือกขนาดลวดเชื่อมให้เหมาะสมกับความหนาของงาน 4. ทำความสะอาดชิ้นงาน 5. ปรับระยะรอยต่อให้เหมาะสม
 โพรงอากาศ	1. ใช้ระยะอาร์กสั้นเกินไป 2. เดินลวดเชื่อมเร็วเกินไป 3. เดินลวดเชื่อมช้าเกินไป 4. มีความชื้นในฟลั๊กซ์หุ้มลวด 5. ชิ้นงานสกปรก	1. ใช้ระยะอาร์กให้ถูกต้อง 2. เดินลวดเชื่อมให้เหมาะสม 3. เดินลวดเชื่อมให้เหมาะสม 4. อบลวดเชื่อมตามอุณหภูมิที่กำหนด 5. ทำความสะอาดชิ้นงานก่อนเชื่อม

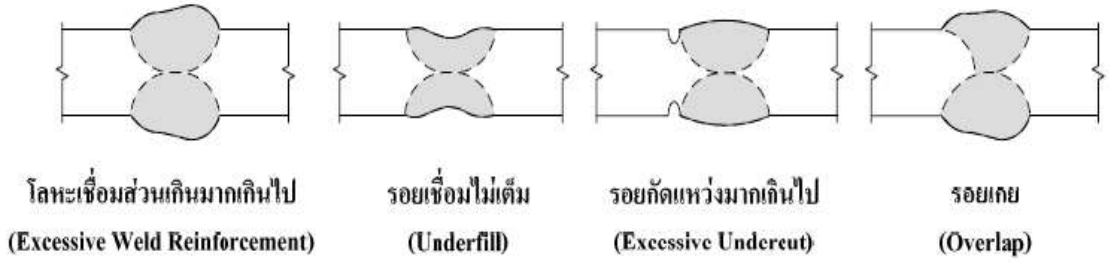
 สแลกฝังใน (SLAG INCLUSION)	1. ใช้ระยะอาร์กสั้นเกินไป 2. เดินลวดเชื่อมเร็วเกินไป 3. เดินลวดเชื่อมช้าเกินไป 4. มีความชื้นในฟลั๊กซ์หุ้มลวด 5. ชิ้นงานสกปรก	1. ใช้ระยะอาร์กให้ถูกต้อง 2. เดินลวดเชื่อมให้เหมาะสม 3. เดินลวดเชื่อมให้เหมาะสม 4. อบลวดเชื่อมตามอุณหภูมิที่กำหนด 5. ทำความสะอาดชิ้นงานก่อนเชื่อม
 การบิดงอ (DISTORTION)	1.การให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอ 2. ให้ความร้อนมากเกินไป 3. เตรียมรอยต่อไม่เหมาะสม	1. เชื่อมยึด หรือใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานไว้ 2. เชื่อมแนวสั้นๆ และทิ้งให้เย็นระหว่างแนว 3. ระหว่างเตรียมงานเผื่อระยะที่จะหด หรือขยายตัวไว้ 4. พยายามจะกระจายรอยเชื่อมให้สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน 5. การขจัดความเครียดออกจากชิ้นงานซึ่งผ่านการอัดหรือแปลงรูปมาก่อน จะช่วยลดการบิดได้
 การโก่งงอ (WARPING)	1. รอยเชื่อมหดตัว 2. ให้ความร้อนที่จุดใดจุดหนึ่งบนรอยต่อมากเกินไป 3. เตรียมรอยต่อไม่เหมาะสม 4. การยึดชิ้นงานไม่ดี	1. เลือกลวดเชื่อมที่สามารถเชื่อมได้เร็ว และการซึมลึกปานกลาง 2. พยายามเชื่อมให้เร็ว 3. อย่าเผื่อช่องว่างระหว่างงานให้มากเกินไป 4. จับยึดชิ้นงานให้แน่น

 การแตกที่แอ่งปลายแนวเชื่อม (CRATER CRACKS)	1. เดินลวดเชื่อมไม่ถูกวิธี 2. ใช้ระยะอาร์กยาวเกินไป ขณะถึงปลายแนวเชื่อมจะเกิดขึ้นกับการเชื่อมชิ้นงานบาง และแนวฟิลเล็ทที่เว้าเข้า	1. เดินลวดเชื่อมย้อนกลับนิดหนึ่งเมื่อถึงปลายแนวเชื่อม 2. ใช้ระยะอาร์กให้ชิดกว่าปกติ เมื่อถึงปลายแนวเชื่อม

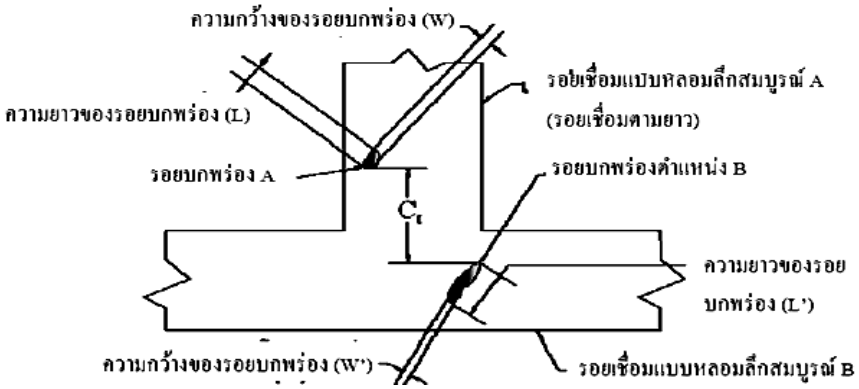
5. เกณฑ์การพิจารนายอมรับข้อบกพร่องของรอยเชื่อม



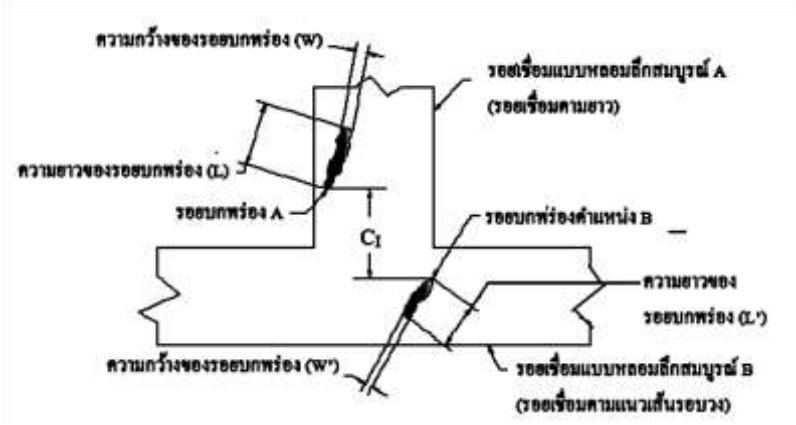
รูปที่ 4.1 แสดงเกณฑ์การพิจารณายอมรับข้อบกพร่องของรอยเชื่อม



รูปที่ 4.2 แสดงรูปร่างของรอยเชื่อมที่ยอมรับไม่ได้



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะบกพร่องของรอยเชื่อม



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะบกพร่องของรอยเชื่อม

บทสรุป

การตรวจสอบเป็นกรรมวิธีที่ใช้ค้นหารอยบกพร่องหรือความผิดปกติใดๆ ที่มีอยู่ในชิ้นงาน ทั้งที่เป็นอันตรายต่อการใช้งานหรือไม่เป็นอันตรายต่อการใช้งาน โดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นงานนั้น รอยบกพร่องหรือความผิดปกติใดๆ จะเรียกโดยรวมว่า ความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) การตรวจสอบโดยใช้สายตา (Visual Inspection) เป็นการตรวจสอบที่สะดวก รวดเร็ว และประหยัดที่สุด ดังนั้นหากสามารถตัดสินผลของการตรวจสอบโดยใช้การตรวจสอบโดยใช้สายตาได้แล้ว ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้การตรวจสอบโดยวิธีอื่นอีก

ใบเนื้อหา		สัปดาห์ที่ 7
หน่วยที่ 5	วัสดุสิ้นเปลือง	จำนวน 4 ชั่วโมง

สาระสำคัญ

ลวดเชื่อมไฟฟ้า (Electrodes) จะทำหน้าที่เป็นตัวอาร์คโลหะงาน ทำให้เกิดความร้อนสูงจนกระทั่งโลหะหลอมละลาย ในขณะเดียวกันลวดเชื่อมเองก็จะหลอมละลายและเติมลงบนเนื้อโลหะเมื่อเย็นตัวลงจะแข็งตัวกลายเป็นแนวเชื่อม เพื่อให้แนวเชื่อมแข็งแรงโลหะที่จะเชื่อมและลวดเชื่อมต้องเป็นโลหะชนิดเดียวกัน

เนื้อหาสาระ

1. วัสดุสิ้นเปลือง (Welding Consumable)

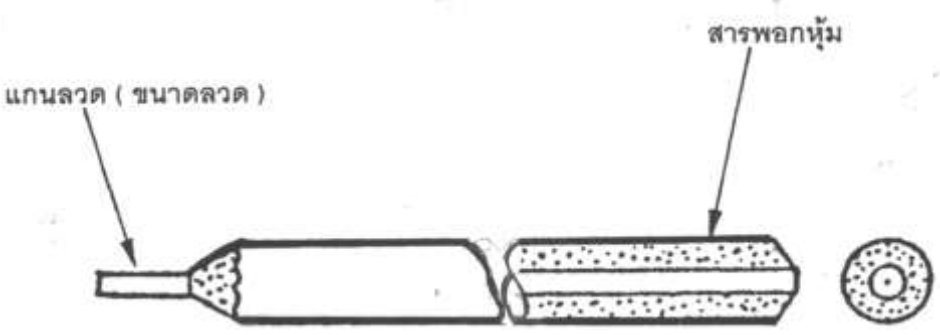
วัสดุสิ้นเปลืองในงานเชื่อมโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการสิ้นเปลืองของลวดเชื่อมที่ใช้สำหรับการเชื่อม ของแต่ละกระบวนการต่างๆ ซึ่งการใช้ลวดเชื่อมก็จะขึ้นอยู่กับกระบวนการเชื่อมในแต่ละแบบ ชนิดของลวดเชื่อมสำหรับงานเชื่อมซ่อมบำรุง (Consumable type for maintenance and Repair welding)

2. ลวดเชื่อมไฟฟ้า

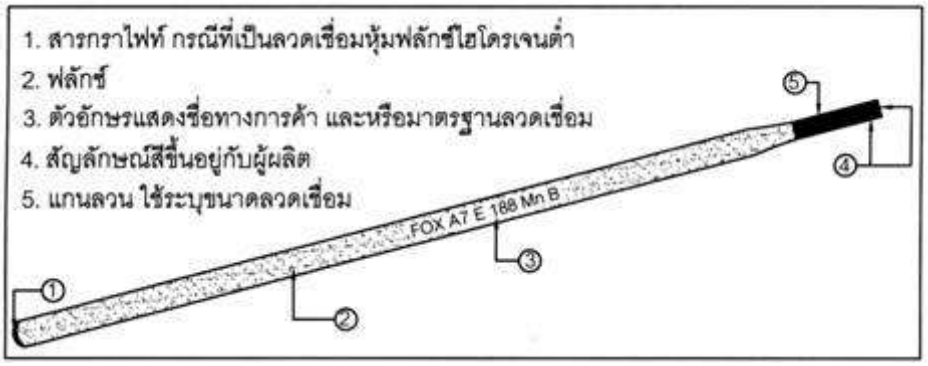
ลวดเชื่อมไฟฟ้าแบ่งตามวัสดุงาน แบ่งได้ ลวดเชื่อมโลหะเหล็ก ลวดเชื่อมโลหะเหล็กผสม ลวดเชื่อมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

2.1 ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ (Flux Covered Electrode)

ใช้เป็นตัวอาร์คให้เกิดประกายไฟ และ เป็นตัวเติมที่ประสานเนื้อโลหะให้ติดกัน หรือพอกเสริมเนื้อชิ้นงาน ขนาดความโตของลวดเชื่อมจะวัดที่แกนลวด และมีความยาวตั้งแต่ 250 มม. ถึง 450 มม. การเชื่อมโลหะด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ มีองค์ประกอบที่สำคัญในการเชื่อม คือ ลวดเชื่อม ซึ่งเป็นแท่งโลหะหุ้มไว้ด้วยฟลั๊กซ์ เพื่อสร้างแก๊สปกคลุมด้วยตัวเอง ทำให้การอาร์กสม่ำเสมอและปรับปรุงคุณภาพของแนวเชื่อมให้ดีขึ้นซึ่งมีส่วนประกอบดังแสดงในรูป



รูปที่ 5.1 แสดงลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์



รูปที่ 5.2 แสดงสัญลักษณ์บนลวดเชื่อม

2.2 สารพอกหุ้ม (FLUX)

มีหลายชนิดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติ ต่างกันแต่โดยหลักจะทำหน้าที่ดังนี้

1. ป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกเข้ารวมตัวกับน้ำเหล็กขณะทำการเชื่อม ซึ่งทำให้เกิดโพรงอากาศ
2. ทำให้ให้เกิดสแลคละลายปกคลุมแนวเชื่อมไว้ ทำให้แนวเชื่อมเย็นตัวลงช้า
3. ทำให้การอาร์คสม่ำเสมอและการเริ่มต้นอาร์คง่าย
4. ป้องกันไม่ให้เกิดอ๊อกไซด์ ซึ่งทำให้โลหะเชื่อมสะอาด
5. ควบคุมคุณสมบัติของลวดเชื่อมให้คงที่
6. ช่วยเติมสารเนื้อโลหะบางชนิดลงในแนวเชื่อม
7. ช่วยดึงสารมลทินออกจากบ่อหล่อมละลาย

2.3 ชนิดของสารพอกหุ้ม

ลวดเชื่อมที่มีใช้ในอุตสาหกรรมจะมีสารพอกหุ้ม หรือฟลั๊กซ์ ทั้งนี้แล้วแต่ความต้องการในการใช้งาน ซึ่งแบ่งออกเป็นหลายชนิด ดังนี้

1. ชนิดมีไตตาเนี่ ยมอ๊อกไซด์สูง ลวดเชื่อมชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า ชนิดไตตาเนียม จะมีรูไทล์ผสมอยู่มาก ลวดเชื่อม ชนิดนี้อาร์คไม่รุนแรง การซึมลึกต่ำจึงเหมาะสำหรับงานเชื่อมโลหะบาง หรือ งานเชื่อมทับหน้า ลวดเชื่อมชนิดนี้ตามมาตรฐาน ISO 2560 เรียกว่า ลวด R (RUTILE)

2. ชนิดไลม์ไตตาเนี่ยม นอกจากจะมีไตตาเนียมผสมแล้วยังมีไลม์ (หินปูน) ผสมอยู่ด้วย การซึมลึกต่ำเหมาะสำหรับเชื่อมในแนวตั้ง และแนวนอนเหนือศีรษะ เรียกตามมาตรฐาน ISO 2560 ว่าลวด RB

3. ชนิดแอมมีไนท์ สารแอมมีไนท์ การซึมลึกสูง ขี้ตะกรันเหลวและไหลได้ง่าย คุณสมบัติในการเชื่อมเป็นที่น่าพอใจ ดังนั้นลวดเชื่อมที่ใช้ในการฝึกโดยทั่วไปมักใช้ลวดเชื่อมชนิดนี้ เรียกตามมาตรฐาน ISO 2560 ว่าลวด RA

4. ชนิดไฮโดรเจนต่ำ หรือ ชนิดไลม์ ประกอบด้วยหินปูนและฟลูออไลท์ เป็นลวดเชื่อมที่มีคุณสมบัติเยี่ยมเหมาะสำหรับเชื่อมโครงสร้างและถังทนแรงดัน เรียกตามมาตรฐาน ISO 2560 ว่าลวด B (BASIC)

5. ชนิดเซลโลสสูงประกอบด้วยหินปูนและฟลูไรท์ เป็นลวดเชื่อม ที่มีคุณสมบัติเยี่ยมเหมาะสำหรับเชื่อมโครงสร้างและถังทนแรงดัน เรียกตามมาตรฐาน ISO 2560 ว่า ลวด C (CELLUROSE)

6. ชนิดเหล็กอ๊อกไซด์สูง วัสดุพื้นฐานของสารพอกหุ้ม คือเหล็กอ๊อกไซด์ ลวดเชื่อมชนิดนี้ทำให้เชื่อมโลหะได้แนวซึมลึกสูงเหมาะสำหรับงานเชื่อมในแนวขนานนอน ปัจจุบันนี้ใช้น้อยมาก เรียกตามมาตรฐาน ISO 2560 ว่าลวด A (ACID)

7. ชนิดผงเหล็กเหล็กอ๊อกไซด์ สารพอกหุ้มคือ ซิลิเกต และผงเหล็ก ประมาณ 15-50% อัตราการเติมโลหะสูงเหมาะสำหรับการงานเชื่อมในแนวขนานนอน เรียกตามมาตรฐาน ISO 2560 ว่า ลวด O

8. ชนิดผงเหล็กไตตาเนียม สารพอกหุ้มชนิดนี้ช่วยให้การประสานแนวเชื่อมได้ดีขึ้น เหมาะสำหรับการเชื่อมแนวขนานนอนและท่าราบ

2.4 สัญลักษณ์อักษรย่อฟลั๊กซ์หุ้มลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ตามประเภทฟลักซ์

อักษรย่อ	ประเภทฟลักซ์
A	กรด
B	ด่าง
C	เซลลูโลส
R	รูไทล์
RA	รูไทล์กรด
RB	รูไทล์ด่าง
RC	รูไทล์เซลลูโลส
RR	รูไทล์
S	ประเภท อื่น ๆ

3. มาตรฐานลวดเชื่อมไฟฟ้า

1. มาตรฐานองค์การสากล (ISO; International Standards Organization)
2. มาตรฐานสมาคมการเชื่อมอเมริกัน (AWS ; American Welding Society)
3. มาตรฐานอังกฤษ (BS; British Standards)
4. มาตรฐานสถาบันอุตสาหกรรมเยอรมัน (DIN ; Dustsches Industrie ;Norn)
5. มาตรฐานสถาบันอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (JIS; Japanese Industrie; Society)
6. มาตรฐานสถาบันอุตสาหกรรมไทย (TIS ; Thai Industrie ; Standard)

3.1 มาตรฐานสมาคมการเชื่อมอเมริกัน (American Welding Society; AWS)

ได้จัดกลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ สำหรับเชื่อมเหล็กชนิดต่างๆ เช่นกลุ่ม **A5.1** สำหรับงานเชื่อมเหล็กกล้าละมุนและเหล็กกล้าโครงสร้าง ซึ่งได้กำหนดเป็นรหัสตัวอักษรผสมตัวเลข ดังนี้

AWS A5.1 – 91 E XX XX ซึ่งมีความหมายดังนี้

A 5.1 หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าละมุน

91 หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน

E (Electrode) หมายถึง ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์

XX หมายถึง ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว (PSI) คูณค่าคงที่ (1,000)

X หมายถึง ตำแหน่งท่าเชื่อม

X หมายถึง สมบัติต่างๆของลวดเชื่อม กระแสไฟ การอาร์ก การกินลึกและชนิดของฟลั๊กซ์

ตัวอย่าง ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ในกลุ่ม A5.1 – 91 ได้แก่

E 6010 เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์เซลลูโลสค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด 60,000 ปอนด์ / ตารางนิ้ว (60) เชื่อมได้ทุกตำแหน่ง (1) ใช้กระแสไฟเชื่อม DCEP (Direct Current Electrode Positive) การอาร์กรุนแรงกินลึกสูง

E 6013 เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์รูไทล์ ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด 60,000 ปอนด์ / ตารางนิ้ว (60) เชื่อมได้ทุกตำแหน่ง (1) ใช้กระแสไฟเชื่อม AC และ DCEP และ DCEN การอาร์กนิ่ม การกินลึกน้อย

E 7016 เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ด่าง ค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุด 70,000 ปอนด์ / ตารางนิ้ว (70) เชื่อมได้ทุกตำแหน่ง (1) ใช้กระแสไฟเชื่อม AC และ DCEP การอาร์กปานกลาง การกินลึกปานกลางตัวเลขตำแหน่งสุดท้ายจะแสดงสมบัติต่างๆ ของลวดเชื่อมดังตารางต่อไปนี้

รหัส	ชนิดกระแสไฟ	การอาร์ก	การละลายลึก	สารพอกหุ้ม	ผง เหล็ก
EXX10	DCEP	รุนแรง	มาก	เซลลูโลส-โซเดียม	0-10%
EXXX1	AC&DCEP	รุนแรง	มาก	เ.ซลลูโลส-โพแทสเซียม	0%
EXXX2	AC&DCEN	ปานกลาง	ปานกลาง	รูไทล์ - โซเดียม	0-10&
EXXX3	AC&DCEP&EN	นิ่ม	น้อย	รูไทล์ – โพแทสเซียม	0-10%

EXXX4	AC&DCEP&EN	นิ่ม	น้อย	รูไทล์-ผงเหล็ก	25-40%
EXXX5	DCEP	ปานกลาง	ปานกลาง	ไฮโดรเจนต่ำ-โซเดียม	0%
EXXX6	ACorDCEP	ปานกลาง	ปานกลาง	ไฮโดรเจนต่ำ-โพแทสเซียม	0%
EXXX8	ACorDCEP	ปานกลาง	ปานกลาง	ไฮโดรเจนต่ำ-ผงเหล็ก	25-40%
EXX20	AC&DCEP&EN	ปานกลาง	ปานกลาง	เหล็กออกไซด์-โซเดียม	0%
EXX24	AC&DCEP&EN	นิ่ม	น้อย	รูไทล์-ผงเหล็ก	50%
EXX27	AC&DCEP&EN	ปานกลาง	ปานกลาง	เหล็กออกไซด์-ผงเหล็ก	50%
SXX28	ACorDCEP	ปานกลาง	ปานกลาง	ไฮโดรเจนต่ำ-ผงเหล็ก	50%

ตารางที่ 5.1 แสดงความหมายของตัวเลขตำแหน่งสุดท้าย

3.2 ลวดเชื่อมตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (AMERRICAN WELDING SOCIETY (AWS)

จะบอกถึงค่าความแข็งแรงของโลหะ ท่าเชื่อม กระแสไฟ ชนิดของสารพอกหุ้ม

ประเภท E 60	ชนิดสารพอกหุ้ม	ท่าเชื่อม	ชนิดกระแสไฟฟ้า
E 6010	เซลลูโลสโซเดียมสูง	F, V, OH, H	AC, DC (+)
E 6011	เซลลูโลสโปแตสเซียมสูง	F, V, OH, H	AC, DC (+)
E 6012	ติตาเนียมโปรแตสเซียมสูง	F, V, OH, H	AC, DC (-)
E 6013	ติตาเนียมโปรแตสเซียมสูง	F, V, OH, H	AC, DC (+-)
E 6020	เหล็กอ๊อกไซด์สูง	H, FIL	AC, DC (+-)
E 6022	เหล็กอ๊อกไซด์สูง	F	AC, DC (-)
E 6027	ผงเหล็กอ็อกไซด์สูง	H, FIL, F	AC, DC (-)
E6028	ผงเหล็ก, เหล็กอ๊อกไซด์สูง	H, FIL, F	AC, DC (-)

ตารางที่ 5.2 แสดงลวดเชื่อมตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา

ประเภท E 70	ชนิดสารพอกหุ้ม	ท่าเชื่อม	ชนิดกระแสไฟฟ้า
E 7014	ผงเหล็กติตาเนีย	F, V, OH, H	AC, DC (+-)
E 7015	ไฮโดรเจนต่ำ	F, V, OH, H	AC, DC (+)
E 7016	ไฮโดรเจนต่ำโปรเตสเซียม	F, V, OH, H	AC, DC (-)
E 7017	ผงเหล็ก, ไฮโดรเจนต่ำ	F, V, OH, H	AC, DC (+)
E 7018	ผงเหล็กติตาเนีย	H- FIL,F	AC, DC (+-)
E 7024	เหล็กอ๊อกไซด์สูง ผงเหล็ก	H-FIL,F	AC, DC (-)
E 7027	ผงเหล็กไฮโดรเจนต่ำ	H-FIL,F	AC, DC (+)
E 7028	ไฮโดรเจนต่ำ	F,OH H-FIL	AC, DC(+)
E 7048	ไฮโดรเจนต่ำโปรเตสเซียมผงเหล็ก	F,OH H, V-Down	AC, DC(+)

ตารางที่ 5.3 แสดงลวดเชื่อมตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3 มาตรฐานประเทศไทย (Thai Industrail Stundard; TIS)

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานลวดเชื่อมหุ้ม ฟลักซ์ไว้ ดังนี้

มอก. 49 – 2538 สำหรับงานเชื่อมเหล็กกล้าละมุนตามรหัส ดังนี้

E XX XB X X มีความหมายดังนี้

E หมายถึง ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์

XX หมายถึง ความต้านทานแรงดึงของเนื้อโลหะเชื่อม

X หมายถึง ค่าความต้านทานแรงกระแทก , ความยืดหยุ่นของเนื้อโลหะเชื่อม

B หมายถึง ชนิดของฟลั๊กซ์

X หมายถึง ตำแหน่งท่าเชื่อม

X หมายถึง กระแสไฟเชื่อม

ตัวอย่าง ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ในกลุ่ม มอก. 49 – 2538 ได้แก่ E 43 2R 13 เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์รูไทล์ เนื้อโลหะเชื่อมมีสมบัติทางกล ดังนี้ ความต้านทานต่อแรงดึง 430 – 510 เมกาปาสกาล (43) ความยืด 22% ความต้านทานแรงกระแทกที่ 28 จูลา ณ อุณหภูมิ 00C (2) เชื่อมได้ทุกตำแหน่ง (1) ใช้กระแสไฟเชื่อม DCEP (3)สำหรับตัวเลขทั้ง 4 กลุ่มนั้น จะแสดงสมบัติต่างๆ ของลวดเชื่อม ดังแสดงใน ตารางต่อไปนี้

รหัส	ความต้านทานของโลหะเชื่อม	หมายเหตุ
43	430-510 เมกาปาสกาล	สูงกว่าค่าสูงสุดได้ไม่เกิน
51	510-610 เมกาปาสกาล	40 เมกาปาสกาล

ตารางที่ 5.4 แสดงมาตรฐานประเทศไทย

รหัส	% การยืดตัวต่ำสุดที่ L=5d		อุณหภูมิขณะทดสอบแรงกระแทก ที่ 28 จูลเป็นองศา C
	E43	E51	
0	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด
1	20	18	+20
2	22	18	0
3	24	20	-20
4	24	20	-30
5	24	20	-40

ตารางที่ 5.5 แสดงมาตรฐานประเทศไทย

รหัส	ชนิดของฟลั๊กซ์
A	กรดผสมเหล็กออกไซด์
AR	กรดผสมรูไทล์
B	ด่าง
C	เซลลูโลส
O	ออกซิไดซ์ (ประกอบด้วยเหล็กออกไซด์)
R	รูไทล์ (ผสมเซลลูโลส 15%)
RR	รูไทล์ (ผสมเซลลูโลสไม่เกิน 5%)
S	ประเภทอื่น ๆ

ตารางที่ 5.6 แสดงมาตรฐานประเทศไทย

รหัส	ตำแหน่งท่าเชื่อม
1	เชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม
2	เชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม ยกเว้นท่าตั้งเชื่อมขึ้น
3	เชื่อมท่าราบและแนวเชื่อมมุมท่าระดับ
4	เชื่อมท่าราบทั้งรอยต่อชนและแนวเชื่อมมุม
5	เชื่อมท่าราบ , ท่าเชื่อมลงและแนวเชื่อมมุมท่าระดับ
9	อื่นๆ นอกเหนือจากที่ระบุไว้

ตารางที่ 5.7 แสดงมาตรฐานประเทศไทย

รหัส	ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ลวดเชื่อมเป็นขั้ว	ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) (โวลท์)
0	บวก	ไม่กำหนด
1	บวกหรือลบ	50
2	ลบ	50
3	บวก	50
4	บวกหรือลบ	70
5	ลบ	70
6	บวก	70
7	บวกหรือลบ	90
8	ลบ	90
9	บวก	90

ตารางที่ 5.8 แสดงมาตรฐานประเทศไทย

หมายเหตุ 1. ค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดนี้ใช้สำหรับลวดเชื่อมขนาด 2.6 มม. ถ้าลวดเชื่อม เล็กกว่านี้ แรงดันไฟฟ้าต้องสูงกว่านี้

2. สำหรับกระแสตรงไม่กำหนดเพราะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางพลศาสตร์ของ เครื่องเชื่อม

3.4 ลวดเชื่อมตามมาตรฐานของปะเทศญี่ปุ่น

ได้จัดกลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์สำหรับเชื่อมเหล็กชนิดต่างๆ ดังนี้

กลุ่ม Z 3211 – 1991 สำหรับงานเชื่อมเหล็กกล้าละมุนตามรหัสดังนี้

D XX XX ซึ่งมีความหมายดังนี้

D หมายถึง ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ (Electrode) ภาษาญี่ปุ่นเรียกว่า Denkoyosetubo

X X หมายถึง สมบัติทางกลและค่าความเค้นต่ำสุดของเนื้อโลหะเชื่อม N / mm2

X หมายถึง ตำแหน่งท่าเชื่อม X หมายถึงสมบัติต่าง ๆ ของลวดเชื่อม กระแสไฟและชนิดของ ฟลักซ์

ตัวอย่าง ลวดเชื่อมในกลุ่ม Z 3211 – 1991 ได้แก่

D 4313 เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ไทเทเนียมออกไซด์ ค่าความต้านทานแรงดันต่ำสุด 420 N / mm2 (43) เชื่อมได้ทุกตำแหน่ง (1) ใช้กระแสไฟเชื่อม AC และ DCEN (3) สำหรับตัวเลข 2 กลุ่ม นั้นจะแสดงสมบัติต่างๆ ของลวดเชื่อม ดังแสดงในตาราง

รหัส	**ทนต่อแรงดึง ต่ำสุด N/mm2**	**ชนิดฟลั๊กซ์**	**ตำแหน่ง ท่าเชื่อม**	**ชนิดกระแสไฟ**
D 4301	420	อินเมไนต์	F,V,O,H	AC,DCEP or EN
D 4303	420	ไลม์-ไทเทเนีย	F,V,O,H	AC,DCEP or EN
D 4311	420	เซลลูโลสสูง	F,V,O,H	AC,DCEP or EN
D 4313	420	ไทเทเนียมออกไซด์	F,V,O,H	AC,DCEN
D 4316	420	ไฮโดรเจนต่ำ	F,V,O,H	AC,DCEP
D 4324	420	ไทเทเนียมออกไซด์,ผงเหล็ก	F,H	AC,DCEP or EN
D 4326	420	ไฮโดรเจนต่ำ , ผงเหล็ก	F,H	AC,DCEP
D 4327	420	เหล็กออกไซด์ , ผงเหล็ก	F,H	AC,DCEP or EN AC,DCEN
D 4340	420	ชนิดพิเศษ	F,V,O,H	AC,DCEP or EN

ตารางที่ 5.9 แสดงลวดเชื่อมตามมาตรฐานของปะเทศญี่ปุ่น

หมายเหตุ สัญลักษณ์ท่าเชื่อมมีความสัมพันธ์ดังนี้

F = ท่าราบ

V = ท่าตั้ง

V-DOWN = ท่าตั้งเชื่อมลง

H = ท่าขนานนอน

H-FIL = ท่าขนานนอนต่อมุมประชิด

OH = ท่าเหนือศีรษะ

สัญลักษณ์กระแสไฟมีความหมายดังนี้

AC = กระแสสลับ

DC (+_) = กระแสตรง ขั้วตรง ขั้วลบ

DC (+) = กระแสตรงลวดเชื่อม ขั้วบวก

DC (-) = กระแสตรงลวดเชื่อมขั้วลบ

สัญลักษณ์การแบ่งประเภทลวดเชื่อมมีความหมายดังนี้

ตัวอย่าง D 4316

อักษรตัวหน้า : D = ลวดเชื่อมไฟฟ้าชนิดหุ้มสารพอกหุ้ม

เลข 2 ตัวหน้า : 43 = ความเค้นแรงดึง ของโลหะรอยเชื่อมต่ำสุด 43 กก/มม.^{2}

เลขตัวที่ 3 : = ตำแหน่งท่าเชื่อม

1 : เชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม

2 : เชื่อมได้เฉพาะท่าราบและท่าขนานนอน

3 : เชื่อมได้เฉพาะท่าราบ

4 : เชื่อมได้เฉพาะตำแหน่งท่าตั้งเชื่อมลง)

เลขตัวที่ 4 : = ชนิดของสารพอกหุ้ม (1: อิมเมไนท์, 3: ไลม์ไตตาเนียม, 6 : ไฮโดรเจนต่ำ, 7 :ผงเหล็ก/เหล็กออ๊อกไซด์ และชนิดของกระแสไฟฟ้าจากตาราง คือไฟฟ้า AC หรือ DC ลวดเชื่อมขั้วบวกลบ

4. สัญลักษณ์การแบ่งประเภทลวดเชื่อม

มาตรฐาน AWS ลวดเขื่อมจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม E 60 และกลุ่ม E 70 ทั้ง 2 กลุ่มจะมีค่าความเค้นแรงดึงต่างกัน กล่าวคือ

กลุ่ม E 60 มีค่าความเค้นแรงดึงในเนื้อโลหะ ต่ำสุด 60,000 ปอนด์/นิ้ว หรือ 42.2 กก/มม.^{2}

กลุ่ม E 70 มีค่าความเค้นแรงดันในเนื้อโลหะ ต่ำสุด 70,000 ปอนด์/นิ้ว หรือ 49.2 กก/มม.^{2}

ตัวอย่าง E 6010

อักษรตัวหน้า E = ลวดเชื่อมไฟฟ้าชนิดสารพอกหุ้ม

เลข 2 ตัวหน้า 60 = ความเค้นแรงดึงของรอยเชื่อมต่ำสุด 60,000 ปอนด์/นิ้ว หรือ 42.2 กก/มม.^{2}

เลขตัวที่ 3 = ตำแหน่งเชื่อม

1 = เชื่อมได้ทุกท่า

2 = เชื่อมได้เฉพาะท่าขนานนอนและท่าราบ

3 = เชื่อมได้เฉพาะท่าราบ

4 = เชื่อมได้เฉพาะตำแหน่งท่าตั้งเชื่อมลง

เลขตัวที่ 4 0 = ชนิดของสารพอกหุ้ม (ในที่นี้คือ เซลลูโลสโซเดียมสูง) และชนิดกระแสไฟฟ้าดูจากตาราง ที่กล่าวมาในที่นี้คือ ใช้ไฟ DC ลวดเชื่อมขั้วบวกสำหรับลวดเชื่อมตามมาตรฐาน AWS ที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่ E 6010, E 6011, E 6012, E 6013, E 7024, E 7018 โดยมีรายละเอียดที่ควรทราบเพิ่มเติมในการนำไปใช้งานดังนี้

ประเภท	การซึมลึก	สแลก	การอาร์ค	การใช้งาน
E 6010	กินลึกสูง	บาง	รุนแรง	เชื่อมได้ทุกท่าเป็นอย่างดี
E 6011	กินลึกสูง	บาง	รุนแรง	เชื่อมได้ทุกท่ากับเช่นเดียว E 6010
E 6012	ปานกลาง	บาง	ปานกลาง	งานประกอบรอยต่อ
E 6013	ตื้น	ปานกลาง	นิ่ม	ใช้เชื่อมเหล็กเหนียวทั่วๆไป ได้ดี
E 7024	ตื้น	หนา	นิ่ม	ใช้เชื่อมเหล็กคาร์บอนปานกลางและ
E 7018	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	เหล็กคาร์บอนต่ำ

ตารางที่ 5.10 แสดงสัญลักษณ์การแบ่งประเภทลวดเชื่อม

4.1 การจัดเก็บลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์

ลวดเชื่อมที่เสื่อมคุณภาพเมื่อนำไปเชื่อมสารพอกหุ้มจะเกิดการแตก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้รอยเชื่อมแตกร้าวซึ่งมีสาเหตุมาจากลวดเชื่อมมีความชื้น ดังนั้นในการเก็บรักษาลวดเชื่อมจะต้องให้อยู่ในสภาพที่แห้งอยู่เสมอในกรณีที่ลวดเชื่อมชื้น ก่อนนำไปใช้งานต้องอบให้แห้งเสีย ก่อน โดยใช้เตาอบลวดเชื่อมให้ความร้อนประมาณ 500 องศาฟาเรนท์ไฮท์ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อใช้งานต่อไปนี้ ควรจัดเก็บให้อยู่ในกล่องที่มีสภาพดี สถานที่จัดเก็บควรมีความชื้นต่ำ มีการระบายอากาศที่ดีและมีชั้นวาง (Pallet) ในกรณีที่เปิดกล่องลวดเชื่อมเพื่อใช้งาน การจัดเก็บส่วนที่เหลืองจะต้องเก็บในห้องที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ลวดเชื่อมหากเปียกน้ำ น้ำมันหรือจาระบี จะทำให้คุณภาพลดลงไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องการคุณภาพสูง

4.2 การอบลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์

ความชื้นของลวดเชื่อม หุ้มฟลั๊กซ์ จะมีผลต่อการอาร์กและความแข็งแรงของรอยเชื่อม เช่น ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ชนิดด่าง (Basic) ให้การอาร์กที่สมบูรณ์และให้แนวเชื่อมที่แข็งแรงตามคุณลักษณะที่กำหนดนั้น ลวดเชื่อมจะต้องปราศจากความชื้น ดังนั้นการอบลวดเชื่อมจึงจำเป็นอย่างยิ่ง ส่วนอุณหภูมิและระยะเวลาของการอบนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์และโลหะงานตามข้อกำหนดของผู้ผลิต

4.3 การเลือกใช้ลวดเชื่อม

การเลือกใช้ลวดเชื่อมสำหรับใช้กับงานแต่ละงานมีความจำเป็นอย่างยิ่งควรยึดหลักดังดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงของเนื้อโลหะงาน ลวดเชื่อมต้องมีคุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับโลหะงาน
2. ส่วนผสมของโลหะงาน ลวดเชื่อมต้องมีส่วนผสมที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับโลหะงาน
3. ตำแหน่งเชื่อมหรือท่าเชื่อม ลวดแต่ละชนิดกำหนดท่าเชื่อมไว้เลือกให้เหมาะสมกับท่าเชื่อม
4. ชนิดกระแสไฟฟ้า
5. ลักษณะของแนวต่อและการประชิด
6. ความหนาและรูปร่างของชิ้นงาน

