อิทธิพลของกระบวนการเจาะรูที่ส่งผลต่อค่าอัตราส่วนการขยายรูในเหล็กกล้า ความแข็งแรงสูงเกรด SP153-590

ปกรณ์ ชุมรุม^{1*} Nobuhiro Koga² และ วารุณี เปรมานนท์¹

บทคัดย่อ

การขึ้นรูปขยายรู (Hole flanging) เป็นกระบวนการหนึ่งที่มักเกิดปัญหาการฉีกขาดจากขอบรูเจาะ งานวิจัย นี้ ทำการศึกษาอิทธิพลของกระบวนการเจาะรูซึ่งประกอบไปด้วยการใช้เลเซอร์ Wire-EDM Water-jet และการใช้ พันซ์ที่มีต่อค่าขีดจำกัดอัตราส่วนการขยายรู ซึ่งแต่ละกระบวนการที่ใช้ในการเจาะรูส่งผลให้เกิดความหยาบผิวของ รูเจาะ ค่า ความแข็งและ โครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุที่แตกต่างกัน ความสามารถในการขึ้นรูปขยายรู (Hole flangeability) ได้จากการทดสอบหาอัตราส่วนของการขยายรู (Hole expansion ratio) จากการทดสอบ Hole expansion test โลหะที่ใช้ ในการทดสอบเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด SP153-590 หนา 1.2 มิลลิเมตร พบว่ากระบวนการ เจาะรูด้วยเลเซอร์และการเจาะรูด้วยพันช์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบริเวณขอบรูเจาะทำให้ค่าความแข็ง เฉพาะบริเวณเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการขึ้นรูปขยายรูลคลง ส่วนกระบวนการเจาะรูด้วย Wire-EDM และ Water-jet ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุ ขอบรูเจาะที่ผิวเรียบ (R_.ต่ำ) ส่งผลให้ก่า ความสามารถในการขึ้นรูปขยายรูสูง

<mark>คำสำคัญ :</mark> เหล็กกล้ำความแข็งแรงสูง (HSS), ขอบตัค, อัตราส่วนการขยายรู, กระบวนการเจาะรู, การขยายรู

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเกรื่องมือและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทค โน โลยีพระจอมเกล้าชนบุรี, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

² Department of Mechanical Engineering, Nippon Institute of Technology, Saitama, Japan

^{*} ผู้ติดต่อ, อีเมล์: pakorn.chu@kmutt.ac.th รับเมื่อ 18 มีนาคม 2559 ตอบรับเมื่อ 19 สิงหาคม 2559

Influence of hole making processes on the hole expansion ratio of high strength steel grade SP153-590

Pakorn Chumrum^{1*}, Nobuhiro Koga² and Varunee Premanond¹

Abstract

Hole flanging is one of a process that tearing is easily occurred on the hole edge. The purpose of this research work is to study the influences of hole making processes including; laser, wire-EDM, water-jet and piercing by punch and die on the limiting hole expansion ratio. The mention processes produced the hole with different characteristics i.e. surface roughness, hardness and microstructure. The hole flangeability was evaluated by limiting hole expansion ratio from hole expansion test. This sheet material used for the experiments was high strength steel grade SP153-590 of 1.2 mm thickness. This results showed that the hole cut by laser and pierced by piercing punch which cause changing in microstructure thus increasing hardness introduced low ability of hole flanging. In this case, the process of hole making by wire-EDM and water-jet which cause no effect to raw material, lower the surface roughness (R_a) as the higher is the limiting for hole expansion ratio.

Keywords: High strength steel (HSS), Cutting edge, Hole expansion ratio, Piercing process, Hole flanging

¹ Department of Tool and Materials Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.

² Department of Mechanical Engineering, Nippon Institute of Technology, Saitama, Japan.

