

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อลักษณะและคุณภาพขอบตัด เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304

Study of Shearing Temperature on Characterization and Quality of Sheared Edge of SUS304 Austenitic Steel

ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ^{1*} และพงศกร หลีตระกูล¹

Natthasak Pornputsiri^{1*} and Pongsakorn Leetrakul¹

Received: November 17, 2021; Revised: February 25, 2022; Accepted: March 3, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบลักษณะและคุณภาพของขอบตัดแผ่นเปล่าโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 ขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร ที่ได้จากการตัดเฉือนที่อุณหภูมิแบบอุ่นโดยกระบวนการทดสอบการตัดเฉือน จะดำเนินการด้วยชุดแม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่าลักษณะเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และกำหนด ระยะช่องว่างคมตัดของแม่พิมพ์ที่ร้อยละ 8 ของความหนาโลหะแผ่น โดยก่อนการป้อนตัดจะอบให้ความร้อนแผ่นชิ้นงาน ภายในเตาอบไฟฟ้าที่ 4 ระดับอุณหภูมิคือ อุณหภูมิห้อง 200 400 และ 600 °C การตรวจสอบลักษณะและคุณภาพ ขอบตัดของชิ้นงานสำเร็จจะพิจารณาจากค่าความสูงส่วนต่าง ๆ บนขอบตัดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ และกล้องจุลทรรศน์แบบแสง ส่วนเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์จะถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบค่าความแข็ง ระดับจุลภาคบริเวณขอบตัดของชิ้นทดสอบเพื่อประเมินผลด้านความเครียดแข็งหลังการตัดเฉือน จากผลการทดลอง พบว่าการตัดเฉือนโลหะแผ่นที่อุณหภูมิห้องจะส่งผลให้ขอบตัดมีส่วนรอยแตกเกิดขึ้นสูงและส่วนรอยแตกจะมีแนวโน้ม ลดลงเมื่อโลหะแผ่นมีอุณหภูมิการตัดเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกันส่วนโค้งมน ส่วนเรียบตรง และส่วนของการเกิดครีบกจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิการตัดเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับผลการทดสอบ ความแข็งที่บริเวณขอบตัดเนื่องจากวัสดุมีค่าดัชนีความเครียดแข็งลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จากผลการวิจัยนี้ จึงสามารถนำข้อมูลผลการทดลองไปประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดเงื่อนไขเกี่ยวกับอุณหภูมิการตัดเฉือนที่เหมาะสม ในการป้อนตัดโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของโลหะแผ่นขณะตัดเฉือน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานสำเร็จ

คำสำคัญ : แม่พิมพ์ตัด; อุณหภูมิการตัดเฉือน; โลหะแผ่น; คุณภาพขอบตัด; เหล็กกล้าไร้สนิม

¹ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

¹ Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

* Corresponding Author, Tel. 08 6667 6802, E - mail: natthasak.por@rmutr.ac.th

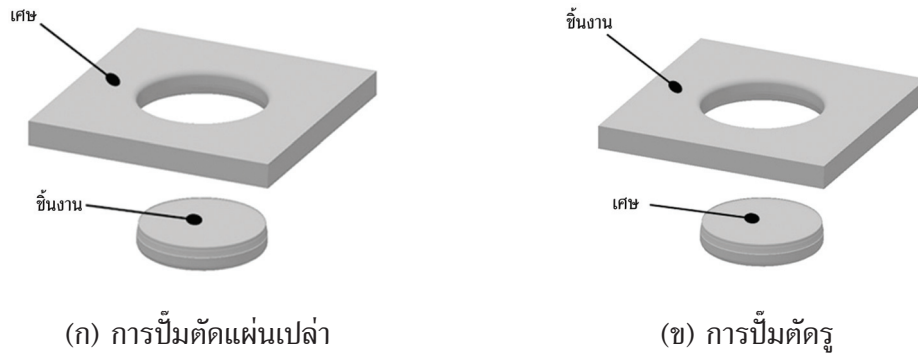
Abstract

This research aims to investigate the characteristics and quality of the cutting edge of SUS304 stainless steel sheet with 1 mm thickness by hot shearing process. The shearing test was carried out with a circular blanking die with a diameter of 20 mm and the cutting clearance set at 8 percent of the sheet metal thickness. On the pre-blanking, the sheet metal was heated in an electric furnace at 4 temperature levels, consisting of room temperature, 200, 400, and 600 °C. The verification of the characteristics and cutting edge quality of finished blank was determined by region height values on the cutting edge using an optical macroscope, optical microscope and scanning electron microscope. A Vickers hardness tester was used to investigate the micro-hardness of the specimen cutting edge to assess the strain hardening after shearing. The results showed that sheet metal sheared at room temperature had the highest fracture region on the cutting edge and a tendency to deteriorate when the sheet metal temperature increased. At the same time, roll over regions, shear surface regions and burrs tended to increase with an increase in the shearing temperature which was in relation to the hardness test results at the cutting edge. This is because the strain hardening index decreases with increasing temperature. Based on the findings, this experimental data can be applied to determine the optimum shearing temperature conditions for stainless steel sheet metal blanking which is determined by the relationship between the sheet metal temperature which directly affects the finished cutting edge quality.

Keywords: Blanking Die; Shearing Temperature; Sheet Metal; Cutting Edge Quality; Stainless Steel

บทนำ

แม่พิมพ์ตัด (Blanking Die) คือเครื่องมือพื้นฐานของงานอุตสาหกรรมโลหะแผ่น เป็นกระบวนการตัดแบบเหลือเศษจากคมตัดของแท่งพunch (Punch) และตาย (Die) โดยจะนำแผ่นเปล่า (Blank) ที่ได้จากการตัดไปใช้งานหรือในกระบวนการผลิตลำดับต่อไป [1] - [2] กระบวนการตัดที่ดีจะได้แผ่นเปล่าที่มีคุณภาพหรือมีขนาดที่เที่ยงตรงเพื่อส่งผลให้มีความสะดวกและง่ายต่อการผลิต โดยส่วนใหญ่แม่พิมพ์ตัดจะใช้ในการผลิตชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนมาก ๆ เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการผลิต จึงจำเป็นต้องออกแบบแม่พิมพ์ตัดที่มีคุณภาพเพื่อให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานที่สุด ทั้งนี้การตัดเฉือนโลหะแผ่นบนแม่พิมพ์ตัดซึ่งเกิดจากการตัดเฉือนของคมตัดพunchและตายจะแบ่งงานออกเป็น 2 ลักษณะคือ การตัดแผ่นเปล่า (Blanking) และการตัดเจาะ (Piercing) ซึ่งมีความแตกต่างกันคือ การตัดแผ่นเปล่าจะเอาแผ่นโลหะที่หลุดออกไปใช้งานดังรูปที่ 1(ก) ซึ่งในการออกแบบแม่พิมพ์จะกำหนดให้ขนาดความโตของพunchมีขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นชิ้นงาน ส่วนการตัดเจาะจะเอารูเจาะที่เกิดจากการป้อนตัดไปใช้งานดังรูปที่ 1(ข) ในการออกแบบแม่พิมพ์จะกำหนดให้ขนาดความโตของรูตายมีขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะที่ต้องการ โดยในบทความวิจัยนี้จะเน้นที่กระบวนการตัดแผ่นเปล่าและปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม ด้วยปัจจุบันเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 ได้ถูกนำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุตสาหกรรมการผลิตภาชนะเครื่องครัว เป็นต้น เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นวัสดุที่มีพื้นผิวสวยงาม ทนทานต่อการกัดกร่อนและไม่เป็นสนิม ทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน [3] - [4]