7. ข้อกำหนดเกี่ยวกับชิ้นงาน

8. ประสิทธิภาพ ในการผลิตและสภาพของงาน เช่นลวดเชื่อมเหล็กเหนียว ลวดเชื่อมเหล็กหล่อ ลวดเชื่อมอลูมิเนียม ลวดเชื่อมสแตนเลส ฯลฯ สำหรับมาตรฐานลวดเชื่อมเบื้องต้นกำหนดตามลักษณะการใช้งาน 2 ลักษณะ คือ การเชื่อมพอก และการเชื่อมต่อชิ้นงาน

4.4 หน้าที่ของฟลั๊กซ์ (Function of Flu)

ฟลั๊กซ์ที่ใช้หุ้มแกนลวดจะหลอมเหลวขณะเกิดการอาร์กซึ่งมีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

1. สร้างสแลกและแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม ในขณะทำการอาร์ก ฟลักซ์ ซึ่งทำจากวัสดุที่ช่วยทำให้โลหะหลอมเหลวจะหลอมเหลวพร้อมกัน ทำให้บ่อหลอมเหลวสะอาดและเกิด ปฏิกิริยาลดออกซิเจนในแนวเชื่อม โดยการสร้างแก๊สปกคลุมบ่อหลอมเหลวป้องกันแก๊สออกซิเจนและไนโตรเจนเข้ารวมตัวกับน้ำโลหะเหลวขณะรอยเชื่อมแข็งตัวก็จะกลายเป็นสแลกปกคลุมแนวเชื่อม

2. เป็นตัวช่วยดึงออกไซด์และสิ่งสกปรกในโลหะเหลวออกมารวมไว้ในตัวสแลก

3. ช่วยลดอัตราการแข็งตัวและอัตราเย็นตัวของโลหะเหลว

4. ช่วยควบคุมรูปร่างลักษณะและผิวของแนวเชื่อม

5. ปรับปรุงสมบัติของแนวเชื่อมให้ดีขึ้น ฟลักซ์นอกจากจะ ช่วยควบคุมส่วนผสมของเนื้อโลหะเชื่อม โดยการทำให้ส่วนผสมของแกนลวดไม่เปลี่ยนแปลงแล้วยังสามารถเติมส่วนผสมลงในแนวเชื่อมให้มีความเหมาะสมกับลักษณะของงาน โดยการเติมสารต่างๆ ที่ต้องการผสมในฟลักซ์ เช่น ผสมผงแมงกานีสลงในฟลักซ์ เพื่อชดเชยแมงกานิสที่จะหายในขณะโลหะหลอมเหลว นอกจากนั้นยังผสมผงเหล็กลงในฟลั๊กซ์ เพื่อเพิ่มความเร็วในการเติมลวดเป็นต้น

6. ช่วยให้ประสิทธิภาพการเชื่อมดีขึ้น ฟลักซ์จะผสมสารที่ช่วยให้เกิดการแตกตัวเป็นอิออนระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงานทำให้เริ่มต้นอาร์กง่ายและควบคุมได้อย่างสม่ำเสมอ

4.5 ส่วนผสมของฟลั๊กซ์ (Composition of Flu)

ส่วนผสมของฟลักซ์เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการอาร์กที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสแลกจะต้องมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าเนื้อโลหะเชื่อม ซึ่งจะถูกขับออกมาเหนือโลหะหลอมเหลวในกรณีเชื่อมท่าเชื่อมเหนือศีรษะ ท่าตั้งและท่านขนานนอน

4.6 วัสดุที่นำมาทำฟลักซ์

จะมีหลายชนิด ซึ่งแบ่งตามหน้าที่ที่นำไปใช้งานมีดังนี้

1. สารที่เป็นฟลักซ์
2. สารลดออกซิเจน
3. สารที่เป็นสแลก
4. สารที่เป็นกาว
5. ธาตุที่ผสมลงในแนวเชื่อม

6. สารที่ลดแก๊สในแนวเชื่อม

7. สารที่ทำให้การอาร์กคงที่

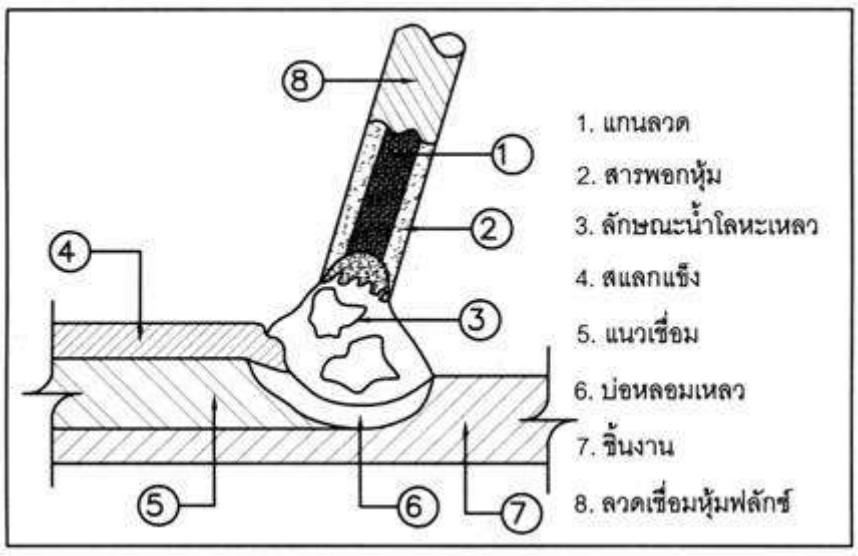
8. สารที่ทำให้เกิดแก๊สปกคลุม

5. ประเภทของลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์

การจำแนกชนิดของลวดเชื่อมจะจำแนกตามชนิดของฟลั๊กซ์ สำหรับฟลั๊กซ์ที่ใช้กับลวดเชื่อมเหล็กกล้านั้น แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

5.1 ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ชนิดกรด (Acid)

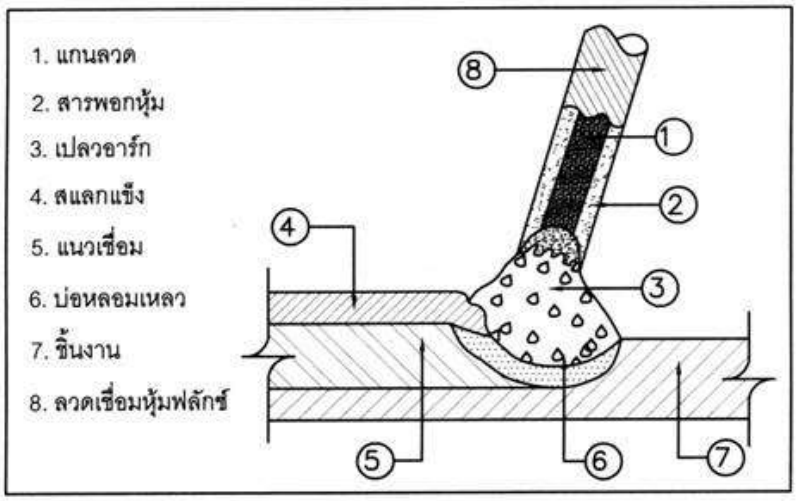
ฟลักซ์จะมีส่วนผสมของเหล็กออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ และซิลิกา โดยสแลกจะมีลักษณะคล้ายรังผึ้งหลุดออกง่าย การหลอมเหลวลึกใช้ได้ทั้งไฟกระแสตรงและกระแสสลับฟลักซ์ชนิดนี้มีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดแตกร้าวขณะร้อน (Hot Cracking) ได้ง่าย จึงเหมาะสำหรับเชื่อมเหล็กกล้าที่มีสมบัติการเชื่อมที่ดีและปัจจุบันมีการผลิตน้อยมาก



รูปที่ 5.3 แสดงการอาร์กของลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ชนิดกรด

5.2 ลวดเชื่อมหุ้มลักซ์ชนิดเซลลูโลส (Cellulose)

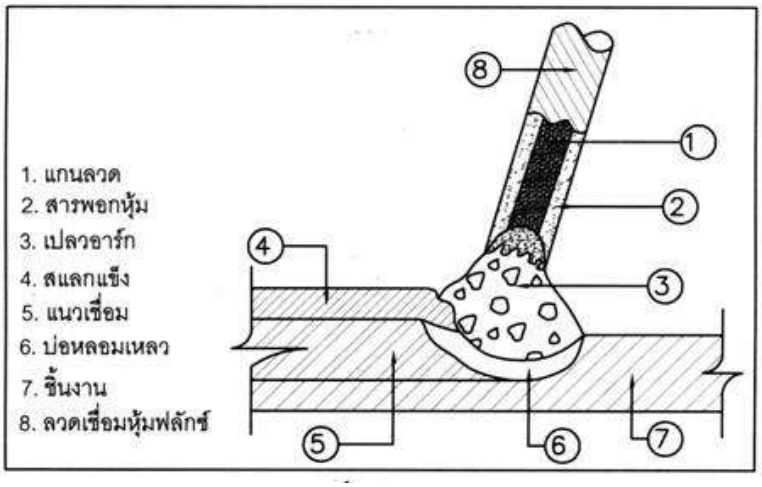
ฟลักซ์จะมีส่วนผสมของสารอินทรีย์เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนปกคลุมบริเวณการอาร์ก แนวเชื่อมที่ได้จะมีลักษณะเป็นคลื่นสแลกบางและหลุดออกได้ง่าย ใช้เชื่อมได้ทุกแนว เช่น แนวซึมลึก (แนวแรก) แนวเติมและแนวทับหน้า ซึ่งมีลักษณะการส่งถ่ายน้ำโลหะเหลวขณะอาร์ก



รูปที่ 5.4 แสดงการอาร์กของลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ชนิดเซลลูโลส

5.3 ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ชนิดรูไทส์ (Rutite) หรือติตาเนีย (Titania)

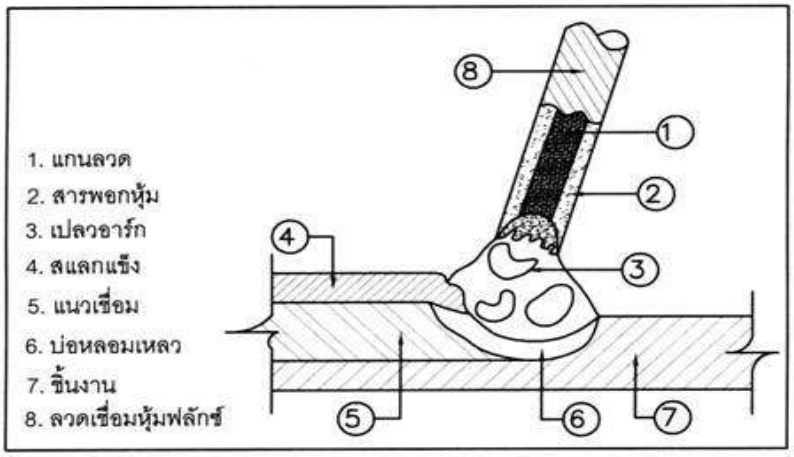
ฟลักซ์จะมีส่วนผสมของรูไทส์หรือติตาเนียเป็นหลักแนวเชื่อมที่ได้จะเรียบไม่เหมาะสมกับการเชื่อมความแข็งแรงสูงเพราะมีปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนสูง ทำให้แนวเชื่อมไม่แข็งแรงเท่าที่ควร ซึ่งมีลักษณะการส่งถ่ายน้ำโลหะเหลว



รูปที่ 5.5 แสดงการอาร์กของลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ชนิดรูไทส์

5.4 ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ชนิดด่าง (Basic) หรือไฮโดรเจนต่ำ (Low Hydrogen)

ฟลั๊กซ์จะมีส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนตหรือคาร์บอเนตประเภท อื่นๆ และฟลูออร์สปาร์ สแลกมีสีเข้มเป็นมันเงาหนาเคาะออกยาก ขณะอาร์กมีควันมาก ขณะใช้งานจะต้องนำลวดเชื่อมไปอบไล่ความชื่นออกก่อน ซึ่งมีลักษณะการส่งถ่ายน้ำโลหะ



รูปที่ 5.6 แสดงการอาร์กของลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ชนิดฟลั๊กซ์ต่าง

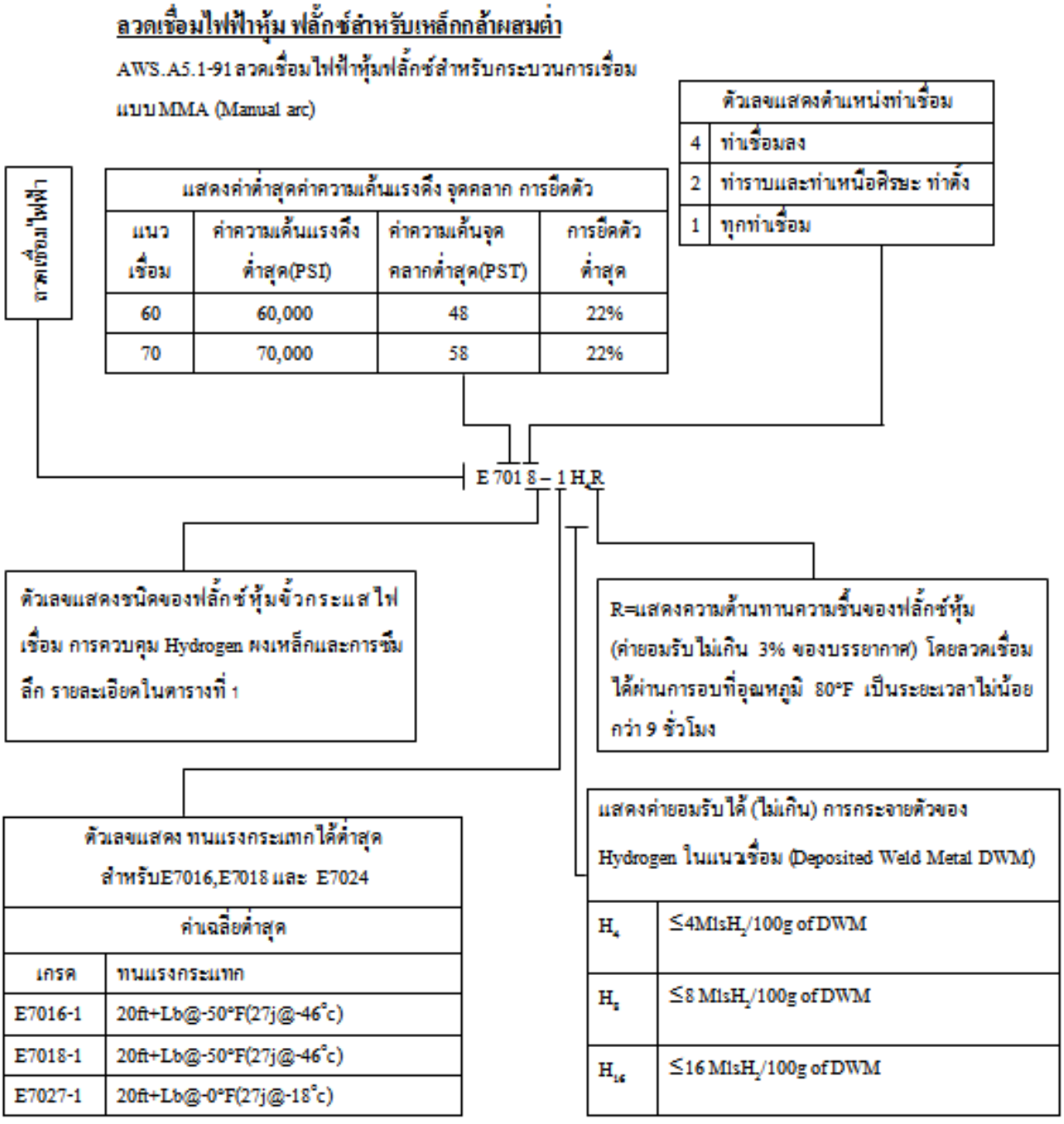
6. ลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลั๊กซ์สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

ชนิดลวด Electrode Classification	ท่าเชื่อม Welding Position	กระแสไฟเชื่อม Type of current and Polarity	ชนิดของฟลั๊กซ์หุ้มและสเลก Type of Flux Covering and Slag Type	การซึมลึก Penetration
E6010	F,V,OH,H	DC +	Cellulose sodium สูง Slag บาง หลุดออกง่าย	ลึก
E6011	F,V,OH,H	AC&DC +	Cellulose Potassium สูง Slag บาง หลุดออกง่าย	ลึก
E6012	F,V,OH,H	AC&DC ±	Titanium Sodium สูง Slag หนา	ปานกลาง
E6013	F,V,OH,H	AC&DC ±	Titanium Potassium สูง Slag หนา เหลว	ปานกลาง
E7014	F,V,OH,H	AC&DC ±	ผงเหล็กและ Titanium ต่ำ Slag หลุดออกง่าย	ต่ำ
E7015	F,V,OH,H	DC +	Hydrogen Sodium ต่ำ Slag หลุดออกยาก	ปานกลาง
E7016	F,V,OH,H	AC&DC +	Hydrogen Potassium ต่ำ Slag หลุดออกยาก	ปานกลาง
E7018	F,V,OH,H	AC&DC +	Hydrogen Potassium ต่ำ ผสมผงเหล็ก	ปานกลาง

ตารางที่ 5.11 แสดงลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลั๊กซ์สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

7. ลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลั๊กซ์สำหรับเหล็กกล้าผสมต่ำ

AWS.A5.1-91 ลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลั๊กซ์สำหรับกระบวนการเชื่อมแบบ MMA (Manual arc)



หมายเหตุ

1. ค่าความเค้นจุดคลาก (Yield strength) ลวดเชื่อม E6022 ไม่กำหนด E7018 มีค่าความเค้น จุดคลากค่าต่ำสุด เท่ากับ 53-72 KSI ของทุกขนาด

2. ค่าการยืดตัวต่ำสุดของลวดเชื่อม (E 6012, E6013, E7014 และ E7024 เท่ากับ 17 เปอร์เซ็นต์) E7018 M เท่ากับ 24 เปอร์เซ็นต์, E6022 ไม่กำหนด

8. ลวดเชื่อมสำหรับเชื่อมเหล็กสแตนเลส (Welding Consumable for Stainless Steel)

ลวดเชื่อมเหล็กสแตนเลส แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 ลวดเชื่อมเหล็กสแตนเลส สำหรับเชื่อมเหล็กสแตนเลส Austenitic (Austenitic consumable for stainless steel)

เหล็กสแตนเลส Austenitic (Austenitic stainless steel)			ประเภทลวดเชื่อมที่ใช้เชื่อม (Welding Consumable type)		
AISI (No:)	UNS (No:)	Werkstoffe (No:)	ทางเลือก 1	ทางเลือก 2	ทางเลือก 3
201	S20100	-	308/308L	316L	347
202	S20200	1,4371	308/308L	316L	347
205	S20500	-	308/308L	316L	347
209	S20910	1,4565	308/308L	316L	347
301	S30100	1,4310	308/308L	316L	347
302	S30200	-	308/308L	316L	347
303	S30300	1,4305	312	309L/309 Mo	308/308L
303Se	S30323	-	312	309L/309 Mo	308/308L
304	S30400	1,4301	308/308L	316L	347
304L	S30403	1,4306	308/308L	316L	347
304H	S30409	1,4948	308H	308L	316L
304N	S30451	-	308L/308	316L	347
304LN	S30453	1,4311	308L/308	316L	347
305	S30500	1,4303	308/308L	316L	347
308	S30800	-	308/308L	316L	347
309	S30900	1,4828	309/309L/309Mo	312	-
309S	S30908	1,4833	309L/309Mo	312	-
310	S31000	1,4841	310	-	-
310S	S31008	1,4845	310	-	-
314	S31400	-	310	318	309L/309Mo

ตารางที่ 5.12 แสดงลวดเชื่อมเหล็กสแตนเลส Austenitic

ประเภทที่ 2 ลวดเชื่อมเหล็กสแตนเลส สำหรับเชื่อมเหล็กสแตนเลส Ferritic (Ferritic consumable for stainless steel)

เหล็กสแตนเลส Ferritic (Ferritic stainless steel)			ประเภทลวดเชื่อมที่ใช้เชื่อม (Welding Consumable type)		
AISI (No:)	UNS (No:)	AISI (No:)	UNS (No:)	AISI (No:)	UNS (No:)
405	540500	1,4002	430	309L/309Mo	308
409	540900	1,4512	3092/309MO	312	-
429	S42900	1,4001	430	308/308L	309L/309Mo
430	S43000	1,4016	430	308/308L	309L/309Mo
430F	S43020	1,4104	430	308/308L	309L/309Mo
430FSe	S43023	-	430	308/308L	309L/309Mo
434	S43400	1,4113	430	308/308L	309L/309Mo
436	S43500	-	430	308/308L	309L/309Mo
442	S44200	-	3162	318	309L/309Mo
444	S44400	1,4521	3162	318	309L/309Mo
446	S44600	1,4762	308/3082	309L/309Mo	310
3Cr12#	-	-	309L/309Mo	316L	308L

ตารางที่ 5.13 แสดงลวดเชื่อมเหมาะสมกับเหล็กสแตนเลส Ferritic

ประเภทที่ 3 ลวดเชื่อมเหล็กสแตนเลส สำหรับเชื่อมเหล็กสแตนเลส Martensitic (Martensitic consumable for stainless steel)

เหล็กสแตน Martensitic (Martensitic stainless steel)			ประเภทลวดเชื่อมที่ใช้เชื่อม (Welding Consumable type)		
AISI (No:)	UNS (No:)	AISI (No:)	UNS (No:)	AISI (No:)	UNS (No:)
403	S40300	1,4000	410	309L/309Mo	310
410	S41000	1,4006	410	309L/309Mo	310
414	S41400	-	410	309L/309Mo	310
415	S41500	1,4313	410	309L/309Mo	310
416	S41600	-	410	309L/309Mo	310

416Se	S41623	-	410	309L/309Mo	310
420	S42000	-	410	309L/309Mo	310
431	S43100	1,4057	430	308L/308	309
440A	S44002	-	312	309L/309Mo	-
440B	S44003	-	312	309L/309Mo	-
440C	S44004	-	312	309L/309Mo	-

ตารางที่ 5.14 แสดงการเลือกลวดเชื่อมเหล็กสแตน Martensitic

9. ลวดเชื่อมสำหรับเชื่อมอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม (Welding consumable for Aluminum and Aluminum Alloys)

ลวดเชื่อมสำหรับเชื่อมอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ (AWS. 5.10)

ประเภทที่ 1 AL 1188 ลวดเชื่อมอลูมิเนียมบริสุทธิ์ (Pure Aluminum) เหมาะสำหรับการเชื่อมอลูมิเนียมกลุ่ม 1000, 2000, และ กลุ่ม 3000

ประเภทที่ 2 AL 4043 ลวดเชื่อมอลูมิเนียมผสมซิลิกอน 5 เปอร์เซ็นต์ (5%Silicon) เหมาะสำหรับการเชื่อมอลูมิเนียมกลุ่ม 3000 5000 และกลุ่ม 6000

ประเภทที่ 3 AL 4047 ลวดเชื่อมอลูมิเนียมผสมซิลิกอน 10 เปอร์เซ็นต์ (10% Silicon) เหมาะสำหรับการเชื่อมอลูมิเนียมหล่อ

ประเภทที่4 AL 5356 ลวดเชื่อมอลูมิเนียมผสมแม็กนีเซียม 5 เปอร์เซ็นต์ (5% Magnesium เหมาะสำหรับการเชื่อมอลูนิเนียม กลุ่ม 5000

อลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloys)		ลวดเชื่อม Filler Rod	
อลูมิเนียมหล่อ CAST	อลูมิเนียมแผ่น WROUGHT	AWS A.510	ส่วนผสม
AP 150	1100	R 1110	AL 1180 (Pure Aluminum)
AP 170	1200	R 1110	AL 1180 (Pure Aluminum)
AP 185	3003	R 1110	AL 1180 (Pure Aluminum)
	3203	R 1110	AL 1180 (Pure Aluminum)
AP 403	3004	R 4043	AL 4043 (Aluminum5%Silicone)
AP 601	5005	R 4043	AL 4043 (Aluminum5%Silicone)
BP 601	5050A	R 4043	AL 4043 (Aluminum5%Silicone)

CP 601	6061	R 4043	AL 4043 (Aluminum5%Silicone)
AS 601	6063	R 4043	AL 4043 (Aluminum5%Silicone)
AP 603	6351	R 4043	AL 4043 (Aluminum5%Silicone)

ตารางที่ 5.15 แสดงลวดเชื่อมสำหรับเชื่อมอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม

10. ลวดเชื่อมสำหรับเชื่อมทองแดงและทองแดงผสม (Welding consumable for Copper and Copper Alloys)

สมาคมพัฒนาทองแดง (The Copper Development Association: CDA) ได้ทำการจัดชั้นทองแดงและทองแดงผสมเป็นหมวดหมู่ที่สำคัญได้ 8 หมวดหมู่ เช่น

1. ทองแดงบริสุทธิ์ (Copper-99.3%)
2. ทองแดงผสมสูง (High copper alloys-up to 5% alloying elements)
3. ทองแดงผสมสังกะสี (ทองเหลือง) (Copper-Zinc alloys Brass)
4. ทองแดงแดงผสมดีบุก (Copper-tin alloys Phosphor Bronzes)
5. ทองแดงผสมอลูมิเนี่ยม (Copper-Aluminum Alloys) สัมฤทธิ์-อลูมิเนี่ยม
7. ทองแดงผสมนิกเกิล (Copper-nickel Zinc alloys)
8. ทองแดงผสมนิกเกิล-สังกะสี (Copper-nickel-Zine alloys)

ซึ่งลวดเชื่อมก็ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อใช้กับทองแดงและทองแดงผสมตามหมวดหมู่ดังกล่าวประเภทของลวดเชื่อมแบ่งออกได้ดังนี้

1. ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ (Covered electrode)
2. ลวดเติม (Filler rod)
   2.1 เส้น (Rods)
   2.2 ม้วน (Spool)

ตัวอย่าง AWS. 5.6 ECuNi ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ ของทองแดงผสมนิเกิล 70/30 เหมาะสำหรับเชื่อมทองแดงกับทองแดงหรือ Copper Bronzes ให้เชื่อมรองพื้น หรือเชื่อมพอกเหล็ก มีคุณสมบัติต้านการกัดกร่อนต่อน้ำทะเล (Highly resistant to seawater corrosion) ชิ้นงาน เช่น Ship Installations , salt production, Pipelines and fitting เป็นต้น

ตัวอย่าง AWS. A5.27 CuZn-A ลวดเชื่อมเติม (Filler rod) เชื่อม "ทิก" ทองแดงผสมสังกะสี 61.7, 37.5% ตามลำดับเหมาะสำหรับเชื่อมทองเหลือง (Brasses) และสัมฤทธิ์ (Bronzes)

ตัวอย่าง AWS. A5.7 ErCu และเชื่อม "มิก" ทองแดง 98% เหมาะสำหรับเชื่อมทองแดง,ทองแดงหล่อ, เชื่อมเหล็กอาบ Galvaniced และเชื่อมทองแดงต่อกับเหล็ก

Copper Alloy	Recommended Electrode code	Electrode Polarity	Joint Design
Brasses	ECuSn-A or ECuSn-C	DC+	Single V Groove
Phosphor Bronze	ECuSn-A or ECuSn-C	DC+	Single V Groove

ตารางที่ 5.16 คำแนะนำการเลือกลวดเชื่อมสำหรับเชื่อมทองแดงผสม

11. ลวดเชื่อมสำหรับเชื่อมเหล็กหล่อ (Welding consumable for Gist Iron)

ลวดเชื่อมสำหรับงานเหล็กหล่อกำหนดไว้ใน AWS.A5.15-69 แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 5 กลุ่ม ดังนี้

1. RCI Group ลวดเชื่อมแก๊สออกซิอะเซที ลีน แกนลวดเป็นเหล็กหล่อ ลวดเชื่อมเปลื อย (Bar) เหมาะสำหรับเชื่อมเหล็กหล่อสีเทา ใช้เชื่อมชิ้นงานเช่น ชิ้นงานหล่อมีรอยตำหนิ (casting defects) ฝาสูบ เครื่องยนต์ (cylinder heads) เสื้อเกียร์ (gear housings) เสื้อสูบ(engine blocks) ตัวอย่างลวดเชื่อม คือ AWS. RCI เป็นต้น

2. ECI Group เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ ใช้เชื่อมโดยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า แบบ Manual arc (MMA) สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของแนวเชื่อมได้ตามต้องการ โดยการเพิ่มธาตุต่างๆ ผสมกับฟลั๊กซ์หุ้ม

3. ESt Group เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ แกนลวดเป็นเหล็กกล้าเนื้อเชื่อมกลึ งแต่งไม่ได้ แต่สามารถเจียรนัยด้วยใบเจียรได้ เหมาะสำหรับชิ้นงานหล่อสกปรก ชิ้นงานหล่อที่เชื่อมยาก เช่น เหล็กหล่อทนความร้อน (Burned furnace grates) เหล็กหล่อทนการสึก (Abrasion Resistant) เสื้อปั๊ม (pump housings) และเหล็กหล่อที่คุณภาพต่ำๆ ตัวอย่างลวดเชื่อมคือ AWS. ESt เป็นต้น

4. ENi Group เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ แกนลวดมีนิเกิล (Nickel) ผสมเนื้อเชื่อม ดีที่สุด สามารถตัดแต่งเนื้อเชื่อม ได้ นิเกิลผสมในแกนลวดมีหล ายๆจำนวน (เปอร์เซ็นต์) ถ้ามีนิเกิลผสมมาก ก็ยิ่งทำให้การเชื่อมง่ายยิ่งขึ้นและตัดแต่งเนื้อเชื่อมได้ดียิ่งขึ้น โดยทั่วไปลวดเชื่อมเหล็กหล่อกลุ่มนี้มีนิเกิลผสมในแกนลวดตั้งแต่ (53 %, 96 %, 98% ตามลำดับ) ซึ่งขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตกำหนด เหมาะสำหรับเชื่อมเหล็กหล่อสีเทา เช่น เสื้อสูบ (engine blocks) เสื้อเกียร์ (gear housings) เชื่อมเหล็กหล่อต่อเหล็ก เหนียว(joining cast irons to steel) เชื่อมเหล็กหล่อต่อเหล็กสแตนเล ส (joining cast irons to stainless steel) ตัวอย่างลวดเชื่อมคือ AWS. ENiCI แล ENiFe - CI เป็นต้น

5. Copper bare Group ใช้บัดกรีแข็งและพอกผิวเหล็กหล่อ , เหมาะสำหรับการ บัดกรีแข็ง (Brazing of cast irons) ชิ้นงานหล่อที่ สกปรก (มีน้ำมัน ในเนื้อเหล็กหล่อ) อุณหภูมิต่ำ (320-400C°) ลวดบัดกรีแข็ง ใช้ฟลั๊กซ์ร่วมหรือมีฟลั๊กซ์หุ้มที่แกนลวด ใช้เปลวไฟเชื่อม Neutral หรือ carburizing ตัวอย่างลวดบัดกรี คือ AWS. RBCuZn-C, AWS. CuZn-D เป็นต้น

Process / Cast iron	MMAW	FCAW	Gas Welding	Braze welding	Brazing
Grey	1	2	3,5	4,5	6
Nodular or Ductile	1	2		4,5	6
white	ไม่แนะนำให้เชื่อม				
Malleable	1	2		4,5	6

ตารางที่ 5.17 แสดงการเลือกลวดเชื่อมและกระบวนการเชื่อม

1 = ลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลั๊กซ์ผสมนิเกิล 55% และ 98%

2 = ลวดเชื่อมใส้ฟลั๊กซ์ผสมนิเกิล 50%

3 = ลวดเชื่อมแก๊สร่วมกับฟลั๊กซ์

4 = ลวดเชื่อมทองเหลืองผสมแมงกานีสและซิลิกอนกับฟลั๊กซ์

5 = ลวดเชื่อมทองเหลืองผสมนิเกิลร่วมกับฟลั๊กซ์

6 = ลวดบัดกรีอ่อนร่วมกับฟลั๊กซ์ (Soldering Flux)

12. การให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนและหลังการเชื่อม (Pre & Post Weld Heat Treatment)

12.1 การอุ่นงานก่อนการเชื่อม (Preheating)

การอุ่นงานเป็นการให้ความร้อนแก่งานก่อนการเชื่อม เพื่อลดอัตราร้อนและเย็นตัวของแนวเชื่อมและโลหะงาน บริเวณใกล้เคียงไม่ให้เนื้อเชื่อมและเนื้อโลหะงานรอบๆแนวเชื่อมเปราะเกินไป ทั้งยังลดความเค้นที่อาจเป็นสาเหตุการแตกร้าวหลังจากการเชื่อมหรือขณะใช้งาน ถ้าอุ่นงานที่อุณหภูมิสูงจะได้โครงสร้างอ่อนและเหนียวกว่าเมื่ออุ่นด้วยอุณหภูมิต่ำ

งานหล่อที่อุ่นแล้วควรห่อหุ้มด้วยฉนวนเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่สม่ำเสมอตลอดเวลาขณะเชื่อมและความร้อนจากการเชื่อมต้องไม่ทำให้อุณหภูมิแต่ละแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นจนสูงกว่าอุณหภูมิอุ่นงานสูงสุด ถ้าหากงานร้อนเกินไปต้องหยุดเชื่อมจนกว่าอุณหภูมิงานจะลดลงอยู่ในช่วงอุ่นงานจึงเริ่มเชื่อมต่อไป

ต่อไปนี้เป็นการแนะนำอุณหภูมิความร้อน การอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อม สำหรับเหล็กเกรดชนิดต่างๆ

METALS PREHEATING CHART			
Metal Group	Metal Designation	Approximate Percent Carbon	Recommended Preheat
Plain Carbon	Plain Carbon Steel	Below .20	93°C
	Plain Carbon Steel	.20-.30	93°-149°C

Steels	Plain Carbon Steel	.30-.45	149°-260°C
	Plain Carbon Steel	.45-.80	260°-427°C
Carbon Moly Steels	Carbon Moly Steel	.10-.20	149°-260°C
	Carbon Moly Steel	.20-.30	204°-316°C
	Carbon Moly Steel	.30-.35	260°-427°C
Manganese Steels	Silicon Structural Steel	.35	149°-260°C
	Medium Manganese Steel	.20-.25	149°-260°C
	SAET 1330 Steel	.30	204°-316°C
	SAET 1340 Steel	.40	260°-427°C
	SAET 1350 Steel	.50	316°-482°C
	12% Manganese Steel	1.25	Usually Not Required

ตารางที่ 5.18 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนการอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อมของเกรดเหล็กแต่ละชนิด

Heat treatment

การทำ Heat treatment นั้นเป็นการทำให้วัสดุหรือชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโคร งสร้างเหมาะสมในการใช้งานหรือ machining ต่อไป เราจำแนกงาน Heat treatment ได้ดังนี้

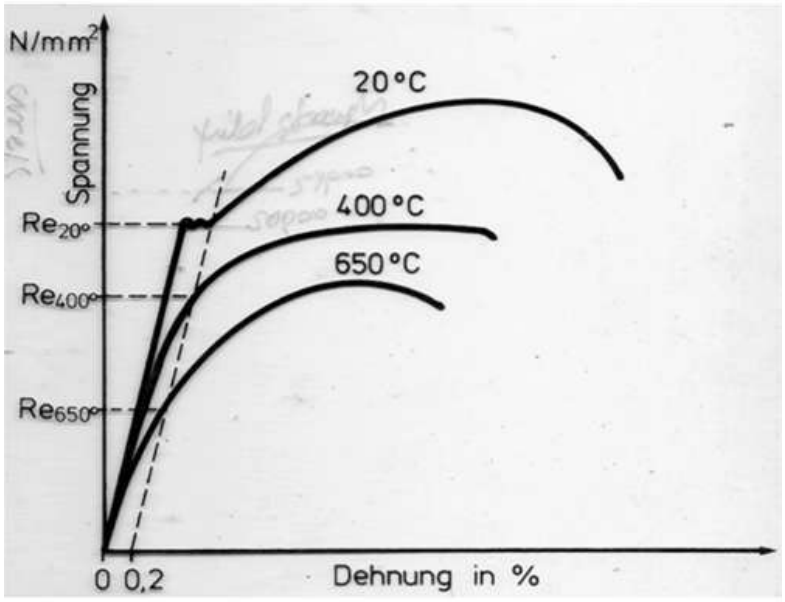
1. Stress relief annealing
2. Soft annealing
3. Normalization
4. Coarse grain annealing
5. Hardening
6. Hardening + Tempering

Stress relief annealing

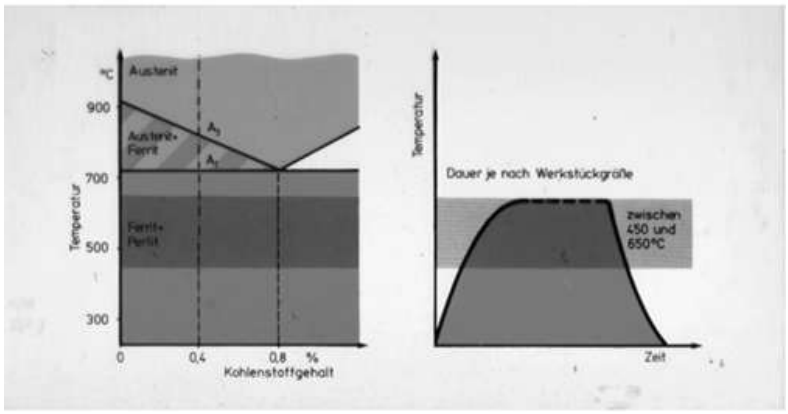
วัตถุประสงค์ : กระบวนการเป็นการลด Stress ในชิ้นงานอันเนื่องจาก การเย็นตัวที่ไม่สม่ำ เสมอ การเชื่อม การทำ Heat treatment หรือ Cold shaping โดยการที่วัสดุเกิดการยืดตัวลด Stress จุดคราก ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่เราไม่สามารถลด Stress ให้หมดไปเพราะไม่สามารถลดค่า Stress ที่จุดคราก ให้เป็นศูนย์ได้

กระบวนการ : ให้ความร้อนกับชิ้นงาน ช้าๆจนถึง 450 และ 650 C และอบไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุ สำคัญคือต้องเย็นตัวช้าๆ จนชิ้นงานมีอุณหภูมิเท่ากัน

การใช้งาน : ชิ้นส่วนจากการตีเหล็กและหล่อที่จะมีการ machining ต่อไป งานเชื่อมขนาดชิ้นงานใหญ่ให้ความร้อนโดยใช้หัวเตาเผาตามแนวเชื่อม กระบวนการนี้สามารถทำต่อจากการอบ normalizing และ soft annealing โดยชิ้นงานเย็นตัวช้าๆจาก 650 องศา C



