

อิทธิพลของชนิดเหล็กเครื่องมือที่มีผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด

พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์¹ วารุณี เปรมานนท์² รัชณี ไพศาล²

และ ชาญยุทธ มะกา³

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

รับเมื่อ 29 มีนาคม 2547 ตอรับเมื่อ 14 มกราคม 2548

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด โดยมุ่งเน้นศึกษาความแตกต่างของพฤติกรรมการสึกหรอของเหล็กเครื่องมือที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ (JIS) SKD11 SKS3 SKH51 และ S50C โดยนำเหล็กทั้ง 4 ชนิดมาทำเป็นฟันซึ้งของแม่พิมพ์ตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และนำมาผ่านกรรมวิธีชุบแข็งให้ได้ความแข็งเท่ากันคือ 59 ± 1 HRC แล้วใช้ฟันซึ้งดังกล่าวทำการตัดชิ้นงานวัสดุ (JIS) G3141 SPCC ความหนาของชิ้นงาน 0.8 มิลลิเมตร ในการตัดใช้ช่องว่างแม่พิมพ์คองที่ คือร้อยละ 5 ของความหนาชิ้นงาน โดยฟันซึ้งแต่ละชนิดทำการตัดชิ้นงานจำนวน 10,000 ชิ้น จากผลการทดลองพบว่า ฟันซึ้งที่มีอัตราการสึกหรอน้อยที่สุดคือ ฟันซึ้งที่ทำมาจากเหล็ก SKD11 รองลงมาคือเหล็ก SKS3 SKH51 และเหล็ก S50C ตามลำดับ โดยเหล็ก S50C จะมีปริมาณการสึกหรอมากกว่าเหล็ก SKD11 ถึงประมาณ 2.5 เท่า ทั้งนี้สามารถวิเคราะห์และสรุปได้ว่า ปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็กแต่ละชนิดจะมีผลอย่างมากต่อการต้านทานการสึกหรอ ถึงแม้ระดับความแข็งหลังการชุบจะเท่ากันก็ตาม กล่าวคือเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนสูงมีโอกาสเกิดสารประกอบคาร์ไบด์จำนวนมากในโครงสร้างจุลภาค ซึ่งสารประกอบคาร์ไบด์จะมีความแข็งสูง เป็นผลให้อัตราการสึกหรอต่ำกว่ากรณีของเหล็กที่มีคาร์บอนต่ำกว่า จากการทดลองยังพบว่าความเรียบผิวเริ่มต้นของฟันซึ้งก็มีผลต่ออัตราการสึกหรอเช่นเดียวกัน นั่นคือฟันซึ้งที่มีผิวเรียบกว่า จะเกิดการสึกหรอน้อยกว่าฟันซึ้งที่มีผิวหยาบ เนื่องจากลักษณะผิวที่หยาบจะมีมุมยอดผิวค่อนข้างแหลม เมื่อเกิดการเสียดสีลักษณะมุมดังกล่าวจะหลุดหักได้ง่ายทำให้การสึกหรอเกิดขึ้นเร็ว

คำสำคัญ : การสึกหรอ / แม่พิมพ์ตัด / เหล็กเครื่องมือ / คาร์บอน / ความเรียบผิว

¹ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

² อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ

³ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ

Study on the Influences of Types of Tool Steel on Wear Behavior of Blanking Die

Pongpan Kaewtatip¹, Varunee Premanond², Ratchanee Paisarn²,
and Chanyuth Maka³

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Received 29 March 2004 ; accepted 14 January 2005

Abstract

The objective of this research is to study influences of tool materials on wear behavior in the blanking die. Four punch materials: JIS SKD11, SKS3, SKH51 and S50C were studied. Those punches are hardened to the same hardness of 59 ± 1 HRC. Clearance between punch and die is 5% of workpiece thickness. JIS G3141 SPCC steel strip with thickness 0.8 mm is used as workpiece material. The strip is blanked into circular shapes of 25 mm in diameter. Each punch was used for blanking 10,000 workpieces. From the experiments, SKD11 has the lowest wear rate. The higher carbon content increases the amount of carbide compounds, which are very much harder than the matrix. Consequently, wear rate of the material with higher carbon content is lower than that of the lower carbon content. In addition, the experiment result has shown that the differences of original surface roughness of the punches affect the wear rate. Since the better surface quality has a larger asperity angle, the punch having better surface quality will have better resistance to wear. The wear rates for all punches are in the following order: SKD11, SKS3, SKH51 and S50C, as the SKD11 has the lowest wear rate, which is 2.5 times lower than that of S50C.

Keywords : Wear / Blanking Die / Tool Steel / Carbon Contents / Surface Roughness

¹ Lecturer, Department of Mechanical Engineering.

² Lecturer, Department of Tool and Materials Engineering.

³ Graduate Student, Division of Metal Forming Technology, Department of Tool and Materials Engineering.

