

ผลของการสั่นของเปลวไฟที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและคุณภาพรอยตัดของเจ็ทเปลวไฟพุ่งชน

Effect of flame pulsating on heat transfer rate and quality of cutting surface for impinging flame jet

ชยุต นันทคุลิต, มัฏฐาร์ แวหะยี และ ปฐมพร นระระโต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

E-mail: chayut@me.psu.ac.th

Manuscript received October 8, 2014

Revised November 16, 2014

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการสั่นของเปลวไฟที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนและคุณภาพของรอยตัด ในการศึกษาได้ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงและก๊าซออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดเซอร์ผสมที่อัตราส่วนสมมูลต่างๆ และศึกษาผลของระยะห่างจากปากทางออกถึงพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน จากผลการทดลองพบว่า ระยะห่างจากปากทางออกเจ็ทเปลวไฟถึงพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนที่ระยะ $h = 5$ mm และ 6 mm ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวสูงที่สุด การลดอัตราส่วนสมมูลและการเพิ่มความถี่ในการสั่นของเจ็ทเปลวไฟมีผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวสูงขึ้น สำหรับเงื่อนไขที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดคือ กรณีเจ็ทเปลวไฟมีอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.07$ ที่ระยะ 6 mm ในกรณีที่เจ็ทเปลวไฟมีความถี่ 20 Hz ซึ่งเป็นกรณีที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 30% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเจ็ทเปลวไฟแบบต่อเนื่อง เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการตัดแผ่นเหล็กที่มีความหนา 12 mm คือ กรณีที่อัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.29$ และใช้เปลวไฟแบบสั่นที่มีความถี่ของเจ็ทเปลวไฟ $f = 10$ Hz ที่ระยะห่างจากปากทางออกของเจ็ทเปลวไฟ $h = 2$ mm ซึ่งเปลวไฟแบบสั่นจะช่วยให้รอยตัดมีความสม่ำเสมอมากขึ้นเมื่อเทียบกับการตัดแผ่นเหล็กโดยใช้เปลวไฟแบบต่อเนื่อง

คำสำคัญ: เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน ความถี่การสั่น อัตราการถ่ายเทความร้อน คุณภาพรอยตัด

ABSTRACT

The objective of this research is to study the effect of pulsating of flame jet on heat transfer rate on surface with flame jet impingement and quality of cut surface. In the experiment, we used LPG as gas fuel and pure oxygen gas as oxidizer and mixed at different equivalent ratio. The effect of cutting torch nozzle-to-plate distance was also investigated. The experimental results show that the cutting torch nozzle-to-plate distance at $h = 5$ mm and 6 mm give the maximum heat transfer rate. When decreasing the equivalent ratio or increasing the frequency of pulsating flame jet, the heat transfer rate on impingement surface is enhanced. The condition for maximum heat transfer rate is flame jet with equivalent ratio $\phi=1.07$, at nozzle-to-plate distance $h = 6$ mm and frequency of pulsating at $f=20$ Hz. The heat transfer rate is increased about 30% when compare with case of continuous flame jet. For the quality of cut steel plate with thickness 12 mm, it was found that the optimum condition is found at equivalent ratio $\phi=1.29$, nozzle-to-plate distance $h=2$ mm and frequency of pulsating at $f=10$ Hz. The pulsating flame jet can uniform the surface cut when compare to continuous flame jet.

Keywords: Impinging flame jet, Pulsating frequency, Heat transfer rate, Cutting surface quality.

1. ที่มาและความสำคัญ

กระบวนการตัดด้วยแก๊สเชื้อเพลิงผสมกับออกซิเจน (Fuel-Oxy cutting) เป็นวิธีที่มีใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นเทคนิคที่ให้ความร้อนขึ้นงานอย่างรวดเร็วและเทคนิคดังกล่าวสามารถตัดเหล็กที่มีความหนาในช่วง 0.5 – 250 mm ได้ ในการตัดใช้เปลวไฟที่เกิดจากการผสมระหว่างออกซิเจนและเชื้อเพลิงแก๊ส เช่น แก๊สอะเซทิลีน แก๊สโพรเพน และแก๊สธรรมชาติ เป็นต้น ให้ความร้อนแก่โลหะจนเกิดการเผาไหม้ ซึ่งอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่โลหะจะอยู่ในช่วง 700 – 900 °C ซึ่งบริเวณนี้ให้ความร้อนจะมีลักษณะเป็นจุดสีแดงเกิดขึ้น แต่อุณหภูมินี้จะยังน้อยกว่าอุณหภูมิที่ทำให้โลหะเกิดการหลอมเหลว การใช้แก๊สเชื้อเพลิงผสมกับออกซิเจนบริสุทธิ์ให้ความร้อนแก่พื้นผิวจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนและโลหะซึ่งจะทำให้เกิดออกไซด์ของเหล็กหรือซีลอม (Slag) หลังจากนั้นจึงพ่นก๊าซออกซิเจนเพื่อไล่ซีลอมและทำให้เหล็กขาดออกจากกัน

ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้การตัดเหล็กด้วยเจ็ทเปลวไฟจากแก๊สผสมระหว่างออกซิเจนกับเชื้อเพลิงแก๊ส LPG (Liquefied Petroleum Gas) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีข้อดีคือให้อัตราการเย็นตัวของแนวตัดต่ำ (เย็นตัวช้า) ทำให้แนวตัดมีคุณภาพดี ไม่แข็งมาก ซึ่งในกรณีนี้เหมาะสมเป็นอย่างมากในการตัดวัสดุประเภทเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ซึ่งใช้งานกันมากในอุตสาหกรรมหนัก นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องตัดแบบอัตโนมัติได้ แต่จนถึงปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับเงื่อนไขอัตราส่วนผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงกับตัวออกซิโดเซอร์ และเงื่อนไขในการตัดที่เหมาะสม ซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทเปลวไฟ และคุณภาพของรอยตัด หากใช้เงื่อนไขในการตัดที่ไม่เหมาะสม จะส่งผลให้คุณภาพรอยตัดต่ำและอาจเกิดความเสียหายบริเวณรอยตัดได้ สาเหตุปัญหาที่มักเกิดขึ้น เช่น ความเร็วในการตัดช้าหรือเร็วเกินไป ระยะห่างปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวชิ้นงานน้อยหรือมากเกินไป แก๊สออกซิเจนที่ใช้ในการตัดมีแรงดันสูงเกินไป การให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนทา การตัดสูงเกินไป ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นบริเวณรอยตัด หลังจากตัดจำเป็นต้องเสียเวลาปรับแต่งรอยตัดมาก และที่ผ่านมาการตัดด้วยเปลวไฟส่วนมาก ช่างปฏิบัติการแต่ละคนอาศัยการสังเกตเปลวไฟในการปรับสัดส่วนแก๊สเชื้อเพลิงกับออกซิเจน และใช้ประสบการณ์ในการเลือกใช้เงื่อนไขในการตัดเอง โดยไม่มีข้อมูลของเงื่อนไขในการตัดด้วยเปลวไฟที่เหมาะสมที่จะใช้แต่งเปลวไฟให้ตัด

จากอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทเปลวไฟที่พุ่งชนบนพื้นผิวเรียบเป็นจำนวนมาก มีการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของเจ็ทเปลวไฟ [1] – [3] การถ่ายเทความร้อนของเจ็ทเปลวไฟบนพื้นผิวทั้งแบบเฉาะจุดและแบบเฉี่ยทั้งผิว [4] – [7] และการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ของเจ็ท

เปลวไฟ [8], [9] โดย Chanda และ Ray [10] ได้รวบรวมและสรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทเปลวไฟที่พุ่งชนบนพื้นผิวในกรณีที่ใช้รูปแบบหัวเผาและรูปร่างของพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนต่าง ๆ และพบว่าจนถึงปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวข้องกับเจ็ทเปลวไฟแบบสั้นน้อยมาก ส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทน้ำหรือเจ็ทอากาศด้วยการควบคุมการไหลของเจ็ทให้สั้นที่ความถี่ต่างๆ [11], [12], [13] ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของแก๊สเชื้อเพลิง LPG และแก๊สออกซิเจน ความถี่ในการสั่นของเจ็ทเปลวไฟที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน รวมถึงประยุกต์ใช้เจ็ทเปลวไฟแบบสั้นตัดแผ่นเหล็กเพื่อสรุปหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดแผ่นเหล็ก

2. ขุดทดลองและวิธีทดลอง

2.1 ขุดทดลอง

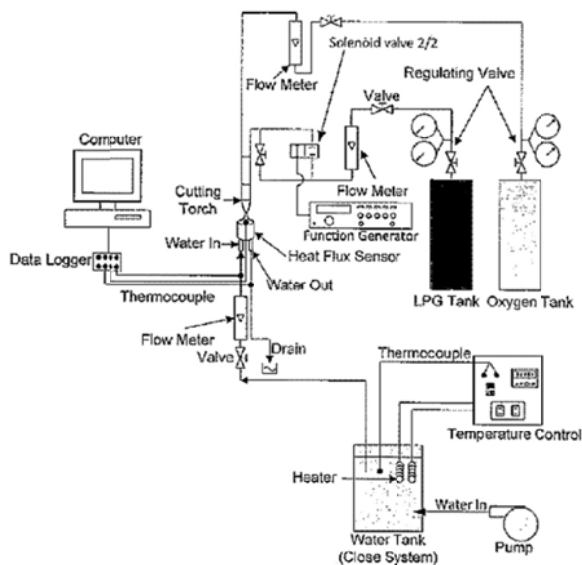
รูปที่ 1 แสดงแผนภาพขุดทดลองที่ใช้ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทเปลวไฟที่พุ่งชนบนพื้นผิว และการทดสอบตัดแผ่นเหล็ก สำหรับอุปกรณ์สร้างเจ็ทเปลวไฟ ประกอบไปด้วย ถังบรรจุแก๊สหุงต้ม LPG (Liquefied petroleum gas) ถังบรรจุแก๊สออกซิเจน โดยแก๊สแต่ละถังจะไหลผ่านวาล์วควบคุมความดันก๊าซที่ติดตั้งมาวัดความดันในถังและความดันที่จ่าย และแก๊สแต่ละชนิดจะไหลผ่านเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบโรตาริเตอร์ (ที่ผ่านการทดสอบเทียบกับ Wet gas meter ก่อนการทดลอง, ความไม่แน่นอนของการวัด $\pm 2\%$) และแก๊ส LPG ไหลผ่านโซลินอยด์วาล์วที่สามารถควบคุมความถี่ในการเปิดปิดวาล์วได้ ก่อนจะส่งต่อไปยังหัวตัดเปลวไฟที่ติดกับเครื่องตัดแก๊สอัตโนมัติ เพื่อความปลอดภัยในการทดลองได้ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเปลวไฟไหลย้อนกลับที่ถังแก๊ส LPG และถังแก๊สออกซิเจน

สำหรับหัวตัดแก๊สที่ใช้ในการทดลองเป็นหัวตัดแก๊ส LPG (บริษัท Huawei, รุ่น G03-2#) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 mm ยาว 90 mm เป็นหัวตัดแบบเปลวไฟผสมมาก่อน (Premixed flame) ใช้สำหรับตัดแผ่นเหล็กขนาดหนา 6 – 12 mm สำหรับปากทางออกเจ็ทเปลวไฟประกอบด้วย 2 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วนแรกเป็นรูเจ็ทสำหรับเปลวไฟให้ความร้อนมีจำนวนหลายรูอยู่รอบๆ ในแนวรัศมี และส่วนที่สองเป็นรูออริฟิสที่อยู่ตรงกลางหัวตัดสำหรับให้ออกซิเจนไหลผ่านเวลาตัด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 mm

2.2 การศึกษาการถ่ายเทความร้อนเจ็ทเปลวไฟพุ่งชนพื้นผิว

ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนบนพื้นที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน โดยใช้หัววัดอัตราการถ่ายเทความร้อน (Thermogage Circular Foil Heat Flux Transducer, บริษัท Vatel, รุ่น TG1000-0, ความไม่แน่นอนในการวัด $\pm 3\%$) ดังแสดงในรูปที่ 3 พื้นผิวหัววัดที่เจ็ทเปลว