รูปที่ 5.7 แสดง Stress relief annealing



รูปที่ 5.8 แสดง Stress relief annealing

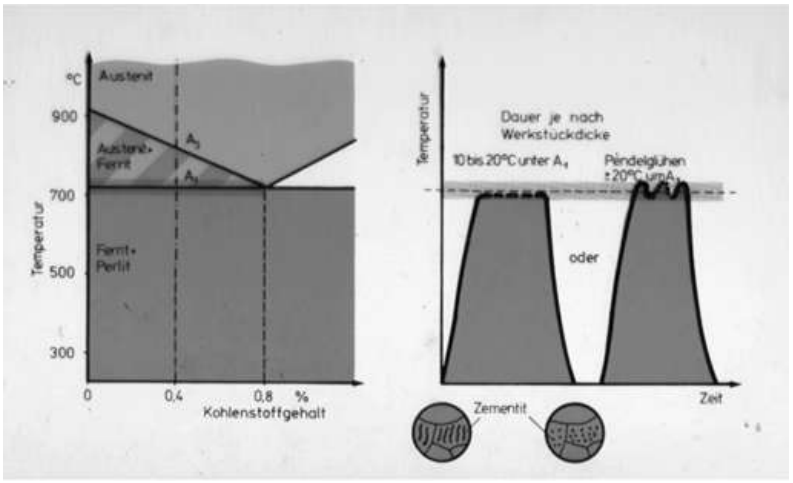
Soft annealing

เป็นกระบวนการทำให้ Steel เหมาะสมกับ machining ต่อไป โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมเหล็กและคาร์บอน ในเหล็กก่อสร้างที่ไม่มีส่วนผสมนั้น pearlite เป็นโครงสร้างที่แข็งที่สุดสามารถเปลี่ยนให้อ่อนโดยการ soft annealing กระทำที่บริเวณเส้น A1

a) การละลาย pearlite โดยเผาที่อุณหภูมิ 10 - 20 C ต่ำกว่าเส้น A1 เป็นเวลา 2 – 3 ชม. Pearlite ที่ประกอบด้วย zementite และ ferrite lamella จะเปลี่ยนโครงสร้างโดยที่ zementite ที่เป็น lamella เปลี่ยนเป็นรูปทรงกลม วัสดุทุกชนิดพยายามเปลี่ยนรูปเป็นทรงกลมเพราะว่ามีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด

b) การเปลี่ยนรูป zementite โดยเผาแบบเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ +-20 C ที่ A1 ซึ่งจะทำให้ zementite

lamella ยืดและหดจนกระทั่งขาดการอบ soft annealing แบบนี้จะได้ผลเร็ว zementite ที่มีรูปทรงกลม สามารถเปลี่ยนเป็น ferrite ได้ง่าย จึงเป็นการเพิ่มคุณสมบัติการขึ้นรูป cold shaping



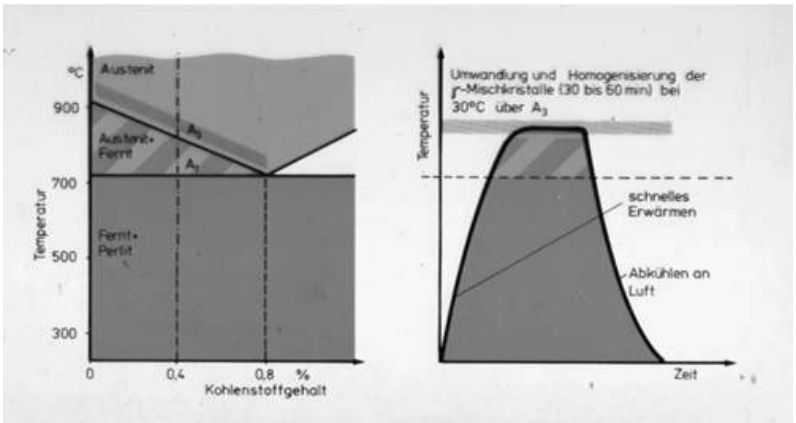
รูปที่ 5.9 แสดง Soft annealing

Normalizing

วัตถุประสงค์ : เหล็กกล้าควรจะมีโครงสร้างที่มีเม็ดเกรนละเอียด กลมและขนาดเท่ากัน จากการขึ้นรูปโดยการตีเหล็ก ดึง รีด ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนไป สามารถทำให้โครงสร้างและคุณสมบัติกลับสู่สภาพเดิมได้ด้วยการ Normalizing

กระบวนการ : เหล็กถูกทำให้ร้อนช้าๆจนถึง 600 องศา C เพื่อให้อุณหภูมิใกล้เคียงกันทั้งที่ผิวและแกนในเป็นการหลีกเลี่ยง stress ที่ทำให้เกิดรอยร้าวจากการขยายตัวแตกต่างกัน จากนั้นให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนอุณหภูมิ 30 – 60 C เหนือ A3 และรักษาอุณหภูมินี้ไว้ประมาณ 30 – 60 นาที จากนั้นทำให้ชิ้นงานเย็นตัวอย่างรวดเร็ว เช่น ด้วยอากาศที่อยู่นิ่งจนอุณหภูมิต่ำกว่า A1 หลังจากนี้แล้วจะเย็นตัวอย่างไรก็ได้ สำหรับชิ้นงานที่หนาและซับซ้อนอาจทำ stress relief annealing ต่อไป

การใช้งาน : ชิ้นส่วนงานตีเหล็ก การขึ้นรูปแบบ non-cutting ที่มีการยืดตัวสูง รวมทั้งชิ้นงานเชื่อมที่รับ load แบบกระแทก



รูปที่ 5.10 แสดง normalizing

12.2 การชุบแข็ง (Hardening)

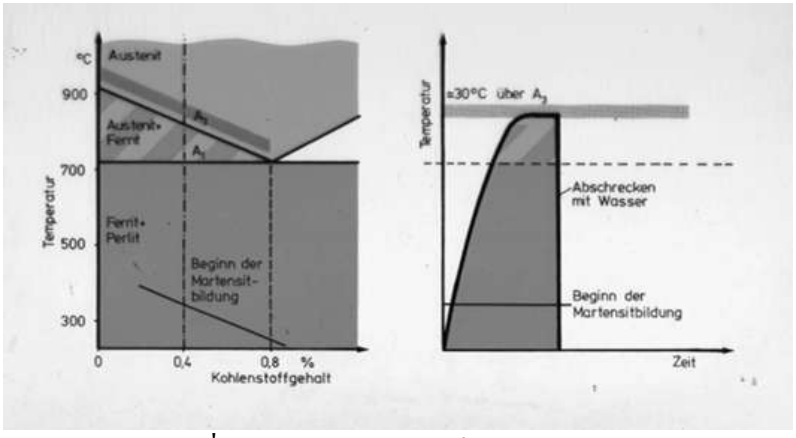
การชุบแข็งเกิดขึ้นในงานเชื่อมโดยไม่ตั้งใจ

วัตถุประสงค์ **:** เพื่อให้เหล็กเครื่องมือตัวมีความแข็งเพิ่มขึ้นและทนต่อการสึกหรอ

กระบวนการ : แยกเป็น 2 ขั้นตอน

การให้ความร้อน : จนอุณหภูมิเหนือเส้น A3 ประมาณ 30C เป็นและรักษาไว้จน pearlite เปลี่ยนเป็น austenite ทั้งหมด ความแข็งที่ได้ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์คาร์บอน หากน้อยกว่า 0.2 % แทบจะไม่เพิ่มความแข็งเลย ความแข็งมากที่สุดที่ประมาณ 0.9 % มากกว่านั้นก็ไม่เพิ่มความแข็ง แต่ทนการสึกหรอดีขึ้น

การชุบ (Quenching)**:** สารชุบจะต้องถ่ายเทความร้อนออกจากชิ้นงานเร็วกว่า critical cooling rate ซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเหล็ก ทำให้เกิดโครงสร้าง martensite ที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศา C หลังจากนั้นสามารถทำให้ชิ้นงานเย็นตัวได้อย่างช้าๆ

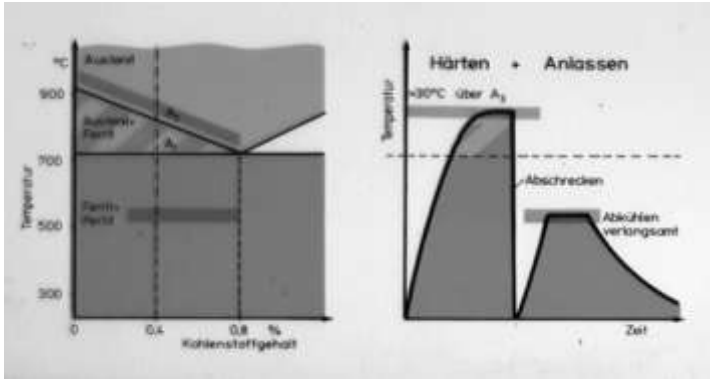


รูปที่ 5.11 แสดง การชุบแข็ง (Hardening)

Hardening +Tempering (Vergueten)

การชุบแข็งและตามด้วยอบ Tempering เป็นการลดความแข็ง เพิ่มความแข็งแรงความเหนียว

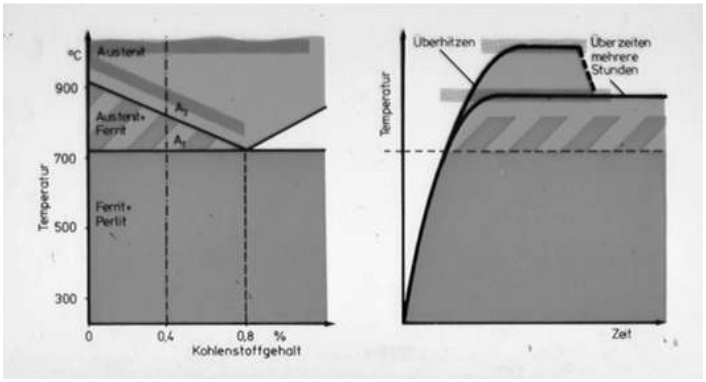
กระบวนการ **:** เหมือนการชุบแข็งแต่ให้ความร้อนอีกครั้งจนอุณหภูมิแต่ต้องต่ำกว่า A1 มิฉะนั้นโครงสร้างจะเป็น martensite การเชื่อมหลายชั้นนั้นทำให้เกิดการ tempering บางส่วนของชั้นการเชื่อมก่อนหน้านี้ ยิ่งอุณหภูมิการ Tempering ต่ำมากเท่าใด ยิ่งเหลือความแข็งมากและได้ความเหนียวน้อยลง



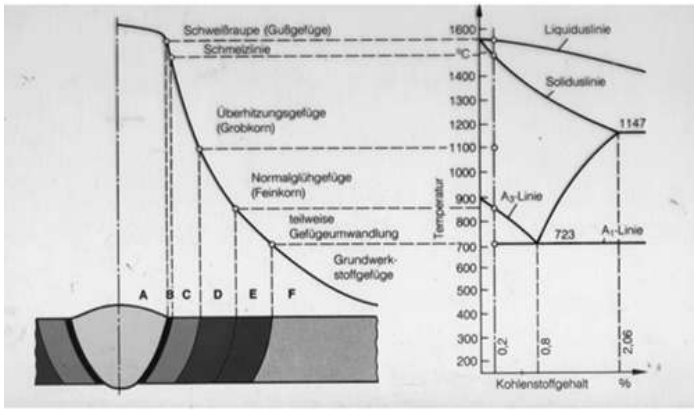
รูปที่ 5.12 แสดง Hardening +Tempering (Vergueten)

Coarse grain annealing / Grobkorngluehen

ตรงกันข้ามกับการ normalization เป็นการทำให้เม็ดเกรนใหญ่ การเชื่อมนั้นทำให้มีการ overheat อย่างไม่ตั้งใจซึ่งนำไปสู่ความเปราะ ดังนั้นการให้ความร้อนมากเกินไปทำให้ overheat zone กว้างการอบให้เม็ดเกรนใหญ่นั้นเกิดจากเม็ดเกรนหลายๆเม็ดรวมตัวกันเป็นเม็ดใหญ่โดยต้องให้โครงสร้างเป็น austenite ก่อน ที่ขอบของเม็ดเกรน impurity จะไปรวมกันและถูกขับออกหรือรวมตัวเป็นรูปทรงกลม เม็ดเกรนที่ใหญ่นี้สามารถทำให้เป็นเม็ดเกรนละเอียดได้โดยการอบ normalization กล่าวคือให้ความร้อนอีกครั้งเกิน A3



รูปที่ 5.13 แสดง Coarse grain annealing / Grobkorngluehen



รูปที่ 5.14 แสดง Coarse grain annealing / Grobkorngluehen

บทสรุป

การใช้ลวดเชื่อมในวงการอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพ ดังนั้นจึงมีสถาบันหรือสมาคมที่ทำหน้าที่เป็นแกนกลาง เพื่อกำหนดมาตรฐานของลวดเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับของวงการอุตสาหกรรมมีอยู่มากมายหลายมาตรฐาน ลวดเชื่อมทุกชนิด การเก็บรักษาก่อนที่จะนำไปใช้งานจะต้องระมัดระวังมากเพราะว่าลวดเชื่อมจะเสื่อมคุณภาพในการใช้งาน

ใบเนื้อหา		สัปดาห์ที่ 13
หน่วยที่ 8	โลหะวิทยา	จำนวน 4 ชั่วโมง

สาระสำคัญ

โลหะวิทยา เป็นวิชาการที่เป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ อยู่ในตัวเองบรรดาช่างฝีมือต่างๆนั้น ที่ได้ประดิษฐ์งานโลหะโดยอาศัยโลหะสำเร็จรูป เช่นโลหะแผ่น โลหะแท่งและท่อโลหะประดิษฐ์งานศิลปะ รวมทั้งการหล่อหลอมขึ้นรูปโลหะเขาเหล่านั้นกำลังใช้วิชาการโลหะวิทยา ในแง่ของศิลปะ ส่วนทางการศึกษาโครงสร้างของโลหะ การตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะการวิเคราะห์วิจัยโลหะผสม เป็นการใช้กระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์เข้าช่วยศึกษาโลหะ ในแง่นี้จึงถือว่า โลหะวิทยาศาสตร์ในแง่อุต สาหกรรมโลหะทั่วไปมักใช้ความรู้ทาง โลหะทั้งศาสตร์ และศิลปะควบคู่กัน

เนื้อหาสาระ

1. โลหะวิทยา

ยุคปัจจุบันอาจนับได้ว่าเป็นยุคโลหะ มนุษย์ได้สร้างสรรค์อารยะธรรมทางวัตถุ มีพื้นฐานอยู่ความก้าวหน้า ทางโลหะวิทยาเป็นหลักใหญ่ ความสำคัญของวิชานี้ นับวันจะยิ่งทวีคุณค่า ในตัวเองยิ่งๆ ขึ้น ไม่ว่าจะเพื่อการนำไปประยุกต์ ในวงการอุตสาหกรรม ศาสตร์ บริสุทธิ์ วิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับอวกาศ หรือวิทยาศาสตร์ทางทหารก็ตาม ล้วนต้องการผลงาน การประดิษฐ์คิดค้น วิเคราะห์วิจัย ของนักโลหะทั้งสิ้น เพื่อเป็นพื้นฐาน เพื่อรองรับงานประยุกต์ ในแต่ละสาขาวิชาโลหะวิทยา เป็นวิชาการที่เป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ อยู่ในตัวเองบรรดาช่างฝีมือต่างๆนั้น ที่ได้ประดิษฐ์งานโลหะโดยอาศัยโลหะสำเร็จรูป เช่นโลหะแผ่น โลหะแท่งและท่อโลหะประดิษฐ์งานศิลปะ รวมทั้งการหล่อหลอมขึ้นรูปโลหะเขาเหล่านั้นกำลั งใช้วิชาการโลหะวิทยา ในแง่ของศิลปะ ส่วนทางการศึกษาโครงสร้างของโลหะ การตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะการวิเคราะห์วิจัยโลหะผสม เป็นการใช้กระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์เข้าช่วยศึกษาโลหะ ในแง่นี้จึงถือว่า โลหะวิทยาศาสตร์ในแง่อุตสาหกรรมโลหะทั่วไปมักใช้ความรู้ทาง โลหะทั้งศาสตร์ แลศิลปะควบคู่กัน อาจให้คำจำกัดความวิชาโลหะวิทยาให้กะทัดรัดได้ว่า “โลหะวิทยา” คือ ศาสตร์และศิลป์แห่งการจัดหาและปรับปรุงโลหะเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการและความพอใจของมวลมนุษยชาติ”

จากหลักฐานทางธรณีวิทยา ประมาณว่าโลกมีอายุประมาณ 3,000 ล้านปี เริ่มมีมนุษ ย์เกิดขึ้น ในโลกเมื่อ 2 ล้านปี ล่วงมาแล้ว มนุษย์ได้อาศัยอยู่บนเปลือกโลก มาตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ โดยหารู้ไม่ว่าได้ยืนอยู่บนแร่ธาตุที่มีคุณมหาศาลในยุคต่อมา เปลือกโลหะอุดมไปด้วยโลหะมากมายหลายชนิดก็จริง แต่เป็นที่น่าเสียดายที่โลหะเหล่านั้น ไม่ได้อยู่ในรูปที่ส ามารถจะนำมาใช้ได้ทันที มักรวมอยู่กับอะตอมของธาตุโลหะ เช่น ออกซิเจน หรือสารอื่น เช่น หิน และดิน มนุษย์จึงจำต้องใช้ความฉลาดแยกธาตุเหล่านั้นออกมานับตั้งแต่ยุคโบราณมนุษย์ได้เพียรพยายามแยกแร่ธาตุแบบลองผิดลองถูกเพื่อหากรรมวิธีถลุงแร่ เพื่อนำมาประดิษฐ์

เป็นเครื่องประดับ ภาชนะ และอาวุธรวมทั้งเครื่องกลอย่างหนึ่ง โลหะที่คนโบราณนำมาใช้มักเป็นโลหะที่เกิดขึ้นอย่างบริสุทธิ์ในธรรมชาติ เช่น ทอง ทองแดง เงิน โลหะเหล่านี้มีจำนวนน้อย ความมากน้อย ของโลหะ ชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเปลือกโลกดูได้จากตาราง แสดงปริมาณแร่ธาตุที่มีในเปลือกโลก

ธาตุ	ปริมาณเฉลี่ยที่พบในเปลือกโลก (%)	ธาตุ	ปริมาณเฉลี่ยที่พบในเปลือกโลก (%)
ออกซิเจน	46.6	ทังสเตน	0.005
ซิลิกอน	27.7	สังกะสี	0.004
อะลูมิเนียม	8.1	ตะกั่ว	0.002
เหล็ก	5.0	โคบอลต์	0.001
แคลเซียม	3.6	เบอริลเลียม	0.001
แมกนีเซียม	2.1	โมลิบดินั่ม	0.0001
ทิตาเนียม	0.63	ดีบุก	0.0001
แมงกานีส	0.10	แอนทิโมนี	0.000,01
โครเมียม	0.037	แคดเมียม	0.000,01
เซอโคเนียม	0.026	เมอคิวรี	0.000,01
นิเกิล	0.020	บิสมัท	0.000,001
วานาเดียม	0.017	เงิน	0.000,001
ทองแดง	0.010	แพลทตินัม	0.000,000,1
ยูเรเนียม	0.008	ทอง	0.000,000,1

1.1 ศาสตร์ทางโลหะวิทยา

อาจจัดแบ่งแนวทางการศึกษาออกได้เป็น 2 แขนงใหญ่ๆ คือ

1. Physical Metallurgy เป็นวิทยาศาสตร์ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของโลหะแข็ง พยายามหากฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์และเคมี อธิบายคุณสมบัติของโลหะ รวมทั้งศึกษาหาวิธีผสมโลหะปรับปรุงคุณภาพของโลหะวิเคราะห์ โครงสร้างของโลหะ และ โลหะผสม ตลอดจนวิจัยประสิทธิภาพ ของโลหะ และ โลหะผสมชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ได้โลหะที่มีประสิทธิภาพตามความต้องการ ขอบข่ายการศึกษาวิ ชาโลหะแขนงนี้ มักจะศึกษาเกี่ยวเนื่องกับตัวแปร 3 ประการที่คอยควบคุมคุณสมบัติของโลหะ คือ

1.1 สัดส่วนผสมทางเคมีของโลหะ (Chemical Composition)

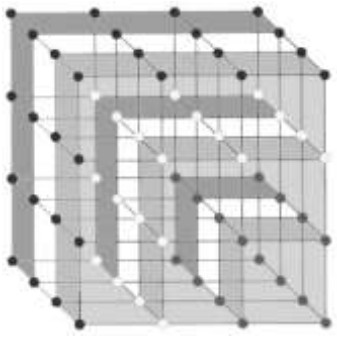
1.2 กระบวนการทางกล (Mechanical Treatment)

1.3 กระบวนการทางความร้อน (Thermal or heat Treatment) ที่กระทำกับโลหะ

2. Process or extractive Metallurgy เป็นวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโลหะและงานอุตสาหกรรมโลหะ อาจเริ่มนับตั้งแต่การค้นหาแหล่งแร่ การทำเหมืองแร่ไปจนสู่ขั้นขบวนการถลุงสินแร่ การแปรรูปโลหะเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ เครื่องประดับ ตลอดจนการหล่อ การขึ้นรูป และกรรมวิธีการใช้ขบวนการทางความร้อน ความเย็นกระทำกับโลหะ หรืออาจสรุปขอบข่ายของวิชาเป็นคำพูดสั้น ๆ ว่า “จากสินแร่สู่โลหะ” (From one to metal)

1.2. โครงสร้างผลึก

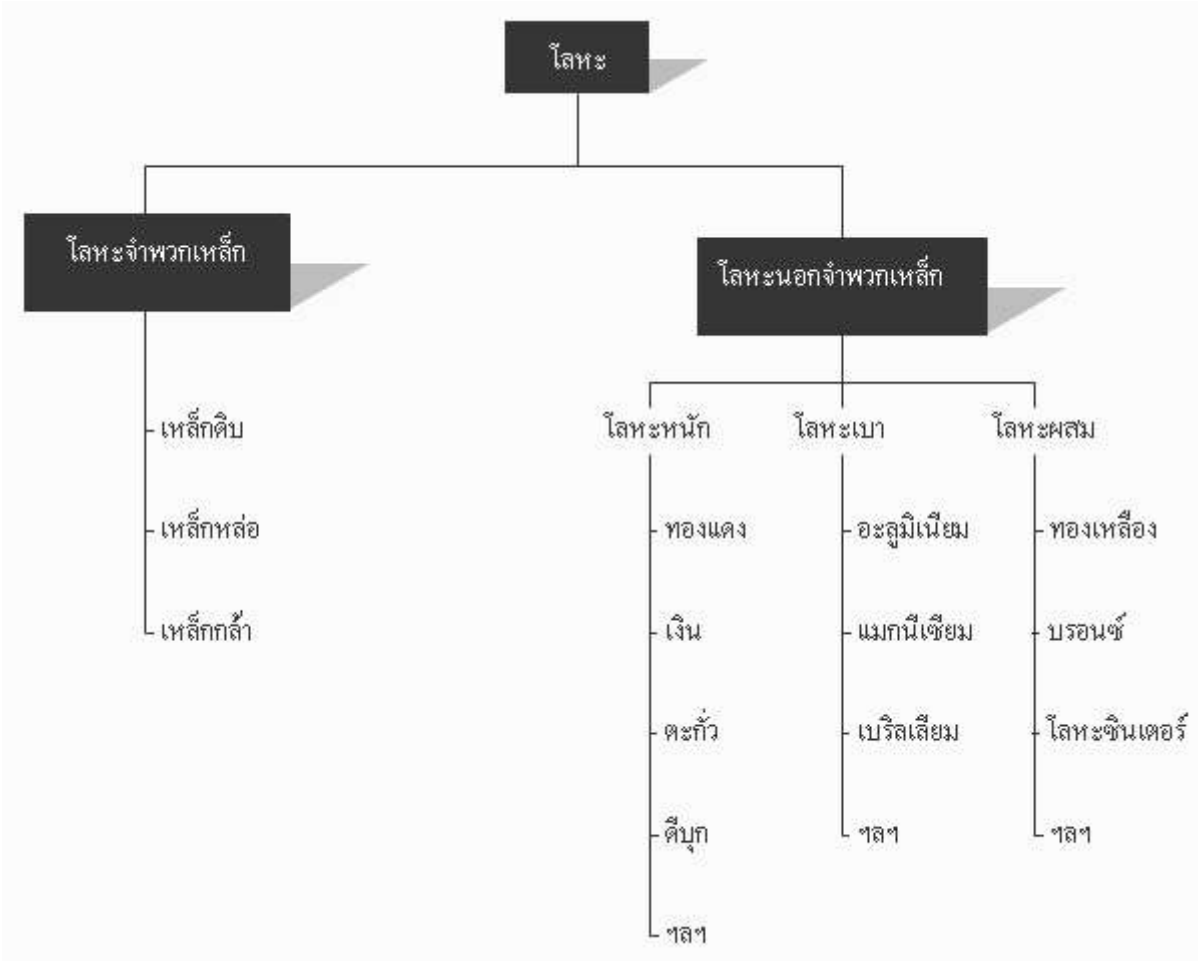
โครงสร้างผลึกนั้น จะประกอบไปด้วย ผลึกขนาดเล็กๆ และผลึกจะประกอบด้วย หน่วยเซลล์ (Unit Cell) โดยที่หน่วยเซลล์ นั้นก็จะประกอบไปด้วยอะตอม ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่เฉพาะเจาะจงภายในเซลล์นั้น ดังนั้น หน่วยเซลล์ก็คือส่วนที่เล็กที่สุดในโครงสร้างผลึกซึ่งสามารถแสดงรูปร่างของโครงสร้างผลึกได้ ผลึกที่สมบูรณ์ใดๆจะประกอบด้วยหน่วยเซลล์จำนวนหนึ่งมาจัดเรียงตัวกันเข้าเป็น 3 มิติ ซึ่งเราเรียกว่า Crystal Lattice หรือ Space Lattice ดังนั้น คำว่า Crystal Lattice หรือ Space Lattice จึงหมายถึงรูปทรงที่เกิดขึ้นจากการเรียงตัวของหน่วยเซลล์ใน 3 มิติ เมื่อมองแต่ละมิติจะเห็นเหมือนกับตาข่ายที่คล้ายกัน



รูปที่ 8.1 แสดงโครงสร้างผลึก

2. การจำแนกชนิดของโลหะ

วัสดุในงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปนั้นมีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือโลหะทั้งนี้เนื่องจากโลหะนั้นหาได้ง่าย ราคาไม่แพง แข็งแรง ทนทาน และแปรสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ได้อีก โลหะดังกล่าวนี้สมมารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ



3. การผลิตเหล็กดิบสินแร่เหล็ก

บริเวณพื้นโลกของเรามีสินแร่อยู่เป็นจำนวนมากมายและอยู่ในลักษณะสารผสม เช่น ดิน หิน ทราย และสินแร่เหล็กผสมกันอยู่ สินแร่เหล็กที่อยู่ในรูปโดดเดี่ยวนั้นไม่มีเลย การที่จะได้แร่เหล็กบริสุทธิ์นั้นต้องมีขั้นตอนในการผลิตแล้วนำมาผสมกับเนื้อเหล็กผสมอีกครั้งหนึ่งเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเหล็กที่จะนำมาใช้งานได้ดียิ่งขึ้น ทำให้เหล็กที่ได้สามารถทนแรงเค้น แรงดึง แรงกด และแรงเฉือนได้ดี ตลอดจนมีความแข็งเพิ่มขึ้น วัตถุดิบที่ใช้ในการถลุงเหล็กเพื่อให้ได้เหล็กดิบ ประกอบด้วย

1. ถ่านโค้ก (coke) เป็นเชื้อเพลิงสำคัญที่ให้ความร้อนต่อการถลุงในเตาถลุง ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ได้จากกระบวนการโดยการนำถ่านหินมาบรรจุในกล่องเหล็กเพื่อไม่ให้อากาศเข้าได้แล้วนำมาให้ความร้อน

จนถ่านภายในร้อนแดง สารไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ภายในถ่านหินก็จะระเหยกลายเป็นก๊าซ หลังจากนั้นเทถ่านหินที่ร้อนแดงลงในน้ำก็จะได้ถ่านโค้กซึ่งมีลักษณะเป็นรู พรุนและให้ค่าความร้อนสูง ก๊าซที่ได้จากการเผาถ่านก็นำมาใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมเคมีได้ เช่น ทำยา ทำสีย้อมผ้า เป็นต้น สำหรับถ่านโค้กที่เหมาะสำหรับในการถลุงควรมีกำมะถันน้อยที่สุด เพราะเมื่อกำมะถันเข้าไปรวมตัวกับเหล็กดิบจะทำให้มีความเปราะ

2. หินปูน (Limestone) หรือแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCo3) ทำหน้าที่แยกธาตุสารเจือปนในสินแร่เหล็กออกมาเป็นขี้ตระกรัน (slag) จะลอยตัวอยู่เหนือผิวน้ำเหล็กดิบ และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาลดออกซิเจนในเตาถลุงให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

3. สินแร่ (Ores) ได้มาจากเหมืองแร่แหล่งต่างๆ ก่อนทำการถลุงควรจะขจัดหรือแยกสารเจือปนออกเสียก่อนเพื่อจะทำให้ได้สินแร่เหล็กที่มีคุณภาพดี สามารถแบ่งสินแร่เหล็กออกได้ดังนี้

4. แมกนีไทต์ (Magnetite) เป็นแร่แม่เหล็กมีสูตรว่า (Fe3O4) หรือบางครั้งเรียกว่าเหล็กออกไซต์ มีลักษณะเป็นก้อนสีน้ำตาลเข้มถึงสีดำ ถ้านำไปเข้าเครื่อ งบด บดให้ละเอียดจะมีเนื้อสีดำ มันวาว มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กเลยเรียกว่าแร่แม่เหล็ก มีเนื้อเหล็กอยู่มากถึง 75% มีแมกนีเซียมและแมงกานีสปะปนอยู่บ้าง พบมากที่สุดในประเทศสวีเดน ต่อมาสวีเดนจึงได้ชื่อว่ามีแร่เหล็กที่คุณภาพมากที่สุด

5. เรดฮีมาไทต์ (Red hematite) มีสูตรคือ Fe2O3 หรือเรียกว่าเหล็กออกไซต์ มีลักษณะเป็นสีแดงหรือน้ำตาลเข้ม เมื่อบดจะมีสีแดงมันวาว มีเนื้อเหล็กประมาณ 70 % มีไทเทเนียมผสมบ้างเล็กน้อย พบมากในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ อังกฤษ ในทะเลสาบสุพีเรียของอเมริกา

6. บราวน์ฮีมาไทต์ (Brows hematite) มีสูตรคือ Fe2O3 + n (H2O) หรือเรียกว่าลิโมไนต์ มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลหรือสีเหลืองเข้ม มีสินแร่ประมาณ 50-67 % พบมากในประเทศเยอรมัน และสหรัฐอเมริกา

7. ซิเดอไรต์ (Siderite) มีสูตรคือ FeCO3 หรือเรียกว่าเหล็กคาร์บอเนต มีลักษณะเป็นก้อนสีน้ำตาลเข้ม มีสินเหล็กค่อน ข้างน้อยประมาณ 48-60 % และมีคาร์บอเนตผสมอยู่ประมาณ 38% พบมากในประเทศอังกฤษ และสหรัฐอเมริกา

8. เหล็กไพไรต์ (Iron pyrite) มีสูตรว่า FeS2 มีกำมะถันปนอยู่มากทำให้เหล็กมีคุณสมบัติเปราะและมีสินแร่อยู่น้อยมาก ประมาณ 46% กำมะถัน 53% และยังมีโคบอลต์และนิกเกิลผสมอ ยู่บ้างเล็กน้อย พบมากในประเทศสเปน สหรัฐอเมริกา และไทย

3.1 การถลุงเหล็ก

ขั้นตอนในการเตรียมสินแร่เหล็กก่อนทำการถลุงในเตาสูง

1. เตรียมสินแร่เหล็ก
2. ล้างหิน ดิน กรวด ทราย
3. บดให้เป็นผง
4. ใช้แม่เหล็กดูดสินแร่เหล็ก

5. ผสมหินปูน ถ่านโค้ก

6. อบไล่ความชื้น

7. อัดทำเป็นก้อนกลมขนาด 10-15 มิลลิเมตร

8. เข้าถลุงในเตาสูง

จากสินแร่เหล็กที่ได้นำมาถลุงให้เป็นเหล็กดิบด้วยเตาสูง การถลุงเหล็กดิบจากแร่เหล็กโดยตรงจะกระทำได้เฉพาะแร่เหล็กที่มีคุณภาพ กล่าวคือ แร่ที่มีปริมาณเหล็กสูงและมีสารเจือปนต่ำ แต่ในปัจจุบันนี้ปริมาณแร่ที่มีคุณภาพสูงนับวันจะหายากและค่อยๆหมดไป ดังนั้น การถลุงเหล็กที่มีคุณภาพต่ำจึงสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก และปริมาณของตระกรันหรือสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวของสารเจือปนรวมกับออกซิเจนจำนวนมาก ทำให้เกิดปัญหาในการแยกหรือนำออกทิ้ง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาวิธีกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการที่ติดมากับแร่เหล็กขั้นแรกก่อนเพื่อทำให้มีปริมาณแร่เหล็กสูงขึ้น เรียกกรรมวิธีนี้ว่าการเพิ่มปริมาณเหล็กในแร่เหล็ก (concentration) การเพิ่มปริมาณเหล็กในแร่เหล็ก เริ่มโดยการเอาแร่เหล่านี้มาทำให้ แตกเป็นก้อนเล็กๆด้วยเครื่องบดที่เรียกว่า จอว์ครัชเชอร์ (jaw crusher) ชุดบดเรียกว่า บอลมิลล์ (ball mill) ชุดบอลมิลล์มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกหมุนรอบแกนได้ ภายในบรรจุด้วยลูกบอลเหล็กขนาดต่างๆเมื่อใส่แร่เหล็กลงไป บอลมิลล์จะทำหน้าที่หมุนรอบแกนทำให้ลูกบอลเหล็กไปกระทบแร่เหล็กทำให้แตกออกเป็นผงเล็กๆนำออกไปผ่านตระแกรงแยกเอาผงเหล็กที่มีขนาดโตออกไปเข้าเครื่องบดใหม่ ส่วนผงเหล็กละเอียดที่ได้ขนาดนำไปผ่านเครื่องแยกอีกครั้ง เครื่องนี้เรียกว่า แมกเนติก เซเปอเรเตอร์ (magnatic separater) โดยอาศัยหลักการคุณสมบัติของแม่เหล็กดูดติดผงเหล็ก และให้แร่เหล็กที่บดแล้วเคลื่อนผ่านแม่เหล็กผงเหล็กจะดูดติด ส่วนที่ไม่ใช่เหล็กก็จะเคลื่อนที่ออกไปต่างหาก จากกรรมวิธีนี้จะได้ผงแม่เหล็กที่มีปริมาณสูงถึง 70% ซึ่งเหมาะที่จะนำไปถลุงในเตาสูง แต่การที่จะนำเอ าแร่เหล็กที่มีลักษณะเป็นผงไปบรรจุในเตาถลุงจะกระทำได้ยาก เพราะว่าเหล็กที่ได้อาจจะถูกลมที่พ่นเข้ามาเผาไหม้เชื้อเพลิงเป่าหายไป ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเอาผงเหล็กที่ได้ไปทำเป็นก้อนเสียก่อน โดยผสมกับตัวประสานแล้วอัดเป็นก้อน เรียกวิธีนี้ว่า บริเคตติ้ง (briquetting) หรือนำเอาไปเผาให้แร่เหล็กหลอมละลายบางส่วนเพื่อให้จับรวมตัวกันเป็นก้อนเรียกว่า ซินเตอริ่ง(sintering) ซึ่งนิยมทำกันมากกว่ากรรมวิธีแรก กรรมวิธีซินเตอริ่งทำโดยให้ผงเหล็กที่ผ่านการบดมาผสมกับเชื้อเพลิงที่เป็นผงละเอียดประมาณ 4-6 เปอร์เซ็นต์ และเติมผงเหล็กออกไซต์ที่ได้จากการรีดเหล็กมิลล์สเกล (mill scale) ประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์ จะเกิดออกไซต์เป็นแผ่นบางๆปกติจะเอาออกทิ้งแต่วิธีนี้จะนำมาผสมกับแร่เหล็กหลังจากที่ผสมแร่เหล็กกับถ่านโค้ก และผงมิลล์สเกลแล้ว จึงนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750-850 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ถ่านโค้กเผาไหม้ช่วยเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีกจนประมาณ 1300 องศาเซลเซียส ในขณะที่เผาปรากฏว่าแร่เหล็กรวมตัวกับหินหรือทรา ยปนมากับแร่เหล็ก และรวมตัวกับคาร์บอ นมอนออกไซต์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านโค้ก ได้สารประกอบร่วมกันระหว่างเหล็กกับซิลิกอนไดออกไซต์ซึ่งเรียกเหล็กนี้ว่าเหล็กซิลิเกต หรือ ฟายาไลต์ (fayalite) มีสูตรคือ $2FeOSiO_2$ ปกติฟายาไลต์จะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 1200 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้กับผงเหล็กในขณะหลอมเหลวบางส่วน เมื่อทิ้งให้เย็นจะทำให้ผงเหล็กจับตัวกันเป็นก้อนแข็งเรียกว่าซินเตอริ่งโปรดักต์ (sintering product) ซึ่งเหมาะที่จะนำไปถลุง

ในเตาสูง ในการทำซินเตอริ่งมีผลดีอย่างหนึ่งคือ การกำจัดกำมะถันในเหล็กดัง ปฏิกิริยา $3FeS+5O_2$ --------> $Fe_3O_4+3SO_2$ และโดยทั่วไปการทำซินเตอริ่งจะผสมพวก ฟลั๊กซ์ ได้แก่พวกหินปูนรวมเข้าไปด้วยเพื่อจะได้ลดปริมาณของฟลั๊ กซ์ที่ใช้ในเตาสูงได้น้อยและเพิ่มประสิทธิภาพให้ฟลั๊ กซ์มากด้วยจากแร่เ หล็กที่ผ่านกรรมวิธีซินเตอริ่งแล้วนำไปใส่เตาสูง

3.2 ลักษณะของเตาสูง

เตาสูง (Blast furnace) มีลักษณะเป็นปล่องสูง ตอนล่างปล่องและกลับเล็กลงเมื่อใกล้ถึงพื้น ตัวเตาจะทำด้วยแผ่นเหล็กหุ้มภายนอก ส่วนภายในเตาเรียงด้วยอิฐทนไฟชนิดต่างๆ ตัวเตาแบ่งออกเป็นช่วงๆ คือ

