

Unit 2

กรรมวิธีการตัดและการเจาะรู Cutting and Gouging Processes



ที่มา : AUTOMATED OXY-FUEL CUTTING, 2012



ที่มา : GOUGING HOW TO, 2015

จุดประสงค์การเรียนรู้ บทที่ 2 กรรมวิธีการตัดและการเจาะรู

- รู้จักและเข้าใจถึงความสำคัญของการตัดและการเจาะรูสำหรับงานเชื่อม
 - รู้จักและเข้าใจถึงขบวนการตัดโลหะด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีน
 - รู้จักและเข้าใจถึงขบวนการตัดโลหะด้วยลำอาร์กพลาสมา
 - รู้จักและเข้าใจถึงขบวนการเจาะรูโลหะด้วยลำอาร์กพลาสมา
 - รู้จักและเข้าใจถึงขบวนการตัดและเจาะรูโลหะด้วยอากาศ-คาร์บอนอาร์ค
 - รู้จักและเข้าใจถึงขบวนการตัดโลหะด้วยลำแสงเลเซอร์
 - ตระหนักและมีจิตได้สำนึกในการให้ความสำคัญกับความปลอดภัยในขณะที่ปฏิบัติงานตัดและงานเจาะรู
-

“Cutting Porcess” เป็นขบวนการตัดเนื้อโลหะเพื่อแยกออกเป็นชิ้น ซึ่งมีความสำคัญและจำเป็นในงานด้านเทคโนโลยีการเชื่อม เพราะการเตรียมรอยต่อของโลหะที่จะทำการเชื่อมมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการเชื่อมและคุณภาพของรอยเชื่อม โดยเฉพาะโอกาสของการเกิดข้อบกพร่องของงานเชื่อม ดังนั้น การรู้และเข้าใจถึงขบวนการตัดด้วยวิธีการต่าง ๆ เป็นอย่างดีจะทำให้สามารถเลือกใช้ขบวนการตัดที่ถูกต้องและเหมาะสมกับสภาพงานที่นำไปใช้ ปัจจุบันกรรมวิธีการตัดมีหลากหลายวิธีให้เลือกใช้ ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดี-ข้อด้อย และความเหมาะสมที่แตกต่างกัน พบว่าในงานทางด้านเทคโนโลยีงานเชื่อมนิยมการตัดแบบใช้พลังงานของความร้อนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น ในบทนี้จึงเจตนามุ่งเน้นเนื้อหาสาระของแต่ละกรรมวิธีในการตัดแบบใช้ความร้อนช่วยในการตัด ได้แก่ ขบวนการตัดด้วยแก๊สออกซิเจน (Oxy-fuel gas cutting : OFC) ขบวนการตัดด้วยพลาสมา (Plasma arc cutting : PAC) ขบวนการตัดด้วยอากาศ-คาร์บอนอาร์ก (Carbon arc- air cutting : CAC-A) และขบวนการตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser beam cutting : LBC) ซึ่งแต่ละวิธีสามารถเลือกใช้กับวัสดุโลหะที่เหมาะสมในขีดความสามารถของการตัด ดังแสดงใน **ตารางที่ 2.1**

“Gouging Porcess” เป็นขบวนการตัดเจาะเนื้อโลหะเพื่อให้เกิดร่องหรือขจัดเนื้อโลหะเชื่อมที่เป็นข้อบกพร่องของรอยเชื่อมเพื่อทำการเชื่อมซ่อมหรือแก้ไข ซึ่งมีกรรมวิธีการเจาะร่องที่นิยมใช้งานกัน ได้แก่ การเจาะร่องโลหะด้วยลำอาร์กพลาสมาและขบวนการเจาะร่องโลหะด้วยอากาศ-คาร์บอนอาร์ก ซึ่งได้นำรายละเอียดของขบวนการตัดเจาะ องค์ประกอบที่สำคัญของขบวนการ รวมถึงคำแนะนำต่าง ๆ ของการเลือกใช้ขบวนการตัดเจาะร่องที่เหมาะสม ผู้เขียนได้ศึกษาและรวบรวมไว้ในบทเรียนนี้อย่างครบถ้วน

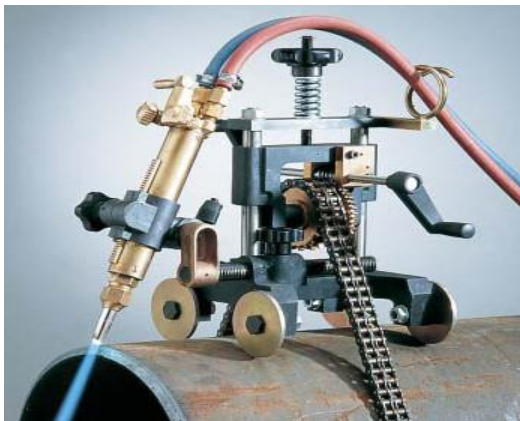
ตารางที่ 2.1 ตารางการเลือกกรรมวิธีการตัดแบบใช้ความร้อนที่เหมาะสมกับชนิดของวัสดุโลหะ

ที่มา : AWS- Welding science and technology. Vol. 19th, 2001

วัสดุโลหะ (Materials)	กรรมวิธีการตัด (Cutting processes)			
	การตัดด้วยแก๊สออกซิเจน	การตัดด้วยพลาสมา	การตัดด้วยอากาศ-คาร์บอนอาร์ก	การตัดด้วยลำแสงเลเซอร์
	(OFC)	(PAC)	(CAC-A)	(LBC)
เหล็กกล้าคาร์บอน	✓	✓	✓	✓
เหล็กกล้าไร้สนิม	✓	✓	✓	✓
เหล็กหล่อ	✓	✓	✓	✓
อลูมิเนียม	X	✓	✓	✓
ไทเทเนียม	✓	✓	✓	✓
ทองแดง	X	✓	✓	✓
วัสดุทนไฟ	X	✓	✓	✓

2.1 ขบวนการตัดด้วยแก๊สออกซิเจน (Oxy-fuel gas cutting : OFC)

ขบวนการตัดนี้มีมานานซึ่งอาจเป็นที่รู้จักกันในชื่อว่า การตัดด้วยเปลวไฟ (Flame Cutting) หรือ การตัดด้วยแก๊ส (Gases cutting) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 มีการใช้งานกันแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นการตัดโลหะเพื่องานทั่วไป หรืองานตัดเตรียมงานเพื่อการเชื่อมโดยใช้สององค์ประกอบร่วมกัน คือ เชื้อเพลิงแก๊ส (Fuel gases) กับออกซิเจน (Oxygen) ซึ่งเชื้อเพลิงแก๊สทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่โลหะที่ต้องการตัดจนร้อนแดงเกือบหลอมละลาย (Ignition point) จากนั้นปล่อยแก๊สออกซิเจนที่มีแรงดันสูงออกมาเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับเนื้อโลหะร้อนแดงแล้วเกิดการออกซิไดซ์ (Oxidized) ได้เป็นโลหะออกไซด์ซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำลง จึงเกิดการหลอมละลายของเนื้อโลหะที่ง่ายและรวดเร็วขึ้น ในขณะเดียวกันแรงดันของแก๊สออกซิเจนที่สูงจะเป่าเนื้อโลหะที่หลอมเหลวออกไปทำให้โลหะขาดออกจากกัน โดยเป็นที่ทราบกันดีว่าเชื้อเพลิงแก๊สที่นำมาใช้มีหลายชนิด และแต่ละชนิดจะให้พลังงานความร้อนแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของชนิดวัสดุโลหะ กรณีทำการตัดโลหะที่มีสมบัติต้านทานต่อการเกิดออกซิไดซ์จะตัดยากขึ้น แนะนำว่าจำเป็นต้องใช้ฟลักซ์เคมี (Chemical flux) หรือผงโลหะ (Power metals) เข้าร่วมกับออกซิเจนเพื่อช่วยให้การตัดง่ายขึ้น (Low melting)



(ก) การตัดด้วยเครื่องมืออุปกรณ์



(ข) การตัดด้วยมือ

รูปที่ 2.1 การตัดเตรียมโลหะด้วยขบวนการแก๊สออกซิเจน

ที่มา : TWI-Cutting processes and application of oxyfuel cutting, 2000

2.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในขบวนการตัดด้วยแก๊สออกซิเจน

ขบวนการตัดด้วยแก๊สออกซิเจนมีทั้งที่เป็นเครื่องมือหลักและอุปกรณ์ช่วยเสริม ซึ่งมีหลักการใช้งานไม่ยุ่งยากหรือสลับซับซ้อน สิ่งที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษจะเป็นเรื่องของความปลอดภัย เนื่องจากเป็นขบวนการที่มีทั้งความร้อน ประกายไฟ และถึงภาชนะที่มีความดันที่อาจจะระเบิดหรือลุดติดไฟได้ ดังนั้น ผู้ปฏิบัติการตัดต้องมีชุดอุปกรณ์ป้องกันอันตราย โดยเฉพาะแว่นกรองแสง (Goggles) ต้อง

เลือกนัมเบอร์ความเข้มของเลนส์ที่เหมาะสม ดังข้อแนะนำตามมาตรฐานการป้องกันดวงตาของ OSHA (2005) และต้องสวมตลอดเวลาขณะปฏิบัติงาน

ตารางที่ 2.2 แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการตัดด้วยแก๊สออกซิเจน

ที่มา : Larry Jeffus and Lawrence Bower, *Welding skill, process and practices Book 1, 1st, 2010*

แก๊สเชื้อเพลิง (Fuel gases)	ความร้อนของเปลวไฟ (Heat of flame)	
	องศาฟาเรนไฮต์ (°F)	องศาเซลเซียส (°C)
แก๊สอะเซทิลีน (Acetylene)	5,589	3,087
แก๊สผสมไฮโดรคาร์บอน (MAPP) ^a	5,301	2,927
แก๊สธรรมชาติ (Natural gas)	4,600	2,538
แก๊สโพรเพน (Propane)	4,579	2,526
แก๊สโพรพิลีน (Propylene)	5,193	2,867
แก๊สไฮโดรเจน (Hydrogen)	4,820	2,660

หมายเหตุ ของตารางที่ 2.2

- a = MAPP เป็นแก๊สผสมของ โพรพิลีน (Propylene) โพรพาดีน (Propadiene) และเมทิลอะเซทิลีน (Methylacetylene)

ในรูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับขบวนการตัดด้วยแก๊สออกซิเจนตามข้อระบุของ Harold P. Manly (2008) ซึ่งประกอบด้วย

- | | |
|---|---|
| (1) ถังแก๊สเชื้อเพลิง (Fuel cylinder) | (2) ถังแก๊สออกซิเจน (Oxygen cylinder) |
| (3) สายแก๊สเชื้อเพลิง (Fuel hose) | (4) สายแก๊สออกซิเจน (Oxygen hose) |
| (5) เกจวัดแก๊สเชื้อเพลิง (Fuel regulator) | (6) เกจวัดแก๊สออกซิเจน (Oxygen regulator) |
| (7) หัวตัดแก๊ส (Torch) | (8) หัวทูปัด (Nozzle) |
| (9) วาล์วกันไฟกลับ (Non-return valve) | (10) อุปกรณ์จุดไฟ (Spark lighter) |
| (11) ประแจ (Spanner) | (12) อุปกรณ์ทำความสะอาด (Tip cleaner) |
| (13) รถเข็นวางถัง (Trolley) | (14) ฝาครอบหัวถัง (Cylinder cap) |

งานตัดโลหะด้วยแก๊สออกซิเจนมีได้ทั้งภายในโรงปฏิบัติงานและภายนอกในพื้นที่ต่าง ๆ ดังนั้นรูปแบบการเตรียมความพร้อมของเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการเคลื่อนย้ายก็จะแตกต่างกัน โดยแต่ละรูปแบบต้องคำนึงความปลอดภัยและความสะดวกในการใช้งานเป็นหลักสำคัญ ซึ่งมี 3 รูปแบบหลักดังสรุปไว้ใน Kehl (2017) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แต่อย่างไรก็ตาม รายละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์ไม่แตกต่างกันนอกจากในบางสถานที่ปฏิบัติงานตัดที่อาจจำเป็นต้องมีเครื่องมือหรืออุปกรณ์พิเศษอื่น ๆ

เสริมเพื่อปฏิบัติงานร่วมกัน เช่น ตัดงานบนพื้นที่สูง ตัดงานในสถานที่อับและคับแคบ ตัดงานที่เป็น ภาวะความดัน หรือตัดงานในพื้นที่ใต้น้ำ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตัดด้วยแก๊สออกซิเจน

ที่มา : Equipment for DIY and Lincoln Oxy-Acetylene Cutting



(ก) รูปแบบในโรงปฏิบัติงาน (ข) รูปแบบนอกโรงปฏิบัติงาน (ค) รูปแบบพกพา (DIY)

รูปที่ 2.3 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการตัดด้วยแก๊สออกซิเจน

ที่มา : Equipment for DIY and Lincoln Oxy-Acetylene Cutting

2.1.2 ขบวนการตัด (Cutting processes)

1. องค์ประกอบของขบวนการตัด Prior F Willis (2009) ได้อธิบายไว้ว่าการตัดด้วยปัจจัยที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นชนิดของเชื้อเพลิง ชนิดของปลายหัวตัด (Tip) ขนาดรูออกซิเจน อัตราการไหลของออกซิเจน และอัตราความเร็วในการตัดจะได้ผลของรอยตัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ ร่องตัดที่เรียกว่า “Kerf” จะกว้างแตกต่างกัน ดังในรูปที่ 2.4 และใช้เป็นตัวระบุถึงคุณภาพของการตัดซึ่งจะถูกระบุไว้ในแบบสั่งงาน โดยปกติชิ้นงานที่มีความหนาขนาดของ Kerf จะมีค่าที่มากขึ้น นอกจากนี้ ยังมีค่าของ Drag ที่เกิดต่างกันซึ่งพิจารณาได้จากในรูปที่ 2.4 กล่าวคือ เมื่อทำการปล่อยแรงดันของออกซิเจนผ่านหัวตัดจนกระทั่งลำของออกซิเจนทะลุออกสู่ด้านล่างของชิ้นงานตัด เรียกตำแหน่งนี้ว่า “Zero Drag” จากนั้นเริ่มเคลื่อนหัวตัด ถ้าเพิ่มความเร็วในการตัดหรือลดปริมาณการไหลของออกซิเจนลงจะส่งผลทำให้ลำออกซิเจนทะลุออกไปด้านหลังลดลง ผิวงานด้านล่างหลอมเหลวยากและขาดออกข้างลง ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าลำของออกซิเจนจะอยู่ในแนวเอียงกับด้านบนหรือเกิดตามหลังในทิศทางการเคลื่อนหัวตัด เรียกระยะเอียงนี้ว่า “Drag” ปกติระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงานตัด เช่น 8% หมายถึงแนวการตัดที่สมบูรณ์ของด้านล่างมีระยะห่างจากด้านบนตามแนวทิศทางการตัด 8% ของขนาดความหนาชิ้นงาน กรณีค่า Drag ที่มากขึ้นจะทำให้คุณภาพการตัดลดลง มักเกิดจากความเร็วตัดที่สูงมากเกินไปทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง และในทางกลับกันกรณีความเร็วต่ำเกินไปออกซิเจนมากเกินไปคุณภาพรอยตัดก็ไม่ได้เรียกลักษณะนี้ว่า “Reverse Drag”

เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการตัดด้วยแก๊สออกซิเจนมีหลายชนิดให้เลือกใช้ ซึ่งแต่ละชนิดจะให้พลังงานความร้อนของเปลวไฟต่างกันและมีข้อดี-ข้อเสีย จึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 เมื่อพิจารณาจะพบว่าแก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) เป็นแก๊สที่นิยมใช้กันในภาคอุตสาหกรรมเพราะติดไฟง่ายให้ความร้อนสูง สามารถใช้ได้ทั้งการเชื่อมและการตัดราคาค่อนข้างสูง โดยสามารถปรับเปลวไฟที่ให้ความร้อนแตกต่างกันได้ ดังรูปที่ 2.5 (ก) ส่วนจำพวกแก๊สธรรมชาติ จะใช้ในงานทั่ว ๆ ไป ให้พลังงานความร้อนไม่สูงมากแต่ประหยัดราคาถูก โดยเปลวไฟที่ปรับเพื่อสร้างอุณหภูมิทางความร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ข) ซึ่งเปลวไฟที่ทำการปรับมี 5 แบบเปลวไฟหลัก อ้างอิงตาม American Torch Tip (2020)

1. เปลวไฟเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนในบรรยากาศปกติ โดยปรับจนไม่มีควัน
2. เปลวไฟ Carburizing เป็นเปลวไฟที่ใช้ให้ความร้อนก่อนการเป่าออกซิเจนตัด
3. เปลวไฟ Reducing เป็นเปลวไฟใช้อุ่นงานก่อนตัด ความร้อนไม่สูงมากพอสำหรับตัด
4. เปลวไฟ Neutral เป็นเปลวไฟที่มีความร้อนสูงสำหรับตัด ได้ทั้งแบบที่มี Jet Open
5. เปลวไฟ Oxidizing เป็นเปลวไฟที่เหมาะสมสำหรับช่วงให้ความร้อนก่อนตัด (Preheat)

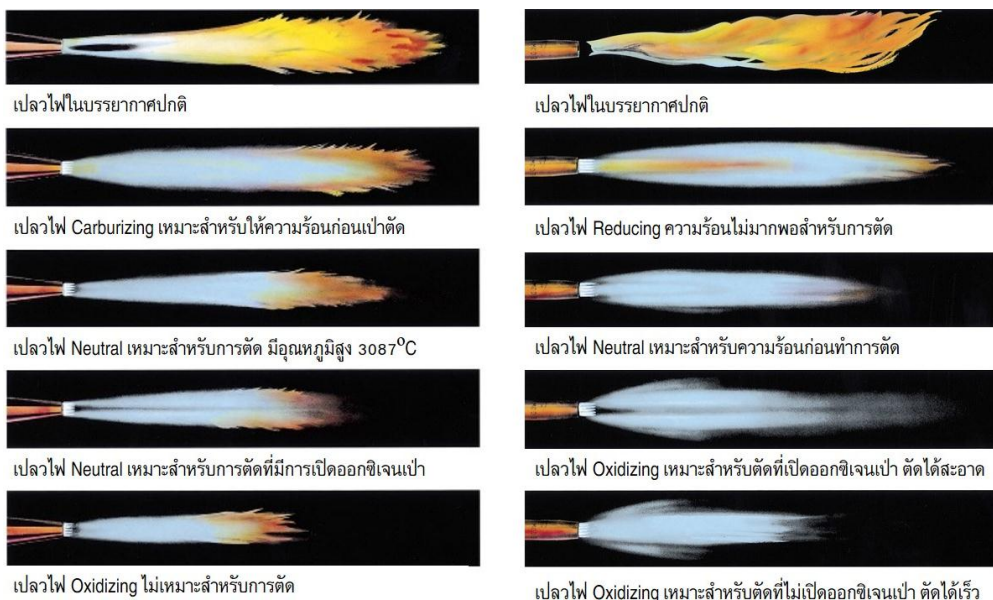
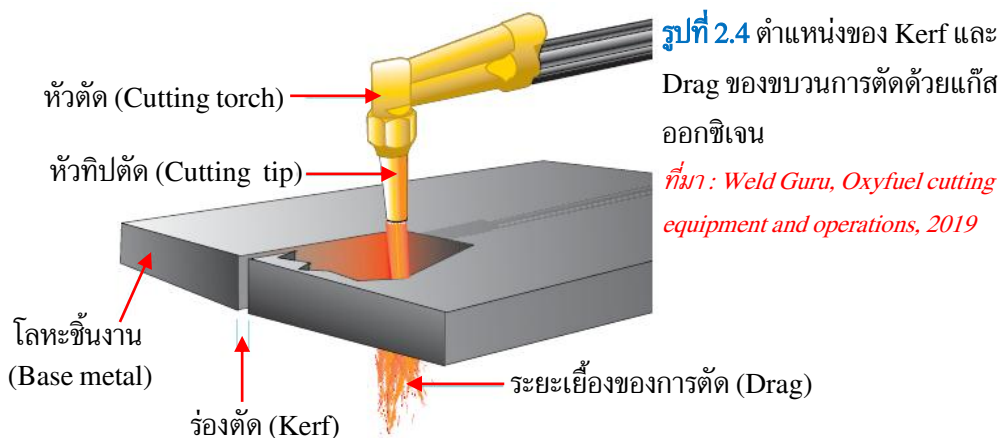
การปรับเปลวไฟจะปฏิบัติกรบนหัวตัดแก๊ส (Torch) มี 2 ประเภทหัวตัด คือ

ก. หัวตัดประเภทผสมแก๊สที่ปลายหัวทูป (Mixing in tip chamber) เป็นประเภทที่แก๊สเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนได้รับการผสมกันที่ภายในปลายของหัวทูปตัด (Torch tip) ดังรูปที่ 2.6 (ก)

ข. หัวตัดประเภทผสมแก๊สที่ห้องของหัวตัด (Mixing in torch chamber) เป็นหัวตัดประเภทที่แก๊สเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนจะได้รับการผสมกันที่ภายในห้องของหัวตัด (Torch) ดังรูปที่ 2.6 (ข) ซึ่งมี 2 แบบ ให้เลือกตามระดับแรงดันของแก๊ส ได้แก่

– แบบแรงดันแก๊สสูง (High pressure gases) หรือเรียกว่า Positive type จะใช้ได้กับการตัดด้วยแก๊สที่มีแรงดันสูงเพราะแก๊สสามารถส่งเข้าไปสู่หัวตัดได้ด้วยตัวเอง เช่น แก๊สอะเซทิลีน

– แบบแรงดันแก๊สต่ำ (Low pressure gases) หรือเรียกว่า Injection type จะเหมาะสมกับแก๊สเชื้อเพลิงที่มีแรงดันต่ำกว่า 2 Psig โดยแก๊สที่ไหลจะถูกดึงผ่านคอขวด (Ventury) เช่น จำพวกแก๊สธรรมชาติ

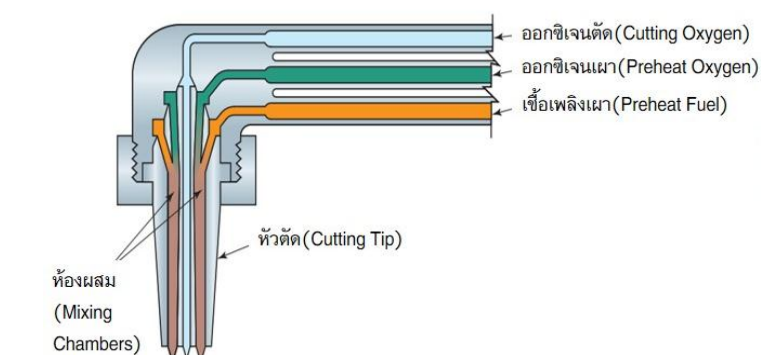


(ก)

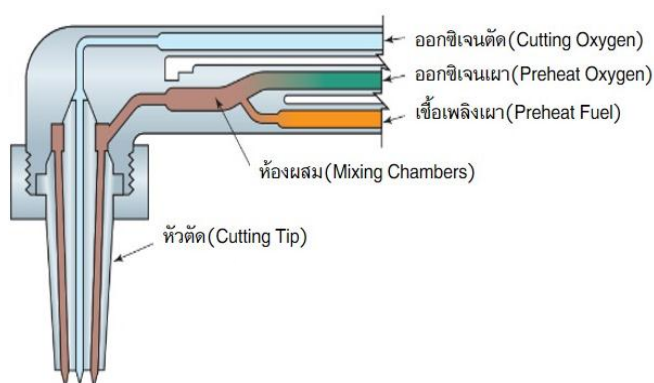
(ข)

รูปที่ 2.5 เปลวไฟความร้อน (ก) เชื้อเพลิงแก๊สอะเซทิลีน และ(ข) เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ

ที่มา: Halverson CTS, Oxygen cutting process, 2011



(ก) ประเภทผสมแก๊สที่ปลายหัวทูป

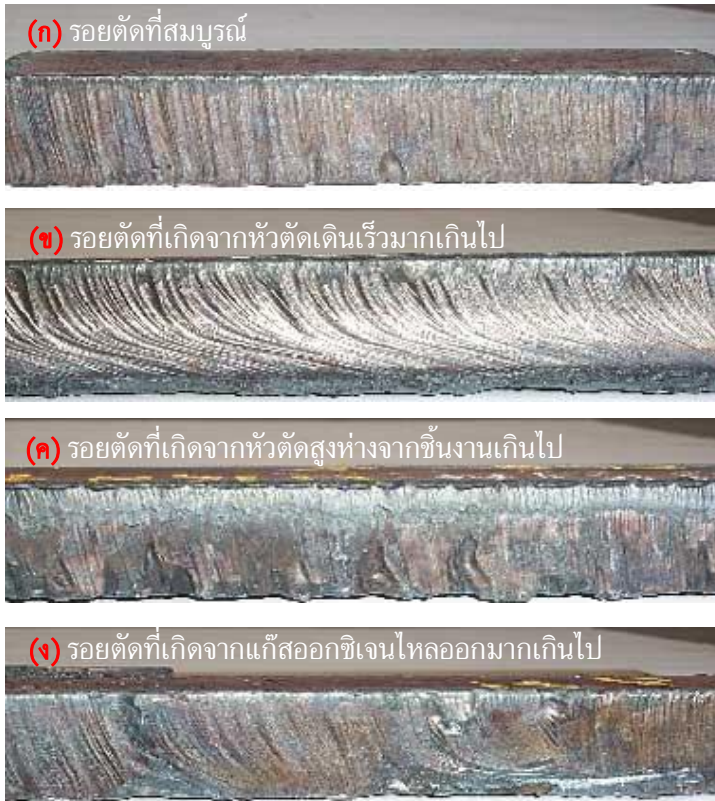


(ข) ประเภทผสมแก๊สที่ห้องหัวตัด

รูปที่ 2.6 ประเภทของการผสมแก๊สสำหรับหัวตัดแก๊ส (Type of mixing gas in torch cutting)