^{*} Corresponding author, E-mail: pakorn.chu@kmutt.ac.th Received 18 March 2015, Accepted 19 August 2016

บทความวิจัย

ความแข็งแรงสูง (HSS) เกรด JIS: SP153-590 ด้วยการ ทดสอบแบบ Hole expansion test จากขอบตัดที่ได้จาก กระบวนการตัดเจาะรูที่แตกต่างกันทั้งจากกระบวนการ ตัดเจาะรูชิ้นงานที่มีความร้อนและ ไม่มีความร้อนเข้ามา เกี่ยวข้องในระหว่างการตัดเจาะรูชิ้นงานซึ่งส่งผล กระทบต่อสมบัติทางกลของวัสดุและ โครงสร้างทาง จุลภาคของวัสดุชิ้นงาน เพื่อมุ่งเน้นสร้างฐานข้อมูลการ ใช้งานให้กับอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เพื่อให้ เกิดประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้ กระบวนการตัดเจาะรูชิ้นงานก่อนนำไปผ่านการขึ้นรูป ขยายรูสำหรับแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

2. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

งานวิจัยนี้ทำการทดลองกับวัสดุแผ่นเหล็กกล้ำความ แข็งแรงสูง JIS : SP153-590 ที่มีความหนา 1.2 มิลลิเมตร โดยทำการเตรียมแผ่นชิ้นงานมาทำการตัด เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาค กว้าง 90 และยาว 90 มิลลิเมตร พร้อมเจาะรูที่กึ่งกลางแผ่นชิ้นงานให้มีขนาค เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ด้วยกระบวนการตัด เจาะรูชิ้นงานที่แตกต่างกัน 4 ชนิด อันได้แก่ 1.การใช้ พันช์ที่มีขนาคเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ทำการ เจาะรูภายใต้เงื่อนไขที่ไม่ส่งผลต่อการเกิดส่วนตัดเฉือน ที่ 2 ขึ้นที่บริเวณขอบตัดโดยอ้างอิงระยะเกลียร์แร้นช์ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน [4] 2.การใช้เลเซอร์ 3.การใช้ Water-jet และ 4.การใช้ Wire-EDM โดย กระบวนการเจาะรูด้วยการใช้เลเซอร์ Water-jet และ Wire-EDM กระทำตามเงื่อนไขของทางบริษัทที่รับ ดำเนินการ ในค้านของสมบัติทางกลของวัสดุแผ่น เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS : SP153-590 พิจารณาได้ จากตารางที่ 1

1. บทนำ

้ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์มี ความตื่นตัวในการนำแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และแผ่นเหล็กกล้ำความแข็งแรงสูงพิเศษ (HSS) (AHSS) เข้ามาใช้ในสายการผลิตโครงสร้างของยาน ยนต์รวมถึงชิ้นส่วนต่างๆของยานยนต์กันอย่าง แพร่หลาย ปัญหาวัสดุในกลุ่มนี้กือนอกจากวัสดุจะมีก่า ความแข็งแรงสูงยังมีค่าความสามารถในการยืดตัวต่ำซึ่ง ้ส่งผลให้งานขึ้นรูปทำได้ยาก โดยงานวิจัยส่วนใหญ่ มุ่งเน้นในเรื่องของการป้องกันปัญหาในเรื่องของการคีค ตัวกลับของเหล็กแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ภายหลังจากการขึ้นรูป [1-3] ในกระบวนการผลิต โครงสร้างและชิ้นส่วนยานยนต์การขึ้นรูปขยายรู (Hole flanging) เป็นกระบวนการหนึ่งที่นำมาใช้สำหรับการ ผลิตชิ้นส่วนต่างๆของยานยนต์ ซึ่งมักจะเกิดปัญหาการ แตกหรือฉีกขาดบริเวณขอบรูในระหว่างการขึ้นรูปขยาย รูหรือการขึ้นรูปขยายรูไม่ได้ตามที่ออกแบบไว้ ปัจจัย หนึ่งที่มีความสำคัญต่อการขึ้นรูปขยายรูซึ่งได้แก่ คุณภาพของขอบตัด โดยมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าการ เลือกใช้ระยะเคลียร์แร้นช์ (Clearance) ในกระบวนการ ตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงที่เหมาะสมสามารถเพิ่ม คุณภาพขอบตัดส่งผลให้การขึ้นรูปขยายรูในเหล็กกล้า ความแข็งแรงสูงเพิ่มขึ้น [4-7] แต่การใช้ระยะเคลียร์ แร้นช์น้อยแม้ว่าจะได้พื้นผิวขอบตัดที่เรียบขึ้นจริงแต่ การสึกหรอของพันช์จะสูงขึ้นตามมา [8] ซึ่งไม่ เหมาะสมกับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม จึงเลือกใช้ ระยะเคลียร์แร้นช์ในช่วง 15 เปอร์เซ็นต์ของความหนา ชิ้นงานมาใช้ในงานทดลอง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาในเรื่องของ ความสามารถในการขึ้นรูปขยายรูสำหรับแผ่นเหล็กกล้า

d₁: ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลังเกิดการแตกจากการ ทดสอบ Hole expansion test [mm] d₀: ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะเริ่มต้น [mm]