1. ฐานราก (Foundation)
2. พื้นเตา (Furnace bottom)
3. ก้นเตา (Hearth)
4. ท้องเตาหรือบอช (Bosh)
5. ส่วนบน (Top)

ส่วนที่ร้อนที่สุดของเตาสูงคือ ส่วนที่ถัดมาจากก้นเตา อุณหภูมิประมาณ 1900 องศาเซลเซียส เตาสูงจะมีส่วนประกอบดังนี้

6. ฐานราก สร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งจะฝังลึกลงไปในดินบางส่วน และมีบางส่วนที่โผล่พื้นดินขึ้นมาและเป็นส่วนที่ต้องรับน้ำหลักของเตาทั้งหมด ขนาดบรรจุของเตาประมาณ 1306 ลูกบาศก์เมตร น้ำหนักประมาณ 7000 ตัน

7. พื้นเตา เป็นส่วนที่ต่อขึ้นมาจากฐานราก จะก่อด้วยอิฐทนไฟ ปกติจะมีความสูงประมาณ 4-5 เมตร ทำหน้าที่รับตัวเตารองจากฐานรากและเป็นส่วนที่ปิดก้นเตา

8. ก้นเตา เป็นส่วนที่รองรับน้ำเหล็กเมื่อละลายแล้วจะมากองหรือสะสมอยู่ที่ก้นเตานี้และมีพวกตระกรันไหลมากองอยู่ แต่จะอยู่ส่วนบนของน้ำเหล็กซึ่งมีรู (Tuber) เจาะไว้สำหรับให้เหล็กและตระกรันไหลออกมา บริเวณนี้จะเรียงด้วยอิฐทนไฟที่มีคุณภาพต่อการทนร้อนได้ดี ประกอบต้องมีความหนาตั้งแต่ 0.5-1.5 เมตร

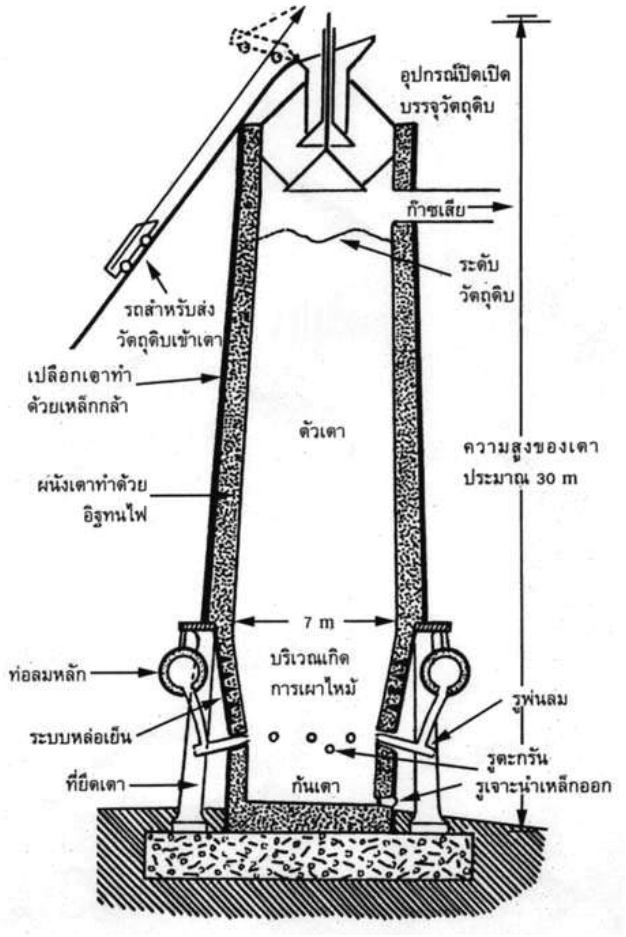
9. บอช คือบริเว ณที่ร้อนที่สุด และเป็นบริเวณที่เกิดการหลอมละลายของแร่เหล็กหรือแร่จากกรรมวิธีซินเตอริ่ง เพราะในช่วงนี้จะเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงให้อุณหภูมิสูงมากทางตอนล่างของบอชจะมีรูลม ซึ่งจะมีลมพ่นเข้ามาเพื่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทำให้เกิดความร้อนได้ดี

10. ปล่องเตา (Stack) เป็นส่วนที่ต่อขึ้นมาจากบอช โดยมีเปลือกนอกทำด้วยเหล็กเป็นโครงเพื่อให้ยึดติดกับเสาบนของเตาและเรียงด้วยอิฐทนไฟ เพราะบริเวณนี้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าตอนล่าง

11. ส่วนบน เป็นส่วนที่ใช้กับการบรรจุแร่เหล็ก ฟลั๊กซ์ และถ่านโค้กที่เติมลงในเตา และส่วนที่เป็นก๊าซเกิดการสันดาป ภายในเตาลอยออกมา

12. อุปกรณ์พ่นลม (blower) เป็นส่วนที่พ่นลมเข้าไปในเตาเพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ โดยภายในอุปกรณ์พ่นลมจะเป็นใบพัด กังหัน ซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบสูง และลดความเร็วลมได้ตามต้องการ ซึ่งผ่านเข้าไปในเตาทางตอนล่างของบอช โดยลมจะผ่านไปยังท่อลมใหญ่ (wind box) ที่มีลักษณะกลมติดอยู่รอบๆ บอช จากนั้นก็มีท่อเล็กแยกมาจากท่อลมใหญ่ไปเข้าเตาทางรูลมหลายๆแห่งที่มีอยู่รอบเตา ทั้งนี้เพื่อให้ลมเข้าไปเผาไหม้ภายในเตาได้ทั่งถึงและอย่างสม่ำเสมอไม่มีจุดดับ โดยทั่วๆ ไปหลักการในทางปฏิบัติก่อนที่ลมจะเข้า เตาจะต้องถูกเผาให้ร้อนก่อน (pre heat) โดยให้ร้อนประมาณ 700-1000 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อให้เชื้อเพลิงสูญเสียน้อยและได้ค่าของความร้อนสูง การเผาอากาศก่อนพ่นเข้าเตานั้นได้นำมาจากที่อื่นกระทำได้โดยใช้ตัวของมันเอง โดยต่อท่อจากปล่องของเตาซึ่งมีความร้อนอยู่และมี ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ ติดมาด้วย ทำให้ได้ค่าความร้อนมากแล้วนำมาผ่านตัวเผาอากาศ (Cowper) และเตาที่เผาอากาศนี้ต้องอยู่ใกล้กับตัวเตา และบางทีก็ใช้จำนวนหลายหน่วยเพื่อสลับกันในการเผาอากาศ

13. ตัวเผาอากาศ จะมีลักษณะเป็นรูปโดม เปลือกชั้นนอกทำด้วยเหล็กแผ่นชั้นในเรี ยงด้วยอิฐทนไฟ แต่ภายในตัวเตาเผาอากาศจะมีช่วงก๊าซร้อนเข้าทางตอนล่างผ่านขึ้นมาทางตอนบนแล้วหมุนกลับลงทางตอนล่างของเตาอีกด้านหนึ่งระหว่างการเดินทางของก๊าซร้อนจะมีอิฐขวางไว้ลักษณะสลับกันไปมาเพื่อให้อิฐมีโอกาสได้สัมผัสกับก๊าซร้อนได้มากการให้ความร้อนแบบนี้เรียกว่าเชกเกอร์เวิร์ก (Checker work) ตัวเตาจะมีช่องลมผ่านเข้าและออกอีกชุดหนึ่งเพื่อปิดให้ลมเย็นผ่านเข้าออกไปยังเตาสูงได้ดีและสะดวกยิ่งขึ้น



รูปที่ 8.2 แสดงลักษณะของเตาสูง

3.3 การทำงานของเตาเผาอากาศ

ในขั้นแรกจะเปิดให้ก๊าซร้อนออกจากเตาสูงผ่านเข้าไปเพื่อเผาอิฐเชกเกอร์ (Checker) ให้ร้อนประมาณ 1200-1400 องศาเซลเซียส ในกรณีเช่นนี้ก๊าซร้อนจากเตาสูงจะร้อนไม่เพียงพอจะต้องใช้เชื้อเพลิงและอากาศพ่นเข้าไปเผาไหม้ช่วยให้อุณหภูมิสูงขึ้นเมื่ออิฐเชกเกอร์ร้อนจนแดงแล้วจึงปิดก๊าซร้อนกับเชื้อเพลิง และเปิดให้ลมเย็นผ่านเข้าไปเพื่ออุ่นให้ร้อนแล้วค่อยปล่อยให้ผ่านเข้าไปในเตาสูง การที่ต้องใช้เตาเผาอากาศหลายๆชุดก็เพื่อจะได้ทำงานสลับกันคือ เตาหนึ่งทำหน้าที่เผาลมให้ร้อน ส่วนเตาอื่นๆก็เตรียมเผาให้ร้อนเตรียมไว้พร้อมที่เปลี่ยนสลับกันได้ ตลอดเวลา

3.4 ปฏิกิริยาภายในเตา

ตามที่ได้ทราบแล้วว่า แร่เหล็กที่ได้เป็นการผ่านกรรมวิธีซินเตอริ่งมาแล้วก็ตามแต่จะอยู่ในรูปของออกไซด์ ดังเช่น Fe_2O_3 หรือ Fe_3O_4 ปฏิกิริยาที่เกิดภายในเตาส่วนใหญ่จะเป็นการทำปฏิกิริยาของออกซิเจน (reduction) เพื่อเป็นการดึงเอาธาตุออกซิเจนให้ออกมาจากเหล็ก ออกจนกลายเป็นเหล็กเสียก่อน หลังจากนั้นจึงใช้ความร้อนทำให้เกิดการหลอมละลาย เมื่อเป็นเช่นนี้ตัวที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงควรจะต้องเป็นตัวที่ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาลดออกซิเจนด้วยซึ่ง พบว่าถ่านโค้กเหมาะสมที่สุด คือเป็นตัวที่ให้ทั้งความร้อนในการลุกไหม้รวมกับออกซิเจนในอากาศ และเป็นตัวที่ช่วยลดออกซิเจนด้วย ปฏิกิริยาที่เกิดการลดออกซิเจนจะเกิด ก๊าซ

คาร์บอนมอนนอกไซต์ ซึ่งเกิดจากคาร์บอนในถ่านโค้กรวมตัวกับออกซิเจนในลมที่พ่นผ่านเข้าไปในเตาสูง ปฏิกิริยาที่เกิดเมื่อพ่นลมร้อนเข้าไปในเตา สูงทางตอนล่างของบอช ออกซิเจนในลมร้อนจะเข้ารวมตัวกับถ่านโค้กให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์

เมื่อก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ เคลื่อนตัวขึ้นทางด้านบนสัมผัสกับถ่านโค้กตามแนวตั้ง จะทำให้เกิดปฏิกิริยาให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ อย่างสมบูรณ์ จากการทดลองในการวัดปริมาณของก๊าซคาบอ นไดออกไซต์และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ตรงบริเวณรูลมจนถึงใจกลางของเตาสูงในขณะที่ทำงานพบว่าที่บริเวณรอบๆจะพบก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์แต่ไม่มี ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ อยู่เลย พอระยะห่างออกมาจากรูลมใกล้ถึงใจกลางของเตาจะพบก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์มากขึ้น แล้วค่อยๆลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งหายไปก่อนที่จะถึงใจกลางของเตา ตรงกันข้ามบริเวณใจกลางของเตาจะพบว่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์มากที่สุด เป็นเครื่องที่ยืนยันได้ว่าปฏิกิริยาที่กล่าวมาเป็นความจริง สำหรับไนโตรเจนที่ติดมากับอากาศไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ แต่มันจะเคลื่อนตัวไปข้างบนพร้อมกับ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ จากกการที่วัดปริมาณก๊าซที่ติดมากับอากาศและจากการวัดปริมาณของก๊าซที่ก้นเตาจะพบว่ามีก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์ 34.7 เปอร์เซ็นต์และก๊าซไนโตรเจน 65.3 เปอร์เซ็นต์ ปฏิกิริยาการลดออกซิเจนของเหล็กออกไซต์ จะมีการลดเป็นขั้นๆ ดังนี้ แต่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 572 องศาเซลเซียสอาจ เกิดปฏิกิริยาลดออกซิเจนโดยตรงจาก Fe_3O_4 ได้เพราะ FeO ที่เกิดไม่มีเสถียรภาพจะให้เหล็ก ดังปฏิกิริยา เหล็กที่ได้จากปฏิกิริยาลดออกซิเจ นจะมีลักษณะเป็นของแข็งและพรุน เรียกว่าเหล็กพรุนหรือ สปองไอออน (sponge iron) ซึ่งจะค่อยๆเคลื่อนต่ำลงมาจนถึงบริเวณบอชซึ่งเป็นบริเวณที่ร้อนจัดที่สุด เหล็กพรุนจะหลอมละลายไหลลงก้นเตา เราจะพบว่าการที่เรานำแร่เหล็กมาทำการซินเตอริ่งจะมีผลดีกับผงเหล็กเล็กๆของแร่เหล็กเพราะได้มีโอกาสสัมผัสกับ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ ได้ดีขึ้น ทำให้ ปฏิกิริย าการลดออกซิเจนได้รวดเร็วกว่าการถลุงแร่เหล็กหรือสินแร่เหล็กโดยตรง อัตราสำหรับการถลุงเหล็กดิบ อัตราทั่วๆไปสำหรับการถลุงเหล็กดิบมีดังนี้ ปริมาณเหล็กดิบ 1 ตัน จะต้องบรรจุแร่เหล็กประมาณ 2 ตันถ่านโค้ก 1 ตันและ ฟลั๊กซ์ ประมาณ 0.5 ตัน และลมที่พ่นเข้าเตาที่อุณหภูมิ 700 อุณหภูมิ ต้องใช้จำนวน 4.5 ตัน ก๊าซที่ออกจากปากเตาจะมีอุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน 10-17 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดอ อกไซต์ 10-70 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ 22-77 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่แร่เหล็กมีโลหะอื่นปนอยู่ด้วย เช่น แมงกานีสออกไซต์ (MnO_2) และซิลิคอนออกไซต์ (Sio_2) ปฏิกิริยาลดออกซิเจนที่เกิดภายในเตามีลักษณะคล้ายคลึงกันซึ่งแมงกานีสออกไซต์นี้ จะละลายกลายเป็นตะกรันแต่จะมีแม งกานีสออกไซต์บางส่วนลดลง ออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนให้โลหะแมงกานีสละลายอยู่ในเหล็กดิบปฏิกิริยา การหลอมเหลวของเหล็กพรุนนั้นไม่หลอมเหลวโดยตรงด้วยความร้อน เพราะเหล็กพรุนความจริงคือเหล็กที่เกือบบริสุทธิ์นั่นเอง ดังนั้นจุดหลอมเหลวจะสูงมากประมาณ 1500-16000 องศาเซลเซียส แต่การหลอมเหลวของเหล็กพรุนเป็นเหล็กดิบจะเกิดขึ้นดังนี้ การเกิดปฏิกิริยาเกิดเฉพาะรอบๆเหล็ กพรุนมีปริมาณคาร์บอนสูงขึ้น ซึ่งมีผลช่วยให้จุดหลอมเหลวต่ำลง แต่ถ้าในเหล็กดิบมีคาร์บอนประมาณ 4.30 เปอร์เซ็นต์ จุดหลอมเหลวของเหล็กดิบจะเป็น 1,130 องศาเซลเซียส บทบาทของฟลั๊ กซ์ โดยทั่วๆไปฟลั๊ กซ์ที่ใช้ในการถลุงเหล็กดิบ ได้แก่ หินปูนและ

บทบาทของฟลั๊กซ์ที่สำคัญคือ ทำหน้าที่กำจัดสารที่ติดมากับแร่เหล็ก (gangue) และเป็นตัวที่พาเอาขี้เถ้าที่เกิดจากเผาไหม้ของถ่านโค้กออกมาในรูปของตะกรัน นอกจากนี้ฟลั๊ กซ์ยังมีส่วนช่วยให้เกิดปฏิกิริยาลดออกซิเจนให้เร็วขึ้น โดยที่หินปูนเมื่อถูกความร้อนจะสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับถ่านโค้กให้ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งจะช่วยในการลดออกซิเจนจากแร่เหล็ก สำหรับแคลเซียมออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่ช่วยกำจัดกำมะถันในเหล็กและกลายเป็นตะกรัน

4. ประเภทของเหล็กดิบ

เหล็กดิบอาจจะถูกแยกประเภทตามลักษณะของการผลิตขั้นสุดท้าย เพื่อเป็นไปตามลักษณะของส่วนผสม หรือตามลักษณะเชื้อเพลิงที่ใช้ในการถลุง เช่น เหล็กดิบที่ใช้ผลิตเหล็กกล้า จะแยกออกเป็น 3 ชนิด

เบสิกพิก (Basic pig) หมายถึงเหล็กดิบที่นำไปถ ลุงเป็นเหล็กกล้าด้วยกรรมวิธีของเตากระทะที่เป็นด่าง (basic open hearth)

เบสเซเมอร์พิก (Bessemer pig) หมายถึงเหล็กดิบที่นำไปถลุงเหล็กกล้าด้วยกรรมวิธีเบสเซเมอร์

ฟาวน์ดรีพิก (Foundry pig) หมายถึง เหล็กดิบที่นำไปถลุงในโรงหล่ออาจจะเป็ นเหล็กหล่อหรือเหล็กหล่อเหนียวดำได้

4.1 การแบ่งลักษณะเหล็กดิบ

การแบ่งลักษณะเหล็กดิบตามส่วนผสมของสารเจือปน (Impurities) แยกออกเป็นหลายประเภทตามชนิดของสารเจือปน เช่น เหล็กดิบฟอสฟอรัส เหล็กดิบกำมะถัน หรือเหล็กดิบแมงกานีส การแบ่งลักษณะเหล็กดิบตามชนิดของเชื้อ เพลิงที่ใช้แบ่งไว้ดังนี้ เหล็กดิบถ่านไม้ (charcoal pig) หมายถึงเหล็กดิบที่ถลุงด้วยถ่านไม้ โค้กพิก (Coke pig) หมายถึงเหล็กดิบที่ถลุงด้วยถ่านโค้ก สำหรับส่วยผสมของเหล็กดิบทั่วๆไปประกอบด้วยธาตุต่างๆดังนี้

คาร์บอน (C) 3-4 เปอร์เซ็นต์

ซิลิคอน (Si) 1-3 เปอร์เซ็นต์

ฟอสฟอรัส (P) 0.1- 1.0 เปอร์เซ็นต์

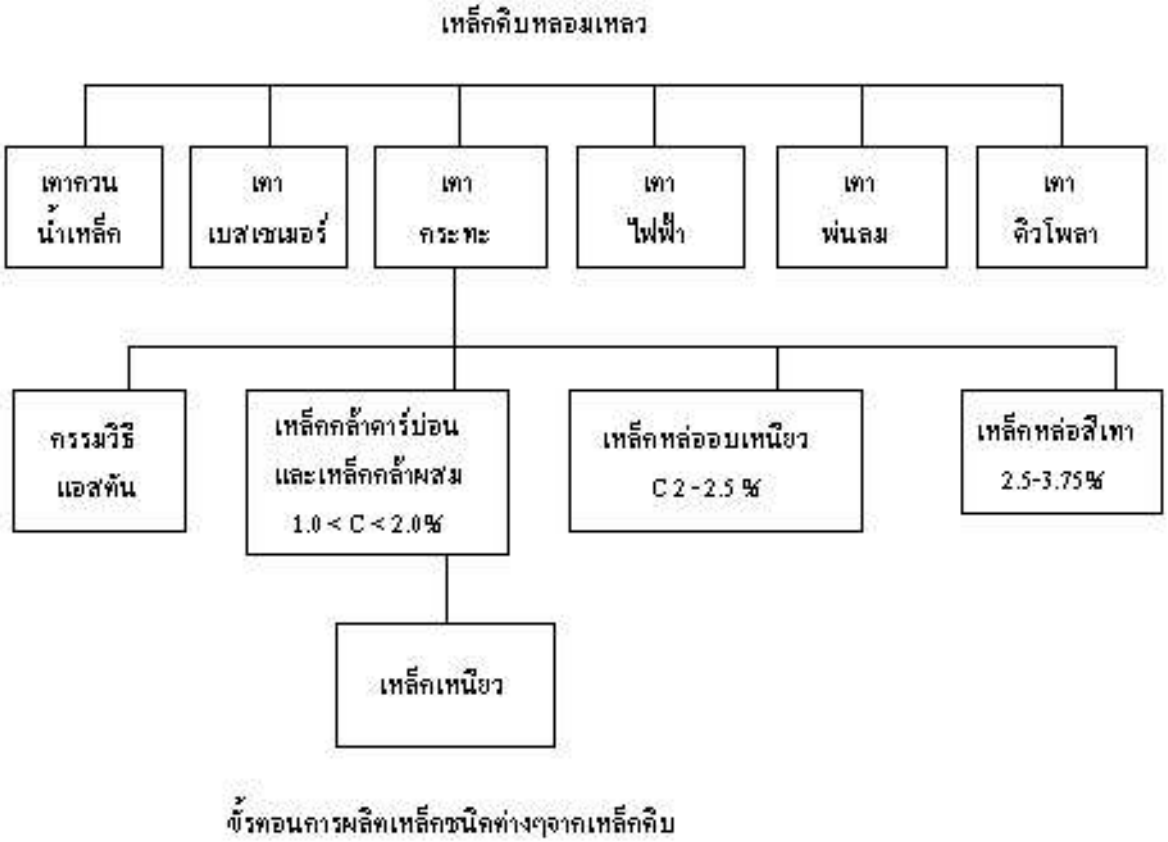
แมงกานีส (Mn) 0.5-2.5 เปอร์เซ็นต์

กำมะถัน (S) 0.05-0.1 เปอร์เซ็นต์ สิ่งที่ได้จากเตาสูง คือ เหล็กดิบสีเทากับเหล็กดิบสีขาว

เหล็กดิบสีเทาคือ (Gray pig iron) เหล็กที่มีซิลิคอนผสมอยู่เป็นหลัก เป็นตัวช่วยแยกคาร์บอนในเหล็กให้อยู่ในรูปแกรไฟต์ ใช้เหล็กดิบชนิดนี้ไปถลุงเหล็กหล่อสีเทา

เหล็กดิบสีขาว (White pig iron) เหล็กที่มีแมงกานีสผสมอยู่เป็นหลัก และคาร์บอนจะรวมอยู่กับเหล็กในรูปของซีเมนไทต์ (Fe_3C) เหมาะสำหรับนำไปถลุงเหล็กกล้าที่ใช้งานต่อไป ปัจจุบันมีการทดลองผลิตซีเมนไทต์ (Fe_3C) โดยเฉพาะเพื่อนำไปเป็นตัวเพิ่มคาร์บอนในเหล็กกล้าผสม เพราะการควบคุมจะสะดวกง่ายกว่าการใช้คาร์บอนในรูปของแกรไฟต์หรือผงคาร์บอน โดยทั่วๆ ไปแล้วเหล็กดิบที่ได้จากเตาสูง

นี้จะถูกนำไปทำเหล็กกล้าเป็นชิ้นๆโดยกระบวนการแตกต่างกันออกไปซึ่งเ ราเรียกว่า รีไฟนิ่งพิกไอออน (refining pig iron)



ขั้นตอนการผลิตเหล็กชนิดต่างๆจากเหล็กดิบ

4.2 กระบวนการผลิตเหล็กแบบแอสตัน

กระบวนการผลิตเหล็กแบบแอสตัน (Aston process) เป็นกระบวนก ารผลิตเหล็ กกล้าหรือเหล็กเหนียวอีกวิธีหนึ่งซึ่งทำได้ครั้งละมากๆผู้คิดค้นคือนายเจมส์ แอสตัน (James Aston) ได้ผลิตเหล็กนี้ขึ้นเมื่อ พ.ศ.2473 โดยการนำเหล็กดิบไปใส่สารมลทินในเตาเบสเซเมอร์แล้วเทลงไปผสมกับตระกรันที่หลอมเหลว เนื่องจากอุณหภูมิหลอมเหลวของตะกรันต่ำกว่าอุณหภูมิแข็งตัวของเ หล็กจึงทำให้เหล็กที่เทลงไปผสมกั บตะกรันนั้นแข็งตัวอย่างทันทีทันใด นำเอาเหล็กที่ได้ไป ทุบหรือไล่ตะกรันออกเมื่อมีตะกรันมากเกินไป แล้วนำไปอัดเป็นแท่งเพื่อสะดวกในการแปรรูปต่อไปการผสมครั้งหนึ่งๆประมาณ 3-4 วัน และอัดเป็นแท่ ง สี่เหลี่ยมด้านขนานด้วยเครื่องไฮดรอลิกก่อนที่จะนำแท่งไปรีดต่อไป กรรมวิธีนี้สามารถผลิตเหล็กเหนียวได้วันละ 800 ตัน เหล็กหล่อ (Cast iron) เป็นเหล็กที่ใกล้เคียงกับเหล็กดิบมากในด้านคุณสมบัติเหล็กหล่อได้มาโดยการนำเหล็กดิบมาหลอมกับเศษเหล็กในเตาคิวโพลา (Cupola) ซึ่งมีลักษณะคล้ายเตาสูงแต่มีขนาดเล็กกว่า เหล็กหล่อที่ออกจากเตาคิวโพลา แต่บริสุทธิ์กว่าเหล็กดิบ และสามารถควบคุมส่วนผสมของคาร์บ อนได้ ก่อนที่จะกล่าวถึงเหล็กหล่อจะกล่าวถึงการรวมตัวของธาตุคาร์บอนในเหล็กสักเล็กน้อยเสียก่อน คือ คาร์บอนผสมอยู่ในเหล็กได้ 3 ลักษณะ คือ

คาร์บอนละลายในเหล็กอยู่ในรูปของสารละลายของแข็ง (Solid solution) คาร์บอนจะละลายในเหล็กในลักษณะของสารละลายของแข็งได้สูงสุด 2 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 1130 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เหล็กแข็งขึ้น แต่เนื้อแท้จริงของเหล็กบริสุทธิ์จะอ่อน

คาร์บอนรวมกับเหล็กในรูปของสารประกอบ เช่น รวมกับเหล็กได้สารประกอบที่มีความแข็งมาก คือ ซีเมนไทต์ หรือไอออนคาร์ไบต์ และจะมีคาร์บอนสูงสุดได้ไม่เกิน 6.67 เปอร์เซ็นต์

คาร์บอนแยกตัวออกจากเหล็ก และอยู่ในรูปของแกรไฟต์หรือ คาร์บอนบริสุทธิ์ตกผลึกแทรกอยู่ใ น เนื้อพื้นของเหล็กทำให้รอยแตกหักของเหล็กมองดูเป็นสีเทา

4.3 การถลุงเหล็กกล้าคาร์บอน

การถลุงเหล็กกล้าคาร์บอนส่วนใหญ่ถลุงจากเหล็กดิบที่ได้จากเตาสูงแล้วนำมาถลุงต่อโดยการลดปริมาณของธาตุต่างๆที่ผสมอยู่ให้น้อยลงไป ทำได้หลายวิธีด้วยกันคือ การถลุงเหล็กแบบเตากระทะ (open-heart furnace) หรือกรรมวิธีแบบซีเมนซ์และมาร์ติน (Siemens and Martin) การถลุงด้วยกรรมวิธีนี้ถูกค้นพบเมื่อปี พ.ศ. 2205 โดยมาร์ตินได้พยายามที่จะถลุงเหล็กกล้าโดยใช้เตาแบบเตากระทะ และใช้อากาศพ่นเข้าไปในเตาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ แต่ปรากฏว่าอุณหภูมิภายในเตาไม่ร้อนพอที่จะทำให้เหล็กกล้าหลอมเหลวได้ อีก 5 ปีต่อมาคือในปี พ .ศ. 2210 วิลเลียม ซี เมนส์ (William Simens) ได้พยายามแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆได้สำเร็จ โดยการนำก๊าซเชื้อเพลิงกับอากาศที่ก่อนจะพ่นเข้าไปในเตามาเผาให้ร้อนเสียก่อนแล้วค่อยเข้าไปในเตา ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า Regenerative โดยการให้ความร้อนก่อนพ่นเข้าเตาและความร้อนที่ได้ก็ได้จากเตากระทะนั่ นเองทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงได้อีกด้วย ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาจึงตั้งชื่อการถลุงเหล็กแบบนี้ว่า กระบวนการถลุงเหล็กแบบซีเมนส์และมาร์ตินลักษณะของเตาแบบนี้ประกอบด้วย พื้นเตา (Foundation) มีลักษณะคล้ายกับกระทะ (Heart) ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งก่อด้วยอิฐทนไฟที่มีคุณภาพสูง เพราะต้องทำหน้าที่รองรับน้ำเหล็ก ทางด้านบนเหนือแอ่งกระทะขึ้นไปเป็นหลังคาที่มีลักษณะโค้งเล็กน้อยและถูกยึดไว้ด้วยโครงเหล็ก ตัวเตาก็เช่นเดียวกันจะอยู่สูงจากพื้นโดยมีเสาคอนกรีตและโครงเหล็กยึดไว้ อิฐที่ใช้ก่อหลังเตาก็เช่นเดียวกันจะต้องมีคุณภาพที่ดี ที่ฝาผนังของเตาจะเป็นช่องว่างไว้โดยมีฝาปิดสำหรับบรรจุน้ำเหล็กดิบและเศษเหล็กที่เข้าในเตา บริเวณก้นเตาจะมีรูสำหรับเจาะเอาน้ำเหล็กออกจากเตา ทางเดินของลมกับทางเดินของก๊าซหรือหัวฉีดเป็นท่อติดต่อกันทั้งสองหัวท้ายของเตาจะมีท่อลมและท่อก๊าซที่ต่อไปยังเตาซึ่งประกอบกันด้วยทั้งหมด 4 ชุด คือ ทางตอนหัวมี 2 ชุดและทางท้ายมีอีก 2 ชุด แต่ละชุดมีหน้าที่สำหรับเผาอากาศและก๊าซเชื้อเพลิงที่แยกออกจากกัน ตัวเตากระทะประกอบด้วยเตาที่ทำด้วยอิฐทนไฟ เรียงสลับกันภายในเตาเพื่อให้ก๊าซร้อน (Exhaust gas) ที่ออกจากเตาผ่านและคลายความร้อนให้อิฐที่เรียงสลับกัน (Checker work) เพื่อใช้สำหรับอุ่นอากาศและก๊าซเชื้อเพลิงให้ร้อนก่อนที่จะไปผสมกันและเกิดการเผาไหม้ให้ความร้อนภายในเตา วิธีนี้จะช่วยให้ปริมาณความร้อน ที่จะต้องสูญเสียไปมีน้อยมาก และสามารถควบคุมอุณหภูมิของเตากระทะให้มีความร้อนสูงขึ้นด้วย เตานี้จะต้องมีท่อเข้าเตาทั้ง 2 ข้างคือทางตอนหัวและท้ายเวลาทำงานต้องสลับกัน กล่าวคือเมื่อใช้เตาทางตอนหัวทำหน้าที่เผาอากาศและก๊าซ

เชื้อเพลิง เตาอีกด้านหนึ่งก็จะเป็นทางผ่านของก๊าซเสียเพื่อเผาอิฐให้ร้อนเมื่อเตาทำงานเผาอากาศกับก๊าซเชื้อเพลิงอุณหภูมิจะลดลงประมาณ 600-800 องศาเซลเซียส มันก็จะทำหน้าที่เป็นลิ้นเพื่อเปลี่ยนทางเดินของก๊าซและอากาศกับเชื้อเพลิง การทำงานก็จะสลับกันดังนี้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้ส่วนใหญ่กับเตากระทะใช้กับก๊าซธรรมชาติหรือก๊าซที่ได้จากการเผาถ่านโค้กซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอ อกไซด์ (CO) และก๊าซคาร์บอนไ ดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่ อุณหภูมิภายในเตาก่อนทำก๊าซเชื้อเพลิงกับอากาศจะร้อนประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส เมื่อก๊าซเชื้อเพลิงกับอากาศผ่านจะถูกเผาให้ร้อนประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส เมื่อไปเผาไหม้ภายในเตากระทะจะทำให้อุณหภูมิภายในเตาสูงประมาณ 1,700-1,800 องศาเซลเซียสซึ่งเพียงพอในการหลอมเหล็กกล้า

5. เหล็กหล่อ

เหล็กหล่อเป็นเหล็กที่ผลิตจากเหล็กดิบสีเทา (Gray Pig Iron) ที่ได้จากเตาสูง (Blast Furnace) มาหลอมหรือถลุงใหม่ในเตาคิวโปลา เตาแอร์เฟอร์เนซ หรือเตาไฟฟ้า ถ้าพิจารณาดูจาก Iron-carbon Equilibrium Diagram แล้วจะเห็นว่าเหล็กหล่อมีปริมาณธาตุคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 2% - 6.67% ส่วนเหล็กกล้ามีปริมาณธาตุคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.008% - 2% เท่านั้น แต่ทางปฏิบัติแล้วเหล็กหล่อจะมีปริมาณธาตุคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 2.5% – 4% ถ้ามีมากกว่านั้นจะขาดคุณสมบัติความความเหนียว (Ductility) จะเปราะและแตกหักง่ายเมื่อถูกแรงกระแทกปกติ เหล็กหล่อเป็นเหล็กที่รู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลายมาเป็นระยะเวลานาน เหล็กหล่อคล้ายกับเหล็กกล้า (Steel) ก็ตรงที่เหล็กหล่อนั้น เป็นเหล็ก ที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ เช่นเดียวกัน และสามารถศึกษาโครงสร้างจากแผนภาพ สมดุล (Equilibrium Diagram) เพียงแต่ปริมาณของคาร์บอน ในเหล็กหล่อจะมีมากกว่าในเหล็กกล้า คือมีคาร์บอนตั้งแต่ร้อยละ 2-6.67 ในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อโดยทั่วไปแล้วจะมีคาร์บอนอยู่ร้อยละ 2.5-4 ถ้าปริมาณคาร์บอนมากกว่านี้เหล็กจะสูญเสียคุณสมบัติทางด้านความเหนียว (Ductility) คือเปราะและแตกหักได้ง่ายเมื่อถูกแรงกระแทกปกติ เหล็กหล่อส่วนมากจะขาดคุณสมบัติทางด้านความเหนียวเมื่อเทียบกับเหล็กกล้า จึงไม่สามารถขึ้นรูปด้วยการรีดหรือการดึงขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง ได้การขึ้นรูปเหล็กหล่อ ที่อุณหภูมิสูงนั้นทำได้ยาก แต่วิธีที่ใช้ในการขึ้นรูปถึงแม้ว่ารูปร่างจะซับซ้อน ก็สามารถทำได้ โดยการหลอมเหล็กให้ละลายแล้วเทลงแบบหล่อที่ทำด้วยทรายหรือวัสดุทนความร้อน จึงได้ชื่อตามกรรมวิธีการขึ้นรูปว่า เหล็กหล่อ หลังจากหล่อรูปร่างได้ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการแล้ว จึงนำมาทำการกลึง ไส ตัด และ เจาะ แม้ว่าเหล็กหล่อส่วนใหญ่จะให้คุณสมบัติความเค้นแรงดึงสูงสุดต่ำและขาดคุณสมบัติทางด้านความเหนียว แต่เหล็กหล่อมีราคาถูกว่าที่มีจุดหลอมตัวต่ำสามารถขึ้นรูปได้รูปร่างง่ายกว่าเหล็กกล้าและยังสามารถปรับคุณสมบัติต่างๆ โดยการเติมธาตุผสมที่เหมาะสมสม และการอบชุบที่ดีจะทำให้คุณสมบัติ ของเหล็กหล่อ เปลี่ยนแปลงได้ อย่างกว้างขวาง จนเหล็กหล่อบางชนิด มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเหล็กกล้าทำให้การพัฒนาอุสาหกรรมเหล็กหล่อเป็นไปอย่างกว้างขวาง รวมทั้งปริมาณการผลิตเหล็กหล่อก็เพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็ว

5.1 การผลิตเหล็กหล่อด้วยเตาคิวโปล่า

เหล็กหล่อที่มีคุณสมบัติต่างชนิดกันออกไปตามประเภทการใช้งานนั้น ผลิตขึ้นจากการหลอมเหล็กดิบจากเตาสูงเพื่อผลิตเป็นเหล็กหล่อชนิดต่างๆด้วย เตาคิวโปล่าลักษณะการทำงานของเตาคิวโปลา

1. เริ่มต้นด้วยการติดเตาโดยใช้ถ่านฟืนหรือวัตถุเชื้อเพลิงในครั้งแรกเมื่อติดดีแล้วจึงเติมถ่านโค้กลงไปให้มีปริมาณสูงกว่ารูพ่นลมเล็กน้อยเพราะหากมีปริมาณน้อยเกินไปจะทำให้เหล็กหล่อขาดซิลิคอนและแมงกานีสหรือมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้มีกำมะถันในน้ำเหล็กมาก

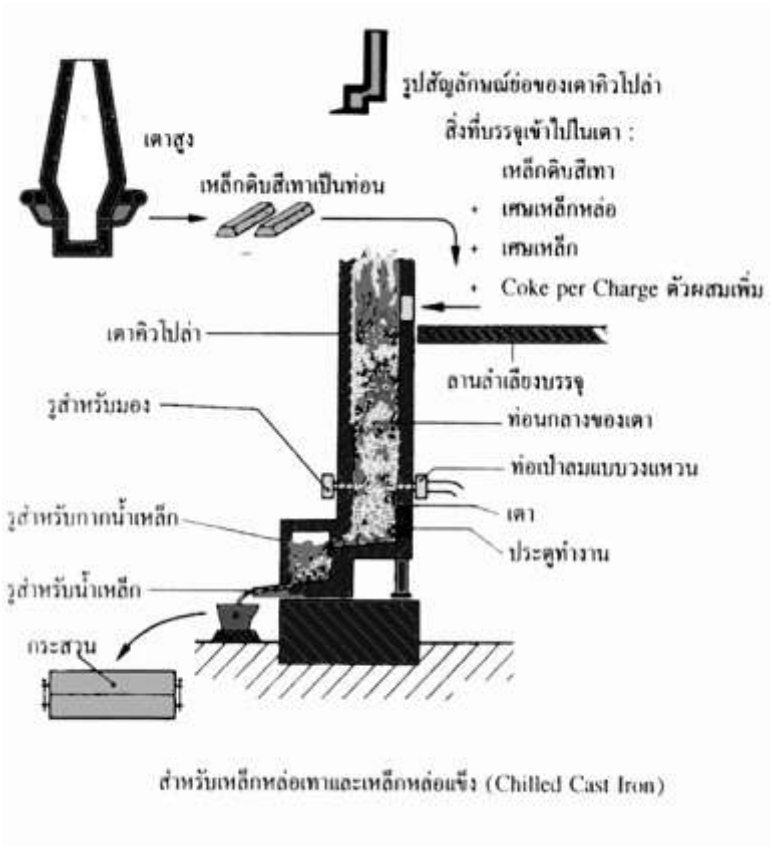
2. ค่อยๆ พ่นลมเข้าไปในเตาจนกว่าถ่านโค้กจะติดไฟ แล้วจึงลดปริมาณลมลง

