



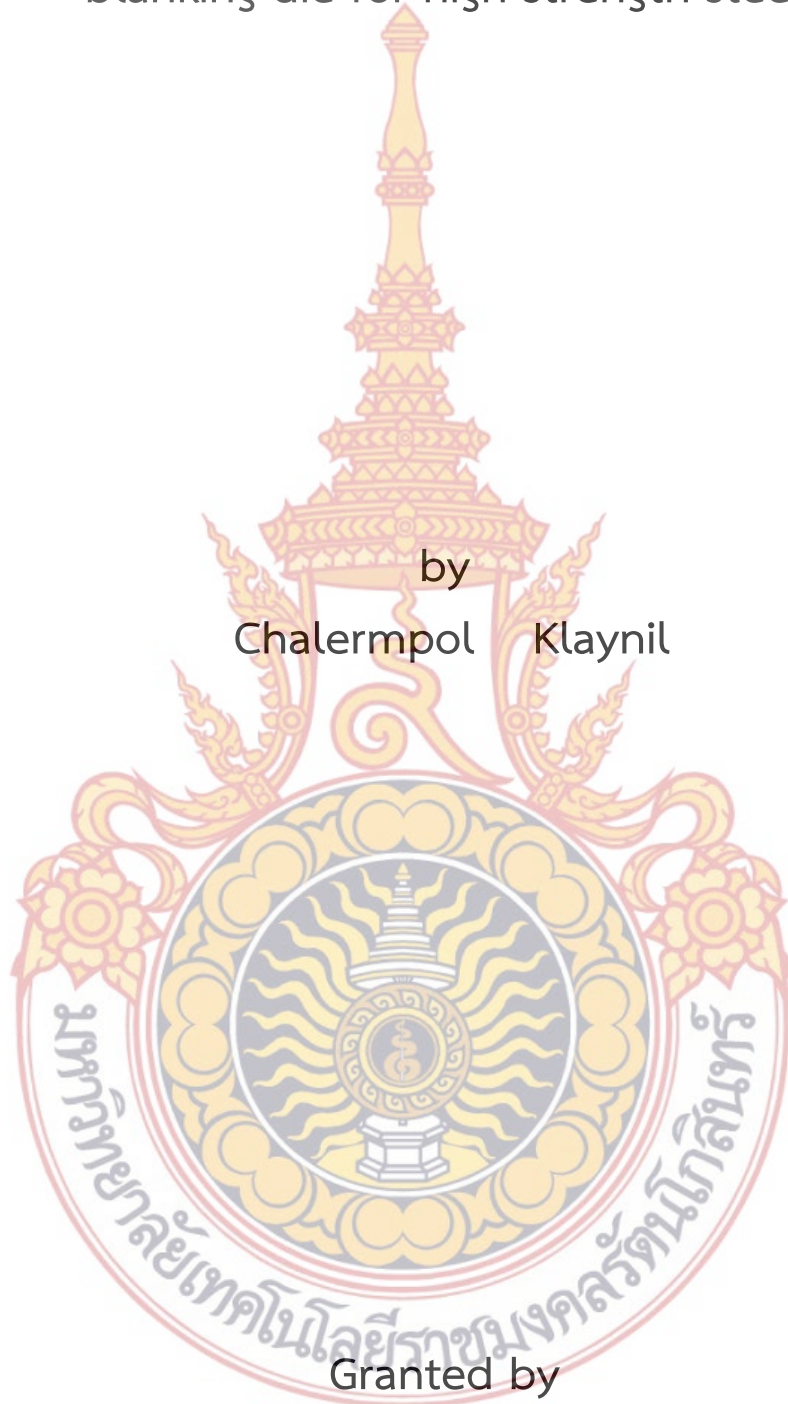
อิทธิพลของระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่มีผลต่อ
พฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์สำหรับ
การตัดเหล็กกล้าความแข็งแรง

โดย
เฉลิมพล คล้ายนิล

สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2558

Influence of cutting clearance on wear behavior of
blanking die for high strength steel

by
Chalernpol Klaynil



Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal Year 2015

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่องอิทธิพลของระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์สำหรับการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรง ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณประจำปี พ.ศ.2558 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้ให้การส่งเสริมและสนับสนุนในการทำวิจัย เนื่องจากงานวิจัยเป็นภารกิจหลักสำคัญของอาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าอาจารย์ทุกท่านจะเล็งเห็นถึงความสำคัญของการทำวิจัยต่อไปในอนาคต

เฉลิมพล คล้ายนิล

ตุลาคม 2558



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A-34 / 2558

ชื่อโครงการ : อิทธิพลของระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์
สำหรับการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรง

ชื่อนักวิจัย : นายเฉลิมพล คล้ายนิล

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของระยะช่องว่างคมตัดที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ สำหรับการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง โดยพื้นที่ทำมาจากวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKS3 กำหนดให้ค่าความแข็งคือ 60 ± 2 HRC ค่าระยะช่องว่างคมตัดแตกต่างกัน 4 ระดับคือ 7%, 10%, 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน และทำการทดลองตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS G3113 เกรด SAPH440 ความหนา 1.6 มิลลิเมตร เป็นรูปแผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตรวจสอบผลการสึกหรอด้านข้างและด้านหน้า ซึ่งน้ำหนักของพื้นที่เปลี่ยนแปลงไป และศึกษาคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน ผลการทดลองพบว่าแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัดน้อยที่สุดคือ 7% ของความหนาชิ้นงาน จะเกิดการสึกหรอมากที่สุด รองลงมาคือ 10%, 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน ตามลำดับ การสึกหรอของพื้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขอบตัดชิ้นงานในลักษณะเหมือนกัน คือส่งผลให้ส่วนโค้งมน รอยฉีกขาด และครีบบมีขนาดเพิ่มสูงขึ้น ส่วนรอยตัดเฉือนลดลง

คำสำคัญ: ช่องว่างระหว่างคมตัด, เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง, การสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด,
คุณภาพขอบตัดชิ้นงาน

E-mail Address: chalernpol.kla@rmutr.ac.th และ chalernpol1@hotmail.com

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2557 ถึง กันยายน 2558

Abstract

Code of project: A-34 / 2558

Project name: Influence of cutting clearance on wear behavior of blanking die for high strength steel

Researcher name: Chalernmpol Klaynil

The objective of this research was to study the influence of cutting clearance on wear behavior of blanking die for high strength steel. Punch material tool steel JIS SKS3, was specified for the hardness of 60 ± 2 HRC. Four different clearances between punch and die were 7%, 10%, 13% and 16% of workpiece thickness (t). The high strength steel, JIS G3113 SAPH440 steel strip with thickness of 1.6 mm was experimented. The strip was blanked into circular shapes of 25 mm in diameter. The measurement of flank wear and face wear, weighting and cutting edge quality were studied. The result of the experiments found that the cutting clearance at 7%t had the highest wear, 10%t, 13%t and 16%t had the lowest wear rate respectively. Wear of blanking die which affected on cutting edge quality had the same results, which were die roll, fracture surface and burr were increased while shear surface was decreased.

Keyword: Cutting clearance, High strength steel, Wear of blanking die, Cutting edge

E-mail Address: chalernmpol.kla@rmutr.ac.th and chalernmpol1@hotmail.com

Period of project: September 2014 to October 2015

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
3. ขอบเขตของงานวิจัย	2
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1. งานตัดโลหะแผ่น (Blanking Process)	3
2. การสีกรรอกของฟันซี่ในงานตัดโลหะแผ่น	11
3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสีกรรอกของแม่พิมพ์ตัด	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	19
1. วิธีการดำเนินงานวิจัย	19
2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วิจัย	19
3. วัสดุแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลอง	22
4. วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง	22
5. การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ตัด	23
6. การบันทึกข้อมูล	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	32
1. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	32
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	47
1. สรุปผลงานวิจัย	47
2. ข้อเสนอแนะ	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก ก. รายละเอียดการบันทึกผลการทดลอง	50
ภาคผนวก ข. รายละเอียดของวัสดุทำฟันซ์	59
ประวัติผู้วิจัย	65