รูปที่ 1 แผนภาพการทดสอบ Hole expansion test



รูปที่ 2 พันช์และคายที่ใช้ในการทคลอง

พันช์และคายที่ใช้ในการทคสอบด้วยวิธี Hole expansion test ทำจากวัสคุเหล็กกล้าเครื่องมือเย็นเกรค JIS : SKD11 ผ่านการชุบแข็งให้มีก่ากวามแข็ง 60±1 HRC โดยพันช์มีขนาคเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของแผ่นเหล็กกล้าความ แข็งแรงสูง JIS : SP153-590

Grade	Tensile	Yield	%
	Strength	Strength	Elongation
	[MPa]	[MPa]	
SP153-590	614.3	453.8	26.34

หลังจากทำการเจาะรูกึ่งกลางแผ่นวัสดุที่ใช้ในการ ทคสอบแล้วบริเวณขอบตัดของรูเจาะที่ผ่าน กระบวนการตัดที่แตกต่างกัน 4 ชนิด จะถูกดำเนินการ ตรวจสอบค่าความเรียบผิว ค่าความแข็งและถ่ายภาพ พื้นผิวบริเวณขอบตัดของรูเจาะจากกล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) ที่มีโปรแกรมฟังก์ชั่นวัคระยะจาก ชิ้นงาน และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคก่อนและหลัง ทำการขึ้นรูปด้วยวิธี Hole expansion test จากกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope) จากนั้นจะนำแผ่นเหล็กที่ผ่านการ เจาะรูกิ่งกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม จาก กระบวนการที่แตกต่างกัน 4 ชนิด มาทำการทดสอบ ความสามารถในการขึ้นรูปด้วยวิธี Hole expansion test ตามมาตรฐาน ISO/TS16630 [9] ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยการชี้วัดความสามารถในการขึ้นรูปนั้นพิจารณาจาก ค่า % Hole expansion ratio (% HER) ซึ่งหาได้จาก สมการ

$$\frac{d_1 - d_0}{d_0} \times 100$$
 (1)

จากลักษณะพื้นผิวของรูเจาะที่ได้จากกระบวนการที่ แตกต่างกัน พบว่าการตัดเจาะรูแผ่นชิ้นงานด้วย กระบวนการ Wire-EDM มีความสามารถในการขึ้นรูป สูงที่สุดโดยมีค่า %HER สูงถึง 136.67% รองลงมาได้แก่ ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเจาะรูด้วยกระบวนการ Water-jet การตัดด้วยเลเซอร์และการใช้พันช์ในการเจาะรู ตามลำดับ โดยแนวโน้มก่า % HER ที่ผ่านการตัดเจาะรู ด้วยกระบวนการตัดเลเซอร์และการเจาะรูด้วยพันช์มี แนวโน้มที่แตกต่างกันไม่มากนัก







ร**ูปที่ 5** ค่า % HER ที่ได้จากกระบวนการตัด

บริเวณส่วนหัวพันช์จะมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยทำมุม 60 องศา ส่วนคายมี ขนาคเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร บริเวณปากคายมีรัศมี 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยพันช์และคายถูกใช้งานร่วมกับ เครื่อง Universal Sheet Metal Testing Machine กำหนด เงื่อนใขให้แรงที่ใช้ในการจับยึดแผ่นชิ้นงาน 60 kN ในขณะทำการขึ้นรูปพันช์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 28±1 มิลลิเมตร/นาที และไม่ใช้สารหล่อลื่นในขณะทำ การทดสอบ ภายหลังการทดสอบด้วยวิธี Hole expansion test จะได้ชิ้นงานในลักษณะที่แสดงดังใน รูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างชิ้นงานที่ทคสอบ Hole expansion test

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 3.1 การทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปด้วยวิธี Hole expansion test

ความสามารถในการขึ้นรูปแผ่นเหล็กกล้าความ แข็งแรงสูงที่ผ่านกระบวนการตัดเจาะรูที่แตกต่างกัน สามารถประเมินผลได้จากการทดสอบด้วยวิธี Hole expansion test ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยใช้ค่า % HER เป็นตัวชี้วัดความสามารถในการขึ้นรูปซึ่งหาได้จาก สมการที่ (1) โดยจากกราฟในรูปที่ 5 แสดงค่า % HER