รูปที่ 1 การป้อนตัดโลหะแผ่น

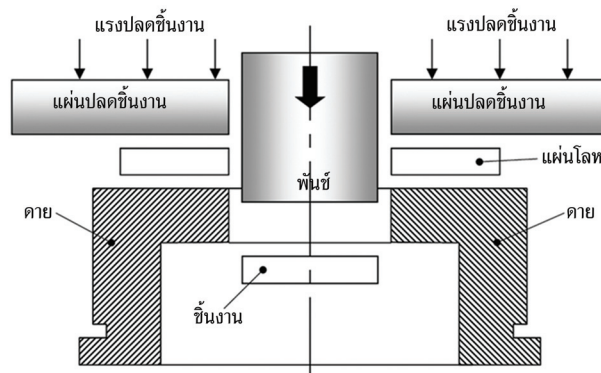
การป้อนตัดเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่มีลักษณะที่โดดเด่นคือ สามารถผลิตชิ้นงานในลักษณะของการตัดแผ่นเปล่าหรืองานตัดเจาะรู ในปริมาณการผลิตปานกลางถึงสูงด้วยต้นทุนที่ต่ำและประหยัดเวลาในการผลิต [5] การประเมินคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากการป้อนตัด โดยทั่วไปจะพิจารณาจากขนาดความบิดขนาดการโก่งตัว และลักษณะขอบตัดของแผ่นชิ้นงาน ในการผลิตแผ่นเปล่าโลหะแผ่นเพื่อนำไปใช้งานหรือเพื่อการขึ้นรูปในขั้นตอนต่อไปจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดที่ถูกต้องเที่ยงตรงและมีลักษณะของขอบตัดที่มีส่วนเรียบตรงสูง ซึ่งสามารถควบคุมได้ด้วยการกำหนดค่าระยะห่างช่องว่างคมตัด (Clearance) การเลือกใช้วัสดุในการทำแม่พิมพ์ การออกแบบลักษณะคมตัด การควบคุมอัตราการสึกหรอของพินซ์และคายที่เหมาะสมรวมถึงการเลือกใช้วัสดุชิ้นงาน [6] ซึ่งคุณสมบัติทางกลของโลหะแผ่นที่ต้องการนำมาป้อนตัดขึ้นรูป เช่น คุณสมบัติด้านความแข็ง ความสามารถในการยืดตัว (ความเหนียว) รวมไปถึงค่าความแข็งของวัสดุ จะถูกนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบแม่พิมพ์เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพตามต้องการและควบคุมอัตราการสึกหรอของแม่พิมพ์ให้สอดคล้องกับปริมาณการผลิต

โดยทั่วไปในการขึ้นรูปโลหะแผ่นและการทดสอบคุณสมบัติทางกลจะดำเนินการที่อุณหภูมิปกติหรืออุณหภูมิห้อง ซึ่งมักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพชิ้นงานและการสึกหรอของแม่พิมพ์ เนื่องจากการขึ้นรูปหรือการตัดแผ่นเปล่าเหล็กกล้าที่อุณหภูมิปกติมักจะส่งผลให้มีสัดส่วนของรอยแตกร้าวบริเวณขอบตัดและแม่พิมพ์มีอัตราการสึกหรอสูง ซึ่งเป็นปัญหาและข้อจำกัดต่อการขึ้นรูปในกระบวนการถัดไป โดยเฉพาะการผลิตชิ้นงานที่ต้องการคุณภาพขอบตัดสูง ซึ่งแนวทางโดยทั่วไปจะใช้วิธีการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีระยะคมตัดแคบลงแต่วิธีดังกล่าวจะส่งผลให้ต้องใช้แรงเพื่อการป้อนตัดสูงและอัตราการสึกหรอของพินซ์และคายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์สั้นลงและส่งผลต่อต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการป้อนตัดที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องจึงเป็นแนวทางในการลดปัญหาดังกล่าว ทั้งนี้โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกลของโลหะแผ่นเปลี่ยนแปลงไป [7] โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ลักษณะโครงสร้างจุลภาค และองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามในช่วงอุณหภูมิห้อง (25 °C) - 600 °C เป็นช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ของวัสดุในกลุ่มเหล็กกล้า การขึ้นรูปในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวจึงไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานสำเร็จหลังการขึ้นรูป [8]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของอุณหภูมิของโลหะแผ่นที่จะส่งผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของขอบตัดชิ้นงานและให้ข้อเสนอแนะที่เหมาะสมเกี่ยวกับข้อกำหนดในการออกแบบแม่พิมพ์และเงื่อนไขของกระบวนการตัดแผ่นเปล่าโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม ในการทดสอบจะดำเนินการป้อนตัดโลหะแผ่นโดยใช้แม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่าและตรวจสอบผลกระทบของอุณหภูมิขึ้นทดสอบขณะตัดเฉือนที่ส่งผลต่อ ขนาดแรงตัด คุณภาพขอบตัดชิ้นงานสำเร็จ และดัชนีค่าความเครียดเชิงของขอบตัดชิ้นงาน เพื่อวิเคราะห์ผลเชิงลึกเกี่ยวกับผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อคุณภาพของขอบตัดชิ้นงานสำเร็จเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304

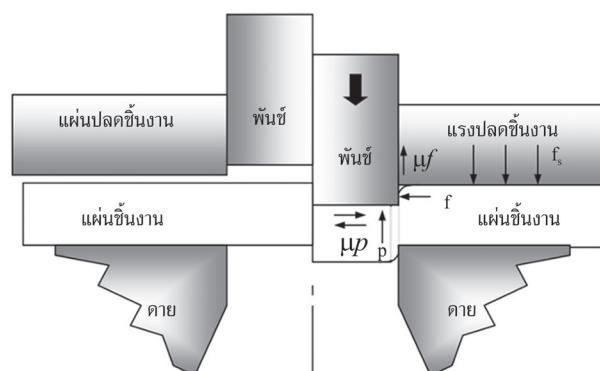
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กลไกในการตัด (Blanking Mechanism) [9] คือกระบวนการตัดเฉือนซึ่งมีการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น การเปลี่ยนรูปถาวรและการฉีกขาดของวัสดุชิ้นงานอยู่ภายในกระบวนการ ในการตัดโลหะออกจากกัน จะดำเนินการโดยใช้คมตัดของพunchและคายกดลงบนเนื้อโลหะจนเลยจุดความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Strength) ซึ่งจะทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกันดังรูปที่ 2 โดยขั้นตอนในการป้อนตัด (Blanking Process) จะประกอบด้วย ขั้นตอนแรกพunchเลื่อนลงมาสัมผัสกับเนื้อวัสดุชิ้นงานโดยจะมีแรงกดจากแผ่นป้อนชิ้นงาน กดแผ่นงานที่ระดับหนึ่ง ในช่วงนี้วัสดุชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่น (Elastic Deformation) มีการตัดตัวและพาเนื้อโลหะเข้าไปในช่องว่างของคายและเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation) เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น จากนั้นวัสดุชิ้นงานถูกตัดเฉือนและเกิดการแตก เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนนี้ผิวหน้าของพunchจะจมลงไปในรูคายอยู่เล็กน้อย เมื่อพunchเคลื่อนที่ลงอย่างต่อเนื่องจะดันให้ชิ้นงานทะลุลงไปในช่องว่างของคาย หลังจากสิ้นสุดการตัดแล้ววัสดุบริเวณรูจะเกิดการดีดตัวกลับมายังพunch เช่นเดียวกับด้านนอกของแผ่นเปล่าจะมีการดีดตัวกลับมายังผิวภายในของคาย เนื่องจากความเค้นแบบยืดหยุ่นในแนวเส้นสัมผัสและแนวรัศมีที่เหลือค้างในเนื้อวัสดุ ทำให้เกิดความเสียหายระหว่างพunchกับพนักฐานจะเพิ่มมากขึ้นในขณะที่พunchถอยกลับ