ไฟฟุ้งชนนี้ทำมาจากวัสดุทองแดงซึ่งมีการเคลือบพื้นผิวด้านที่เจ็ทเปลวไฟฟุ้งชนด้วยสาร Colloidal Graphite มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm มีความยาว 25 mm ในหัววัดอัตราการถ่ายเทความร้อนมีท่อน้ำเข้าและน้ำออกด้านหลังสำหรับให้น้ำไหลเข้าออกเพื่อระบายความร้อน และในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้ใช้โรตามิเตอร์ติดตั้งก่อนเข้าสู่หัววัดอัตราการถ่ายเทความร้อนและมีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำเข้าให้มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 34°C หัววัดนี้จะมีสายสัญญาณต่อเข้ากับตัวขยายสัญญาณ ก่อนที่จะต่อเข้าไปอุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่จะต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล ในการบันทึกข้อมูลในแต่ละการทดลองจะทำการบันทึกข้อมูลเมื่อการทดลองเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว



รูปที่ 1 แสดงแผนภาพชุดทดลองที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 2 แสดงภาพหัววัดที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3 แสดงหัววัดอัตราการถ่ายเทความร้อนสำหรับการวิเคราะห์อัตราส่วนสมมูลหาได้จากสมการ

$$\phi = \frac{(F/A)}{(F/A)_{\text{stoi}}} \quad (1)$$

โดยที่ (F/A) คือ อัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่อออกซิเจนที่ใช้จริง และ $(F/A)_{\text{stoi}}$ คือ อัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่อออกซิเจนทางทฤษฎี

ในการทดลองได้กำหนดให้อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ให้คงที่ที่ 2.11 l/min และทดลองเปลี่ยนอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่ 4 l/min, 5 l/min และ 6 l/min ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนผสมสมมูลเท่ากับ 1.61, 1.29 และ 1.07 ตามลำดับ ในการทดลองได้ศึกษาผลของระยะห่างจากปากทางออกถึงพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟฟุ้งชนที่เงื่อนไข $h=2\text{ mm}$, 3 mm, 4 mm, 5 mm และ 6 mm และศึกษาผลของความถี่การสั่นของเจ็ทเปลวไฟที่ $f=0\text{ Hz}$, 10 Hz, 15 Hz และ 20 Hz รายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดสรุปในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงแก๊ส LPG	2.11 l/min
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊สออกซิเจน	4, 5 และ 6 l/min
อัตราส่วนผสมสมมูลระหว่างแก๊ส LPG และแก๊สออกซิเจน	1.61, 1.29, 1.07
ความถี่การสั่นของเจ็ทเปลวไฟ	0, 10, 15 และ 20 Hz
ระยะห่างจากปากทางออกถึงพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟฟุ้งชน	2, 3, 4, 5 และ 6 mm

2.3 การศึกษาลักษณะของรอยตัดเหล็กและปริมาณซีเชื่อมหลังจากการตัด

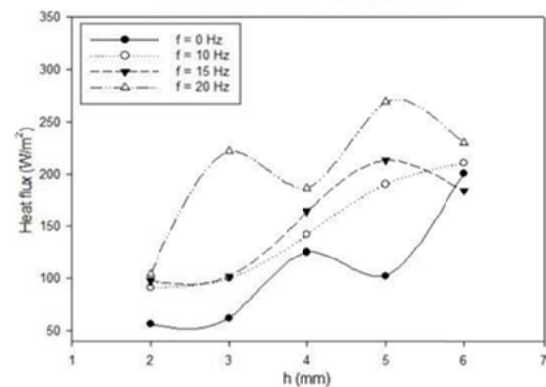
ในการทดสอบตัดแผ่นเหล็กได้ใช้เครื่องตัดแก๊สอัตโนมัติแบบเดินตามราง (บริษัท KOVET, รุ่น KV-12 LIGER) ซึ่งสามารถปรับความเร็วในการเดินเครื่องตัดแก๊สอัตโนมัติได้ ความเร็วของเครื่องตัดแก๊สจะอยู่ในช่วง 150 - 800 mm/min ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เจ็ทเปลวไฟที่เงื่อนไขต่างๆทดลองตัดแผ่นเหล็กหนา 12 mm ซึ่งเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยใช้เงื่อนไขและตัวแปรเดียวกับที่ใช้ศึกษาอัตราการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทเปลวไฟพุ่งชน และทำการทดลองกำหนดให้อัตราการไหลของออกซิเจนสำหรับใส่ซีเชื่อมเท่ากับ 25 l/min และความเร็วในการเดินเครื่องตัดแก๊สอัตโนมัติที่ 180 mm/min ตามลำดับ เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้ลักษณะของรอยตัดมีความเรียบและมีปริมาณซีเชื่อมที่เกาะบริเวณรอยตัดน้อยที่สุด

สำหรับการประเมินปริมาณซีเชื่อมที่ติด ใช้วิธีชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าน้ำหนักของซีเชื่อมโดยชั่งน้ำหนักของชิ้นงานหลังจากทำการตัด หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ชั่งน้ำหนักมาเคาะซีเชื่อมที่เกาะบริเวณรอยตัดออกแล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อดูน้ำหนักของชิ้นงานที่ไม่มีซีเชื่อมเกาะติด ซึ่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้จะเป็นน้ำหนักของซีเชื่อมที่เกาะบริเวณรอยตัด สำหรับการพิจารณาลักษณะการหลอมละลายบริเวณขอบของรอยตัดและบริเวณพื้นผิวรอยตัว ใช้วิธีการถ่ายภาพของรอยตัดด้วยกล้องดิจิทัลที่มีความละเอียดภาพสูง 14.2 ล้านจุดภาพ