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2559 The Journal of Industrial Technology, Vol. 12, No. 3 September – December 2016



รูปที่ 6 ลักษณะพื้นผิวขอบตัดในแต่ละกระบวนการตัดเจาะรู

รูเจาะจะมีการเกิดเนื้อของพื้นผิวในลักษณะเป็นริ้วคลื่น ตลอดทั้งช่วงความหนาของแผ่นชิ้นงาน ในกรณีพื้นผิว ขอบรูเจาะที่ได้จากกระบวนการตัดด้วย Wire-EDM จะ มีลักษณะพื้นผิวโดยรวมใกล้เคียงกันทั่วทุกบริเวณซึ่ง สังเกตได้จากรูปที่ 6c) ในขณะที่การตัดด้วย Water-jet พื้นผิวบริเวณขอบรูเจาะมีลักษณะของเนื้อวัสดุเกิดการ ใหลตัวจากด้านบนลงสู่ด้านล่างเนื่องจากแรงดันน้ำที่สูง และสารกัดกร่อนดันในขณะทำการตัดเพื่อให้เนื้อของ วัสดุเกิดการฉีกขาดออกจากกันซึ่งปรากฏอย่างชัดเจน ในด้านล่างของขอบรูดังแสดงในรูปที่ 6d)

3.2 ลักษณะของพื้นผิวบริเวณขอบตัดที่ได้จาก กระบวนการตัดเจาะรู

เมื่อพิจารณาพื้นผิวบริเวณขอบรูเจาะที่ผ่าน กระบวนการตัดหรือเจาะรูชิ้นงานที่แตกต่างกัน 4 ชนิด มาทำการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical Micro scope) สามารถสังเกตความแตกต่างของสภาพพื้นผิว บริเวณขอบรูเจาะได้ดังแสดงในรูปที่ 6 กรณีการใช้พันช์ ในการเจาะรู พบว่าขอบรูเจาะที่ได้มีพื้นที่ของส่วนตัด เฉือนที่น้อยกว่าส่วนแตกหักได้ดังแสดงในรูปที่ 6a) เมื่อพิจารณาพื้นผิวขอบรูเจาะที่ได้จากกระบวนการตัด ด้วย เลเซอร์จากรูปที่ 6b) สังเกตได้ว่าพื้นผิวบริเวณขอบ

จากขอบตัดเข้ามา 0.05 มิลลิเมตร พบว่าเนื้อของ ้วัสดุในบริเวณขอบรูที่ได้จากการตัดเจาะรูด้วยเลเซอร์มี ้ค่าความแข็งเฉลี่ยที่สูงมากถึง 414.8 HV ส่วนการเจาะรู ด้วยพันช์เนื้อของวัสดุในบริเวณขอบรูทั้งบริเวณส่วนตัด เฉือนและส่วนแตกหักแนวโน้มของค่าความแข็งเฉลี่ย 322.1 HV ในขณะที่การตัดด้วย Water-jet และ Wire-EDM มีแนวโน้มค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ จนถึงช่วงระยะห่างจากขอบรูเข้ามา нv 200 0.2 มิลลิเมตร เป็นต้นไป สังเกตได้ว่าค่าความแข็งของ ้วัสดุที่ได้จากการตัดแต่ละกระบวนการตัดมีแนวโน้ม ้คงที่ตลอดการตรวจวัดโดยก่ากวามแข็งที่ได้มีก่า ใกล้เคียงกับค่าความแข็งของแผ่นชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่าน กระบวนการตัดใดๆมา ซึ่งมีก่าเฉลี่ยความแข็งอยู่ที่ ประมาณ 215.5 HV



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของความแข็งขอบตัดและ %HER

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งที่ พื้นผิวขอบตัดและค่า % HER โดยแสดงดังในรูปที่ 9 พบว่าแนวโน้มของค่า % HER จะสูงถ้าค่าความแข็ง

3.3 อิทธิพลของค่าความแข็งบริเวณพื้นผิวขอบตัดที่ ส่งผลความสามารถในการขึ้นรูปขยายรู