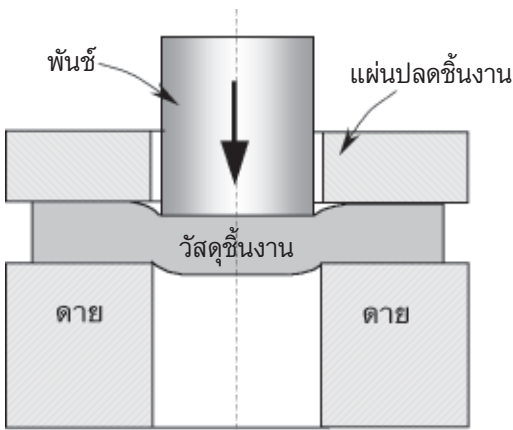
1. บทนำ

กรรมวิธีการตัดโลหะแผ่นโดยใช้แม่พิมพ์ (blanking operation) เป็นกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่เป็นพื้นฐานและมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะสามารถใช้ได้ทั้งการตัดแผ่นชิ้นงานที่จะถูกนำไปใช้ในกรรมวิธีผลิตอื่นต่อหรือสามารถใช้ในการตัดชิ้นงานสำเร็จก็ได้ กรรมวิธีการตัดโลหะแผ่นเป็นหนึ่งในกรรมวิธีหลักที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ เช่น การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์และอิเล็กทรอนิกส์ การผลิตเครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น โดยเฉพาะในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ของไทย ได้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ตอบสนองต่อการย้ายฐานผลิตของผู้ประกอบการระดับโลกมายังประเทศไทย ในกรรมวิธีการตัดโลหะแผ่นจำเป็นต้องใช้แม่พิมพ์ตัด แม่พิมพ์ตัดที่ดีจะทำให้ได้แผ่นเปล่า (blank) ที่มีคุณภาพหรือมีขนาดเที่ยงตรง ซึ่งจะไม่สร้างปัญหาต่อกรรมวิธีผลิตลำดับถัดไปในกรรมวิธีตัดเป็นการทำงานโดยต้องให้ความเค้นกับชิ้นงานที่มีค่าสูงพอที่จะทำให้ชิ้นงานขาดออกจากกันได้ ดังนั้นความเค้นที่กระทำต่อแม่พิมพ์ตัดก็จะมีค่าสูงมากเช่นเดียวกัน ส่งผลให้การสึกหรอของแม่พิมพ์เป็นปัญหาที่สำคัญในการตัด เพราะเมื่อแม่พิมพ์เกิดการสึกหรอจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพขอบตัดที่แยลง ความเที่ยงตรงของขนาดลดลง และทำให้เกิดครีบ (burr) บนขอบตัดซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการสูงขึ้น ในกรรมวิธีการตัดจึงจำเป็นต้องเลือกวัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์โดยเฉพาะเหล็กเครื่องมือ (tool steel) ที่มีความแข็งแรงสูง มีความสามารถในการชุบแข็งได้ดี ทนการสึกหรอได้สูง เป็นต้น ที่ผ่านมานงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัด จะมีทั้งในส่วนของ การทดลองจริงและการจำลองการทำงานโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ในการตัด ที่มีผลต่อคุณภาพขอบตัดของชิ้นงานที่ได้ [1, 2] โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดจะมีอยู่น้อยมาก เช่น งานวิจัยของโกสิทธิ [3] และ Luo [4] ซึ่งทำการศึกษอิทธิพลของความแข็งแม่พิมพ์และมุมเฉือนของพื้นที่มีผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม Nilsson [5] ได้ทำการศึกษการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่ทำมาจากวัสดุต่างชนิดกัน แต่งานดังกล่าวจะมุ่งเน้นไปที่การประชาสัมพันธ์ทางการค้า โดยเลือกใช้วัสดุต่างเกรดที่มาจากผู้ผลิตรายเดียวกันทั้งหมด ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่สามารถนำมาใช้กับกรณีอื่นๆ ได้จากงานวิจัยและทฤษฎีที่ผ่านมา พบว่าการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดซึ่งมักอยู่ในรูปแบบการขีดข่วน และอาจมีรูปแบบยึดติดปนอยู่ด้วยนั้น จะสามารถลดลงได้ถ้าเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งมากขึ้น ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษาเพิ่มเติมขึ้น นั่นคือต้องการที่จะทราบว่าในการเลือกใช้วัสดุทำพิมพ์นอกจากความแข็งแล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่นอีกหรือไม่ที่มีผลต่อการสึกหรอ โดยในที่นี้มุ่งเน้นไปที่การเลือกวัสดุทำพิมพ์ที่มีส่วนผสมทางเคมีแตกต่างกัน โดยสุ่มเลือกเกรดที่ใช้กันทั่วไปในภาคอุตสาหกรรมขึ้นมาสี่ชนิด (เกรดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น: JIS) โดยทำการชุบแข็งเพื่อให้ได้ระดับความแข็งที่เท่ากัน เพื่อตัดอิทธิพลของความแข็งของวัสดุออกไป ซึ่งวัสดุทำพิมพ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ เหล็กเครื่องมือ SKD11 SKS3 SKH51 และ S50C โดยนำแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุทั้งสี่ชนิดมาตัดชิ้นงานวัสดุ (JIS) G3141 SPCC ความหนาของชิ้นงาน 0.8 มิลลิเมตร แล้วทำการบันทึกผลการสึกหรอของแม่พิมพ์ควบคู่กับคุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุแต่ละชนิด และได้ทราบว่ายังมีปัจจัยอื่นที่นอกเหนือจากความแข็งหลังการอบชุบหรือไม่ที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด

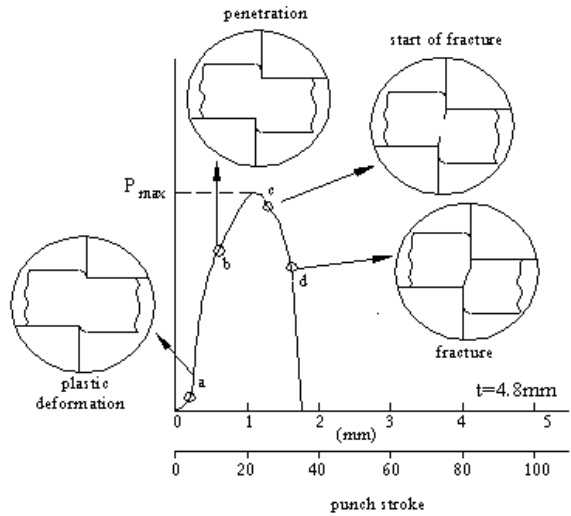
2. กรรมวิธีการตัดและการสึกหรอในแม่พิมพ์ตัด

2.1 พฤติกรรมการตัดโลหะแผ่น

กรรมวิธีการตัดโลหะ (sheet metal cutting or blanking) เป็นการตัดโลหะแผ่นให้ขาดออกจากกัน โดยการใช้แม่พิมพ์ตัด (blanking die) ซึ่งประกอบด้วย 펀ช์ (punch) และตาย (die) ดังแสดงในรูปที่ 1(ก) พฤติกรรม การตัดโลหะแสดงในรูปที่ 1(ข) นั่นคือ เริ่มต้น 펀ช์จะกดลงบนชิ้นงาน ทำให้เนื้อโลหะไหลเข้าไปในช่องของตายจน เลยขีดจำกัดการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นของโลหะ (elastic limit) เมื่อออกแรงกดที่ 펀ช์เพิ่มมากขึ้น ทำให้เนื้อโลหะ เกิดการเปลี่ยนรูปเพิ่มขึ้นเป็นช่วงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (plastic deformation) และเมื่อ 펀ช์กดลึกลงไปใน ชิ้นงานเพิ่มขึ้น จนกระทั่งความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุสูงเกินค่าขีดจำกัดความแข็งแรงของวัสดุ จะทำให้เกิด รอยแตกเล็กๆ ขึ้น (crack initiation) บริเวณเหนือคมตัดของ 펀ช์และตายเล็กน้อย และเมื่อ 펀ช์ยังคงกดลงมา อย่างต่อเนื่องรอยแตกดังกล่าวจะขยายตัวมาต่อกันอย่างรวดเร็ว จะทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกัน ช่วงนี้แรง ในการตัดจะลดลงอย่างรวดเร็วดังแสดงในรูปดังกล่าว



(ก) กรรมวิธีการตัดโลหะแผ่น

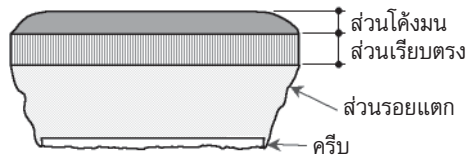


(ข) พฤติกรรมการตัดโลหะแผ่น [6]