รูปที่ 2 การป้อนตัดแผ่นเปล่าชิ้นงานโลหะแผ่นด้วยพunchและคาย [9]

แรงที่กระทำต่อพunchและคาย [10] เมื่อพunchและคายของแม่พิมพ์ตัดกินเข้าไปในเนื้อชิ้นงานจะเกิดแรงกระทำต่อพunchและคายขึ้น ถ้าพิจารณาแรงที่กระทำต่อพunchจะประกอบด้วยแรงที่ชิ้นงานกระทำต่อด้านล่างของพunch (p) แรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานกับพunchที่กระทำต่อด้านหน้าของพunch (μp) โดยมีทิศทางเข้าหรือออกจากศูนย์กลางพunch ขึ้นอยู่กับการไหลตัวของเนื้อวัสดุ แรงที่ชิ้นงานกระทำต่อด้านข้างของพunch (f) แรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานกับพunchที่กระทำต่อด้านข้างของพunch (μf) และแรงป้อนชิ้นงาน (f_s) สามารถเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะแรงกระทำต่อพunchและคาย [10]

เมื่อรวมแรงทั้งหมดที่กระทำต่อด้านล่างของฟันซี่เข้าด้วยกัน หมายถึงแรงเพื่อการตัดชิ้นงาน (Blanking Force, FB) ซึ่งจะแสดงดังสมการที่ (1) คือ

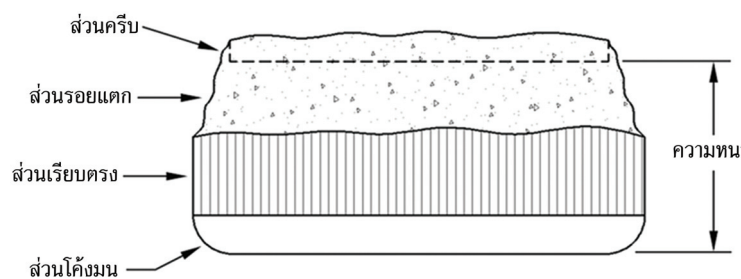
$$F_B = p + \mu f \quad (1)$$

ในทำนองเดียวกันถ้ารวมแรงทั้งหมดที่กระทำต่อด้านข้างของฟันซี่ (Side Force, F) ซึ่งแสดงดังสมการที่ (2) คือ

$$F = f + \mu p \quad (2)$$

ส่วนแรงที่กระทำต่อคายก็สามารถวิเคราะห์ได้ในทำนองเดียวกันนั้นคือ จะประกอบไปด้วยแรงสองชนิดใหญ่ ๆ คือ แรงตัดและแรงที่กระทำต่อด้านข้างของคาย

ลักษณะรอยขอบตัด (Cutting Edge Characteristic) [11] โดยทั่วไปลักษณะของขอบตัดของโลหะแผ่นที่เกิดจากการป้อนตัดจะประกอบไปด้วย 4 ส่วนคือ ส่วนโค้งมน (Rollover) ส่วนเรียบตรง (Burnish) ส่วนรอยแตกหรือการฉีกขาด (Fracture) และส่วนการเกิดเสี้ยนหรือครีบลโลหะ (Burr) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะส่วนประกอบของขอบตัดแผ่นเปล่า (Blank) ชิ้นงานโลหะแผ่น [11]

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าความสูงของส่วนต่าง ๆ บนขอบตัดคือ การกำหนดระยะช่องว่างคมตัดของฟันซี่และคาย ซึ่งหากมีการกำหนดระยะช่องว่างที่เหมาะสม จะทำให้ได้ขอบของชิ้นงานที่ผ่านการตัด มีคุณภาพ และได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานตามต้องการ รอยร้าวที่เริ่มต้นจากฟันซี่และคายจะพบกันพอดี ดังนั้นจึงไม่เกิดรอยตัดที่สอง ช่องว่างแม่พิมพ์มีผลต่อขนาดความถูกต้องของชิ้นงานและอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ช่องว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมทำให้ได้แรงตัดที่ต่ำ ซึ่งหากว่าช่องว่างแม่พิมพ์มีค่าน้อยทำให้ได้แรงตัดที่สูง ส่งผลให้อายุของแม่พิมพ์ลดลงและยากต่อการสร้างแม่พิมพ์นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ต้องพิจารณาเพื่อกำหนดระยะช่องว่างคมตัดของแม่พิมพ์ให้เหมาะสมด้วย เช่น ชนิดของวัสดุงาน (ความแข็ง) และขนาดความหนาของชิ้นงานอีกด้วย ซึ่งในกรณีการกำหนดระยะช่องว่างคมตัดได้พอดีหรือเหมาะสม (Optimum Cutting Clearance) จะได้ชิ้นงานที่มีความสูงส่วนเรียบตรงประมาณ 1/3 เท่าของความหนาของวัสดุ หากกำหนดระยะช่องว่างคมตัดไว้มากเกินไป (Excessive Cutting Clearance) จะส่งผลให้ส่วนโค้งมนมีขนาดใหญ่ ส่วนเรียบตรงจะแคบและไม่ราบเรียบสม่ำเสมอและส่วนรอยแตกหรือรอยฉีกขาดจะกว้างขึ้น เนื่องจากรอยแตกกว้างอาจแผ่ขยายมาถึงส่วนเรียบตรง และยังส่งผลทำให้ค่าความสูงของการเกิดเสี้ยนหรือครีบลโลหะ (Burr) เพิ่มขึ้น กรณีที่กำหนดระยะช่องว่างคมตัดไว้น้อยเกินไป (Insufficient Cutting Clearance) จะส่งผลให้ลักษณะของส่วนเรียบตรง (Burnish) มีความสูงมากขึ้นเนื่องจากรอยแตกจะเกิดขึ้นช้าลง ทั้งนี้ส่วนเรียบตรงอาจมีความสูงที่ไม่สม่ำเสมอหรือเกิดขึ้นมากกว่า 2 แห่ง ส่วนค่าความสูงของส่วนโค้งมนและครีบลจะมีขนาดน้อยลง และ