สารบัญตาราง

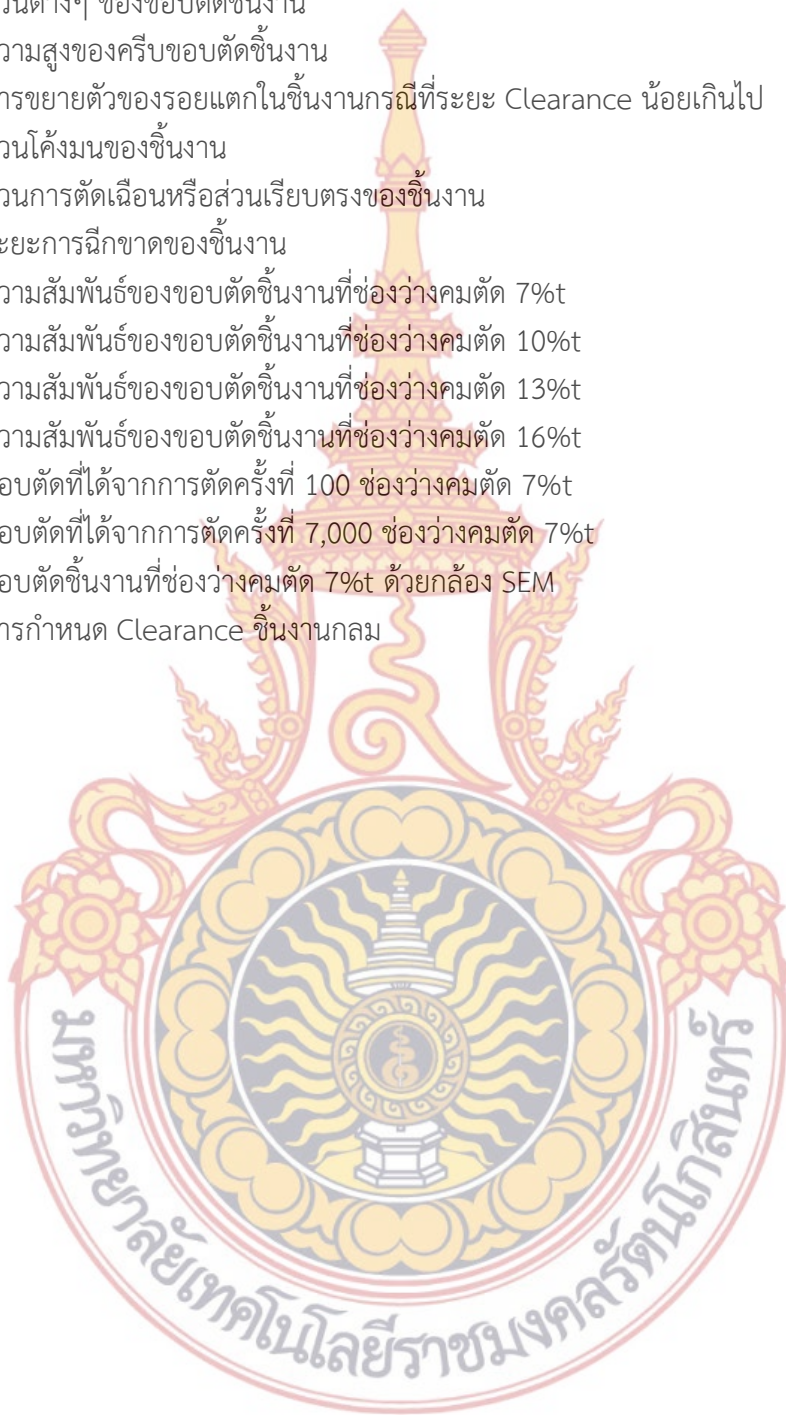
ตารางที่	หน้า	
2.1	แรงปลดที่จะหาได้จากปอร์เซ็นต์ของการตัด	7
2.2	ระยะ Clearance ที่เหมาะสม และความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุชนิดต่างๆ	8
3.1	เงื่อนไขการทดลอง	19
3.2	สมรรถนะของเครื่องปั๊มแบบเพลลาข้อเหวี่ยง	21
3.3	องค์ประกอบทางเคมีเหล็กกล้า SAPH440	23
3.4	ตัวอย่างตารางบันทึกการสึกหรอของฟันซ์	30
3.5	ตัวอย่างตารางบันทึก การตรวจวัดคุณภาพของข้อตัดชิ้นงาน	31
4.1	ผลการวัดค่าของความเรียบผิว (Ra) ด้านข้างของฟันซ์	46
ก.1	ตารางบันทึกผลระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ (Flak Wear)	51
ก.2	ตารางบันทึกผลระยะการสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์ (Face Wear)	52
ก.3	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของฟันซ์	53
ก.4	เปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักฟันซ์	54
ก.5	ความสูงของครีปที่ข้อตัดชิ้นงาน	55
ก.6	ความสูงของระยะการฉีกขาดที่ข้อตัดชิ้นงาน	56
ก.7	ความสูงของส่วนเรียบตรง	57
ก.8	ความสูงของส่วนโค้งมน	58
ข.1	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKS 3	60
ข.2	ช่องว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมกับวัสดุที่แตกต่างกัน	61



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กระบวนการตัดโลหะแผ่น	3
2.2	พฤติกรรมตัดโลหะแผ่น	4
2.3	แรงในการตัดเฉือน	5
2.4	ทิศทางการเค้นในการตัดโลหะ	6
2.5	ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสม	9
2.6	ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มากเกินไป	9
2.7	ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่น้อยเกินไป	10
2.8	ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่ตำแหน่งของฟันซ์และตายเยื้องศูนย์กลางกัน	10
2.9	ลักษณะรอยแตกในแบบต่างๆ ตามขนาดระยะช่องว่างแม่พิมพ์	11
2.10	ตำแหน่งการสึกหรอของฟันซ์และตาย	11
2.11	ลักษณะการสึกหรอแบบเชื่อมหรือยึดติดกัน	12
2.12	ลักษณะการสึกหรอแบบการขีดถูหรือขีดข่วน	13
2.13	ลักษณะการสึกหรอที่เกิดจากการล่าตัว	13
2.14	ชนิดของแนวโน้มการสึกหรอ	15
3.1	ฟันซ์ที่ใช้ในงานวิจัยทำจากวัสดุ JIS SKS 3	20
3.2	เครื่องปั๊มชิ้นงานแบบเพลลาข้อเหวี่ยง	20
3.3	กล้องจุลทรรศน์แบบส่องแสง (Optical Microscope)	21
3.4	เครื่องชั่งน้ำหนัก	22
3.5	แม่พิมพ์ตัดที่ได้จากการออกแบบ	24
3.6	การกำหนดช่องว่างคมตัดชิ้นงานกลม	24
3.7	ลักษณะของชุดตายเซ็ท	26
3.8	ลักษณะแผ่นยึดฟันซ์ (Punch Holder Plate)	27
3.9	ลักษณะของแผ่นยึดตาย (Die Holder Plate)	27
3.10	แผ่นปลดชิ้นงาน (Stripper Plate)	28
3.11	สปริงที่ใช้ในการทดลอง	28
3.12	ลักษณะคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน	29
4.1	การวัดระยะการสึกหรอบริเวณของคมตัดฟันซ์	32
4.2	การสึกหรอด้านข้างของฟันซ์	33
4.3	การสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์	33
4.4	การสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ช่องว่างคมตัด 7%	35
4.5	การสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ช่องว่างคมตัด 10%	35
4.6	การสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ช่องว่างคมตัด 13%	36

4.7	การสีกรหรือด้านข้างของพันธ์ช่องว่างคมตัด 16%t	36
4.8	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพันธ์	37
4.9	ส่วนต่างๆ ของขอบตัดขึ้นงาน	38
4.10	ความสูงของครีบขอบตัดขึ้นงาน	39
4.11	การขยายตัวของรอยแตกในขึ้นงานกรณีทีระยะ Clearance น้อยเกินไป	39
4.12	ส่วนโค้งมนของขึ้นงาน	40
4.13	ส่วนการตัดเฉือนหรือส่วนเรียบตรงของขึ้นงาน	41
4.14	ระยะการฉีกขาดของขึ้นงาน	42
4.15	ความสัมพันธ์ของขอบตัดขึ้นงานทีช่องว่างคมตัด 7%t	43
4.16	ความสัมพันธ์ของขอบตัดขึ้นงานทีช่องว่างคมตัด 10%t	43
4.17	ความสัมพันธ์ของขอบตัดขึ้นงานทีช่องว่างคมตัด 13%t	44
4.18	ความสัมพันธ์ของขอบตัดขึ้นงานทีช่องว่างคมตัด 16%t	44
4.19	ขอบตัดทีได้จากการตัดครั้งที 100 ช่องว่างคมตัด 7%t	45
4.20	ขอบตัดทีได้จากการตัดครั้งที 7,000 ช่องว่างคมตัด 7%t	45
4.21	ขอบตัดขึ้นงานทีช่องว่างคมตัด 7%t ด้วยกล้อง SEM	46
๗.1	การกำหนด Clearance ขึ้นงานกลม	63



บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (High strength steel) ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์มากขึ้นแทนเหล็กกล้าทั่วไป เพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้าง รถ โดยยังคงขนาดความหนาเดิมแต่วัสดุมีความแข็งแรงสูงขึ้น เช่น ชิ้นส่วนคานกันชนหน้าของรถยนต์ คานประตูด้านข้าง เป็นต้น แต่ปัญหาที่ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์พบ คือเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเป็น วัตถุดิบที่มีความแข็ง ขึ้นรูปยาก ส่งผลให้แม่พิมพ์เกิดการสึกหรอเร็วขึ้น ซึ่งกระบวนการตัดเฉือนและ เจาะรูวัสดุเป็นกระบวนการที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย การบ่มตัดขึ้นรูปส่วนใหญ่เป็นกระบวนการที่ต้อง อาศัยการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุ ขอบตัดของชิ้นงานประกอบด้วยส่วนที่เกิดการเปลี่ยนรูปร่าง อย่างถาวรและส่วนที่เกิดการตัดเฉือน ซึ่งเกิดขึ้นภายในบริเวณแคบมากๆ คมตัดของแม่พิมพ์อยู่ภายใต้ เงื่อนไขการทำงานที่รุนแรง [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีชิ้นงานที่ตัดเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงก็จะ เกิดการสึกหรอบนคมตัดอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เมื่อแม่พิมพ์ตัดเกิดการสึกหรอ ส่งผลให้ชิ้นงานที่ได้มี คุณภาพแย่ง ความเที่ยงตรงของขนาดลดลง และทำให้เกิดครีบ (Burr) บนขอบตัดสูงมากขึ้น จนไม่ สามารถนำไปใช้งานได้ นอกจากการเลือกใช้วัสดุในการทำแม่พิมพ์ที่ดีแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการ ออกแบบแม่พิมพ์ที่ถูกต้องเหมาะสมกับปริมาณการผลิต เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและช่วยยืดอายุ การใช้งานของแม่พิมพ์ ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนในการผลิต โดยในการออกแบบและการเลือกใช้ระยะ ช่องว่างคมตัดของแม่พิมพ์มีความสำคัญมาก เพราะมีผลต่อการสึกหรอและคุณภาพของชิ้นงานที่ได้

จากเหตุผลและปัญหาการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดสามารถลดลงได้ถ้ามีการออกแบบแม่พิมพ์ที่ ถูกต้องและเหมาะสมกับปริมาณการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาอิทธิพล ของระยะช่องว่างคมตัดระหว่างพUNCH และตาย (Die) ที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอ โดย การใช้เหล็กกล้าเครื่องมือผ่านกระบวนการชุบแข็งและอบคืนตัวมาทำเป็นพUNCHของแม่พิมพ์ และการ ทดลองด้วยพUNCHดังกล่าวตัดชิ้นงานวัสดุเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เป็นวัสดุที่นิยมผลิตชิ้นส่วนยาน ยนต์ในปัจจุบัน แล้วทำการบันทึกผลการสึกหรอของแม่พิมพ์ ควบคู่กับคุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด ทั้งนี้เพื่อลดการสึกหรอของชุดคมตัดแม่พิมพ์ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพงาน และอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ รวมถึงต้นทุนการผลิต

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของช่องว่างคมตัดระหว่างพUNCHและตายที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอ ของแม่พิมพ์และคุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน สำหรับการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรง
2. เพื่อประเมินอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ตัด เมื่อกำหนดค่าช่องว่างคมตัดระหว่างพUNCHและ ตาย (Clearance) ที่ระดับต่างๆ กัน

3. ขอบเขตของโครงการ

1. พันธ์ทดสอบทำจากเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นมาตรฐาน JIS เกรด SKS3 ผ่านการอบชุบที่ระดับความแข็งประมาณ 60 ± 2 HRC
2. กำหนดช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตายแตกต่างกัน 4 ระดับคือ 7%, 10%, 13% และ 16% ของความหนาวัสดุ
3. ทดลองตัดชิ้นงานวัสดุเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงมาตรฐาน JIS G3113 เกรด SAPH440 ความหนา 1.6 มิลลิเมตร
4. เครื่องเพรสแบบเพลลาข้อเหวี่ยง ขนาด 60 ตัน ความเร็วในการตัดคงที่เท่ากับ 30 มิลลิเมตร/วินาที
5. ไม่ใช้สารหล่อลื่นในการทดลอง

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงอิทธิพลของช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตายที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอสำหรับการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรง
2. สามารถประเมินอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ตัดเมื่อกำหนดค่าช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตาย (Clearance) ที่ระดับต่างๆ กัน
3. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ตัดที่เหมาะสม

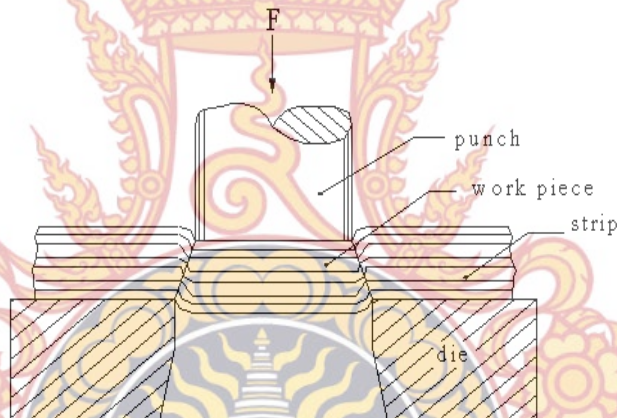


บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานตัดโลหะแผ่น (Blanking Process)

1.1 การวิเคราะห์งานตัดโลหะแผ่น

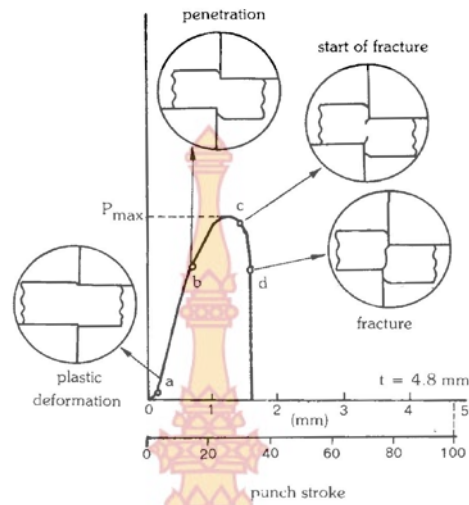
การตัดโลหะจะใช้พลังกดลงบนชิ้นงานทำให้เกิดความเค้นในเนื้อวัสดุเมื่อความเค้นเกินค่าความแข็งแรงสูงสุดของชิ้นงาน (Ultimate Tensile Strength) ซึ่งจะทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกัน ในการตัดโลหะแผ่นแรงที่ให้แก่พUNCH และตาย (Die) เพื่อใช้ในการตัดโลหะเรียกว่าแรงเฉือน (Shear Force) แรงนี้จะมีขนาดเท่ากันและอยู่ตรงข้ามกันโดยมีช่องว่างเล็กๆ อยู่ขึ้นกลางระหว่างแรงทั้งสอง เมื่อมีแรงมากกระทำต่อโลหะจะทำให้เกิดความเค้นเฉือน (Shear Stress) เกิดขึ้นบนโลหะแผ่น แต่ในโลหะแผ่นจะมีแรงต้านแรงเฉือนเกิดขึ้น เรียกว่าความแข็งแรงเฉือน (Shear Strength) ถ้าให้แรงเฉือนมีขนาดมากพอที่จะทำให้เกิดความเค้นเฉือนมากกว่าความแข็งแรงเฉือนของโลหะนั้นก็จะทำให้โลหะแผ่นขาดออกจากกัน ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการตัดโลหะแผ่น [2]

1.2 หลักการของงานตัดโลหะแผ่น

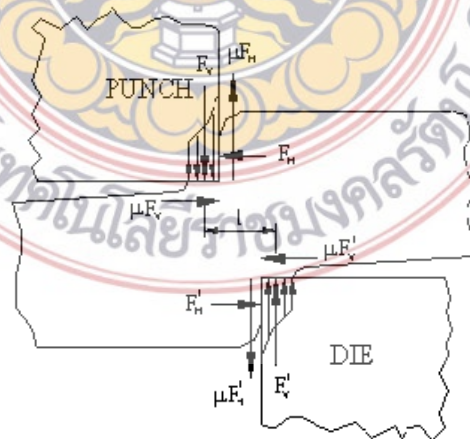
ในการตัดโลหะด้วยแม่พิมพ์เครื่องปั๊มโลหะจะให้แรงส่งผ่านมายังพUNCH เพื่อที่กดชิ้นงานให้ทะลุลงไปในตายภายหลังจากการตัดวัสดุให้ขาดออกจากกันทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างเหมือนกับพUNCH หรือตายขั้นตอนในการตัดเริ่มจากการที่พUNCH กดลงบนโลหะและพาเนื้อโลหะเข้าไปในช่องห่างของตายจนเลยจุดขีดจำกัดของความยืดหยุ่น (Elastic Limit) ของโลหะช่วงนี้ผิวด้านล่างของเนื้อโลหะเริ่มไหลเข้าไปในตายและผิวทางด้านบนถูกพUNCH กดลงเมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น พUNCH เจาะเข้าไปในเนื้อโลหะโดยความลึกของส่วนที่ถูกกดทางผิวด้านบนเท่ากับส่วนที่ถูกกดลงในตายทางผิวด้านล่างเมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นจนเลยจุดความแข็งแรงสูงสุดของโลหะโลหะฉีกขาดออกจากกันรายละเอียดของขั้นตอนในการตัดดังภาพที่ 2.2 และระยะที่พUNCH กดเข้าไปในเนื้อโลหะก่อนที่โลหะขาดออกจากกันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับความหนาของของโลหะ [2]



ภาพที่ 2.2 พฤติกรรมตัดโลหะแผ่น [2]

- จากภาพที่ 2.2 จุด a พันช์เริ่มกดลงบนเนื้อโลหะ
 จุด b พันช์เพิ่มแรงกดลงบนเนื้อโลหะ
 จุด c โลหะเริ่มฉีกตัว
 จุด d การฉีกของโลหะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

การฉีกขาดของโลหะดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับช่องว่างระหว่างพันช์ (Punch) และตาย (Die) กรณีช่องว่างมากไปหรือน้อยไปทำให้แรงที่มากกระทำต่อพันช์และตายทำให้เกิดการสึกหรอเร็ว นอกจากนี้ยังทำให้รอยฉีกขาดไม่เรียบอีกด้วย ตำราบางเล่มแบ่งเป็นสามขั้นตอนในขบวนการกดตัดของพันช์และตายแต่ยังคงใช้หลักการเดียวกันเมื่อพันช์ตัดทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุจะเกิดการเฉือนขึ้นที่จุดๆนั้นแรงเฉือน F_{max} (Maximum Force) ที่ใช้ตัดวัสดุให้ขาดออกจากกันจึงต้องมากกว่าความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุ (Material Resistance to Shear) แต่ละชนิด ดังแสดงลักษณะแรงที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัด ดังภาพที่ 2.3

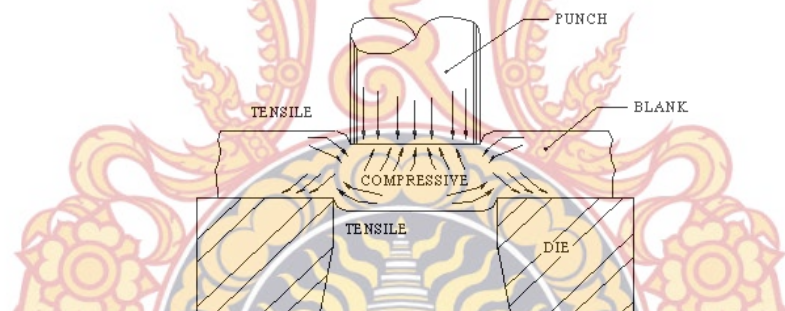


ภาพที่ 2.3 แรงในการตัดเฉือน [3]

จากภาพที่ 2.3 พบว่าแรงในการตัดเฉือนแรง F_V และ F_V' กระทำห่างออกมาจากคมตัดเล็กน้อยซึ่งเกิดจากการที่ความเค้นกดในบริเวณใกล้คมตัดกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ แรงที่กระทำห่างกันเป็นระยะ L ทำให้เกิดโมเมนต์ซึ่งพยายามตัดหรือเอียงชิ้นงานจึงทำให้เกิดโมเมนต์ปฏิกิริยาขึ้นในทิศตรงกันข้ามซึ่งเป็นผลมาจากการตัดและความเค้นตั้งฉากในแนวระดับบนชิ้นงานรวมถึงพื้นที่กับตายความเค้นในแนวตั้งขนานกับแนวระดับสามารถแทนด้วยแรงลัพธ์ F_H และ F_H' นอกจากนั้นยังมีแรงในแนวระดับเกิดขึ้นเมื่อพื้นที่และตายมีมุมที่ขอบไม่เท่ากับ 90° องศาหรือเมื่อผิวรอยตัดไม่ตั้งฉากกับระนาบของโลหะแผ่นนอกจากแรง F_V , F_V' , F_H และ F_H' แล้วยังมีแรงเสียดทานกระทำกับพื้นที่และตายอีกด้วยแรงในแนวระดับ F_H และ F_H' ทำให้เกิดแรงเสียดทานบนผิวด้านข้างของพื้นที่และตายนั่นคือ μF_H และ $\mu F_H'$ แรงตัดเฉือนซึ่งทำให้วัสดุเลื่อนไปบนผิวของพื้นที่และตายทำให้เกิดแรงเสียดทาน μF_V และ $\mu F_V'$

1.3 แรงที่ใช้ในการตัด (Blanking Force)

แรงตัดเฉือน (Cutting Force) คือแรงที่ใช้ในการดันพื้นที่ให้ทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุถ้าแม่พิมพ์ชุดหนึ่งใช้พื้นที่หลายตัวในเวลาเดียวกันแรงตัดก็จะเพิ่มขึ้นโดยรวมจากจำนวนของพื้นที่แต่ละตัวที่ใช้สำหรับงานแม่พิมพ์ตัดทั่วไป แรงตัดเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้เครื่องเพรส



ภาพที่ 2.4 ทิศทางความเค้นในการตัดโลหะ [4]

แรงในการตัดเฉือนจะขึ้นอยู่กับพื้นฐานการคำนวณแรงตัดโลหะคือ ผลคูณความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุ พื้นที่ขอบตัดและความหนาโดยพื้นที่ขอบตัดสามารถหาได้จากผลคูณความยาวขอบตัดกับความหนาชิ้นงานค่าแรงเฉือน F_S ที่ต้องการใช้ในการตัดวัสดุเมื่อผิวหน้าตัดของพื้นที่และตายมีลักษณะเรียบ คือไม่มีการเอียงคมตัดซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ในกรณีงานไม่สมมาตรและ 2 กรณีงานทรงกลม

$$F_B = k_S \cdot l_B \cdot t \quad \text{[นิวตัน] ใช้ในการตัดรูปทรงใดๆ} \quad (1)$$

$$F_P = k_B \cdot \pi \cdot d \cdot t \quad \text{[นิวตัน] ใช้ในการตัดรูปวงกลม} \quad (2)$$

เมื่อ

$$F_B = \text{แรงที่ต้องการใช้ในการตัด [ตัน]}$$

$$k_S = \text{ความต้านแรงเฉือนของวัสดุ [กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร]}$$

l_s	=	ความยาวของขอบตัดเส้นรอบรูป [มิลลิเมตร]
d	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน [มิลลิเมตร]
t	=	ความหนาของวัสดุ [มิลลิเมตร]

ในขณะที่ตัดชิ้นงานวัสดุจะบีบรัดรอบตัวพันธเนื่องจากเกิดการติดตัวกลับ เนื่องจากสมบัติของวัสดุส่วนที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างในช่วงยืดหยุ่น เมื่อเกิดการเสียดสีกันระหว่างชิ้นงานกับพันธและมีความร้อนเนื่องมาจากการทำงานอย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดการเชื่อมติดกันระหว่างเนื้อวัสดุกับผิวพันธ ซึ่งการเชื่อมติดดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการสึกหรอได้ การป้องกันการบีบรัดพันธจึงจำเป็นต้องใช้แผ่นปลดชิ้นงาน แผ่นปลดชิ้นงานทำหน้าที่ในการกดชิ้นงานก่อนที่พันธจะตัดทำให้วัสดุที่ถูกจับยึดไว้ไม่เสียหายทำให้การสึกหรอของพันธ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสึกหรอด้านข้างลดลงด้วยเช่นกันซึ่งแรงให้กับแผ่นปลดชิ้นงานนั้นได้มาจากสปริงเรียกว่าแรงปลดชิ้นงาน (Stripping Force) ซึ่งต้องผ่านการคำนวณอย่างเหมาะสม ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แรงปลดที่จะหาได้จากเปอร์เซ็นต์ของการตัด

ความหนาชิ้นงาน	ค่าที่ใช้ในการปลด (เปอร์เซ็นต์)
น้อยกว่า 1 mm	6 เปอร์เซ็นต์
1 - 1.6 mm	8 เปอร์เซ็นต์
1.6 - 2.5 mm	10 เปอร์เซ็นต์
2.5 - 4 mm	12.5 เปอร์เซ็นต์

คือ

$$F_s = \text{เปอร์เซ็นต์แรงปลดที่ใช้} \times \text{แรงตัด} \quad (3)$$

เมื่อ

$$F_s = \text{แรงปลดชิ้นงานที่ต้องการใช้ในกระบวนการตัด [N]}$$

ในกรณีที่มีพันธหลายตัวในแม่พิมพ์ชุดเดียวกันแรงปลดชิ้นงานก็คือผลรวมของแรงปลดชิ้นงานสำหรับพันธแต่ละอัน หลักการนี้จะจริงเสมอแม้ว่าพันธจะตัดเจาะพร้อมกันหรือไม่ก็ตาม [5]

1.4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์ตัด

1.4.1 การคำนวณค่าช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ (Clearance)

การกำหนดช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญมากเนื่องจากคุณภาพของขอบตัดที่จะนำไปใช้งานนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะ Clearance ซึ่งการที่จะกำหนดขนาดของ Clearance นั้นจะต้องพิจารณาถึงชนิดของวัสดุรวมถึงความแข็ง-อ่อนของวัสดุ ดังตารางที่ 2.2 ถ้ากำหนด Clearance ไม่เหมาะสมส่งผลให้ลักษณะขอบของชิ้นงานที่ได้ออกมาไม่ดีและขนาดของชิ้นงานอาจไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ แต่ถ้าใช้ Clearance น้อยเกินไปทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างคมตัดกับชิ้นงานทำให้ความเค้นบริเวณดังกล่าวมีค่าสูงมาก ส่งผลให้การสึกหรอของพันธบริเวณคมตัด