จากการนำชิ้นงานมาตรวจสอบค่าความแข็งของ พื้นผิวบริเวณขอบรูดังแสดงในรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาค่า ความแข็งในทิศทางตาม แนวแกน X โดยทำการ ตรวจวัดจากขอบตัดของชิ้นงานเข้ามาแสดงดังในรูปที่ 8



รูปที่ 7 ตำแหน่งการวัดค่าความแข็งตามแนวแกน X





โดยกระบวนการตัดเจาะรูที่นำมาใช้ศึกษานั้นสามารถ แบ่งแยกออกได้เป็น 2 ประเภทคือ การตัดเจาะรูที่ไม่มี ความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องอันได้แก่ การตัดเจาะรูด้วย Water-jet และการใช้พันช์กับการตัดเจาะรูที่มีความร้อน เข้ามาเกี่ยวข้องในระหว่างการตัดเจาะรูซึ่งได้แก่ การตัด เจาะรูด้วย Wire-EDM และการตัดด้วยเลเซอร์

เมื่อพิจารณาในเรื่องของโครงสร้างจุลภาคทั่วไป ของแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรค SP153-590 ที่ นำมาใช้ในการทดลองซึ่งเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ประเภท dual phase ที่ประกอบด้วยโครงสร้างมาเทน ไซต์ที่แสดงเป็นส่วนสีขาวลอยอยู่บนพื้นที่มีโครงสร้าง เฟอร์ไรต์ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 11 โครงสร้างจุลภาคบริเวณใกล้ขอบรูที่ผ่านการ ตัดด้วย Wire-EDM ที่ถ่ายจาก SEM

ในกรณีของชิ้นงานที่ตัดเจาะรูด้วย Wire-EDM แม้ว่าจะเป็นกระบวนการตัดที่มีความร้อนจากการกัด เซาะเนื้อ โลหะด้วยการสปาร์คด้วยกระแสไฟฟ้าที่มี ความต่างศักย์สูงระหว่างการตัดเจาะรูชิ้นงานก็ตาม แต่ ในขณะทำการตัดชิ้นงานจะจมอยู่ใต้น้ำตลอดเวลา ความ ร้อนในขณะ ทำการตัดจึงถูกถ่ายเทลงสู่น้ำอย่างรวดเร็ว

บริเวณใกล้ขอบตัดมีค่าที่ต่ำซึ่งสังเกตได้ในกรณีของการ ตัดด้วย Wire-EDM และWater-jet ตามลำดับ ในขณะที่ แนวโน้มของค่า % HER จะต่ำถ้าค่าความแข็งบริเวณ ใกล้ขอบตัดมีค่าสูงซึ่งอยู่ในกลุ่มของการตัดด้วยการใช้ เลเซอร์และการใช้พันช์ โดยค่าความแข็งที่เกิดขึ้นใน บริเวณขอบตัดเป็นผลเนื่องจากกระบวนการที่นำมาใช้ ในการตัดเจาะรูชิ้นงานส่งผลให้พฤติกรรมของ โครงสร้างจุลภาคของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป



ร**ูปที่ 10** โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าความแข็งแรง สูงเกรค SP153-590 ที่ถ่ายจาก SEM



ร**ูปที่ 12** ภาพโครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ผ่านการตัดด้วยเลเซอร์ในบริเวณโซนต่างๆที่ถ่ายจาก SEM

ของชิ้นงานที่ตัดเจาะรูด้วยเลเซอร์ พบว่าการตัดด้วย เลเซอร์ส่งผลให้พฤติกรรมของโครงสร้างจุลภาคบริเวณ ขอบตัดเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยสามารถแบ่งลักษณะ โครงสร้างจุลภาคของวัสดุออกได้เป็น 3 โซนด้วยกันดัง แสดงในรูปที่ 12 โดยในโซนที่ 1 ซึ่งเป็นโซนที่อยู่ใกล้ บริเวณขอบตัดมากที่สุดสามารถสังเกตเห็นการ เปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของวัสดุได้อย่างชัดเจน โดย เมื่อพิจารณาบริเวณโซนที่ 1 พบว่าการใช้เลเซอร์ในการ ตัดเนื้อวัสดุในบริเวณนี้จะได้รับความร้อนอย่างรุนแรง ในขณะที่ลำแสงเลเซอร์วิ่งตัดผ่านความร้อนที่เกิดขึ้นใน ระหว่างการตัดรวมถึงการเย็นตัวที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