รูปที่ 1 กรรมวิธีการตัดและพฤติกรรมการตัดโลหะแผ่น

จากพฤติกรรมการตัดโลหะแผ่นข้างต้น จะทำให้ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัดประกอบด้วยสี่ส่วนสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 2 นั่นคือประกอบไปด้วย (1) ส่วนโค้งมน (die roll) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร ของชิ้นงานที่ถูกดึงโดยคมตัดของ 펀ช์และตาย (2) ส่วนเรียบตรง (shear surface) เกิดจากเนื้อวัสดุที่ถูกคมตัด ของ 펀ช์และตายเฉือนให้เกิดขึ้นเป็นพื้นที่ผิวเรียบตรง (3) ส่วนรอยแตก (fracture surface) เกิดจากการที่ ความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุมีค่าสูงเกินกว่าขีดจำกัดที่วัสดุสามารถรับได้ ทำให้เกิดการฉีกขาดออกจากกันก่อนที่จะ ถูกคมตัดของ 펀ช์และตายเฉือน ส่วนรอยแตกจะมีลักษณะเป็นผิวขรุขระและเอียงทำมุมกับทิศทางการตัด (4) ครีบ (Burr) มีลักษณะเป็นขอบบางที่มีความคม เกิดขึ้นรอบๆ ขอบตัด ครีบจะเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในการตัดชิ้นงาน และสามารถนำครีบเป็นสิ่งที่บ่งบอกอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ตัดได้ เนื่องจากแม่พิมพ์ที่สึกหรอมากขึ้นจะมีครีบที่มี

ขนาดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ดังนั้นถ้าขนาดของครีบกิ่งใหญ่เกินกว่าที่จะนำชิ้นงานไปใช้ได้ ก็ต้องนำแม่พิมพ์ตัดมาทำการปรับแต่งใหม่ หรืออาจต้องเปลี่ยนพันธ์หรือตายถ้ามีความจำเป็น



รูปที่ 2 ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัดด้วยแม่พิมพ์

2.2 รูปแบบการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ตัดชิ้นงาน

โดยทั่วไปการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณคมตัดของพันธ์เกิดได้ 6 ลักษณะคือ

2.2.1 การสึกหรอแบบเชื่อมหรือยึดติดกัน (adhesive wear) คือ การสึกหรอที่เกิดจากการเชื่อมหรือยึดติดกันของผิวโลหะ จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุทั้งสองชนิดเกิดการเสียดสีกันเนื่องจากพื้นที่สัมผัสกันระหว่างผิวสองผิวมาก จะทำให้เกิดความเค้นเกินกว่าจุดครากตัวของวัสดุ (yield point) และจะทำให้เกิดแรงยึดเกาะกันทางโมเลกุลขึ้น เมื่อให้แรงเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ต่อไปบริเวณการยึดติดกันจะถูกดึงให้หลุดออกมา [10]

2.2.2 การสึกหรอแบบการขัดถูหรือขีดข่วน (abrasive wear) คือ การสึกหรอที่เกิดจากพฤติกรรมกรการขีดข่วน ขัดถู หรือกระแทก ซึ่งการกระทำเหล่านี้ทำให้เนื้อวัสดุหลุดออกมาในลักษณะเป็นอนุภาคเล็ก ๆ [10]

2.2.3 การสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัว (fatigue wear) คือ การสึกหรอที่เกิดจากชิ้นงานได้รับการกระทำไม่คงที่มีลักษณะเป็นคาบ (cyclic load) คือรับแรงดึงและอัดสลับกันไปและทำให้เกิดความล้าใต้ผิวของชิ้นงานขึ้น ทำให้ผิวของชิ้นงานเกิดการหลุดออกไป [10] ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นหลุมเป็นบ่อหรือในลักษณะการเกิดรอยร้าวขึ้นที่ผิวชิ้นงาน

2.2.4 การสึกหรอที่เกิดจากการชน (impact wear) คือ การสึกหรอที่เกิดจากอนุภาคเล็กๆ ของเศษที่หลุดออกหรือของเหลว เกิดการกระทบกับผิวของวัสดุด้วยความเร็วและความแรงสูง ทำให้เกิดการแตกหรือหลุดออกของผิววัสดุ ซึ่งการสึกหรอนี้จะประมาณได้จากเศษหรือวัสดุที่ชนกับผิว ซึ่งความเร็วในการชนที่มากกว่าจะทำให้การสึกหรอเกิดขึ้นสูงกว่า [11]

2.2.5 การสึกหรอจากการกัดกร่อน (corrosion wear) คือ การสึกหรอที่เกิดจากการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ขึ้นที่ผิวของวัสดุทำให้ผิวเกิดจุดบกพร่องขึ้น ส่งผลให้เมื่อมีแรงกระทำที่ผิวเพิ่มสูงขึ้น เนื้อโลหะตรงบริเวณยอดผิว (asperity) จะหลุดออกจากผิวของวัสดุได้ง่าย ทำให้พื้นที่สัมผัสของผิวสองผิวเพิ่มขึ้น เกิดการสึกหรอแบบการเชื่อมหรือยึดติดได้ง่ายขึ้น [11]

2.2.6 การสึกหรอแบบการแตกแยกชั้น (delamination wear) คือ การสึกหรอที่เกิดจากเศษที่หลุดจากการสึกหรอในลักษณะการขีดข่วนทำปฏิกิริยาทำให้เกิดออกไซด์ (oxide) ขึ้น ซึ่งเศษนี้จะทำให้เกิดการสึกหรอแบบขีดข่วนเพิ่มขึ้น การสึกหรอในลักษณะการแตกแยกชั้นนี้จะรวมถึงการแตกจากความล้าตัวของผิวที่มีตัวหล่อลื่นเข้ามา ติดอยู่ โดยเมื่อมีแรงกระทำระหว่างผิวตัวหล่อลื่นจะเป็นเหมือนกับลิ่มดันให้เกิดรอยแตกและขยายรอยแตกออก [11]