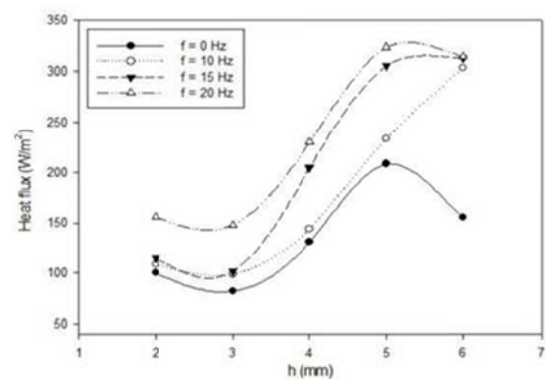
3. ผลการทดลอง

3.1 การศึกษาการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน

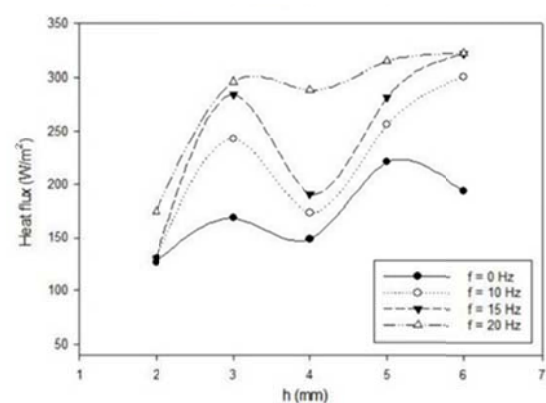
รูปที่ 4 แสดงผลของระยะจากปากทางออกเจ็ทเปลวไฟถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนและความถี่ในการสั่นของเจ็ทเปลวไฟที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวในกรณีอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.61$, 1.29 และ 1.07 จากรูปพบว่า การเพิ่มระยะพุ่งชน h มีแนวโน้มให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวสูงขึ้น แต่การลดลงของอัตราการถ่ายเทความร้อนในช่วงระยะ h ต่ำๆ เช่น ที่ระยะ $h=5$ mm ในกรณี $\phi = 1.61$ ที่ระยะ $h=3$ mm ในกรณี $\phi = 1.29$ หรือที่ระยะ $h=4$ mm ในกรณีที่ $\phi = 1.07$ อาจเกิดจากโมเมนตัมของเจ็ทเปลวไฟที่พุ่งชนพื้นผิวลดลงเมื่อเพิ่มระยะพุ่งชน แต่หลังจากเพิ่มระยะพุ่งชนไปอีกระดับความปั่นป่วนในเจ็ทเปลวไฟที่พุ่งชนพื้นผิวเพิ่มขึ้นจึงมีผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนผิวนิ่งเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง แต่ที่ระยะพุ่งชนสูงๆ $h=6$ mm อัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลงอีกครั้งเนื่องจากโมเมนตัมของเจ็ทเปลวไฟที่พุ่งชนพื้นผิวลดลง



(ก) กรณีอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.61$



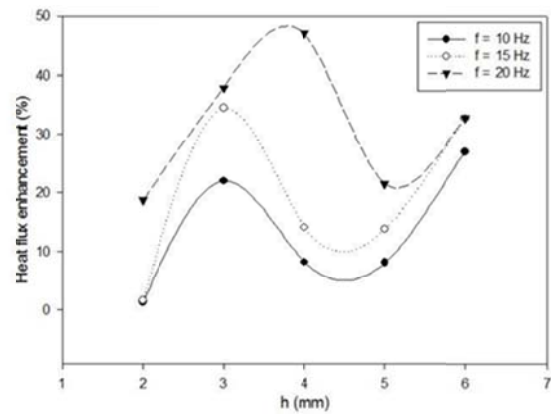
(ข) กรณีอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.29$



(ค) กรณีอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.07$

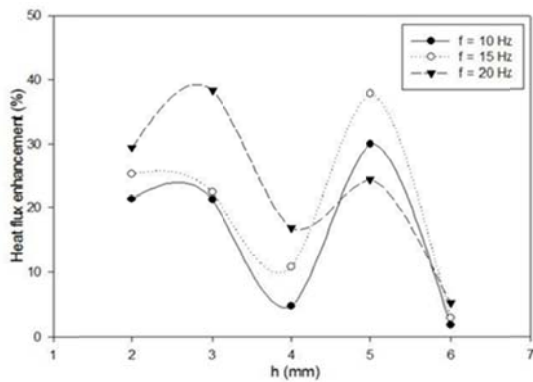
รูปที่ 4 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน

จากรูปที่ 4 พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามความถี่การสั่นของเปลวไฟที่เพิ่มขึ้น โดยในกรณีเจ็ทเปลวไฟแบบต่อเนื่องที่อัตราส่วนสมมูล $\phi=1.61$ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดประมาณ 200 W/m^2 ที่ระยะ $h=6 \text{ mm}$ อัตราส่วนสมมูล $\phi=1.29$ และ $\phi=1.07$ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดประมาณ 200 W/m^2 ที่ระยะ $h=5 \text{ mm}$ การเพิ่มขึ้นของความถี่การสั่นของเปลวไฟมีผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยที่เงื่อนไขอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.29$ ที่ความถี่ $f=15 \text{ Hz}$, 20 Hz ระยะพุ้งชน $h=5 \text{ mm}$, 6 mm ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงถึงประมาณ 300 W/m^2 และที่เงื่อนไขอัตราส่วนสมมูล $\phi=1.29$ ที่ความถี่ $f=20 \text{ Hz}$ ระยะพุ้งชน $h=5 \text{ mm}$, 6 mm ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงถึงประมาณ 300 W/m^2 นอกจากนี้พบว่าการลดอัตราส่วนสมมูลจาก $\phi=1.61$ เป็น $\phi=1.07$ มีผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามที่ระยะพุ้งชน $h=2 \text{ mm}$ การเพิ่มความถี่จาก $f=10 \text{ Hz}$ มีผลต่อการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวน้อยมาก

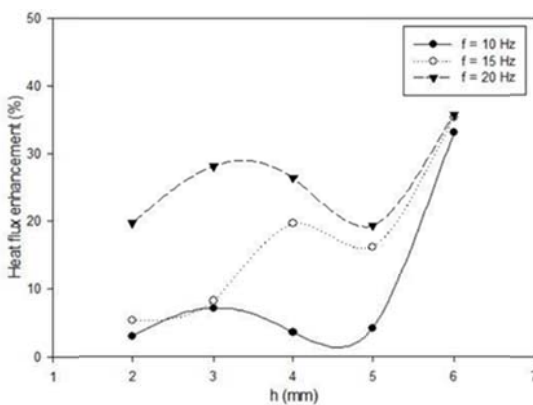


(ค) กรณีอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.07$

รูปที่ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับกรณีเจ็ทเปลวไฟแบบต่อเนื่อง