ในกรณีที่ตำแหน่งพินซ์และคายเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric Cutting Clearance) อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ ทั้งจากเครื่องจักร การประกอบแม่พิมพ์ การจัดสร้างแม่พิมพ์ รวมไปถึงการติดตั้งแม่พิมพ์กับเครื่องปั๊ม ซึ่งจะส่งผลทำให้พินซ์และคายได้รับแรงกระทำไม่เท่ากันทุกจุด จึงมักส่งผลทำให้อายุการใช้งานของพินซ์และคายสั้นลง

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. วัสดุการทดลอง

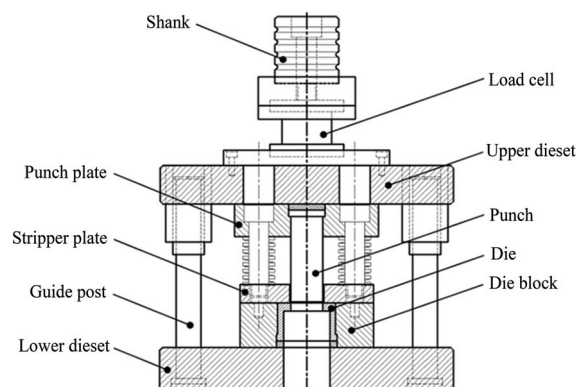
ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อคุณภาพขอบตัดแผ่นเปล่าชิ้นงานโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 (20Cr-10Ni) ขนาดความหนา 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งรายละเอียดคุณสมบัติทางกลของวัสดุจากการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน DIN EN 10002-1 ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงเอนกประสงค์รุ่น Zwick /2020 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304

	YS(MPa)	UTS (MPa)	E (GPa)	TE (%)
SUS304	210.79	520.87	173.47	24

2. แม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่าและข้อกำหนดการทดลอง

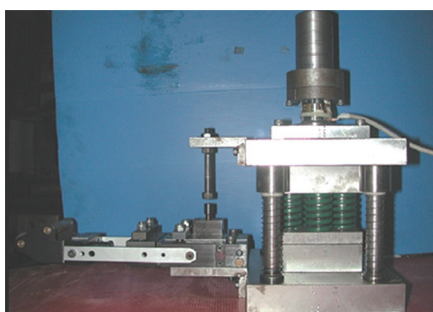
สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบแม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่า (Blanking Die) เพื่อการปั๊มตัดชิ้นงานสำเร็จรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร โดยจะติดตั้งแม่พิมพ์ตัดบนเครื่องปั๊มโลหะชนิดเพลาข้อเหวี่ยง (Crank Press) ขนาด 50 kN ซึ่งรายละเอียดและส่วนประกอบของแม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่าที่ใช้ในการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่า (Blanking Die)

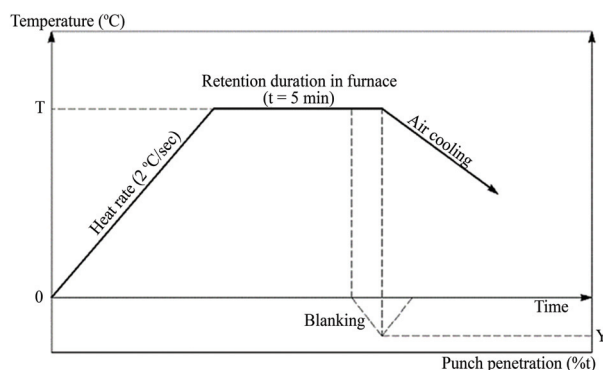
กำหนดให้พินซ์และคายจะทำจากวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น SKD 11 และทำการชุบแข็งที่ความแข็ง 65 ± 2 HRC ส่วนแผ่นกดชิ้นงาน (Blank Holder) จะถูกกดยึดด้วยสปริง SWG20-40 กำหนดระยะช่องว่างคมตัดของแม่พิมพ์ (Clearance) ที่ร้อยละ 8 ของความหนาโลหะแผ่น (8%t) โดยจะออกแบบให้คายมีขนาดความโตคงที่และพินซ์มีขนาดเล็กกว่าเพื่อให้ได้ระยะช่องว่างคมตัดตามที่กำหนด ซึ่งแม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่าที่ใช้ในการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 6 ในการทดสอบการปั๊มตัดจะทำการยึดชุดคายเข้าที่ด้านบนและด้านล่างกับแผ่นยึดแม่พิมพ์ของเครื่องปั๊มโลหะ ดังนั้นเมื่อแรม (Ram) ของเครื่องปั๊มโลหะเคลื่อนที่ลงจะเกิด

แรงกระทำที่แม่พิมพ์ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ แรงที่ส่งถ่ายไปยังพื้นที่เพื่อการบีบอัดชิ้นงานและแรงที่ส่งถ่ายไปยังสปริงเพื่อกดและปลดแผ่นโลหะขึ้นทดสอบที่ผ่านการอบให้ความร้อนภายในเตาอบไฟฟ้าซึ่งจะติดตั้งไว้ในพื้นที่เดียวกับเครื่องปั๊มโลหะ โดยจะทำการควบคุมอุณหภูมิให้เที่ยงตรงและคงที่ตลอดการทดลองด้วยระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Proportional Integral Derivative Control; PID) โดยจะกำหนดอุณหภูมิการอบให้ความร้อนแผ่นชิ้นงานที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องแต่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ของโลหะแผ่นเนื่องจากระดับอุณหภูมิดังกล่าวจะไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงหลังการเย็นตัวของโลหะแผ่น โดยกำหนดช่วงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันประมาณ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ เพื่อเปรียบเทียบกับผลการตัดเฉือนที่อุณหภูมิห้อง ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) โดยชิ้นงานจะถูกอบให้ความร้อนภายในเตาอบไฟฟ้าตามอุณหภูมิเป้าหมายด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{วินาที}$ และค้างชิ้นงานไว้ภายในเตาเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจะนำออกจากเตาอบเพื่อทำการบีบอัดชิ้นงานและปล่อยให้เย็นตัวในอากาศตามรายละเอียดดังรูปที่ 7 ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้จะออกแบบให้แม่พิมพ์มีระยะช่องว่างคมตัดคงที่เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแผ่นชิ้นงานเป็นหลัก ซึ่งรายละเอียดในการออกแบบการทดลองและเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจะแสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 6 ลักษณะของแม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่า (Blanking Die) ที่ใช้ในการทดลอง

ขณะบีบอัดชิ้นงานและภายหลังการบีบอัดจะทำการตรวจสอบและบันทึกผลเพื่อการวิเคราะห์ผลการทดลองจากขนาดแรงตัด ค่าความสูงส่วนต่าง ๆ ของขอบตัด และค่าความแข็งแรงของขอบตัดขึ้นงานสำเร็จโดยใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย ชุดวัดแรง (Load Cell) กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ (OM) กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (LOM) และเครื่องทดสอบความแข็งแบบจุลภาค (Micro-Hardness Testing) โดยจะทำการบีบอัดชิ้นงานจำนวน 30 ชิ้นต่อข้อกำหนดหรือเงื่อนไขการทดลอง โดยสมมติฐานการทดสอบได้กำหนดค่าความเชื่อมั่นของข้อมูลที่ 95 % และมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลไม่เกิน 5 % ด้วยการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบสมมติฐานงานวิจัยโดยการทดสอบทางสถิติ (T-Test) ซึ่งจากการกำหนดจำนวนครั้งการทดสอบที่จำนวน 30 ตัวอย่างต่อเงื่อนไขการทดลองพบว่าได้ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า α (0.05) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขนาดความสูงส่วนต่าง ๆ ของขอบตัดในแต่ละระดับอุณหภูมิมีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 7 เงื่อนไขการอบให้ความร้อนแผ่นชิ้นงานก่อนการตัดเฉือน