3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด จะทำการศึกษาการสึกหรอของฟันซ์เท่านั้น โดยใช้ฟันซ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 25 มม. จำนวน 4 ชั้น ซึ่งทำมาจากวัสดุชนิดต่างๆ 4 ชนิด คือ เหล็กเครื่องมือ (JIS) SKD11, SKS3, SKH51 และ S50C ส่วนตายจะทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD11 เหมือนกันทั้ง 4 ชั้น เนื่องจากโดยทั่วไปรูปแบบการสึกหรอของฟันซ์และตายจะมีลักษณะคล้ายกันแต่การสึกหรอของฟันซ์จะเร็วกว่าตาย [3] ส่วนผลสมทางเคมีของเหล็กเครื่องมือแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 1 (ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจสอบจริงโดยผู้ผลิต) ในการตัดใช้ช่องว่างแม่พิมพ์คงที่คือร้อยละ 5 ของความหนาชิ้นงาน ฟันซ์ที่ใช้ในงานวิจัยจะผ่านการอบชุบเพื่อให้ความแข็งเท่ากันคือ 59 ± 1 HRC โดยได้ทำการตรวจสอบความแข็งของผิวฟันซ์หลังการอบชุบ (เลือกตรวจสอบบริเวณหน้าฟันซ์ที่ใกล้คมตัด) และตรวจสอบขนาดมิติของฟันซ์และตายด้วยโปรไฟล์โปรเจคเตอร์ (profile projector) เพื่อยืนยันว่าอยู่ในระดับที่ได้กำหนดไว้ เนื่องจากชนิดของเหล็กเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยแตกต่างกันจึงทำการอบชุบด้วยวิธีการต่างกัน กรรมวิธีการอบชุบของเหล็กเครื่องมือแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2 วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นเหล็ก (JIS) G3141 SPCC (AISI 1012) ความหนา 0.8 มม. ซึ่งเป็นเหล็กที่ใช้ทำตัวถังและชิ้นส่วนของรถยนต์โดยทั่วไป ขณะที่เงื่อนไขอื่นๆ ให้คงที่ไว้ดังนี้

- ขนาดความกว้างของแผ่นสตริป 28 มม.
- เครื่องเพรสแบบเพลาข้อเหวี่ยงหรือแบบเยื้องศูนย์กลาง (eccentric press) ขนาด 630 กิโลนิวตัน
- ความเร็วขณะทำการตัดคงที่เท่ากับ 30 มม./วินาที
- ไม่ใช้สารหล่อลื่นในการทดลอง

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมี (ร้อยละ) ของเหล็กเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เหล็กเครื่องมือ	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu	W
SKD11	1.50	0.40	0.60	0.50	12.0	1.00	0.35	-	-
SKS3	0.95	0.30	1.10	0.25	0.85	-	-	0.25	0.70
SKH51	0.85	0.40	0.40	-	4.15	5.00	1.90	-	6.10
S50C	0.50	0.40	0.75	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 2 กรรมวิธีการอบชุบของเหล็กเครื่องมือแต่ละชนิด

เหล็กเครื่องมือ	กรรมวิธีการอบชุบ
SKD11	Hardening (Air cooling) and Tempering (Air cooling)
SKS3	Hardening (Oil/Salt cooling) and Tempering (Air cooling)
SKH51	Hardening (Oil cooling) and Tempering (Air cooling)
S50C	Pack-Carburizing

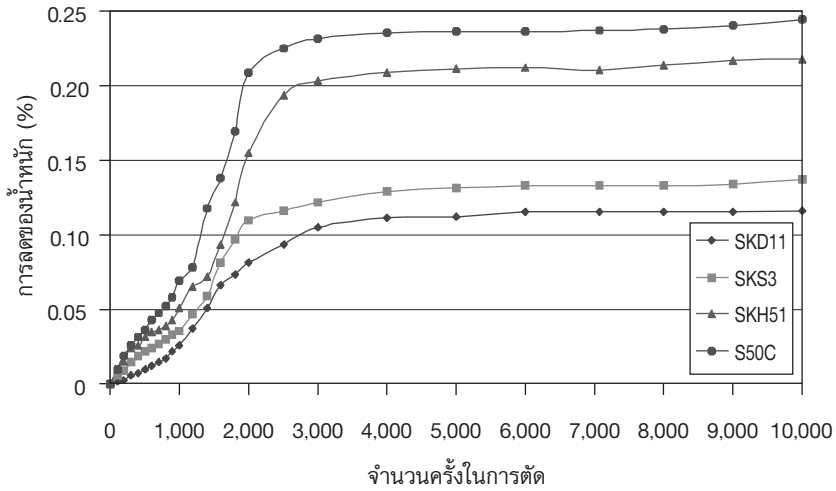
ในการทำการตัดด้วยพันธซ์แต่ละชนิดจะหยุดตัดเพื่อถอดพันธซ์ออกมาทำการวัด ซึ่งพันธซ์ที่ใช้เป็นแบบอินเลิร์ทชนิดมีป่าโดยในการประกอบกลับทุกครั้งหลังถอดออกจะควบคุมไม่ให้เกิดการเยื้องศูนย์ขึ้นโดยใช้แผ่นยึดพันธซ์ (punch holder) ที่มีความเที่ยงตรงสูง ทุกครั้งที่หยุดวัดจะทำการบันทึกผลดังนี้

- ตรวจวัดการสึกหรอด้านหน้าและด้านข้างของพันธซ์ที่เกิดขึ้น โดยใช้เครื่องวัดความเรียบผิวและคอนทัวร์ (surface roughness and contour measuring device) ซึ่งสามารถใช้วัดรูปร่าง (profile) คมตัดที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการสึกหรอได้
- ชั่งน้ำหนักของพันธซ์ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล (แบบ analytical plus electronic balances) ความแม่นยำ 0.001 กรัม เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาร้อยละของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื่องจากการสึกหรอของพันธซ์ที่ทำจากวัสดุแต่ละชนิด
- ถ่ายภาพการสึกหรอของพันธซ์รวมทั้งขอบตัดของชิ้นงาน และวัดขนาดส่วนต่างๆ ของขอบตัดที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อพันธซ์เกิดการสึกหรอโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (optical microscope: 50x) ร่วมกับโปรแกรม Kontron Image Pro.

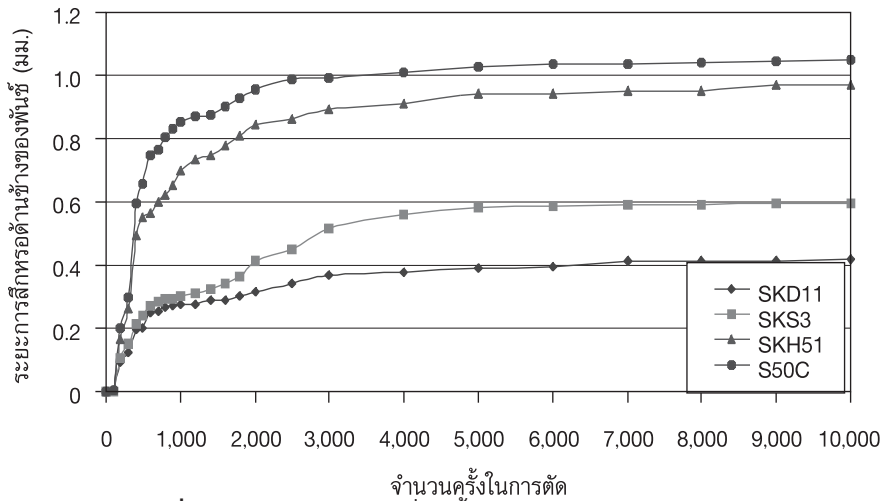
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 การสึกหรอของพันธซ์