3. เติมหินปูนสลับกับเหล็กดิบและเศษเหล็กสลับกันไปเป็นชั้นๆ จนเต็ม

4. เมื่อเติมวัตถุดิบจนเต็มแล้วให้ปิดรูน้ำเหล็ก รูขี้ตะกรังให้หมด แล้วเพิ่มปริมาณกระแสลม ทำให้เกิดความร้อนจนกระทั่งเหล็กหลอมละลาย

5. เมื่อเหล็กหลอมละลายให้เติมวัตถุดิบลงมาเรื่อยๆ โดยเติมสลับกันเป็นชั้นๆ

6. เมื่อเหล็กหลอมละลายจนกระทั่งได้ปริมาณที่ต้องการให้เปิดรูขี้ตะกรันออกก่อนแล้วจึงเปิดรูน้ำเหล็กออกนำเบ้ามารองรับน้ำเหล็ก เพื่อเทลงแบบหล่อที่เตรียมไว้



รูปที่ 8.3 แสดงการผลิตเหล็กหล่อด้วยเตาคิวโปล่า

จากรูป การผลิตเหล็กหล่อในเตาคิวโปล่า ผนังเตาจะบุด้วยอิฐทนไฟ โดยรอบนอกจะเป็นแผ่นเหล็กกล้าหุ้มอยู่ในการถลุงจะใช้เหล็กดิบเป็นท่อนจากเตาสูงและเหล็กดิบเทาที่เป็นชิ้นหักเสีย เศษเหล็ก Coke per Charge ตัวผสม (เพิ่ม) ใส่เข้าทางด้านข้างของที่ลานลำเลียงบรรจุลมจะถูกเป่าผ่านท่อลมแบบวงแหวนจากส่วนล่างของเตาคิวโปล่ า ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นสูง 1200°C น้ำเหล็กหล่อเทาจะรวมตัวกันที่หน้าเตา (Pre - heat) เป็นที่ที่จะเจาะเอาขี้ตะกรันเหล็กออกจากรู ส่วนน้ำเหล็กจะให้ออกจากรู สำหรับน้ำเหล วนำ ไปเทลงกระสวนหล่อนำไปใช้งานเป็นเหล็กหล่อเทา (Gray Cast Iron) และเหล็กหล่อแข็ง (Chilled Iron)

5.2 การถลุงเหล็กหล่อ

ในการถลุงเหล็กหล่อจะมีวัตถุดิบที่สำคัญคือเหล็กดิบสีเทา (Gray Pig Iron) ถ่านโค้ก (Coke) หินปูน (Limestone) เศษเหล็กสารประสมเพิ่มอื่นๆโดยทั่วไปจะนิยมถลุงในเตาคิวโปลา (Cupola) มากกว่าเตาชนิดอื่นเพราะสามารถประหยัดพลังงานและถลุงได้ปริมาณมากกว่า ซึ่งตัวเตาคิวโปลามีรูปร่างทรงกระบอกคล้ายเตาสูงหรือเตาพ่นลม เส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 2 เมตร สูงประมาณ 3 - 9 เมตร

ตัวเตา มีลักษณะเป็นปล่องสูงเปลือกน อกทำด้วยเหล็กแผ่นเป็นโครง ภายในบุด้วยอิฐทนไฟตามลักษณะของอุณหภูมิ โดยทางล่างสุดจะบุด้วยอิฐทนไฟที่ทนต่ออุณหภูมิสูง ส่วนตรงกลางขึ้นไปถึงข้างบนจะบุด้วยอิฐทนไฟคุณภาพปานกลาง คล้ายเตาสูง

ขาหยั่ง (Prop) เป็นส่วนที่รองรับตัวเตาเอาไว้ ทำด้วยเหล็กสูงจากพื้นดินประมาณ 1–3 เมตร

ก้นเตา จะปิดด้วยแผ่นเหล็กโดยมีบานพับ เปิด – ปิด ได้ และแผ่นเหล็กนี้จะพับปิดสนิทหลังจากปูพื้นก้นเตาด้วยทรายผสมดินเหนียวแล้วใช้เหล็กขาหยั่งค้ำยันเอาไว้ ในการเปิด – ปิดก้นเตาได้ก็เพื่อจะสามารถซ่อมแซมสะดวก และเปิดนำเอาถ่านโค้กออกในกรณีที่มีการหยุดการทำงาน

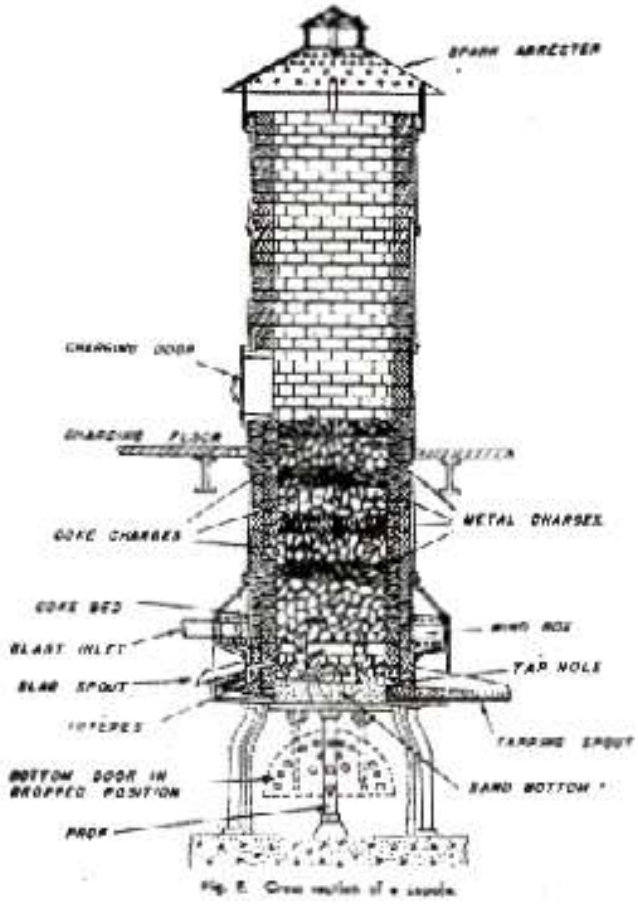
พื้นเตา (Sand Bottom) เป็นส่วนที่อยู่เหนือก้นเตาขึ้นมาแล้วนำเอาทรายผสมกับดินเหนียวหรือปูนซีเมนต์ทนไฟปูทับลงไปที่พื้น และอัดแน่นเพื่อไม่ให้น้ำเหล็กรั่วออกทางก้นเตาได้

รูน้ำเหล็กออก (Tap Hole) เป็นรูที่เปิดเพื่อนำน้ำเหล็กออกไปผลิตเป็นเหล็กหล่อโดยจะต้องปรับพื้นเตาด้านตรงข้ามให้เอียงลาดไปจรดพอดีกับรู Tap hole เพื่อให้น้ำเหล็กไหลออกให้หมดและไหลต่อไปยังรางน้ำเหล็กอีกด้านหนึ่งเรียกว่า Tapping Spout

รูพ่นลม (Tubers) เป็นรูที่พ่นลมเข้าในเตาอยู่รอบ ๆ ตัวเตา ซึ่งจะต่อกับท่อลมใหญ่ ซึ่งติดอยู่รอบเตาเรียกว่า Wind – Box ส่งผ่านมายังเครื่องกังหันเป่าลม (Blast Inlet)

Charging Door เป็นช่องที่อยู่เหนือจากรูพ่นลมขึ้นไป ใช้สำบรรจุถ่านโค้ก เหล็กดิบ และ Flux เข้าเตา

Spark Arrester ส่วนหลังคาปิดปล้องเตาเพื่อป้องกันเปลวไฟพ่นออกจากเตา



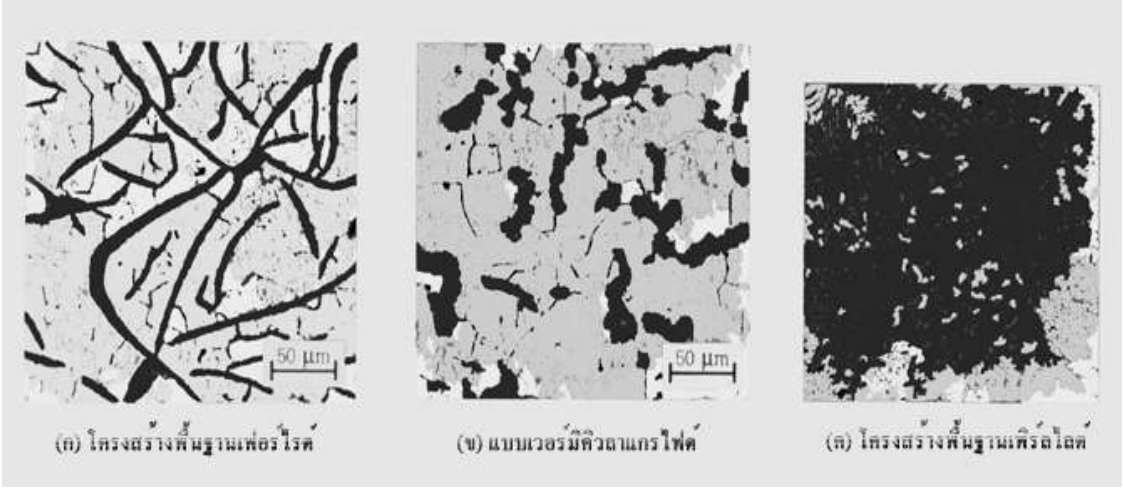
รูปที่ 8.4 แสดงการถลุงเหล็กหล่อ

6. ชนิดของเหล็กหล่อ

6.1 เหล็กหล่อเทา (Gray cast iron)

เหล็กหล่อเทาสัญลักษณ์ย่อนั้นคือ GG ความหนาแน่นเป็น 7,3 kg/dm^3 จุดหลอมเหลว 1250°C มี 2,5...5% C และ 0,8...3% Si น้ำเหล็กจะเหลวมากต้องปล่อยเย็นตัวช้าๆ ซิลิคอนจะทำให้คาร์บอนแยกตัว ออกจากเนื้อเหล็กจับตัวกันเป็นเกร็ดแกรไฟต์ (flake graphite) ส่วนผสมส่วนใหญ่จึงแข็งตัวแบบระบบเสถียร (stable system) คุณสมบัติทางกลจะสัมพันธ์ กับความหนาของชิ้นงานหล่อเป็นอย่างมาก ชิ้นงานที่บางจะทำให้ชิ้นเหล็กเย็นและแข็งตัวเร็วมากซึ่งจะทำให้ เกิดเกล็ดแกรไฟต์น้อย ส่วนมากจะเกิดแกรไฟต์ กระจายละเอียดในเม็ด แกร็นส่วนชิ้นงานหนาๆน้ำเหล็กจะเย็นตัวช้าตามธรรมชาติ เหล็กหล่อเทาจะหลอมได้ จากเตาคิวโปลา เตาเหนี่ยวนำด้วยกระแสไฟฟ้า หรือเตาไฟฟ้าโดยใช้เหล็กดิบเทาบางส่วนและรวมกับชิ้นงานหล่อ ที่แตกหักเศษเหล็กกล้าและแอดดิชั่น (addition) เช่ น เฟอร์โรซิลิคอน (ferrosilicon) ในการขับไล่ กำมะถันจะใส่โซดา (Na_2CO_3) หินปูน (CaO) หรือแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) ≈ 0,4...0,5% ต่อ 0,02%S น้ำเหล็กจะหล่อเป็นรูปร่างและตามปกติแล้วจะ ไม่ผ่านกรรมวิธีอื่นหลังจากหล่อขึ้นรูป เหล็กหล่อเทา ซึ่งสามารถที่จะแบ่งได้ตามเกรดความต้านแรงดึงตั้งแต่ 100 N/mm2...400 N/mm2 ค่าความเค้นจะสูงขึ้น ถ้าแกรไฟต์กระจายละเอียดมากขึ้น เหล็กหล่อเทา จะมีความเค้นต่ำ เมื่อ โครงสร้างเม็ดแกร็น เป็นภาวะวิวิธพันธุ์ (Heterogenepus) การจะเกิดเกล็ดแกรไฟต์หยาบขึ้นได้ก็

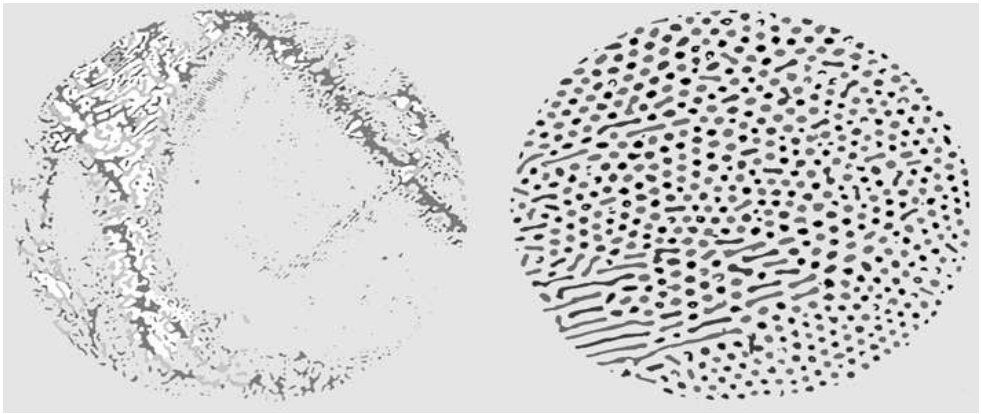
ต่อเมื่อโครงสร้างพื้นฐาน (Matrix) เป็นเฟอร์ไรต์ในเหล็กหล่อเทาที่เย็นตัวช้าหรือผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ระหว่าง 800° C ถึง 950°C แล้วให้เย็นตัวลงช้าๆส่วนการจะเกิดเกล็ด แกรไฟต์ละเอียดขึ้นได้ ก็ต่อเมื่อโครงสร้างพื้นฐานเป็นเฟอร์ไรต์- เพิร์ลไลต หรือเพร์ลไลต์ (Pearlite) และเย็นตัวเร็ว



รูปที่ 8.5 แสดงเหล็กหล่อเทา

6.2 เหล็กหล่อสีขาว (White cast iron)

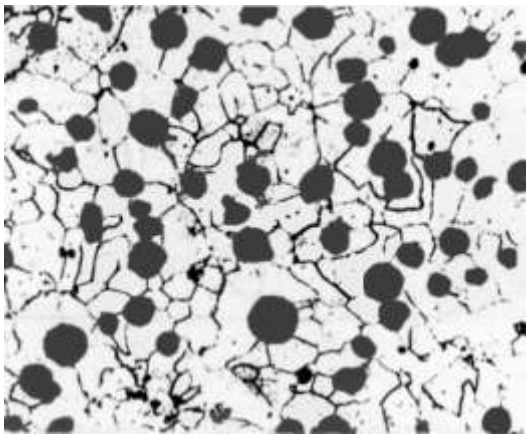
เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อที่มีคาร์บอนผสมอยู่ตั้งแต่ร้อยละ 1.7-2 ซึ่งคาร์บอนจะรวมตัวกับแม่เหล็กอยู่ในรูปคาร์ไบด์หรือซีเมนไทต์ (Fe_3C) ทำให้เหล็กมีความแข็งเปราะ และแตกหักได้ง่าย เนื้อเหล็กจะมีสีขาว เหล็กหล่อขาวนี้จะมีความแข็งอยู่ระหว่าง 380 – 550 HB ความแข็งนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามธาตุผสมอื่นๆอีกด้วยเช่น โครเมียมหรือโมลิบดินั่ม



รูปที่ 8.6 แสดงเหล็กหล่อสีขาว

6.3 เหล็กหล่อเหนียว (Ductile cast iron)

เป็นเหล็กหล่อที่มีแกรไฟต์ก้อนกลม แทรกอยู่ในเนื้อเหล็ก แกรไฟต์กลมเกิดจาก การเจือแมกนีเซียม ถึง 0,5% ด้วยการรวมตัว (Combination) ด้วย Ce และ Ca หรือเจือแมกนีเซียมส่วนเจือนิกเกิลแมกนีเซียม ส่วนเจือเฟอร์โร-ซิลิคอน-แมกนีเซียม (Ferro silicon magnesium) เพิ่มเข้าไปในเบ้า (ladle) แบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้ 3 ประเภท



รูปที่ 8.7 แสดงเหล็กหล่อเหนียว

เหล็กหล่ออบเหนียวสีดำ (GTS) (Black Heart Malleable) เหล็กหล่ออบเหนียวสีดำมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอยู่ประมาณ 2.1 – 3.4 % และยังมีธาตุที่ผสมอยู่เช่น ซิลิกอน : 0.8 –1.7% แมงกานีส : 0.4 - .07 % ฟอสฟอรัส : <0.12% กำมะถัน : < 0.2% เหล็กกล้าชนิดนี้ได้จากการนำเอาเหล็กหล่อสีขาวมาอบด้วยควา มร้อนภายในเตาที่มีบรรยากาศเป็นแก๊สเฉื่อย หรืออาจจะใช้ทรายปิดคลุมเหล็กหล่อเอาไว้ในขณะทำการอบ เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นที่ผิวของเหล็ก อุณหภูมิที่ใช้จะสูงอยู่ในช่วง 900 – 1000 C ของเวลานานประมาณ 30–50 ชั่วโมง โครงสร้างพื้นฐานเป็นเฟอร์ไรท์ (Ferrite) โดยมีกราไฟต์จับกลุ่มกระจายอยู่ทั่วไป

คุณสมบัติของเหล็กหล่ออบเหนียวสีดำ

1. ความเค้นแรงดึง (Tensile strength) 28-50 kg/mm^2

2. ความแข็ง (Hardness) 170-240 HB

3. อัตราการยืดตัว (Elongation) 6-14%

4. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) 7.25-7.45 (ขึ้นอยู่กับส่วนผสม) กรรมวิธีการผลิตได้จากนำเหล็กหล่อสีขาวที่ได้จากเตาคิวโบล่ามาผ่านกรรมวิธีอบอ่อนส่วนใหญ่ใช้ทำ อุปกรณ์เครื่องจักรกลที่รูปร่างยุ่งยาก เช่น อะไหล่รถยนต์ เช่น เสื้อสูบและ ก้านสูบ

เหล็กหล่ออบเหนียวสีขาว (GTW) (White Heart Malleable Cast Iron) เหล็กหล่ออบเหนียวสีขาวจะมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอยู่ประมาณ 2.3 – 3.4 % และยังมีธาตุที่ผสมอยู่เช่น ซิลิกอน 0.5 – 0.75% (ขึ้นกับความหนา) แมงกานีส (1.7 x5%) + 0.15% กำมะถัน < 0.20% และฟอสฟอรัส < 0.15% เหล็กหล่อชนิดนี้ทำ

จากเหล็กหล่อสีขาว เช่นเดียวกันเหล็กหล่ออบ เหนียวสีดำเพียงแต่กรรม วิธีการอบด้วยความร้อน กระทำภายใต้บรรยากาศมีการลดป ริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กไปพร้อม ๆ กับการอบความร้อน โดยใช้ผงเหล็กออกไซด์หรือแต่เหล็กปิดคลุมชิ้นงาน ความร้อนที่ใช้ 850 – 950 °C จะเกิดการแตกตัวของซีเมนต์ไตต์ และเกิดกราไฟต์จับกันเป็นกลุ่มแ ต่บริเวณผิวของเหล็กจะมีการลดปริมาณคาร์บอนลง มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นเฟอร์ไรท์และเพียร์ไรท์ (การเย็นตัวจะนานกว่าเหล็กหล่ออบเหนียวสีดำคือประมาณ 40 –100 ชั่วโมง)

คุณสมบัติทั่ว ๆ ไป

1. ความเค้นแรงดึง 30 –40 kg/mm^2
2. ความแข็ง 120 – 240 HB
3. อัตราการยืดตัว 4- 10%
4. ความถ่วงจำเพาะ 7.3- 7.7

กรรมวิธีการผลิต อบด้วยเหล็กหล่อสีขาวการใช้งาน ใช้ทำชิ้นงานหล่อบางๆ และใช้ทำท่อต่างๆ

เหล็กหล่ออบเหนียวเพิรลิติค (Pearlitic Malleable) เหล็กหล่ออบเหนียวเพิรลิติคเป็นเหล็กหล่ออบเหนียมที่มีความแข็ง และความเค้นแรงดึงสูงกว่าเหล็กหล่ออบเหนียวสีขาว และเหล็กหล่ออบเหนียวสีดำ แต่จะมีความเหนียวน้อยกว่ามีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอยู่ประมาณ 2.4% และมีธาตุที่ผสมอยู่เหมือนกับเหล็กหล่ออบเหนียวสีดำกรรมวิธีการผลิตเหล็กหล่อชนิดนี้เหมือนกับการทำเหล็กหล่ออบเหนียวสีดำคือนำไปอ บก่อน แต่จะต่างกันตอนที่ลดอุณหภูมิจาก 950 C จะลดลงมาช้าๆ จนถึงอุณหภูมิบรรยากาศโดยไม่หยุดที่ 750 °C ทั้งนี้เพื่อต้องการให้โครงสร้างเป็นเพิรไลท์ เหล็กหล่อชนิดนี้สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติได้มากโดยการใช้ความร้อน (Heat Treatment) คือ สามารถทำการชุบแข็งผิวได้ เพื่อการตัดและกลึงได้ง่าย และเพิ่มความเหนียว ส่วนใหญ่การใช้ในการทำชิ้นส่วนเครื่องมือทางการเกษตร

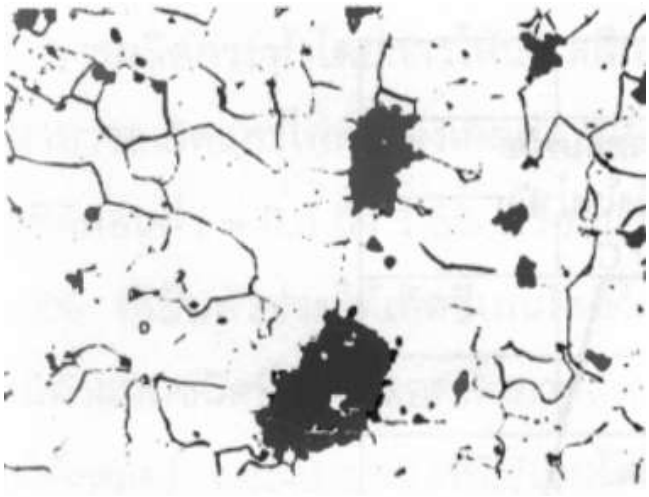
คุณสมบัติทั่ว ๆ ไป

1. ความเค้นแรงดึง 40 – 70 kg/mm^2
2. ความแข็ง 140 – 290 KB
3. อัตราการยืดตัว 2 – 10 %
4. ความถ่วงจำเพาะ 7.25 – 7.45 (ขึ้นอยู่กับส่วนผสม)

3.4 เหล็กหล่ออบเหนียวดำ

ในการผลิตเหล็กชนิดนี้ จะทำจากเหล็กหล่อดิบอบเหนียวที่มี Si มากกว่าชนิดที่ใช้ทำเหล็กหล่ออบเหนียวขาวประมาณ 0,5 ถึง 0,6% ด้วยกรรมวิธีใหม่จะให้เหล็กหล่อดิบอบเหนียวหลอมในเตาที่มีก๊าซไนโตรเจนอยู่ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการอบที่ 950° C ซีเมนต์ไตต์ที่แทรกอยู่ในเลเดอบูไรต์ (Ledeburite) จะแยกตัวกลายเป็นออสเตไนต์และเทมเปอร์คาร์บอน (temper carbon) เมื่อให้อุณหภูมิลดต่ำลงช้าๆ ประมาณ 2-3° C / ชั่วโมง ในช่วงระหว่าง 800 ° C ... 700 ° C จะเกิดการแยกตัวในขั้นตอนที่สอง ตอนนี้ออสเตไนต์จะกลายปืนเฟอร์ไรต์และเทมเปอร์ คาร์ บอน (temper carbon) การอบแบบนี้จะต้องใช้เวลาหลายวัน แต่เนื่องจากมีปริมาณซิลิคอนสูงที่ช่วย ให้เกิดการแยกตัวเป็นแกรไฟต์จึงทำให้

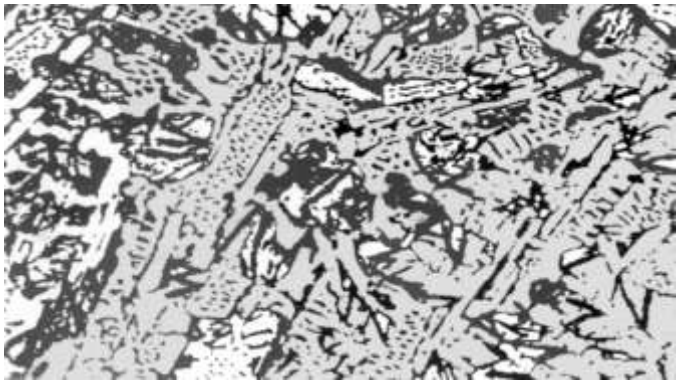
เวลาอบสั้นลงกว่าเหล็กหล่ออบเหนียวขาว



รูปที่ 8.8 แสดงเหล็กหล่ออบเหนียวเพิรลิติค

6.4 เหล็กหล่อผสม หรือเหล็กพิเศษ (Alloys or Special cast iron)

เหล็กหล่อชนิดนี้นอกจากมีคาร์บอนผสมอยู่แล้ว ยังมีธาตุอื่นๆ ผสมเพิ่มเติมด้วย เช่น โครเมียม นิกเกิลและโมลิบดินั่มเป็นต้น นอกจากนี้เพื่อให้ เหล็กหล่อชนิด นี้มีความแข็งขึ้น ทนทานต่อการเสียด สี ต้านทานแรงดึง และแรงกระแทกได้ เป็นอย่างดี



รูปที่ 8.9 แสดงเหล็กหล่อผสมหรือเหล็กพิเศษ

7. เหล็กหล่อผสมหรือเหล็กหล่อพิเศษ (Alloy and Special Cast Iron)

เหล็กหล่อผสมหรือเหล็กหล่อพิเศษเป็นเหล็กหล่อที่ถูกสร้างขึ้นมา เพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เหล็กหล่อชนิดนี้มีอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับสารหรือโลหะที่ผสมในเนื้อเหล็กหล่อ พอจะแบ่งออกตามการใช้งานได้ 3 ประเภทคือ

1. เหล็กหล่อผสมทนการเสียดสี
2. เหล็กหล่อผสมทนต่อความร้อน
3. เหล็กหล่อผสมทนต่อการกัดกร่อน

7.1 เหล็กหล่อผสมทนการเสียดสี (Alloy and Special Cast Iron)

เหล็กหล่อผสมทนการเสียดสีเป็นเหล็กหล่อที่มีความแข็งสูงโดยผสมโลหะโครเมียมนิกเกิลและโมลิบดินัม ส่วนใหญ่จะมีลักษณะของรอยแตกเป็นสีขาว คล้ายกับเหล็กหล่อสีขาว

เหล็กหล่อ Ni-Hard เป็นเหล็กหล่อที่มีความแข็งสูง มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอยู่ประมาณ 2.8 – 3.6% และมีธาตุที่ผสมอยู่เช่น ซิลิคอน , แมงกานีส,กำมะถัน , ฟอสฟอรัส, นิกเกิล และ โครเมี่ยม เหล็กหล่อชนิดนี้เมื่อผสมกับโลหะโครเมียม นิกเกิล และโมลิบดินัม จะมีรอยแตกมีลักษณะสีขาวคล้ายเหล็กหล่อสีขาว โครงสร้างจะอยู่ใน Myp-eulectic และถ้าเติมนิเกิลกับโครเมียมจะรวมตัวกันให้คาร์ไบด์ และไปแทนที่เหล็กในซีเมนไตต์ ทำให้มีความแข็งเพิ่มขึ้น และทนต่อการสึกหรอลักษณะการใช้งานส่วนใหญ่ใช้ทำชิ้นส่วน Linear plate ใน เครื่องบด , ใบพัดปั๊มแร่ตามเหมืองแร่ , ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบ , ปูนซีเมนต์

คุณสมบัติโดยทั่วไป

1. ความต้านทานแรงดึง
2. ความต้านทานแรงกระแทก

เหล็กหล่อโครเมียมสูง เหล็กหล่อโครเมียมสูงเป็นเหล็กหล่อที่มีเปอร์เซ็นต์ของโครเมียม 10 –30% มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 2.0-3.0% ธาตุที่ผสมอยู่คือ ซิลิกอน , แมงกานีส , โมลิบดินัม เนื่องจากโครเมียมจะรวมตัวกับคาร์บอนในเหล็กหล่อเกิดเป็นโครเมียมจะรวมตัวกับคาร์บอนในเหล็กหล่อเกิดเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ ซึ่งมีคุณสมบัติทนต่อการเสียดสีได้สูง มีอายุการใช้งานยาวนาน มีโครงสร้างเป็นแบบเฟอ ร์ไรท์ กรรมวิธีการผลิต เตาคิวโปล่า , เตาหลอมไฟฟ้าใช้งานใน อุตสาหกรรมทำสี , เหมืองแร่ปูนซีเมนต์

7.2 เหล็กหล่อทนความร้อนสูง (Heat Resistance Cast Iron)

มีคุณสมบัติเด่นอยู่ 3 ประการคือ

1. มีความแข็งแรงได้ที่อุณหภูมิสูง โดยไม่เกิดการแตกหักหรือเปลี่ยนแปลงรูปทรง
2. มีความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชั่น แม้จะอยู่ในสภาพที่สัมผัสกับแก๊สร้อน

3. มีความต้านทานต่อการเกิดอาการพองตัว (Growth) และมีโครงสร้างที่คงสภาพไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงของอุณหภูมิที่ใช้งานซึ่งจะสูงกว่า 600 C กรรมวิธีการผลิตสามารถ หลอมในบรรยากาศ แก๊สเฉื่อย แบ่งออกเป็นหลายประเภทเช่น

เหล็กหล่อ Ni-resist เป็นเหล็กหล่อชนิดที่มีออกไซด์ และจะมีความต้านทานออกซิเจนแทรกตัว (Oxidation-resistance scale) มีธาตุที่ผสมอยู่เช่น โครเมียม , โมลิบดินัม และนิกเกิลประมาณ 20 – 30 %

เหล็กหล่อซิลิคอนสูง เป็นเหล็กหล่อชนิ ดทนความร้อน และมีโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรท์มีธาตุที่ผสมอยู่เช่น แมกนีเวียม ,โมลิบดินัม , ซิลิคอน 4- 6% ส่วนมากใช้งานในการ ทำหัวเผาของเตาอบ และ ทำท่อไอเสียเครื่องยนต์

เหล็กหล่อผสมอะลูมิเนียม เหล็กหล่อชนิดนี้มีต้านทานการแพร่ของออกซิเจนได้ดีมีธาตุที่ผสมอยู่เช่น โมลิบดินัม และ อะลูมิเนียมการใช้งาน ใช้ในงานที่ต้องการความต้านการพองตัว (Growth)

เหล็กหล่อผสมโครเมียม โครงสร้างโดยทั่วไปเหมือนกับเหล็กหล่อขาว แต่ความเหนียวจะน้อยกว่าและมีความต้านทานต่อการแทรกตัวของออกซิเจนได้ดีส่วนมากใช้งานในการ อุปกรณ์ในงานเตาอบ เช่น หัวเผา , เตาไฟ, Recuperator tube

8. เหล็กหล่อทนการกัดกร่อน (Corrosion Resistant Iron)

เหล็กหล่อทนการกัดกร่อนเป็นเหล็กหล่อที่มีธาตุผสมในอัตราสูงแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

8.1 เหล็กหล่อผสมนิกเกิลสูง

เป็นเหล็กหล่อที่ทนการกัดกร่อนสูง มักใช้ในงานวิศวกรรมที่เกี่ยวกับน้ำทะเล งานอุตส าหกรรมเคมี เปอร์เซ็นต์คาร์บอน 2 –3.5% ธาตุที่ผสมอยู่ นิกเกิล 13.5-36% ,ทองแดง 5.5 –7.5% , โครเมียม 1.8- 6% การใช้งาน ผลิตปั๊ม ท่อ ข้อต่อต่างๆ

8.2 เหล็กหล่อผสมซิลิคอนสูง

มีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนโดยเฉพาะกรดชนิดต่างๆ ได้ดี ทุกๆ ความเข้มข้นที่อุณหภูมิห้อง เปอร์เซ็นต์คาร์บอน 2-4% ธาตุที่ผสมอยู่ ซิลิกอน 14-15% โมลิบดินัม, โครเมียมการใช้งาน ทำปั๊ม และท่อส่งสารละลายที่มีอำนาจในการกัดกร่อนสูง (High corrosive fluid)

9. เหล็กกล้า (อังกฤษ: Steel)

คือ เหล็ก (สัญลักษณ์ทางเคมี : Fe) ที่ผ่านกรรมวิธีเพิ่มสารอื่นๆเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กให้ดีขึ้น เป็นโลหะผสมที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเหล็กที่มีปริมาณ คาร์บอน อยู่ระหว่าง 0.2 – 2.04% โดยน้ำหนักขึ้นกับคุณภาพ คาร์บอนเป็นวัสดุผสมที่ลดต้นทุนของเหล็กแต่ก็มีการใช้ธาตุอื่นๆ เช่น แมงกานีส โครเมียม วานาเดียม และทังสเตน คาร์บอนและธาตุอื่นๆเป็นตัวทำให้แข็ง การเปลี่ยนปริมาณธาตุที่ผสมในโลหะผสมที่พบในเหล็กกล้า มีส่วนในการควบคุมคุณภาพทั้งด้านความแข็ง การรีดเป็นแผ่นได้ และความตึงของเหล็กกล้าที่ได้ เหล็กกล้าที่มีโครงสร้างของแกรไฟต์แบบกลมปรากฏอยู่จะพบว่ามีความอ่อนตัวสูง เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนมากขึ้นจะแข็งแกร่งและมีความแข็งมากกว่าเหล็ ก แต่จะเปราะ ค่าสูงสุดใน

การละลายของคาร์บอนในเหล็กเป็น 2.14% โดยน้ำหนัก เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 1149 องศาเซลเซียสในการอบใช้อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นที่สูงกว่านี้หรือหรืออุณหภูมิต่ำกว่านี้จะเกิดลักษณะเป็นซีเมนต์ โลหะผสมที่มีคาร์บอนมากจะเป็นเหล็กที่มีความแข็งมาก เพราะมีจุดหลอมเหลวต่ำ และมีความแข็งเหล็กกล้าต่างจากเหล็กบริสุทธิ์ที่มีอะตอมของธาตุอื่นน้อยมาก แต่มีกากแร่ 1-3% โดยน้ำหนักในรูปของอนุภาคอยู่ในทิศทางหนึ่ง ซึ่งมีความทนทานกว่าเหล็กกล้า และโค้งงอง่ายกว่าแบ่งเป็น

เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steel) คือเหล็กกล้าที่มีการเพิ่มธาตุคาร์บอน (สัญลักษณ์ทางเคมี : C) เข้าไป เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกลให้กับเหล็ก

เหล็กกล้าประสม (Alloy steel) เหล็กกล้า มีการผลิตเหล็กกล้าคุณภาพต่ำในช่วงก่อน ยุคฟื้นฟูศิลปวิทยาการ และเริ่มมีวิธี ผลิตที่มีประสิทธิภาพตั้งแต่พุทธศตวรรษที่ 22 และเริ่มเป็นสินค้าที่มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยถูกตั้งแต่ช่วงพุทธศตวรรษที่ 24 และการลดต้นทุนการผลิตยังช่วยเพิ่มคุณภาพของเหล็กกล้าด้วย ทุกวันนี้ เหล็กกล้าเป็นวัตถุดิบทั่วไปในการก่อสร้างอาคารและเครื่องมือต่างๆ

10. การถลุงเหล็กกล้า

เหล็กกล้าเป็นสิ่งที่ผลิตได้ตั้งแต่สมัยโบราณ บางส่วนของเหล็กกล้าในยุคแรกพบที่ แอฟริกาตะวันออก เมื่อ 1,400 ปีก่อนคริสตกาล ในศตวรรษที่ 4 ก่อนคริสตกาลมีการผลิตอาวุธด้วยเหล็กกล้าในคาบสมุทรไซบีเรีย ส่วนเหล็กกล้านอริกมีใช้ในกองทัพโรมัน ใน จีนสมัยที่มีสงครามระหว่างรัฐ (403 – 221 ปีก่อนคริสตกาล) มีการใช้เหล็กกล้าแล้วเช่นกัน ในสมัย ราชวงศ์ฮั่น มีการผลิตเหล็กกล้าโดยการหลอมเหล็กหลอมควบคู่กับแร่เหล็กได้เป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนปานกลาง

10.1 เหล็กกล้า (Steel)

เหล็กกล้าเป็นเหล็กที่ผลิตได้จากการหลอมละลายเหล็กดิบสีขาว (Gray Pig Iron) ที่ได้จากเตาสูงให้บริสุทธิ์ขึ้น โดยทั่วไปเหล็กกล้าจะมีปริมาณธาตุคาร์บอน (C) ผสมอยู่ประมาณ 0.008% ถึง 2% โดยน้ำหนักนอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นปนอยู่ในรูปของสารมลทิน (Impurities) อีกเช่น ซิลิกอน (Si) แมงกานีส (Mn) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) ซึ่งสารมลทินเหล่านี้จะถูกกำจัดออกให้หมดหรือให้เหลือในปริมาณตามที่ต้องการโดยให้สารมลทินเหล่านี้รวมตัวกับ ฟลั๊กซ์ (Flux) กลายเป็นขี้ตะกรัน (Slag) ออกมาวิธีกำจัดสารมลทินจะแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีแบบกรด (Acid) และแบบด่าง (Basic) การเลือกที่จะใช้วิธีใดก็จะขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารมลทิน

วิธีแบบกรด (Acid) เตาเผาแบบกรดจะบุผนังเตาด้วยอิฐทนไฟที่ทำด้วยวัสดุกรด เช่น ซิลิกอน (Silicon) แมงกานีส (Manganese) หรือกานีสเตอร์ (Ganister) เพื่อป้องกันความเสียหายของวัสดุบุผนังเตาที่เป็นกรด เพราะขี้ตะกรันที่ได้จากการถลุงเหล็กจะมีสภาพเป็นกรดที่ได้จากการถลุงเหล็กจะมีสภาพเป็นกรดและจะมีซิลิกอนมาก จะพยายามรวมตัวเป็นกลางด้ วยการไปขัดสีกับวัสดุบุผนังที่มีสภาพเป็น ด่าง ส่วน

วัตถุดิบที่ฟลั๊กซ์ (Flux) ก็จะเป็นกรดด้วย เช่น หินควอทซ์ (Quartz) หรือหินเขี้ยวหนุมาน ซิลิก้า (SiO_2) ซึ่งสามารถกำจัดสารมลทินจำพวกซิลิกอนแมงกานีสได้ดีและคาร์บอนแต่ไม่อาจกำจัดฟอสฟอรัสและกำมะถัน

วิธีแบบด่าง (Basic) เตาเผาในกระบวนการด่างจะต้องมีวัสดุบุประกอบด้วยวัสดุทนไฟด่าง เช่น อลูมิน่า (Alumina) ไดโลไมท์ (Dolomite) และแมกนีไซด์ (Magnesite) ส่วนประสมเพิ่มและฟลั๊กซ์ (Flux) ที่เติมลงไปในเตาก็จะมีสภาพเป็นด่างด้วย เช่น ปูนขาว , หินปูน (Lime) ซึ่งสามารถกำจัดสารมลทินต่างๆ ได้ดีโดยเฉพาะฟอสฟอรัสและกำมะถันในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กส่วนมาก การผลิตเหล็กกล้า (Steel) จะใช้กระบวนการเตาเปิดแบบกรด (Open-hearth process) และเตาไฟฟ้าแบบกรด (Electric are process) แต่การผลิตเหล็กกล้าอ่อน (Wrought Steel) จะให้กระบวนการเตาเปิดแบบด่างและเตาไฟฟ้าแบบด่าง

	แบบด่าง (Basic)	**แบบกรด (Acid)**
วัสดุทนไฟที่ใช้ประกอบเตา	Magnesite	Silica
สารมลทิน (Impurities	มี Phosphorus มาก มี Silicon น้อย	มี Silicon มาก มี Phosphorus น้อย
ขี้ตะกรัน (Slag)	เป็นด่าง (มีหินปูนมาก)	เป็นกรด (มี Silica มาก)
สารมลทินที่ถูกกำจัดจาก ปฏิกิริยา Oxidation	C, Si, Mn, P, S	C, Si, Mn

ตารางที่ 8.1 แสดงตารางเปรียบเทียบการผลิตเหล็กกล้าแบบด่างและแบบกรด

10.2 การผลิตเหล็กกล้าโดยกรรมวิธีเบสเซเมอร์ (Bessemer's Process)

กรรมวิธีเบสเซเมอร์เป็นการกำจัดสารมลทินส่วนใหญ่ที่เจือปนอยู่ใ นน้ำเหล็กดิบออกด้วยกรรมวิธีแบบกรด โดยการนำเอาน้ำเหล็กดิบที่ถลุงจากเตาสูงมาเทลงในเตา (Converter) ซึ่งปากเตาจะมีลักษณ ะเป็นปากเอียงดังรูป ตัวเตาตั้งอยู่บนแกนที่สามารถหมุนได้รอบแกนในแนวราบ ผนังเปลือ กนอก (Steel) เป็นเหล็กกล้า ผนังภายในบุด้วยวัสดุทนไฟที่มีลักษณะเป็นกรดอย่างแรงซึ่งส่วนมากจะมีซิลิกาเป็นส่วนประกอบเป็นสำคัญหนาประมาณ (30-38 cm.) ที่ก้นเตาจะเจาะเป็นรูเล็กๆ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ¼" เรียกว่ารูอากาศเป็นรูที่อากาศถูกอัดผ่านด้วยเครื่องเป่าอา กาศจากหีบลม (Wine box) ผ่านขึ้นไปยังน้ำเหล็กดิบที่หลอมเหลว มีผลทำให้สารมลทินและออกไซด์ต่าง ๆ ถูกเผาไหม้และถูกดูดออกไปกลายเป็นขี้ตะกรันในสภาพกรด เนื่องจากเหล็กออกไซด์ที่ยังไม่ได้รวมตัวกันจะมีปฏิกิริยากัดกร่อนอย่างรุนแรงต่อวัสดุบุ ฉะนั้นก้นเตาจึงถูกกัดกร่อนรวดเร็วมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณของท่ออากาศเป็นที่ซึ่งอากาศพบกับเหล็กหลอมเหลว วัสดุบุก้นเตาจึงมีอายุการเผาจำกัดประมาณ 20-26 ครั้ง แม้ว่าจะมีการซ่อมแซมระหว่างการเผาแต่ละครั้งก็ตาม ด้วยเหตุนี้ก้นเตาจึงถูกออกแบบมาให้สามารถถอดออกง่าย เตาคนเวอร์เตอร์ที่บรรจุน้ำเหล็ก

ดิบได้ครั้งละประมาณ 10-15 ตัน จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในส่วนที่เป็นทรงกระบอกประ มาณ 2.4 เมตร และมีความสูงจากก้นเตาภายในถึงปากประมาณ 4.6 เมตร

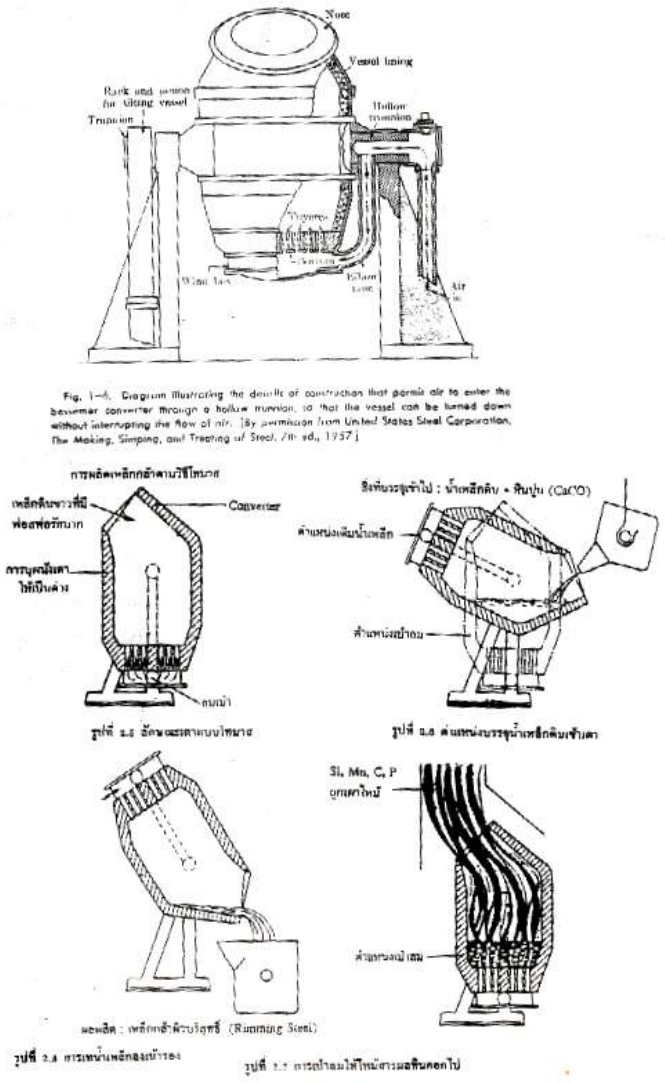
การทำงานของเตาโดยกรรมวิธีเบสเซเมอร์

1. น้ำเหล็กดิบที่ได้จากเตาสูงในถังโลหะร้อน จะถูกป้อนเข้าสู่เตาในขณะที่เตาเอียงในตำแหน่งแนวนอน

2. กระแสลมจะเริ่มผ่านเข้าไปในท่ออาก าศทางก้นเตา พร้อมกับตัวเ ตาค่อยๆ กลับคืนสู่ตำแหน่งแนวตั้งเพื่อป้องกันน้ำเหล็กดิบไหลเข้าไปในท่ออากาศ ระหว่างการพ่นลมเข้าจากใต้เตา ออกซิเจนที่มีอยู่ในลมจะทำปฏิกิริยากับ ซิลิกอน (Si) และเหล็ก (Fe) กลายเป็นซิลิก้า (SiO2) และ เฟอร์ริดออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่งเฟอร์ริดออกไซด์บางส่วนที่ละลายอ ยู่ในน้ำเหล็กดิบจะไปทำปฏิกิริยา Oxidizes กับแมงกานีสให้มีปริมาณลดลงเหลือเพียงเล็กน้อย ทั้งหมดนี้จะใช้เวลาประมาณ 2-5 นาทีจากนั้นออกซิเจนจะเริ่มทำปฏิกิริยารวมตัวกับคาร์บอนในน้ำเหล็กเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งจะถูกพ่นออกมา เผาไหม้อยู่บริเวณปากเตา เปลวไฟที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะสีเหลืองแดงและจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเปลว ไฟร้อนมาก มีสีขาวจากนั้นจะค่อย ๆ หรี่ ดับลงแสดงว่าสารมลทินถูกกำจัดออกเกือบหมดและเปลี่ยนเป็นขี้ตะกรันลอยอยู่เหนือน้ำเหล็ก

3. หมุนเตากลับไปในแนวนอนอย่างระมัดระหวังพร้อมกับปิด กระแสล มใต้เตา จากนั้นเอียงเตาอย่างช้าๆ เพื่อเทเอาขี้ตะกรันออกลงภาชนะที่รองรับ นำเหล็กที่เหลืออยู่ในเตาขณะนี้ยังเป็นเหล็กกล้าอ่อนอยู่ (Dead mild steel) คือเป็นเหล็กกล้าที่มีปริมาณของคาร์บ อนอยู่น้อยเกินไปซึ่งเป็นข้อบกพร้องของกรร มวิธีเปสเซเมอร์ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการเติมสารเฟอร์โรแมงกานิส (Ferro-manganese) ซึ่งจะมีส่วนผสมของ Mn=78% c=6-7%) ลงไปในปริมาณที่พอเหมาะในการเติ มสารเฟอร์โรแมงกานิสไม่เพียงแต่จะเพิ่มปริมาณของคาร์บอนเท่านั้น แต่แมงกานิสยังจะทำปฏิกิริยากับสารละลายของเหล็กออกไซด์ ออกมาเป็นแมงกานิสออกไซด์ (Mno) และรวมตัวอยู่ในขี้ตะกรันอีกด้วยจะมีแมงกานีสบางส่วนที่เหลืออยู่ในน้ำเหล็กแต่ก็เป็นปริมาณที่น้อยจึงไม่มีผลต่อน้ำเหล็กมากนัก

3. เทน้ำเหล็กลงในแบบที่เตรียมไว้ (Ingot Molds) หลังจากนั้นนำแท่งเหล็กที่ยังร้อนอยู่ไปรีดขึ้นรูปหรือตีเป็นแผ่นตามรูปพรรณที่ต้องการต่อไปโดยไม่ต้องเพิ่มความร้อนอีก



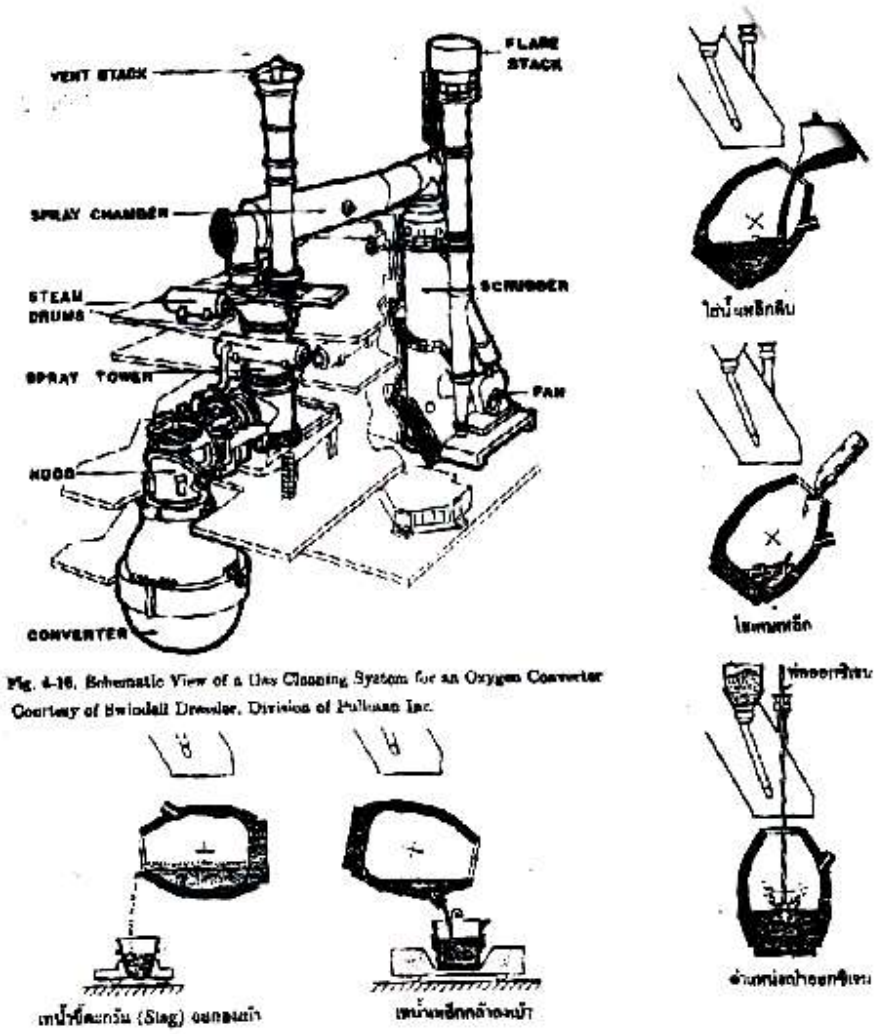
รูปที่ 8.10 แสดงการผลิตเหล็กกล้าโดยกรรมวิธีเบสเซเมอร์

10.3 การผลิตเหล็กกล้าโดยกรรมวิธีโธมัส (Thomas Process)

กรรมวิธีโธมัสเป็นการกำจัดสารมลทินออกจากน้ำเหล็กดิบ โดยกรรมวิธีแบบด่าง โดยจะมีลั กษณะการทำงานคล้ายกับกรรมวิธีเบ สเซเมอร์แต่จะต่างกันที่น้ำเหล็กดิบที่ผลิตโดยกรรมวิธีโธมัสจะมีฟอสฟอรัสประสมอยู่มาก ซึ่งกรรมวิธีเบสเซเมอร์ไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเหล็กดิบออกได้เพราะฟลั๊กซ์ที่ใช้จะไม่ทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสจึงทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสเหลืออยู่ในน้ำเหล็กมาก ซึ่งจะทำให้เหล็กมีคุณสมบัติเปราะ (Brittleness) เมื่อเย็นตัวลงนอกจากนี้กรรมวิธีโธมัสยังมีวัสดุบุหรืออิฐทนไฟที่มีคุณสมบัติเป็นด่างเช่นแร่ โดโรไมด์ (Calcium dolomite) หุ้มรอบผนังเตาด้านในส่วนฟลั๊กซ์ที่ใช้ได้แก่ หินปูน ซึ่ง จะถูกเติมลงไปก่อนจะเทน้ำเหล็ กลงไปในเตากรร มวิธีนอกเหนือจากนี้จะเหมือนกับกรรมวิธีเพสเซเมอร์หมดขี้ตะกรันที่ได้จากกรรมวิธีโธมัสจะมีฟอสฟอรัสผสมอยู่มาก ถึง 20% ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมผลิตปุ๋ยใช้ในการเกษตรได้ดี

10.4 การผลิตเหล็กกล้าโดยกรรมวิธีออกซิเจน (Direct-Oxygen or L-D Process)

การผลิตเหล็กกล้าวิธีนี้ ได้มาจากการปรับปรุงข้อเสียของการผลิตโดยกรรมวิธีเบสเซเมอร์ ที่ใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศโดยตรงมาช่วยในการเผาไหม้ จึงทำให้ แก๊สไนโตเจน (N_2) ที่ปนอยู่ในอากาศละลายและแทรกตัวอ ยู่ในน้ำเหล็ก ซึ่งเกสไนโตเจนเหล่ านี้จะรวมตัวกับอะตอมของเหล็กอยู่ในรูปของสารประกอบไนเตรต (Nitrede) เมื่อเหล็กเย็นตัวลงสารประกอบไนเตรตที่อยู่ในแกรน (Grain) ของเหล็ก จะทำให้เหล็กมีคุณสมบัติที่แข็งแต่เปราะวิธีนี้นายลินซ์ (Linz) และนายโนาวิตซ์ (Donavwitz) ได้พยายามแก้ไขข้อเสียนี้โดยใช้แก๊สออกซิเจนเป่าใส่น้ำเหล็กแทนที่จะใช้อ ากาศแบบเดิม จึงเรียกกรรมวิธีนี้ว่า L-D Process การที่ใช้ แก๊ส ออกซิเจนเป่าใส่น้ำเหล็กจะใช้เวลาที่สั้นจึงทำให้การผลิตเหล็กแบบวิธีนี้ รวดเร็ว เบา เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตแบบวิธีอื่นและยังประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้มาก จึงมีการนิยมใช้เตาผลิตเหล็กวิธีนี้กันมาก โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาลักษณะของเตา (convertor) จะมีลักษณะคล้ายเตาแบบกรรมวิธีเบสเซเมอร์ แต่ก้นเตาจะปิดสนิท ภายในเตาจะหุ้มด้วยอิฐทนไฟ หรือวัสดุบุที่มีคุณสมบัติเป็นด่า ง (basic) ตรงปากเตาจะมีท่อสำหรับพ่นแก๊ สออกซิเจนเสียบลงมา และบริเวณรอบ ๆเตาจะมีน้ำเป็นตัวระบายความร้อน เนื่องจากเหล็กที่ได้จะมีอุณหภูมิสูงมาก



รูปที่ 8.11 แสดงการผลิตเหล็กกล้าโดยกรรมวิธีออกซิเจน

การทำงานของเตาแบบ L-D Process

1. เอียงเตาหลอมลงมาเพื่อที่จะใส่เศษเหล็ก ที่จะหลอมแกะน้ำเหล็กดิ บลงไปโดยปริมาณประมาณ 65 – 85 องศา

2. หมุนตัวเตากลับไปอยู่ในแวดดิ่งตัวตรง หย่อนท่อ แก๊สออกซิเจนลงมาในเตาจนกระทั่งปลายท่อจ่ออยู่เหนือน้ำเหล็กดิบประมาณ 50 –75 ซม. เป่าออกซิเจนลงบนผิวน้ำเหล็กดิบ (ออกซิเจนบริสุทธิ์ประมาณ 98 %) ระหว่างที่ป่าออกซิเจนลงไปนั้นให้เติมปูนขาวลงไปด้วยเพื่อจะได้ รวมตัวกับฟอสฟอรัสกลายเป็นขี้ตะกรันลอยขึ้นมาที่ส่วนบนของน้ำ เหล็กใช้ปูนขาวประมาณ 75 กิโลกรัมต่อเหล็ก 1 ตัน

3. การเป่าออกซิเจน ลงสู่เตาจะเป่าด้วยความดันบรรยากาศระหว่ าง 4 –12 บรรยากาศซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation อย่างรุนแรงบริเวณผิวหน้าของน้ำเหล็ก ทำให้น้ำเหล็กเกิดการไหลวนเวียนอยู่ในเตา ออกซิเจนจึงมีโอกาสสัมผัสกับน้ำเห ล็กอยู่ทั่วถึงจึงทำให้เกิดการคว บตัวกับ คาร์บอน ซิลิกอน และแมงกานิส กลายเป็นขี้ตะกรันลอยขึ้นมาที่ส่วนบนของน้ำเหล็กต่อไป

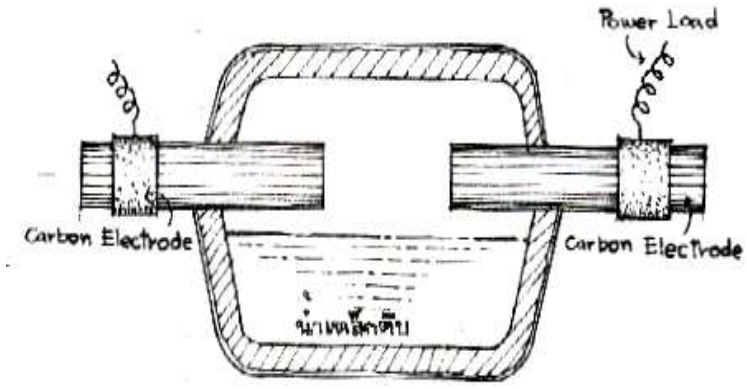
4. จากปฏิกิริยา Oxidation จะทำให้น้ำเหล็กมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำเหล็กแบบเบสเซเมอร์เพราะใช้ออกซิเจนที่บริสุทธิกว่า ซึ่งจะทำให้น้ำเหล็กและผนังเตาไหม้ได้ง่าย เราจะลดอุณหภูมิให้ต่ำลงโดยการเติมเศษ เหล็กกล้าและฟลั๊กซ์ที่เป็นหินปูนลงไปอีกประมาณ 30% รวมปฏิกิริยาทั้งหมดใช้เวลาประมาณ 15- 20 นาที

5. เมื่อนำเหล็กกล้าละลานได้ส่วนผสมดีแล้ว เอียงเตาหลอมลงมาเพื่อเทขี้ตะกรันออกลงเบ้าจา กนั้นพลิกเตากลับเพื่อเทน้ำเหล็กลงเบ้านำไปใช้งานต่อไป

10.5 การผลิตเหล็กกล้าโดยกรรมวิธีเตาไฟฟ้า (Electric Arc Furnace process)

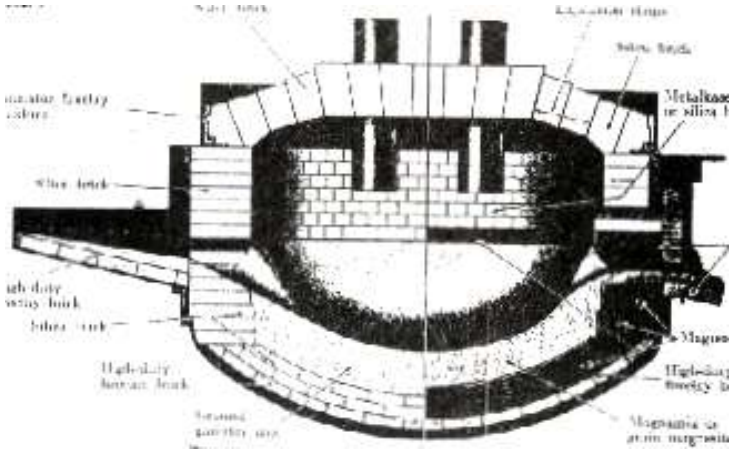
การผลิตเหล็กกล้าโดยกรรมวิธีเตาไฟฟ้า เป็นการใช้ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้ามาหลอมเหล็กให้ละลาย กรรมวิธีการผลิตเหล็กโดยเตาไฟฟ้านี้จะมีข้อดีคือสามารถทำให้มีอุณหภูมิสูงมากในเวลาอันรวดเร็ว สามารถควบคุมการเติมออกซิเจนการลดออกซิเจนได้ดี ตลอดจนสามารถควบคุ มปริมาณการเติมสารประสมเพิ่มต่าง ๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเหล็กให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน จึงทำให้ผลิตเหล็กได้มีคุณภาพสูงและเพื่อจุดมุ่งหมายพิเศษ นอกจากนี้ยังประหยัดค่าใช้จ่ายในกรณีที่มีการหยุดผลิต เป็นช่วงๆ แต่ค่าใช้จ่ายโดยรวมก็ยังมากกว่ากรรมวิธี การผลิตแบบเบสเซเมอร์หรือแบบ L-D Process อยู่เตาเผาไฟฟ้าจะมีตัวเตาสร้างด้วยแผ่นเหล็กกล้าและบุผนังด้วย วัสดุทนไฟชนิดกรดหรือด่างก็ได้ หากเป็นกรรมวิธีแบบด่างจะบุด้วยแมกนี่ไทท์ หรือโดโกไมท์ แต่หากเป็นกรรมวิธีแบบ กรดจะบุด้วยซิลิก้า ส่วนบนหลังคาจะบุด้วยอิฐทนไฟอิฐมีรูสำหรับสอดแท่งคาร์บอนอีเกดโทรด (Carbon Electrode) ผ่านลงมา มีประตูสำหรับป้อนน้ำเหล็กดิบและรูสำหรับปล่อยน้ำเหล็กกล้าที่หลอมเสร็จแล้วออก

เตาไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจากการแผ่รังสีอย่างเดียว (The Indirect arc Furnace) เตาแบบนี้จะใช้แท่งคาร์บอน อีเลคโทรค ทำให้เกิดการอาร์ค (Arc) ขึ้นที่ปลายซึ่งอยู่เหนือน้ำเหล็กความร้อนที่เกิดจากการอาร์คของแท่งคาร์บอน อิเลคโทรดจะแผ่รังสีเข้าไปยังน้ำเหล็กที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำเหล็กสูงขึ้น จนถึงจุดที่เหล็กหลอมละลาย เตาแบบนี้นิยมใช้กันน้อยมาก เพราะเกิดการสูญเสียความร้อนให้แก่ส่วนหลังคา และผนังเตาจึงเป็นการไม่ประหยัด ส่วนมากจะใช้กั้นในห้องปฏิบัติการเล็กๆ เป็นเตาขนาดเล็กและทำงานในเวลาสั้นๆ



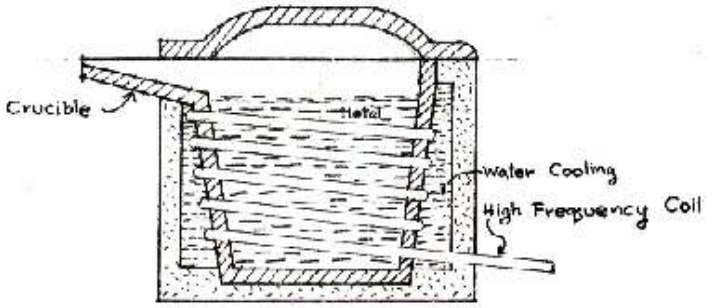
รูปที่ 8.12 แสดงการผลิตเหล็กกล้าโดยกรรมวิธีเตาไฟฟ้า

เตาไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจากการแผ่รังสีและความต้านทานไฟฟ้า (The direct arc Furnace) เตาแบบนี้จะให้แท่งคาร์บอนอิเลคโทรดทำให้เกิดการอาร์คกับเศษเหล็กในเตา โดยให้เศษเหล็กเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้า ความร้อนที่ได้รับจะมีอยู่ 2 ทาง คือ เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เศษเหล็กซึ่งมีความต้านทานจนทำให้อุณหภูมิของเหล็กสูงขึ้นจนถึงจุดที่หลอมละลายและเกิดจากการอาร์คของแท่งคาร์บอน อิเลคโทรดเองแล้วแผ่รังสีความร้อนออกไปจนกระทั่งทำให้อุณหภูมิของเหล็กสูง กระแสไฟฟ้าที่ใช้จะมีทั้ง Single phase และ Three phase โดยจะใช้กระแสประมาณ 12,000 Ampare และแรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 40 Volts โดยใช้แท่งคาร์บอนอิเลคโทรด 2 แท่ง หรือ 3 แท่ง ซึ่งแต่ละแท่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร และยาวประมาณ 2 เมตร เตาแบบนี้ส่วนมากจะใช้ในงานอุตสาหกรรมการถลุงเหล็กกล้าที่มีโลหะผสมต่ำ (Low – alloy steel) เป็นเตาขนาดใหญ่ ที่ใช้เหล็กจากกรรมวิธีเบสเซเมอร์เป็นวัสดุป้อน



รูปที่ 8.13 แสดงเตาไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจากการแผ่รังสีและความต้านทานไฟฟ้า

เตาแผาเหนี่ยวนำไฟฟ้า (The Electric Induction Furnace) เป็นเตาที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กภายในเนื้อเหล็ก โดยจะเกิดกระแสเหนี่ยวนำ (Induction eddy current) กระทั่งเกิดความร้อนขึ้นภายในเนื้อเหล็กจนเหล็กหลอมละลาย ตัวเตาจะประกอบด้วยขดลวดทองแดงที่หุ้มฉนวนพันอยู่โดยรอยและมีน้ำไหลผ่าน ผนังด้านนอกอีกชั้นหนึ่งเพื่ อระบายความร้อนการทำงานของเตาจะเริ่มขึ้นเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่สูง (High Frequency) ประมาณ 500-2,000 cycle /Second ผ่านขดลวดทองแดงทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux) ขึ้นรอบๆ ขดลวดทองแดงภายในเตาและสนามแม่เหล็กจะผ่านเข้าไปในเนื้อเหล็ก เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่สูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กมาก จึงมีกระแสเหนี่ยวนำไหลวนอยู่ในเนื้อเหล็ก และเกิดความร้อนสูงขึ้น ในอุณหภูมิที่สามารถหลอมละลายได้เตาชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้ สำหรับหลอมเหล็กกล้าที่มีโลหะผสมสูง (high-alloy steel) เพราะจะเกิดการสูญเสียเนื้อโลหะที่มีราคาแพงน้อยมากโดยทั่วไปจะไม่มีการใช้มาก



รูปที่ 8.14 แสดงเตาเผาเหนี่ยวนำไฟฟ้า

10.6 การผลิตเหล็กกล้า โดยกรรมวิธีเตาเปิด (Open heart process or siemens –Mertin process)

ที่เรียกว่าเตาเปิดก็เพราะตัวเตาที่ใช้ในการถลุงเ หล็กมีความลึก ไม่มากนักและปากเตาเปิด (Open) กว้างพื้นเตามีลักษณะเป็นแอ่งคล้ายกะทะ (heart) เตาแบบนี้สามารถใช้ได้ทั้งกรรมวิธีและ กรดและด่าง โดยจะมีความแตกต่างที่ สำคัญอยู่ ที่การใช้วัตถุดิบที่ป้อนเข้าเตาวัสดุตัวเตา ตัวประสมเพิ่ม ขี้ตะกรัน และระยะเวลาที่ใช้ปฏิบัติการของเตาซึ่งกรรมวิธีแบบกรดจะใช้เวลา ปฏิบัติการสั้นกว่าแบบด่าง เพราะเหล็กมีสารเจือปนน้อยกว่า

ลักษณะของเตา

1. ตัวเตา หรือห้องหลอม (Hearth chamber) มีพื้นเป็นแอ่งคล้ายกะทะซึ่งจะบุด้วยอิฐทนไฟคุณภาพสูง เพราะเป็นที่รองรับน้ำเหล็กที่หลอมละลายแล้วและมีอุณหภูมิสูง ตรงบริเวณก้นเตาจะมีรู (Tap hole) สำหรับเจาะเอาน้ำเหล็กออก

2. หลังคาเตา บุด้วยอิฐทนไฟชนิดปานกลาง มีลักษณะเป็นส่วนโค้งปิดเตาไว้เพราะป้องกันไม่ให้อากาศและแก๊สสูญหายไปและยังสามารถสะท้อนนำความร้อนกลับมาช่วยในการเผาไหม้ได้อีกด้วย

3. ผนังเตาบุด้วยอิฐทนไฟชนิดปานกลาง มีช่องสำหรับบรรจุน้ำเหล็กดิบ เศษเหล็ก สารประสมและตักเอาน้ำเหล็ก ออกมาวิเคราะห์เรียกว่าประตูป้อน (Charging door)

4. หัวและท้ายเตา จะมีช่องว่าง สำหรับทางเดินท่อลม (Air) และแก๊ส (Gas) อยู่เรียกว่า Ports ซึ่งท่อนี้จะต่อมาจากห้อง (Regenerator or regenerative chambers) ที่นำเอาความร้อนจากเตามาใช้อีก

5. ห้องที่นำเอาความร้อน จากเตามาใช้อีก (Regenerator or Regenerative chambers) จะมีอยู่ 2 ห้อง บริเวณใต้สุดของเตาประกอบไปด้วยอิฐทนไฟเรียงสลับกันเป็นตารางหมากรุก (Checker) เพื่อให้แก๊สร้อน (Exhaust gas) นี้ออกจากเตาเผาผ่านอิฐและคายความร้อนให้อิฐที่เรียงสลับกันอยู่ไว้เป็นต้นกำเนิดพลังงานความร้อนที่จะนำไปใช้เผาช่วงต่อไป ห้อง Regenerator ห้องจะมี 2 ชุด คือ ห้องสำหรับเพาะอากาศและแก๊สเชื้อเพลิง

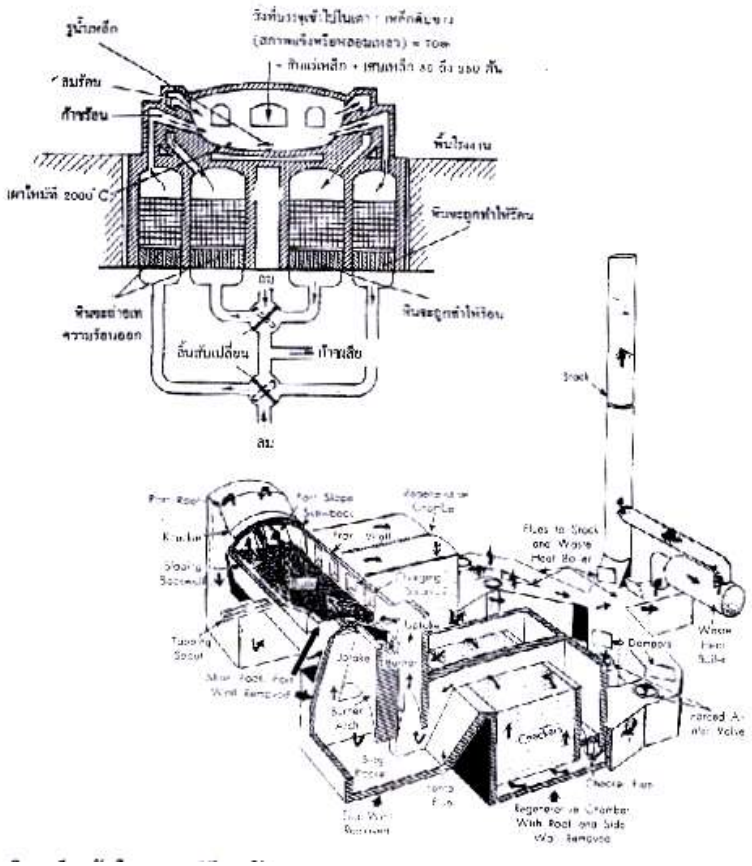
ลักษณะการทำงาน

1. เมื่อบรรจุน้ำเหล็กดิบ เศษเหล็ก ซึ่งเหล็กและฟลั๊กซ์ลงไปในเตาแล้วจะเริ่มติดเตาโดยการเป่าแก๊ ส และอากาศร้อนเข้าทางช่อง Ports บริเวณหัวเตา ซึ่งแก๊สและอากาศที่เป่าเข้ามาจะผ่านอิฐทนไฟที่ดูดเอาควา ม ร้อนไว้ในห้อง Regenerator กลายเป็นแก๊สร้อนและอากาศร้อนเป่า อยู่เหนือน้ำเหล็กดิบกระจายไปรอบ ๆเตา กระทั่งอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วเกิดการเผาไหม้ไปจนถึงอุณหภูมิทีทำให้เหล็กหลอมละลาย

2. ขณะที่เกิดการเผาไหม้อยู่นั้นแก๊สและอากาศร้อน จะกลายเป็นแก๊สเสีย (Exhaust gas) ผ่านเข้าไป ยังช่อง Port อีกด้านหนึ่งของท้ายเตา ซึ่งจะมีท่อส่งผ่านไปยังห้อง Regenerator อีกห้องหนึ่งที่มีอิฐทนไฟเรียง สลับกันอยู่เมื่ออิฐทนไฟได้รับความร้อนจนกระทั่งมีอุณหภูมิประมาณ 1000 C และขณะนั้นอุณหภูมิของอิฐ ทนไฟทีอยู่อีกห้องหนึ่งทางหัวเตาลดลงเหลือประมาณ 600- 800 C การทำงานของเตาก็จะเปลี่ยนช่วงเริ่มต้น ใหม่โดยเริ่มจากทางท้ายเตา

3. การทำงาน จากทางท้ายเตาจะเริ่มโดยการปิดลิ้น (Values) ทางเดินท่อแก๊สและลมร้อนทางหัวเตา และเปิดลิ้นทางเดินของท่อ แก๊สและลมร้อนทางท้ายเตาเพื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลเข้าออกของอากาศและ แก๊สที่ไหลเข้าสู่เตา การทำงานจะสลับกันไปเรื่อย ๆ แบบนี้ โดยใช้เวลาประมาณ ครึ่งชั่วโมงต่อการเปลี่ยน สลับห้อง

การถลุงเหล็กโดยใช้เตาเปิดจะใช้เวลาประมาณ 6 –12 ชั่วโมง ระ หว่างการถลุงนี้จะมีการนำเอา ตัวอย่างของน้ำเหล็กออกมาวิเคราะห์อยู่บ่อยๆ จึงสามารถทราบถึงส่วนผสม ของ น้ำเหล็กที่เป็นอยู่ในขณะนี้ และสามารถเพิ่มหรือลดส่วนผสมต่าง ๆ ของน้ำเหล็กตามที่ต้องการได้ จึงทำให้การผลิตเหล็กโดยใช้เตาเปิด ได้เหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการมากหลังจากปฏิกิริยากำจัดสารเจือปน (Impurity) ในน้ำเหล็กสิ้นสุด ลงจนกลายเป็นขี้ตะกรันลอยอยู่เหนือน้ำ เหล็ก ยังมีออกซิเจนบางส่วนที่เหลืออยู่ในน้ำเหล็กทำให้น้ำเหล็กมี ลักษณะเดือดอยู่ซึ่งไม่สามารถเทลงในแบบหรือถังบรรจุน้ำเหล็กได้โดยการเติมสารจำพวก เฟอร์โร แมงกานีส (Ferro- manganese) เฟอร์โรซิลิกอน (Ferro –silicon) อย่างใดอย่างหนึ่งลงไป ซึ่งสารเหล่านี้จะไป ดูดซึ่งเอาออกซิเจนออกจากน้ำเหล็กรวมตัวกันเป็นออกไซด์ (oxide) เช่น Si O_2 หรือ AL_2 O_2 กลายเป็นขี้ ตะกรันลอยอยู่เหนือน้ำเหล็กปฏิกิริยานี้เราเรียกว่า “Deoxidation” เมื่อออกซิเจนถูกดูดจากน้ำเหล็ก อาการ เดือดก็จะสงบลง เราจะเรียกน้ำเหล็กที่ได้นี้ว่า “Killed steel” เหล็กกล้าที่ได้จากเตาเปิดจะเป็นเหล็กกล้ายังบริ สุทธ์ (Rimming steel) มีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 0.5% มีคุณสมบัติทางกลดีโดยมีความเหนียวดี ทนต่อแรงดึง กด บิด และแรงกระแทกได้ดี สามารถนำเป็นเหล็กผสม (Aooly steel) ได้โดยการเติมสารพวก โครเมี่ยม นิ เกิล โมลิดินัม และวานาเดียม ลงไปในน้ำเหล็กเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ



รูปที่ 8.15 แสดงการผลิตเหล็กกล้าโดยกรรมวิธีเตาเปิด

11. การแบ่งประเภทของเหล็กกล้า

เหล็กกล้าได้มีการคิดค้นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในหลายรูปแบบดังนั้นจึงมีการผลิตเหล็กกล้าออกมาหลายประเภทตามลักษณะโครงสร้างพื้นฐาน อัตราส่วนผสม และปริมาณคาร์บอนโดยน้ำหนัก ถ้าพิจารณาดูจาก Iron-carbon Equilibrium Diagram แล้วจะเห็นว่าเหล็กกล้ามีปริมาณธาตุ คาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.008% - 2% โดยน้ำหนักแต่ในทางปฏิบัติแล้วเหล็กกล้าจะมีได้ไม่เกิน 1.7% ถ้ามีมากกว่านั้นจะขาดคุณสมบัติความแข็งแรงและความเหนียวไป หากยึดหลักตามอัตราส่วนปริมาณคาร์บอนและการใช้งานแล้วจะสามารถแบ่งประเภทเหล็กกล้าออกได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

เหล็กกล้าคาร์บอน (Cabon Steel) เหล็กกล้าคาร์บอนเป็นเหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของคาร์บอนเป็นหลักโดยจะมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไม่เกิน 1.7% จะมีธาตุอื่นผสมอยู่ด้วยเช่น ซิลิคอน , ฟอสฟอรัส , กำมะถัน และ แมงกานีสซึ่งธาตุเหล่านี้มีปริมาณน้อยมาก จะติดมากับเนื้อเหล็กตั้งแต่เริ่มการผลิตเหล็กจากสินแร่โดยกรรมวิธีการผลิตของเหล็กกล้าคาร์บอลได้แก่ กรรมวิธี LD , กรรมวิธีโธมัส , กรรมวิธีเตากระทะ และกรรมวิธีเบสเซเมอร์ เหล็กชนิดนี้เป็นวัสดุช่างชนิดเดียวที่มีคุณสมบัติทางความแข็งแรง (Strength) และความอ่อนตัว (Ductility) ที่เปลี่ยนแปลงได้กว้างมากตามปริมาณของคาร์บอนที่มีอยู่ในเหล็ก ทำให้เหมาะที่จะ

เลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของลักษณะงานบางครั้งที่เรียกว่า “Mild Steel” นอกจากนี้ยังแยกอออกตามปริมาณคาร์บอนที่อยู่ได้ 3 ชนิดคือ

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติเหนียว แต่ไม่แข็งแรงนักสามารถนำไปกลึง กัด ไส เจาะได้ง่าย นอกจากนี้จังเป็นเหล็กที่อ่อน สามารถรีดหรือตีเป็ น แผ่นได้ง่ายเหล็กชนิดนี้เหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความเค้นแรงดึงสูงนัก นอกจากนี้เหล็กชนิดนี้ไม่สามารถนำมาชุบแข็งหรือชุบผิวแข็งได้ แต่ถ้าต้องการชุบแข็งต้องใช้วิธีเติมคาร์บอนที่ผิวก่อน เพราะมีคาร์บอนน้อยเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไม่เกิน 0.2% การผลิตกรรมวิธีเบสเซเมอร์การใช้งาน เหล็กแผ่นหม้อน้ำ ท่อน้ำ ประปา , เหล็กเส้นในงานก่อสร้าง , เหล็กเคลือบดีบุกเช่นกระป๋องบรรจุอาหาร , เหล็กอาบสังกะสี เช่น แผ่นสังกะสีมุงหลังคา , ทำตัว,ถังรถยนต์ ถังน้ำมัน , งานย้ำหมุด , ทำสกรู ลวด สลักเกลียว ชิ้นส่วนเครื่องจักร โซ่ , บานพับประตู

เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางเป็นเหล็กกล้าชนิดนี้มีความแข็งแรงและความเค้นแรงดึงมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แต่จะมีความเหนียวน้อยกว่า นอกจากนี้ยังให้คุณภาพในการแปรรูปที่ดีกว่าและยังสามารถนำไปชุบผิวแข็งได้ เหมาะกับงานที่ต้องการความเค้นดึงปานกลาง ต้องการป้ องกันการสึกหรอที่ผิวหน้า และต้องการความแข็งแรง แต่มีความแข็งบ้างพอสมควรเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.2-0.5% กรรมวิธีการผลิต เบสเซเมอร์ , โธมัส , เตากระทะ , LD การใช้งาน ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล , ทำรางรถไฟ เพลาเครื่องกล เฟือง หัวค้อน ก้านสูบ สปริง , ชิ้นส่วนรถไถนา ไขควง ท่อเหล็ก , น๊อต สกรูที่ต้องแข็งแรง

เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon steel) เหล็กกล้าคาร์บอนสูงเป็นเหล็กกล้าชนิดนี้เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรง ความแข็งและความเค้นแรงดึงสูงเนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.5 –1.5% สามารถทำการชุบแข็งให้มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงได้ แต่เมื่อชุบแข็งให้มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงได้ แต่เมื่อชุบแข็งแล้วจะเปราะ เหมาะสำหรับงานที่ ต้องการความต้านทานต่อการสึกหล อ การใช้งาน ทำเครื่องมือต่างๆ เช่น ดอกสว่าน สกัด กรรไกร มีดกลึงใบเลื่อยตัดเหล็ก ดอกทำเกลียว (Tap) ใบมีดโกน ตะไบ แผ่นเก็จ เหล็กกัด สปริงแหนบ ลูกบอล ในแบริ่งลูกปืน

เหล็กกล้าประสม (Alloy Steel) เหล็กกล้าประสมเป็นเหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของคาร์บอนอยู่ไม่เกิน 1.7% และยังมีธาตุอื่นๆผสมอยู่ในเนื้อเหล็กด้วยเช่น แมงกานิส, นิกเกิล, โครเมียม, วาเนเดียม, โมลิบดินัม, โคบอลต์, ทังสเตน ฯลฯ การที่ผสมธาตุต่าง ๆ ลงไปในเหล็กนั้นก็เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติหลาย ๆ ประการที่เหล็กคาร์บอนให้คุณสมบัติเหล่านั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำไม่สามารถใช้งานได้ดี กรรมวิธีการผลิตเหล็กกล้าประสมสามารถผลิตได้จาก เตากระทะ, เตาไฟฟ้า และ เตาอินดักชั่นจุดมุ่งหมายของการผสมธาตุอื่นๆ ลงไปนั้นคือ

1. เพิ่มคุณสมบัติด้านชุบแข็ง
2. ปรับปรุงความแข็งแรงที่อุณหภูมิปกติ
3. เพิ่มคุณสมบัติต้านทานการสึกหรืออันเนื่องมาจากการเสียดสีขณะใช้งาน

4. เพิ่มความเหนียวทนต่อแรงกระแทก

5. เพิ่มคุณสมบัติต้นทานการกัดกร่อน

6. ปรับปรุงคุณสมบัติด้านแม่เหล็ก

เหล็กกล้าประสมสูง (High Alloy Steel) เหล็กกล้าประสมสูงเป็นเหล็กกล้าที่มีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่รวมแล้วมากกว่า 10% เหล็กกล้าในกลุ่มนี้จะรวมถึงเหล็กเครื่องมือประสม (Alloy Tool Steel) ด้วย ซึ่งเหล็กกล้าชนิดนี้จะมีคุณสมบัติในด้านทนต่อการกัดกร่อน ทนต่อการสึกหรอได้ดี จึงถูกใช้งานในการทำ เหล็กเครื่องมือต่างๆ เหล็กเครื่องมือประสม (Alloy Tool Steel) หมายถึงเหล็กที่ใช้ทำอุปกรณ์การตั ดโลหะหรือการขึ้นรูปโลหะและอื่นๆ

เหล็กกล้าประสมต่ำ (Low Alloy Steel) เหล็กกล้าประสมต่ำเป็นเหล็กกล้าที่มีธาตุอื่นๆ ผสมรวมอยู่แล้วไม่เกิน 10% เหล็กชนิดนี้จะมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับเหล็กคาร์บอนธรรมดา (Plain Carbon Steel) และมีคุณสมบัติอื่นเหมือนเหล็กกล้าประสมสูง

เหล็กกล้าประสมพิเศษ (Special Alloy Steel) เหล็กกล้าประสมพิเศษเป็นเหล็กกล้าประสมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้เหมาะกับงานที่จะใช้เฉพาะอย่างมหลายประเภทเช่น

เหล็กกล้าประสมทนแรงดึงสูง (High tensile strength alloy Steels) เหล็กกล้าประสมทนแรงดึงสูงเป็นเหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติ แตกต่างไปจากเหล็กกล้าประสมทั่ว ๆ ไปคือเป็นเหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติทนแรงดึงได้สูงมาก และมีความเหนียวสูง นอกจากนี้วิธีการชุบแข็งยังแตก ต่างไปจากเหล็กกล้าประสมทั่วไป มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอยู่ประมาณ 0.2% โดยส่วนใหญ่ใช้กับงาน เพลาส่งกำลัง หรือ เฟืองเป็นต้น

เหล็กกล้าทนการเสียดสีและรับแรงกระแทก (Wear Resistant Steel) เหล็กกล้าทนการเสียดสีและรับแรงกระแทกลักษณะ เหล็กที่มีคุณสมบัติทนการเสียดสีสูง และรับแรงกระแทกได้เป็นอย่างดี ที่นำมาใช้งานมาก คือ เหล็กกล้าประสมแมงกานีส หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “เหล็กกล้าฮาดฟิลต์” โดยจะมีธาตุที่ผสมอยู่ ซิลิคอน 0.4-1% , แมงกานีส 11-14% แต่เหล็กที่ผ่านการผลิตออกมาในตอนแรกนั้นยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เพราะมีความเปราะมาก ต้องนำไปชุบที่อุณหภูมิ 1000-1100 C และจุ่มน้ำอย่างรวดเร็ว จะทำให้เหล็กชนิดนี้มีคุณสมบัติเหนียว เหล็กชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับงานที่มีเฉพาะงานเสียดสีแต่เพียงอย่างเดียวเพราะจะไม่คุ้มทุนการผลิตจะต้องได้รับแรงกระแทกพร้ อมกันไปด้วย นอกจากนี้ไม่ สามารถตัดเจาะหรือกลึงได้ง่าย ต้องใช้มีดกลึงที่มีความแข็งสูง และใช้ความเร็วในการตัดต่ำมากการใช้งานส่วนใหญ่ใช้ทำ ตะแรงเหล็ก , อุปกรณ์ขุดแร่ , รางรถไฟ , ฯลฯ

เหล็กกล้าความเร็วสูง (High – Speed Steel) (HSS) เหล็กกล้าความเร็วสูงเป็นเหล็กกล้าที่พัฒนาขึ้นเพื่อความมุ่งหมายสำหรับงานเครื่องมือตัด กลึง กัด เจาะ ไส (Marching) ซึ่งเดิมนั้นใช้เหล็กกล้าคาร์บอนสูง เหล็กกล้าชนิดนี้มีธาตุหลักประสมในเหล็กกล้า คือ ทังสเตน เมื่อขึ้นรูปแล้วก่อนนำไปใช้งานจะต้องชุบแข็งก่อน ที่อุณหภูมิประมาณ 950 – 1300 C แล้วแต่ส่วนผสม

สมบัติทั่วไป

1. มีความแข็ง (หลังจากชุบแข็งแล้วจะเปราะ)

2. รักษาความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง

3. ชุบแข็งได้ดีทนต่อการสึกหรอได้ดี

4. เปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.6 – 0.8%

5. ธาตุที่ผสมอยู่ ทังสเตน 6%, ไมลิบดินัม 6% , โครเมียม 4% , วาเนเดียม 1%

6. การใช้งาน ดอกสว่าน ดอกทำเกลียว มีด กลึง มีดไส แม่พิมพ์, เครื่องมือวัดต่างๆ ฯลฯ

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) เหล็กกล้าไร้สนิมจะมีธาตุที่ผสมอยู่เพื่อให้เหล็กมีคุณสมบัติต้านทานการเป็นสนิม คือ โครเมียม และจะต้องผสมโครเมียมให้สูงพอสมควร ดังนั้นเหล็กกล้าไร้สนิมนี้ก็คือ เหล็กประสมสูงชนิดหนึ่ง

คุณสมบัติทั่วไป

1. ป้องกันการเกิดสนิม

2. ป้องกันการกัดกร่อนจากสารเคมีประเภทกรด

3. ทนความร้อน (ขึ้นอยู่กับปริมาณโครเมียมต้องสูงๆ)

4. เปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไม่เกิน 0.4%

5. ธาตุที่ผสมอยู่ โครเมียม 15 –18% , นิกเกิล , แมงกานีส , อะลูมิเนียม , ฯลฯ

6. การใช้งาน ที่ยึดส่วนต่างๆ เช่น ที่ยึดเตาท่อ, ทำของใช้ เช่น มีด ช้อนส้อม หรืออุปกรณ์ในงานเคมี หรืออ่างล้างในครัว (Sink)

เหล็กกล้าหล่อ (Cast Steel) เหล็กกล้าหล่อ คือ เหล็กกล้าที่นำมาขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อ ตามงานที่ต้องการ ซึ่งมีลักษณะรูปร่างซับซ้อนเกินกว่าที่จะทำการตีขึ้นรูป การอัด หรือ การรีด ซึ่งวิธีการหล่อนี้จะได้งานที่ขนาดใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการ เหล็กกล้าหล่อนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าที่ผ่ านการขึ้นรูปด้วยการตี หรือการวัด จะมีส่วนที่แตกต่างกันคือ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ผ่านการหล่อจะปรากฏมีรูพรุนเล็กๆ ระหว่างเกรน เหล็กกล้าหล่อแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มๆ คือ

เหล็กกล้าคาร์บอนหล่อ (Carbon Steel Castings) เหล็กกล้าคาร์บอนหล่อเป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บ อนเป็นหลักเพียงอย่างเดียวโดยมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอ น ไม่เกิน 0.6% ธาตุอื่นที่ผสมอยู่เช่น แมงกานีส 0.5 –1%, ซิลิคอน 0.2 – 0.75 %, กำมะถัน <0.5%, ฟอสฟอรัส < 0.5% ซึ่งจะเป็นธาตุที่ติดมาในรูปของสารมลทิน ยกเว้นเฉพาะแมงกานีส ซิลิคอน อะลูมิเนียม เพราะมีหน้าที่เป็นตัว กำจัดแก๊ส (Deoxidizer) ส่วนใหญ่การใช้งานจะใช้ทำ กังหันเทอร์ไบต์

เหล็กกล้าชนิดนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทตามปริมาณคาร์บอน คือ

1.1 เหล็กกล้าหล่อคาร์บอนต่ำ – มีคาร์บอนไม่เกิน 0.2%

1.2 เหล็กกล้าหล่อคาร์บอนปานกลาง – มีคาร์บอน 0.2 –0.5%

1.3 เหล็กกล้าหล่อคาร์บอนสูง – มีคาร์บอน 0.5-0.6%

เหล็กกล้าประสมหล่อ (Alloy Steel Castings) เหล็กกล้าประสมหล่อ เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ไม่เกิน 1.7% และธาตุอื่นผสมอยู่ด้วยเช่นแมงกานีส ซิลิคอน โครเมียม นิกเกิล วาเนเดียม โมลิบดินัม โมลิบดินัม ทังสเตน ทองแดง หรือโคบอลต์ การที่มีธาตุต่าง ๆ ประสมลงในเหล็กกล้าคาร์บอนนั้นเพื่อที่จะปรับปรุงคุณสมบัติบางอย่าง เช่นคุณสมบัติ ชุบแข็ง คุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนทั้งที่อุณหภูมิปกติและสูง คุณสมบัติตัวนำไฟฟ้า และคุณสมบัติเกี่ยวกับแม่เหล็ก กรรมวิธีการผลิตจะผลิตใน เตากระทะ เตาไฟฟ้า และ เตาอินดักชั่น ส่ วนใหญ่จะนำไปใช้งาน ทำชิ้นส่วนอุปกรณ์ในงานอุตสาหกรรมเคมีเหล็กกล้าประสมหล่อ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

เหล็กกล้าหล่อประสมต่ำ มีธาตุผสมที่สำคัญ เช่น แมงกานีส โครเมียม นิกเกิล ทังสเตน ไม่เกิน 10%

เหล็กกล้าหล่อประสมสูง มีธาตุผสมที่สำคัญเกินกว่า 10%

เหล็กอ่อน (Wrought Iron) เหล็กอ่อนนี้เป็นเหล็กที่ผลิตจากเตาพุดเดิ้ล (Pudding Process) มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไม่เกิน 0.1% นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นผสมอยู่เช่น ซิลิคอน กำมะถัน ฟอสฟอรัส แมงกานีส ฯลฯ ผลผลิตจากเตาพุดเดิ้ล จะได้เหล็กที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.9% เมื่อเผาให้ร้อนเหล็กอ่อนนี้จะไม่หลอมละลาย แต่จะอ่อนเปียก ตีขึ้นรูปได้ง่ายมาก นอกจากนี้ยังสามารถตีชิ้นเหล็กให้ประสานกันได้อีกด้วย ส่วนมากการใช้งาน ท่อ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องพบกับการเสื่อมสภาพโดยสนิม ข้อต่อรถไฟ โซ่ ขอเกี่ยว หรืออุปกรณ์ที่ขึ้นรูปอย่างง่าย

บทสรุป

เหล็กกล้าเป็นเหล็กที่ถูกนำไปใช้ในงานต่างๆ มากมาย ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กกล้านั้นมีคุณสมบัติในการรับแรงต่างๆได้ดี เช่น แรงกระแทก (Impact Strength) แรงดึง (Tensile Strength) แรงอัด (Compressive Strength) และ แรงเฉือน (Shear Strength) ซึ่งธาตุผสมส่วนใหญ่จะเป็นทั้งโลหะ และ อโลหะ เช่น โมลิบดินั่ม ทังสเตน วาเนเดียม เป็นต้น สำหรับกรรมวิธีทางความร้อน ที่ทำต่อเหล็กกล้านั้น จะทำให้โครงสร้างเล็กๆ (Microstructure) ของเหล็กกล้าเปลี่ยนไป เหล็กทุกชนิด มีคาร์บอนผสมอยู่ไม่มากก็น้อย เหล็กกล้าก็เช่นเดียวกันมีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณไม่เกินร้อยละ 2 และเหล็กกล้ายังแบ่งได้ตามปริมาณของคาร์บอนที่ผสม

ใบเนื้อหา		สัปดาห์ที่ 14
หน่วยที่ 9	การเชื่อม MIG (METAL INERT-GAS WELDING)	จำนวน 4 ชั่วโมง

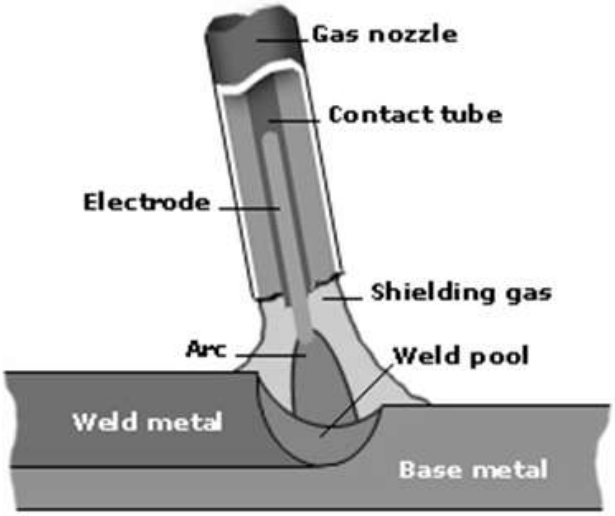
สาระสำคัญ

การเชื่อมอาร์คโลหะก๊าซคลุม หรือเรียกว่า การเชื่อมมิก (MIG มาจาก Metal Inert Gas) เป็นกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์ค ซึ่งการอาร์คเกิดขึ้นระหว่างลวดเชื่อมเปลือยที่ถูกป้อนมาอย่างต่อเนื่องกับโลหะชิ้นงาน ความร้อนแรงจากการอาร์ค จะทำให้ปลายลวดเชื่อมหลอมละลาย เติมลงไปรวมตัวกับน้ำโลหะบนชิ้นงานได้เป็นแนวเชื่ อม ขณะเดียวกันบริเวณการอาร์คจะถูกปกคลุมด้วนก๊าซซึ่งจ่ายมาจากหัวเชื่อมเพื่อเป็นการป้องกันก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนจากบรรยากาศ

เนื้อหาสาระ

1. การเชื่อม MIG (METAL INERT-GAS WELDING)

เป็นกระบวนการเชื่อมโดยการให้ความร้อนในการหลอมละลาย และมีลวดเชื่อมเติมเต็มบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย โดยมีแก็สปกคลุมขณะเกิดการหลอมละลายเพื่อป้องกันชั้นบรรยากาศภายนอก ไม่ให้เข้ามารวมตัวกับแนวเชื่อมการเชื่อมภายใต้ม่านก๊าซเฉื่อยใช้ลวดเชื่อมโลหะหรือที่เรียกว่า MIG (METAL INERT-GAS WELDING) จะเป็นการเชื่อมแบบสิ้นเปลืองอีเล็คโทรด การเชื่อมลักษณะนี้ใช้ลวดเชื่อมเปลือยซึ่งส่วนมากผลิตมาเป็นม้วน การอาร์คจะเกิดระหว่างลวดเชื่อมกับโลหะชิ้นงานที่หลอมละลาย ลวดเชื่อมจะถูกป้อนโดยอัตโนมัติให้แก่บ่อหลอมละลายโดยมีก๊าซ เฉื่อยปกคลุมไว้ ก๊าซเฉื่อยที่ใช้ป้องกันแนวเชื่อม จะเรียกต่างกันตามชนิดของก๊าซที่นำ มาใช้ กล่าวคือ ถ้าใช้ก๊าซอาร์ กอนจะเรียกว่า MIG ถ้าใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเรียกว่า MAG (METAL ACTIVE GAS) สำหรับอีเล็คโทรดที่เป็นลวดเชื่อมโลหะจะเป็นวัสดุชนิดเดียวกันกับชิ้นงาน



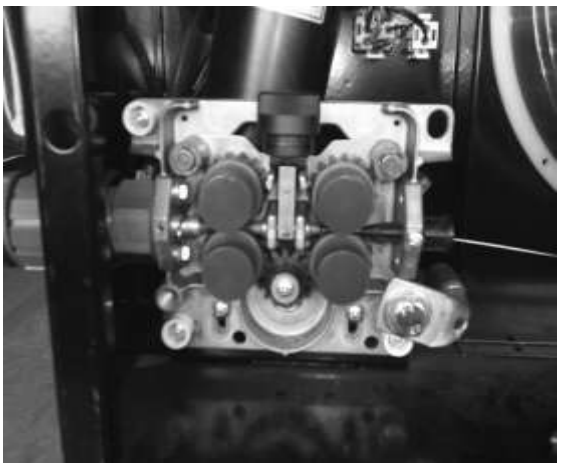
รูปที่ 9.1 แสดงการเชื่อม MIG

1.1 อุปกรณ์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเชื่อม

1. เครื่องเชื่อม (Power source) เป็นแหล่งผลิตและจ่ายกระแสแรงดันไฟฟ้าให้เกิดการอาร์ก ซึ่งควรจะเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะของงานมีทั้งระบบไฟฟ้า 220 โวลต์, 380 โวลต์ เครื่องเฟสเดียว และสามเฟส มีขนาดให้เลือกใช้งาน 250, 350, 500, 600 A จะเป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันคงที่ Constant Voltage (CV) จะเหมาะกับงานเชื่อม มิก, แม๊ก

รูปที่ 9.2 แสดงเครื่องเชื่อม

2. ชุดป้อนลวด (Wire feed) เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้เติมอัตราการไหลของลวดเชื่อมที่จะเติมลงไปกับแนวเชื่อมจะต้องมีอัตราการไหลคงที่สามารถปรับ ความเร็วและชะลอ การไหลของลวดเชื่อมได้ดี ซึ่งการไหลของลวดเชื่อมจะต้องใช้มอเตอร์เป็นตัวขับให้ล้อขับ (Roller) มีแบบ 2 ล้อ หรือ แบบ 4 ล้อ ควรเลือกการใช้ล้อขับลวดให้เหมาะสมกับชนิดและขนาดของลวดเชื่อม



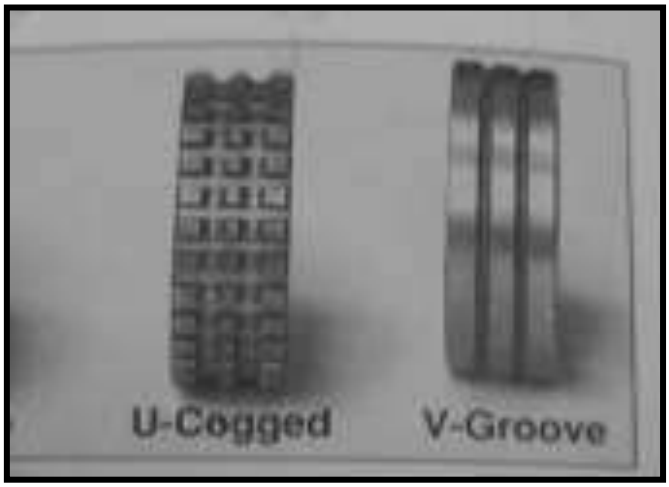
รูปที่ 9.3 แสดงชุดป้อนลวด

หลักการเลือกใช้งานล้อขับลวด

แบบร่อง วี เหมาะกับการใช้กับลวดเชื่อมเหล็ก เพราะความแข็งของลวดเชื่อมที่อยู่ในร่องวี สามารถรับแรงกดจากล้อขับด้านบนผิว และขนาดของลวดเชื่อมจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

แบบร่องยู เหมาะกับการใช้กับลวดเชื่อม อลูมิเนียม หรือลวดอ่อน ร่องยู จะทำหน้าที่ประคองให้ลวดเชื่อมให้ไหลผ่าน แรงกดจากด้านบนก็จะไม่ทำให้ผิวของลวดเชื่อมเป็นรอยได้ ซึ่งอาจจะทำให้ไปติดที่ท่อนำกระแส (Contact tip) เกิดการเสียหายได้

แบบร่องพิมพ์ลาย เหมาะสมกับการใช้กับลวดเชื่อม แข็ง หรือไส้ฟลั๊กซ์ ร่องพิมพ์ลายจะทำหน้าจับผิวลวดเชื่อมให้ไหลผ่าน ได้ดีกว่าแบบผิวเรียบใช้งานกับขนาดลวดเชื่อมที่มีขนาดโต 1.6 - 3.2 ม.ม.



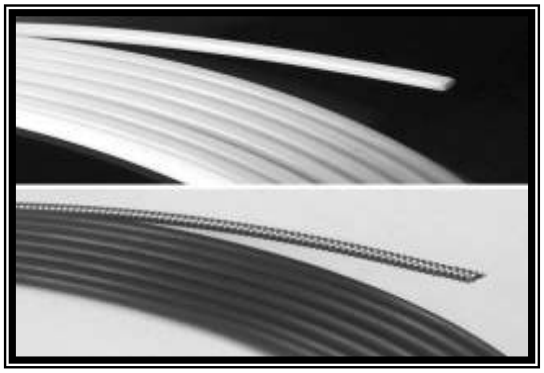
รูปที่ 9.4 แสดงแบบร่องพิมพ์ลาย

3. ชุดหัวเชื่อม หัวเชื่อมทำหน้าที่ควบคุมลวดเชื่อมที่ไหล ออกจาก ชุดป้อนลวด พร้อมการไหลของก๊าซปกคลุมแนวเชื่อมออกมาทางหัวฉีดก๊าซ (Nozzle) การไหลออกมาของลวดเชื่อมจะสัมผัสกับท่อนำกระแส (Contact tip) เกิดการนำกระแสไหลผ่านลวดเชื่อมสัมผัสกับชิ้นงานเกิดอาร์ก หรือการลัดวงจร

รูปที่ 9.5 แสดงชุดหัวเชื่อม

4. สายเชื่อม ทำหน้าที่ต่อหัวเชื่อมเข้ากับเครื่องภายในสายเชื่อมจะประกอบด้วยเส้นลวดทองแดงขนาดเล็กรวมกันเป็นจำนวนมาก และจะมีท่อลำเลียงลวด (Liner) อาจทำจากขดลวด หรือท่อไนลอน ก็แล้วแต่การเลือกใช้งาน ข้อแนะนำการเลือกใช้ ถ้าเป็นลวดเชื่อมที่เป็นลวดแข็ง เช่น เหล็ก และสแตนเลส ควรเลือกใช้แบบขดลวด แต่ถ้าเป็นลวดอ่อนควรเลือกใช้แบบท่อไนลอน เช่น อลูมิเนียม เป็นต้นภายในสายเชื่อมประกอบด้วยด้วย

1. ท่อนำลวด (Liner) มีทั้งพลาสติกและสปริงเหล็ก หรือทองแดง
2. ท่อนำก๊าซ
3. สายน้ำหล่อเย็น (นิยมใช้กับงานเชื่อมที่ใช้กระแสไฟสูง 300- 350 แอมแปร์)
4. สายไฟเชื่อม



รูปที่ 9.6 แสดงสายเชื่อม

1.2 วิธีการเชื่อมมี 2 แบบ

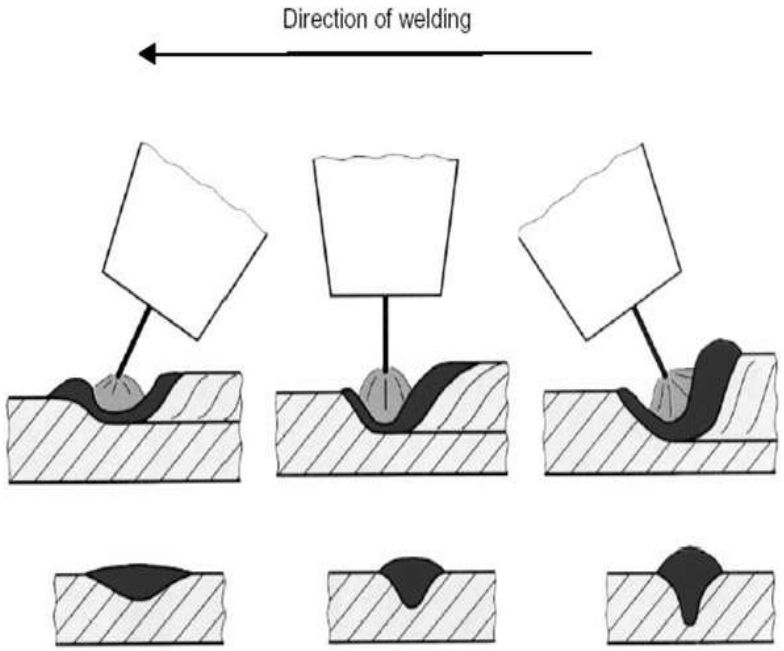
1. การเชื่อมแบบ Back hand หัวเชื่อมจะอยู่ในตำแหน่งที่ปลายปลายลวดชี้ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของลวดเชื่อม การเชื่อมแบบ Back hand ให้รอยเชื่อมที่มีความนูนสูง ทั้งในการเชื่อมในท่าราบและต่อตัวที เปลวเชื่อมจะดันลวดเชื่อมให้หลอมเหลวไปในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลวดเชื่อม การเชื่อมแบบ Back hand จะมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น เมื่อใช้กับการเชื่อมแบบ Flux-Cored wires และให้การอาร์คสม่ำเสมอมีเม็ดโลหะน้อย เหมาะกับงานเชื่อมที่มีความหนามากกว่า 3 มิลลิเมตร

รูปที่ 9.7 แสดงการเชื่อมแบบ Back hand

2. การเชื่อมแบบ Fore hand เป็นการเชื่อมที่หัวเชื่อมอยู่ในตำแหน่งที่ปลายลวดเชื่อมชี้ไปในทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลวดเชื่อม เหมาะสำหรั บการเชื่อมรอยต่อแนวยาว โดยใช้อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อมสูง จะให้รอยเชื่อมที่แบนราบ และเหมาะกับงานเชื่อมที่มีความหนาน้อยกว่า 3 มิลลิเมตรมุมของลวดเชื่อมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการเชื่อมซึมลึก เมื่อหัวเชื่อมทำมุมไม่เหมาะสม ทำให้การซึมลึกไม่ดี ในกา รซึมลึกที่ดีที่สุดจะเกิดขึ้นที่จุดเพียงจุดเดียว ถ้าค่าความเร็วเชื่อมและโวล์ทเท์ จะเชื่อมสูงไปหรือต่ำไปจะทำให้การซึมลึกน้อยลงลักษณะการเชื่อมแบบ Black Hand ทิศทางการไหลของลวดตรงกันข้าม กับหัวเชื่อม ให้การอาร์ก สม่ำเสมอ การหลอมลึกดี การกระเด็นเม็ดโลหะน้อยทิศทางการเชื่อมแบบ Fore Hand ลวดเชื่อมป้อนมาข้างหน้าแนวเชื่อม ช่วยให้การเชื่อม ได้เร็ว การหลอมลึกไม่มาก

รูปที่ 9.8 แสดงการเชื่อมแบบ Fore hand

1.3 สิ่งที่เกิดขึ้นจากมุมของหัวเชื่อม



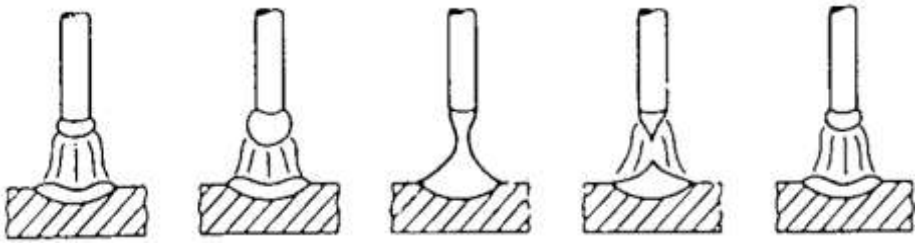
รูปที่ 9.9 แสดงสิ่งที่เกิดขึ้นจากมุมของหัวเชื่อม

2. การโอนถ่ายน้ำโลหะในการเชื่อม MIG MAG

การถ่ายโอนน้ำโลหะในกระบวนการเชื่อม MIG MAG (Metal transfer) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ เช่น Short arc, Spray arc, globular transfer, และ Pulse เป็นต้น ความแตกต่างของการถ่ายเทโลหะแต่ละชนิดนั้น ขึ้นอยู่กับกระแสไฟ, แรงเคลื่อนในการอาร์ก ขนาดลวดและชนิดของแก๊สปกคลุม

2.1 การถ่ายเทโลหะแบบ Short Circuit Transfer

หรือ ลัดวงจร Short arc ใช้สำหรับการเชื่อมด้วยลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8 มม. ถึง 1.2 มม. บางครั้งเรียกว่า Dip transfer, Micro-Wire โดยใช้แรงเคลื่อนและกระแสเชื่อมต่ำ แนวเชื่อมที่ได้จากการถ่ายเทโลหะแบบ Short arc จะเย็นตัวเร็ว, แนวเชื่อมเล็ก และความเร็วในการถ่ายเทประมาณ 70-100 ครั้งต่อวินาที การถ่ายเทโลหะจะเกิดขึ้นใช้ช่วงที่ลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมละลาย เกิดกับการเลือกใช้แก๊ส CO2 /CO2+AR/ CO2+Ar+O2/ Ar+O2 การถ่ายเทโลหะแบบ Short Arc Welding

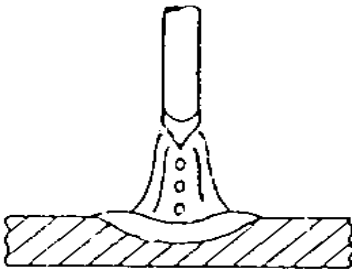


รูปที่ 9.10 แสดงการถ่ายเทโลหะ

2.2 การถ่ายเทโลหะแบบ Spray Transfer

หรือแบบละอองเป็นการโอนถ่ายที่ ใช้แรงดันในการเชื่อมสูงและจะต้องใช้กับชนิดของแก๊สที่มีการผสมระหว่าง อาร์กอน เข้าไปในปริมาณที่เพียงพอ ซึ่งในการเชื่อมโดยทั่วไปจะใช้ คาร์บอนไดออกไซด์ชนิดเดียวไม่สามารถทำให้เกิดการโอนถ่ายแบบละอองได้ ปลายลวดเชื่อมจะสัมผัสกับชิ้นงานในจังหวะแรกเท่านั้นแต่เมื่อเริ่มการอาร์กแล้ว ปลายลวดเชื่อมจะไม่โดนชิ้นงานเลย ในการเชื่อมแบบละอองนิยมใช้กับงานเชื่อม กึ่งอัตโนมัติ เพราะสามารถเชื่อมได้เร็ว แต่ถ้าใช้โดยการเชื่อมด้วยคนเชื่อมก็สามารถเชื่อมได้แต่ผู้ควบคุมจะร้อน ปริมาณแก๊ส CO2 32% จะไม่สามารถทำให้เกิดแบบละอองในการใช้งานส่ วนมากจะใช้ Ar 98%-O2 2% / Ar 80%-CO2 20% / Ar 90%-CO2 10% เป็นต้น

