

การศึกษาการตัดเหล็กกล้าอะลูมิเนียมด้วยแสงเลเซอร์ประเภทคาร์บอนไดออกไซด์

The study of mild steel cutting by CO₂ laserธีรภัทร์ คงเจริญ¹, มธุรส สุชาตะวัฒน์^{2*}

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10520

*ติดต่อ: maturose.su@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในการทดลองนี้ศึกษาถึงผลของตัวแปรการตัดต่างๆที่มีผลต่อการตัดด้วยเลเซอร์บนเหล็กคาร์บอนต่ำที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร โดยตัวแปรที่พิจารณาประกอบไปด้วย กำลังเลเซอร์ ความดันแก๊สช่วย และความเร็วในการตัด โดยทำการพิจารณาระยะความกว้างของรอยตัดและค่าความหยาบบนผิวด้านข้างของรอยตัด ในการทดลองนี้จะใช้เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์แบบคลื่นต่อเนื่อง ซึ่งให้กำลังสูงสุดอยู่ที่ 4 กิโลวัตต์ โดยในการทดลองนี้ผลที่ได้คือ เมื่อเพิ่มกำลังเลเซอร์ ความกว้างเฉลี่ยของรอยตัดจะเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการใช้แก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สช่วยยังมีผลต่อค่าความหยาบของรอยตัด โดยพบว่าเมื่อความดันแก๊สช่วยเพิ่มขึ้น ความหยาบบนผิวของรอยตัดจะเพิ่มขึ้น และเมื่อความเร็วในการตัดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความกว้างของรอยตัดแคบลง และผิวของรอยตัดมีความเรียบขึ้น

คำหลัก: การตัดเลเซอร์, ความกว้างรอยตัด, ความหยาบผิว

Abstract

This paper presents an experimental study on the effects of the process parameters on laser cutting of 3 mm thick mild steel plates. The parameters investigated includes laser power, gas pressure and cutting speed. The kerf width and the cut edge roughness are examined. The laser source used is a continuous wave CO₂ laser with maximum power of 4 kW. The results show that as the laser power is increases, the average kerf width is increases. Oxygen gas pressure also has a remarkable effect on the cut edge roughness. It is found that as the gas pressure increases, the roughness is increased. Increasing of the cutting speed gives the narrower average kerf width and the smoother cut surface.

Keywords: Laser cutting, Kerf, Roughness

1. บทนำ

การตัดแผ่นโลหะด้วยเลเซอร์นั้นมีการใช้อย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเกี่ยวกับการบิน อุตสาหกรรมเกี่ยวกับรถยนต์ และ

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ในการตัดด้วยเลเซอร์นั้นเป็นกระบวนการตัดด้วยความร้อน ซึ่งมีข้อโดดเด่นคือ มีความแม่นยำสูง มีการเสียรูปของโลหะน้อย และให้ระยะความกว้างของรอยตัดที่แคบ สิ่งสำคัญของคุณภาพใน

รอยตัดคือความเป็นร่องหรือความหยาบบนผิวรอยตัดที่น้อยที่สุด

ที่ผ่านมามีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้ศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับกระบวนการตัดคือ มีการศึกษาผลจากการตัดเลเซอร์บนเหล็กคาร์บอนต่ำโดยการใช้แก๊สช่วยต่างๆเช่น ออกซิเจน อาร์กอน ไนโตรเจน และฮีเลียม พบว่าการใช้แก๊สออกซิเจนจะทำให้มีคุณภาพการตัดที่ดีที่สุด [1] และ การใช้แก๊สออกซิเจนมีความสำคัญต่อขนาดความกว้างของรอยตัดอย่างมากคือ เมื่อเพิ่มกำลังของเลเซอร์และเพิ่มความดันแก๊สออกซิเจนทำให้เกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มากขึ้นส่งผลให้เกิดโลหะที่หลอมละลายมาก อย่างไรก็ตามความลึกของแถบริ้ว (striation depth) บนผิวของรอยตัดต่ำ [2] ในการตัดเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High stress steel) ด้วยเลเซอร์สรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มกำลังของเลเซอร์จะส่งผลให้เกิดแถบริ้วและความกว้างของรอยตัดมากขึ้น [3] ในการตัด 4130 steel ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ สังเกตเห็นว่าความกว้างของรอยตัดและส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat affected zone, HAZ) ลดลง เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเร็วการตัดและกำลังของเลเซอร์ [4] ในการตัด high strength steel ด้วยเลเซอร์ พบว่าเมื่อความกว้างของรอยตัดเพิ่มขึ้น ก็ต่อเมื่อเพิ่มกำลังของเลเซอร์และลดความเร็วการตัด ในกรณีนี้ทำให้เกิดส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) กว้างขึ้น [5, 6] ในการตัดโลหะ AISI316L ด้วยเลเซอร์โดยการใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สช่วย เมื่อพบว่าความกว้างของรอยตัดด้านบนมีความกว้างเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มกำลังเลเซอร์ เพิ่มความดันแก๊สไนโตรเจน และเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวตัดส่วนหากทำให้ความกว้างของรอยตัดลดลง ขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของความเร็วการตัดและตำแหน่งของระยะโฟกัส โดยที่ความเร็วการตัดนั้นเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลเกี่ยวกับระยะความกว้างของรอยตัด [7] ในกรณีการศึกษาเกี่ยวกับความหยาบบนผิวในรอยตัดในการตัดโลหะด้วยเลเซอร์พบว่า ความหยาบจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ

ความดันแก๊สออกซิเจนและอากาศ [8] ในการตัดอลูมิเนียมแผ่นบางพบว่า ความหยาบบนผิวในรอยตัดลดลงหรือเรียบขึ้น เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความดันแก๊สออกซิเจน ไม่ว่าความเร็วในการตัดจะมีขนาดเท่าใดก็ตาม [9] ในการใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สช่วยในการตัด alloy steel พบว่าความหยาบบนผิวในรอยตัดและส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนมีขนาดลดลงเมื่อความเร็วในการตัดเพิ่มขึ้น [10] ในการทดลองตัดเหล็กคาร์บอนต่ำที่มีความหนา 1.1 มิลลิเมตร สำหรับไฟเบอร์เลเซอร์พบว่าค่าความหยาบที่น้อยที่สุด ความเร็วตัดของเครื่องตัดเลเซอร์จะอยู่ค่าเหมาะสมค่าหนึ่ง [11] ในการตัด high-alloy steel ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ พบว่าทั้งความกว้างรอยตัด ค่าความหยาบ และ HAZ ลดลง เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเร็วการตัด [12] การตัดเลเซอร์ในเหล็กคาร์บอนต่ำ โดยใช้ทั้งแก๊สออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นแก๊สช่วยพบว่าความหยาบบนผิวของรอยตัดลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วในการตัด [13] ส่วนในการตัดเลเซอร์ใน Cubic boron nitride พบว่าที่ กำลังเลเซอร์สูงๆ จะส่งผลให้มีผิวในรอยตัดที่เรียบ แต่เกิด HAZ ที่กว้างขึ้น นอกจากนั้นพบว่าความหยาบในรอยตัดและ HAZ ลดลง เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเร็วตัดและความดันแก๊สช่วย [14] ในการตัดสแตนเลสสตีล 316L พบว่า HAZ เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วในการตัดลดลง [15] ส่วนในการใช้แก๊สเฉื่อยเป็นแก๊สช่วยในการตัดด้วยเลเซอร์ พบว่าส่วนของโลหะที่หลอมละลายที่เกาะติดอยู่ด้านล่าง (Dross) จะลดลง เมื่อความเร็วการตัดเมื่อขึ้น และความเอียงของแถบริ้ว (inclination of striation) มีค่ามากขึ้นเมื่อความเร็วในการตัดและความดันของแก๊สช่วยเพิ่มขึ้น [16] ในการตัดเลเซอร์บนโลหะจะทำให้เกิดการหลอมละลายของโลหะแล้วส่วนนั้นจะเกาะติดอยู่กับผนังของรอยตัด (melt film) ส่วนที่หลอมละลายนั้นมีอิทธิพลต่อการเกิดเป็นแถบริ้ว (striation of formation) บนผนังของรอยตัดอธิบายได้ว่าเมื่อความเร็วในการตัดเพิ่มขึ้นจะทำให้ส่วนของโลหะที่หลอมละลาย (melt film thickness) มีขนาดที่

ลดลง [17] ซึ่งเกิดจากการใช้แก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สช่วยในการตัด เมื่อความดันของแก๊สออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดชั้นของออกไซด์ (oxide layer) ที่เกาะติดอยู่บนผนังของรอยตัดมากขึ้น [18] และการที่จะทำให้ความลึกแถบรีบนผิวของรอยตัดลดลงได้ ก็ต่อเมื่อเพิ่มความเร็วในการตัดและลดความดันของแก๊สออกซิเจน [19]

ในจุดมุ่งหมายของกระบวนการตัดด้วยเลเซอร์นั้น จะต้องเพิ่มคุณภาพการตัด ลดเวลาในกระบวนการตัด และลดต้นทุนในการตัดเลเซอร์ ทั้งนี้สามารถกระทำได้ โดยการปรับค่าตัวแปรต่างๆในกระบวนการตัดเลเซอร์ คือ กำลังของเลเซอร์ ความดันแก๊สช่วย และความเร็วในการตัดเลเซอร์ ซึ่งค่าตัวแปรตามที่เกิดจากการปรับค่าตัวแปรต่างๆนี้ จะประกอบไปด้วย ความหยาบบนผนังของรอยตัด (roughness) การเกิดแถบรีบนผิวของรอยตัด (striation) เศษของโลหะที่หลอมละลายที่เกาะติดอยู่ด้านล่างของรอยตัด (dross) เศษของโลหะที่หลอมละลายที่กระเด็นไปเกาะอยู่ผิวของชิ้นงาน (spatter) และระยะความกว้างของรอยตัด (kerf width)