ที่มา : *Welding – Skills, Processes and Practices for Entry-Level Welders, 2010*

ร่องของการตัดเรียกว่า “Kerf” จะเกิดเป็นผิวรอยตัด (Cutting surface) มีลักษณะแตกต่างกันตามปัจจัยที่ใช้ในการตัดซึ่งรวมถึงความสมบูรณ์ของการตัด ดังตัวอย่างรอยตัดที่จะนำเสนอพร้อมสาเหตุดังในรูปที่ 2.7 อย่างไรก็ตาม การยอมรับในคุณภาพของรอยตัดก็ขึ้นอยู่กับประเภทของงาน หมายถึง บางประเภทงานต้องการความละเอียดและแม่นยำสูง (High precision) บางลักษณะงานที่ต้องการคุณภาพของผิวรอยตัดที่ดีมาก หรือบางลักษณะงานมีการกำหนดขนาดของร่องตัด ประเภทงานตัดเหล่านี้ต้องเลือกใช้ปัจจัยในการตัดที่ค่อนข้างแม่นยำและมีทักษะในการตัดสูง แต่สำหรับงานบางประเภทไม่ต้องการความละเอียดสูง เช่น งานตัดเพื่อทำลาย หรืองานตัดเพื่อต้องการแยกชิ้นแล้วนำไปทำการตกแต่งผิวในขั้นตอนต่อไป งานในลักษณะแบบนี้อาจไม่ต้องการใช้ทักษะหรือเครื่องมืออุปกรณ์ในการตัดที่ดีมากและสามารถทำงานได้รวดเร็วก็ได้ อย่างไรก็ตาม ผู้ปฏิบัติการตัดก็ต้องมีพื้นฐานความรู้ความสามารถในระดับที่ดีเพียงพอที่จะสามารถตัดได้ โดยเฉพาะความปลอดภัยในระหว่างการเตรียมอุปกรณ์และในระหว่างการตัด รวมถึงต้องมีความรู้ในการแก้ปัญหาถ้าเกิดเพลิงไหม้จากเปลวไฟในการตัด



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างผิว
ของรอยตัดที่เกิดจาก
ปัจจัยในการตัดต่างกัน
*ที่มา : Halverson CTS,
Oxygen cutting process,
2014*

2. เทคนิคและวิธีการตัดโลหะด้วยแก๊สออกซิเจน

นอกจากช่างเชื่อมจะมีความรู้ความเข้าใจในการเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ถูกต้องและปลอดภัยแล้วนั้น สิ่งที่จะทำให้ผลงานการตัดมีประสิทธิภาพและตรงตามแบบงานนั้น ต้องมีทักษะพื้นฐานและเทคนิควิธีการต่าง ๆ ที่สำคัญที่จะนำมาใช้ในขบวนการตัด ดังต่อไปนี้

ก. การเตรียมหัวตัดและหัวทูป (Preparation of cutting torches and cutting tip)

หัวตัดแก๊ส (Cutting torches) เป็นอุปกรณ์หลักที่สำคัญในการตัด ซึ่งผู้ตัดสามารถเลือกตามความเหมาะสมกับลักษณะของงาน โดยทั่วไปที่นิยมใช้กันมี 2 แบบ คือ หัวตัดแบบสั้น (Short cutting torch) กับหัวตัดแบบยาว (Long cutting torch) ดังแสดงลักษณะรูปร่างในรูปที่ 2.8 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งหัวตัดแบบสั้นออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับการตัดโลหะที่มีขนาดเล็ก ๆ บาง ๆ รูปทรงกะทัดรัดสะดวกในการจับ น้ำหนักเบา และคล่องตัวในการเคลื่อนที่หรือควบคุมได้แม่นยำ ขณะที่การตัดจะต้องระวังความร้อนและประกายไฟที่เกิดจากการตัดเนื่องจากมือจับอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับโลหะชิ้นงานที่ตัด ส่วนหัวตัดแบบยาวมีน้ำหนักค่อนข้างมาก มีท่อแก๊สที่ยาวมากพอให้ผู้ตัดสามารถจับหรือประคองได้มั่นคงแต่ต้องมีความแข็งแรง ซึ่งสามารถตัดโลหะงานที่มีความหนามาก ๆ ได้ดี เพราะความยาวที่มากของหัวตัดทำให้ปลายของหัวตัดอยู่ห่างจากผู้ตัด ช่วยลดความร้อนและประกายไฟที่จะเกิด

อันตราย และนอกจากนี้ ยังมีหัวตัดแก๊สที่มีการออกแบบพิเศษสำหรับงานเฉพาะบางอย่างที่มีขีดจำกัดสำหรับหัวตัดแก๊สทั่ว ๆ ไปที่อาจต้องมีความยาวมากกว่าหัวตัดปกติ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ค) อย่างไรก็ตาม หัวตัดของทั้งสองแบบสามารถประกอบหรือสลับสับเปลี่ยนชิ้นส่วนของข้อต่อสวมต่าง ๆ ได้ในมาตรฐานเดียวกันไม่ว่าจะเป็นหัวทูปหรือระบบเกลียวสวม



(ก) หัวตัดแบบสั้น (Short cutting torch)



(ข) หัวตัดแบบยาว (Long cutting torch)



(ค) หัวตัดแบบยาวที่ออกแบบพิเศษเฉพาะงาน (Special long cutting torch)

รูปที่ 2.8 ขนาดความยาวของหัวตัดแก๊ส (Size of torch cutting)

ที่มา : Courtesy of Victor Equipment, a Thermadyne Company, 2010

หัวทูปตัด (Cutting tips) คือ อุปกรณ์ประกอบที่อยู่ส่วนปลายสุดของหัวตัดมีหน้าที่ควบคุมรูปร่างของเปลวไฟตัด ซึ่งสัมพันธ์กับความร้อน เปลวไฟ และประกายไฟตัดขณะทำการตัดโดยตรง จึงต้องผลิตจากวัสดุที่มีสมบัติทนความร้อนสูง มีจุดหลอมเหลวสูง และนำความร้อนต่ำ ซึ่งที่พบเห็นจากผู้ผลิตส่วนใหญ่ผลิตด้วยโลหะทองแดงผสม (Copper alloys) ดังรูปที่ 2.9 (ก) และบางครั้งนำไปเคลือบด้วยโครเมียมเพื่อยืดอายุการใช้งาน เหตุเพราะผิวที่ลื่นเป็นมันวาวของโครเมียมช่วยลดปัญหาเม็ดโลหะเกาะติดหัวทูป ดังรูปที่ 2.9 (ข) อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติพบว่าความแตกต่างของลักษณะงานที่ตัดและชนิดของแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ตัด จึงจำเป็นต้องมีการผลิตหัวทูปตัดเพื่อสอดคล้องกับความเหมาะสมในการเลือกใช้ จึงมีลักษณะของหัวทูปตัดในรูปแบบต่าง ๆ เช่น หัวทูปสำหรับงานโลหะแผ่น หัวทูปมีระบบน้ำหล่อเย็น หรือหัวทูปแบบประกอบ 2 ชิ้น เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ค) นอกจากนี้ ยังมีการ

ออกแบบรูของปลายหัวทูปเพื่อสร้างหรือกำหนดรูปร่างของเปลวไฟ ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมตามปัจจัยข้อหรือกำหนดในขบวนการตัด



(ก) หัวทูปตัดทองแดงผสม

(Cutting tips copper alloy)

(ข) หัวทูปตัดเคลือบโครเมียม

(Cutting tips chrome plating)



(ค) หัวทูปตัดออกแบบในรูปแบบต่าง ๆ

(Differently designed torch tips)

รูปที่ 2.9 หัวทูปสำหรับหัวตัดแก๊ส (Tip for torch cutting)

ที่มา : ESAB Welding & cutting products

การเลือกใช้หัวทูปตัดปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานกำหนดที่แน่นอน จะเป็นข้อแนะนำการเลือกใช้ของผู้ผลิตหัวทูปเองโดยยึดหลักความหนาของวัสดุเป็นเกณฑ์กำหนด จากนั้นผู้ผลิตก็กำหนดหมายเลขนัมเบอร์ (Number : No) ขึ้นมาเป็นของตัวเอง ซึ่งแต่ละผู้ผลิตจะมีเลขนัมเบอร์แตกต่างกัน วิธีการเปรียบเทียบขนาดหัวทูปจะมีขนาดนัมเบอร์ของปากกูเจาะด้วยดอกสว่านเป็นตัวเทียบขนาด (Cutting orifice drill number) ESAB (2009) โดยข้อกำหนดของแต่ละผู้ผลิตหัวทูปมีทั้งเหมือนกัน ไม่ก็เพียง

กัน และไม่เหมือนกัน ดังแสดงตัวอย่างการเลือกหัวทึบตัดที่เหมาะสมกับความหนาวัสดุโลหะของผู้ผลิต บางรายที่มีผลิตภัณฑ์แพร่หลายและนิยมใช้งานกันทั่วไปใน **ตารางที่ 2.3**

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบขนาดของหัวทึบตัดต่อความหนาโลหะของแต่ละผู้ผลิต

ที่มา : Larry Jeffus, *Welding and Metals Fabrication*, 2011

ผู้ผลิตหัวทึบตัด (Manufacturers)	ความหนาของโลหะ : นิ้ว (มิลลิเมตร) (Metal thickness : Inches (mm))										
	1/8	1/4	1/2	3/4	1	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5
	(3)	(6)	(13)	(19)	(24)	(37)	(49)	(61)	(74)	(98)	(123)
Cutting orifice drill number	70	68	60	56	54	53	50	47	45	39	31
^a Airco	00	0	1	1	2	2	3	4	4	5	6
^b ESAB	1/4	1/4	1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	4	4	4	4	8
Harris	000	00	0	1	1	2	2	3	3	3	4
Oxweld	2	3	4	6	6	6	8	8	8	8	8
Purox	3	3	4	4	5	5	7	7	7	7	9
Smith	00	0	1	2	2	3	3	4	4	4	5
Victor	000	00	0	1	2	2	3	4	4	5	6

หมายเหตุ ของตารางที่ 2.3

- a = ตัวอย่างหัวทึบของผลิตภัณฑ์ของ Airco นัมเบอร์ 00 แสดงว่ามีขนาดของปากหัวทึบเท่ากับนัมเบอร์ 70 ของดอกสว่านใช้ตัดโลหะที่ความหนา 1/8 นิ้ว หรือ 3 มิลลิเมตร
- b = ตัวอย่างหัวทึบของผลิตภัณฑ์ของ ESAB นัมเบอร์ 1/4 แสดงว่ามีขนาดของปากหัวทึบเท่ากับนัมเบอร์ 70-68 ของดอกสว่าน ใช้ตัดโลหะที่หนา 1/8-1/4 นิ้ว หรือ 3-6 มิลลิเมตร

ในบางกรณีพบว่า ผู้ตัดไม่มีข้อมูลการเลือกใช้จากผู้ผลิตอาจสูญหาย หรืออยู่ในสถานการณ์ที่ไม่สามารถหาได้ ช่างเชื่อมหรือผู้ตัดงานสามารถเลือกใช้หัวทึบตัดให้ถูกต้องได้ (โดยค่าประมาณ) ซึ่งใช้หลักการเปรียบเทียบกับนัมเบอร์ของเข็มทำความสะอาดหัวทึบ (Tip cleaner) หรือเทียบกับระดับแรงดันแก๊สที่ใช้ตัด (Gas pressures for cutting) ที่ได้กล่าวไว้ในหนังสือของ Larry Jeffus (2011) ดังแสดงใน **ตารางที่ 2.4** อย่างไรก็ตาม หลังจากเลือกใช้หัวทึบตัดกับความหนาของงานที่เหมาะสมแล้วนั้น ในขณะปฏิบัติงานผู้ตัดงานต้องคอยสังเกตและตรวจสอบถึงประสิทธิภาพของการตัดว่ามีความสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าเกิดความบกพร่องใด ๆ ก็สามารถทำการปรับเปลี่ยนแก้ไขได้ เหตุผลเพราะยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลของการตัดเช่น สภาพของอุปกรณ์ ขนาดความยาวของท่อหัวตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อหัวตัด ความเร็วในการตัด ระยะห่างของหัวตัด รวมถึงทักษะของผู้ตัดที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของรอยตัด

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบขนาดของหัวที่ปัดต่อความหนาโลหะโดยเทียบกับเข็มทำความสะอาด
สะอาดหัวที่ปัดกับแรงดันแก๊สที่ใช้ในการตัด

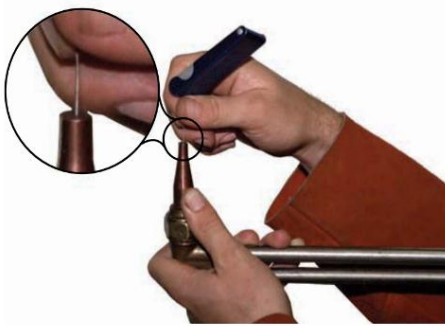
ที่มา : Larry Jeffus, *Welding and Metals Fabrication*, 2011

ขนาดของหัวที่ปัด (Tip size)	ความหนาของโลหะ : นิ้ว (มิลลิเมตร) (Metal thickness : Inches (mm))										
	1/8 (3)	1/4 (6)	1/2 (13)	3/4 (19)	1 (24)	1 1/2 (37)	2 (49)	2 1/2 (61)	3 (74)	4 (98)	5 (123)
Cutting orifice drill number	70	68	60	56	54	53	50	47	45	39	31
^a WYPO tip cleaner number	10	10	15	18	22	24	26	–	–	–	–
^a Campbell Gausfeld tip cleaner number	3	3	6	9	10	11	12	–	–	–	–
^b Oxygen pressure, psi	20– 25	20– 25	25– 30	30– 35	35– 40	35– 40	40– 45	40– 45	40– 45	45– 55	45– 55
^b Oxygen pressure, kPa	140– 170	140– 170	170– 200	200– 240	240– 275	240– 275	275– 310	275– 310	275– 310	310– 380	310– 380
^b Acetylene pressure, psi	3–5	3–5	3–5	3–5	3–5	3–5	4–8	4–8	5–11	6–13	8–14
^b Acetylene pressure, kPa	20– 35	20– 35	20– 35	20– 35	20– 35	20– 35	30– 55	30– 55	35– 75	40– 90	55– 95

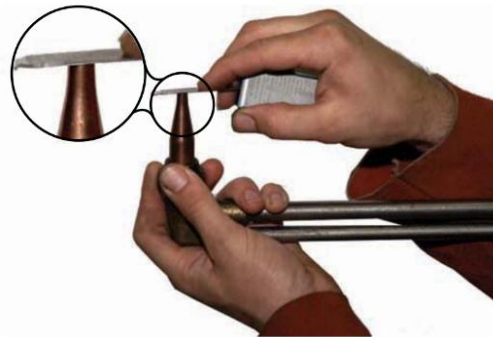
หมายเหตุ ของตารางที่ 2.4

- a = นัมเบอร์ขนาดของเข็มทำความสะอาดสะอาดหัวที่ปัดเฉพาะผู้ผลิตเท่านั้น (ไม่มีนัมเบอร์ที่เป็นมาตรฐาน)
- b = ขนาดของหัวที่ปัดที่เทียบกับแรงดันแก๊ส (โดยค่าประมาณ)

การทำความสะอาดหัวที่ปัด (Cleaning cutting tip) เป็นข้อพึงปฏิบัติที่สำคัญ เพราะขณะทำการตัดหัวที่ปัดจะเกิดความร้อนและอยู่ใกล้ชิดกับชิ้นงานตัด จึงมีโอกาที่จะเกิดการอุดตันของรูหัวที่ปัดจากเศษน้ำโลหะ (Spatter) จึงต้องใช้เข็มทำความสะอาดตามขนาดของนัมเบอร์ที่สัมพันธ์กับขนาดของรูหัวที่ปัด โดยการหย่องไปในรูเพื่อทำการขจัดสิ่งสกปรกออกจากรูของหัวที่ปัด ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ก) หรือกรณีที่เศษน้ำโลหะกระเด็นมาติดที่ปลายของหัวที่ปัด แนะนำให้ใช้ชุดทำความสะอาดชนิดตะไบแบน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ข) ถ้าไม่ทำความสะอาดหรือทำความสะอาดไม่ดีพอสิ่งสกปรกเหล่านี้จะขัดขวางทางการไหลของแก๊สตัดจะเกิดผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของผิวรอยตัด ดังนั้น ผู้ตัดต้องคอยสังเกตและทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ ถ้าเกิดกรณีที่เศษน้ำโลหะติดแน่นมากจนไม่สามารถขจัดออกได้ด้วยชุดทำความสะอาดหัวที่ปัดหรือในกรณีที่อุดรูหัวที่ปัดจนตัน ให้ทำการเจาะด้วยดอกสว่านที่มีขนาดดอกเท่ากับขนาดรูของหัวที่ปัดเจาะล้างเพื่อทำความสะอาดได้ ส่วนภายนอกสามารถใช้อุปกรณ์การเจียรไนหรือใช้ตะไบหยาบขจัดออกได้เช่นกัน แต่ต้องระมัดระวังความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับหัวที่ปัดได้



(ก) ทำความสะอาดหัวทูปตัด
(Cleaning holes of cutting tip)



(ข) ทำความสะอาดปลายหัวทูปตัด
(Cleaning flat end of cutting tip)

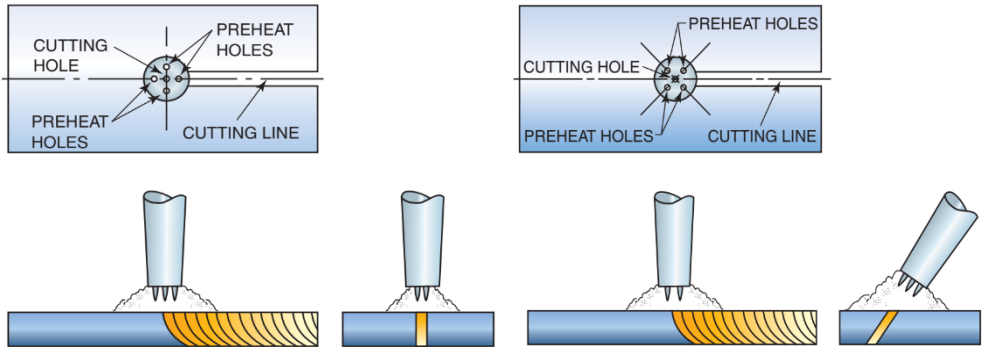
รูปที่ 2.10 การทำความสะอาดหัวทูปตัด (Cleaning cutting tip)

ที่มา : Larry Jeffus, *Welding and Metals Fabrication*, 2011

ข. การวางตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของหัวตัด (Alignment and movement of the cutting torch)

การกำหนดตำแหน่งที่ต้องการตัดหรือตามแบบงาน (Layout) ที่ชัดเจนและมีความแม่นยำจะเป็นตัวช่วยส่งเสริมให้ได้รอยตัดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการตอกนำศูนย์ (Punch) หรือ ชีตเส้นบอกทิศทางการเคลื่อนที่ของหัวตัด (Cutting line) โดยใช้ชอล์กหรือหินสูลงขีดเส้น จากนั้นก็กำหนดตำแหน่งการวางของหัวทูปโดยการพิจารณาให้รูเปลวไฟ (Preheat holes) อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องซึ่งได้นำเสนอไว้ในหลักการตัดโดย Larry Jeffus (2011) กล่าวคือ กรณีการตัดแบบตรง (Square cut) รูของเปลวไฟต้องอยู่ตำแหน่งบนเส้นกำหนด (Layout) ส่วนกรณีการตัดแบบเอียง (Bevel cut) รูของเปลวไฟต้องอยู่ตำแหน่งขอบข้างขนานของเส้นกำหนด สำหรับรูออกซิเจนตัด (Cutting holes) จะอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นกำหนดซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของหัวทูปตัด ดังแสดงความแตกต่างของการตัดทั้งสองแบบใน รูปที่ 2.11

Harold Phillips Manly (2013) ได้แนะนำไว้ว่าการเอียงของมุมหัวตัดเล็กน้อย ($1-2^\circ$) ในการตัดแบบเส้นตรง เปลวไฟบางส่วนจะพุ่งกระจายไปข้างหน้าช่วยในการอุ่นงาน (Preheat) ก่อนตัด และยังช่วยขจัดสิ่งสกปรกบนผิวชิ้นงาน ที่สำคัญเปลวไฟตัดจะช่วยเป่าให้เศษโลหะ (Slag) ให้ทะลุไปสู่ด้านล่างโดยไม่ติดค้างที่ขอบรอยตัดแต่จะไปติดอยู่กับเศษโลหะส่วนที่ทั้งแทนดังรูปที่ 2.12 (ก) และถ้าเอียงมุมหัวตัดมากขึ้นที่ $5-10^\circ$ จะช่วยให้สามารถตัดโลหะได้หนาเพิ่มขึ้น โดยต้องควบคุมกรวยเปลวตัด (Inner cone) ให้มีระยะห่างกับผิวชิ้นงานให้อยู่ในระยะ $1/8-3/8$ นิ้ว ($3-10$ มม) รูปที่ 2.12 (ข) ส่วนกรณีการตัดโลหะแผ่นที่บางหรือความหนาไม่มากต้องปรับมุมของหัวตัดให้แหลมมาก และต้องเคลื่อนที่หัวตัดด้วยความเร็วสูงเพราะโลหะแผ่นบางร้อนเร็วและหลอมละลายได้ง่ายดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ค)

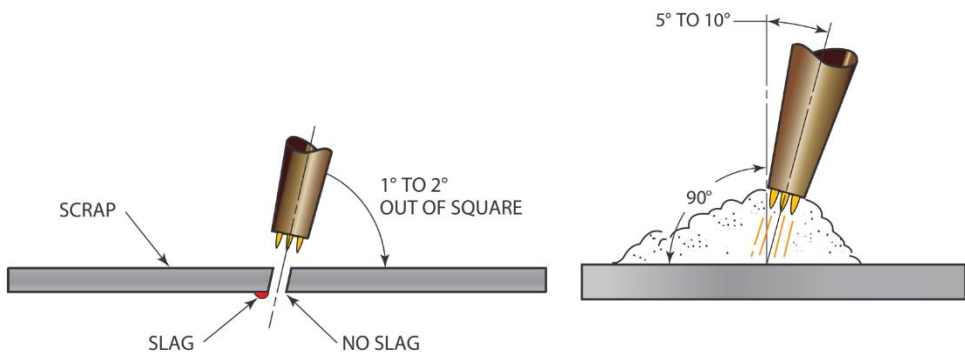


(ก) การตัดแบบตรง (Square cut)

(ข) การตัดแบบเอียง (Bevel cut)

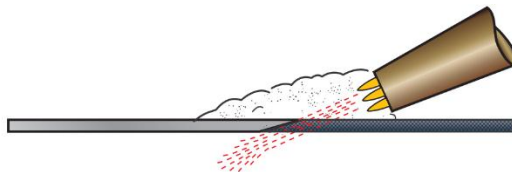
รูปที่ 2.11 การวางตำแหน่งของหัวทูปตัด (Tip alignment for cutting)

ที่มา : Larry Jeffus, *Welding and Metals Fabrication*, 2011



(ก) มุมหัวตัดเอียง $1-2^{\circ}$ (กำจัดสแลก)

(ข) มุมหัวตัดเอียง $5-10^{\circ}$ (ตัดโลหะหนา)



(ก) มุมหัวตัดเอียงเป็นมุมแหลม (ตัดโลหะบาง)

รูปที่ 2.12 การเอียงมุมของหัวทูปตัด (Tip angle for cutting)

ที่มา : Harold Phillips manly, 2013

Davis (2017) ได้อธิบายอิทธิพลของสแลก (Slag) หรือเศษโลหะหลอมเหลวที่โดนเป่าออกไป (Metals oxidized) ไว้ว่า สแลกที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิบัติการตัดมี 2 ลักษณะ คือ สแลกที่มีส่วนของโลหะที่ไม่เป็นออกไซด์เกิดขึ้นน้อย (Less unoxidized) ลักษณะเป็นรูปพูนมากมีความเปราะสูง กำจัดออกได้ง่ายด้วยการเคาะออกซึ่งไม่ลำบากมากนัก เรียกสแลกลักษณะแบบนี้ว่า สแลกอ่อน (Soft slag) ซึ่งจะเกิดขึ้นในขบวนการตัดด้วยปัจจัยที่ถูกต้องเหมาะสมและรอยตัดที่สมบูรณ์ ส่วนสแลกอีกลักษณะเป็นส่วนหนึ่งของโลหะที่ไม่เป็นออกไซด์เกิดเพิ่มมากขึ้น (More unoxidized) ประมาณ 30–40% มีรูปพูนน้อยติดแน่นอยู่ตามขอบด้านล่าง แกะออกยากค่อนข้างเหนียวและแข็งกำจัดออกด้วยการเจียรใน จึงเรียกสแลกในลักษณะแบบนี้ว่า สแลกแข็ง (Hard slag) ซึ่งเกิดขึ้นกับวิธีการตัดด้วยปัจจัยที่ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสม สาเหตุมักเกิดจากหัวที่ปัดตกรก อุ่นงานร้อนเกินไป ความเร็วตัดช้าเกินไป ระยะห่างของหัวตัดน้อยเกินไป หรือความดันของออกซิเจนไม่ถูกต้อง