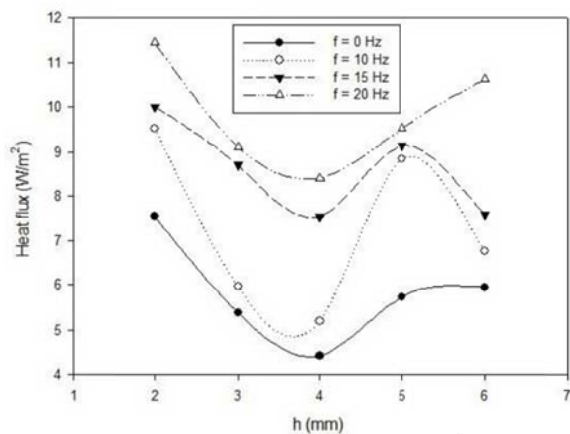
(ก) กรณีอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.61$



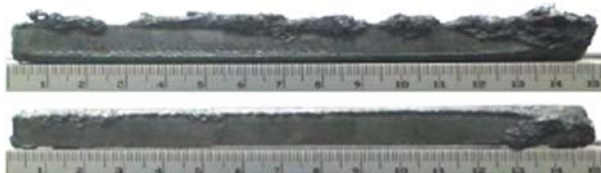
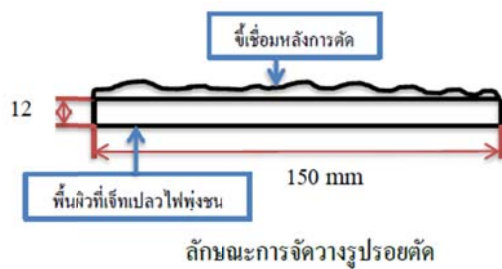
(ข) กรณีอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.29$

รูปที่ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของกรณีเจ็ทเปลวไฟแบบต่อเนื่อง พบว่าที่เงื่อนไขอัตราส่วนสมมูล $\phi=1.07$ ที่ระยะ $h=4 \text{ mm}$ และความถี่ $f=20 \text{ Hz}$ ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงถึง 47% ดังนั้นในกระบวนการให้ความร้อนพื้นผิวหรือแผ่นเหล็กก่อนกระบวนการตัด การใช้เจ็ทเปลวไฟแบบสันสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวได้ ซึ่งมีผลให้สามารถประหยัดเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และแก๊สออกซิเจนได้

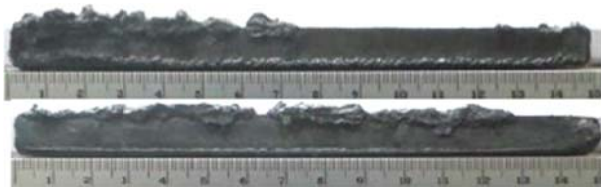
รูปที่ 6 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ้งชนใช้เงื่อนไขขณะที่ทำการตัดแผ่นเหล็กโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่ 2.11 U/min และใช้แก๊สออกซิเจนที่ 25 U/min (กรณีที่มีการปล่อยออกซิเจนออกจากรูเจ็ทที่อยู่ตรงกลางหัวตัด และมีเจ็ทเปลวไฟให้ความร้อน) จากรูปพบว่า การเพิ่มระยะพุ้งชนในช่วง $h=2-4 \text{ mm}$ มีผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวลดลง เนื่องจากระยะพุ้งชนที่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้มีผลให้โมเมนตัมของเจ็ทเปลวไฟที่พุ้งชนพื้นผิวลดลง แต่การเพิ่มระยะพุ้งชนจาก $h=4-6 \text{ mm}$ มีผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกระแสปั่นป่วนในเจ็ทเปลวไฟที่พุ้งชนพื้นผิวเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้นกรณีที่ $f=10 \text{ Hz}$ และ 15 Hz จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงเมื่อเพิ่มระยะพุ้งชนเป็น $h=6 \text{ mm}$ โดยรวมพบว่าการเพิ่มความถี่ก็ยังคงมีผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเจ็ทเปลวไฟแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 6 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนที่เงื่อนไขขณะทำการตัดแผ่นเหล็กโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่ 2.11 l/min และใช้แก๊สออกซิเจนที่ 25 l/min

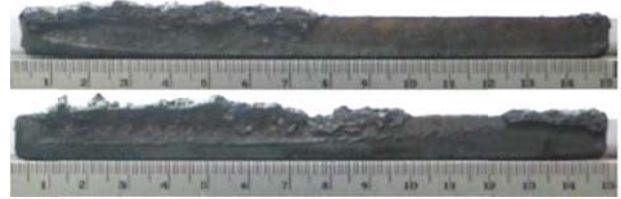


(ก) กรณี $h=2$ mm



(ข) กรณี $h=3$ mm

รูปที่ 7 แสดงรอยตัดเหล็กและชีเชื่อมที่เกาะบริเวณรอยตัดของเจ็ทเปลวไฟแบบต่อเนื่อง และอัตราส่วนสมมูล $\phi=1.29$ (ความเร็วเดินตัด 180 mm/min) (ต่อ)



(ค) กรณี $h=4$ mm



(ง) กรณี $h=5$ mm

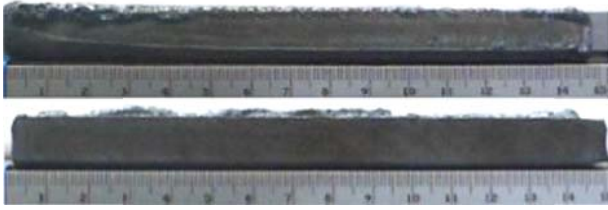
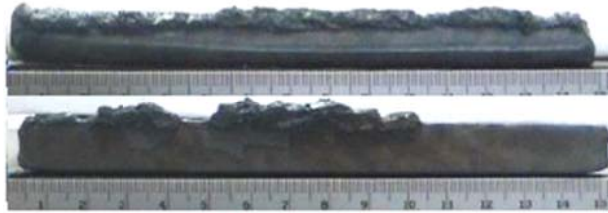
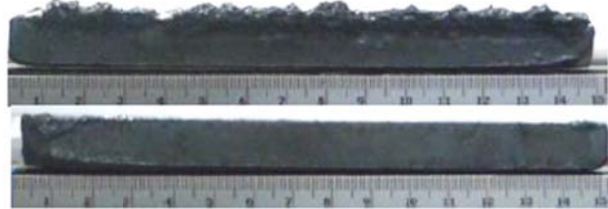
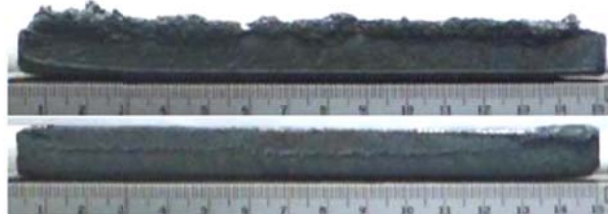
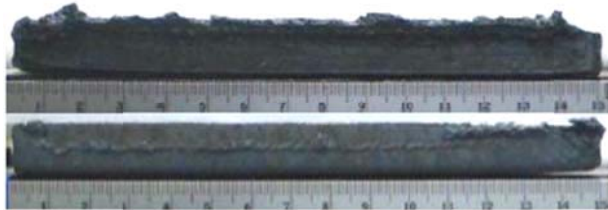