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดของเครื่องมือและเงื่อนไขการทดลอง

	รายการข้อกำหนด	ค่ากำหนด
การออกแบบแม่พิมพ์	วัสดุ พันธ์ - คาย	SKD 11
	ค่าความแข็งของพันธ์ - คาย	65±2 HRC
	มุมเฉือนพันธ์	0°
	ขนาดสปริง	SWG20-40
	ขนาดความโตพันธ์	Ø 20 มิลลิเมตร
	รัศมีคมตัดพันธ์-คาย	0.01 มิลลิเมตร
เงื่อนไขการทดลอง	ขนาดความหนาโลหะแผ่น	1 มิลลิเมตร
	ระยะช่องว่างคมตัดพันธ์-คาย	8 % ของความหนาโลหะแผ่น
	ระยะช่องว่างคมตัดพันธ์-แผ่นปลด	1.5 มิลลิเมตร
	ความเร็วกดตัดของพันธ์	2 มิลลิเมตร/วินาที
	อุณหภูมิการตัดเฉือน	25 200 400 600 (°C)

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

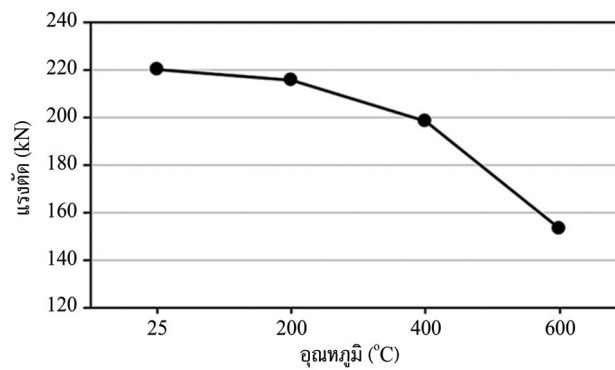
ผลการทดลองตามข้อกำหนดและขอบเขตงานวิจัยของกระบวนการบีบตัดแผ่นเปล่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 โดยไม่ใช้สารหล่อลื่นที่อุณหภูมิแบบอุ่นตั้งแต่อุณหภูมิห้อง (25 °C) ถึงอุณหภูมิ 600 °C เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการอบให้ความร้อนโลหะแผ่นที่ส่งผลต่อแรงตัดและคุณภาพขอบตัดชิ้นงานสำเร็จ และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบกระบวนการบีบตัดแผ่นเปล่าเหล็กกล้าไร้สนิมที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดของผลการทดลองดังนี้

1. อิทธิพลของอุณหภูมิโลหะแผ่นที่ส่งผลต่อแรงในการบีบตัด

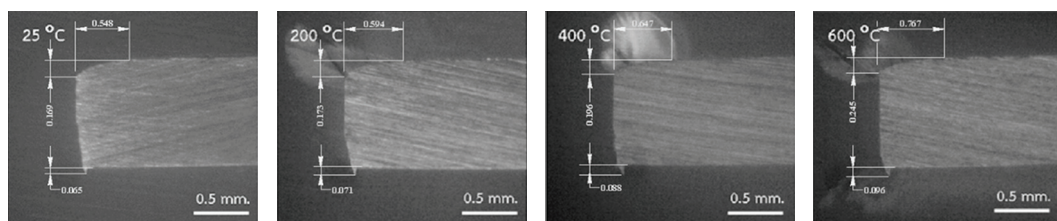
ผลการวัดและเปรียบเทียบค่าแรงในการบีบตัดโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 8 พบว่าขนาดแรงตัดชิ้นรูปจะแปรผกผันกับอุณหภูมิของโลหะแผ่น กล่าวคือแรงบีบตัดชิ้นรูปจะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิของโลหะแผ่นเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ความเค้นครากและความแข็งแรงของวัสดุมีแนวโน้มลดลง โดยผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิห้องใช้แรงในการบีบตัดชิ้นรูปสูงสุดที่ 221.25 kN โดยขนาดแรงในการบีบตัดดังกล่าวมีความสอดคล้องกับผลการคำนวณโดยใช้สมการที่ (1) ทั้งนี้เมื่อทำการตัดชิ้นรูปโลหะแผ่นที่อุณหภูมิ 200 °C จะใช้แรงในการบีบตัดที่ 215.58 kN ซึ่งลดลง 2.56 % การบีบตัดที่อุณหภูมิ 400 °C ใช้แรงตัดที่ 198.37 kN ซึ่งลดลง 10.34 % และการบีบตัดโลหะแผ่นที่อุณหภูมิ 600 °C ใช้แรงตัดที่ 153.28 kN ซึ่งลดลง 30.72 % เมื่อเปรียบเทียบกับการบีบตัดที่อุณหภูมิห้อง โดยจากขนาดแรงในการบีบตัดซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [12] และสอดคล้องกับผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลโดยการดึงชิ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิมที่อุณหภูมิแตกต่างกัน [13] ที่พบว่าค่าความเค้นครากและค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของวัสดุจะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิของโลหะแผ่นเพิ่มสูงขึ้น

2. อิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อลักษณะและรูปร่างของขอบตัด

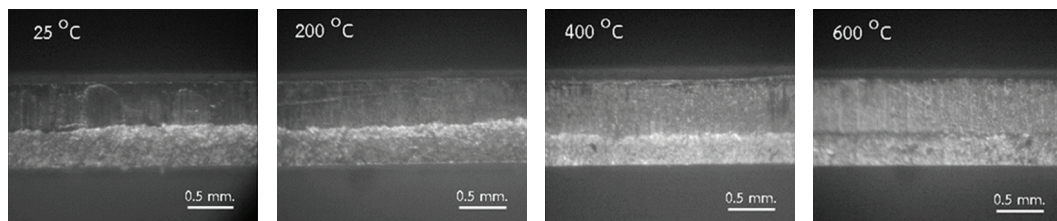
ลักษณะขอบตัดแผ่นเปล่าชิ้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิมที่ได้จากการบีบตัดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน โดยการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ (Optical Macro-Scope; OM) และกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Light Optical Microscope; LOM) แสดงให้เห็นถึงส่วนต่าง ๆ บนขอบตัดเฉือน ซึ่งประกอบไปด้วย



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและแรงในการปัดคัดโลหะแผ่น



รูปที่ 9 ลักษณะภาคตัดขวางชิ้นทดสอบที่ได้จากการตัดเฉือนด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน



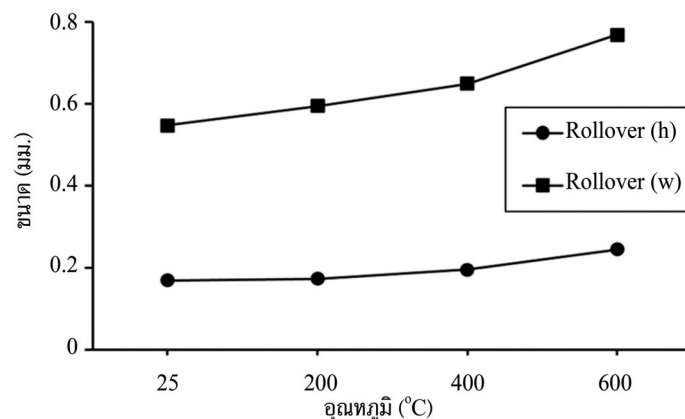
รูปที่ 10 ด้านข้างของขอบตัดชิ้นทดสอบเพื่อการวัดค่าความสูงส่วนเรียบตรงและส่วนการเกิดรอยแตก

1. ความกว้างและความสูงของส่วนโค้งมนและความสูงครีบก ที่ได้จากการปัดคัดที่อุณหภูมิการตัดเฉือนที่แตกต่างกัน สามารถตรวจสอบและวัดขนาดได้ชัดเจนจากมุมมองภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบดังรูปที่ 9

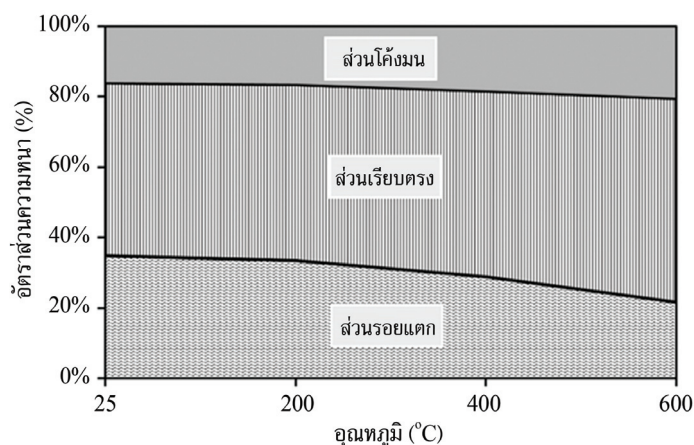
2. ค่าความสูงของส่วนเรียบตรงและส่วนรอยแตก สามารถตรวจสอบได้ชัดเจนจากภาพด้านข้างของขอบตัดดังรูปที่ 10 ซึ่งแสดงด้านข้างของขอบตัดที่ได้จากการปัดคัดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน โดยความสูงของส่วนเรียบตรงจะได้จากการวัดค่าความสูงโดยรวมของส่วนโค้งมนและส่วนเรียบตรงจากภาพด้านข้างและนำมาลบด้วยค่าความสูงของส่วนโค้งมน ที่ได้จากการวัดบนภาพภาคตัดขวาง ส่วนค่าความสูงของส่วนรอยแตกจะใช้วิธีการนำเอาค่าความหนาของชิ้นทดสอบ (1 มิลลิเมตร) ลบด้วยค่าความสูงของส่วนโค้งมนและส่วนเรียบตรง

จากรายละเอียดผลการทดลองรูปที่ 11 พบว่าค่าความสูงของส่วนโค้งมนจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิชิ้นทดสอบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งชิ้นทดสอบที่ได้จากการตัดเฉือนที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) ขนาดความสูงส่วนโค้งมนจะอยู่ที่ 0.169 มิลลิเมตร การตัดเฉือนที่อุณหภูมิ 200 °C ความสูงส่วนโค้งมนจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.173 มิลลิเมตร หรือคิดเป็น 2.36 % ส่วนการตัดเฉือนที่อุณหภูมิ 400 °C ความสูงส่วนโค้งมนจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.196 มิลลิเมตร หรือคิดเป็น 15.62 % และการตัดเฉือนที่อุณหภูมิ 600 °C ความสูงส่วนโค้งมนจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.245 มิลลิเมตร หรือคิดเป็น 44.97 % เมื่อเปรียบเทียบกับการตัดเฉือนที่อุณหภูมิห้อง ส่วนผลการตรวจสอบขนาดความกว้างของส่วนโค้งมนจะพบว่ามีความกว้างมากกว่าขนาดความสูงของส่วนโค้งมน โดยผลการตัดเฉือนที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) มีค่าความกว้างส่วนโค้งมน 0.548 มิลลิเมตร การตัดเฉือนที่อุณหภูมิ 200 °C ค่าความกว้าง

ของส่วนโค้งมนจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.594 มิลลิเมตรหรือคิดเป็น 8.74 % ส่วนการตัดเฉือนที่อุณหภูมิ 400 °C ค่าความกว้างของส่วนโค้งมนจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.647 มิลลิเมตรหรือคิดเป็น 18.42 % และการตัดเฉือนที่อุณหภูมิ 600 °C ค่าความกว้างของส่วนโค้งมนจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.767 มิลลิเมตรหรือคิดเป็น 40.38 % เมื่อเปรียบเทียบกับ การตัดเฉือนที่อุณหภูมิห้องตามลำดับ ดังนั้นจึงเห็นได้ชัดว่าค่าความสูงและความกว้างของส่วนโค้งมนจะแปรผันตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้วัสดุมีความสามารถในการยืดตัวหรือมีคุณสมบัติด้านความเหนียวเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลทำให้การตัดเฉือนเกิดขึ้นช้าลง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าว มีความสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมา [6] ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติด้านความความเหนียวของโลหะแผ่นจะเพิ่มสูงขึ้นตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเมื่อนำมาทำการตัดเฉือนจะส่งผลทำให้เกิดส่วนเรียบตรง ซึ่งมีพื้นผิวเป็นมันวาวขนาดใหญ่ขึ้น โดยสรุปได้ว่ากระบวนการบ่มตัดที่อุณหภูมิสูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตัดเฉือนซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มคุณภาพของขอบตัดของโลหะแผ่น ทั้งนี้ส่วนเรียบตรงบนขอบตัดเกิดขึ้นจากแรงอัดระหว่างพื้นที่กับแผ่นชิ้นงาน ซึ่งพบว่าค่าความสูงของส่วนเรียบตรงจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิขึ้นทดสอบเพิ่มมากขึ้น ขณะที่ความสูงของส่วนรอยแตกจะมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งกลไกการเกิดรอยแตกบนขอบตัดที่ได้จากการบ่มตัดที่อุณหภูมิห้องจะพบว่า รอยแตกกว้างจะเริ่มก่อตัวเป็นรอยแตกขนาดเล็กต่อเนื่องจากการเกิดส่วนเรียบตรง ซึ่งมีทิศทางขนานไปกับกระบวนการเฉือนของโลหะแผ่น เมื่อระยะการกดตัดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้รอยแตกดังกล่าวขยายตัวผ่านชั้นความหนาของวัสดุเกิดเป็นรอยฉีกขาดขนาดใหญ่ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของส่วนต่าง ๆ บนขอบตัดเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงโดยรวมของขอบตัดที่ได้จากการบ่มตัดด้วยแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัด 8 % แสดงดังรูปที่ 12