ดังนั้น การควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ของการตัดจะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของรอยตัดอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม จากประสบการณ์พบว่าการตัดด้วยมือคน (Hand cutting) มีโอกาสเกิดความผิดพลาดและไม่เที่ยงตรงตลอดเวลาของการตัด ซึ่งอาจเกิดจากความชำนาญไม่มากพอ หรือเกิดจากความเมื่อยล้า จึงมักเกิดปัญหาต่อคุณภาพของรอยตัดอยู่เสมอ จึงได้พยายามหาเครื่องมือมาช่วยเสริมความแม่นยำ เช่น อุปกรณ์ตัดเอียง (Bevel cutting) อุปกรณ์ตัดตรง (Straight cutting) อุปกรณ์ตัดวงกลม (Circle cutting) หรืออุปกรณ์ตัดท่อ (Pipe cutting) ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.13 ส่วนสำหรับงานตัดที่มีขนาดใหญ่ที่ไม่เหมาะสมกับการตัดด้วยมือคนหรืองานที่ผลิตจำนวนมาก ๆ (Mass production) จะต้องมีเครื่องมือหรือเครื่องจักรที่นำมาใช้ควบคุมหัวตัด (Machine cutting) ซึ่งมีความแม่นยำสูง ควบคุมขบวนการตัดได้เที่ยงตรง รอยตัดมีคุณภาพดีและสามารถตัดแบบงานรูปทรงพิเศษต่าง ๆ ได้ดังแสดงตัวอย่าง ในรูปที่ 2.14

Larry Jeffus (2012) ได้กล่าวถึงการเคลื่อนหัวตัดแก๊สว่า มักพบปัญหาในกรณีการตัดด้วยมือคน และไม่มีอุปกรณ์เสริมช่วยเพราะใช้ทักษะของผู้ตัดเป็นตัวควบคุมหัวตัด ดังนั้น การมีเทคนิคหรือวิธีการที่ดีจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตัดได้เป็นอย่างดี โดยมีข้อแนะนำบางเทคนิคจากประสบการณ์ เช่น

1. โดยหลักการพื้นฐานก่อนเริ่มตัดงานจริง ช่างเชื่อมควรทดสอบเคลื่อนหัวตัดขณะที่ยังไม่มีเปลวไฟก่อน เพื่อตรวจสอบความคล่องตัวในการเคลื่อนไหวยวบรวมถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ในทิศทางของการตัดจริง ซึ่งถ้าพบก็สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ โดยที่ไม่เกิดความเสียหายกับชิ้นงานจริง
2. มือที่จับหรือถือหัวตัดควรเป็นมือที่ไม่ถนัด กล่าวคือ ถ้าช่างเชื่อมถนัดมือซ้ายให้ถือหัวตัดด้วยมือขวาและถ้าช่างเชื่อมถนัดมือขวาให้ถือหัวตัดด้วยมือซ้าย เหตุผลเพราะมือถนัดจะใช้รองรับการวางหัวตัดเพื่อควบคุมการตัด ซึ่งความถนัดช่วยให้การควบคุมหัวตัดได้ดี สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด ๆ ได้สะดวกและคล่องตัว
3. การตัดงานที่แนวตัดสั้น (Short cuts) แนะนำให้วางหัวตัดบนมือที่ถนัดแล้วเคลื่อนหัวตัดเข้าหาตัวเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ก) ส่วนกรณีการตัดงานที่แนวตัดยาว (Longer cuts) ให้วางหัวตัดบน

มือข้างถนัดแล้วเคลื่อนหัวตัดไปด้านข้างตามแนวเส้นตัดดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ข) นอกจากนี้พบว่า ระยะห่างของมือถนัดกับหัวที่ปัดควรชิดให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้ เพราะสามารถตัดได้ราบรื่นและแม่นยำ เทียบตรงกว่าระยะห่างที่มาก ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ค)

4. การตัดโลหะเพื่อเอารู (Flame cutting hole) มีเทคนิคการตัดด้วยการเริ่มที่จุดศูนย์กลางของแบบงานรู เมื่อเริ่มเกิดเป็นรูทะลุแล้วต่อด้วยการเคลื่อนหัวตัดแบบหมุนเกลียวออกไปนอกตัวเรานจนกว่าจะรู้ตามขนาด ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (ก) และตัวอย่างลำดับของการตัดแสดงในรูปที่ 2.16 (ข)

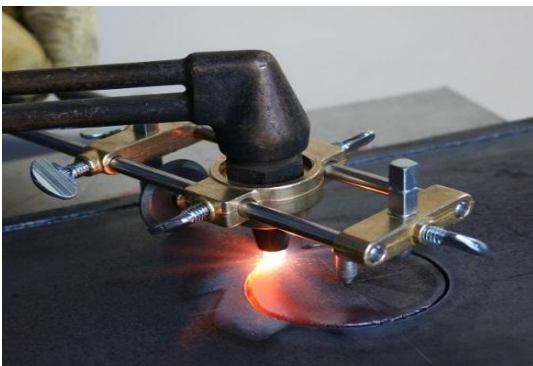
นอกจากเทคนิคหรือวิธีการเคลื่อนหัวที่ปัดที่ถูกต้องแล้วนั้นสิ่งที่ต้องใช้ร่วมกัน คือ ความเร็วในการตัด (Cutting speed) ซึ่งการกำหนดความเร็วในการตัดต้องพิจารณาร่วมกับองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยตรง ได้แก่ ความหนาของโลหะที่ตัด แรงดันแก๊สอะเซทิลีน แรงดันแก๊สออกซิเจน และตลอดจนความกว้างของร่องตัด (Kerf) โดยปกติที่พบผู้ผลิตหัวที่ปัดมักทำการทดสอบแล้วกำหนดไว้เป็นคู่มือในการเลือกใช้ หรือบางครั้งได้มีการทดลองแล้วบันทึกเป็นข้อมูลมาตรฐานการเลือกใช้ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.5 ซึ่งได้กล่าวไว้ในหนังสือเทคโนโลยีการผลิตของ PN RAO (2009)



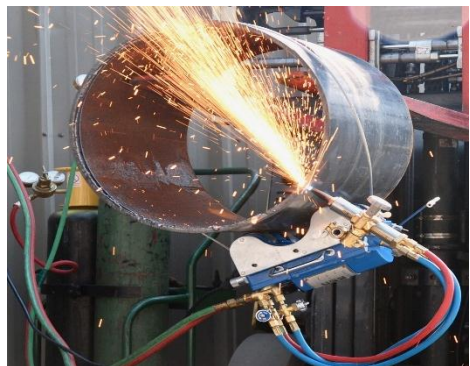
(ก) อุปกรณ์ตัดเอียง (Bevel cutting)



(ข) อุปกรณ์ตัดตรง (Straight cutting)



(ค) อุปกรณ์ตัดวงกลม (Circle cutting)



(ง) อุปกรณ์ตัดท่อ (Pipe cutting)

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างอุปกรณ์ช่วยควบคุมหัวที่ปัด (Equipment support cutting)

ที่มา : Krakowitzer GmbH-Hand cutting equipment , 2020



(ก) เครื่องตัดโลหะแบบแผ่น



(ข) เครื่องตัดโลหะแบบท่อ



(ค) เครื่องตัดโลหะหลายหัวตัด



(ง) เครื่องตัดโลหะวงกลม

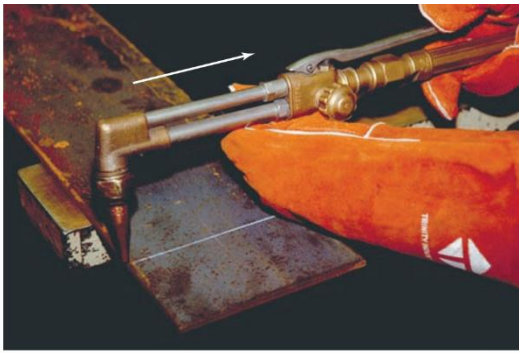
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างเครื่องจักรควบคุมหัวที่ปัด (Machine flame cutting)

ที่มา : Shanghai Tayor Heavy Industry, 2019

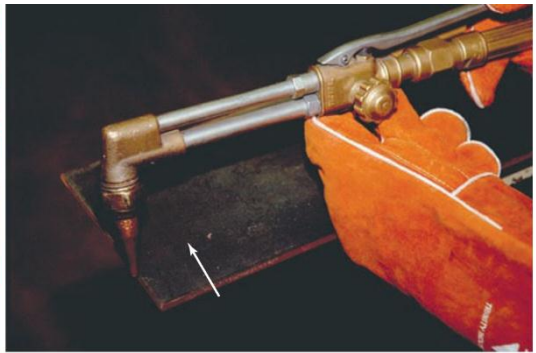
ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของปัจจัยในการตัดโลหะด้วยแก๊สอะเซทิลีน

ที่มา : PN Rao, Manufacturing Technology V.1. 3th edition, 2009

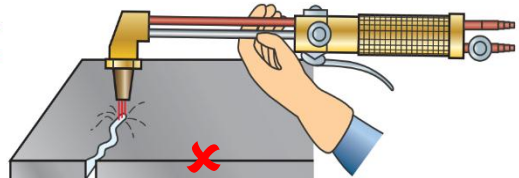
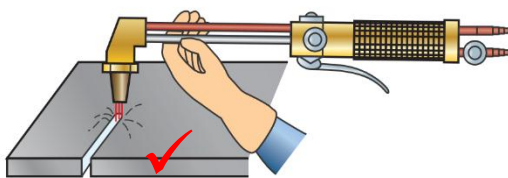
โลหะหนา (มม.)	แรงดันอะเซทิลีน (kPa)	แรงดันออกซิเจน (kPa)	ความเร็วในการตัด (ม./นาที)	ความกว้างของร่อง ตัด (Kerf) (มม.)
3.2 ถึง 9.5	21	138 ถึง 207	0.356 ถึง 0.457	1.5 ถึง 2.5
9.5 ถึง 19.1	34	207 ถึง 276	0.305 ถึง 0.381	2.5 ถึง 2.8
19.1 ถึง 38.1	34	276 ถึง 310	0.254 ถึง 0.305	1.8 ถึง 3.3
38.1 ถึง 50.8	34	310 ถึง 345	0.229 ถึง 0.254	3.3



(ก) การตัดงานที่แนวตัดสั้น (Short cuts)



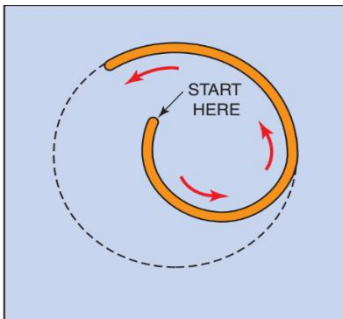
(ข) การตัดงานที่แนวตัดยาว (Longer cuts)



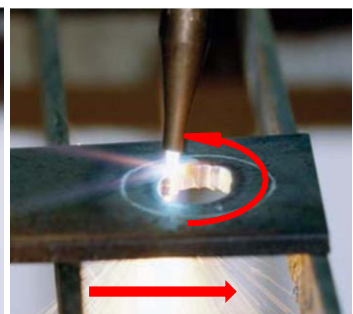
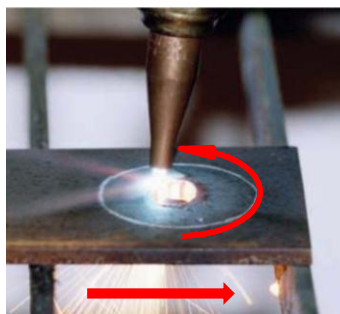
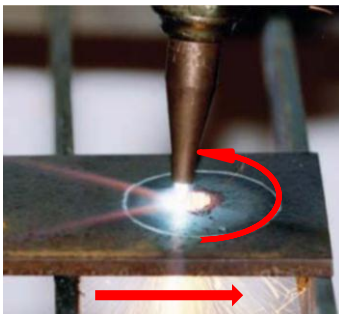
(ค) ระยะห่างระหว่างมือที่ถนัดกับหัวทูปัด

รูปที่ 2.15 การเคลื่อนและการจับหัวตัดแก๊ส (Moves and brace the cutting torch)

ที่มา : Larry Jeffus, *Welding and metal fabrication* , 2012



(ก) แสดงจุดเริ่มและทิศทางการเคลื่อน
ของหัวทูปัดของการเจาะรู (Hole)



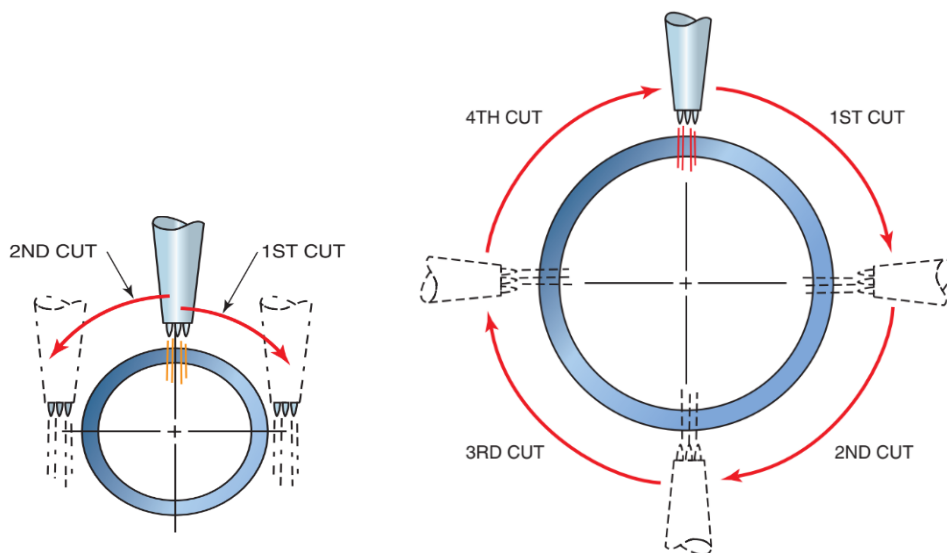
(ข) แสดงเทคนิคลำดับการเกิดรูจากการตัดเจาะเพื่อเอารู (Hole) ใช้งาน

รูปที่ 2.16 เทคนิคการเคลื่อนหัวทูปเพื่อตัดเจาะเอารู (Moves the cutting torch for hole)

ที่มา : Larry Jeffus and Laerence Bower, *Welding –Skill, Processes and Practices*, 2010

5. เทคนิคการเคลื่อนหัวทูปในการตัดโลหะประเภทท่อ (Pipe cutting) การตัดท่อด้วยมือมีการแบ่งเทคนิคการตัดได้สองแบบ แบบแรก คือ เทคนิควิธีการตัดท่อแบบเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กมีขนาดความโตโดยประมาณเล็กกว่า 3 นิ้ว หรือเล็กกว่า 76 มิลลิเมตร โดยหัวตัดเริ่มที่จุดตรงกลางด้านบนของท่อ จากนั้นเคลื่อนหัวตัดไปที่ละด้านตามความโค้งท่อ (Step by Step) ดังแสดงในรูปที่ 2.17 (ก) กับแบบที่สอง คือ เทคนิควิธีการตัดท่อแบบเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ ซึ่งขนาดความโตโดยประมาณ 3 นิ้ว หรือ 76 มิลลิเมตร หรือที่มีขนาดโตกว่าและเหมาะกับท่อผนังหนา โดยกำหนดจุดเริ่มตัดแล้วเคลื่อนหัวตัดไปทางใดทางหนึ่งที่ถนัด ไปบนผิวโค้งท่อทีละช่วง (Step) จนกว่ารอบท่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 (ข) ขณะเคลื่อนของหัวตัดต้องให้ชี้เข้าหาจุดศูนย์กลางของท่อและขนาดกับเส้นศูนย์กลาง (Centerline) ตลอดเวลา ซึ่งทำให้เกิดรอยตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Cut square) เทคนิคดังกล่าวได้แนะนำโดย Larry Jeffus (2010)

6. เทคนิคการเคลื่อนหัวทูปในการตัดโลหะประเภทเหล็กที่มีมุม (Angle iron cutting) เป็นเทคนิคการตัดโลหะต่าง ๆ ที่มีรูปทรงเป็นมุมขนาดต่างๆ เช่น มุมฉาก มุมแหลม หรือมุมป้าน เริ่มต้นด้วยการจัดวางโลหะงานที่ตัดบนโต๊ะงานหรือตำแหน่งที่เหมาะสม โดยตรวจสอบว่าชิ้นส่วนที่โดนตัดขาดสามารถตกลงพื้นได้หรือไม่ มีโอกาสเกิดความเสียหายหรือไม่ จากนั้นก็ทำการกำหนดเส้นตำแหน่งการตัดตั้งตัวอย่างในรูปที่ 2.18 (ก) การเริ่มต้นตัดต้องเริ่มที่ขอบของงานที่ไม่ใช่มุมด้านใดด้านหนึ่ง (Step 1) ทำการเคลื่อนหัวตัดทิศทางจากขอบเข้าหามุม แล้วย้ายตัดไปอีกด้านเคลื่อนหัวตัดแบบเดียวกัน (Step 2) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ข) ซึ่งทำได้ง่ายและรอยตัดที่เป็นรูปรอยตัดสี่เหลี่ยมที่สมบูรณ์โดย Larry Jeffus (2010)

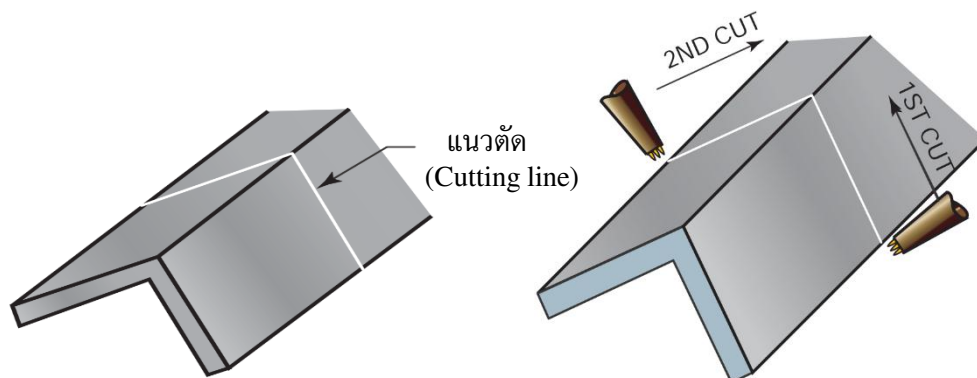


(ก) แสดงเทคนิควิธีการตัดท่อขนาดเล็ก

(ข) แสดงเทคนิควิธีการตัดท่อขนาดใหญ่

รูปที่ 2.17 เทคนิคการเคลื่อนหัวทูปเพื่อตัดท่อ (Moves cutting torch for pipe)

ที่มา : Larry Jeffus and Laerence Bower, *Welding – Skill, Processes and Practices*, 2010



(ก) วิธีการกำหนดตำแหน่งตัด (Layout) (ข) เทคนิควิธีการเคลื่อนหัวตัดสำหรับโลหะที่มีมุม

รูปที่ 2.18 เทคนิคการตัดโลหะที่มีมุม (Cutting technique for angle iron)

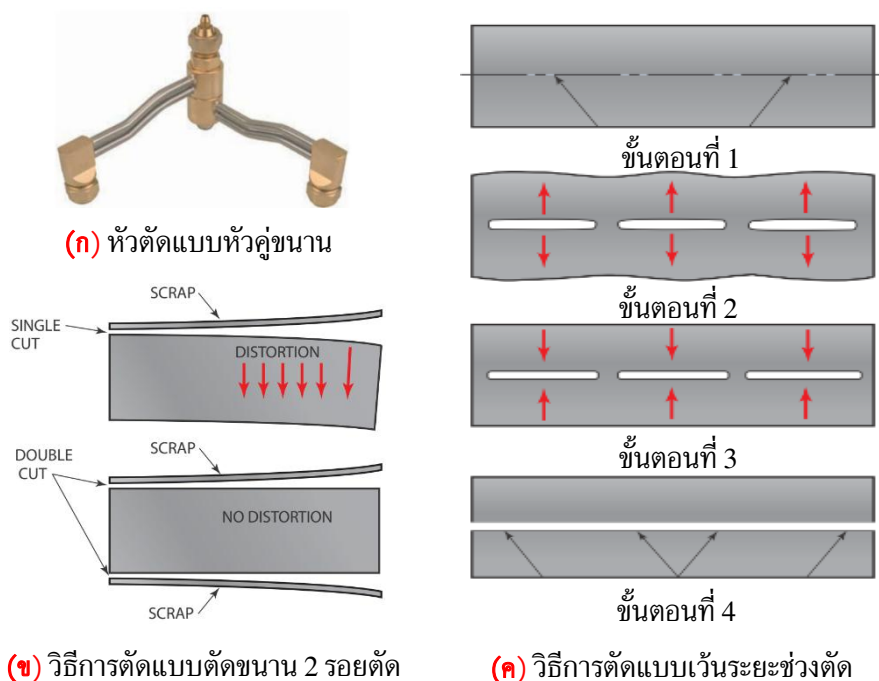
ที่มา : Larry Jeffus and Laerence Bower, *Welding – Skill, Processes and Practices*, 2010

ค. การป้องกันการบิดเบี้ยวของงานตัด (Distortion in flame cutting)

การตัดโลหะด้วยเปลวไฟอาศัยปริมาณความร้อนค่อนข้างสูงและเกิดบริเวณผลกระทบร้อนเป็นวงกว้าง โดยปริมาณความร้อน เวลาอุ่นงาน และความเร็วในการตัดต้องสัมพันธ์กับความหนาของชิ้นงานและขนาดของหัวที่ปัดตัด ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการตัดมีผลกระทบทำให้เกิดการขยายตัวของโลหะตัดไม่เท่ากันทุกบริเวณจึงเกิดการบิดเบี้ยวขึ้นเสมอ โดยมักเกิดขึ้นกับโลหะแผ่นประเภทแผ่นบางหรือมีความหนาไม่มากนัก จากประสบการณ์ของผู้ที่เคยปฏิบัติการตัดหลาย ๆ ท่านที่ได้พบเจอกับปัญหาการบิดเบี้ยวและได้คิดหาวิธีการเพื่อขจัดปัญหาดังกล่าว พบว่า วิธีการป้องกันหรือวิธีลดการบิดเบี้ยวอันเนื่องมาจากอิทธิพลความร้อนจากการตัดสามารถทำได้ 2 วิธีการ โดย Larry Jeffus (2010)

วิธีการที่ 1. อาศัยหลักการสมดุลของความร้อนจากการตัด โดยการออกแบบหัวตัดแบบหัวคู่ ดังแสดงลักษณะของหัวตัดในรูปที่ 2.19 (ก) ทำการตัดเคลื่อนขนานกันบนแผ่นโลหะด้วยปัจจัยการตัดที่เหมือนกัน ซึ่งชิ้นงานได้รับความร้อนที่เท่ากันและสม่ำเสมอทั้งสองข้างตามรอยตัด ซึ่งสามารถควบคุมและป้องกันการบิดเบี้ยวจากความร้อนได้ดี ดังแสดงวิธีการตัดในรูปที่ 2.19 (ข)

วิธีการที่ 2. อาศัยหลักการตัดเว้นระยะเป็นช่วงเป็นตอนไม่ตัดตลอดแนวอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ส่วนที่ค้างตัดช่วยยึดแผ่นโลหะไว้ไม่ให้บิดเบี้ยว หลังจากความร้อนลดลงจึงทำการตัดส่วนค้างตัด (ระยะตัดสั้นความร้อนสะสมน้อย) จนได้รอยตัดตลอดแนวชิ้นงานและขาดออกจากกันซึ่งไม่เกิดการบิดเบี้ยว ดังแสดงลำดับวิธีการตัดในรูปที่ 2.19 (ค)

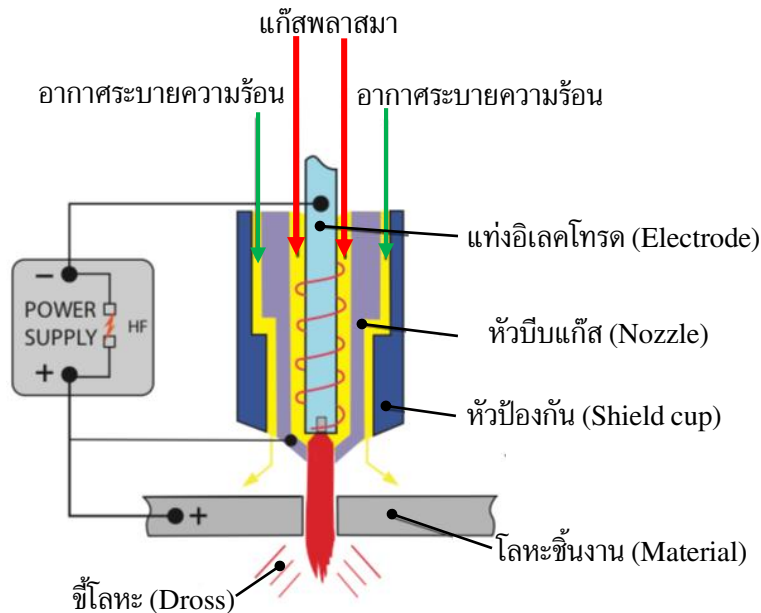


รูปที่ 2.19 เทคนิคป้องกันการบิดเบี้ยวจากการตัดโลหะ (Distortion from cutting)

ที่มา : Larry Jeffus and Laerence Bower, *Welding – Skill, Processes and Practices*, 2010

2.2 ขบวนการตัดด้วยลำอาร์กพลาสมา (Plasma arc cutting : PAC)