ในการทดลองนี้จะศึกษาผลจากการปรับค่าตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการตัดเหล็กคาร์บอนต่ำที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ด้วยเลเซอร์แบบคาร์บอนไดออกไซด์ โดยตัวแปรนั้นประกอบด้วยกำลังของเลเซอร์ ความดันแก๊ส และความเร็วในการตัด ค่าที่ใช้สำหรับกำลังเลเซอร์คือ 2000, 2200 และ 2400 วัตต์ สำหรับความดันแก๊สคือ 0.07, 0.12 และ 0.17 MPa และสำหรับความเร็วในการตัดคือ 3100, 3400 และ 3700 mm/min โดยทำการศึกษาความกว้างของรอยตัด และความหยาบบนผิวของรอยตัด

2. วิธีการทดลอง

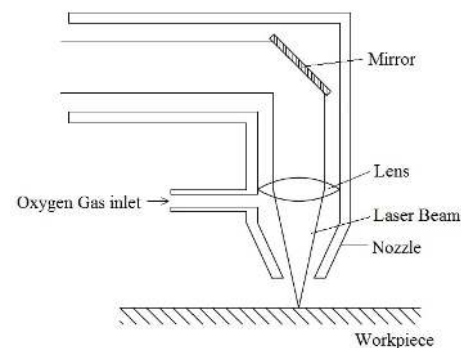
2.1 การออกแบบการทดลอง

ใช้เหล็กคาร์บอนต่ำ (SS400 mild steel) โดยมีขนาด 100x100 ตารางมิลลิเมตร และมีความหนา 3 มิลลิเมตร ใช้เครื่องตัดเลเซอร์รุ่น FANUC C4000 ซึ่งให้ลำแสงเลเซอร์แบบต่อเนื่อง และกำลังสูงสุดอยู่ที่ 4000

วัตต์ โดยลำแสงเลเซอร์สามารถเคลื่อนที่ตามแนวแกน x และ y ได้โดยใช้ระบบ CNC (AMADA FO-3015NT) และใช้แก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สช่วย ซึ่งแสดงแผนภาพของการตัดเลเซอร์ดังรูปที่ 1

2.2. การดำเนินการตัด

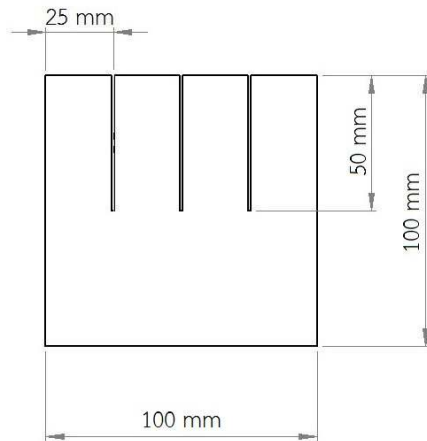
ในการทดลองจะทำการตัดแผ่นโลหะคาร์บอนต่ำเป็นเส้นตรง สามเส้น บนโลหะหนึ่งแผ่น ต่อค่าตัวแปรในการตัดหนึ่งค่า โดยตัดเข้าไป 50 มิลลิเมตร และห่างกัน 25 มิลลิเมตร และเพื่อหลีกเลี่ยงการเจาะนาจึงได้เริ่มทำการตัดที่นอกขอบของแผ่นโลหะ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 แผนภาพการตัดเลเซอร์

ตารางที่ 1 แสดงตัวแปรต่างๆในการทดลองตัดด้วยเลเซอร์

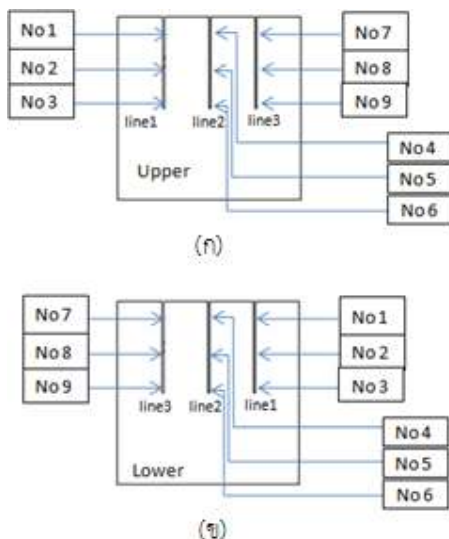
Parameters	Values
Material	Mild steel
Thickness	3 mm
Laser power	2000, 2200, 2400 W
Gas type / pressure	O ₂ /0.07, 0.12, 0.17 MPa
Cutting speed	3100, 3400, 3700 mm/min
Nozzle diameter	0.8 mm
Nozzle standoff distance	0.7 mm
Laser spot size	250 μ m



รูปที่ 2 ชิ้นงานตัวอย่าง

2.3 การตรวจสอบความกว้างของรอยตัด

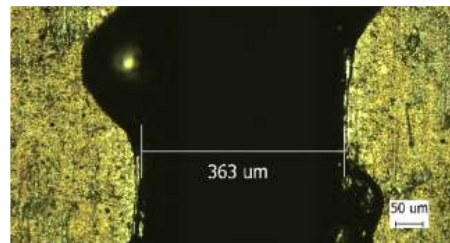
ในการวัดระยะความกว้างของรอยตัด ทำการวัดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) (Olympus U-TV1X-2) ใช้กำลังขยายขนาด 50x ทำการวัดขนาดความกว้างของรอยตัดทั้งด้านบน และด้านล่างของชิ้นงาน โดยวัดระยะสามตำแหน่งต่อหนึ่งรอยตัด แสดงดังรูปที่ 3 และรูปถ่ายทั้งด้านบนและด้านล่างที่ได้จากการใช้กล้องจุลทรรศน์แสดงดังรูปที่ 4 หลังจากทำการวัดขนาดระยะความกว้างของรอยตัดทั้งหมดแล้วจะนำมาเฉลี่ยเป็นค่าเฉลี่ยของความกว้างรอยตัดต่อหนึ่งชิ้นงานตัวอย่าง



รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดความกว้างรอยตัด (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง



(ก)

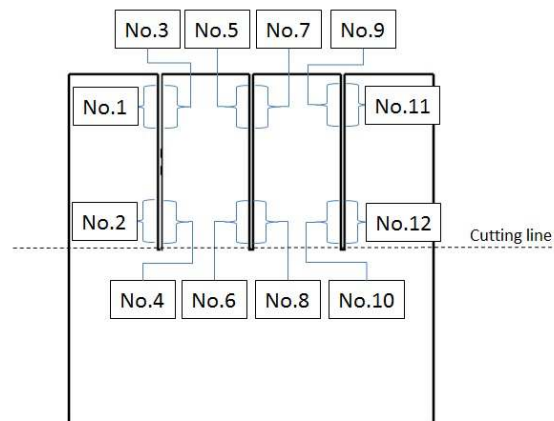


(ข)

รูปที่ 4 รูปถ่ายความกว้างรอยตัดจากกล้องจุลทรรศน์ (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง

2.4 การตรวจสอบความหยาบผิวของรอยตัด

หลังจากที่ได้ทำการวัดระยะความกว้างของรอยตัดเรียบร้อยแล้ว จะนำชิ้นงานมาตัดออกและพิจารณา ลักษณะความหยาบของผิวรวมๆ และวัดค่าความหยาบบนผิวด้านข้างของรอยตัด โดยค่าความหยาบจะใช้ค่าเฉลี่ยของความหยาบ R_z ทำการวัดความหยาบทั้งหมด 12 ตำแหน่งต่อหนึ่งชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5 ใช้เครื่องวัดความหยาบรุ่น Mitutoyo SJ-310 ในการตรวจสอบ โดยวัดความหยาบที่กึ่งกลางของผิวรอยตัด



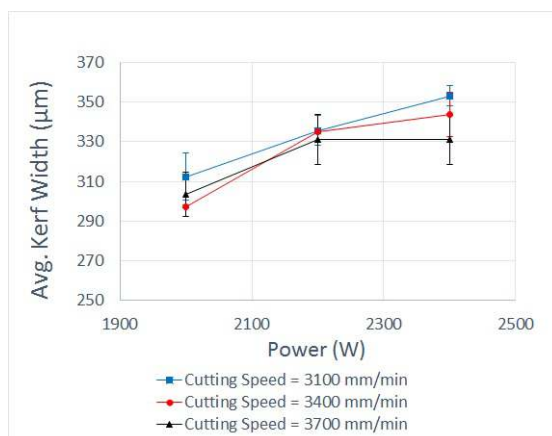
รูปที่ 5 ตำแหน่งการวัดความหยาบบนรอยตัด

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

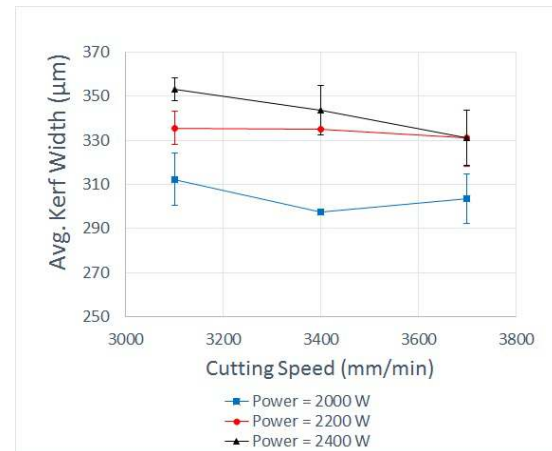
3.1 ระยะเวลาการกว้างรอยตัดเฉลี่ย

ในรูปที่ 6 กำลังของเลเซอร์ที่ส่งผลต่อความกว้างรอยตัดเฉลี่ย ในกรณีความดันแก๊สช่วยเท่ากับ 0.17 MPa คงที่ กำลังเลเซอร์ถูกปรับที่ 2000, 2200 และ 2400 วัตต์ อธิบายได้ว่าความกว้างของรอยตัดจะเพิ่มขึ้น เมื่อกำลังของเลเซอร์เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากกำลังของเลเซอร์ที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนไปสู่โลหะได้มาก จึงทำให้รอยตัดนั้นมีความกว้างเพิ่มขึ้น ผลที่ได้เหมือนกับผลของงานวิจัยอื่นๆ [2-8]