ทำให้โครงสร้างจุลภาคบริเวณขอบตัดไม่เกิดการ เปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 11 ค่าความแข็งของ พื้นผิวในบริเวณขอบตัดจึงมีค่าใกล้เกียงกับก่าความแข็ง เฉลี่ยของแผ่นชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการตัดใดๆ ในขณะที่การตัดเจาะรูด้วยเลเซอร์นั้นชิ้นงานจะได้รับ ความร้อนโดยตรงจากพลังงานของโปรตรอนซึ่งต้องมี มากพอที่จะสามารถทำลายพันธะทางเคมีที่อะตอมของ วัสดุยึดจับกันอยู่ความร้อนจากพลังงานในส่วนนี้จะเกิด เป็นความร้อนสะสมในเนื้อวัสดุซึ่งเป็นสาเหตุของการ เกิดผลกระทบจากความร้อน (Heat affected zone ; HAZ) [10] เมื่อพิจารณาภาพถ่ายพื้นผิวบริเวณขอบตัด



รูปที่ 13 โครงสร้างจุลภาคบริเวณขอบรูที่ผ่านการตัด ด้วย Water-jet ที่ถ่ายจาก SEM



รูปที่ 14 โครงสร้างจุลภาคบริเวณขอบรูที่ผ่านการตัด เจาะรูด้วยพันช์ที่ถ่ายจาก Optical Microscope

ในกรณีการตัดเจาะรูที่ไม่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งได้จากการตัดเจาะรูด้วย Water-jet และการใช้พันช์ พบว่าการตัดด้วย Water-jet ไม่ส่งผลให้โครงสร้าง จุลภาคบริเวณขอบตัดเกิดการเปลี่ยนแปลงดังแสดงใน รูปที่ 13 ดังนั้นก่าความแข็งของวัสดุในบริเวณนี้จึงมีก่า ใกล้เกียงกับแผ่นชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการตัด ใดๆมา ในขณะที่การตัดเจาะรูด้วยพันช์นั้นในระหว่าง

ในบริเวณดังกล่าวส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุที่อยู่ในสถานะของแข็ง [11] ซึ่งหมายถึงการที่โครงสร้างมาเทนไซต์ในบริเวณนี้ เกิดการเปลี่ยนแปลงในเรื่องสัคส่วนของโครงสร้าง มาเทนไซต์ (สีขาว) ที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ โครงสร้างเฟอร์ไซต์ (สีดำ) ทำให้มีผลต่อคุณสมบัติของ วัสดุในด้านของความแข็งที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับค่า ความแข็งที่วัดได้จากกราฟที่แสดงไว้ในรูปที่ 8 โดยค่า ความแข็งที่สูงมากในบริเวณนี้มีผลต่อการเริ่มด้นของ การเกิดรอยแตกในขณะที่ทำการขึ้นรูปทำให้ค่า % HER ที่ได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการตัดด้วย Wire-EDM

เมื่อพิจารณาบริเวณโซนที่ 2 ซึ่งเป็นโซนที่อยู่ถัด ออกมาเป็นถำคับที่ 2 จากขอบตัดจะสังเกตได้ว่าผลจาก ความร้อนในระหว่างการตัดด้วยเลเซอร์ยังส่งผลกระทบ ต่อโครงสร้างจุลภาคของวัสดุ แต่เนื่องจากความร้อนที่ ้ได้จากการตัดด้วยเลเซอร์มีการถ่ายเทเข้ามาในบริเวณนี้ ลดลง ดังนั้นสัดส่วนของโครงสร้างมาเทนไซต์ (สีขาว) ในบริเวณนี้จึงมีปริมาณที่ลดลงเมื่อเทียบกับในบริเวณ โซนที่ 1 ส่งผลให้ค่าความแข็งในบริเวณนี้ลดลงเหลือ ประมาณ 290 HV ในขณะที่บริเวณโซนที่ 3 เป็นช่วง ระยะที่ห่างจากขอบตัดเข้ามาประมาณ 0.15 มิลลิเมตร พบว่าโครงสร้างจุลภาคในบริเวณนี้ไม่เกิดการ เปลี่ยนแปลงจากการเกิดผลกระทบจากความร้อน เนื่องจากความร้อนจากการตัดไม่สามารถแพร่เข้าไปถึง ในบริเวณนี้ ดังนั้นก่ากวามแข็งของวัสดุในบริเวณนี้จึง แนวโน้มใกล้เคียงกับค่าความแข็งของแผ่นชิ้นงานที่ ไม่ได้ผ่านกระบวนการตัดใดๆมาที่แสดงไว้ในกราฟ ของรูปที่ 8