ขบวนการตัดโลหะชนิดนี้อาศัยใช้ลำของแก๊สพลาสมาที่เกิดจากการอาร์กกระหว่างแท่งอิเล็กโทรด (Non-consumable) กับโลหะชิ้นงานที่ต้องการจะตัด (Metal work) โดยอาศัยหลักการอาร์กของกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความร้อนแก่แก๊สตัวกลาง เมื่อจ่ายแก๊สนั้นให้ไหลผ่านอาร์กไฟฟ้า ความร้อนที่เกิดจากขบวนการอาร์กทำให้แก๊สเปลี่ยนสภาพแตกตัวไปอยู่ในรูปแบบของไอออน (Ionized) กลายเป็นแก๊สพลาสมาซึ่งมีสมบัตินำไฟฟ้าได้ จากนั้นแก๊สพลาสมาก็จะถูกบีบบังคับให้ไหลผ่านช่องแคบ ๆ ที่เรียกว่า Nozzle ส่งผลทำให้พลาสมาแก๊สที่แกนกลางมีความเร็วสูงถึง 6,000 เมตร/วินาที และมีระดับความร้อนเพิ่มสูงขึ้นถึง 10,000–14,000 °C ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในการอาร์กและรูปร่างของลำอาร์ก รวมถึงความเร็วของของแก๊สที่ไหลผ่านลำอาร์กพลาสมา โดยพลังงานจากลำพลาสมาอาร์กนี้จะพุ่งออกสู่ผิวของชิ้นงานจนเกิดการหลอมละลายและมีแรงดันที่จะดันน้ำโลหะเหลวออกไปด้วยแรงดันสูงจนชิ้นงานขาดออกจากกัน หรือในกรณีที่ทำการตัดออกแบบเจาะรู (Gouging) แรงดันก็จะเป่าน้ำโลหะให้หลุดออกไปจากส่วนหลอมละลายจนเกิดเป็นร่องลึกตามต้องการ ดังนั้น ไม่ว่าจะเป็นการตัดขาดออกจากกันหรือเจาะรูโลหะชิ้นงาน กลไกการสร้างแก๊สพลาสมาเพื่อให้ความร้อนแก่โลหะชิ้นงานจะเหมือนกัน การอธิบายดังกล่าวอ้างอิงจาก Plasma Tech. (2017) โดยแสดงถึงองค์ประกอบของการสร้างลำอาร์กพลาสมาภายในหัวตัดพลาสมาในรูปที่ 2.20



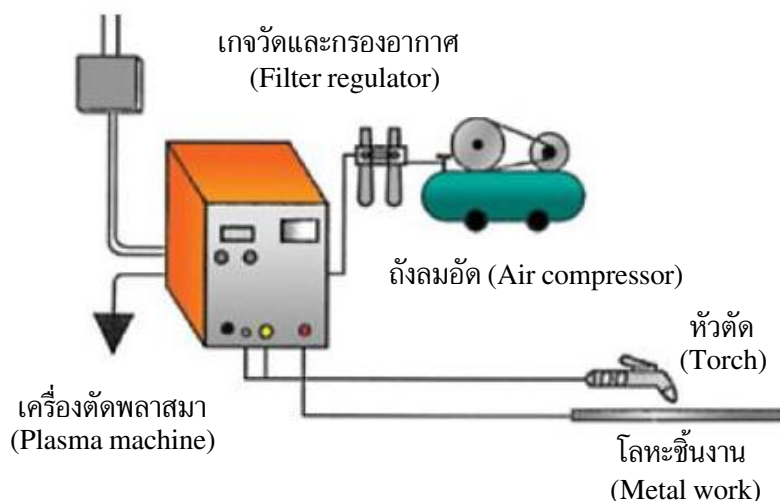
รูปที่ 2.20 องค์ประกอบและกลไกการสร้างแก๊สพลาสมาภายในหัวตัดพลาสมา

ที่มา : JASIC-Guide to Plasma Cutting, 2019

1. องค์ประกอบของกรรมวิธีการตัดพลาสมา (Plasma arc cutting component)

ระบบของขบวนการตัดด้วยลำอาร์กพลาสมาประกอบด้วยส่วนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.21 คือ 1. เครื่องตัดพลาสมา (Plasma cutting) เป็นแหล่งจ่ายพลังงานที่อาศัยกระแสไฟฟ้ากระแสตรง 2. ถังลมอัดอากาศ (Air compressor) ที่จะป้อนอากาศเข้าสู่ระบบ และ 3. หัวตัด (Torch) เป็นส่วนสำคัญในการอาร์กเพื่อสร้างแก๊สพลาสมา ดังแสดงรายละเอียดเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

ไฟฟ้ากระแสตรง (AC)
(220 V)



รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบของระบบการตัดด้วยลำอาร์กพลาสมา

ที่มา : JASICK-ARC CUT, 2012

● **เครื่องตัดพลาสมา (Plasma machine)** เป็นแหล่งจ่ายพลังงานกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับการอาร์กที่ตำแหน่งภายในหัวตัดทำหน้าที่คล้ายกับเครื่องเชื่อม (แต่ไม่สามารถนำเครื่องเชื่อมมาใช้แทนได้) ปัจจุบันผลิตออกมาเป็นเครื่องระบบวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter system) มีทั้งเครื่องที่มีขนาดใหญ่ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม (Stationary) หรือเป็นเครื่องขนาดเล็กแบบพกพา (Portable) ดังแสดงในรูปที่ 2.22 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยหลักการจ่ายปริมาณกระแสขึ้นอยู่กับความเร็วในการตัดและความหนาของโลหะชิ้นงานที่ต้องการตัด ซึ่งปกติการตัดที่ความเร็วสูงกับความหนาชิ้นงานที่มากต้องปรับตั้งกระแสไฟที่จ่ายต้องมีปริมาณสูง และจากประสบการณ์ของผู้เขียนพบว่า เครื่องตัดที่มีขนาดใหญ่จะจ่ายกระแสไฟได้เสถียรมากส่งผลทำให้แก๊สพลาสมาที่พุ่งออกมามีความนิ่งและตัดชิ้นงานได้มีคุณภาพมากกว่าเครื่องที่มีขนาดเล็กหรือแบบพกพา โดยบนแผงชุดควบคุมปัจจัยการตัดของเครื่องจะมีปุ่มหน้าที่ต่าง ๆ ดังแสดงปุ่มสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในรูปที่ 2.23



(ก) เครื่องตัดแบบติดตั้งตำแหน่งประจำ
ที่มา : Falcon , 2019.



(ข) เครื่องตัดแบบพกพา
ที่มา : H Powermax , 2014.

รูปที่ 2.22 เครื่องตัดพลาสมา (Plasma machine)

● **แหล่งจ่ายอากาศอัด (Air compressor)** เป็นแหล่งจ่ายของอากาศออกซิเจน แก๊สเฉื่อย หรือแก๊สอื่น ๆ ที่ผ่านการอัดเพื่อเพิ่มแรงดันที่จะป้อนเข้าสู่ระบบการอาร์กเพื่อสร้างแก๊สพลาสมา ชนิดของอากาศอัดที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุโลหะที่ต้องการตัดเพราะมีผลกระทบต่อคุณภาพของรอยตัด เช่น ความกว้างของร่องตัด (Kerf) หรือคุณภาพผิวของรอยตัด และยังมีผลกระทบต่อสมบัติของเนื้อโลหะในทางโลหวิทยา ดังนั้น การเลือกใช้อากาศจึงมีผลต่อขบวนการตัด ซึ่งนอกจากอากาศอัดที่สร้างแก๊สพลาสมาที่เรียกว่า Orifice gas/Cutting gas สัมผัสกับแท่งอิเล็กโทรดอาร์กโดยตรงที่จำเป็นต้องมีแล้วนั้น ภายในของหัวตัดพลาสมายังได้มีการออกแบบให้มีระบบของการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอาร์กด้วยระบบอากาศ (Air cooling) หรือด้วยระบบน้ำ (Water cooling) ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบหัวตัด โดยคำแนะนำจากผู้ผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์การตัดด้วยพลาสมา JASIC (2017)

TECHNICAL DATA

V_{IN}	แรงดันไฟฟ้า Power Voltage (v) 1 Phase / AC220V ± 15%	P_{IN}	กระแสไฟ Rated input power (KVA) 10.1KVA
V_{out}	แรงดันไฟในการทำงาน Rated output voltage 104V	V_o	แรงดันไฟขณะไร้ภาระ No-load voltage 254 V
A_{IN}	กำลังไฟ Rated input current (A) 43.7A	Input Frequency	ความถี่ Frequency (Hz) 50 Hz
I₂ Current range	กระแสไฟในการทำงาน Rated output current 60A	η	ประสิทธิภาพ Efficiency 80%
DUTY CYCLE	ความสามารถในการทำงาน Duty Cycle 60%	φ	พาวเวอร์แฟกเตอร์ Power Factor 0.73
F	Class of Insulation	IP Protection Class	ระดับป้องกัน Protection grade IP21
H W L	ขนาดเครื่อง Dimensions (mm.) 480x204x303	Weight	น้ำหนัก Weight (kg.) 19 kg

Pilot arc model
Pressure of air compressor 4-5 kg
Thickness 1-20 mm
ระบบระบายความร้อน Air cool

รูปที่ 2.23 สัญลักษณ์บนแผงชุดควบคุมปัจจัยการตัดบนเครื่องตัดพลาสมา

ที่มา : SUMO Industrial , 2015

● **หัวตัดพลาสมา (Torch)** เป็นส่วนประกอบสำคัญเพราะเป็นส่วนที่สร้างแก๊สพลาสมาขึ้นภายใน ดังนั้น ตัวของหัวตัดจึงประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญหลายชิ้นและแต่ละชิ้นก็มีหน้าที่แตกต่างกัน ดังแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของหัวตัดพร้อมกับอธิบายถึงตำแหน่งประกอบและหน้าที่ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในรูปที่ 2.24 ปัจจุบันผู้ผลิตหัวตัดได้ออกแบบลักษณะรูปทรงของหัวตัดที่มีความหลากหลายเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการตัดและคุณภาพของรอยตัด จึงสามารถพบเห็นหัวตัดรูปร่างหน้าตาที่แตกต่างกัน พร้อมกับการออกแบบอุปกรณ์เสริมช่วยในการตัด (Accessories torch cutting guide) ที่หลากหลายตามรูปแบบงานที่ตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.25 (ก) และ (ข) แต่อย่างไรก็ตาม ระบบกลไกของการสร้างแก๊สพลาสมาภายในหัวตัดจะไม่แตกต่างกัน รูปแบบของหัวตัดที่กล่าวมาข้างต้นนี้จะป็นหัวตัดที่ใช้กับการตัดด้วยมือคน (Manual plasma cutting)

สำหรับงานตัดที่เป็นแบบอัตโนมัติหรือการตัดที่ใช้ระบบ CNC แทนคนนั่นเอง โดยหลักของ ขบวนการตัดมีองค์ประกอบของขบวนการตัดที่เหมือนกันต่างกันที่การควบคุมหัวตัดจะถูกส่งการผ่าน ระบบคอมพิวเตอร์และต้องปฏิบัติการบนเครื่องจักร ซึ่งจะเหมาะกับการตัดงานในปริมาณมาก ๆ และตัด ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งแท่นหรือฐานปฏิบัติงานจะมีการออกแบบตามสภาพของลักษณะงานที่ทำการตัด เช่น การตัดโลหะแผ่น (Plate cutting) หรือการตัดโลหะท่อ (Pipe cutting) ดังแสดงตัวอย่างของการตัด งานในรูปที่ 2.26 โดยหัวตัดที่ใช้ต้องมีความสามารถในการทนความร้อนได้ดีมีระบบหล่อเย็นที่ดีเพราะ เป็นการทำงานแบบต่อเนื่องเป็นเวลานาน เป็นข้อแนะนำของผู้ผลิต Lincoln Electric (2014)



รูปที่ 2.24 ส่วนประกอบของหัวตัดพลาสมา

ที่มา : PT-60 Plasma torch Consumables, 2013

หมายเลข 1 Drag shield: เป็นส่วนปลายสุดของหัวตัดทำหน้าที่ป้องกันส่วนของหัวฉีดหรือ Nozzle ไม่ให้เกิดความเสียหาย

หมายเลข 2 Retaining cap: เป็นส่วนนอกสุดของหัวตัดเพื่อจับยึดส่วนประกอบอื่น ๆ กับส่วน ของโครงหลักหัวตัด (Torch head)

หมายเลข 3 Nozzle/Tip: เรียกกันว่าหัวฉีด เป็นชิ้นส่วนใช้ทำหน้าที่บีบลำอาร์กพลาสมาให้มา รวมกันแล้วผ่านช่องรูเล็ก ๆ ที่อยู่ตรงปลายของหัวฉีดเพื่อสร้างความเข้มข้นและรวดเร็วของแก๊ส พลาสมา

หมายเลข 4 Electrode: เป็นส่วนของตัวนำไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Power supply) เพื่อให้เกิดขบวนการอาร์ก หรือเรียกว่าส่วนของการสร้างความร้อนจากการอาร์กก็ได้

หมายเลข 5 Swirl ring: เป็นส่วนที่อยู่ติดกับอิลคโตรดทำหน้าที่ในการบีบอัดอากาศที่ไหล ผ่านเข้ามาให้ผ่านรูเล็ก ๆ ทางด้านข้างเพื่อไปสร้างเป็นแก๊สพลาสมาที่อิลคโตรด ซึ่งหัวตัดบางรุ่นจะมีตัว ควบคุมการไหลของอากาศให้ไหลอย่างสม่ำเสมอและมีทิศทางที่แน่นอนที่เรียกว่า Gas diffuser ที่ทำมา จากวัสดุทนความร้อนสูง

หมายเลข 6 Torch head: เป็นส่วนอุปกรณ์นอกสุดที่ใช้จับยึดส่วนของ Retaining cap เพื่อยึด ส่วนประกอบต่าง ๆ เข้าด้วยกันทั้งหมดของส่วนประกอบของหัวตัด



(ก) ตัวอย่างรูปแบบของหัวตัดพลาสมา

(ข) อุปกรณ์เสริมช่วยควบคุมหัวตัดพลาสมา

ที่มา : TRUSOXIN, 2017

ที่มา : WS-Welding stop, 20174

รูปที่ 2.25 รูปแบบของหัวตัดพลาสมาและอุปกรณ์เสริมช่วยในการตัด



(ก) การตัดพลาสมาประเภทโลหะแผ่น

(ข) การตัดพลาสมาประเภทโลหะท่อ

รูปที่ 2.26 รูปแบบการตัดพลาสมาด้วยระบบการควบคุมหัวตัดแบบอัตโนมัติ

ที่มา : LINCOLN ELECTRIC TORCHMATE, 2016

2. เทคนิคของกรรมวิธีการตัดพลาสมา (Technic of plasma arc cutting)

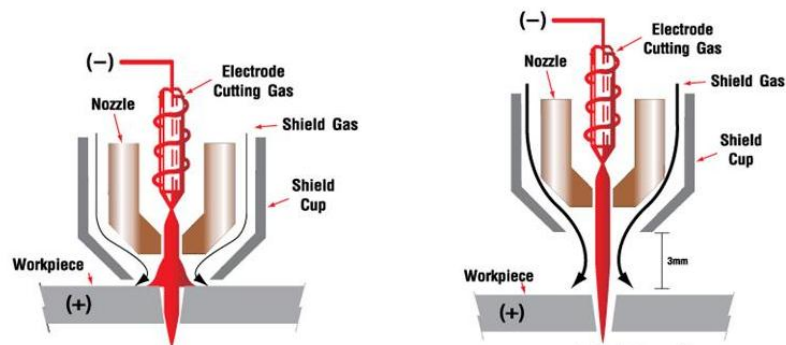
ขบวนการตัดโลหะมีความยุ่งยากและซับซ้อนน้อยกว่าขบวนการเชื่อมโลหะ หรือจะกล่าวได้ว่าทำได้ง่ายกว่าก็ได้ ด้วยเพราะปัจจัยของการตัดน้อยกว่านั่นเอง อย่างไรก็ตาม บุคคลใดที่ต้องการที่จะตัดโลหะด้วยเทคนิคแก๊สพลาสมาก็ต้องรู้และเข้าถึงเทคนิคหรือกลไกอย่างดีเสียก่อน ดังที่จะได้กล่าวถึงเทคนิคต่าง ๆ ของการด้วยแก๊สพลาสมาที่แนะนำโดย John Kechagias et al. (2016) มีดังนี้

2.1 การเลือกระบบการอาร์กหัวตัดพลาสมา (Type of arc torch) การตัดด้วยแก๊สพลาสมาอาศัยหลักของการอาร์ก ปัจจุบันได้มีการพัฒนาถึงเทคนิคของการอาร์กขณะเริ่มตัดชิ้นงานของการตัดพลาสมา 2 เทคนิค คือ

- เทคนิคการอาร์กเริ่มต้นแบบหัวตัดสัมผัสชิ้นงาน (Conventional starting arc) การอาร์กเริ่มต้นแบบนี้เป็นแบบดั้งเดิมที่ต้องให้หัวตัดสัมผัสกับโลหะชิ้นงาน หรือเรียกว่า การเคาะ หรือการเขี่ยหัวตัดนั่นเอง (คล้ายกับวิธีการเชื่อมลวดหุ้มฟลักซ์) ดังนั้น เทคนิคนี้ไม่เหมาะกับผิวชิ้นงานที่มีการเคลือบสี มีสนิม หรือมีสารปนเปื้อนที่ผิวชิ้นงาน เนื่องจากสร้างจุดอาร์กได้ยากและอายุการใช้งานของหัวตัดจะสั้นหรือพังเร็วเพราะต้องเคาะเพื่อการอาร์ก แต่มีข้อดีที่ใช้ลมอัดไม่สูงมากและสามารถเลือกกำลังของลมตามความหนาของโลหะงานได้ (ปรับปัจจัยของการตัดที่เครื่องตัด) ดังแสดงลักษณะของการอาร์กในรูปที่ 2.27 (ก) ปัจจุบันการอาร์กแบบนี้ได้มีการพัฒนาเพิ่มระบบความถี่สูงมาใช้ (High – frequency alternative current) กล่าวคือ ไม่ต้องใช้หัวตัดเคาะแบบเดิมเพียงวางบนชิ้นงานแล้วกดเปิดระบบความถี่ก็จะเกิดการอาร์กที่ง่ายขึ้น (คล้ายกับการเชื่อมทิก) ค่าแรงดันหน้าเครื่องจะต่ำหรือที่เรียกกันว่า ค่า OCV (Open Circuit Voltage) มีความปลอดภัยสูงแต่การเริ่มต้นอาร์กจะค่อนข้างยาก ต้องเคาะหัวตัดกับชิ้นงานเหมาะสำหรับคนที่เริ่มฝึกหัดการใช้เครื่องตัด ระบบอาร์กแบบสัมผัสชิ้นงานด้วยความถี่สูงนิยมใช้งานกันมากในปัจจุบัน

- เทคนิคการอาร์กเริ่มต้นแบบหัวตัดไม่สัมผัสชิ้นงาน (Pilot starting arc) เป็นเทคนิคการตัดด้วยแก๊สพลาสมาที่ทันสมัยกว่า สามารถเริ่มต้นอาร์กโดยไม่ต้องสัมผัสกับโลหะชิ้นงาน (ไม่ต้องมีชิ้นงานก็อาร์กได้) เพียงกดเริ่มอาร์กก็จะมีเปลวอาร์กพุ่งออกมาเป็นลำอาร์ก จากนั้นวางหัวตัดบนผิวชิ้นงานเดินแนวตัดได้ทันที การอาร์กแบบนี้ทำงานได้ง่ายมีความปลอดภัยสูง แต่ต้องมีระดับของแรงดันอากาศมากเพียงพอกลไกการอาร์กถึงจะสมบูรณ์ ถ้าระดับความดันตกหรือต่ำลงระบบจะหยุดทำงานทันที จึงจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายแรงดันลมที่ใหญ่พอและป้อนลมเข้าอย่างสม่ำเสมอจะทำให้ประสิทธิภาพในการอาร์กตัดดีมาก การตัดด้วยระบบนี้จะทำงานได้ง่ายไม่ต้องใช้ความชำนาญมากนักก็ตัดได้ หัวตัดไม่ต้องสัมผัสกับผิวชิ้นงานไม่ต้องเคาะ ดังนั้น หัวตัดจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ประโยชน์หรือข้อเด่นของระบบนี้ คือ เหมาะที่จะใช้ในการตัดโลหะชิ้นงานที่มีรูปทรงต่าง ๆ ที่หลากหลายที่ไม่ใช่รูปทรงเรขาคณิต เพราะสามารถใช้กับอุปกรณ์เสริมช่วยควบคุมการตัด เช่น วงเวียน หรือล้อเลื่อน ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.25 (ข) อุปกรณ์เสริมดังกล่าวสามารถออกแบบเองได้ตามลักษณะงานที่

ต้องการตัดซึ่งสามารถสร้างต้นแบบงานแล้วตัดงานโลหะได้ตามรูปร่างต้นแบบได้ ลักษณะกลไกของการอาร์กแบบ Pilot starting ดังแสดง ในรูปที่ 2.27 (ข)



(ก) หัวตัดพลาสมาแบบ Cutting arc

(ข) หัวตัดพลาสมาแบบ Pilot cut

รูปที่ 2.27 ประเภทของรูปแบบของการอาร์กของหัวตัดพลาสมา

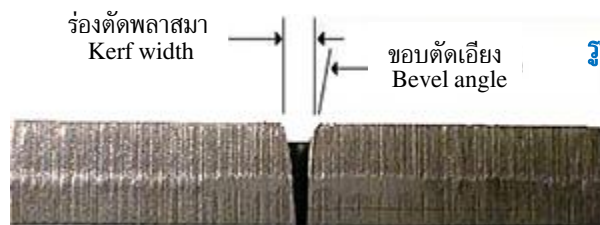
ที่มา: JASIC K-ARC CUT, 2012

การตัดโลหะด้วยพลาสมาถือว่าเป็นกรรมวิธีการตัดที่ดีและทันสมัย นิยมใช้กันมากขึ้นแทนการตัดด้วยแก๊สออกซิเจนเพราะมีข้อดีหลายอย่าง เช่น สามารถตัดโลหะได้ทุกชนิด ตัดได้เร็ว ประหยัด มีความปลอดภัย และสามารถตัดได้ทันทีโดยไม่ต้องอุ่นงาน มีผลเสียต่อการบิดตัวและผลกระทบต่อโครงสร้างทางโลหะวิทยาน้อย ที่สำคัญร่องหรือรอยตัดราบเรียบมากกว่าที่เรียกกันว่า “Kerf”

การกำหนดปัจจัยการตัดด้วยพลาสมามีผลกระทบโดยตรงต่อรอยตัดหรือช่องว่างที่เหลืออยู่บนชิ้นงาน เป็นที่ทราบกันดีว่ารอยตัดที่ดีต้องมีความกว้างของรอยตัดน้อยหรือต้องไม่กว้างมากเกินไป โดยช่างตัดต้องควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งอ้างอิงจาก Hypertherm Shaping Possibility (2016) ดังนี้

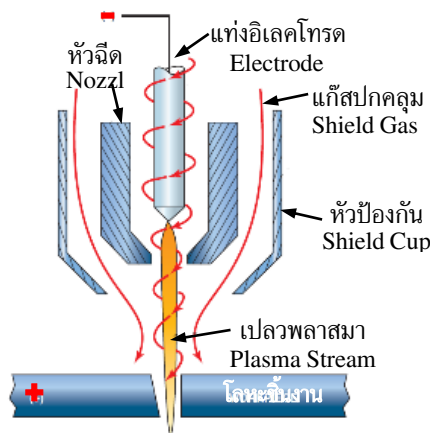
1. ระยะห่างของปลายหัวตัดกับชิ้นงาน (Standoff distance) หัวตัดต้องไม่ห่างมากเกินไป ถ้าห่างมากความกว้างของร่องตัด (Kerf) จะกว้างมากขึ้น
2. ขนาดของรูตัดเริ่มต้น (Orifice diameter) ต้องควบคุมหรือรักษารูปร่างของรูเริ่มต้นตัดให้เล็กที่สุด ซึ่งจะส่งผลทำให้ร่องตัดที่ได้มีขนาดที่แคบ
3. การตั้งค่าพลังงานตัด (Power setting) ค่าของพลังงานที่จะใช้ตัดต้องเหมาะสมกับความหนาและชนิดของโลหะชิ้นงาน ซึ่งค่าที่สูงหรือต่ำเกินไปจะมีผลทำให้เพิ่มความกว้างของร่องตัด
4. ความเร็วในการตัด (Travel speed) ถ้าตัดด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ขนาดร่องตัดแคบลง แต่มีโอกาสที่ขอบด้านบนของร่องตัดจะเกิดการเอียง (Bevel angle) ดังแสดงในรูปที่ 2.28 และเศษโลหะที่ติดติดตามขอบชิ้นงานก็มากขึ้น (Dross buildup) ทำให้ผิวงานไม่สมบูรณ์
5. ชนิดของแก๊สตัด (Cutting gas) ชนิดของแก๊สหรือส่วนผสมของแก๊สจะส่งผลต่อความกว้างของร่องตัด เพราะแก๊สตัดเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเคลื่อนของหัวตัด กำลังงานตัด และความเข้มของแก๊สพลาสมาตัด

6. ปลายแท่งอิเล็กโทรดและหัวฉีด (Electrode and Nozzle tip) อุปกรณ์คู่นี้จะเสื่อมสภาพไปตามการใช้งานหรืออาจเกิดความเสียหายต้องปรับเปลี่ยนให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ เพราะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการอาร์กตัดและความกว้างของร่องตัด
7. การหมุนของแก๊สพลาสมา (Swirling of plasma gas) ในบางรุ่นของหัวตัดจะมีช่องให้แก๊สเคลื่อนที่เป็นวงกลมพันรอบ ๆ แท่งอิเล็กโทรดก่อนที่จะเข้าไปสู่ปากปลายของหัวฉีด การหมุนแบบนี้ทำให้กระแสพลาสมาที่ผลิตขึ้นได้มีความหนาแน่นมากขึ้น และประสิทธิภาพของการตัดก็จะเพิ่มสูงขึ้นและร่องตัดก็จะแคบลง ดังแสดงการหมุนของแก๊สในรูปที่ 2.29 (ก)
8. ระบบฉีดน้ำ (Water injection) ในบางรุ่นของหัวตัดมีระบบการฉีดน้ำเข้าไปสัมผัสกับแก๊สพลาสมาขณะที่ออกมาจากปลายของหัวฉีด เมื่อแก๊สพลาสมาสัมผัสน้ำจะเกิดการปั่นป่วนหรือเกิดการหมุนทำให้แก๊สพลาสมามีความเข้มข้นหรือหนาแน่นมากขึ้น ช่วยทำให้คุณภาพการตัดดีขึ้น ร่องตัดแคบ ขอบงานไม่เอียง และยืดอายุการทำงานของปลายหัวฉีด ดังแสดงการสเปรย์น้ำของหัวตัดในรูปที่ 2.29 (ข)