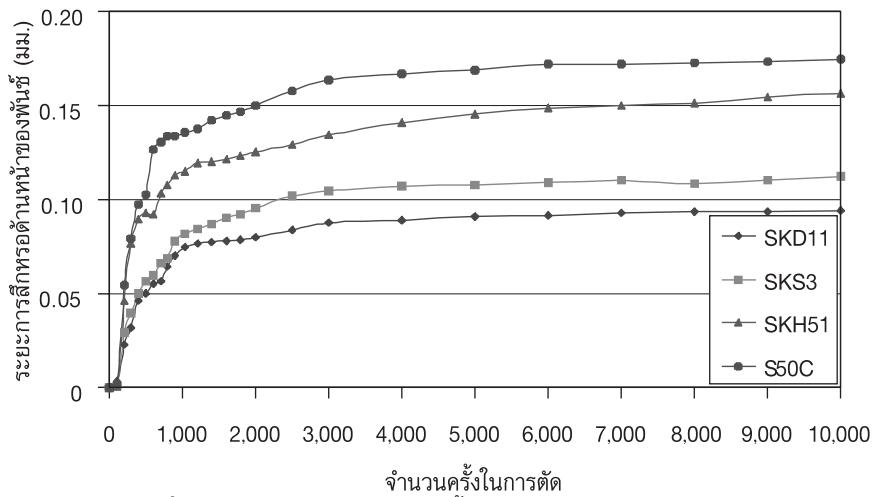
การสึกหรอของพันธซ์แสดงได้ด้วยการลดลงของน้ำหนักพันธซ์ (ร้อยละของการลดลงของน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น) ระยะของการสึกหรอทางด้านข้าง (flank wear) และด้านหน้า (face wear) ดังรูปที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ตัวอย่างภาพถ่ายด้านข้างของพันธซ์แต่ละชนิดเมื่อทำการตัดเป็นจำนวน 100 และ 10,000 ครั้ง แสดงในรูปที่ 6 (ระยะ L ที่แสดงในรูปคือระยะการสึกหรอด้านข้างของพันธซ์) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสึกหรอของพันธซ์จะเกิดขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อทำการตัดเป็นจำนวน 10,000 ครั้ง จากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นได้ว่าการลดลงของน้ำหนักพันธซ์และระยะการสึกหรอทั้งสองด้านมีแนวโน้มคล้ายกัน กล่าวคือ ในช่วงแรกของการตัด การสึกหรอของพันธซ์ทุกตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นเมื่อจำนวนครั้งของการตัดชิ้นงานเพิ่มขึ้น การสึกหรอจะเกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลง โดยการสึกหรอจะเพิ่มขึ้นน้อยลงจนเกือบจะคงที่ในช่วงการตัดตั้งแต่ประมาณ 6,000 ขึ้นเป็นต้นไป เนื่องจากในช่วงแรกของการตัดเมื่อเกิดการเสียดสีกันระหว่างผิวพันธซ์กับแผ่นโลหะ ทำให้ยอดผิวของพันธซ์ถูกเฉือนหลุดออกมาในลักษณะอนุภาคเล็กๆ ที่มีความแข็งสูง อนุภาคดังกล่าวจะขูดผิวของพันธซ์ทำให้เกิดการสึกหรอแบบขีดข่วน [7] การสึกหรอทั้งสองด้านจะค่อยๆ ลดลงเมื่อจำนวนครั้งในการตัดเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการตัดชิ้นงานจนเกินกว่า 6,000 ครั้งพบว่าชุดแม่พิมพ์ตัดแต่ละชุดมีการสึกหรอเกือบคงที่ จากการที่ระยะช่องว่างแม่พิมพ์แต่ละตัวถูกขยายใหญ่ขึ้นและคมตัดเกิดการเปลี่ยนรูปร่างเป็นรัศมี จึงเกิดการเสียดสีที่รุนแรงไม่มาก ส่งผลให้ผลการสึกหรอที่ผิวน้อยลง ซึ่งจากกราฟที่ได้ยังพบว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นด้านข้างของพันธซ์มีความรุนแรงมากกว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณด้านหน้าของพันธซ์ เนื่องจากการเสียดสีที่รุนแรงบริเวณดังกล่าว [1]



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพันธ์



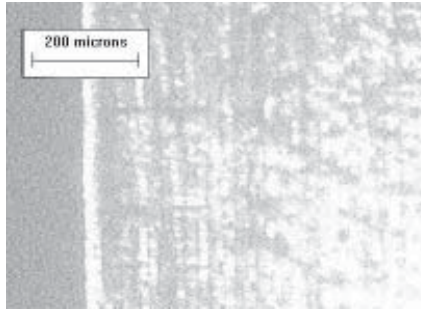
รูปที่ 4 การลึกรอดด้านข้างที่เกิดขึ้นกับเหล็กทำแม่พิมพ์ชนิดต่างๆ



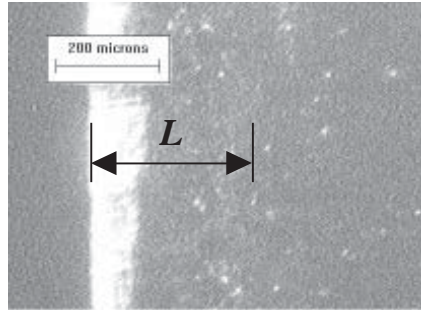
รูปที่ 5 การลึกรอดด้านหน้าที่เกิดขึ้นกับเหล็กทำแม่พิมพ์ชนิดต่างๆ