เกิดขึ้นเร็วกว่า ในกรณีที่ Clearance กว้าง เมื่อการสึกหรอเกิดขึ้นทำให้ระยะ Clearance กว้างขึ้น ชิ้นงานก็จะไม่ได้ตามขนาดที่กำหนดไว้

ตารางที่ 2.2 ระยะ Clearance ที่เหมาะสม และความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุชนิดต่างๆ

วัสดุ	ระยะเคลียร์เรนซ์ (ข้างเดียว) (% t)	ความต้านทานแรงเฉือน (kgf/mm ²)
เหล็ก (Iron)	6-9	25-32
เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel)	6-9	32-40
เหล็กกล้าแข็ง (Hard Steel)	8-12	55-90
เหล็กกล้าผสมซิลิคอน (Silicon Shteel)	7-11	45-56
เหล็กไร้สนิม (Stainless Steel)	7-11	52-56
ทองแดง (แข็ง)	6-10	25-30
ทองแดง (อ่อน)	6-10	18-22
ทองเหลือง (แข็ง)	6-10	35-40
ทองเหลือง (อ่อน)	6-10	22-30
บรอนซ์ (Phosphor Bronze)	6-10	50
โลหะผสมเงิน-นิกเกิล (Albata)	6-10	44
อะลูมิเนียม (แข็ง)	6-10	13-18
อะลูมิเนียม (อ่อน)	5-8	7-11
อะลูมิเนียมผสม (แข็ง)	6-10	38
อะลูมิเนียมผสม (อ่อน)	6-10	22
ตะกั่ว (Lead)	6-9	2-3
เหล็กกล้าผสมนิกเกิล (permalloy)	5-8	52

การตัดแผ่นเปล่าในกระบวนการ Blanking นั้นเป็นกระบวนการตัดที่นำเศษออกมานำไปใช้งานจากนั้นทำการกำหนดขนาดของตายให้เหมาะกับขนาดของชิ้นงานและสามารถคำนวณช่องว่างแม่พิมพ์ได้

$$\text{คือ} \quad D_p = D_D - 2C \quad (4)$$

กำหนด

$$D_p = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของพินซ์}$$

$$D_D = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของตาย}$$

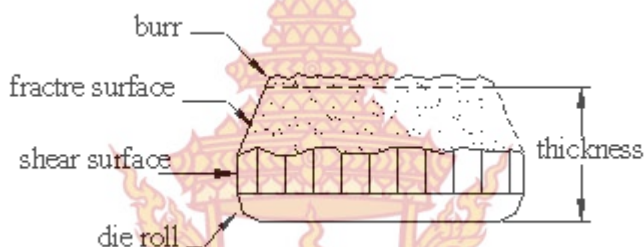
$$C = \text{ช่องว่างระหว่างพินซ์กับตาย}$$

1.4.2 อิทธิพลของแรงปลดชิ้นงาน (Effects of Stripping a Force)

แรงปลดชิ้นงานโดยทั่วๆ ไปจะใช้ในการดันปลดให้แผ่นชิ้นงานที่ติดอยู่บริเวณพื้นที่ให้หลุดออกโดยจะมีค่าที่เหมาะสมจะมีค่าประมาณร้อยละ 15-20 ของแรงตัดชิ้นงาน

1. กรณีที่ช่องว่างแม่พิมพ์พอดีหรือเหมาะสม (Optimum Clearance)

จากสภาวะในขั้นตอนแรกของการเปลี่ยนรูอย่างถาวรในระหว่างการตัดจะเกิดขอบโค้งมน (Die Roll) ขึ้นที่ขอบของชิ้นงานตัดรอยตัดเฉือน (Shear Surface) ซึ่งเป็นแนวตรงมีลักษณะเงามันเกิดจากสภาวะการตัดในขั้นตอนที่ 2 การกดลึก (Penetration) ความกว้างของรอยตัดจะมีขนาดประมาณ $1/3$ ของความหนาของวัสดุที่ตัดรอยแตกหรือรอยฉีกขาด (Fracture Surface) สม่ำเสมอและความสูงครีบ (Burr) น้อยลักษณะของชิ้นงานที่ได้ ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสม [4]

2. กรณีที่ช่องว่างแม่พิมพ์มากเกินไป (Excessive Clearance)

ผลที่เกิดจากการใช้ช่องว่างในการตัดระหว่างพื้นที่และตายมากเกินไปจากการเปรียบเทียบการใช้ระยะช่องว่างระหว่างพื้นที่และตายให้มากที่สุดเท่าที่จะทำการตัดวัสดุได้นั้นผลที่ได้จากปฏิบัติการตัดในครั้งแรกจะเหมือนกับการขึ้นรูปมากกว่าการตัดขอบโค้งมนของชิ้นงานจะใหญ่ และรอยตัดเฉือนแคบไม่ราบเรียบสม่ำเสมอมีรอยขรุขระ รอยฉีกขาดจะกว้าง และครีบที่เกิดจะสูงชิ้นงานที่ได้จากการตัด ดังภาพที่ 2.6

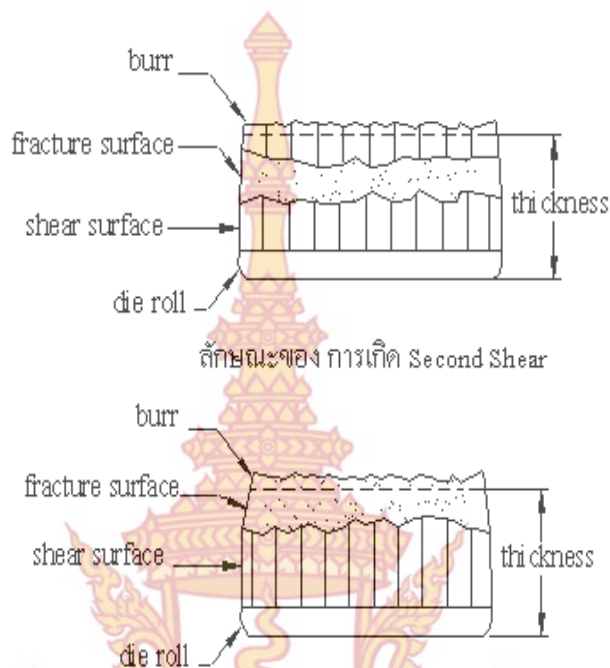


ภาพที่ 2.6 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มากเกินไป [4]

3. กรณีที่ช่องว่างแม่พิมพ์น้อยเกินไป (Insufficient Clearance)

ผลที่เกิดจากช่องว่างระหว่างพื้นที่และตายน้อยไปสภาพของรอยตัดเฉือนจะมีรอยกว้างและไม่สม่ำเสมอโดยอาจเกิดการตัดครั้งที่สอง (Second Shear) ขึ้นได้เนื่องจากมุมที่สูงชันมากเกินไป

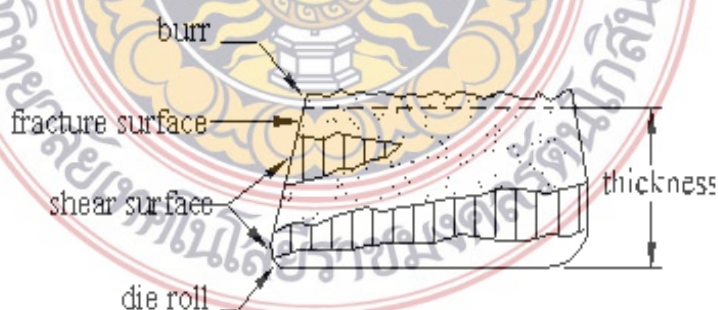
ระหว่างฟันซ์และตายเป็นอุปสรรคต่อการฉีกขาดของวัสดุเพิ่มมากขึ้นผลคือทำให้ใช้แรงกดในการฉีกของวัสดุในครั้งแรกมากกว่าการใช้คมตัดที่มีช่องว่างเหมาะสมซึ่งงานที่ได้จากการตัด ดังภาพที่ 2.7



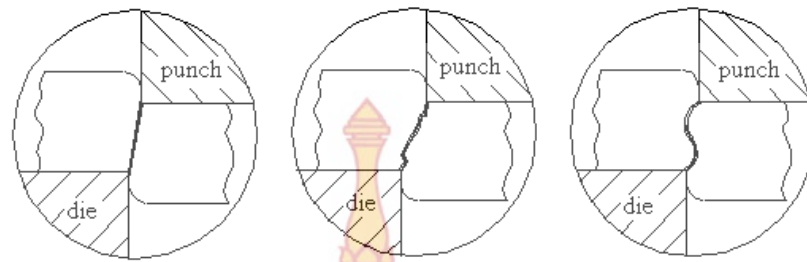
ภาพที่ 2.7 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่น้อยเกินไป [4]

4. กรณีที่ตำแหน่งฟันซ์และตายเอียงศูนย์กลาง (Eccentric Clearance)