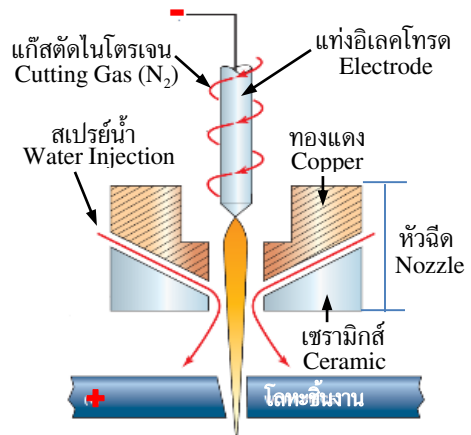


รูปที่ 2.28 การเกิดมุมตัดเอียง

ที่มา : Hypertherm, 2016



(ก) หัวตัดพลาสมาแบบแก๊สหมุน



(ข) หัวตัดพลาสมาแบบสเปรย์น้ำ

รูปที่ 2.29 วิธีการเพิ่มความหนาแน่นของแก๊สพลาสมาภายในหัวตัดบางรุ่น

ที่มา : Courtesy of the American Welding Society, 2010

2.2 ความกว้างของร่องตัด (Widths of kerf)

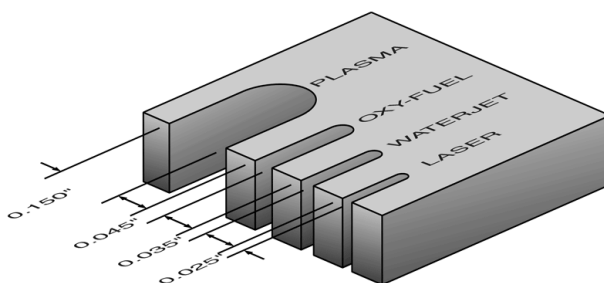
จากปัจจัยที่เกี่ยวข้องของกระบวนการตัดพลาสมาที่กล่าวมาข้างต้น ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการตัดด้วยพลาสมาได้มีการสรุปจากผลงานวิจัยมาเป็นข้อแนะนำโดย Larry Jeffus (2010) ดังแสดงใน **ตารางที่ 2.6** ที่ระบุมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของโลหะที่ตัดกับความกว้างของร่องตัด (Kerf) ที่ยอมรับได้ ซึ่งมาตรฐานขนาดความกว้างของร่องตัดนี้นำไปใช้ประโยชน์สำหรับการช้อนโลหะงานที่จะตัดหลาย ๆ ชั้นแล้วตัด ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความกว้างของร่องตัด (Kerf size) เนื่องจากเมื่อชิ้นงานโลหะหนาเพิ่มขึ้นเปลวแก๊สพลาสมาที่ตัดก็จะเกิดมุมเอียงขึ้น ตั้งแต่ 1.5 ถึง 3 องศา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของโลหะงาน ความเร็วตัด ประเภทของแก๊ส ระยะหัวตัด สภาพของหัวฉีดแก๊ส เป็นต้น โดยมุมแก๊สพลาสมาตัดที่เอียงจะมีผลต่อขนาดร่องตัดและสภาพผิวรอยตัดเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตาม ปัญหามุมเอียงนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อหรือเกิดขึ้นน้อยมากสำหรับกรณีตัดโลหะชิ้นงานบาง ๆ

การตัดโลหะด้วยพลาสมาเป็นกระบวนการตัดที่มีอัตราการสูญเสียเนื้อโลหะชิ้นงานค่อนข้างมาก และมีขนาดร่องตัดที่ค่อนข้างกว้างมากกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการตัดด้วยวิธีการอื่น ๆ ดังแสดงการเปรียบเทียบขนาดร่องตัด (Kerf size) ของการตัดโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนที่ความหนา 1/2 นิ้ว ด้วยกระบวนการตัดที่ต่างกันที่ทดลองโดย ESAB knowledge center (2013) ดังแสดงใน **รูปที่ 2.30** จะเห็นได้ชัดเจนว่าการตัดด้วยวิธีการตัดด้วยแก๊สพลาสมาจะเกิดร่องตัดใหญ่มากที่สุด (0.150 นิ้ว) ตามมาด้วยวิธีแก๊สออกซิอะเซทิลีน (0.045 นิ้ว) ด้วยวิธีสเปรย์น้ำ (0.035 นิ้ว) และด้วยวิธีลำอาร์กเลเซอร์ (0.025 นิ้ว) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีการนิยมเลือกใช้การตัดด้วยแก๊สพลาสมาเพราะตัดได้รวดเร็ว ขั้นตอนการตัดไม่ยุ่งยาก ตัดงานที่หนามากได้ มีผลกระทบต่อสมบัติของผิวรอยตัดน้อย ที่สำคัญมีต้นทุนการตัดที่ค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานความกว้างของร่องตัด (Kerf size) ต่อความหนาโลหะชิ้นงาน

ที่มา : Larry Jeffus et. al., *Welding – Skill, Processes and Practices. First Edition, 2010*

ความหนาโลหะชิ้นงาน (Plate thickness)		ความกว้างของร่องตัด (Kerf allowance)	
นิ้ว (in)	มิลลิเมตร (mm)	นิ้ว (in)	มิลลิเมตร (mm)
1/8 – 1	3.2 – 25.4	+3/32	+2.4
1 – 2	25.4 – 51.0	+3/16	+4.8
2 – 5	51.0 – 175.0	+5/16	+8.0



รูปที่ 2.30 เปรียบเทียบความแตกต่างของขนาดร่องตัดที่กระบวนการตัดต่างกัน

ที่มา : ESAB Knowledge Center–
What is Cutting Kerf, 2013

2.3 การเลือกแก๊สตัดพลาสมา (Gases for plasma cutting)

BOC (Plasma tech. & Cutting) (2015) ได้ศึกษาถึงการตัดพลาสมาที่ต้องอาศัยแก๊สที่จะนำมาสร้างเป็นแก๊สพลาสมาซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อขบวนการตัดพลาสมา ปัจจุบันพบว่าแก๊สที่ใช้มีทั้งแก๊สบริสุทธิ์ (แก๊สชนิดเดียว) และแก๊สผสม (แก๊สมากกว่าหนึ่งชนิด) ที่สามารถนำมาใช้สร้างเป็นแก๊สพลาสมาได้ โดยอิทธิพลของแก๊สที่มีผลต่อการตัด ดังนี้

1. แรงกระแทกตัด (Force cutting impact) ชนิดของแก๊สที่มีความหนาแน่นสูงจะมีแรงดันมากพุ่งออกมาเร็วและแรง แรงดันของหัวตัดจะสูงตัดเนื้อโลหะได้เร็วและดีและสามารถตัดโลหะที่มีความหนาแน่นได้ และยังมีส่วนเกี่ยวกับการกระจายของเศษน้ำโลหะ (Dross) ส่วนแก๊สชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำจะตรงกันข้าม แต่ก็เหมาะกับการตัดโลหะบาง

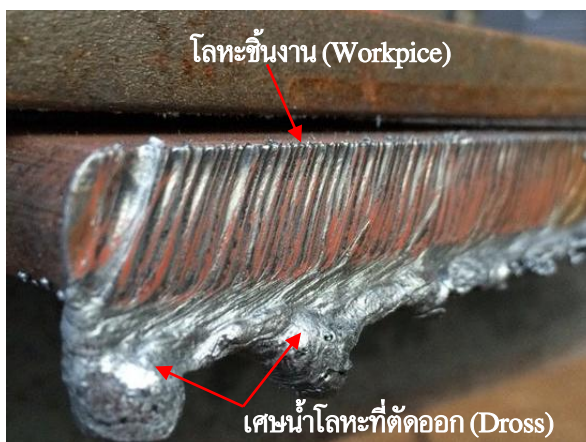
2. ความเข้มข้นของแก๊สพลาสมา (Plasma stream) แก๊สบางชนิดจะมีความเข้มข้นของแก๊สพลาสมาสูงซึ่งส่งผลทำให้ได้ล้าอาร์กของแก๊สที่เล็กจะมีผลทำให้ขนาดของร่องตัดแคบและมีความเร็วในการตัดสูง (High cutting speed)

3. ปริมาณความร้อน (Heat content) ความร้อนที่ได้จากอาร์กของกระแสไฟฟ้าที่สูงจะส่งผลทำให้ปริมาณความร้อนของแก๊สพลาสมาที่ได้สูงขึ้นตาม ซึ่งกระแสไฟก็จะมีระดับที่เหมาะสมตามชนิดและความหนาของโลหะชิ้นงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.7

4. ความกว้างของร่องตัด (Kerf width) แก๊สแต่ละชนิดจะมีผลต่อขนาดความกว้างของร่องตัดและมีผลต่อความเอียงของเปลวแก๊สพลาสมา

5. รูปแบบของเศษน้ำโลหะ (Dross formation) แก๊สที่เลือกใช้ต่างกันจะมีผลต่อการกระจายตัวของเศษน้ำโลหะที่ตัดออกไป แก๊สบางชนิดอาจมีเศษโลหะติดอยู่ตามขอบด้านล่างของร่องตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.31

6. ชนิดของโลหะชิ้นงาน (Type of metal) แก๊สบางชนิดเหมาะกับโลหะบางชนิดและอาจไม่เหมาะกับโลหะชนิดอื่น ๆ เพราะที่ผิวของโลหะบางชนิดจะมีผลกระทบบต่อการทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของแก๊สพลาสมาจึงต้องเลือกให้ถูกต้องและเหมาะสม



รูปที่ 2.31 การเกิดเศษโลหะติดตาม

ขอบร่องตัดด้านล่าง

ที่มา :My Favorite think about a plasma cutting, 2015

ตารางที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าต่อปัจจัยด้านอื่น ๆ ของการตัดพลาสมา

ที่มา : Dirk Ott. *High precision plasma cutting, exactly. May, 2018*

ความหนาโลหะ (Thickness : in.)	กระแสไฟฟ้า (Current :A)	แก๊สตัด (Cutting gas)	แก๊สปกคลุม (Shielding gas)	ความเร็วตัด (Cutting speed : IPM)
0.5	250	N ₂	None	35
0.5	270	N ₂	None	40
0.5	350	N ₂ or H ₂	H ₂ O	90
0.5	150	O ₂	Air	100
1.0	1,100	N ₂ or H ₂	None	100
1.0	575	N ₂	H ₂ O	60
1.0	300	O ₂	Air	70
1.0	400	O ₂	Air	80

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าแก๊สหรือแก๊สผสมที่เลือกนำมาใช้สร้างลำอาร์คของแก๊สพลาสมามีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการตัด ดังนั้น จึงได้มีการแนะนำการเลือกใช้แก๊สที่ถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการตัดโลหะแต่ละชนิด ดังแสดงใน **ตารางที่ 2.8**

ตารางที่ 2.8 การเลือกแก๊สตัดกับชนิดของโลหะชิ้นงานที่เหมาะสม

ที่มา : Larry Jeffus et. Al., *Welding –Skill, Processes and Practices. First Edition, 2010*

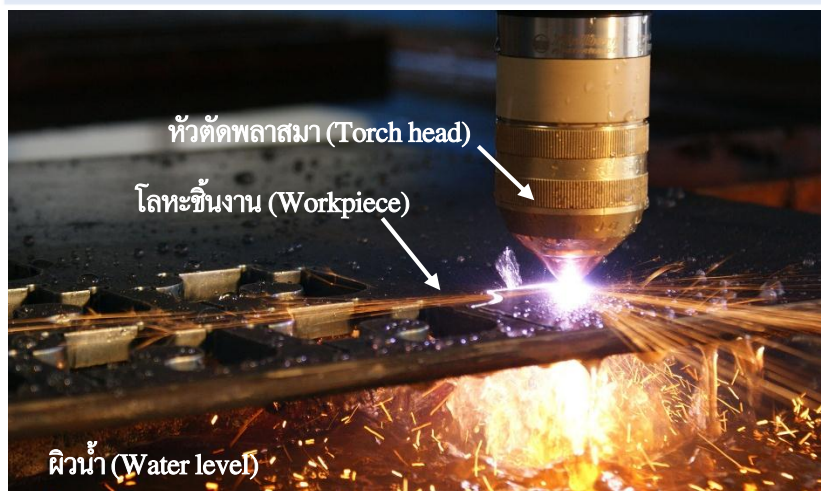
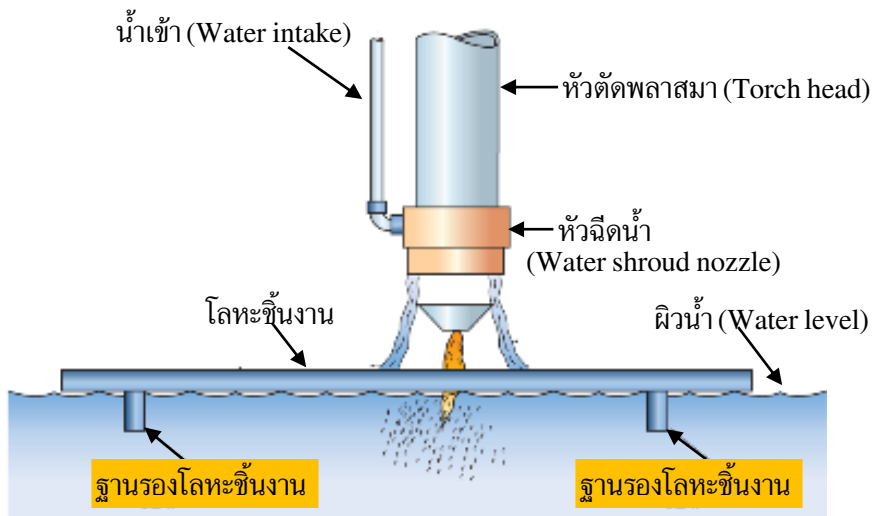
ชนิดของแก๊สตัด (Cutting gases)	ชนิดของโลหะ (Type of metals)
ไนโตรเจน+อาร์กอน กับ 0–35% ไฮโดรเจน	เหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าผสมต่ำ
ไนโตรเจน+สเปรย์น้ำ (N ₂ +H ₂ O)	เหล็กกล้าไร้สนิม
ไนโตรเจน+อากาศ (N ₂ +Air)	อลูมิเนียม และอลูมิเนียมผสม
อาร์กอน+35–40% ไฮโดรเจน	สำหรับการเชื่อมร่องทั้งหมด

2.4 ความปลอดภัยจากระบบการอาร์คหัวตัดพลาสมา (Type of arc torch) ข้อมูลจาก Michal Heinrich (2007) ได้ทำการศึกษาการตัดด้วยการลำอาร์คพลาสมาจะสร้างมลภาวะทางเสียง ทางแสง ความร้อน และเปลวไฟจึงต้องปฏิบัติการในพื้นที่เฉพาะและกรณีตัดด้วยมือก็ต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลอย่างดี มิเช่นนั้นอาจเกิดอันตรายได้ จากปัญหาของผลกระทบที่เกิดจากการตัดดังที่กล่าวมา จึงได้มีการคิดค้นหาวิธีป้องกัน พบว่าการตัดพลาสมาบนพื้นน้ำโดยวางชิ้นงานที่ต้องการตัดบนแอ่งน้ำ ทำให้น้ำโลหะที่เป่าออกมาพร้อมแก๊สตัดและกับประกายไฟต่าง ๆ ตกลงไปใต้น้ำลดการกระจายของเศษน้ำโลหะบนพื้นที่เป็นอันตราย ซึ่งระบบดังกล่าวช่วยลดปัญหาเสียงดัง (Sound) แสงสว่างที่จ้าเกินไป (Light) ควันพิษ (Fume) และอันตรายจากประกายไฟ (Sparks) ได้เป็นอย่างดี ดังแสดงใน **รูปที่ 2.32** นอกจากนี้ ยังมีวิธีที่สามารถขจัดมลภาวะได้ทั้งหมด คือ วางชิ้นงานที่ต้องการตัดไว้ในน้ำแล้วส่งหัวตัดลง

ไปให้เกิดขบวนการตัดภายในน้ำทำให้มลภาวะที่เกิดจากการตัดถูกควบคุมด้วยน้ำ แต่มีขีดจำกัดสำหรับงานบางชนิดหรือโลหะที่ต้องการตัดบางชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.33

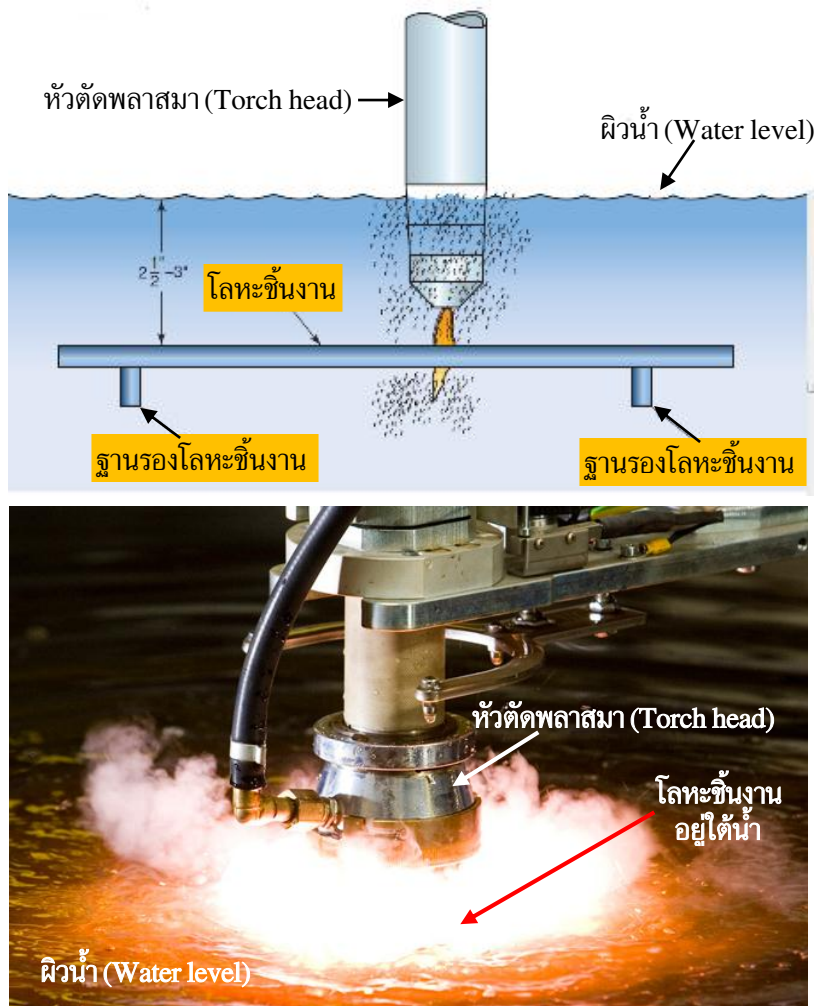
ขบวนการตัดด้วยพลาสมาจะมีแสงสว่างจ้าที่เกิดจากพลาสมาอาร์กซึ่งเป็นอันตรายต่อสายตา เหมือนกับขบวนการเชื่อม จึงต้องสวมแว่นกรองแสงเพื่อป้องกันดวงตา โดยระดับความเข้มของเลนส์ตามเบอร์ของเลนส์ที่เหมาะสมกับกระแสอาร์กพลาสมาดังคำแนะนำในตารางข้างล่างนี้

กระแสไฟอาร์กพลาสมา (A)	เบอร์เลนส์ต่ำสุดที่ใช้ได้ (No.)	เบอร์เลนส์ที่เหมาะสมและถูกต้อง(No.)
น้อยกว่า 300	8	9
300 – 400	9	12
มากกว่า 400	10	14



รูปที่ 2.32 วิธีการตัดพลาสมาโดยการวางชิ้นงานเหนือพื้นน้ำ

ที่มา : Kjellberg Finsterwalde– Underwater Plasma Cutting, 2011



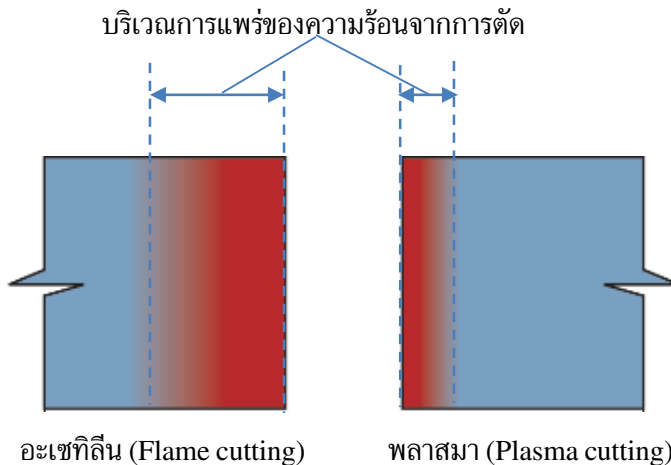
รูปที่ 2.33 วิธีการตัดพลาสมาโดยการวางชิ้นงานใต้น้ำ

ที่มา : Kjellberg Finsterwalde– Underwater Plasma Cutting, 2011

2.5 การบิดตัวจากการตัดพลาสมา (Plasma cutting distortion)

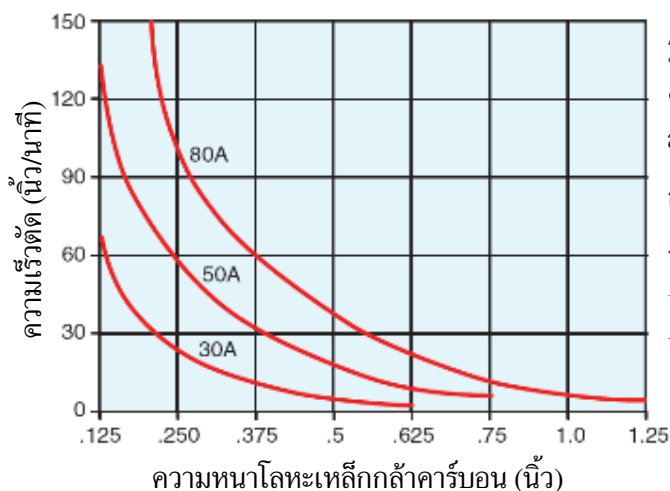
John Kechagias et al. (2016) ได้อธิบายถึงการบิดตัวของชิ้นงานจากการตัดด้วยความร้อน ถือว่าเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นอยู่เสมอและเป็นสิ่งที่ต้องป้องกันไม่ให้เกิด เพราะการบิดตัวทำให้ชิ้นงานเสียรูปทรงจนไม่สามารถนำไปใช้งานได้ การบิดตัวจะเกิดขึ้นได้ง่ายสำหรับการตัดโลหะแผ่นบาง หรือมีความหนาเพิ่มขึ้นแต่ความร้อนในการตัดที่สูงมากก็มีโอกาสที่จะเกิดการบิดตัวได้มากเช่นกัน การตัดด้วยแก๊สพลาสมาเมื่อเทียบกับการตัดด้วยแก๊สออกซิเจน (Oxy-fuel) ชิ้นงานโลหะมีโอกาสเกิดการบิดตัวที่น้อยกว่า เพราะการตัดด้วยพลาสมาความร้อนสูงกว่าและส่งผ่านไปยังชิ้นงานที่รวดเร็วแบบไม่ต้องอุ่นชิ้นงาน จึงเป็นเหตุให้การแพร่กระจายของความร้อนไปในโลหะงานไม่กว้าง ยิ่งตัดด้วยความเร็วสูง ความร้อนจะแพร่ได้ต่ำลง ดังแสดงการเปรียบเทียบถึงการแพร่ความร้อนของขบวนการตัดด้วยแก๊สออก

ชีอะเซทิลีนกับแก๊สพลาสมา ในรูปที่ 2.34 จากรูปเห็นได้ชัดเจนว่าการตัดด้วยเปลวแก๊สออกชีอะเซทิลีน ความร้อนแพร่กระจายไปยังเนื้อของโลหะชิ้นงานที่ตัดเป็นพื้นที่กว้าง เมื่อเปรียบเทียบกับ การตัดด้วย แก๊สพลาสมา ดังนั้น การตัดด้วยพลาสมาจึงช่วยลดปัญหาการบิดตัวได้ดี และถ้าเลือกชนิดของแก๊สที่ อาร์กพลาสมา มีความหนาแน่นสูงก็จะตัดได้เร็วและโลหะที่หนาได้มากขึ้น



รูปที่ 2.34 เปรียบเทียบการแพร่ของความร้อนที่เกิดจากการตัด
ที่มา : Larry Jeffus et. Al., *Welding –Skill, Processes and Practices. First Edition, 2010*

ความเร็วในการตัด (Cutting speed) การตัดที่ระดับความเร็วสูง (High speed cutting) จะช่วยลดปัญหาการบิดตัวได้อีกทาง เพราะการเดินหัวตัดเร็วความร้อนจะสะสมน้อยแพร่กระจายไปได้น้อย โดยต้องเลือกกระดบกระแสที่เหมาะสมที่ขึ้นอยู่กับความหนาของโลหะชิ้นงาน ดังแสดงตัวอย่างของความสัมพันธ์ดังกล่าวในการตัดโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนในรูปกราฟที่ 2.35 และในกรณีทำการตัดด้วยอุปกรณ์เสริมที่อาจเป็นเครื่องจักร (CNC) หรือเครื่องควบคุมแบบตัดอัตโนมัติ (Automatic cutting) จะสามารถควบคุมความเร็วได้ดีและมีความต่อเนื่องของการตัด ดังแสดงตัวอย่างอุปกรณ์เสริมช่วยตัดแบบพกพา (Portable plasma cutting) และแบบติดตั้งที่ประจำ (Stationary plasma cutting) ในรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.35 ความสัมพันธ์ของความเร็วตัด ความหนาชิ้นงานและระดับกระแสไฟอาร์กพลาสมา
ที่มา : Larry Jeffus et. Al., *Welding –Skill, Processes and Practices. First Edition, 2010*