รูปที่ 7 ความเร็วการตัดที่ส่งผลต่อความกว้างรอยตัดเฉลี่ย ในกรณีความดันแก๊สช่วยเท่ากับ 0.17 MPa คงที่ โดยความเร็วการตัดถูกปรับที่ 3100, 3400 และ 3700 mm/min สังเกตได้ว่าความกว้างของรอยตัดจะลดลงเมื่อความเร็วการตัดเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่า ที่ความเร็วการตัดต่ำๆจะมีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างเลเซอร์กับแผ่นโลหะได้นานกว่าที่ความเร็วการตัดสูง ดังนั้นที่ความเร็วต่ำจะทำให้โลหะมีการหลอมละลายมากกว่าและส่งผลให้ระยะความกว้างของรอยตัดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 6 ผลของความกว้างรอยตัดเนื่องจากกำลังเลเซอร์ (ความดันแก๊สออกซิเจน = 0.17 MPa)



รูปที่ 7 ผลของความกว้างรอยตัดเนื่องจากความเร็วการตัด (ความดันแก๊สออกซิเจน = 0.17 MPa)

รูปที่ 8 ความกว้างของรอยตัดที่ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของความเร็วการตัดและความดันของแก๊สช่วย สำหรับที่กำลังเลเซอร์เท่ากับ 2000, 2200 และ 2400 วัตต์ สังเกตได้ว่าสำหรับในกรณีที่กำลังเลเซอร์เท่ากับ 2200 และ 2400 วัตต์ ความกว้างของรอยตัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันของแก๊สช่วยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าที่ความดันแก๊สสูงๆ จะทำให้มีแก๊สออกซิเจนถูกปล่อยออกมาและทำปฏิกิริยากับโลหะ นั่นก็คือมีปฏิกิริยาทางความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการหลอมละลายของโลหะและส่วนที่หลอมละลายจะถูกเป่าออกไป ส่งผลให้ความกว้างของรอยตัดมีความกว้างเพิ่มขึ้น

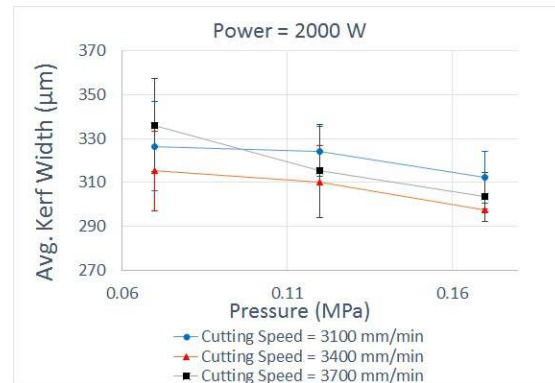
3.2 ความหยابบนผิวของรอยตัด

รูปที่ 9 ถึงความหยابบนผิวของรอยตัดที่เกิดจากความเร็วการตัดและความดันแก๊ส ในกรณีที่กำลังเลเซอร์คงที่ ที่ 2000, 2200 และ 2400 วัตต์ สังเกตเห็นได้ว่าความหยาบลดลงเมื่อความเร็วการตัดเพิ่มขึ้นในทุกๆค่าของกำลังเลเซอร์ และที่ความเร็วการตัดสูงๆ ค่าความหยาบจะเข้าสู่ค่าคงที่ที่ประมาณ 10 ไมครอน และสังเกตได้อีกว่าความหยาบจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความดันแก๊สเพิ่มขึ้น

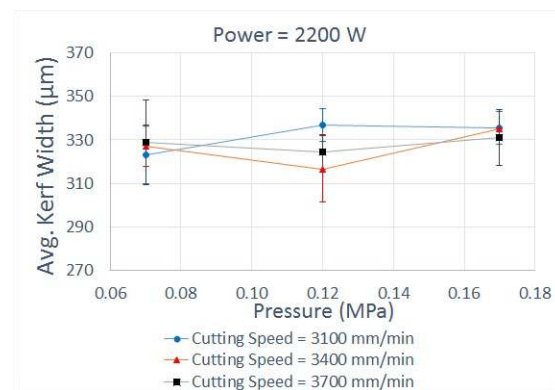
รูปที่ 10 ความหยابบนผิวของรอยตัดที่เกิดจากกำลังของเลเซอร์ ในกรณีความเร็วการตัดคงที่ ที่ 3100,

3400 และ 3700 mm/min จะเห็นได้ว่าผลของความหยาบมีความแตกต่างกันในแต่ละค่าความเร็วการตัด โดยความเร็วตัดที่ 3100 mm/min ความหยาบผิวรอยตัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังเลเซอร์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามที่ความเร็วการตัดสูงๆค่าความหยาบจะมีแนวโน้มลดลง ในกรณีที่ความเร็วการตัดต่ำ (3100 mm/min) เมื่อความดันแก๊สมีค่ามากส่งผลให้เกิดค่าความหยาบที่มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากที่ความดันแก๊สสูงจะส่งผลให้มีอัตราการหลอมเหลวของโลหะเป็นจำนวนมากทำให้เกิดชั้นของโลหะเหลวเกาะติดอยู่ เมื่อถูกความดันแก๊สเป่าออกทำให้เกิดเป็นริ้ว (striation) บนผิวของรอยตัด ซึ่งจะก่อให้เกิดความหยาบที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อต้องการตัดให้ได้ผิวในรอยตัดที่เรียบต้องใช้ความดันแก๊สต่ำๆ