(จ) กรณี $h=6$ mm

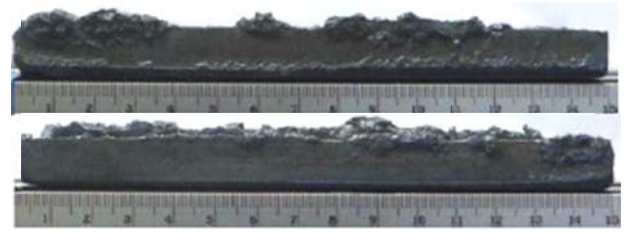
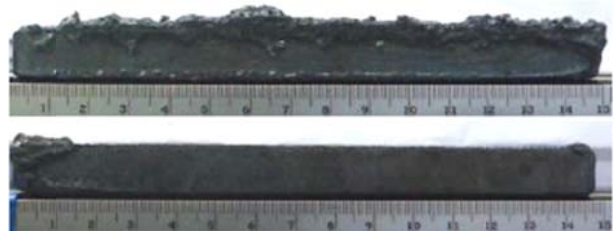
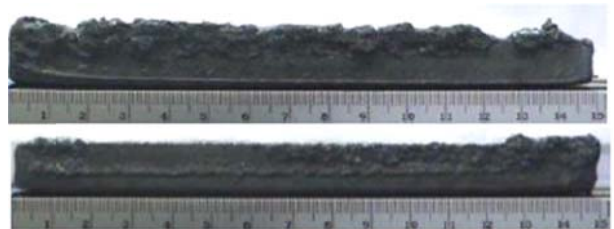
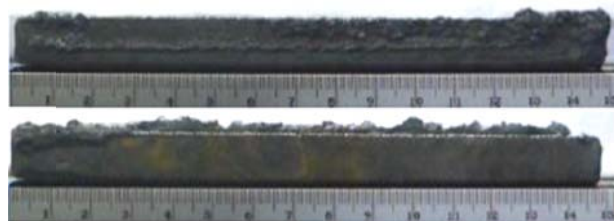
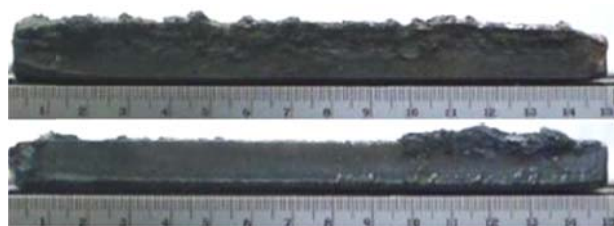
รูปที่ 7 แสดงรอยตัดเหล็กและชีเชื่อมที่เกาะบริเวณรอยตัดของเจ็ทเปลวไฟแบบต่อเนื่อง และอัตราส่วนสมมูล $\phi=1.29$ (ความเร็วเดินตัด 180 mm/min)

3.2 ลักษณะของรอยตัดเหล็กและชีเชื่อมที่เกาะบริเวณรอยตัด

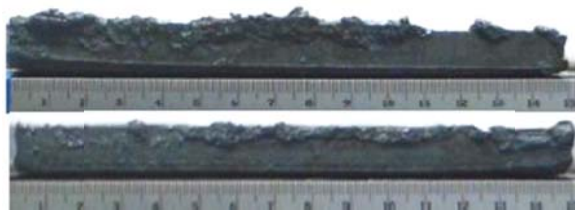
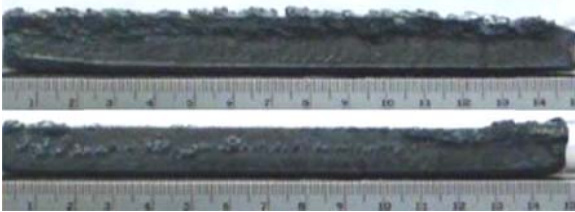
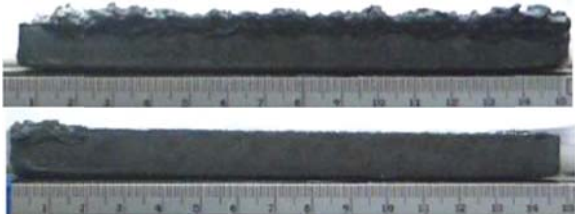
รูปที่ 7 ถึงรูปที่ 10 แสดงตัวอย่างลักษณะรอยตัดแผ่นเหล็กและชีเชื่อมที่เกาะบริเวณรอยตัดของเจ็ทเปลวไฟแบบต่อเนื่อง และเจ็ทเปลวไฟแบบสั้นที่มีความถี่ต่างๆ ที่เงื่อนไขอัตราส่วนสมมูล $\phi=1.29$ และความเร็วเดินตัดเท่ากับ 180 mm/min แผ่นเหล็กที่ใช้เป็นแผ่นเหล็กคาร์บอนต่ำมีความหนาเท่ากับ 12 mm ในแต่ละรูปแสดงรอยตัดที่เงื่อนไขระยะพุ่งชน h ต่างๆ ซึ่งด้านล่างของแผ่นจะเป็นด้านที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน และด้านบน เป็นด้านหลังที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน พบว่ามีชีเชื่อมติดอยู่ที่ขอบด้านบน และที่ผิวรอยตัดแต่ละเงื่อนไขมีความเรียบที่ต่างกันขึ้นกับเงื่อนไขในการตัด

(ก) กรณี $h=2$ mm(ข) กรณี $h=3$ mm(ค) กรณี $h=4$ mm(ง) กรณี $h=5$ mm(จ) กรณี $h=6$ mm