จากผลการทดลองข้างต้น จะพบว่าพันธ์ที่มีการสึกหรอมากที่สุดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ พันธุ์ที่ทำจากเหล็ก S50C SKH51 SKS3 และ SKD11 ตามลำดับ แม้ว่าเหล็กทั้งสี่ชนิดได้ถูกนำมาทำให้ความแข็งเป็นบรรทัดฐานเดียวกันคือระดับ 59 ± 1 HRC ก็ตาม แต่ค่าความแข็งที่วัดนี้เป็นค่าที่วัดได้โดยเครื่องวัดความแข็งในแบบมหภาค (macro hardness) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Maeda และคณะ [8] ซึ่งทำความแข็งระดับมหภาคของพันธ์เท่ากัน แต่พบว่าความแข็งจุลภาค (micro hardness) ซึ่งขึ้นอยู่กับเฟสของสารประกอบในเนื้อวัสดุมีค่าแตกต่างกัน โดยพบว่าความแข็งจุลภาคเกิดจากอิทธิพลของสารประกอบคาร์ไบด์ (metal carbide) กล่าวคือ สารประกอบคาร์ไบด์ที่กระจายตัวอย่างหนาแน่นและสม่ำเสมอจะทำให้ค่าความแข็งจุลภาคสูงขึ้น จึงทำให้ความต้านทานการสึกหรอดีขึ้นด้วย ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวจะสามารถนำมาอธิบายผลที่ได้จากการวิจัยเรื่องนี้ได้นั้นคือการที่เหล็ก SKD11 และ SKS3 มีการสึกหรอน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็ก SKH51 และ S50C สามารถอธิบายได้ด้วยปริมาณคาร์บอนที่ต่างกันของเหล็กแต่ละชนิดกล่าวคือการมีปริมาณคาร์บอนสูงของเหล็ก SKD11 และ SKS3 ทำให้เหล็กดังกล่าวมีโอกาสเกิดสารประกอบคาร์ไบด์สูงกว่า ส่งผลให้การกระจายตัวของสารประกอบคาร์ไบด์หนาแน่นกว่าเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ โครงสร้างจุลภาคของเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าจึงควรมีค่าความแข็งจุลภาคสูงกว่า หรือสามารถกล่าวได้ว่าเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าจะทำให้มีความทนทานต่อการสึกหรอดีกว่าเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ [6] ซึ่งการวิเคราะห์ข้างต้นจะสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้เป็นอย่างดี นั่นคือการสึกหรอของเหล็ก SKD11 ซึ่งมีคาร์บอนประมาณร้อยละ 1.5 จะเกิดการสึกหรอน้อยสุด รองลงมาคือเหล็ก SKS3 มีคาร์บอนประมาณ 0.95 เหล็ก SKH51 มีคาร์บอนประมาณ 0.85 และเหล็ก S50C ซึ่งมีคาร์บอนประมาณ 0.50 จะมีการสึกหรอมากที่สุด นอกจากนี้ในกรณีของเหล็ก SKD11 จะมีธาตุชนิดอื่นที่สามารถรวมตัวกับคาร์บอนเกิดเป็นสารประกอบคาร์ไบด์ได้นอกเหนือจากเหล็ก (Fe) เช่น โครเมียม (Cr) ในปริมาณที่สูงเช่นเดียวกัน จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ SKD11 เกิดการสึกหรอน้อยที่สุด

นอกจากนี้ ความเรียบผิว (surface roughness) ของพันธ์ก็เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้การสึกหรอแตกต่างกันออกไป [10] เพราะมีอิทธิพลต่อการสึกหรอทั้งแบบการขีดข่วนและการยึดติดกัน นั่นคือการสึกหรอแบบการขีดขีดหรือขีดข่วนสูงขึ้นเมื่อความเรียบผิวของพันธ์มีค่าหยาบขึ้น จากการวัดความเรียบผิวก่อนการทดลองพบว่า ค่าของความเรียบผิวของพันธ์ทั้งสี่ชนิดมีค่าแตกต่างกันดังนี้ เหล็ก SKD11, SKS3, SKH51 และ S50C มีค่า R_a เท่ากับ 0.0703, 0.0848, 0.2016 และ 0.2146 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังนั้นผลการวัดค่าความเรียบผิวของพันธ์จะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้เช่นเดียวกัน นั่นคือ SKD11 ที่มีผิวที่เรียบที่สุดจะเกิดการสึกหรอน้อยที่สุด ในขณะที่ S50C ที่มีผิวหยาบที่สุดจะเกิดการสึกหรอมากที่สุดเช่นเดียวกัน จากการวัดความเรียบผิวยังทำให้ทราบขนาดของมุมยอดผิว (asperity angle) โดยพบว่าเหล็ก SKD11, SKS3, SKH51 และ S50C มีค่ามุมยอดผิว 88.92, 86.37, 80.34 และ 74.31 องศา ตามลำดับ ซึ่งจากงานวิจัยของ Stoloarski [12] และ Kato และคณะ [9] ได้กล่าวไว้ว่าขนาดของมุมยอดผิวที่มีค่ามุมแหลมกว่า จะทำให้เกิดการสึกหรอได้ง่ายกว่ามุมยอดผิวที่มีมุมป้าน เพราะเมื่อเกิดการเสียดสีลักษณะมุมดังกล่าวจะหลุดหักได้ง่าย ทำให้เกิดการสึกหรอเร็ว เมื่อเปรียบเทียบขนาดของมุมยอดผิวที่วัดได้ พบว่าเหล็ก S50C ที่มีขนาดมุมของยอดผิวเล็กที่สุดจึงมีการสึกหรอมากที่สุด ในขณะที่เหล็ก SKD 11 มีขนาดของมุมยอดผิวใหญ่ที่สุดจึงสึกหรอน้อยที่สุด