(ก) อุปกรณ์เสริมช่วยตัดแบบพกพา
ที่มา : Anhui Gusheng, 2018



(ข) เครื่องตัดแบบอัตโนมัติ (CNC)
ที่มา : Micro Step, 2014



(ค) เครื่องตัดแบบอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์ (Robotic plasma cutting)
ที่มา : Industrial Robotics – Robotmaster, 2021

รูปที่ 2.35 อุปกรณ์เสริมช่วยในการควบคุมตัดพลาสมาแทนคน (Automatic cutting control)

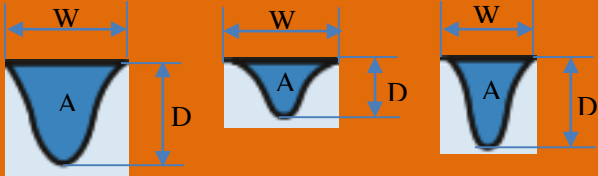
3. การตัดเจาะรูด้วยพลาสมา (Plasma arc gouging)

ARCAIR-ESAB (2018) ได้กล่าวถึงขบวนการตัดเจาะรูด้วยพลาสมาว่า เป็นการประยุกต์ ขบวนการอาร์กตัดด้วยแก๊สพลาสมาที่ไม่ได้ต้องการตัดโลหะให้ขาดออกจากกัน แต่ต้องการตัดเนื้อโลหะ ออกเพื่อสร้างร่องลึกที่เป็นรูปตัวยู (U) หรือขจัดเนื้อโลหะออกจากข้อบกพร่องที่เกิดอยู่บนแนวเชื่อม ออกไป หรือเพื่อการตกแต่งซ่อมแซมผิวโลหะ เราเรียกกลุ่มงานที่ใช้แก๊สพลาสมานี้ว่า “การตัดเจาะรูด้วยพลาสมา (Plasma gouging)” แก๊สพลาสมาสำหรับการเจาะรูมีความหนาแน่นของพลาสมาไม่ ต้องสูงมาก หัวตัดเจาะจะออกแบบให้มีรูที่กว้างกว่าเพื่อที่จะทำให้ความเร็วของแก๊สพลาสมาลดลง แก๊ส พลาสมาที่นิยมใช้กันเป็นแก๊สอาร์กอนผสมกับไฮโดรเจน 35–40% อาจเป็นถึงสำเร็จหรือผ่านอุปกรณ์ ผสมแก๊ส สำหรับงานเจาะรูที่ตื่นอาจเลือกใช้แก๊สฮีเลียมก็ได้ ส่วนแก๊สสำหรับหล่อเย็น (Cooling

gas) สามารถใช้แก๊สอาร์กอน แก๊สไนโตรเจน หรืออากาศธรรมดาก็ได้ วิธีการตัดเจาะร่องมุมของหัวตัดจะต้องเอียงทำมุมอย่างน้อย 30° กับชิ้นงานตอนเริ่มต้น จากนั้นปรับเอียงตามความเหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วตัด ความเร็วของการตัดสูงร่องจะตื้นและตรงกันข้ามร่องจะลึกเมื่อความเร็วช้า ขบวนการตัดเจาะร่องด้วยแก๊สพลาสมาสามารถใช้ได้กับโลหะทุกชนิด แต่จะเหมาะกับโลหะเหล็กกล้า ไร้สนิมและโลหะอลูมิเนียม ซึ่งจะได้ร่องตัดเจาะที่มีคุณภาพดีมาก ดังตัวอย่างแสดงปัจจัยของการตัดเจาะร่องที่ขนาดของร่องตัดต่างกัน ของผลความกว้าง (Width) ความลึก (Depth) และพื้นที่ของร่องเจาะ (Area) ดังแสดงใน **ตารางที่ 2.9**

ตารางที่ 2.9 ปัจจัยที่เหมาะสมของการตัดเจาะร่องด้วยพลาสมา

ที่มา : *The Fabricator-Gouging plasma process, 2004*

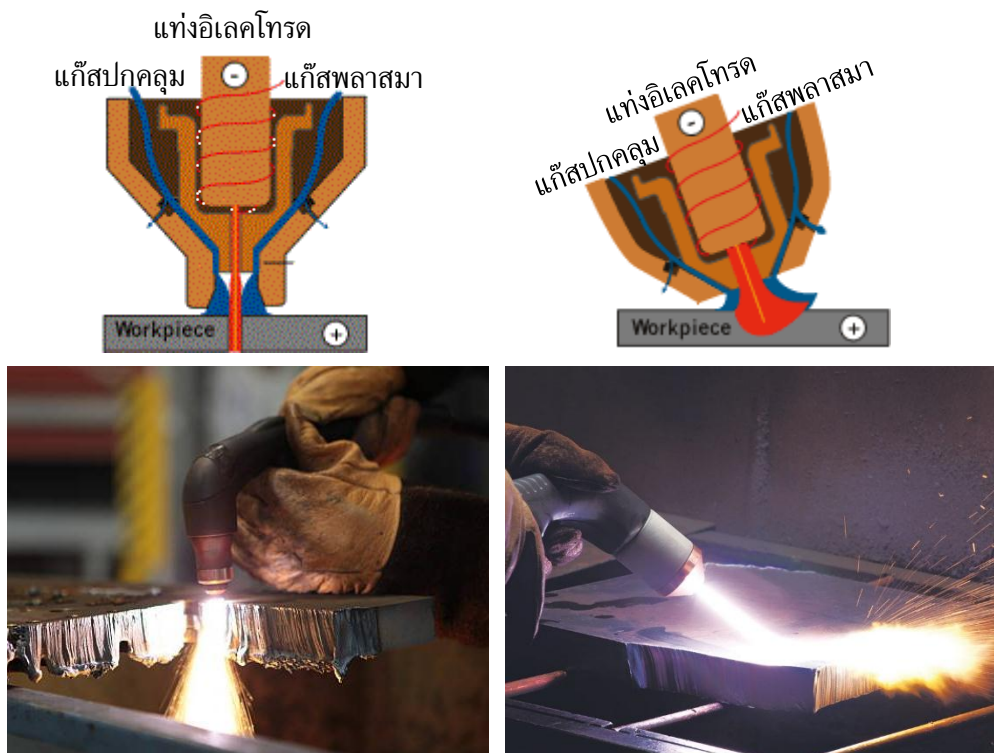
ปัจจัยการตัดแบบเจาะร่อง (Gouge profile)			
ความเร็วตัด (IPM)	24	48	24
มุมหัวตัดเจาะ ($^\circ$)	45	45	60
ระยะห่างหัวตัด-ชิ้นงาน (in)	0.125	0.125	0.125
แรงดันแก๊ส (PSI)	50	50	50
ความกว้างร่องตัด (in)	0.300	0.260	0.210
ความลึกร่องตัด (in)	0.248	0.131	0.216
พื้นที่ร่องตัด (in ²)	0.040	0.015	0.022
ปริมาณเนื้อโลหะที่ตัด (in ³ /hr)	57.6	43.2	31.8

มุมของหัวตัดเจาะร่องด้วยแก๊สพลาสมา (Torch angle) จะแตกต่างกันกับมุมของหัวตัดพลาสมา กล่าวคือ มุมเจาะร่องต้องปรับตั้งมุมของหัวตัดให้เอียง เพราะเป็นการเป่าเศษน้ำโลหะเหลวให้กระจายออกไปด้านข้างจนเกิดร่องลึก ส่วนหัวสำหรับตัดจะวางตรงตั้งฉากกับชิ้นงาน ซึ่งเป่าน้ำโลหะทะลุผ่านลงไปด้านล่าง ดังแสดงเปรียบเทียบการวางมุมของหัวตัดของทั้งสองแบบใน **รูปที่ 2.36** การปรับมุมของหัวเจาะร่องสามารถปรับได้ทั้งในแนวแกน X แนวแกน Y และ แนวแกน Z ซึ่งส่งผลให้ขนาดของร่องที่เจาะได้มีรูปทรงแตกต่างกันดังแสดงใน **รูปที่ 2.37** อ้างอิงจาก CANADIAN Fabricating & Welding (2021)

หัวตัดเจาะร่องด้วยแก๊สพลาสมา (Gouging torch) คือ หัวตัดแก๊สพลาสมาที่ใช้ร่วมกัน แต่ต้องมีการเปลี่ยนหัวทิว (Tip) ที่ออกแบบมาสำหรับการเจาะร่อง โดยหัวทิวได้มีการออกแบบไว้ โดยรูของหัว

ทูปจะมีขนาดที่โตกว่ารูของหัวทูปสำหรับการตัด เพราะต้องการความเข้มหรือความหนาแน่นของแก๊สพลาสมาที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ ปลายของหัวตัดจะมีฝาครอบป้องกันความเสียหายของหัวทูป (Tip) เรียกว่า Shield cap body จะช่วยให้หัวทูปมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

ร่องที่ผ่านการเจาะด้วยแก๊สพลาสมาจะราบเรียบและสมบูรณ์ดีถ้าได้ทำการเลือกใช้ปัจจัยการเจาะที่ถูกต้องและเหมาะสม ทั้งมุมตัดเจาะ ความเร็วตัดเจาะ กระแสไฟฟ้าสำหรับอาร์ก ชนิดของแก๊สพลาสมา และระยะห่างของหัวตัดกับชิ้นงาน เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างผิวของร่องเจาะโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน ในรูปที่ 2.38



(ก) มุมตัดด้วยแก๊สพลาสมา (Cutting)

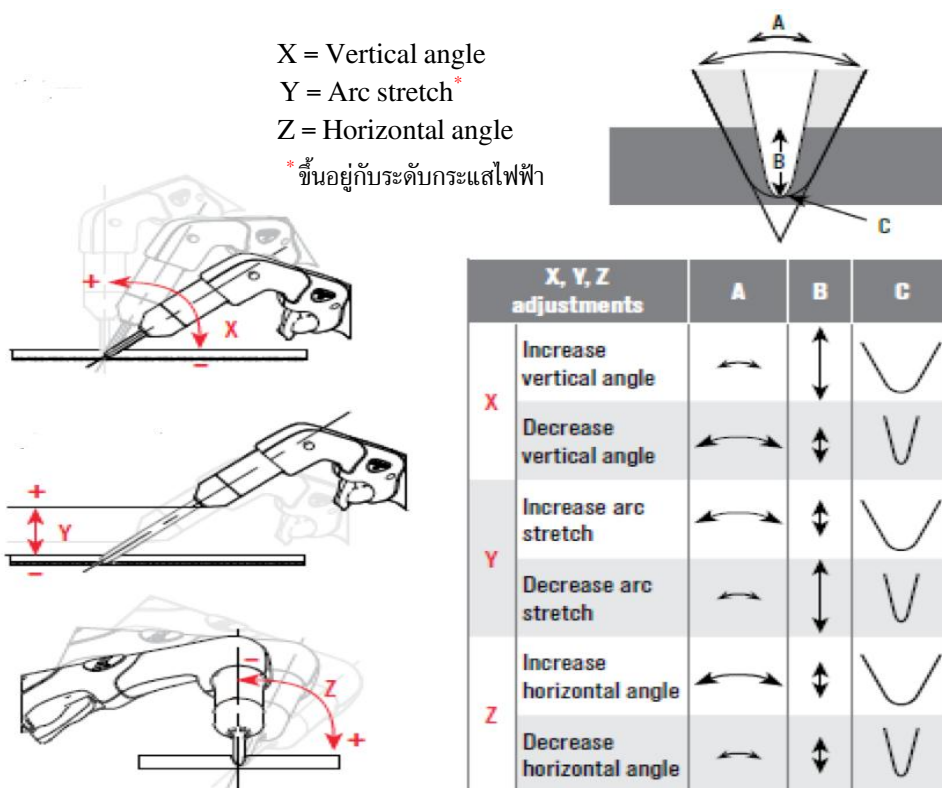
(ข) มุมเจาะร่องด้วยแก๊สพลาสมา (Gouging)

รูปที่ 2.36 การปรับตั้งมุมของหัวตัดและหัวเจาะร่องด้วยแก๊สพลาสมา

ที่มา : CANADIAN Fabricating & Welding , Update March 23, 2021

ความปลอดภัยของการตัดเจาะด้วยแก๊สพลาสมา ต้องระมัดระวังเหมือนกับขบวนการตัดและขบวนการเชื่อมอื่น ๆ ซึ่งมีทั้งมลพิษทางแสง ทางเสียง ทางความร้อน คิวน์ และทางด้านรังสีต่าง ๆ ผู้ปฏิบัติงานต้องเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายให้พร้อม เพราะระดับเสียงที่เกิดจากการพุ่งออกมาของแก๊สพลาสมาดังมากถึง 110 dBA ที่ระดับ 400 A ระดับความถี่อยู่ที่ 5,000–20,000 Hz ซึ่งอยู่ในระดับที่อันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน การลดระดับความดังของเสียงนิยมใช้ระบบพ่นน้ำปกคลุม (Water shrouded)

นอกจากนี้ ยังต้องระมัดระวังเรื่องของแก๊สที่มีแรงดันเพราะการเจาะรูมีการกระจายของประกายไฟ ที่อาจก่อให้เกิดการลุกไหม้ได้ หรือเกิดการระเบิดของถังแก๊สได้ รวมถึงต้องคอยตรวจสอบระบบน้ำหล่อเย็นของหัวตัดอยู่เสมอ ๆ ส่วนอันตรายจากแรงดันไฟฟ้าก็ต้องระมัดระวังเพราะมีแรงดันสูงถึง 150–400 VDC เป็นข้อควรระวังที่กล่าวไว้ใน Plams Tech. (2017)



รูปที่ 2.37 การปรับตั้งมุมของหัวตัดและหัวเจาะรูด้วยแก๊สพลาสมา

ที่มา : *HYPER THERM –Plasma Cutting Gouging Techniques, 2016*

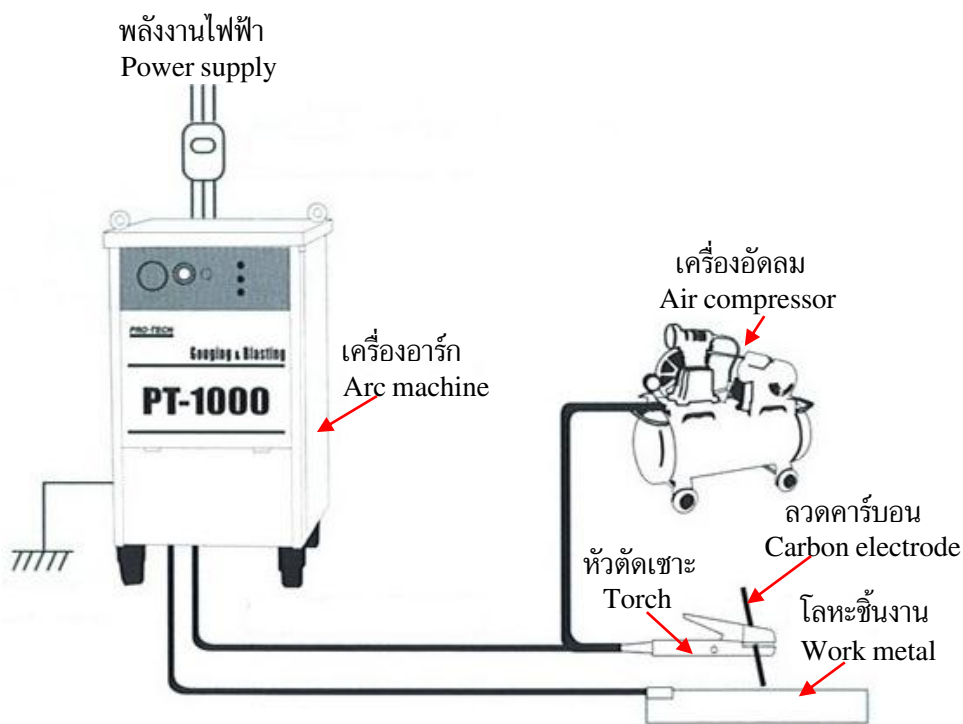


รูปที่ 2.38 การปรับตั้งมุมของหัวตัดและหัวเจาะรูด้วยแก๊สพลาสมา

ที่มา : *Plasma flash remove gouging, 17-03-2011*

2.3 ขบวนการตัดและเจาะด้วยอากาศ-คาร์บอนอาร์ก (Carbon arc-air cutting and gouging)

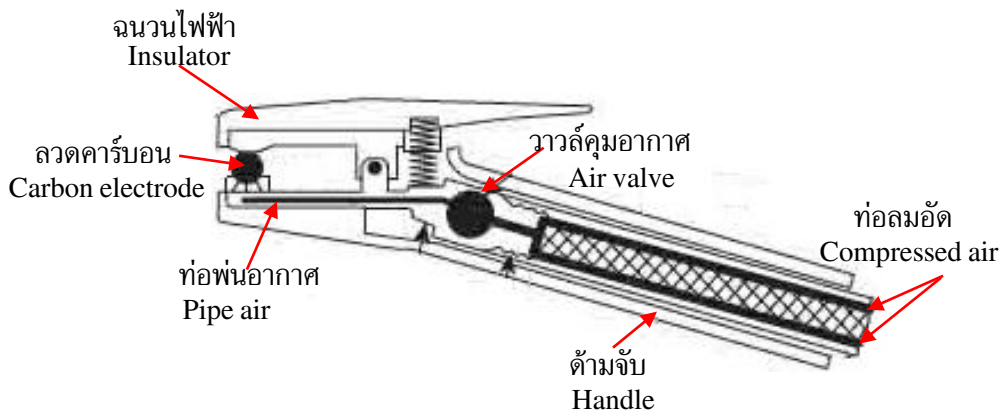
ARCAIR (2010) ได้อธิบายถึงหลักของขบวนการอาร์กไฟฟ้าด้วยแท่งลวดคาร์บอน (Carbon electrode) ร่วมกับการเป่าด้วยอากาศ (Air pressure) นี้ว่าเป็นขบวนการที่อาศัยหลักการอาร์กของกระแสไฟฟ้าได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อต้องการให้เกิดความร้อนและหลอมละลาย จากนั้นปล่อยแรงดันอากาศ (Air jet) ออกมาเป่าหรือฉีดน้ำโลหะที่หลอมละลายของชิ้นงานออกไปจากบริเวณที่เกิดการอาร์ก โดยองค์ประกอบและระบบการทำงานของขบวนการนี้ดังแสดงในรูปที่ 2.39 ขบวนการอาร์กด้วยแท่งลวดคาร์บอนนี้สามารถใช้ได้ทั้งการอาร์กตัด (Cutting arc) และการอาร์กเจาะร่อง (Gouging arc) ซึ่งทั้งสองลักษณะงานใช้องค์ประกอบชุดเดียวกันทั้งหมด ต่างกันเพียงการวางมุมของหัวตัด ถ้าวางมุมหัวตัดตั้งฉากกับชิ้นงานเมื่อเป่าลมอัดออกมา น้ำโลหะจะพุ่งทะลุลงสู่ด้านล่างทำให้โลหะชิ้นงานขาดออกจากกัน ถ้าวางหัวตัดมุมเอียงเมื่อเป่าลมอัดออกมา น้ำโลหะจะถูกฉีดออกไปด้านหน้าของทิศทางการตัด ทำให้ผิวโลหะชิ้นงานเกิดเป็นร่องลึกที่เรียกว่า ร่องเจาะ (Gouging) แต่ส่วนใหญ่ขบวนการอาร์กด้วยลวดคาร์บอนนิยมใช้สำหรับการเจาะร่องผิวชิ้นงาน ที่ต้องการสร้างร่อง หรือการเตรียมซ่อมแซมแนวเชื่อม เป็นต้น ดังนั้น ในขบวนการนี้เน้นความรู้ความเข้าใจในการประยุกต์ใช้เพื่อการเจาะร่องเป็นสำคัญ



รูปที่ 2.39 องค์ประกอบและระบบของการอาร์กด้วยลวดคาร์บอนและอากาศอัด

ที่มา : Trade KOREA-Air carbon arc gouging, 2014

1. หัวตัดเจาะรู (Gouging torch) : เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จับลวดคาร์บอนเพื่อการอาร์ก ลักษณะรูปทรงคล้ายกับหัวเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ แตกต่างกันในส่วนของหัวตัดเจาะรูจะมีท่อลมอัดที่ด้ามจับ และท่อพ่นลมอยู่ที่ปลายของหัวตัด ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.40 การใช้งานค่อนข้างง่ายโดยการนำเอาลวดคาร์บอนไปจับกับหัวตัดที่ตำแหน่งปากจับ แล้วนำไปจ่อที่ชิ้นงานที่ต้องการเจาะรู จากนั้นทำการอาร์ก ดังแสดงในรูปที่ 2.41 (ก) เมื่อน้ำโลหะเกิดการหลอมเหลวก็เกิดเป็นดวงลว้างแรงอัดอากาศให้ไหลพุ่งไปยังน้ำโลหะเหลว เศษน้ำโลหะทั้งหมดก็จะโดนขจัดออกไปจนเกิดเป็นร่องเจาะดังแสดงในรูปที่ 2.41 (ข) โดยผู้ปฏิบัติงานต้องจัดเตรียมพื้นที่ให้เหมาะสมเพราะขณะที่เป่าน้ำโลหะจะพุ่งกระจายออกไปไกล เพราะใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อการอาร์กถึง 600–2,000 A และแรงดันของอากาศสูงถึง 80–100 psi จะมีเสียงดังมาก

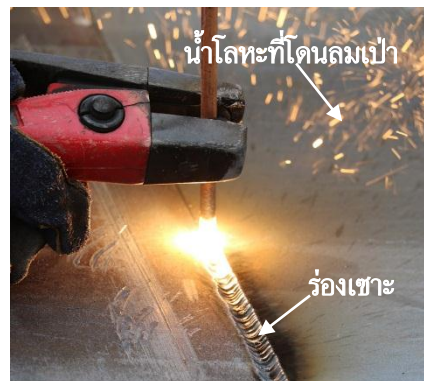


รูปที่ 2.40 ส่วนประกอบของหัวตัดเจาะรูด้วยการอาร์กลวดคาร์บอน

ที่มา : Weld Guru–Air carbon arc gouging, 2019



(ก) เริ่มอาร์กลวดคาร์บอน (Arc electrode)



(ข) ปล่อยอากาศเป่าน้ำโลหะ (Arc compressed)

รูปที่ 2.41 การจับลวดคาร์บอนของหัวตัดเจาะรูและการอาร์ก

ที่มา : Welding Productivity–Air carbon arc gouging, 2017

2. เครื่องตัดเซาะร่อง (Gouging machine) : เป็นอุปกรณ์แหล่งจ่ายพลังงาน บางครั้งเรียกว่า “ตู้เก๊าจ” ทำหน้าที่คล้ายกับเครื่องเชื่อมทั่ว ๆ ไป โดยเครื่องจ่ายพลังงานในการเซาะร่องนี้จะนิยมใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ใช้กับคาร์บอนอิเล็กโทรดขั้วบวก (DCEP) ซึ่งใช้งานได้เหมาะสมที่สุด แต่ถ้าจะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ต้องใช้กับคาร์บอนอิเล็กโทรดพิเศษ เครื่องตัดเซาะร่องที่ดีต้องสามารถจ่ายกระแสได้คงที่ เพราะถ้าปลายของแท่งลวดคาร์บอนสัมผัสกับชิ้นงานโดยไม่ได้ตั้งใจจะทำให้เกิดไฟกระชากสูง ส่งผลเสียหายต่อปลายของลวดคาร์บอน ซึ่งทำให้การอาร์กเกิดการหยุดชะงักและเกิดการสะสมของคาร์บอนที่ผิวชิ้นงาน เครื่องตัดเซาะร่องที่ดีมีคุณภาพต้องสามารถจ่ายพลังงานที่มีแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 60 V ซึ่งอ้างอิงข้อมูลจากผู้ผลิตเครื่องมือตัดเซาะร่อง ARCAIR-carbon arc gouging (2015) ดังแสดงตัวอย่างเครื่องตัดเซาะร่อง หัวตัดเซาะร่องและอุปกรณ์เสริมการตัดแบบอัตโนมัติ ในรูปที่ 2.42



(ก) เครื่องตัดเซาะร่อง (Gouging machine)
ที่มา : ARCAIR-carbon arc gouging, 2015



(ง) สายและหัวตัด (Torch & Cable)
ที่มา : ARCAIR-carbon arc gouging, 2015



(ค) อุปกรณ์เสริมการทำงาน (Accessories)
ที่มา : SYMEX Star-Trac II, 2016

รูปที่ 2.42 เครื่องตัดเซาะ หัวจับลวดคาร์บอน และอุปกรณ์เสริมการเซาะร่อง

3. ปัจจัยการตัดเซาะร่อง (Gouging parameter) : การกำหนดปัจจัยในการตัดเซาะร่องถือว่าเป็นองค์ประกอบหลักและสำคัญที่จะส่งผลต่อคุณภาพของการตัด ปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงใน ตารางที่ 2.10 เช่น ความกว้างของร่องตัดเซาะจะถูกกำหนดโดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดอิเล็กโทรด