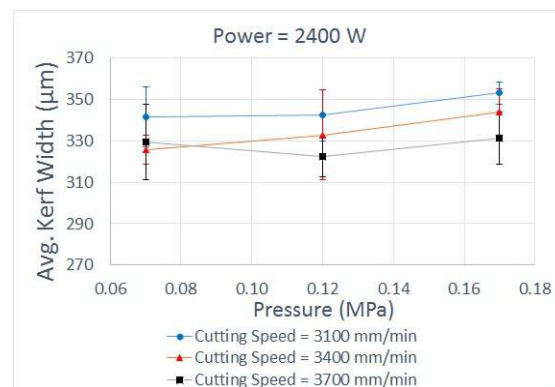
รูปที่ 11 ความหยาบบนผิวของรอยตัดที่เกิดจากความดันแก๊สออกซิเจน จะเห็นได้ว่าความหยาบผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันแก๊สเพิ่มขึ้นในกรณีทุกค่าของกำลังเลเซอร์ ที่ความหยาบที่น้อยที่สุดคือที่ความดันแก๊สต่ำที่สุด อันเนื่องมาจากที่ความดันแก๊สต่ำนั้นจะเกิดปฏิกิริยาการคายความร้อน (Exothermic reaction) ที่ต่ำ ทำให้เกิดการหลอมละลายของโลหะน้อย ดังนั้นความลึกของแถบรีจึงน้อย ทำให้ผิวของรอยตัดที่ได้มีความเรียบมากขึ้น [18, 19] ส่วนในรูปที่ 11(ก) แสดงถึงความหยาบที่เกิดขึ้นในกรณีกำลังเลเซอร์ต่ำ และสำหรับที่ความเร็วการตัดขนาด 3100 mm/min สังเกตได้ว่าการลดลงของความหยาบเล็กน้อยเมื่อความดันแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 0.07 ถึง 0.12 MPa อธิบายได้ว่า ที่ความเร็วการตัดต่ำๆ จะมีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาถ่ายเทความร้อนระหว่างความร้อนจากลำแสงเลเซอร์กับแผ่นโลหะที่นานกว่า ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดขึ้นของโลหะหลอมเหลวที่เกาะติดอยู่มาก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความดันแก๊สต่ำมากๆ จะทำให้ส่วนของโลหะเหลวที่เกาะติดอยู่นั้นไม่สามารถถูกเป่าออกไปจากรอยตัดได้ จึงทำให้ผนังของรอยตัดนั้นเกิดเป็นริ้วมากขึ้น



(ก)

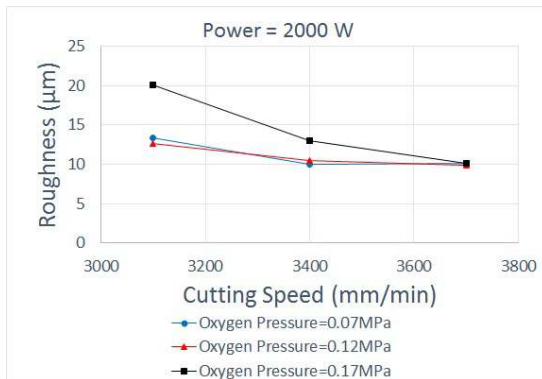


(ข)

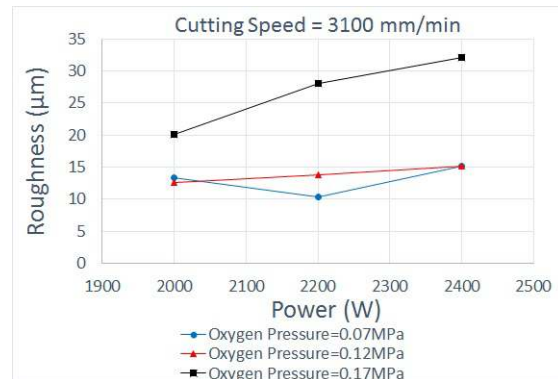


(ค)

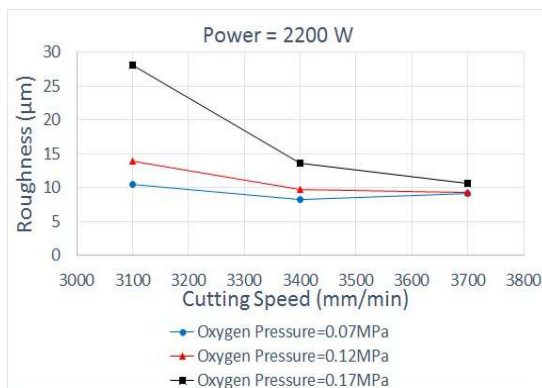
รูปที่ 8 ผลของความกว้างรอยตัดเนื่องจากความดันแก๊สออกซิเจน (ก) กำลังเลเซอร์ = 2000 วัตต์, (ข) กำลังเลเซอร์ = 2200 วัตต์ และ (ค) กำลังเลเซอร์ = 2400 วัตต์



(ก)