รูเจาะสามารถแบ่งค่าความหยาบของพื้นผิวออกได้เป็น 2 ส่วน ซึ่งในบริเวณส่วนตัดเฉือนของขอบตัด (Burnish zone) จะมีค่าความหยาบผิวที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ บริเวณส่วนแตกหัก (Fracture zone) โดยช่วงรอยต่อ ระหว่างส่วนตัดเฉือนกับส่วนแตกหักมีความไวต่อการ ก่อให้เกิดการเกิดรอยแตกในขณะทำการขึ้นรูป [7] ดัง แสดงในรูปที่ 16 จากเหตุผลดังกล่าวค่าความหยาบผิว บริเวณส่วนแตกหักจึงถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนในการ วิเคราะห์อิทธิพลของค่าความหยาบผิวที่มีต่อ % HER



รูปที่ 16 การเกิดรอยแตกหรือฉีดขาดบริเวณส่วน แตกหักของรูเจาะที่ผ่านกระบวนการเจาะรูด้วยพันช์

ในกรณีค่าความหยาบผิวของพื้นผิวที่ได้จากการตัด เจาะรูชิ้นงานด้วยเลเซอร์และ Wire-EDM มีแนวโน้ม ของก่าความความหยาบพื้นผิวที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่าที่ น้อยกว่าก่าความหยาบผิวบริเวณส่วนแตกหักของรูเจาะ ที่ได้จากการเจาะรูด้วยพันช์ ส่วนในกรณีการตัดเจาะรู ด้วย Water-jet ให้ก่าความหยาบของพื้นผิวบริเวณขอบ รูเจาะมากที่สุด

การตัดพื้นที่บริเวณรอบขอบตัดจะเกิดการเปลี่ยนรูป ถาวรดังแสดงในรูปที่ 14 ส่งผลให้ความต้านแรงในการ เปลี่ยนรูปเพิ่มสูงขึ้นซึ่งส่งผลต่อก่าความแข็งของวัสดุใน บริเวณนี้เพิ่มมากขึ้นรวมถึงผลกระทบจากพื้นผิวใน บริเวณส่วนแตกหักของขอบคัดที่มีผลต่อการส่งเสริมก่า ความเก้นที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของส่วนแตกหักซึ่งมี อิทธิพลโดยตรงต่อก่า %HER [8] ที่ลดลงเมื่อ เปรียบเทียบกับการตัดเจาะรูด้วย Water-jet

3.4 อิทธิพลของค่าความหยาบผิวบริเวณพื้นผิวของ รูเจาะที่ส่งผลต่อความสามารถในการขึ้นรูปขยายรู



ร**ูปที่ 15** ค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ย (R₁) บริเวณขอบตัด ของแต่ละกระบวนการตัดเจาะรู

จากการตรวจสอบพื้นผิวบริเวณขอบรูเจาะด้วยการ วัดค่าความหยาบของพื้นผิวเฉลี่ย (R₁) โดยแสดงใน รูปที่ 15 การใช้พันช์ทำการเจาะรูชิ้นงานพื้นผิวบริเวณ บทความวิจัย

จากกราฟกวามสัมพันธ์ระหว่างก่ากวามหยาบผิว เฉลี่ย (R) บริเวณรูเจาะกับก่า % HER ดังแสดงใน รูปที่ 17 พบว่าไม่มีแนวโน้มกวามสัมพันธ์ระหว่างก่า กวามหยาบผิวเฉลี่ย (R) บริเวณรูเจาะกับก่า % HER ที่ ชัดเจน โดยการตัดเจาะรูชิ้นงานด้วย Wire-EDM และ เลเซอร์ให้ก่ากวามหยาบของพื้นผิวบริเวณรูเจาะที่ ใกล้เกียงกันซึ่งมีก่ากวามหยาบผิวที่ต่ำ แต่การตัดเจาะรู ชิ้นงานด้วย Wire-EDM ให้ก่า % HER ที่สูงกว่าตัดเจาะ รูชิ้นงานด้วยเลเซอร์ ส่วนการตัดเจาะรูชิ้นงานด้วย Water-jet ซึ่งให้ก่ากวามหยาบผิวบริเวณรูเจาะมากที่ สุดแต่กลับให้ก่า % HER สูงกว่าการเจาะรูชิ้นงานด้วย พันช์และการตัดด้วยเลเซอร์