ความลึกของร่องเซาะจะถูกกำหนดโดยความเร็วของการตัด มุมของหัวตัด และระยะห่างของหัวตัดกับชิ้นงาน มีข้อควรระวังเรื่องของมุมอิเล็กโทรดต้องไม่สูงเกินไปเพราะมีผลกระทบต่อการบินของคาร์บอนในร่องตัดเซาะได้ง่าย อย่างไรก็ตาม การส่ายหัวตัดเซาะก็สามารถเพิ่มความกว้างของร่องเซาะได้ สำหรับกรณีที่ต้องการขจัดบางอย่างออกจากผิวชิ้นงาน เช่น เนื้อโลหะเชื่อมที่ไม่พึงประสงค์หรือขยายตำแหน่งข้อบกพร่องให้กว้างขึ้น แต่มีข้อกำหนดของการส่ายต้องไม่เกิน 4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดคาร์บอนอิเล็กโทรด ซึ่งเป็นคำแนะนำของ GYS Invest in the future (2017)

ตารางที่ 2.10 ปัจจัยที่เหมาะสมของการตัดเซาะร่องด้วยการอาร์กลวดคาร์บอน

ที่มา : Thermal Mechanics–Welding Cutting Automation, 2017

ขนาด Ø อิเล็กโทรด (mm)	กระแสไฟฟ้า DC อิเล็กโทรด (A)	ขนาดของร่องเซาะ		อัตราการสิ้นเปลืองของ คาร์บอนอิเล็กโทรด (mm/min)	ความเร็วของ การตัดเซาะ (mm/min)
		ความลึก (mm)	ความกว้าง (mm)		
การตัดเซาะด้วย กำลังคน	6.4 275	6–7	9.10	120	609
	8.0 350	7–8	10–11	114	711
	9.5 425	9–10	12–13	100	660
	13.0 550	12–13	18–19	76	508
การตัดเซาะด้วย เครื่องอัตโนมัติ	8.0 300–400	2.9	3–8	100	1,650–840
	9.5 500	3–12	3–10	142	1,650–635
	13.0 850	3–15	3–13	82	1,830–610
	16.0 1,250	3–19	3–16	63	1,830–710

● **กระแสไฟฟ้าของการอาร์กเซาะร่อง (Gouging current) :** การอาร์กตัดเซาะเป็นการอาร์กที่ต้องอาศัยกระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงมากถึง 2,200 A สามารถใช้ได้ทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง ส่วนใหญ่จะเป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรง การเลือกกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับขนาดของลวดอิเล็กโทรดคาร์บอนเป็นสิ่งสำคัญ โดยขนาดของลวดคาร์บอนที่โตขึ้นต้องเลือกใช้ระดับกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นตาม อ้างอิงคำแนะนำของผู้ผลิตลวดคาร์บอนใน **ตารางที่ 2.11** โดยมีข้อแม้ว่าลวดต้องปราศจากความชื้นและควรผ่านการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิประมาณ 177 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.11 กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับขนาดของลวดคาร์บอนของการตัดเซาะร่อง

ที่มา : Thermal Mechanics–Welding Cutting Automation, 2017

ไฟฟ้ากระแส	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดอิเล็กโทรดคาร์บอน : in (mm)								
ไฟตรง	5/32(4)	3/15(4.7)	1/4(6.3)	5/16(8)	3/8(9.5)	1/2(12.7)	5/8(15.8)	3/4(19)	1(25.4)
กระแสไฟฟ้า ต่ำสุด (A)	90	150	200	250	350	600	800	1,200	1,800
กระแสไฟฟ้า สูงสุด (A)	150	200	400	450	600	1,000	1,200	1,600	2,200

● **มุมของลวดอาร์กเซาะร่อง (Gouging angle) :** หมายถึงความเอียงของลวดอาร์กคาร์บอนที่อ้างอิงกับผิวของชิ้นงานตัดเซาะ ซึ่งในที่นี้จะหมายถึงท่าที่ทำการตัดเซาะ (Gouging position) ตำแหน่งท่าตัดเซาะจะเกิดมุมเอียงไม่เท่ากันซึ่งจะอยู่ในช่วงระหว่าง 30–70 องศา โดยมีข้อบังคับต้องให้ท่อลมที่ปลายของหัวตัดอยู่ใต้ลวดคาร์บอนเซาะร่องเสมอ และระยะโผล่ของลวดคาร์บอนจากหัวจับลวด (Stickout) ต้องห่างไม่เกิน 7 นิ้ว มิฉะนั้นแรงลมอาจไม่สามารถที่จะเป่าเอาเศษน้ำโลหะออกไปจากร่องเซาะได้หมด ซึ่งตำแหน่งท่าตัดเซาะร่องที่ใช้กัน มี 4 ท่า ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลของ VICTOR –Air carbon arc guide (2013) ดังแสดงในรูปที่ 2.43 โดยมีรายละเอียดของแต่ละตำแหน่งท่าตัดเซาะ ดังต่อไปนี้

1. **ท่าตัดเซาะร่องในแนวระดับ (Flat position) :** การตัดเซาะทำนี้เป็นตำแหน่งท่าที่ง่ายและได้ผลดีมากที่สุด ควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวตัดอาร์กได้ง่าย โดยทำนี้เมื่อเริ่มต้นอาร์กได้แล้วต้องรักษาระยะอาร์กให้สั้นที่สุดเพื่อให้อัตราการหลอมละลายของชิ้นงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง หากรักษาการอาร์กได้ดีต่อเนื่องแนวตัดเซาะที่ได้จะราบเรียบและสวยงาม

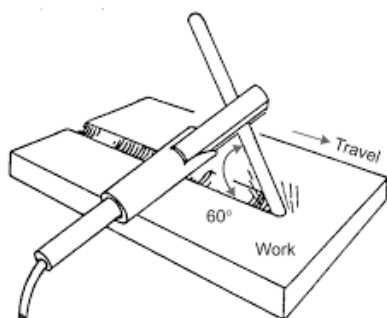
2. **ท่าตัดเซาะร่องในแนวตั้ง (Vertical position) :** การตัดเซาะทำนี้ไม่มีปัญหาเรื่องของแรงดันอากาศเป่าน้ำโลหะออก เพราะแนวการตัดเซาะเป็นทิศทางแนวลง น้ำโลหะจะถูกเป่าออกได้ง่ายขึ้นเพราะมีแรงโน้มถ่วงช่วยในการขจัด

3. **ท่าตัดเซาะร่องในแนวขนานนอน (Horizontal position) :** การตัดเซาะในตำแหน่งทำนี้คล้ายกับตำแหน่งท่าแนวระดับ แต่ต้องควบคุมให้แนวลมเป่าลงมาที่ชิ้นงานนั้นอยู่ใต้ลวดเซาะร่องเสมอ การเดินหัวตัดเซาะของทำนี้สามารถเดินไปได้ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา

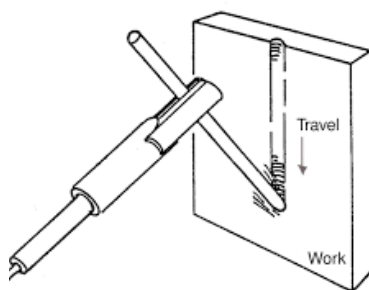
4. **ท่าตัดเซาะร่องในแนวเหนือศีรษะ (Overhead position) :** การตัดเซาะในตำแหน่งทำนี้ต้องจับลวดคาร์บอนที่เกือบจะขนานกับหัวตัด โดยพยายามจับหัวตัดให้อยู่ในตำแหน่งที่เอียงมากเพียงพอที่สามารถหลบน้ำโลหะที่เป่าออกมาโดนผู้ปฏิบัติงาน

ตำแหน่งท่าตัดเซาะที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าในบางครั้งก็เกิดปัญหาที่เกิดจากความผิดพลาดบางประการที่พบบ่อย พอจะสรุปเป็นตารางได้ ดังนี้ และตัวอย่างของแนวเซาะร่องดังแสดงในรูปที่ 2.44

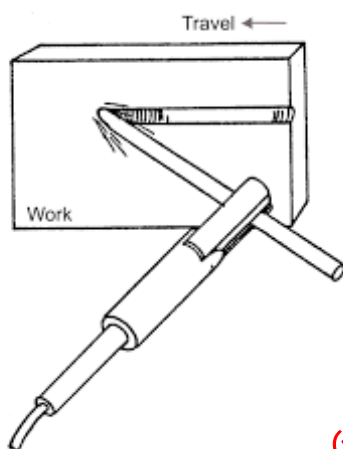
ปัญหา	สาเหตุและแนวทางแก้ไข
● อาร์กไม่สม่ำเสมอเซาะร่องได้ช้าและตื้น	● กระแสต่ำเกินไปหรือขนาดลวดใหญ่เกินไป
● ร่องเซาะเบี้ยวเบนและลวดคาร์บอนร้อนเร็วเกินไป	● ต่อสายผิดขั้ว ต้องต่อให้ลวดคาร์บอนเป็นขั้วบวก
● อาร์กไม่ต่อเนื่องทำให้ร่องเซาะไม่เรียบ	● ความเร็วตัดเซาะต่ำเกินไปหรือระยะห่างของหัวตัดกับชิ้นงานมากเกินไป
● มีเศษน้ำโลหะติดอยู่ตามขอบของร่องเซาะ	● ลมที่ใช้เป่ามีแรงดันไม่เพียงพอ หรือขนาดของสายลมมีขนาดเล็กเกินไป



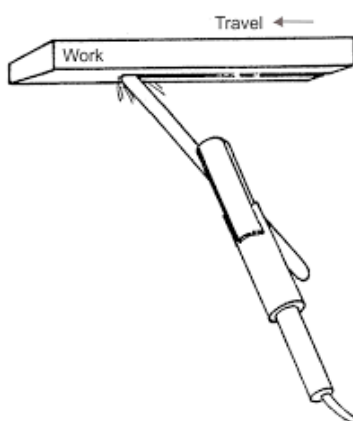
(ก) ทำตัดเจาะแนวราบ (Flat position)



(ข) ทำตัดเจาะแนวตั้ง (Vertical position)



(ค) ทำตัดเจาะแนวนานอน (Horizontal position)



(ง) ทำตัดเจาะแนวเหนือศีรษะ (Overhead position)

รูปที่ 2.43 ตำแหน่งทำตัดเจาะด้วยอากาศ-ลวดคาร์บอนอาร์ก

ที่มา : VICTOR –Air carbon arc guide, 2013



(ก) แนวตัดเจาะร่องที่ราบเรียบสมบูรณ์



(ข) แนวตัดเจาะร่องที่ผิวขรุขระไม่สม่ำเสมอ

รูปที่ 2.44 ตัวอย่างแนวตัดเจาะด้วยอากาศ-ลวดคาร์บอนอาร์ก

ที่มา : STORM TORCH –Division of Flame Technologies, Inc., 2010

2.4 ขบวนการตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser beam cutting : LBC)

ลำแสงเลเซอร์ (Laser beam) เป็นคำที่บุคคลในกลุ่มวิศวกรรมเชื่อมได้ยินอยู่บ่อย ๆ ที่อยู่ในกรรมวิธีการเชื่อมด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser welding) โดย BOC –Laser cutting line technical (2008) ได้กล่าวถึงคำว่า “LASER” นี้ไว้ว่าเป็นคำย่อมาจาก Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ที่หมายถึง ขบวนการที่กระตุ้นให้รังสีมีการแผ่ออกไปโดยมีทิศทางในการแผ่ที่แน่นอน และทำให้เกิดการรวมแสงเป็นลำที่มีความเข้มข้นเมื่อวงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่และถูกเหนี่ยวนำสุดท้ายจะได้ออกมาเป็นคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นที่สามารถสร้างพลังงานความร้อนได้สูงมากในเวลาอันสั้น จากสมบัติที่โดดเด่นในด้านนี้ของลำแสงเลเซอร์จึงนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ ทางอาหาร และอุตสาหกรรมเชื่อมโลหะ จนในปัจจุบันได้นำมาประยุกต์ใช้กับขบวนการตัดวัสดุทุกชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะวัสดุประเภทโลหะ

หลักการตัดโลหะด้วยลำแสงเลเซอร์ (LBC) เป็นขบวนการตัดวัสดุโลหะได้ดีและมีคุณภาพสูง รวดเร็ว เหมาะกับงานมีรูปร่างที่สลับซับซ้อน โดยหัวตัดจะปล่อยแสงเลเซอร์ที่มีความร้อนและความเข้มสูงไปบนชิ้นงานจนเกิดการหลอมละลาย จากนั้นก็เป่าน้ำโลหะเหลวออกไปชิ้นงานก็จะขาดออกจากกัน โดยระบบของการตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.45 คือ

1. แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ (Laser resonator) หน้าที่ผลิตแสงเลเซอร์ที่มีพลังงานสูง มีช่วงความถี่ของคลื่นที่แคบและมีความเข้มสูง วิธีการผลิตแสงเลเซอร์อาศัยหลักการที่ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แก๊สฮีเลียม (He) และแก๊สไนโตรเจน (N₂) แล้วปล่อยให้ไหลผ่านเข้าไปในแท่งกระบอกพร้อม ๆ กัน ตามด้วยการกระตุ้นแก๊สด้วยพลังงานไฟฟ้าจนเกิดเป็นพลังงานแสงเลเซอร์ที่ปล่อยออกมา จากนั้นส่งต่อแสงเลเซอร์ไปยังหัวตัดต่อไป

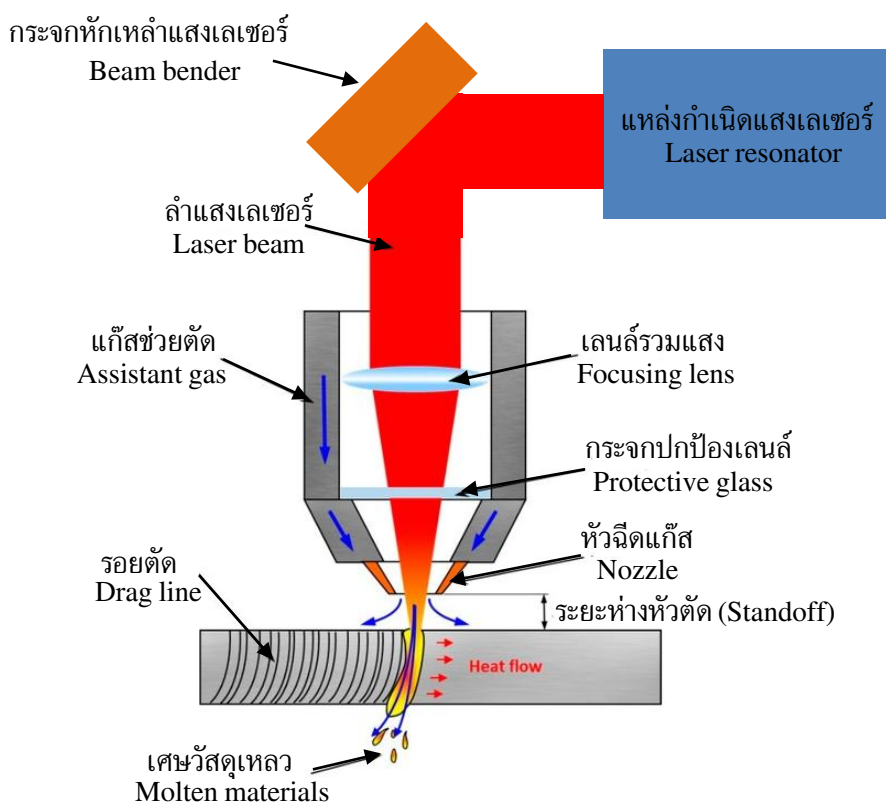
การผลิตแสงเลเซอร์สามารถแยกได้ตามสารกำเนิด ปัจจุบันมี 3 ชนิด คือ

1. CO₂ Laser : แสงเลเซอร์ชนิดนี้เหมาะกับงานตัด งานสลัก งานคว้าน และงานเชื่อม
2. Neodymium Laser : แสงเลเซอร์ชนิดนี้เหมาะกับการนำไปใช้ในงานเชื่อม งานคว้าน ซึ่งต้องใช้พลังงานที่สูง
3. Yttrium–Aluminium Garnet (YAG) Laser : แสงเลเซอร์ชนิดนี้เหมาะกับการนำไปใช้ในงานเชื่อม งานคว้าน และงานตัดซึ่งต้องใช้พลังงานที่สูง

2. หัวตัดเลเซอร์ (Laser cutting torch) ภายในของหัวตัดมีส่วนประกอบสำคัญ ที่ทำหน้าที่ในการบีบรวมแสงเลเซอร์ให้เป็นลำที่เล็กลงหรือแคบลงด้วยอุปกรณ์เลนส์รวมแสง (Focusing lens) หรือจะเรียกว่า การกำหนดช่วงของความยาวคลื่นเฉพาะ เพื่อที่จะเพิ่มความหนาแน่นและเข้มข้นของลำแสงเลเซอร์ เพราะจะส่งผลทำให้เกิดพลังงานความร้อนที่สูงและรวดเร็วเมื่อลำแสงตกกระทบลงบนผิวของชิ้นงาน (ลำแสงเลเซอร์ที่เล็กมากจะได้พลังงานความร้อนที่สูงมาก) นอกจากนี้ ภายในหัวตัดยังมีช่องระบบแก๊สช่วยในการตัด (Assistant gas) ซึ่งเป็นแก๊สที่มีแรงดันต่ำมีไว้เพื่องานหน้าที่ในการเป่าดันเศษน้ำโลหะที่หลอมละลายออกไปจากร่องตัด

หัวตัดเลเซอร์ที่ใช้กันมี 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัดด้วยมือคน ดังแสดงในรูปที่ 2.46 (ก) ซึ่งใช้กับการตัดงานที่ไม่หนามากนัก หรืองานตัดที่จำนวนไม่มากโดยควบคุมการตัดด้วยมือ ส่วนอีกแบบจะเป็นหัวตัดที่ใช้กับแขนกลหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.46 (ข) จะเป็นหัวตัดที่มีขนาดใหญ่มีน้ำหนักมาก ออกแบบมาให้รองรับกับหัวจับของแขนกล ประสิทธิภาพในการตัดสูงเหมาะกับงานระบบอุตสาหกรรมที่ตัดในปริมาณที่มากและต่อเนื่อง สามารถตัดงานที่หนามาก ๆ ได้ดี ดังแสดงตัวอย่างรูปแบบของขบวนการตัดโลหะแผ่นบางกับโลหะแผ่นหนาในรูปที่ 2.47 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

Catherine Wandera (2020) ได้เขียนบทความการตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ว่ามีข้อดีที่สามารถตัดชิ้นงานรูปทรงที่ซับซ้อนได้ดี และเป็นที่ยอมรับเพราะสามารถนำหัวตัดไปใช้กับระบบควบคุมการเคลื่อนที่ตัดด้วยคอมพิวเตอร์ CAD/CAM โดยสั่งการผ่านระบบบนเครื่องจักรกลอัตโนมัติ CNC ซึ่งมีประสิทธิภาพของการตัดที่สูงมาก มีความแม่นยำและรวดเร็ว ปัจจุบันพบเห็นมากในงานตัดภาคอุตสาหกรรมการผลิต แต่มีข้อจำกัดของการตัดด้วยแสงเลเซอร์สำหรับชิ้นงานที่มีผิวมันวาว เพราะเกิดการสะท้อนของแสงเลเซอร์ ดังนั้น ต้องขจัดความมันวาวออกไปด้วยการพ่นผิวด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น พ่นทรายหรือพ่นเคลือบ



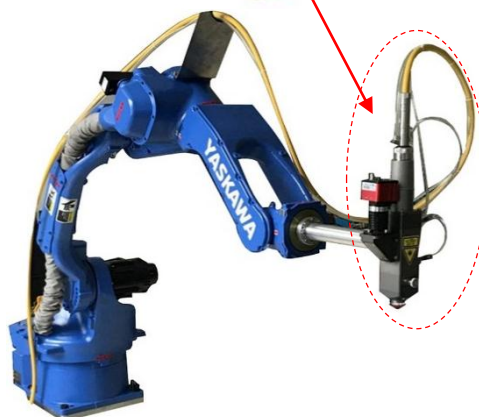
รูปที่ 2.45 หลักการทำงานและองค์ประกอบของหัวตัดด้วยลำแสงเลเซอร์

ที่มา : Silvio Genna et. al. MDPI : Applied Sciences, , 10,4956, 2020



(ก) หัวตัดเลเซอร์สำหรับคนตัด

ที่มา : TRIUMPH-Handheld Laser Welder, 2019



(ข) หัวตัดเลเซอร์สำหรับแขนกลตัด

ที่มา : WSX-Laser Cutting head, 2018

รูปที่ 2.46 ชนิดของหัวตัดด้วยลำแสงเลเซอร์



(ก) การตัดด้วยเลเซอร์โลหะแผ่นบาง



(ข) การตัดด้วยเลเซอร์โลหะแผ่นหนา

รูปที่ 2.47 ตัวอย่างรูปแบบการตัดโลหะแผ่นบางกับแผ่นหนาดด้วยลำแสงเลเซอร์

ที่มา : The Fabricator : Perfecting the fiber laser cut edge, 2019

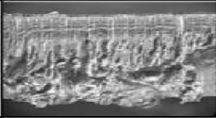
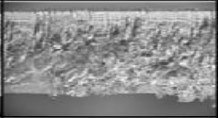


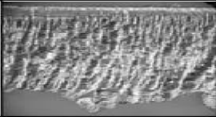
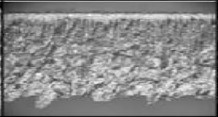
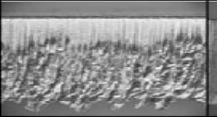
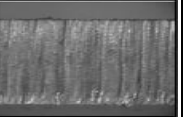
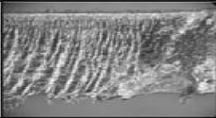
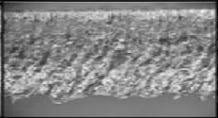
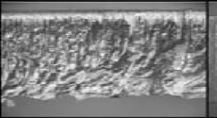

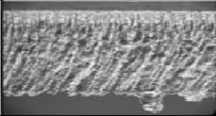
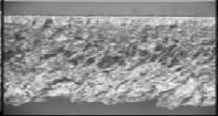
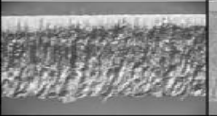
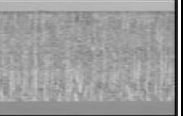
3. ปัจจัยการตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ (Parameter of laser cutting) Cristina Anghel et al. (2020) ได้รวบรวมงานวิจัยและได้สรุปถึงคุณภาพของรอยตัดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่กำหนด (Setting) ซึ่งปัจจัยของการตัดด้วยแสงเลเซอร์นั้นประกอบขึ้น ดังนี้

- พลังงานของแสงเลเซอร์ (laser power) มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)
- ความเร็วในการตัด (Cutting speed) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อนาที (mm/min)
- แรงดันแก๊สช่วยตัด (Pressure gas assisted) หน่วยเป็นเมกะปาสคาล (MPa)
- โหมดที่ใช้ตัด (Cutting mode) เช่น โหมดคลื่นที่ต่อเนื่อง (Continuous wave)
- ชนิดของแก๊สช่วยตัด (Type of assisted gas) เช่น แก๊สออกซิเจน อาร์กอน ไนโตรเจน
- ขนาดของหัวฉีดแก๊ส (Nozzle diameter) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
- ระยะห่างของเลนส์รวมแสง (Focal distance) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
- ระยะห่างของหัวตัดกับชิ้นงาน (Standoff) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

โดยปัจจัยเหล่านี้จะถูกปรับไปตามการเปลี่ยนแปลงของวัสดุที่ทำการตัด หรือเงื่อนไขอื่น ๆ ตามความเหมาะสม ดังตัวอย่างการทดลองตัดโลหะอลูมิเนียมที่ใช้พลังงานแสงเลเซอร์ต่างกัน (Laser power) และใช้แก๊สช่วยตัดต่างกัน (Assisted gas) ได้ผลของคุณภาพรอยตัดดังแสดงใน **ตารางที่ 2.12** ซึ่งมีความชัดเจนว่าปัจจัยที่ใช้ในการตัดที่ต่างกันจะส่งผลต่อคุณภาพของรอยตัดและใน **ตารางที่ 2.13** เป็นการแนะนำความเหมาะสมของปัจจัยการตัดด้วยแสงเลเซอร์ของผู้ผลิตเครื่องตัดด้วยแสงเลเซอร์แบบอัตโนมัติ (WUHAN Golden Laser) ในรูปที่ 2.48

ตารางที่ 2.12 ปัจจัยของการตัดมีผลกระทบต่อคุณภาพของรอยตัด

ที่มา: A. Riveiro et.al., Physics Procedia, Vol.12,548–554, 2011

พลังงานแสงเลเซอร์ (Laser power)	ชนิดของแก๊สช่วยตัด (Assisted gas)			
	อากาศ	ออกซิเจน	ไนโตรเจน	อาร์กอน
1,000 W				
1,500 W				
2,500 W				
3,000 W				



รูปที่ 2.48 เครื่องตัดด้วยลำแสงเลเซอร์แบบอัตโนมัติ (Laser cutting machine)

ที่มา : Wuhan Golden Laser, 2020

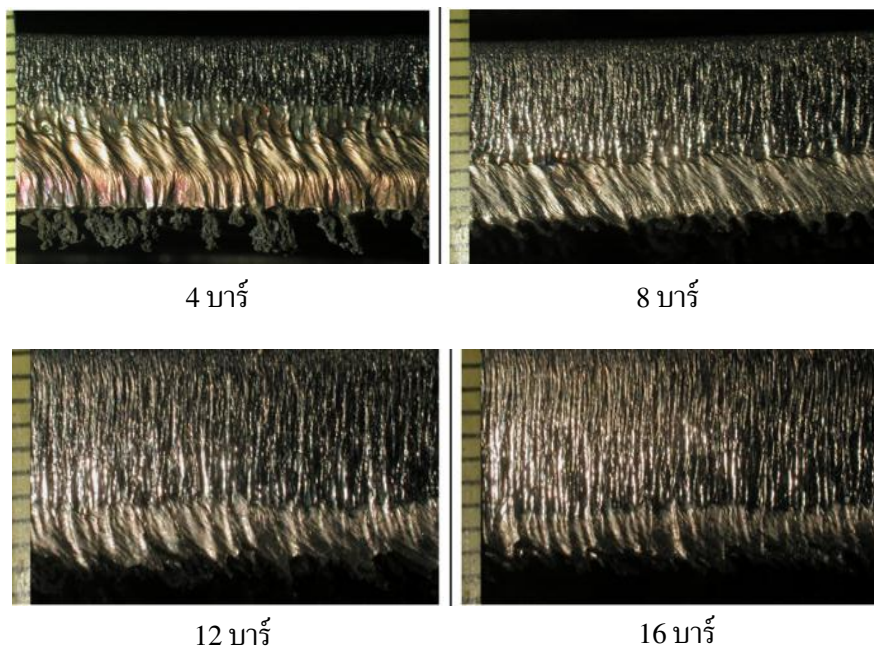
ตารางที่ 2.13 ความเหมาะสมของปัจจัยของการตัดด้วยแสงเลเซอร์