รูปที่ 8 แสดงรอยตัดเหล็กและซีซีเชื่อมที่เกาะบริเวณรอยตัดของเจ็ทเพลวไฟที่มีความถี่ 10 Hz และอัตราส่วนสมมูล $\sigma=1.29$ (ความเร็วเดินตัด 180 mm/min)

(ก) กรณี $h=2$ mm(ข) กรณี $h=3$ mm(ค) กรณี $h=4$ mm(ง) กรณี $h=5$ mm(จ) กรณี $h=6$ mm

รูปที่ 9 แสดงรอยตัดเหล็กและซีซีเชื่อมที่เกาะบริเวณรอยตัดของเจ็ทเพลวไฟที่มีความถี่ 15 Hz และอัตราส่วนสมมูล $\sigma=1.29$ (ความเร็วเดินตัด 180 mm/min)

(ก) กรณี $h=2\text{ mm}$ (ข) กรณี $h=3\text{ mm}$ (ค) กรณี $h=4\text{ mm}$ (ง) กรณี $h=5\text{ mm}$ (จ) กรณี $h=6\text{ mm}$

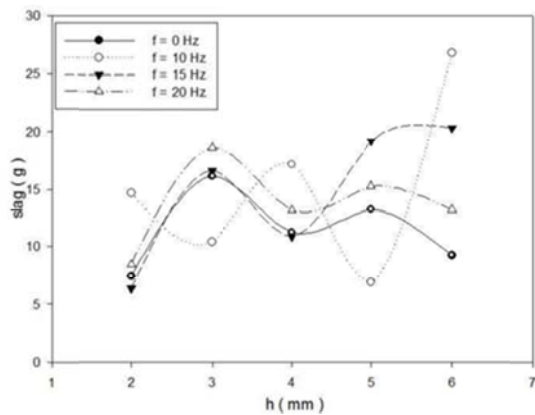
รูปที่ 10 แสดงรอยตัดหลักและซี่เชื่อมที่เกาะบริเวณรอยตัดของเจ็ทเปลวไฟที่มีความถี่ 20 Hz และอัตราส่วนสมมูล $\phi=1.29$ (ความเร็วเดินตัด 180 mm/min)

จากผลการศึกษาพบว่า ส่วนใหญ่เกือบทุกเงื่อนไขการตัดจะมีซี่เชื่อมเกาะติดที่ขอบผิวด้านตรงข้ามกับผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน และบนรอยตัดไม่เรียบสม่ำเสมอเนื่องจากมีแถบของซี่เชื่อมเกาะติดอยู่ ซึ่งยากต่อการปรับแต่งผิวรอยตัด แต่ยกเว้นในกรณีที่อัตราส่วนสมมูล $\phi=1.29$ และการใช้เปลวไฟแบบสันที่มีความถี่ของเจ็ทเปลวไฟ $f=10\text{ Hz}$ ที่ระยะห่างจากปากทางออกของเจ็ทเปลวไฟ $h=2\text{ mm}$ ซึ่งเปลวไฟแบบสันจะช่วยให้อัตราส่วนสมมูลและซี่เชื่อมเกาะติดอยู่น้อยเมื่อเทียบกับเงื่อนไขการตัดอื่น ๆ ซึ่งเงื่อนไขที่ระยะ $h=2\text{ mm}$ เป็นเงื่อนไขที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระยะพุ่งชน h อื่น ๆ ตามที่แสดงในรูปที่ 5 นอกจากนี้การสันของเจ็ทเปลวไฟยังอาจมีผลในการทำให้ปริมาณซี่เชื่อมบนขอบผิวรอยตัดหลุดออกขณะตัด

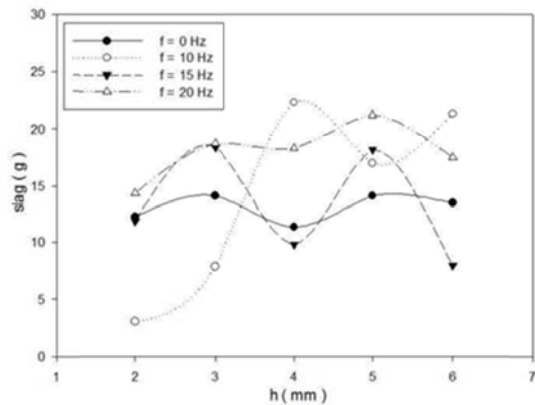
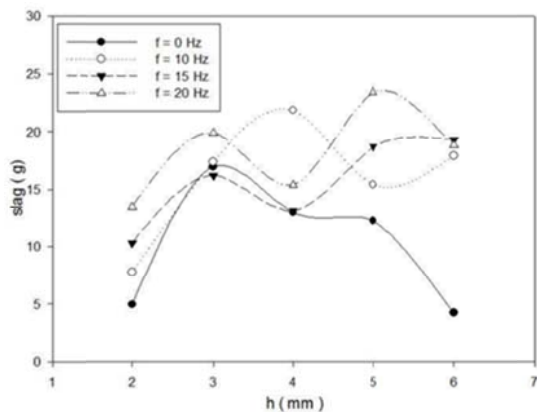
3.3 การศึกษาปริมาณซี่เชื่อมที่ติดอยู่บนรอยตัด

รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักซี่เชื่อมหลังตัดแผ่นเหล็กด้วยเงื่อนไขความถี่การสันของเปลวไฟและระยะพุ่งชนที่เงื่อนไขอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.61, 1.29$ และ 1.07 น้ำหนักของซี่เชื่อมที่แสดงในรูปหาโดยชั่งน้ำหนักของชิ้นงานหลังจากทำการตัดหลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ชั่งน้ำหนักมาเคาะซี่เชื่อมที่เกาะบริเวณรอยตัดออกแล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อดูน้ำหนักของชิ้นงานที่ไม่มีซี่เชื่อมเกาะติดซึ่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้จะเป็นน้ำหนักของซี่เชื่อมที่เกาะบริเวณรอยตัด เนื่องจากอัตราส่วนสมมูลมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวในช่วงให้ความร้อนแก่รอยตัด ดังนั้นจึงมีผลต่อปริมาณซี่เชื่อมที่ติดอยู่บนขอบรอยตัดด้วย