จากตำแหน่งของฟันซ์และตายที่เอียงศูนย์กลางซึ่งกันและกันเกิดจากหลายสาเหตุทั้งจากเครื่องจักรที่ทำงานการประกอบแม่พิมพ์การจัดสร้างชิ้นส่วนแม่พิมพ์รวมถึงการประกอบแม่พิมพ์กับเครื่องเพรสด้วยจะส่งผลทำให้ฟันซ์และตายจะได้รับแรงกระทำไม่เท่ากันทุกจุดทำให้อายุการใช้งานของฟันซ์และตายสั้นลง ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่ตำแหน่งของฟันซ์และตายเอียงศูนย์กลาง [4]



A. ช่องว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสม B. ช่องว่างแม่พิมพ์ที่มากเกินไป C. ช่องว่างแม่พิมพ์ที่น้อยไป

ภาพที่ 2.9 ลักษณะรอยแตกในแบบต่างๆ ตามขนาดระยะช่องว่างแม่พิมพ์ [4]

จากภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะของการตัดที่ได้จากช่องว่างแม่พิมพ์ที่แตกต่างกันโดยช่องว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมรอยแตกจะวิ่งมาบรรจบกันพอดี ในกรณีที่รอยแตกขยายยาวออกไปแต่ไม่บรรจบกันและเกิดการแตกเหนือคมตัดมากแสดงว่าช่องว่างแม่พิมพ์มากเกินไป ในกรณีที่ช่องว่างแม่พิมพ์น้อยเกินไปทำให้เกิดการตัดครั้งที่สองขึ้นขึ้นงานที่ได้จากการตัดจะดีหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับช่องว่างแม่พิมพ์ (Clearance) ระหว่างฟันซ์และตายถ้าระยะช่องว่างมากไปหรือน้อยไปทำให้ชิ้นงานเกิดรอยฉีกไม่เรียบ เกิดครีบสูงและทำให้เพิ่มแรงที่ใช้ในการตัด ส่งผลให้เกิดการสึกหรอเร็วขึ้นซึ่งระยะช่องว่างของแม่พิมพ์ตัดที่เหมาะสมกับการตัดวัสดุต่างๆ

2. การสึกหรอของฟันซ์ในงานตัดโลหะแผ่น

การสึกหรอเกิดจากการแยกหลุดตัวของอนุภาคเล็กๆ ของฟันซ์เมื่อเกิดการกระทำทางกลหรือทางเคมีโดยพฤติกรรมการสึกหรอของวัสดุนี้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญๆ เช่นการสัมผัสกันลักษณะการเคลื่อนไหวและการรับภาระในการทำงานการสึกหรอที่เกิดขึ้นในงานตัดจะเกิดขึ้นในสองจุดที่สำคัญคือบริเวณฟันซ์และตายตำแหน่งการสึกหรอแบ่งได้ 4 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 2.10 โดยการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับฟันซ์และตายมี 4 ตำแหน่งคือ



ภาพที่ 2.10 ตำแหน่งการสึกหรอของฟันซ์และตาย [5]

- การสึกหรอด้านข้างแม่พิมพ์ (Flank Wear) จะเกิดตามแนวยาวของฟันซ์หรือเป็นพื้นที่การสึกหรอบริเวณด้านข้างของฟันซ์ ซึ่งมีความสำคัญเพราะจะมีผลต่อขนาดชิ้นงานสำเร็จถ้าเกิดการสึก

หรงที่บริเวณด้านข้างขึ้นจะทำให้ขนาดคมตัดของฟันเปลี่ยนไป และจะมีผลทำให้ช่องว่างแม่พิมพ์เปลี่ยนไปด้วย

- การสึกหรอบริเวณมุมหรือคมตัดฟัน (Edge Wear) จะเกิดขึ้นก่อนการเกิดการสึกหรอ ด้านข้างซึ่งจะมีผลต่อการเกิดครีบบนชิ้นงานเพราะถ้าคมตัดเกิดการสึกหรอชิ้นงานที่ได้จากการตัดจะเกิดครีบสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่อทำการตัดไปจำนวนครั้งมากๆ

- การสึกหรอด้านหน้าแม่พิมพ์ (Face Wear) เกิดจากการกระแทกซ้ำๆกับชิ้นงานซึ่งจะทำให้เกิดความล้าขึ้น และจะมีผลมากเมื่อมีการตัดชิ้นงานจำนวนมากๆ

- การสึกหรอแบบเป็นหลุม (Crater Wear) เกิดจากการสึกหรอในลักษณะการขูดขีดหรือขีด ข่วนและการสึกหรอแบบยึดติดจึงทำให้ต้องใช้แรงตัดเพิ่มขึ้นกว่าปกติโดยการสึกหรอจะเกิดในบริเวณ คมตัดลักษณะวิ่งเข้าสู่ศูนย์กลางของฟัน

2.1 การสึกหรอที่เกิดขึ้นกับฟันเกิดได้ 6 ลักษณะคือ

2.1.1 การสึกหรอแบบเชื่อมหรือยึดติดกัน (Adhesive Wear)

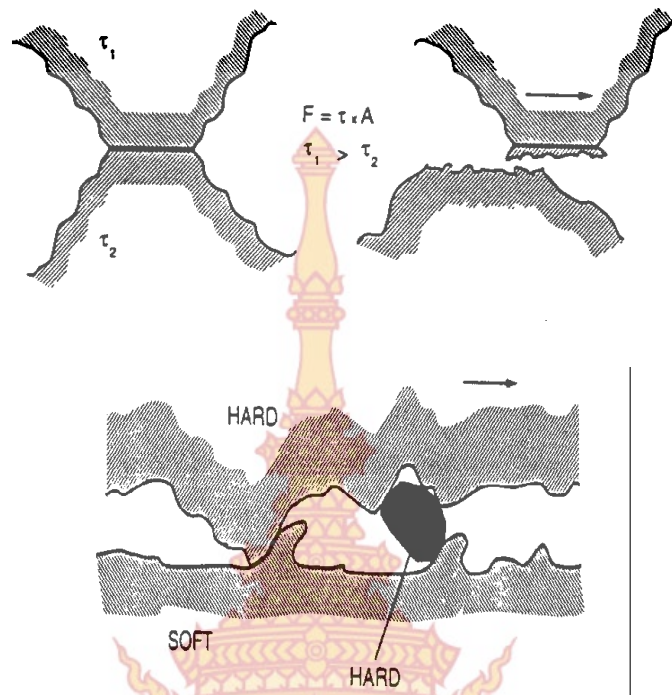
คือการสึกหรอที่เกิดจากการเชื่อมหรือยึดติดกันของผิวโลหะจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุทั้งสองชนิดเกิดการเสียดสีกันเนื่องจากพื้นที่ที่สัมผัสกันระหว่างผิวสองผิวมากจะทำให้เกิดความเค้นเกินกว่าจุดครากตัวของวัสดุ (Yield Point) และจะทำให้เกิดแรงยึดเกาะกันทางโมเลกุลขึ้น เมื่อให้แรงเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ต่อไปบริเวณการยึดติดกันจะถูกดึงให้หลุดออกมา ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 ลักษณะการสึกหรอแบบเชื่อมหรือยึดติดกัน [5]

2.1.2 การสึกหรอแบบการขูดถูหรือขีดข่วน (Abrasive Wear)

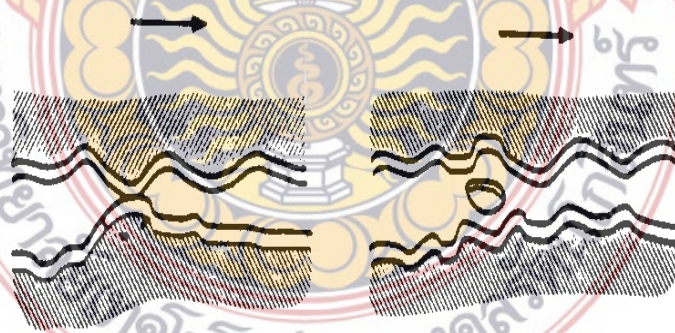
คือการสึกหรอที่เกิดจากพฤติกรรมการขีดข่วนถูฉีกหรือกระแทกซึ่งการกระทำเหล่านี้ทำให้เนื้อวัสดุหลุดออกมาในลักษณะเป็นอนุภาคเล็กๆ ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ลักษณะการสึกหรอแบบการขูดถูหรือขีดข่วน [5]

2.1.3 การสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัว (Fatigue Wear)

คือการสึกหรอที่เกิดจากชิ้นงานได้รับการกระทำไม่คงที่มีลักษณะเป็นคาบ (Cyclic Load) คือรับแรงดึงและอัดสลับกันไปและทำให้เกิดความล้าตัวของชิ้นงานขึ้นทำให้ผิวของชิ้นงานเกิดการหลุดออกไป ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นหลุมหรือในลักษณะการเกิดรอยร้าวขึ้นที่ผิวชิ้นงาน ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 ลักษณะการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัว [5]

2.1.4 การสึกหรอที่เกิดจากการกระแทก (Impact Wear)

คือการสึกหรอที่เกิดจากอนุภาคเล็กๆของเศษที่หลุดออกหรือของเหลวเกิดการกระแทกกับผิวของวัสดุด้วยความเร็วและความแรงสูงทำให้เกิดการแตกหรือหลุดออกของผิววัสดุซึ่งการสึกหรอนี้จะประมาณได้จากเศษหรือวัสดุที่ชนกับผิวโดยความเร็วที่มากกว่าจะทำให้การสึกหรอเกิดขึ้นสูงกว่า