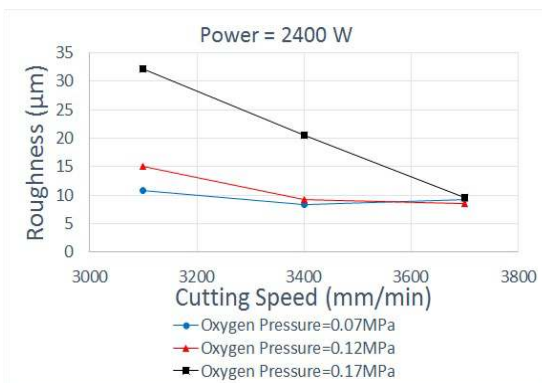
(ง)



(ข)



(จ)



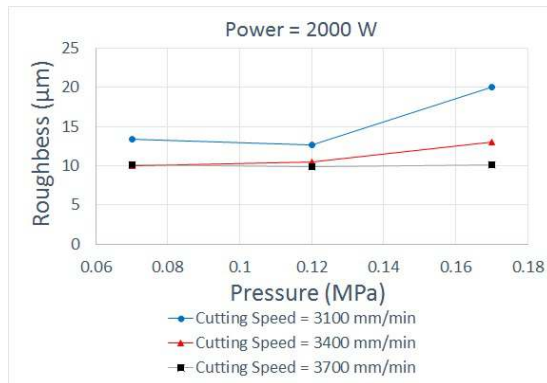
(ค)



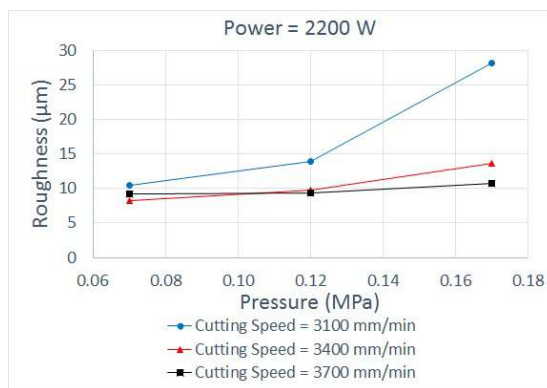
(ฉ)

รูปที่ 9 ผลของความหยาบในรอยตัดเนื่องจากความเร็ว
การตัด (ก) กำลังเลเซอร์ = 2000 วัตต์, (ข) กำลังเลเซอร์
= 2200 วัตต์ และ (ค) กำลังเลเซอร์ = 2400 วัตต์

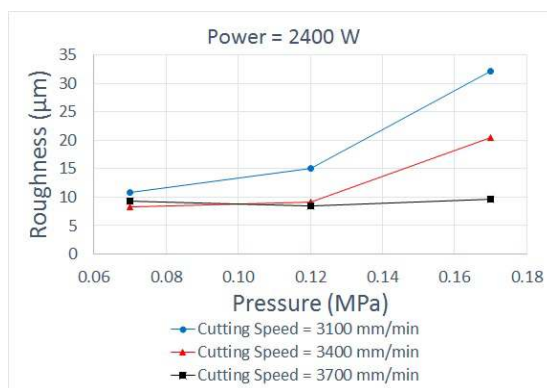
รูปที่ 10 ผลของความหยาบในรอยตัดเนื่องจากกำลัง
เลเซอร์ (ก) ความเร็วตัด = 3100 mm/min, (ข)
ความเร็วตัด = 3400 mm/min และ (ค) ความเร็วตัด =
3700 mm/min



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 11 ผลของความหยาบในรอยตัดเนื่องจากความดันแก๊สออกซิเจน (ก) กำลังเลเซอร์ = 2000 W, (ข) กำลังเลเซอร์ = 2200 W และ (ค) กำลังเลเซอร์ = 2400 W

ในการทดลองนี้จะได้ค่าความหยาบเฉลี่ยบนผิวของรอยตัด (R_z) ที่ต่ำที่สุดสามค่าดังนี้ คือ 8.174, 8.371 และ 8.517 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งมีเงื่อนไขสำหรับค่าตัวแปรต่างๆ ในการตัดเลเซอร์ ดังนี้คือ

- 8.174 ไมครอน ที่กำลังเลเซอร์ 2200 วัตต์ ความเร็วตัด 3400 mm/min และความดันแก๊ส 0.07 MPa
- 8.371 ไมครอน ที่กำลังเลเซอร์ 2400 วัตต์ ความเร็วตัด 3400 mm/min และความดันแก๊ส 0.07 MPa
- 8.517 ไมครอน ที่กำลังเลเซอร์ 2400 วัตต์ ความเร็วตัด 3700 mm/min และความดันแก๊ส 0.12 MPa

4. สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทำการตัดเหล็กคาร์บอนต่ำขนาดความหนา 3 มิลลิเมตรด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ซึ่งผลจากการปรับค่าตัวแปรของกำลังเลเซอร์ ความดันแก๊สช่วย และความเร็วการตัด ส่งผลต่อความกว้างของรอยตัดและความหยาบบนผิวของรอยตัด จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- ระยะความกว้างของรอยตัดมีขนาดลดลง เมื่อลดกำลังเลเซอร์และเพิ่มความเร็วการตัด ในกรณีที่กำลังเลเซอร์ต่ำๆ เมื่อเพิ่มความดันแก๊สจะทำให้ความกว้างของรอยตัดลดลง ในทางตรงกันข้าม สำหรับกรณีที่กำลังเลเซอร์ปานกลางจนถึงกำลังสูงๆ เมื่อเพิ่มความดันแก๊สจะทำให้ความกว้างของรอยตัดมีขนาดที่กว้างขึ้น
- ความหยาบบนผิวรอยตัดลดลง เมื่อเพิ่มความเร็วการตัด และลดความดันแก๊สช่วย สำหรับในทุกกำลังของเลเซอร์ ขึ้นอยู่กับความเร็วการตัด ซึ่งสามารถทำให้ความหยาบของรอยตัดเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chen, SL. (1998). The effects of gas composition on the CO₂ laser cutting of mild steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 73, 1998, pp. 147 - 159.



- [2] Yilbas, B.S. (2008). Laser cutting of thick sheet metals: Effects of cutting parameters on kerf size variations, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 201, 2008, pp. 285 - 290.
- [3] Thomas, D.J. (2016), Optimising laser cut-edge durability for steel structures in high stress applications, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 121, January 2016, pp. 40 - 49.
- [4] Rajaram, N., Sheikh-Ahmad, J. and Cheraghi, S.H. (2003), CO₂ laser cut quality of 4130 steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 43, 2003, pp. 351 - 358.
- [5] Abdul, F.M.T. and Syarifah, N.A. (2017). An investigation of laser cutting quality of 22MnB5 ultra high strength steel using response surface methodology, *Optics & Laser Technology*, Vol. 92, 2017, pp. 142 - 149.
- [6] Lamikiz, A., Lopez de Lacalle, L.N., Sánchez, J.A., del Pozo, D., Etayo, J.M. and López, J.M. (2005). CO₂ laser cutting of advanced high strength steels (AHSS), *Applied Surface Science*, Vol. 242, October 2004, pp. 362 - 368.
- [7] Eltawahni, H.A., Hagino, M., Benyounis, K.Y., Inoue, T. and Olabi, A.G. (2012). Effect of CO₂ laser cutting process parameters on edge quality and operating cost of AISI316L, *Optics & Laser Technology*, Vol. 44, November 2012, pp. 1068 - 1082.
- [8] Chen, S-L. (1999). The effects of high-pressure assistant-gas flow on high-power CO₂ laser cutting, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 88, 1999, pp. 57 - 66.
- [9] Sharma, A., Yadava, V. (2012). Modelling and optimization of cut quality during pulsed Nd:YAG laser cutting of thin Al-alloy sheet for straight profile, *Optics & Laser Technology*, Vol. 44, July 2011, p. 159 - 168.
- [10] Cekic, A., Begic-Hajdarevic, D., Kulenovic, M. and Omerspahic, A. (2014). CO₂ Laser Cutting of Alloy Steels Using N₂ Assist Gas, *Procedia Engineering*, Vol. 69, 2014, pp. 310 - 315.
- [11] Powell, J., Al-Mashikhi, S.O., Kaplan, A.F.H. and Voisey, K.T. (2011). Fibre laser cutting of thin section mild steel: An explanation of the 'striation free' effect, *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 49, April 2011, pp. 1069 - 1075.
- [12] Cekic, A. and Begic-Hajdarevic, D. (2015). Definition of Mathematical Models of High-alloyed Steel 1.4828 in CO₂ Laser Cutting, *Procedia Engineering*, Vol. 100, 2015, pp. 435 - 444.
- [13] Orishich, A.M., Malikov, A.G., Shulyatyev, V.B. and Golyshev, A.A. (2014). Experimental Comparison of Laser Cutting of Steel with Fiber and CO₂ Lasers on the Basis of Minimal Roughness, *Physics Procedia*, Vol. 56, 2014, pp. 875 - 884.
- [14] Mao, C., Sun, X., Huang, H., Kang, C., Zhang, M. and Wu, Y. (2016). Characteristics and removal mechanism in laser cutting of cBN-WC-10Co composites, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 230, November 2015, pp. 42 - 49.
- [15] Jarosz, K., Löschner, P. and Niestony, P. (2016). Effect of Cutting Speed on Surface Quality and Heat-affected Zone in Laser Cutting



of 316L Stainless Steel, *Procedia Engineering*, Vol. 149, June 2016, pp. 155 - 162.

[16] Scintilla, L.D. and Tricarico, L. (2013). Experimental investigation on fiber and CO₂ inert gas fusion cutting of AZ31 magnesium alloy sheets, *Optics & Laser Technology*, Vol. 46, May 2012, pp. 42 - 52.

[17] Wee, L.M. and Li, L. (2005). An analytical model for striation formation in laser cutting, *Applied Surface Science*, Vol. 247, April 2005, pp. 277 - 284.

[18] Salem, H.G., Mansour, M.S., Badr, Y. and Abbas, W.A. (2008). CW Nd:YAG laser cutting of ultra low carbon steel thin sheets using O₂ assist gas, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 196, May 2007, pp. 64 - 72.

[19] Chen, K., Lawlence, Y. and Vijay M. (2001). Gas Dynamic Effects on Laser Cut Quality, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 3, 2001, pp. 38 - 49.