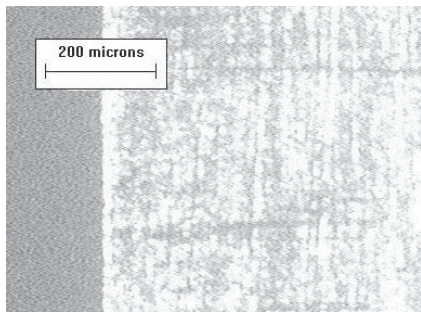


ครั้งที่ 100

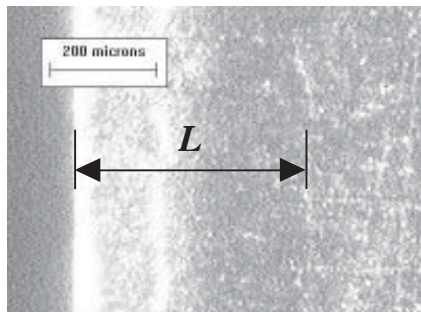


ครั้งที่ 10,000

(ก) เหล็ก SKD11

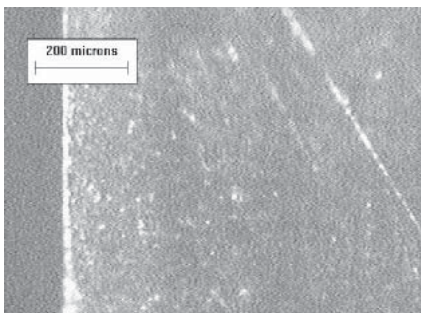


ครั้งที่ 100

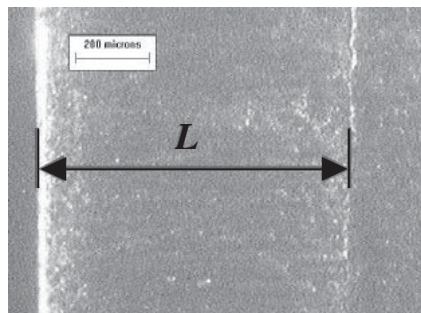


ครั้งที่ 10,000

(ข) เหล็ก SKS3

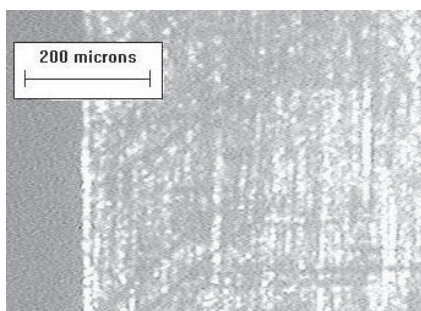


ครั้งที่ 100

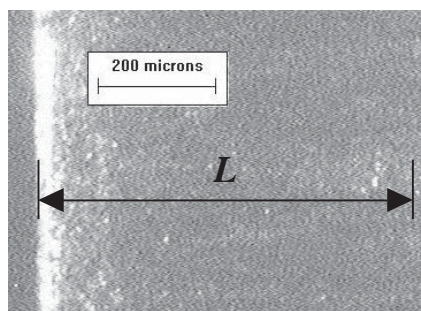


ครั้งที่ 10,000

(ค) เหล็ก SKH51



ครั้งที่ 100



ครั้งที่ 10,000

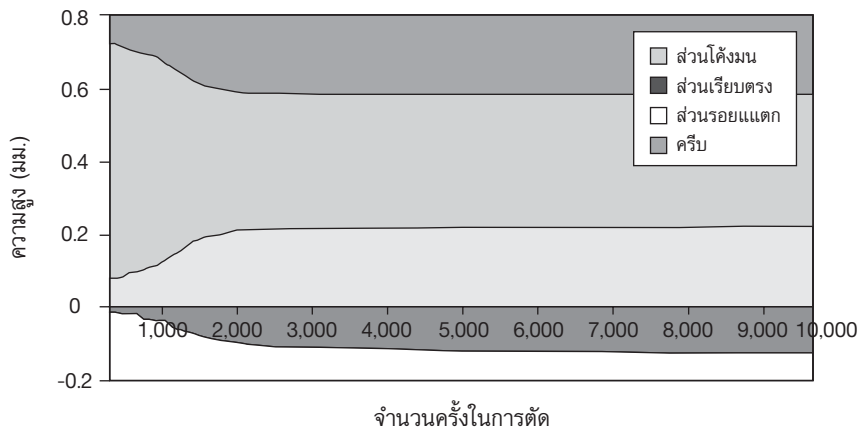
(ง) เหล็ก S50C

รูปที่ 6 ภาพถ่ายการสีกหรือของพื้นผิวที่ทำจากเหล็กชนิดต่างๆ

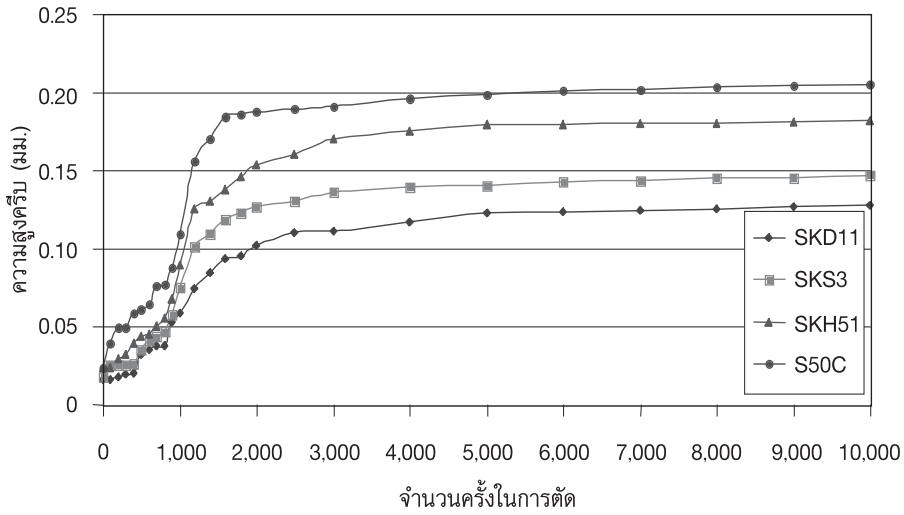
จากการทดลองยังพบว่าพันธ์บางตัวมีการกัดกร่อนเกิดขึ้นด้วย นั่นคือพันธ์ที่ทำมาจากเหล็ก SKH51 และ S50C จะเกิดสนิมขึ้นที่ผิวอย่างเห็นได้ชัด สาเหตุที่เหล็ก SKH51 เกิดสนิมขึ้นบริเวณผิว เนื่องจากเหล็กชนิดนี้เป็นเหล็กแบบพาวเดอร์ไฮสปีด กรรมวิธีที่นำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนจึงต้องอาศัยวิธีพิเศษและใช้ช่างที่มีประสบการณ์ในการชุบ เพราะอาจเกิดรูพรุนขึ้นได้ง่าย ทำให้เกิดสิ่งเจือปนในเหล็กสูงและทำให้เกิดสนิมได้ง่ายเมื่อเกิดการจับตัวของไอน้ำในอากาศ การสึกหรอในลักษณะการกัดกร่อนนี้จะทำให้การเกิดการสึกหรอในลักษณะการยึดติดเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย [13]