2.1.5 การสึกหรอจากการกัดกร่อน (Corrosion Wear)

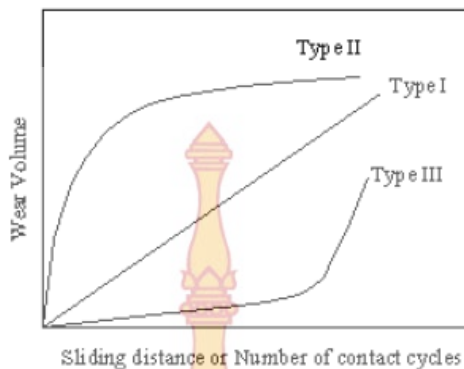
คือการสึกหรอที่เกิดจากการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) ขึ้นที่ผิวของวัสดุทำให้ผิวเกิดจุดบกพร่องขึ้นเมื่อแรงกระทำที่ผิวเพิ่มสูงขึ้นเนื้อโลหะตรงบริเวณยอดผิว (Asperity) หลุดออกจากผิวของวัสดุทำให้พื้นที่สัมผัสของผิวสองผิวเพิ่มขึ้นเกิดการสัมผัสแบบยึดติด (Adhesion) เกิดการสึกหรอแบบการเชื่อมหรือยึดติดได้ง่ายขึ้น

2.1.6 การสึกหรอแบบการแตกแยกชั้น (Delamination Wear)

คือการสึกหรอที่เกิดจากเศษที่หลุดจากการสึกหรอในลักษณะการขีดข่วนทำปฏิกิริยาทำให้เกิดออกไซด์ (Oxide) ซึ่งเศษนี้จะทำให้เกิดการสึกหรอแบบขีดข่วนเพิ่มขึ้นการสึกหรอในลักษณะการแตกแยกชั้นนี้จะรวมถึงการเฉือนที่เกิดได้จากการที่รอยแตกจากความล้าตัวของผิวที่มีตัวหล่อลื่นเข้ามาติดอยู่และเมื่อมีแรงกระทำระหว่างผิวตัวหล่อลื่นจะเป็นเหมือนกับลิ้มดันให้เกิดรอยแตกและขยายรอยแตกออก

กระบวนการการสึกหรอจะขึ้นอยู่กับการทำงานเป็นส่วนใหญ่เพราะการทำงานจะเป็นตัวบ่งบอกถึงวัสดุที่ใช้ลักษณะการเคลื่อนไหวและแรงที่กระทำทำให้สามารถจำแนกลักษณะของการเกิดการสึกหรอได้ลักษณะโดยทั่วไปในงานทางด้านแม่พิมพ์ตัดที่เกิดกระบวนการในการตัดเฉือนแผ่นโลหะจะทำให้เกิดการสึกหรอขึ้นโดยส่วนของฟันจะเกิดการสึกหรอบริเวณผิวด้านหน้าคมตัดและด้านข้างส่วนของคายจะเกิดการสึกหรอบริเวณคมตัดและคายแลนด์ (Die Land) ซึ่งส่วนมากจะเป็นการสึกหรอแบบยึดติดและการสึกหรอแบบการขีดข่วน เมื่อแม่พิมพ์ตัดที่เกิดการสึกหรอแบบยึดติดและการสึกหรอแบบการขีดข่วนแล้วจะทำให้ต้องใช้แรงในการตัดเฉือนเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติซึ่งทำให้เกิดการสึกหรอแบบเป็นหลุมตามมา

การวัดปริมาณการสึกหรอที่นิยมมากที่สุดคือการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบการสึกหรอเพราะความเสียหายเนื่องจากการสึกหรอมักจะเกิดจากการที่ชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงและขนาด นอกจากนี้สามารถตรวจสอบลักษณะการสึกหรอได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscopes: EM) กล้องจุลทรรศน์แบบส่องแสง (Optical Microscopes: OM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ซึ่งแนวโน้มการสึกหรอแบ่งรูปแบบได้เป็น 3 ลักษณะตามทฤษฎีของ Koji และ Koshi ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ชนิดของแนวโน้มการสึกหรอ [6]

จากภาพที่ 2.14 แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองการสึกหรอโดยสามารถแบ่งรูปแบบการสึกหรอออกเป็น 3 ลักษณะคือลักษณะที่ 1 (Type I) เป็นลักษณะของอัตราการเกิดการสึกหรอเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลองลักษณะที่ 2 (Type II) อัตราการสึกหรอเกิดขึ้นสูงในช่วงแรกจากนั้นอัตราการสึกหรอจะเริ่มลดลงและมีแนวโน้มคงที่ซึ่งการสึกหรอแบบนี้จะเกิดกับวัสดุที่เป็นโลหะลักษณะที่ 3 (Type III) อัตราการสึกหรอจะเกิดขึ้นต่ำในช่วงแรกและจะเพิ่มขึ้นสูงเมื่อจำนวนการทดลองเพิ่มขึ้นจากการแตกของวัสดุเนื่องจากความล้าการสึกหรอแบบนี้เกิดขึ้นกับวัสดุที่เป็นเซรามิกซึ่งสามารถหาค่าปริมาตรการสึกหรอได้จากสมการ

$$V = KL (P/H) \quad (5)$$

เมื่อ

V	=	ปริมาตรการสึกหรอ (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)
L	=	ระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ (มิลลิเมตร)
K	=	เป็นค่าคงที่ของวัสดุที่ตำแหน่งการสึกหรอ
P	=	แรงตึงฉาก (กิโลนิวตัน)
H	=	ค่าความแข็งของวัสดุ (HRC)

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด

K. Mori, Y. Abe, Y. Kidoma, P. Kadarno [7] ได้ศึกษาช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตายในกระบวนการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เพื่อพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงาน โดยกำหนดให้คาร์ซีซีของขอบตัดแตกต่างกันคือ ค่า $R=0$ mm, $R=0.13$ mm และ $R=0.33$ mm วัสดุที่ทดลองตัดคือเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด JSC780Y, JSC980Y และ JSC1180Y วัสดุทำตายคือเหล็กกล้า SKD11 วัสดุทำฟันซ์คือเหล็กกล้า SKH51 มีขนาด $\varnothing 10$ mm ผ่านการเคลือบผิวด้วย TiAlN ช่องว่างคมตัดมีค่า 0.8%t และความเร็วในการป้อนตัด 0.03 mm/s ซึ่งผลการทดลองพบว่าคาร์ซีซีขอบตัด $R=0.13$ mm มีประสิทธิภาพในการตัดดีที่สุด

Rajiv Shivpuri, Siddarth Singh, Kuldeep Agarwal, Chun Liu [8] ได้ศึกษาการสึกหรอของฟันซ์ในการตัดชิ้นงานที่ต้องการความเที่ยงตรงมาก วัสดุที่ใช้ทดลองเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงแตกต่างกัน 4 เกรด คือ HSLA350, DP600, Dp780 และ TRIP780 ซึ่งการสึกหรอของแม่พิมพ์เป็น

ปัญหาสำคัญในกระบวนการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบและเปรียบเทียบผลกับแบบจำลองเชิงตัวเลข โดยตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองตัดเช่น ช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตายมีค่า 0.005 mm, ϕ ของฟันซ์ 3.175 mm, วัสดุที่ใช้ทำฟันซ์คือ M2 มีค่าความแข็ง 62 HRC ความหนาของชิ้นงาน 1 mm ผลจากการทดลองพบว่า การสึกหรอของฟันซ์และกลไกการแตกจากการตัดเนื้อมีความสัมพันธ์อย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงตัดและพลังงาน และมุมของฟันซ์ที่สึกหรอมากขึ้นมีผลให้ความสูงของครีบเพิ่มขึ้น

Hyunwoo So, Dennis Famann, Hartmut Hoffmann, Roland Golle, Mirko Schaper [9] ได้ศึกษากระบวนการป้อนตัดเหล็กกล้าโบรอนผสม 22MnB5 จากกระบวนการป้อนขึ้นรูปร้อน ที่นิยมผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งในการขึ้นรูปวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงจะทำให้แม่พิมพ์ตัดและเจาะรูมีการสึกหรออย่างรวดเร็วและค่าใช้จ่ายในการซ่อมแม่พิมพ์มีราคาสูง จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือการพัฒนากระบวนการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงที่ประหยัดและช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือ ด้วยการตัดเหล็กกล้าโบรอนผสม 22MnB5 ความหนา 1.7 mm. ทำการศึกษาคุณภาพขอบตัดชิ้นงานและการสึกหรอของแม่พิมพ์ โดยการทดลองป้อนตัดชิ้นงานแบบร้อนช่วงอุณหภูมิ 400-700 °C กำหนดให้ช่องว่างคมตัดมีค่า 5%t, 10%t, 15%t, 20%t และ 25%t ความเร็วในการตัด 60 mm/s ซึ่งผลจากการทดลองสามารถยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ และลดแรงในการตัดได้