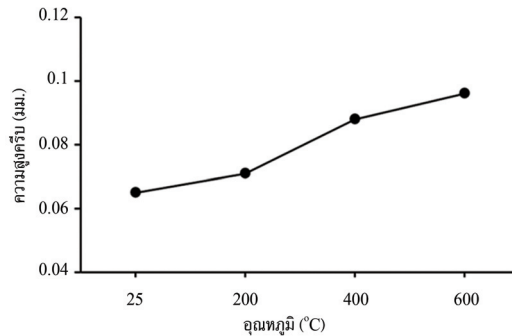


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ของความสูง (h) และความกว้าง (w) ส่วนโค้งมนกับอุณหภูมิการตัดเฉือนโลหะแผ่น



รูปที่ 12 อัตราความสูงส่วนต่าง ๆ บนขอบตัดของชิ้นทดสอบที่ได้จากการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัด 8%t

จากผลของแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของส่วนต่าง ๆ บนขอบตัด แสดงให้เห็นว่าการตัดเฉือนที่อุณหภูมิห้อง ลักษณะขอบตัดจะมีค่าความสูงของส่วนโค้งมนและส่วนเรียบตรงน้อยที่สุดและค่าความสูงของทั้งสองส่วนจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิการตัดเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ส่วนรอยแตกจะมีค่าความสูงมากที่สุดที่อุณหภูมิห้องและจะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการตัดเฉือนเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 13 อัตราส่วนความสูงของครีบบนขอบตัดที่ได้จากการตัดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

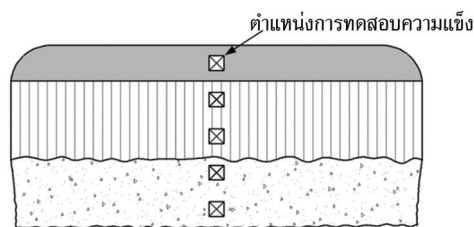
นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นยังส่งผลทำให้ชิ้นทดสอบมีค่าความสูงครีบเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ดังผลการตรวจสอบค่าความสูงของครีบด้วยวิธีการวัดค่าความสูงโดยรวมจากภาพด้านข้างของชิ้นทดสอบโดยการกำหนดจุดเริ่มต้นที่ระนาบผิวด้านบนของโลหะแผ่นจนถึงปลายสุดของครีบและลบด้วยค่าความหนาของแผ่นชิ้นทดสอบ (1 มิลลิเมตร) ซึ่งผลการตรวจสอบค่าความสูงครีบแสดงดังรูปที่ 13 ซึ่งพบว่าค่าความสูงของครีบจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น เช่น ชิ้นทดสอบที่ได้จากการตัดเฉือนที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) มีค่าความสูงครีบที่ 0.065 มิลลิเมตร เมื่อทำการตัดเฉือนที่อุณหภูมิ 200 °C ค่าความสูงครีบจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ 0.071 มิลลิเมตร หรือความสูงครีบเพิ่มขึ้น 9.23 % ส่วนการตัดเฉือนที่อุณหภูมิ 400 °C ค่าความสูงครีบจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.088 มิลลิเมตร หรือเพิ่มขึ้น 35.38 % และการตัดเฉือนที่อุณหภูมิ 600 °C มีความสูงครีบที่ 0.096 มิลลิเมตร หรือเพิ่มขึ้น 47.69 % เมื่อเปรียบเทียบกับการตัดเฉือนที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้วัสดุมีความเหนียวเพิ่มขึ้นหรือมีค่าความสามารถในการยืดตัวได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ในกระบวนการตัดเฉือนเนื้อวัสดุบริเวณคมตัดจะเกิดการยืดตัวในลักษณะของครีบมากขึ้น

3. อิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อค่าความแข็งระดับจุลภาคของขอบตัด

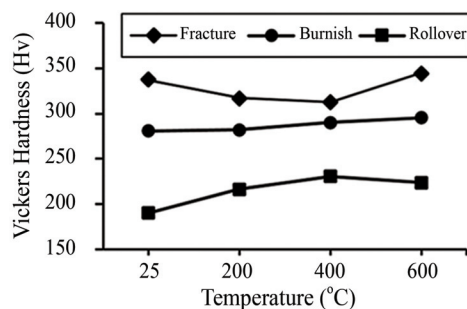
เพื่อการศึกษาพฤติกรรมด้านความเครียดแข็ง (Strain Hardening) ของชิ้นทดสอบ จะดำเนินการด้วยวิธีการทดสอบค่าความแข็งบริเวณขอบตัดด้านข้างของชิ้นงานโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบจุลภาค (Micro-Hardness Testing) เพื่อการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของชิ้นทดสอบที่ได้จากการป้อนตัดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน โดยจะกำหนดตำแหน่งการทดสอบค่าความแข็งบนขอบตัดแผ่นเปล่าที่ 5 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งจะมีระยะห่างกัน 0.2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 14 ในการบันทึกผลการทดลองจะแสดงผลค่าความแข็งของส่วนต่าง ๆ บนขอบตัดและค่าความแข็งเฉลี่ย ซึ่งผลการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 15

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการตัดเฉือนจะส่งผลอย่างชัดเจนต่อค่าความแข็งของชิ้นทดสอบดังผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ซึ่งได้ทำการทดสอบบนส่วนต่าง ๆ ของขอบตัดด้วยระยะห่างที่แตกต่างกันใน 5 ตำแหน่ง โดยค่าความแข็งบนส่วนต่าง ๆ ของขอบตัดจะแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 15(ก) ซึ่งพบว่าส่วนโค้งมน (Rollover) เป็นส่วนที่มีค่าความแข็งต่ำกว่าส่วนอื่น ๆ เนื่องจากเป็นส่วนเริ่มต้นของการเปลี่ยนรูปและเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรเพียงบางส่วน โดยค่าความแข็งของส่วนโค้งมนจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิการตัดเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าความแข็งบริเวณส่วนเรียบตรงจะมีค่าความแข็งสูงกว่าส่วนโค้งมน เนื่องจากเป็นส่วนที่เกิดการเปลี่ยนรูปถาวรอย่างสมบูรณ์ซึ่งได้รับผลกระทบจากค่าความเครียดแข็งสูงกว่า โดยค่าความแข็งของส่วนเรียบตรงจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิการตัดเฉือนเพิ่มสูงขึ้น