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (R ٍ) บริเวณขอบตัดและค่า %HER

เมื่อพิจารณาความหยาบผิวในกรณีที่ไม่มีอิทธิพล จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเข้ามาเกี่ยวข้อง คือ กรณีการเจาะรูด้วย Wire-EDM และ Water-jet พบว่ารูเจาะที่มีผิวเรียบ (Rุต่ำ) ให้ค่า % HER ที่สูงกว่า กรณีที่รูเจาะมีผิวหยาบ

4. สรุปผล

กระบวนการเจาะรูด้วยเลเซอร์และการเจาะรูด้วย พันช์มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุ ในบริเวณขอบรูเจาะที่ส่งผลให้ก่าความแข็งในบริเวณ ขอบรูเจาะเพิ่มมากขึ้นมีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อก่า % HER โดยก่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ก่า % HER มี แนวโน้มที่ลดลง ส่วนในกรณีของกระบวนการเจาะรู ด้วย Wire-EDM และ Water-jet ซึ่งไม่ส่งผลต่อการ เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุในบริเวณขอบรูเจาะ ดังนั้นการเจาะรูที่ทำให้ผิวบริเวณตรงขอบรูเจาะมีความ เรียบ (R_gต่ำ) ส่งผลให้ก่า % HER มีแนวโน้มที่สูงขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณการใด้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย โครงการปริญญา เอกกาญจนาภิเษก (คปก.)(สัญญาเลขที่ PHD/0078/2552) รวมถึงบริษัทไทยซัมมิท ออโด้พาร์ท อินดัสตรี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุเหล็กกล้า ความแข็งแรงสูงและความร่วมมือในระหว่างการดำเนิน งานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- P. Chen and K. Muammer, "Simulation of spring back variation in forming of advanced high strength steels", Journal of Materials Processing Technology 190(1–3), 2007, pp. 189–198.
- [2] F. Ozturk, S. Toros and S. Kilic, "Tensile and spring-back behavior of DP600 advanced high strength steel at warm temperatures" Journal of Iron and Steel Research International 16(6), 2009, pp. 41–46.

- [3] S.W Lee and D.Y Yang, "An assessment of numerical parameters influencing spring back in explicit finite element analysis of sheet metal forming process", Journal of Materials Processing Technology 80–81, 1998, pp. 60–67.
- [4] K. Mori, Y. Abe and Y. Suzui, "Improvement of stretch flangeability of ultra high strength steel sheet by smoothing of sheared edge", Journal of Materials Processing Technology 210, 2010, pp. 653-659.
- [5] T. Sirinakorn, V. Uthaisangsuk and S. Srimanosaowapak, "Effect of the tempering on mechanical properties of dual phase steels", Journal of Metal, Materials and Minerals 24(1), 2014, pp. 13–20. (in Thai)
- [6] D.J. Thomas, "Effect of Mechanical Cut-Edges on the Fatigue and Formability Performance of Advanced High- Strength Steels", Journal of Failure Analysis and Prevention 12, 2012, pp. 518-531.
- [7] D.J. Thomas, "Understanding the Effects of Mechanical and Laser Cut-Edges to Prevent Formability Ruptures During Automotive Manufacturing", Journal of Failure Analysis and Prevention 13, 2013, pp. 451-462.

- [8] P. Chumrum, N. Koga and V. Premanond, "Experimental investigation of energy and punch wear in piercing of advanced high-strength steel sheet", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 79, 2015, pp. 1035-1042.
- [9] ISO/TS16630, "Metallic materials-Method of hole expanding test" Technical Specification, 2003, pp. 1-6.
- [10] V. Tangwarodomnukun, "Laser micromachining processes to reduce the size of the HAZ"
 [Online], Available: http://viboon.org/2010/10/31/
 Laser micromachining processes to reduce the size of the HAZ, 2010 (in Thai)
- [11] S.O. Al-Mashikhi, J. Powell, A. Kaplan and K.T. Voisey, "Heat affected zones and oxidation marks in fiber laser–oxygen cutting of mild steel", Journal of Laser Applications 23(4), 2011, pp. 042003-1-042003-7.