4.2 ลักษณะขอบตัดของชิ้นงาน

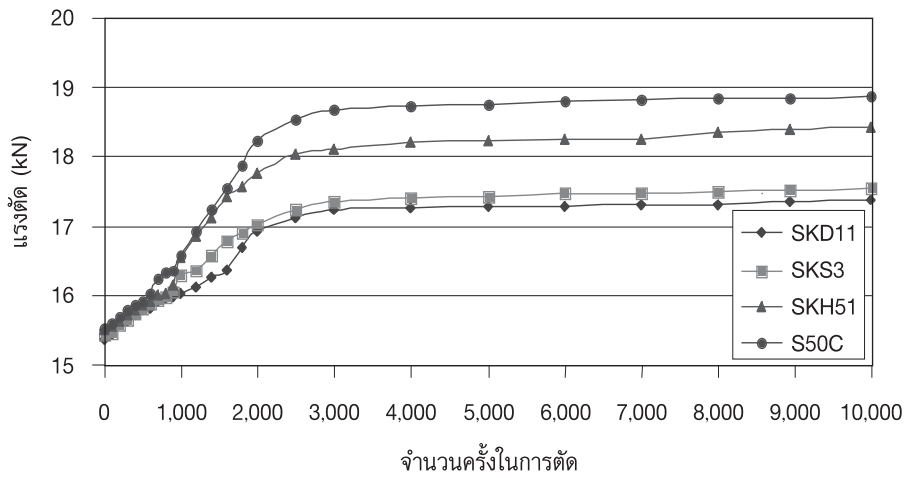
เมื่อทำการตัดชิ้นงานในจำนวนครั้งที่เพิ่มขึ้น พบว่าชิ้นงานที่ได้จากพันธ์แต่ละชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงของขอบตัดในลักษณะเหมือนกัน นั่นคือ ส่วนโค้งมนเพิ่มขึ้น ระยะการตัดเฉือนน้อยลง ระยะการฉีกขาดเพิ่มขึ้น และครีบบีขนาดเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากการตัด โดยใช้พันธ์ที่ทำมาจากเหล็ก SKD11 โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของขอบตัดเป็นผลมาจากการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับพันธ์และตาย ทำให้กลไกการตัดที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายกับช่องว่างแม่พิมพ์ถูกทำให้ขยายใหญ่ขึ้นนั่นเอง โดยปรกติขนาดของครีบบีที่ขอบตัดชิ้นงาน สามารถบ่งบอกอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ได้ระดับหนึ่ง เมื่อพิจารณาขนาดของครีบบีที่ได้จากพันธ์แต่ละชุดดังแสดงในรูปที่ 8 จะเห็นว่าครีบบีเกิดขึ้นสูงมากในช่วงแรกเนื่องมาจากเกิดการสึกหรอที่คมตัด (edge wear) ซึ่งมีผลทำให้คมตัดเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นรัศมีโค้งมน เมื่อพิจารณาชิ้นงานที่ได้จากการตัดโดยพันธ์ที่ทำมาจากวัสดุต่างๆ พบว่า เหล็ก SKD11 ที่มีการสึกหรอน้อยที่สุด จะทำให้ครีบบีที่ขอบตัดชิ้นงานน้อยที่สุด ในทำนองเดียวกันเหล็ก S50C ซึ่งมีการสึกหรอสูงที่สุด จะทำให้ครีบบีที่ขอบตัดชิ้นงานสูงที่สุด



รูปที่ 7 ความสูงของส่วนต่างๆ ของชิ้นงานที่ได้จากพันธ์ SKD11



รูปที่ 8 ความสูงของครีบบนที่ขอบตัดชิ้นงาน



รูปที่ 9 แรงตัดชิ้นงาน

4.3 แรงตัดชิ้นงาน

ผลการวัดแรงตัดชิ้นงานแสดงในรูปที่ 9 เมื่อทำการตัดชิ้นงานในจำนวนครั้งที่เพิ่มขึ้น พบว่าแรงตัดชิ้นงานจะเพิ่มสูงขึ้น โดยแรงตัดจะเพิ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกๆ ของการตัด เนื่องจากความคมของคมตัดพินซ์เริ่มหายไปจากการสึกหรอ ส่วนในช่วงตั้งแต่ 3,000 ครั้งเป็นต้นไป แรงตัดเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเนื่องจากการสึกหรอที่เกิดขึ้นเริ่มคงที่ จึงใช้แรงตัดค่อนข้างคงที่ตามไปด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่า พินซ์ที่ทำจากเหล็ก S50C ซึ่งมีการสึกหรอมากที่สุด จะใช้แรงในการตัดเพิ่มขึ้นสูงสุด รองลงมาคือเหล็ก SKH51 SKS3 และ SKD11 ซึ่งสึกหรอน้อยที่สุดจะมีการเปลี่ยนแปลงของแรงตัดน้อยที่สุด

5. สรุปผล

จากการทดลองเพื่อศึกษาการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับวัสดุทำพUNCHชนิดต่างๆ พบว่า

1. เหล็ก JIS SKD11 มีความทนทานต่อการสึกหรอมากที่สุด รองมาคือ เหล็ก SKS3 SKH51 และเหล็กที่มีอัตราการสึกหรอมากที่สุดคือ เหล็ก S50C เมื่อกำหนดให้ความแข็งของพUNCHและจำนวนครั้งในการตัดเท่ากัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากปัจจัยอื่นๆ คือ ปริมาณคาร์บอนในเหล็กแต่ละชนิด ความเรียบผิวพUNCHเริ่มต้น มุมยอดผิวของพUNCH และความยากง่ายในการเกิดการกัดกร่อนที่ผิว
2. พUNCHที่ทำมาจากเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่า ความเรียบผิวดีกว่า และมุมยอดผิวกว้างกว่า จะเกิดการสึกหรอน้อยกว่า
3. การสึกหรอจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการตัด และจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้าลงหลังจากจำนวนครั้งในการตัดเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบการสึกหรอที่เปลี่ยนแปลงไป
4. การสึกหรอที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ขอบตัดชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพลดลง นั่นคือ ส่วนโค้งมน ครีบ และระยะการฉีกขาดมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ส่วนเรียบตรงมีขนาดเล็กลง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

1. Fang, N., et al, 2002, "Finite Element Simulation of the Effect of Clearance on the Forming Quality in the Blanking Process", *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 122, pp. 249-254.
2. Maiti, S.K., et al, 2000, "Assessment of Influences of Some Process Parameter on Sheet Metal Blanking", *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 102, pp. 249-256.
3. โกสิทธ์ มงคลภิญโญกุล, 2544, "การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดวัสดุที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง", *รายงานการประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15*, 28-30 พฤศจิกายน 2544, หน้า MM156-159.
4. Luo, S. Y., 1997, "Studies on The Wear Conditions and The Sheared Edges in Punching", *Journal of Wear*, Vol. 28, pp. 81-90.
5. Nilsson, B., 1984, "Punching in Stainless Steel Plate", *Uddeholm Tooling AB, Research and Development*, Sweden, pp. 1-9.

6. Lange, K., 1985, "Blanking and Piercing Process", *Handbook of Metal Forming*, Mc Graw-Hill, New York, pp. (24.8)-(24.13).
7. Schey, J. A., 1984, *Tribology in Metalworking*, The American Society for Metals, U.S.A., pp. 1-5.
8. Maeda, T. and Aoki, I., 1974, *Journal of Faculty of Engineering, University of Tokyo*, Vol. 32, pp. 443-475.
9. Koji, K. and Koshi, A., 1999, "Wear Mechanisms", *Modern Tribology Handbook*, Mc Graw-Hill, New York, pp. 273-299.
10. Bhushan, B., 1999, "Wear", *Principles and Application of Tribology*, John Wiley & Son, New York, pp. 479-535.
11. Bhushan, B. and Gupta, B. K., 1991, "Friction Wear and Lubricant", *Handbook of Tribology*, New York, Mc Graw-Hill, pp. (2.26)-(2.28).
12. Stoloarski, T. A., 2000, "Basic Principles of Tribology", *Tribology in Machine Design*, Butterworth Heinmann, London, pp. 19-23.
13. Pugh, B., 1973, *Friction and Wear*, Butterworth & Co., New York, pp. 141-153.