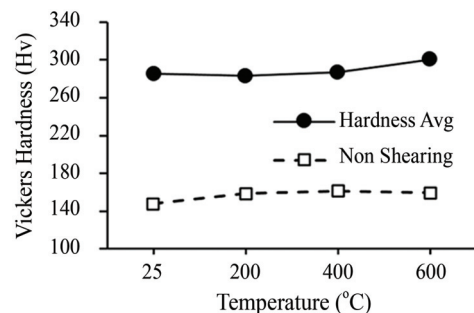
ส่วนค่าความแข็งของส่วนรอยแตกจะมีค่าความแข็งสูงที่สุด เนื่องจากรอยแตกร้าจะเกิดจากผลต่อเนื่องของการเกิดรอยตัดเฉือนและได้รับผลจากความเครียดแข็งสูงกว่าส่วนอื่น ๆ โดยส่วนรอยแตกจะมีค่าความแข็งลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 200 - 400 °C และจะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อุณหภูมิ 600 °C เนื่องจากผลของการสลายตัวของธาตุโครเมียม (Cr) ในออสเทนไนต์ระหว่างการตกตะกอนของซิกมาเฟส (σ phase) ซึ่งส่งผลให้ออสเทนไนต์ถูกล้อมรอบด้วยเฟสเดลต้าเฟอร์ไรต์ (δ -Ferrite) [14] เมื่อนำค่าความแข็งทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบในตำแหน่งต่าง ๆ บนขอบตัดมาคำนวณเป็นค่าความแข็งเฉลี่ยและเปรียบเทียบกับค่าความแข็งของชิ้นทดสอบก่อนการตัดเฉือนที่ผ่านการอบให้ความร้อนด้วยระดับอุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 15(ข) จะพบว่าค่าความแข็งเฉลี่ยบริเวณขอบตัดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งของชิ้นทดสอบที่ไม่ผ่านการตัดเฉือน โดยการตัดเฉือนที่อุณหภูมิห้องจะมีความแตกต่างของค่าความแข็งมากที่สุดและจะลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิการตัดเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ในช่วงอุณหภูมิ 200 - 400 °C เนื่องจากการตัดเฉือนที่อุณหภูมิต่ำสุดจะได้รับผลกระทบจากค่าความเครียดแข็งสูงกว่า ซึ่งส่งผลต่อกลไกการตัดเฉือนอย่างชัดเจนและผลกระทบดังกล่าวจะเกิดขึ้นน้อยลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ความแตกต่างของค่าความแข็งจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 600 °C ซึ่งค่าความแข็งเฉลี่ยที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงอุณหภูมินี้จะเกิดขึ้นจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเป็นหลัก



รูปที่ 14 ตำแหน่งการทดสอบความแข็งบนขอบตัดแผ่นเปล่า



(ก) ตำแหน่งบนขอบตัด



(ข) ค่าความแข็งเฉลี่ย

รูปที่ 15 ค่าความแข็งระดับจุลภาค

สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อลักษณะขอบตัดเพื่อการปรับปรุงคุณภาพขอบตัดชิ้นงานสำเร็จโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม จากผลการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ (OM) กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (LOM) และผลการทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งระดับจุลภาค (Micro-Hardness) พบว่าอุณหภูมิการตัดเฉือนจะส่งผลโดยตรงต่อลักษณะขอบตัดของชิ้นทดสอบที่ประกอบไปด้วยส่วนโค้งมน ส่วนเรียบตรง ส่วนรอยแตก ส่วนของครีป และค่าความแข็งหลังการตัดเฉือนของโลหะแผ่น โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

เมื่ออุณหภูมิของโลหะแผ่นเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ขนาดความกว้างและความสูงของส่วนโค้งมน ความสูงของส่วนเรียบตรง และความสูงครีบกจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิการตัดเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ส่วนขนาดความสูงของส่วนรอยแตกจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้โลหะแผ่น จะมีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงสูงสุดและค่าความเค้นครากลดลง ขณะที่คุณสมบัติด้านความเหนียวหรือ ความสามารถในการยืดตัวจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อนำมาทำการตัดเฉือน จะส่งผลทำให้ได้ส่วนเรียบตรงซึ่งเป็นส่วนที่ต้องการสำหรับงานปั๊มตัดโลหะแผ่นและส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่ม คุณภาพของขอบตัดขึ้นงานสำเร็จ โดยคุณสมบัติด้านความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จะสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของขอบตัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงเฉลี่ยจะลดลงเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางกลและค่าความแข็งแรงเฉลี่ย หลังการตัดเฉือนจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 600 °C เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาค

ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยในขั้นต่อไปควรมีการทดลองกับวัสดุที่มีความไวต่อการแตกหักหรือมักพบปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพ ขอบตัด เช่น วัสดุในกลุ่มเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง หรือทำการทดลองหาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่าง อุณหภูมิและขนาดช่องว่างคมตัดของแม่พิมพ์ เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จในอุตสาหกรรม การขึ้นรูปโลหะแผ่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ที่อนุเคราะห์เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย งานวิจัยฉบับนี้ดำเนินการสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

References

- [1] Kumar, S. Singh, R., and Sekhon, G. S. (2008). An Expert System for Design of Blanking Dies for Sheet Metal Operations. In **Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008**. WCECS 2008, October 22 - 24, 2008, San Francisco, USA
- [2] Brun, M., Ghiotti, A., Bruschi, S., and Filippi, S. (2021). Active Control of Blank Holder in Sheet Metal Stamping. **Procedia CIRP**. Vol. 100, pp. 151-156. DOI: 10.1016/j.procir.2021.05.079
- [3] Pickering, F. B. (1984). Physical Metallurgical Developments of Stainless Steels. **Stainless Steels**. Vol. 84, pp. 2-28
- [4] Lo, K. H., Shek, C. H., and Lai, J. K. L. (2017). Recent Developments in Stainless Steels. **Materials Science and Engineering**. Vol. 65, pp. 39-104. DOI: 10.1016/j.mser.2009.03.001
- [5] Juthamas, C., Monsiri, O., and Phrompong, S. (2015). Improving the Productivity of Sheet Metal Stamping Subassembly Area Using the Application of Lean Manufacturing Principles. **Procedia Manufacturing**. Vol. 2, pp. 102-107. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.090

- [6] Mori, K., Abe, Y., Kidoma, Y., and Kadarno, P. (2013). Slight Clearance Punching of Ultra-High Strength Steel Sheets Using Punch Having Small Round Edge. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**. Vol. 65, pp. 41-46. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2012.09.005
- [7] Wang, W. Y., Liu, B., and Kodur, V. (2020). Effect of Temperature on Strength and Elastic Modulus of High-Strength Steel. **Journal of Materials in Civil Engineering**. Vol. 25, pp. 174-182. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000600
- [8] Tang, Z., Huang, J., Ding, H., Cai, Z., Zhang, D., and Misra, D. (2018). Effect of Deformation Temperature on Mechanical Properties and Deformation Mechanisms of Cold-Rolled Low C High Mn TRIP/TWIP Steel. **Metals - Open Access Metallurgy Journal**. Vol. 8, p. 476. DOI: 10.3390/met8070476
- [9] Schuler, G. (1998). **Metal Forming Handbook**. Schuler GmbH, Springer, Berlin, Heidelberg. p. 568
- [10] Keawtatip, P., Masahiko, J., and Murakawa, M. (2012). Side Load on Punch and Die of Blanking Die by FEM. In **The 14th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT2012)**. Phuket. Thailand, pp. 250-256
- [11] Totre, A., Nishad, R., and Bodke, S. (2008). An Overview of Factors Affecting in Blanking Processes. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**. Vol. 3, Issue 3, pp. 390-395
- [12] Fazily, P., Yu, J., and Lee, C. W. (2019). Characterization of Sheared Edges in Warm Blanking of Magnesium Alloy AZ31B. **Materials**. Vol. 12, p. 1023. DOI: 10.3390/ma12071023
- [13] Nikulin, I., Kaibyshev, R., and Skorobogatykh, V. (2010). High Temperature Properties of an Austenitic Stainless Steel. **Journal of Physics: Conference Series**. Vol. 240, pp. 01-04
- [14] Horak, J. A. and Sikka, V. K. (1983). Review of Mechanical Properties and Microstructures of Types 304 and 316 Stainless Steel After Long-Term Aging. **Scientific & Technical Information Technical Reports**. pp. 179-213