การถ่ายเทโลหะแบบ Spray Transfer หรือแบบละออง



รูปที่ 9.11 แสดงการถ่ายเทโลหะแบบ Spray Transfer

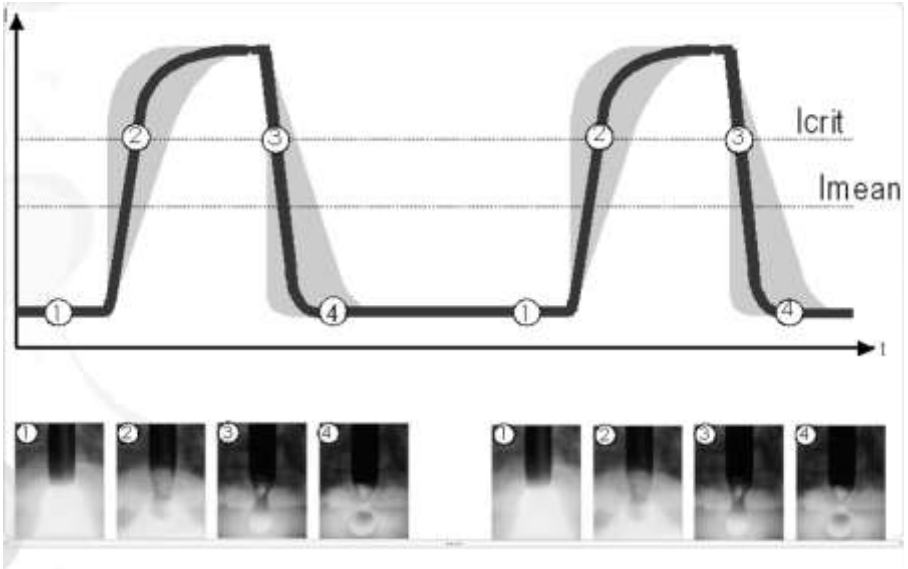
2.3 การถ่ายเทโลหะแบบ Globular Transfer

หรือแบบหยดการโอนถ่ายแบบหยดไม่ค่อยเป็นที่นิยมในการทำงานมากนัก เพราะในการเชื่ อมจะให้อัตราการเติม แนวเชื่อมช้า และในบางครั้งขนาดของเม็ดโลหะที่หยดเติมที่ชิ้นงานมีขนาดที่ไม่เท่ากัน สามารถเชื่อมในชิ้นงานที่มีความหนาที่ไม่มากจะดี ใช้ได้กับแก๊ส CO2 และแก๊สผสมก็ได้

รูปที่ 9.12 แสดงการถ่ายเทโลหะแบบ Globular Transfer

2.4 การถ่ายเทโลหะแบบ Pulsed Transfer

การถ่ายเทโลหะแบบ Pulsed เป็นอีกลักษณะหนึ่งของ Spray arc และ Short Circuit Transfer หรือ ลัดวงจร ซึ่งใช้รวมเอาข้อดีของ Spray arc เข้าด้วยกันจะได้กระแสเชื่อมที่มีอยู่ระหว่างช่วงสูงและช่วงต่ำ กระแสในช่วงต่ำจะมีค่าต่ำกว่า Transition current ในขณะที่กระแสระดับสูงจะสูงกว่า Transition current และยังเป็นช่วงที่ถ่ายเทโลหะจากปลายลวด



รูปที่ 9.13 แสดงการถ่ายเทโลหะแบบ Pulsed Transfer

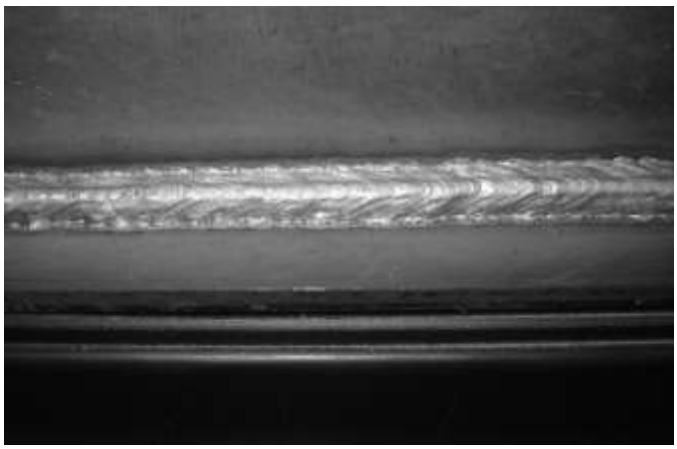
3. ก๊าซปกคลุมแนวเชื่อม (Shielding Gas)

ในงานเชื่อม มิก, แม๊ก จำเป็นจะต้องใช้ก๊าซปกคลุมในขณะเกิดการอาร์ก เพื่อปกคลุมแนวเชื่อมจากบรรยากาศ ภายนอกมารวมตัวกับแนวเชื่อม เช่น ออกซิเจน รวมถึง การให้การซึมลึกในชิ้นงาน การให้แนวเชื่อมที่สะอาด ลดการเกิดสะเก็ดโลหะ เพิ่มความเร็วในการเชื่อม การอาร์กมีความเสถียรภาพมาก สิ่งเหล่านี้ก็แล้วแต่การเลือกใช้งานของผู้ใช้ลักษณะของแนวเชื่อมระหว่างการเชื่อมแบบ มิก/แม๊ก จะให้การซึมลึกเข้าไปในเนื้องานดีกว่าการเชื่อมไฟฟ้าหรือธูปเชื่อม

รูปที่ 9.14 แสดงก๊าซปกคลุมแบบ มิก/แม๊กและธูปเชื่อม

อาร์กอน Argon / Ar

เป็นแก๊ส ที่นำความร้อนต่ำ แต่ให้การปกคลุมความร้อนระหว่างการอาร์กได้ดี จึงทำให้บริเวณเปลวอาร์กแคบ ชิ้นงานจะได้รับพลังงานความร้อนสูงทำให้เกิดอาร์ก เรียบสม่ำเสมอ กระแสเชื่อม แนวเชื่อมที่ได้จะนูนซึมลึกดีแต่เล็ก อาร์กอนเป็นแก๊สเฉื่อยเหมือน ฮีเลียม ใช้งานสามารถเชื่อมในชิ้นงานเหล็ก สเตนเลส อลูมิเนียม ไททาเนียมแนวเชื่อมที่ได้จากอาร์กอน



รูปที่ 9.15 แสดงแนวเชื่อมที่ได้จากแก๊สอาร์กอน

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ CO2 เป็นแก๊สที่ประกอบด้ว ย คาร์บอนมอนนอกไซด์ กับออกซิเจน ซึ่งไม่ใช่แก๊สเฉื่อย ดังนั้นในบริเวณที่เกิดการอาร์ก จะเกิดการแยกตัวของออกซิเจน จึงทำให้เกิดเปลว อาร์กที่กว้างกว่าอาร์กอนแต่แคบกว่า ฮีเลียมการเชื่อมโดยการใช้แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ จะให้ความกว้างขนาดปานกลาง การซึมลึกดี , หลอมละลาย ดี รอยเชื่อมที่ได้จะไม่เกิดรอยกัดขอบ ต่ อการอาร์ก จะรุนแรง ไม่สม่ำเสมอนิยมใช้การเชื่อมแบบลัดวงจร ในการเชื่อมเหล็กแนวเชื่อมที่ได้จากคาร์บอนไดออกไซด์

รูปที่ 9.16 แสดงแนวเชื่อมที่ได้จากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

อาร์กอนผสมคาร์บอนไดออกไซด์ (Ar+Co2) ในการเชื่อมแม๊ก โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สปกคลุมในการเชื่อมปกติทั่วไป ระหว่างการเชื่อมมักจะเกิดการกระเด็นของเม็ดโลหะที่เกาะติดที่ชิ้นงานเป็นจำนวนมาก ในการผสมอาร์กอนเข้าไปนั้นก็สามารถช่วยลดการเกิดปัญหาได้ในระดับหนึ่ง และช่วยควบคุมการหลอมลึกในชิ้นงานได้ เพิ่มความเร็วในการเชื่อม อัตราการผสม 80/20, 90/10, 75, 25, 92/8, 50/50 เป็นต้น

รูปที่ 9.17 แสดงแนวเชื่อมที่ได้จากแก๊สอาร์กอนผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

อาร์กอน+คาร์บอนไดออกไซด์+ออกซิเจน (AR+CO2 +O2) ในการเชื่อมระหว่างแก๊สผสมระหว่างอาร์กอนและคาร์บอนไดออกไซด์แนวเชื่ อมที่ได้อาจจะทำให้แนวเชื่อมนู นการผสมออกซิเจนเข้าไป จะทำปฏิกิริยา ออกซิเดชั่นเหมือนกับการเพิ่มอุณหภูมิให้กับลวดเชื่อมที่กำลังหลอมละลาย ให้สามารถซึมเข้าไประหว่างกลางของแนวเชื่อมและยังลดการกัดแหว่งที่ขอบแนวเชื่อมได้อีกด้วย

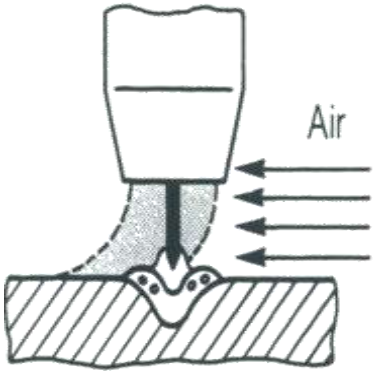
รูปที่ 9.18 แสดงแก๊สอาร์กอน+ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์+ แก๊สออกซิเจน

4. สาเหตุที่เกิดจุดบกพร่องในงานเชื่อม MIG/MAG

4.1 รูพรุน Porosity

สาเหตุ : เกิดจากกระแสลมจากภายนอกบริเวณทำงานเชื่อม เช่นการเชื่อมนอกอาคาร การเชื่อมบริเวณที่มีลมกรรโชก

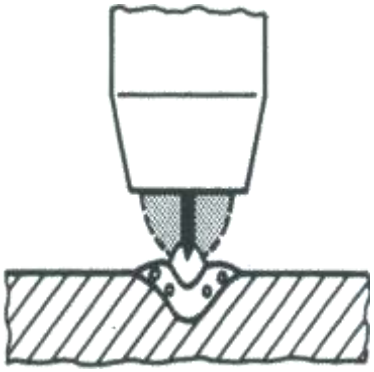
การแก้ไข : ทำที่ป้องกันหรือฉากกันบริเวณที่ทำการเชื่อม



รูปที่ 9.19 แสดงรูพรุน Porosity

สาเหตุ : เกิดจากการให้อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมต่ำเกินไป

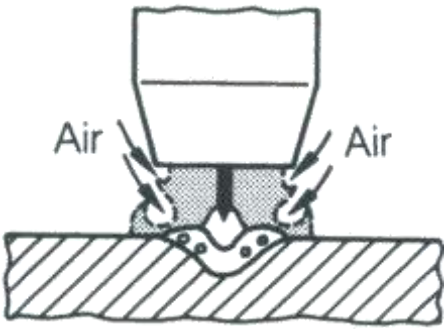
การแก้ไข : ปรับอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมเพิ่มมากขึ้น โดยปกติสามารถ คิดจาก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเชื่อม คูณ 10 เช่น ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง ลวดเชื่อม 1.0 มม. จะได้ 1.0 x 10 = 10 ลิตร/นาที



รูปที่ 9.20 แสดงรูพรุน Porosity

สาเหตุ : เกิดจากการให้อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมมากเกินไป

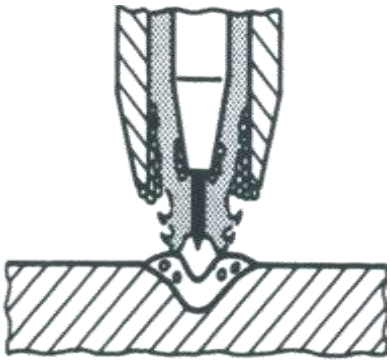
การแก้ไข : ปรับอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมลดลงโดยสามารถคิดจากจาก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเชื่อม คูณ 10 เช่น ขนาดเส้นผ่างานศูนย์กลลวดเชื่อม 1.0 มม. จะได้ 1.0 x 10 = 10 ลิตร/นาที



รูปที่ 9.21 แสดงรูพรุน Porosity

สาเหตุ : เกิดจากมีเม็ดสะเก็ดไฟ (Spatter) ที่เกิดจากการเชื่อมเกาะติดบริเวณ Nozzle ทำให้การไหลของแก๊สปกคลุมไม่สามารถปกคลุมบริเวณแนวเชื่อมได้อย่างสมบูรณ์

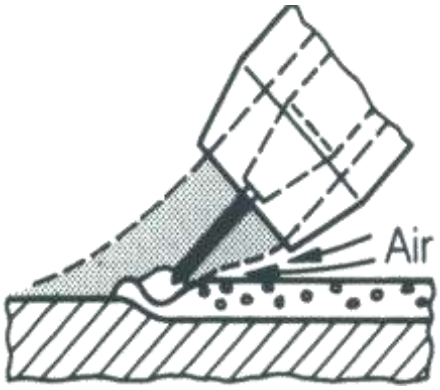
การแก้ไข : ทำความสะอาดบริเวณภายใน Nozzle หรือใช้สเปร์/เจล ป้องกันสะเก็ดไฟ (Anti Spatter) ก่อนปฏิบัติงานเชื่อม



รูปที่ 9.22 แสดงรูพรุน Porosity

สาเหตุ : มุมของหัวเชื่อมเอี ยงมากเกินไป ทำให้อากาศรอบๆ แนว เชื่อมสามารถเข้ามารวมตัวกับแนวเชื่อมได้

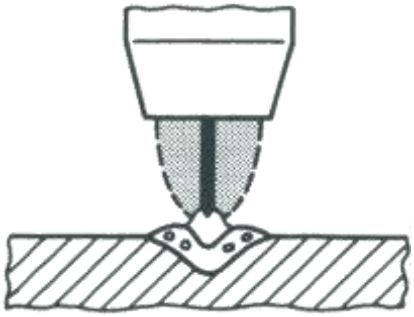
การแก้ไข : ปรับหัวเชื่อมให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง



รูปที่ 9.23 แสดงรูพรุน Porosity

สาเหตุ : ตำแหน่งหัวเชื่อมห่างจากบริเวณทำการเชื่อมมากเกินไป

การแก้ไข : ปรับระยะห่างของตำแหน่งหัวเชื่อมลดลงโดยปกติจะใช้ระยะห่างประมาณ 10 – 15 มม.

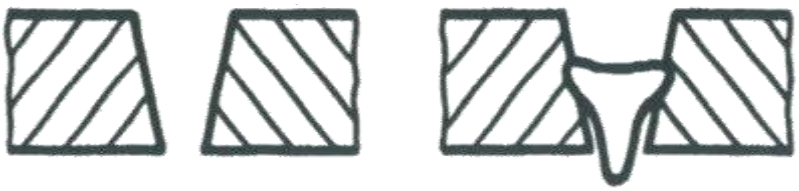


รูปที่ 9.24 แสดงรูพรุน Porosity

4.2 การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Lack of Fusion) เกิดจากเตรียมงาน

สาเหตุ : มุมบากชิ้นงานน้อยเกิดไป

การแก้ไข : มุมบากรวมควรจะประมาณ 40 – 60 องฐูปเชื่อม



รูปที่ 9.25 แสดงการหลอมละลายไม่สมบูรณ์

สาเหตุ : เตรียม Root Face มากเกินไป และ ขนาดของ Root Opening น้อยเกินไป

การแก้ไข : ควรเตรียมขนาด Root Face ประมาณ 1- 2.5 มม.ขนาด Root Opening ประมาณ 1-3 มม.

รูปที่ 9.26 แสดงการหลอมละลายไม่สมบูรณ์

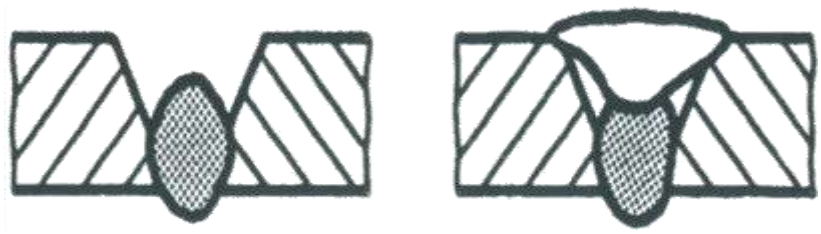
สาเหตุ : เตรียมชิ้นงานไม่ได้แนวระนาบเดียวกัน

การแก้ไข : หลังจากที่เชื่อมยึดแล้วและก่อนปฏิบัติงานเชื่อมควรตรวจดูก่อนว่าชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้นอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน โดยอาจจะใช้วิธีการเคาะ เพื่อปรับให้ได้แนวระนาบเดียวกัน

รูปที่ 9.27 แสดงการหลอมละลายไม่สมบูรณ์

สาเหตุ : หลังจากที่เชื่อมแนวแรกแล้ว แนวเชื่อมบริเวณส่วนกลางนูนสูง แล้วทำการเชื่อมแนวที่สองทับต่อเลยทำให้บริเวณ แนวเชื่อมตรงมุมที่ติดกับร่องบากหลอมละลายไม่สมบูรณ์

การแก้ไข : เจียรนัยลบบริเวณส่วนแนวที่นูนให้เป็นรูปกระทะ ก่อนทำการเชื่อมทับแนวต่อไป

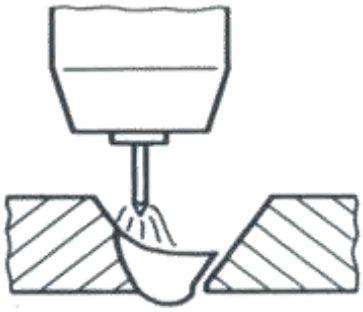


รูปที่ 9.28 แสดงการหลอมละลายไม่สมบูรณ์

4.3 เกิดจากเทคนิคการเชื่อม

สาเหตุ : บริเวณที่ลวดเชื่อมหลอมละลาย อยู่ด้านเดียวของชิ้นงาน

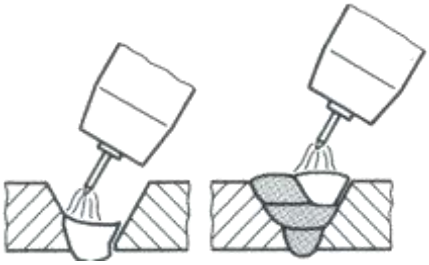
การแก้ไข : ควบคุมบริเวณที่ลวดเชื่อมหลอมละลายให้อยู่ตรงกลางระหว่างชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้น



รูปที่ 9.29 แสดงผลการเกิดจากเทคนิคการเชื่อม

สาเหตุ : มุมหัวเชื่อมเอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง

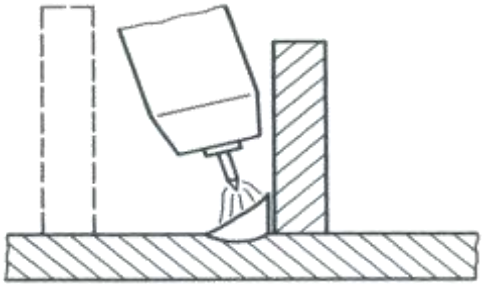
การแก้ไข : ปรับมุมหัวเชื่อมให้ถูกต้องกับชั้นแนวเชื่อมแต่ละแนว



รูปที่ 9.30 แสดงผลการเกิดจากเทคนิคการเชื่อม

สาเหตุ : บริเวณที่ทำการเชื่อมมีเนื้อที่จำกัด

การแก้ไข : จัดลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานว่าบริเวณใดควรดำเนินการเชื่อมด้านในก่อนเป็นต้น

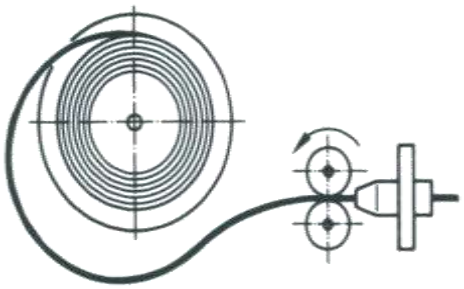


รูปที่ 9.31 แสดงผลการเกิดจากเทคนิคการเชื่อม

4.4 จุดบกพร่องจากเครื่องมือและอุปกรณ์ในเครื่องเชื่อม

สาเหตุ : ม้วนลวดเชื่อม ม้วนตัวรวมกัน เนื่องบริเวณที่ควบคุมการหมุนของลวดเชื่อม (ล้อขับลวด) กดอัด แน่นหรือ หลวมเกินไป

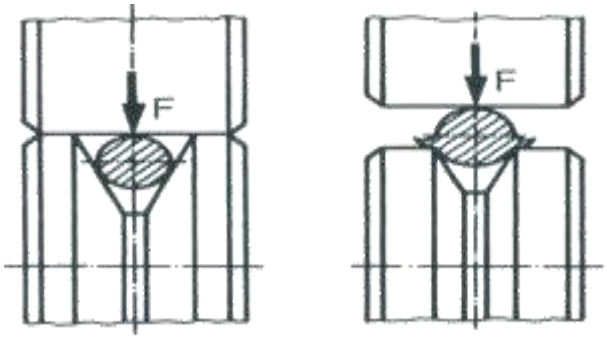
การแก้ไข : ปรับบริเวณที่ควบคุมการหมุนของลวดเชื่อม (ล้อขับลวด) ให้เหมาะสมกับ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเชื่อม ตู้เชื่อมบางยี่ห้อจะระบุเป็นตัวเลขแรงที่ใช้กดบังคับลวดเชื่อมไว้ที่คู่มือ



รูปที่ 9.32 แสดงอุปกรณ์ในเครื่องเชื่อม

สาเหตุ : ขนาดของชุดล้อขับลวดมีขนาดใหญ่/เล็กกว่าลวดเชื่อม หรือ ขนาดลวดเชื่อมมีขนาดใหญ่ / เล็กกว่าชุดล้อขับลวด

การแก้ไข : ปรับขนาดของชุดล้อขับให้ตรงกับ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเชื่อม เช่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเชื่อมที่ 1.0 ม.ม. ชุดล้อขับ ควรจะมีขนาดร่องเท่ากับ 1.0 มม.ด้วย



รูปที่ 9.33 แสดงชุดล้อขับลวด

5. อันตรายและความปลอดภัยต่อสุขภาพในงานเชื่อม

อันตราย ของไอระเหย ควันและก๊าซจากการเชื่อมโลหะเมื่อใดที่มีการเชื่อมโลหะจะต้องมีควันเกิดขึ้นทุกครั้ง ช่างเชื่อมที่เชื่อมโลหะในงานบางประเภท เช่น การเชื่อมสแตนเลส เหล็กเคลือบสังกะสี หรือท่อเหล็กเคลือบสังกะสี หรือ การเชื่อม ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวมาแล้ว บุคคลจำพวก นี้มักจะเสี่ยงต่อการเกิดโรคร้ายสูงในการเชื่อมโลหะจะมี ไอโลหะ (Fumes) เกิดจากการที่โลหะได้รับความร้อนสูงจนกระทั่ง

หลอมละลายและเกิดไอละเหยของโลหะ เมื่อไอระเหยถูกควบแน่น (Condense) จะอยู่ในรูปอนุภาคของแข็งที่ละเอียดมาก (Solid fine particle) (1) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ไอระเหยนี้จะมีส่วนประกอบสองส่วน คือ ไอระเหยที่มองเห็นได้ ซึ่งเราจะเห็นได้ในลักษณะเปลวควันและอยู่ในรูปของออกไซด์ของโลหะ และไอระเหยที่มองไม่เห็นซึ่งเป็นส่วนประกอบของแก๊ส เรียกว่า ไอระเหยของแก๊ส ซึ่งมาจากแก๊สที่ใช้ในการเชื่อมหรืออาจจะมาจากการสลา ยตัว ของฟลั๊กซ์ เนื่องจากความร้อนในการเชื่อมก็ได้ไม่ว่าจะเป็นไอระเหยชนิดใดก็สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อช่างเชื่อมได้ โดยที่ควันและไอระเหยต่างๆนี้ จะลอยขึ้นสู่ด้านบน เนื่องจากความร้อน และอนุภาคขนาดเล็กก็จะลอยอยู่ในอากาศบริเวณที่ทำการเชื่อม และอนุภาคเล็กๆเหล่า นี้สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจ ของผู้ที่ปฏิบัติงานได้อย่างง่ายดาย หากป้องกันไม่ดีเพียงพอ อันตรายที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้

ประเภทของกระบวนการเชื่อมที่ใช้ เช่น การเชื่อมแบบฟลั๊ กซ์คอร์ หรือ การเชื่อมไฟฟ้าโดยใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊ กซ์ เป็นต้นชนิดของลวดเชื่อมที่ใช้สีเคลือบหรือสารเคลือบผิว รวมถึงคราบน้ำมัน จารบี ที่ตกค้างอยู่บนชิ้นงานเชื่อมลักษณะการระบายอากาศชนิดของโลหะที่ทำการเชื่อม เช่น การเชื่อมส เตนเลส จะก่อให้เกิดไอระเหยของโครเมี่ยมและนิคเกิล ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคหืด มะเร็ง โดยเฉ พาะโครเมี่ยมสามารถทำให้เกิดไซนัสและโพรงจมูกเป็นรู ส่วนธาตุแมงกานีสที่มีอยู่ในเหล็กกล้าคาร์บอน สามารถทำให้เกิดโรคพาร์กินสัน (Parkinson's disease) เมื่อทำการเชื่อมเหล็กกล้า ควันและไอระเหยที่เกิดขึ้นสามารถก่อให้เกิดผลดังนี้

ผลระยะสั้น เมื่อได้รับปริมาณไอระเหยมากเกินไปจะมีอาการดังนี้

1. อาการไข้เนื่องจากไอระเหยของโลหะ (Metal fume fever) เกิดขึ้นในผู้ที่รับไอระเหยของออกไซด์สังกะสี (Zinc oxide fume) มากเกินไป อาการที่เกิดขึ้นจะคล้ายกับอาการของไข้หวัดใหญ่ โ ดยปกติจะเกิดอาการขึ้นหลังจากได้รับไอระเหยไปแล้วหลายชั่วโมง อาจจะมีอาการไข้ หนาวสั่น เจ็บแสบคอ กระหายน้ำ ปวดกล้ามเนื้อหรืออ่อนเพลีย เจ็บกระเพาะอาหารและลำไส้ คลื่นเหียน อาเจียน อาการเหล่านี้จะบรรเทาลงภายในหนึ่งถึงสามวันหลังจากได้รับไอระเหย และไม่มีผลตกค้าง

2. อาการเนื่องจากการได้รับโอโซนมากเกินไป (Exposure to ozone) การเชื่อมโลหะด้วยระบบ MIG หรือ พลาสมา ก่อให้เกิดก๊าซโอโซน และจะเกิดมากในการเชื่อมด้วย TIG หากมีการสูดดมก๊าซนี้มากเกินไปอาจจะมีน้ำมูกไหลมาก ปวด ศีรษะ ง่วงนอน เซื่องซึม ระคายเคืองตา หรือระคายเคืองทาง เดินหายใจ หรืออาจทำให้ทางเดินหายใจอักเสบได้ หากอาการรุนแรงอาจจะมีของเหลวหรือเลือดคั่งในปอด แต่อย่างไรก็ตามอาการระคายเคืองเหล่านี้อาจจะไม่เกิดขึ้นทันทีทันใด

3. อาการเนื่องจากการได้รับไนโตรเจนออกไซด์มากเกินไป (Exposure to nitrogen oxide) ประกอบไปด้วยไนตริกออ กไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ได้จากการเชื่อมอาร์ค เมื่อได้รับไนโตรเจนออกไซด์จะมีการระคายเคืองต่อระบบ ทางเดินหายใจคล้ายกับการได้รับโอโซน มักจะไม่มีอาการทันที แต่อาจจะมีของเหลวในปอดหรือมีอาการน้ำท่วมปอด ในเวลาไม่กี่ชั่วโมงหลังจากหยุดการรับไอระเหย

ผลระยะยาว เมื่อร่างกายได้รับไอระเหยจากการเชื่อมเป็นเวลานานๆ อาจเกิดผลต่อร่างกายได้ดังนี้

1. ผลต่อระบบทางเดินหายใจ อาจเกิดการอักเสบหรือระคายเรื้อรัง ซึ่งเป็นอาการที่รุนแรงมากกว่าการสูบบุหรี่

2. ผลต่อระบบประสาท ซึ่งมีผลจากการได้รับไอระเหยของตะกั่วหรือแมงกานีสมากเกินไป

3. ระบบหัวใจและหลอดเลือด เนื่องจากการได้รับก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ จากการเชื่อม MIG/MAG ก๊าซนี้จะรวมตัวกับฮีโมโกบิลในเลือดทำให้เลือดมีความสามารถในการพาออกซิเจนลดลง ดังนั้นช่างเชื่อมจะมีอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจได้

4. อาการผิวหนังอักเสบ สาเหตุจากสารประกอบโครเมี่ยม (IV) จากการเชื่อมสเตนเลส

5. โรคมะเร็ง มีการพิจารณาเกี่ยวกับสารก่อมะเร็งในไอระเหยที่เกิดจากการเชื่อม และมีข้อมูลว่าช่างเชื่อมมีอัตราเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งปอดมากกว่าบุคคลทั่วไป ประมาณ 30-40 %

5.1 ก๊าซที่เป็นอันตรายที่เกิดจากการเชื่อมโลหะ

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) มักจะใช้ในการเชื่อม MIG ทั่วไป แก๊สคาร์บอนไดออกซ์จะเป็นอันตรายหากเชื่อมในที่อับอากาศ หรือสถานที่คับแคบซึ่งมีการระบายอากาศไม่เพียงพอ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้าไปแทนที่ออกซิเจน และทำให้ช่างเชื่อมหมดสติโดยไม่รู้ตัว

คาร์บอนมอนออกไซด์ (CO) แก๊สชนิดนี้จะเกิดจากการใช้แก๊สปกคลุมเมื่อทำการเชื่อม MIG เช่นกัน และจะมีอยู่ในบริเวณที่ทำการเชื่อม และเมื่อบริเวณนั้นมีการระบายอากาศที่ไม่ดีพอ ช่างเชื่อมจะมี โอกาสรับแก๊สนี้ในปริมาณสูง การได้รับแก๊สชนิดนี้มากเกินไปก่อให้เกิดอาการง่วงซึ ม ปวดศีรษะ อาเจียน และอาจหมดสติได้

ฟอสจีน (Phosgene) เป็นแก๊สพิษชนิดรุนแรง ปกติแล้วจะไม่เกิดจากควันที่เกิดจากจากการเชื่อม แต่จะเกิดขึ้นจากการที่แสงอุลตร้าไวโอเลตที่เกิดจากการเชื่อมทำ ปฏิกิริยาทางเคมีกับไอระเหยของสารละลายประเภทคลอริเนต ที่อยู่ใกล้กับบริเวณ การเชื่อม เช่น น้ำยาไตรโครโรเอทธิลีน ไตรโครโรอีเธน หรือเปอร์โครโรเอทธิลี น การได้รับแก๊สชนิดนี้เป็นเวลานานจะก่อให้เกิดอาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ หรือ หากรุนแรงปอดอาจจะเสียหายได้

5.2 ไอระเหยของโลหะที่เป็นอันตราย

ตะกั่ว พบในทองเหลืองบางชนิด เหล็กกล้าผสม โลหะผสมสำหรับงานบัดกรี ตะกั่วมีผลต่อระบบประสาท ระบบเลือด และระบบทางเดินอาหาร แต่อย่างไรก็ตามในช่างเชื่อมจะพบอาการพิษจากตะกั่วน้อย แต่จะพบมากในผู้ที่ ปฏิบัติงาน ตัดหรือเชื่อมงานที่เคลือบสีที่มีส่วนผสมของตะกั่ว เช่น การตัด -ทำลายโครงสร้างเรือหรือ สะพาน

แคดเมี่ยม พบมากในโลหะชุบผิวและลวดเชื่อมผสมบางชนิด (Silver blazing alloy) สามารถก่อให้เกิดอันตรายรุนแรงได้จากอาการถุงลมโป่งพอง และเกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใ จ หลอดลมอักเสบ โรคปอดอักเสบจากสารเคมี อาการอาจจะเกิดขึ้นหลังจากได้รับสารไปแล้วหลายชั่ วโมง

การได้รับ แคดเมี่ยมออกไซด์เพียงครั้งเดียวแต่ปริมาณมาก จะก่อเกิดอันตรายรุนแรงถึงตายได้ การได้รับพิษจากแคดเมี่ยมเรื้อรังอาจทำให้ปอดและไตเสียได้

แมงกานีส พบในเหล็กกล้าผสมและลวดเชื่อมพอกผิวแข็งบางชนิด แมงกานีส อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบประสาทและทา งเดินหายใจ การได้รับไอระเหยจากแมงกานีสในการเชื่อม อาจทำให้ปอดอักเสบได้ หรืออาจเกิดอาการไข้เนื่องจากการได้รับไอระเหยของโลหะ (Metal fume fever) และมีรายงานว่าพบอาการเกี่ยวกับระบบประสาทและการควบคุมกล้ามเนื้ อ ในช่างเชื่อมที่ทำการเชื่อมเหล็กผสมแมงกานีสสูงและเชื่อมในสถานที่อับอากาศ

สังกะสี พบในโลหะบัดกรี ทองเหลือง บ รอนซ์ เหล็กชุบสังกะสีหรือที่เรียกเหล็กชุบกัลวาไนซ์ เมื่อทำการเชื่อมจะมีไอระเหยของสังกะสีออกไซด์ หลังจากนั้นหลายชั่วโมง จะมีอาการไข้เนื่องจากไอระเหยของโลหะ มีอาการคล้ายไข้หวัดใหญ่ แต่จะหายไปเองภายใน 24-48 ชั่งโมง

เหล็ก การเชื่อมโลหะมักก่อให้เกิดเหล็กออกไซด์ และมีลักษณะเป็นอนุภาคเล็กๆ สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจ หากมีปริมาณมาก อนุภาคของเหล็กออกไซด์จะตกค้างอยู่ในปอด สามารถตรวจพบได้โดยการเอ็กซเรย์ จะเห็นเป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ในปอด อาจทำให้เกิดโรคปอดจากการได้รับฝุ่นผงเหล็กมากเกินไป (Siderosis)

โมลิบดีนั่ม พบในโลหะผสมบางชนิดโมลิบดินั่มก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและดวงตา เมื่อได้รับในปริมาณมาก

โคบอลต์ พบมากในเหล็กที่ทนความร้อนสูงและเหล็กที่มีความแข็งแรงสูง การสูดดมไอระ เหยของโคบอลต์ก่อให้เกิดอาการหายใจเป็นช่วงสั้นๆไอและปอดอักเสบ

วาเนเดียม พบในเหล็กผสมบางชนิดและลวดเชื่อมบางชนิด การได้รับไอระเหย โดยเฉพาะกับ Pentoxide (V2O5) จะทำให้ระคายเคืองตา ระบบทางเดินหายใจและลำคอ และอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดปอดอักเสบจากสารเคมี

นิคเกิล พบในเหล็กที่ชุบนิคเกิล , ลวดเชื่อมเหล็กกล้าผสมต่ำความแข็งแรงสูง (High-strength low-alloy steel electrodes) และเหล็กสเ ตนเลส ช่างเชื่อมที่ทำการเชื่อมส เตนเลสอาจจะเกิดอาการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจได้ นิคเกิลเป็นสารที่ทำให้เกิดมะเร็งจมูกและปอด

โครเมี่ยม เป็นธาตุผสมที่สำคัญในส เตนเลส และอาจมีในลวดเชื่อมพอกผิวแข็งบางชนิด โครเมท (Chromate) อาจจะพบได้ในควันที่เกิดขึ้นจากเชื่อมสเ ตนเลส หรือควันที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม Chrome-alloy ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุทางเดินหายใจ การรับไอระเหยของโครเมี่ย ม (VI) มากเกินไปอาจจะก่อให้เกิดโรคผิวหนังหรือ หิดได้ ช่างเชื่อมส เตนเลสโดยวิธี MIG จะมีโอกาสได้รับโครเมี่ยม (VI) น้อยกว่าช่างเชื่อมที่ใช้ลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลั๊กซ์

ฟลูออไรด์ การเชื่อมจะทำให้เกิดฝุ่นของฟลูออไรด์ พบได้ทั้งการเชื่อมแบบการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดหุ้มฟลั๊กซ์การเชื่อมแบบฟลั๊กซ์คอร์ และในฟลั๊กซ์ซับเมอร์จ ฟลูออไรด์ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา ระบบ

ทางเดินหายใจ ฟลูออไรด์ทำให้ความหนาแน่นของกระดูกและเอ็นเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสะสมของฟลูออไรด์ แต่ไม่มีรายงานยืนยันว่าเกิดการผิดปกติของกระดูกและเอ็น

ซิลิกอน พบในลวดเชื่อมบางชนิดในรูปของสารประกอบโลหะหรือออกไซด์หรือทั้งสองอย่างและสามารถอยู่ในรูปของซิลิกอนไดออกไซด์ในฟลั๊ กซ์ซับเมอร์จ ด้วย และอาจจะอยู่ในรูปของฝุ่นผงที่ละเอียดในถัง

ฟลั๊กซ์ ซึ่งฝุ่นละอองเหล่านี้สามารถเข้าสู่ร่างกายได้และทำให้เกิดโรคที่เรียกว่า Silicosis ได้มีรายงานว่า ช่างเชื่อมมีอัตรา เสี่ยง ต่อการเกิดโรคมะเร็งปอดมากกว่าผู้บริหารหรือเจ้าของโรงงานถึง 40% เนื่องมาจากสภาพแวดล้อมในการทำงานและช่างเชื่อมที่ไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันไอหรือควันจะได้รับอนุภาคที่เป็นอันตรายประมาณครึ่งกรัมในการทำงาน 8 ชั่วโมง เมื่อคำนวณแล้วจะพบว่าใน 1 ปีจะมีอนุภาคเล็กๆ ที่เข้าสู่ร่างกายถึง 100 กรัมและหากทำงานลักษณะนี้ไป 25 ปีก็จะมีอนุภาคที่เข้าสู่ร่างกายถึง 2.5 กิโลกรัม และหากเป็นบุคคลที่สูบบุหรี่ก็จะมีอัตราเสี่ยงเพิ่มขึ้นอีก

บทสรุป

กระบวนการเชื่อมโลหะ โดยการอาร์ก เป็นแบบหนึ่ง ซึ่งได้รับความร้อนจากการอาร์กระหว่างลวดเชื่อมแบบต่อเนื่อง (Continuous Filler Metal or Consumable Electrode) กับชิ้นงาน และมีแก๊สจากแหล่งภายนอกถูกจัดให้จ่ายออกมาเป็นเกราะปกคลุมแนวเชื่อมขณะ อาร์กเพื่อป้องกันการรวมตัวจากบรรยากาศ กระบวนการเชื่อมแบบนี้แบ่งออกได้เป็น 4 วิธีการ (Variations) ตามชนิดของแก๊สที่ใช้เป็นเกราะป้องกันขณะอาร์กหรือชนิดของการส่งป้อนโลหะ (Metal Transfer)