ที่มา : Wuhan Golden Laser– Capacities, 2020

วัสดุโลหะ	700w	1000w	1500w	2000w	2500w	3000w	4000w	6000w
เหล็กกล้าคาร์บอน	8–10mm	10–12mm	12–14mm	14–16mm	18–20mm	20–22mm	20–25mm	22–25mm
เหล็กกล้าไร้สนิม	3–4mm	4–5mm	5–6mm	6–8mm	8–10mm	10–12mm	10–12mm	16–20mm
อลูมิเนียม	2–3mm	3–4mm	4–5mm	5–6mm	6–8mm	8–10mm	10–12mm	12–16mm
ทองเหลือง	2–3mm	3–4mm	4–5mm	5–6mm	6–8mm	8mm	10–12mm	12–14mm
ทองแดง	1–2mm	2–3mm	3–4mm	3–4mm	4–6mm	5–6mm	5–6mm	8–10mm
เหล็กเคลือบ	2–3mm	2–3mm	4–5mm	5–6mm	5–6mm	6–8mm	8–10mm	12–14mm

ความเรียบของรอยตัด (Surface roughness, Ra) เป็นสิ่งที่มีความสำคัญของขบวนการตัด ซึ่งความเรียบขึ้นอยู่กับปัจจัยของการตัดทั้งกำลังของแสงเลเซอร์ ความหนาของชิ้นงาน ชนิดของแก๊สช่วยตัด และแรงดันของแก๊สช่วยตัด ดังตัวอย่างงานวิจัยของ Catherine Wandera (2016) โดยทำการทดสอบหา

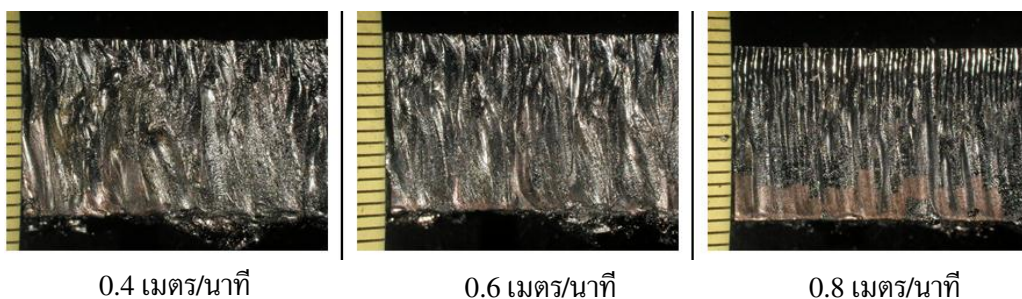
อิทธิพลของการใช้แรงดันแก๊สช่วยตัดต่างระดับต่างกันของการตัดโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม โดยใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สช่วยตัด ดังแสดงผลการทดลองสภาพความเรียบของรอยตัดในรูปที่ 2.49 พบว่าแรงดันแก๊สช่วยตัดที่สูงขึ้นจาก 4 บาร์ ถึง 16 บาร์ ความเรียบของผิวรอยตัดจะเพิ่มมากขึ้น มีคุณภาพผิวตัดสูงขึ้น ดังนั้น สรุปได้ว่าปัจจัยระดับแรงดันของแก๊สช่วยตัดมีอิทธิพลต่อการเพิ่มความเรียบของผิวตัด



รูปที่ 2.49 ผิวรอยตัดเหล็กกล้าไร้สนิมใช้แรงดันแก๊สช่วยตัดระดับต่างกัน (Assisted gas: N₂)

ที่มา : Catherine Wandera. *Fiber Lasers in Material Processing*, 2016.

นอกจากนี้ ปัจจัยการความเร็วในการตัดก็มีผลต่อผิวของรอยตัด กล่าวคือ ถ้าช้าเกินไปหรือเร็วเกินไปจะทำให้รอยตัดไม่สมบูรณ์ ดังตัวอย่างการทดลองตัดเหล็กกล้าคาร์บอนเปรียบเทียบกับความเร็วตัด 0.4 เมตร/นาที 0.6 เมตร/นาที และ 0.8 เมตร/นาที ซึ่งสภาพผิวรอยตัดจะราบเรียบต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 2.50



รูปที่ 2.50 ผิวรอยตัดเหล็กกล้าคาร์บอนใช้ความเร็วตัดที่ระดับต่างกัน

ที่มา : Catherine Wandera. *Fiber Lasers in Material Processing*, 2015

ดัชนีคำศัพท์บทที่ 2

Accessories torch cutting – อุปกรณ์เสริม

ช่วยควบคุมการตัดพลาสมา

Air compressor – ถังอัดลมป้อนสู่หัวตัด

พลาสมา

Assistant gas – แก๊สช่วยตัดทำหน้าที่พ่นน้ำ

โลหะออกไปจากร่องตัด

Bevel angle – ขอบเอียงของร่องตัดพลาสมา

ขอบด้านบน

Bevel cut – รอยตัดเอียง

Carbon electrode – แท่งลวดคาร์บอนสำหรับการอาร์กเชื่อม

CNC plasma cutting – การตัดแก๊สพลาสมา

ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์

CO₂ Laser – ลำแสงเลเซอร์ที่ได้จากแก๊ส

คาร์บอนไดออกไซด์

Conventional starting arc – การเริ่มต้นการ

อาร์กแบบหัวตัดสัมผัสชิ้นงาน

Cooling gas – แก๊สป้อนสำหรับหล่อเย็นหัว

ตัด

Cutting arc – การอาร์กเพื่อใช้ในการตัด

Cutting line – ตำแหน่งเส้นกำหนดตัด

Cutting process – ขบวนการตัดเนื้อโลหะ

Cutting surface – ผิวของรอยตัด

Distortion cutting – การบิดเบี้ยวจากการตัด

Drag – ลำของออกซิเจนที่ทะลุด้านล่างชิ้นงาน

Drag shield – ชิ้นส่วนปลายสุดของหัวตัดที่ใช้

ป้องกันหัวตัดพลาสมา

Dross – เศษหรือชิ้นน้ำโลหะที่โดนเป่าออกมา

จากร่องตัด

Dross buildup – รอยตัดที่มีเศษโลหะติดอยู่

ตามขอบของร่องตัด

Dross formation – รูปแบบการพุ่งกระจาย

ออกไปของเศษน้ำโลหะจากร่องตัด

Filter regulator – อุปกรณ์กรองอากาศที่จะใช้

ผลิตแก๊สพลาสมา

Flame cutting – การตัดด้วยเปลวไฟ

Flame cutting hole – การตัดเพื่อใช้รู

Focusing lens – เลนส์รวม/บีบลำแสงเลเซอร์

ให้เล็กแคบลง

Gouging arc – การอาร์กเพื่อใช้ในการเชื่อม

Gouging machine – เครื่อง/แหล่งพลังงาน

สำหรับการตัดเชื่อม

Gouging position – ตำแหน่งท่าตัดเชื่อม

Gouging torch – หัวแก๊สพลาสมาสำหรับเชื่อม

ร่อง

Gouging torch – หัวตัดสำหรับการเชื่อม

Hard cutting – การตัดด้วยมือคน

Hard slag – สแลกที่ติดแน่นกำจัดออกได้ยาก

Kerf – ร่องที่เกิดจากการตัด

Laser cutting machine – เครื่องตัดด้วยแสง

เลเซอร์แบบอัตโนมัติ

Laser power – แหล่งกำลังหรือพลังงานของ

ลำแสงเลเซอร์

Laser surface roughness – ความเรียบผิวของ

รอยตัดด้วยเลเซอร์

LBC – ค่าของการตัดด้วยลำแสงเลเซอร์

Longer cuts – การตัดงานระยะตัดยาว

Machine cutting – การตัดด้วยเครื่องจักร

Manual plasma cutting – การตัดแก๊ส

พลาสมาควบคุมด้วยมือคน

Metal oxidized – การเกิดออกไซด์ในโลหะ

หลอมเหลว

Move cutting torch – การเคลื่อนหัวตัด

Non-thermal cutting – การตัดที่ไม่ต้องใช้

ความร้อน

OCV – วงจรที่แรงดันหน้าเครื่องตัดต่ำมีความ

ปลอดภัยสูง

Orifice diameter – ขนาดของรูตัดพลาสมา

ตอนเริ่มต้น

Orifice diameter tip – ขนาดปากของหัวทูป

ตัด

Oxy-fuel gas cutting : OFC – การตัดด้วย

แก๊สออกซิเจน

Pilot starting arc – การเริ่มอาร์กแบบหัวตัด

ไม่ต้องสัมผัสชิ้นงาน

Pipe cutting – การตัดโลหะท่อ

Plasma arc cutting – การตัดแบบอาร์กที่

อาศัยลำพลาสมา

Plasma arc gouging – การเจาะร่องด้วยแก๊ส

พลาสมา

Plasma stream – ความเข้มข้นหรือความ

หนาแน่นของแก๊สพลาสมา

Portable plasma cutting – การตัดพลาสมา

แบบพกพาด้วยมือคน

Power setting – การปรับตั้งค่ากำลังของเครื่อง
ตัดพลาสมา

Preheat – การให้ความร้อนงานก่อนเคลื่อนหัว
ตัด

Reverse drag – ลำของออกซิเจนที่เกิดจาก
ความเร็วต่ำปริมาณออกซิเจนสูง

Robotic plasma cutting – การตัดพลาสมา

แบบอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์/แขนกล

Shielding cup – ฝาครอบป้องกันหัวทูปแก๊ส

พลาสมา

Short cuts – การตัดงานระยะตัดสั้น

Soft slag – สแลกที่กำจัดออกได้ง่าย

Square cut – รอยตัดรูปทรงสี่เหลี่ยม

Standoff – ระยะห่างของหัวตัดกับชิ้นงาน

Swirl ring – ชิ้นส่วนภายในหัวตัดที่มีรูบีบลำ

แก๊สพลาสมาให้เล็กลง

Thermal cutting – การตัดโลหะด้วยความร้อน

Tip cleaner – เข็มทำความสะอาดหัวทูป

Torch – ลำตัวของหัวตัด

Torch tip – ปลายหัวตัด

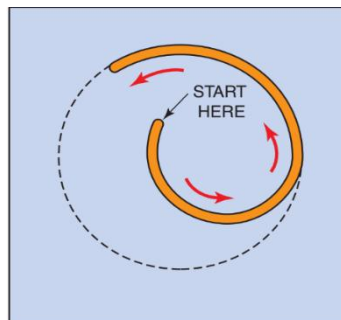
Water shrouded – ระบบพ่นน้ำเพื่อขจัดเสียง
ดังจากแก๊สพลาสมา

Widths of kerf – ความกว้างของร่องตัด

พลาสมา

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2

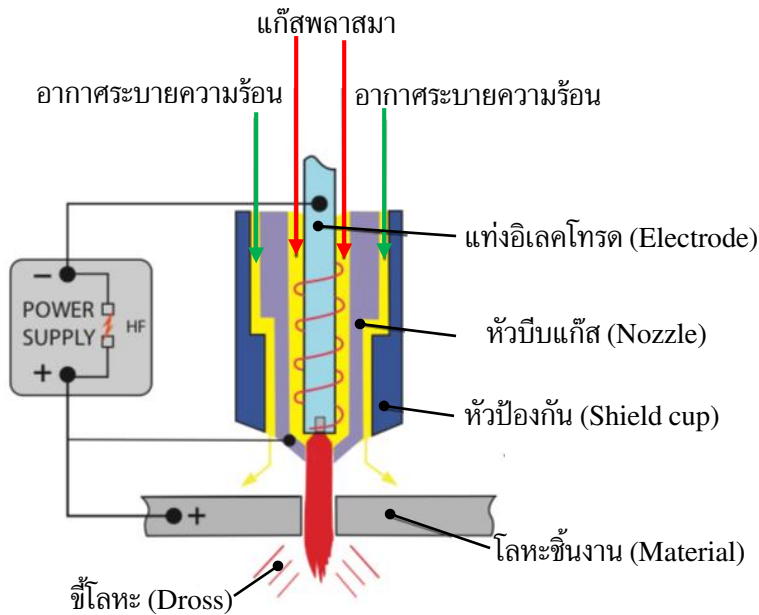
- ข้อที่ 1. จงอธิบายความแตกต่างของการตัดแบบ Thermal cutting : TC กับ Non-Thermal cutting : N-TC พร้อมยกตัวอย่างประกอบการอธิบาย
- ข้อที่ 2. จงอธิบายการเกิดออกไซด์ (Oxidized) ในขบวนการตัดด้วยแก๊สออกซิเจน
- ข้อที่ 3. จงบอกชนิดของแก๊สเชื้อเพลิง (Fuel gas) ที่สามารถนำมาใช้ในขบวนการตัดด้วยเปลวไฟ (Flame cutting) พร้อมบอกระดับความร้อนที่ได้ของแก๊สแต่ละชนิด
- ข้อที่ 4. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับขบวนการตัดด้วยแก๊สออกซิเจน ท่านคิดว่าประกอบด้วยอะไรบ้าง
- ข้อที่ 5. จงอธิบายความสัมพันธ์ของ Kert กับ Drag ในขบวนการตัดด้วยแก๊สออกซิเจน
- ข้อที่ 6. จงอธิบายถึงผิวยอดตัดที่ไม่สมบูรณ์ว่า เกิดจากปัจจัยใดบ้างและมีผลอย่างไร พร้อมวาดภาพประกอบการอธิบาย
- ข้อที่ 7. หัวตัดแก๊ส (Torch) มีกี่ประเภท อะไรบ้าง อธิบายมาพอสังเขป พร้อมเขียนภาพแสดงความแตกต่าง
- ข้อที่ 8. จงเขียนภาพแสดงการวางตำแหน่งของหัวที่ปัดแบบ Square cut กับ Bevel cut
- ข้อที่ 9. จงอธิบายความแตกต่างของ Soft slag กับ Hard slag พร้อมบอกสาเหตุของการเกิดของแต่ละชนิดสแลก
- ข้อที่ 10. จงบอกเทคนิคการถือหัวตัดและการเคลื่อนหัวตัด เพื่อตัดงานแนวสั้น (Short cuts) กับตัดงานในแนวยาว (Longer cuts)
- ข้อที่ 11. จากรูปข้างล่าง จงอธิบายการตัดโลหะรูไปใช้งานด้วยกรรมวิธีการตัดด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีน (Flame cutting hole)



ที่มา : Larry Jeffus, *Welding and metal fabrication*, 2012

- ข้อที่ 12. จงอธิบายเทคนิคการเคลื่อนหัวตัดสำหรับการตัดโลหะท่อน พร้อมวาดภาพประกอบคำอธิบาย
- ข้อที่ 13. จงอธิบายเทคนิคการป้องกันการบิดงอหรือการบิดเบี้ยว (Distortion) ที่เกิดจากการตัดด้วยเปลวไฟ พร้อมวาดภาพประกอบคำอธิบาย

ข้อที่ 14. จากรูปจงอธิบายหน้าที่ขององค์ประกอบต่าง ๆ ของหัวตัดแก๊สพลาสมา มาให้สมบูรณ์



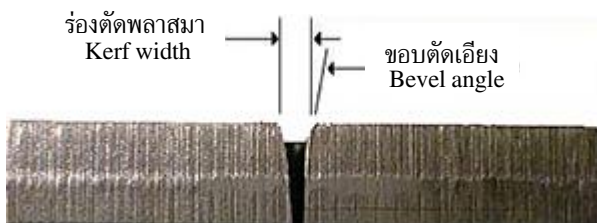
รูปองค์ประกอบและกลไกการสร้างแก๊สพลาสมาภายในหัวตัดพลาสมา

ที่มา : JASIC-Guide to Plasma Cutting, 2019

ข้อที่ 15. จงอธิบายความแตกต่างของระบบกลไกการทำงานของหัวตัดแก๊สพลาสมาแบบสัมผัสชิ้นงาน (Cutting arc) กับแบบไม่สัมผัสชิ้นงาน (Pilot arc)

ข้อที่ 16. จงบอกและอธิบายปัจจัยที่ต้องควบคุมในการตัดโลหะด้วยแก๊สพลาสมาให้มากที่สุด

ข้อที่ 17. จงอธิบายถึงวิธีการควบคุมขนาดของร่องตัด (Kerf width) และความเอียงของขอบรอยตัด (Bevel angle) จากขบวนการตัดด้วยแก๊สพลาสมา โดยอธิบายอ้างอิงจากรูปข้างล่างนี้



รูปร่องตัดของแก๊สพลาสมา

ที่มา : Hypertherm, 2016

ข้อที่ 18. จงอธิบายบอกวิธีการขจัดมลภาวะทางเสียง แสง คาร์บอน และประกายไฟที่เกิดจากการตัดด้วยแก๊สพลาสมา (ควรวาดภาพประกอบการอธิบาย)

ข้อที่ 19. จงอธิบายหลักการตัดแบบเจาะรูด้วยแก๊สพลาสมา (Plasma arc gouging)

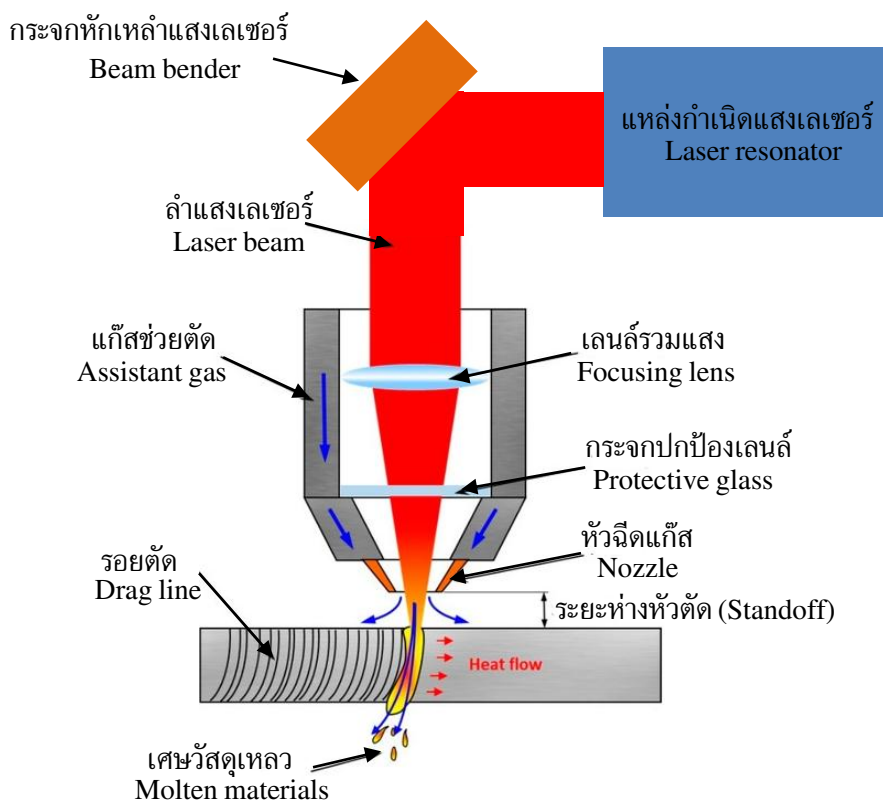
ข้อที่ 20. จงอธิบายความแตกต่างของกรรมวิธีการตัด (Cutting) กับกรรมวิธีการเจาะรู (Gouging) โดยใช้แก๊สพลาสมาอาร์ก

ข้อที่ 21. จากรูปข้างล่างนี้เป็นขบวนการตัดเซาะร่องด้วยอากาศ-คาร์บอนอาร์ก (Carbon arc-air cutting and gouging) จงอธิบายวิธีการตัดเซาะมาพอเข้าใจ



รูปการตัดเซาะร่องด้วย
อากาศ-คาร์บอนอาร์ก
*ที่มา : Air Carbon Arc Gouging,
2015*

ข้อที่ 22. จากรูปข้างล่างนี้ จงอธิบายขบวนการสร้างลำแสงเลเซอร์สำหรับการตัดมาพอเข้าใจ



หลักการทำงานและองค์ประกอบของหัวตัดด้วยลำแสงเลเซอร์

ที่มา : Silvio Genna et. al. MDPI : Applied Sciences, , 10,4956, 2020

 บรรณานุกรมบทที่ 2

- ABICOR BINZEL. *Plasma Catalog 4.1-Plasma Cutting and Welding Technology for all Metalworking Industries*. 2011.
- A. Riveiro, F. Quintero, F. Lusquinos, R. Comesana, J. del Val and J. Pou. *The Role of the Assist Gas Nature in Laser Cutting of Aluminum Alloys*. Physics Procedia, Vol. 12, 548–554, 2011.
- ARCAIR. *Air Carbon–Arc Guide*. Issue Nov. 4, 2010.
- ARCAIR–An ESAB Brand. *Industrial Cutting and Gouging Equipment*. 2018.
- BOC– A Member of the Linde Group. *Facts about Plasma Technology and Plasma Cutting*. 2015.
- BOC A Member of the Linde Group. *Laser Cutting Laser line Technical*. June 18, 2008.
- Canadian Fabricating & Welding. *Plasma Arc Gouging Gains Ground*. 23 March, 2021.
- Catherine Wandera. *Reviewed Chapter–Fiber Lasers in Materials Processing*. Fiber Laser, March 2nd, 2016.
- Cristina Anghel, Kapil Gupta and Tien–Chien Jen. *A Review on Laser Beam cutting*. Proceedings of the 5th: An International Conference on Industrial Engineering and Operation Management Detroit, UAS, August 10–14, 2020.
- ESAB. *Plasma equipment Solutions from ESAB. A Full Line of Cutting Equipment for Every Application, Industry and Environment*. 2014.
- ESAB. *Precautions and Safe Practices for Arc Welding, Cutting & Gouging*. ESAB Welding & Cutting Products, December, 2009.
- GYS Invest in the future. *Gouging Processes – Arc air Gouging and Plasma Gouging*. June, 2017.
- Harold Phillips manly. *Oxy–acetylene welding and cutting electric, forge and thermit welding together with related methods and materials used in metal working and the oxygen process for removal of carbon*. Tradition classics, 2013.
- Hypertherm–Shaping Possibility. *Plasma Cutting Gouging Techniques*. By Hypertherm, 21–03–2016.
- Hypertherm–Shaping Possibility. *Understanding plasma Gouging vs Carbon Arc and Air Arc Gouging*. 21–03–2016.
- JASIC–Wilkinson Star. *Guide to Plasma Cutting*. Wilkinson Star, 11–2017.

- John Kechagias, Markos Petousis, Nectarios Vidakis and Nikos mastorakis. *Plasma Arc Cutting Dimensional Accuracy Optimization Employing the Parameter Design Approach*. ITM Web of Conferences, AMCSE 2016.
- Kashif Chaudhary, Syed Zuhaib Haider Rizvi and Jalil Ali. *Chapter Metrics Overview–Laser Induced Plasma and its Applications*. Published, April 20th, 2016.
- Kehl. *Oxy–acetylene welding practice*. American Technical Society, Chicago, USA, 2017
- Kevin E. Bowditch and Mark A. Bowditch. *Oxyfuel gas welding*. 7th Edition, Goodheart–wilcox Publisher. 2011
- KYZEN. *Gouging with Plasma*. March 22, 2013.
- Larry Jeffus and Lawrence Bower. *Welding: Skill, Processes and Practices for Entry–Level Welders*. 1st Edition. Delmar Cengage Learning. Clifan Park, New York, UAS 2010.
- Larry Jeffus, *Welding and Metal fabrication*, 1st Edition Delmar Cengage Learning. Clifan Park, New York, USA 2012.
- Laserfab. *What is laser Cutting?*. September 4, 2019.
- Leif Andersen and TE Andersen Consulting. *Plasma Cutting & Gouging*. Technical Update, 2010.
- LINCOLN ELECTRIC. *Introduction to CNC Plasma Arc Cutting*. Lincoln Global, 2014.
- Michal Heinrich: Ing. *Effect of Plasma Gases on Cut Quality during Plasma Arc Cutting*. Doctoral Thesis. Department of Mechanical Technology. 2007.
- Moniz B.J. and Miller R.J. *Welding Skills*. 3rd Edition. American Technical Publisher, Inc., USA, 2004.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA), ANSI Z49.1 and 29 CFR 1915.153(a)(4)–*Eye Protection against Radiant Energy during Welding and Cutting in Shipyard Employment*, U.S. Department of Labor, 2005.
- OERLIKON. *Welding & Cutting Equipment– Product Catalogue*. 2020.
- Plasma Tech. *Plasma Cutting*. CEA Plasma Cutting Division. Plasmatectch. Cat. 09–2017.
- PN Rao. *Manufacturing Technology (Foundry, Forming and Welding)*. Vol.1 3th Edition. Tata McGraw–Hill Publishing Company Limited, New Delhi, India, 2009.
- Prior F. Willis. *A practical manual of oxy–acetylene welding and cutting: with a treatise on*
- VICTOR Technologies. *Air Carbon–Arc Guide. ARCAIR Cutting and Gouging Systems*. June 30, 2013.