จากรูปที่ 11 พบว่าการใช้เปลวไฟแบบสันตัดแผ่นเหล็กไม่สามารถลดปริมาณซี่เชื่อมที่ติดบนรอยตัดได้ทุกกรณี เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีใช้เจ็ทเปลวไฟแบบต่อเนื่อง แต่ในกรณีที่อัตราส่วนสมมูล $\phi=1.29$ ที่เงื่อนไขระยะพุ่งชน $h=2\text{ mm}$ และความถี่ $f=10\text{ Hz}$ เป็นเงื่อนไขที่ให้อัตราส่วนสมมูลซี่เชื่อมน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการตัดที่เงื่อนไขอื่น ๆ รองลงมาคือกรณีที่อัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.29$ ที่เงื่อนไขระยะพุ่งชน $h=3\text{ mm}$ และความถี่ $f=10\text{ Hz}$ และกรณีที่อัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.61$ ที่เงื่อนไขระยะพุ่งชน $h=5\text{ mm}$ และความถี่ $f=10\text{ Hz}$ ให้ซี่เชื่อมบนรอยตัดน้อยรองลงมา นอกจากนี้ความเร็วในการเดินรอยตัดก็เป็นอีกปัจจัยที่มีต่อความร้อนที่ไหลเข้าสู่รอยตัด ในอนาคตควรจะมีการศึกษาผลของความเร็วในการเดินรอยตัดเพิ่มเติม

(ก) กรณีอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.61$

(ข)

(ข) กรณีอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.29$ (ค) กรณีอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.07$

รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักซีเชื่อมหลังตัดแผ่นเหล็กด้วย
เงื่อนไขระยะพุ่งชนและความถี่การสั่นของเจ็ทเปลวไฟต่าง ๆ

4. สรุปผลการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของความถี่การสั่นของเจ็ทเปลวไฟที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนโดยตรง และคุณภาพของรอยตัด และได้ศึกษาผลของอัตราส่วนสมมูลและระยะพุ่งชนด้วย จากผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) การเพิ่มความถี่การสั่นของเปลวไฟช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนโดยตรงได้ โดยเงื่อนไขที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดคือ กรณีเจ็ทเปลวไฟมีอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.07$ ที่ระยะ $h = 6$ mm ในกรณีที่เจ็ทเปลวไฟมีความถี่ $f = 20$ Hz ซึ่งเป็นกรณีที่มีย่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 30% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเจ็ทเปลวไฟแบบต่อเนื่อง

(2) การใช้เจ็ทเปลวไฟแบบสั่นตัดแผ่นเหล็กไม่สามารถช่วยลดปริมาณซีเชื่อมที่ติดบนรอยตัดได้ทุกเงื่อนไข โดยเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการตัดแผ่นเหล็กที่มีความหนา 12 mm คือกรณีที่อัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.29$ และใช้เปลวไฟแบบสั่นที่มีความถี่ของเจ็ทเปลวไฟ $f = 10$ Hz ที่ระยะห่างจากปากทางออกของเจ็ทเปลวไฟ $h = 2$ mm ซึ่งเปลวไฟแบบสั่นจะช่วยให้รอยตัดมีความสม่ำเสมอมากขึ้นเมื่อเทียบกับการตัดแผ่นเหล็กโดยใช้เปลวไฟแบบต่อเนื่อง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2554 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ขอขอบคุณนาย พงศ์ปณต ขวัญเมือง และนายอิทธิฤทธิ์ นุ่นชูคันธ์ ที่ช่วยในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] J.W. Mohr, J. Seyed-Yagoobi and R.H. Page, "Heat transfer characteristics of a radial jet reattachment flame", J. Heat transfer, Vol. 119, pp. 258-264, 1997.
- [2] Y. Zhang and K.N.C. Bray, "Characterization of impinging jet flame", J. Combustion and flame, Vol. 116, pp. 671-674, 1999.
- [3] T. Foat, K.P. Yap and Y. Zhang, "The visualization and mapping of turbulent premixed impinging flame", J. Combustion and Flame, Vol. 125, pp. 839-851, 2001.
- [4] C.E. Baukal and B. Gebhart, "Surface condition effects on flame impingement heat transfer", J. Exp. Thermal Fluid Sci., Vol. 15, pp. 323-335, 1997.
- [5] C.E. Baukal and B. Gebhart, "Heat transfer from oxygen-enhanced/natural gas flames impinging normal to a plane surface", Exp. Thermal Fluid Sci, Vol. 16, pp. 247-259, 1998.
- [6] D.P. Mishra, "Experimental Studies of LPG-air Premixed Flame Impingement Heat Transfer", Proceedings of International Symposium on Recent Trends in Heat and Mass Transfer, pp. 45-66, 2002.
- [7] S.G. Tuttle, B.W. Webb and M.Q. McQuay, "Convective heat transfer from a partially premixed impinging flame jet. Part I: Time-averaged results", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 48, pp. 1236-1251, 2005.

- [8] J.W. Mohr, J. Seyed-Yagoobi and R.H. Page, "Combustion measurement from an impinging radial reattachment flame", J. Combust. Flame, Vol. 106, pp. 69-80, 1996.
- [9] D.P. Mishra, "Emission Studies of Impinging Premixed Flames", J. Fuel, Vol. 83, pp. 1743-1748, 2004.
- [10] S. Chandar and A. Ray, "Flame impingement heat transfer: A review", Energy conversion and management, Vol. 46, pp. 2803-2837, 2005.
- [11] H.M. Hofmann, D.L. Movileanu, M. Kind and H. Martin, "Influence of a pulsation on heat transfer and flow structure in submerged impinging jets", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 50, pp. 3638-3648, 2007
- [12] P. Xu, B. Yu, S. Qiu, H.J. Poh, A.S. Mujumdar, "Turbulent impinging jet heat transfer enhancement due to intermittent pulsation", International Journal of Thermal Sciences, Vol. 49, pp. 1247-1252, 2010
- [13] M.A. Pakhomov and V.I. Terekhov, "Numerical study of fluid flow and heat transfer characteristics in an intermittent turbulent impinging round jet", International Journal of Thermal Sciences, Vol. 87, pp. 85-93, 2015



นายปฐมพร นระโต สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี และโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ผศ.ดร. ชยุต นันทกุลิต สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี โท เอก สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยโอซาก้า ประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ดร. มกตาร์ แวหะยี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากสาขาเทคโนโลยีเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ปริญญาโท เอก สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งเป็น นักวิจัยหลังปริญญาเอก สาขา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์