Soumya Subramonian, Taylan Altan, Bogdan Ciocirlan, Craig Campbell [10] ช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตายเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่ออายุของแม่พิมพ์และคุณภาพของชิ้นงานในการตัดโลหะแผ่น การเลือกค่าช่องว่างคมตัดที่เหมาะสมสามารถลดการสึกหรอของแม่พิมพ์ลงได้ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงวัสดุและความหนาของโลหะแผ่นที่เป็นชิ้นงานมีรูปร่างทรงกลม และไม่เป็นทรงกลมจะพบทั่วไปในงานอุตสาหกรรม งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาผลกระทบของแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างแตกต่างกัน โดยการวิเคราะห์ด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM 2D/3D วัสดุทดลองคือเหล็กกล้า AISI1010, SS301 และ C5110 วัสดุในการทำฟันซ์และตายคือเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI D2 กำหนดให้ช่องว่างคมตัดแตกต่างกันคือ 5% ถึง 20%

O'mer Necati Cora, Muammer Koc [11] ได้ศึกษาลักษณะของการสึกหรอจากการเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ที่แตกต่างกัน สำหรับการป้อนขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด DP600 ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งชิ้นส่วนและโครงสร้างต้องมีน้ำหนักเบา อย่างไรก็ตามก็มีข้อจำกัดในการขึ้นรูป และเกิด Spring Back ได้สูง เนื่องจากที่ผิวเกิดความแข็ง และเกิด Work hardening มากขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ที่ดีขึ้น การเคลือบผิว การใช้สารหล่อลื่น เพื่อลดการสึกหรอสำหรับการป้อนขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลการสึกหรอจากวัสดุทำแม่พิมพ์ 7 ชนิดคือ (AISID2, Vanadis4, Vancron40, K340ISODUR, Caldie, Carmo, 0050A) ทำการทดสอบการสึกหรอกับวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ผลการทดลองสรุปได้ว่าวัสดุทำแม่พิมพ์แต่ละชนิดมีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าเครื่องมือธรรมดา

Gang Fang, Pan Zeng, Lulian Lou [12] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตายที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ตัด ซึ่งจะทำการเก็บผลการทดลองในรูปของแรง

ตัด ความเที่ยงตรงและคุณภาพของรอยตัดชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองการทำงาน ในการทดลองกำหนดชนิดวัสดุชิ้นงานเป็น Aluminum Alloy 2040 ความหนา 1 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตาย 20 mm. และกำหนดขนาดของฟันซ์ เพื่อให้ได้ค่าระยะห่างระหว่างคมตัด 0, 0.05, 0.1, 0.15 และ 0.2 mm. หรือ 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบแรงตัดที่ระยะห่างคมตัดมากจะให้ค่าแรงตัดต่ำที่สุด และที่ระยะห่างคมตัดน้อยจะให้ค่าแรงตัดสูงที่สุด ค่าของแรงตัดจะเริ่มคงที่เมื่อค่าช่องว่างคมตัดถึงที่ 20% ของความหนาชิ้นงาน ในส่วนของชิ้นงานลักษณะของรอยตัดเฉือนที่ชิ้นงานจะเกิดเป็น 4 ลักษณะ คือส่วนโค้งมน (Die Roll) ส่วนการตัดเฉือน (Shear Zone) ส่วนการแตก (Fracture) และส่วนของการเกิดครีบบurr (Burr High) จากการทดลองที่ระดับของช่องว่างคมตัดทั้ง 5 ระดับ สรุปได้ว่าระยะห่างคมตัดมีผลต่อลักษณะของรอยตัดเฉือนชิ้นงาน คือ กรณีที่ระยะช่องว่างคมตัดมากชิ้นงานจะเกิด ส่วนโค้งมน ส่วนการแตก และเกิดครีบบurr สูง แต่จะเกิดส่วนการตัดเฉือนน้อย

S.K.Maiti และคณะ [13] ทำการศึกษาพฤติกรรมการตัดชิ้นงานที่มีความหนาน้อยๆ (0.1-1.0 มม.) โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ จำลองการทำงานและเก็บผลการทดลอง ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาอิทธิพลของช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตาย แรงเสียดทาน ความหนาชิ้นงาน ขนาดชิ้นงาน และลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน เพื่อจะศึกษาผลของลักษณะของรอยตัดชิ้นงาน และแรงตัด โดยกำหนดปัจจัยการทดลองดังนี้ ให้ความหนาชิ้นงาน 1 mm. ระยะห่างคมตัด 0, 10 และ 20% ของความหนาชิ้นงาน ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.15 ชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าระยะห่างของคมตัดมีผลต่อแรงตัดของชิ้นงาน คือที่ระยะช่องว่างของคมตัดน้อยจะใช้แรงตัดชิ้นงานสูง และที่ระยะช่องว่างของคมตัดมากจะใช้แรงตัดชิ้นงานต่ำกว่า และแรงตัดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะการกดลึกมากขึ้น จากผลการทดลองนี้ผู้วิจัยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้ คือ ค่าของแรงตัดจะมีค่าสูงที่ระยะช่องว่างคมตัดน้อย และค่าระยะช่องว่างคมตัดในช่วง 0-20% ของความหนาชิ้นงานจะไม่มีผลต่อขนาดของชิ้นงานที่ได้ และแรงตัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเสียดสีที่เกิดขึ้นสูง ระหว่างฟันซ์ ตาย และชิ้นงาน ที่อัตราส่วนขนาดความโตต่อความหนาของชิ้นงานจะสามารถลดแรงตัดได้ และที่ระยะห่างคมตัดประมาณ 10 % ของความหนาชิ้นงานจะเหมาะสมที่สุดเนื่องจากคุณภาพของชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพดีที่สุด

X.Z. Wang และ S.H Masood [14] ได้ศึกษารีชีมีโค้งของแม่พิมพ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของกระบวนการขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ซึ่งเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงได้ถูกนำมาใช้มากขึ้นในการปั๊มตัดรูปโลหะแผ่น นั่นคืออุตสาหกรรมรถยนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าทั่วไปในการปั๊มขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงจะทำให้เกิดความเค้นที่สูงระหว่างแม่พิมพ์กับโลหะแผ่น ส่งผลต่อการสึกหรอที่รุนแรงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่รีชีมีของแม่พิมพ์ (Die) การพัฒนาความสามารถในการทำนายผลได้อย่างถูกต้องจะช่วยลดการสึกหรอของแม่พิมพ์ได้อย่างมีศักยภาพ ในระหว่างขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์มีความสำคัญมากเพราะจะช่วยลดเวลาและลดต้นทุนในการผลิตลง ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงผลกระทบรูปร่างเรขาคณิตของแม่พิมพ์ เมื่อทำการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่มีผลต่อการสึกหรอ มากกว่าการใช้วิธีเชิงตัวเลขและการทดลอง โดยแบบจำลองการสึกหรอของแม่พิมพ์ ได้ศึกษาถึงรูปร่างเรขาคณิตแบบต่างๆ ของแม่พิมพ์ที่เป็นทรงมาตรฐานมีทั้งทรงกลม วงรี การศึกษาเชิงตัวเลขและปริมาณการสึกหรอ การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นที่สัมผัสกับรีชีมีแม่พิมพ์ ผลจากการ

ทดลองพบว่าอิทธิพลรัศมีของแม่พิมพ์แบบต่างๆ มีผลต่อการสึกหรอของชิ้นส่วนรถยนต์สมัยใหม่ โดยการใช้รูปทรงทางเรขาคณิตของแม่พิมพ์ที่ผสมกันคือทรงกลมและวงรี

Zafer Tekiner, Muammer Nalbant, Hakan Gurun [15] ได้ศึกษาผลกระทบของช่องว่างคมตัดที่แตกต่างกัน 6 ระดับคือ 0.009 mm, 0.064 mm, 0.12 mm, 0.175 mm, 0.231 mm และ 0.285 mm. ในกระบวนการตัดอลูมิเนียมแผ่นซึ่งมีความหนา 0.8 mm, 1 mm และ 1.5 mm. โดยในการทดลองตัดใช้ดาวยูรูปทรงกลมขนาด \varnothing 6 mm, 8 mm, 10 mm และ 12 mm. ผลจากการทดลองพบว่าการเกิดครีบ ความเรียบของชิ้นงาน และแรงที่ใช้ในการตัด มีผลมาจากค่าช่องว่างคมตัดที่แตกต่างกัน

J.J. Hernández, P. Franco, M. Estrems, F. Faura [16] ได้ทดลองถึงผลกระทบของการสึกหรอของแม่พิมพ์จากกระบวนการป้อนตัดเหล็กกล้าสแตนเลส AISI304 ความหนา 1 mm. โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อลักษณะคุณภาพและความเที่ยงตรงของชิ้นงาน ซึ่งสามารถพบได้ที่ผิวของขอบตัดจะมีความสัมพันธ์กับการสึกหรอของแม่พิมพ์และตัวแปรของกระบวนการตัด งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลกระทบของการสึกหรอของแม่พิมพ์จากกลไกการตัดเฉือน ตัวแปรคือช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และดาวยที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 5%, 8%, 11% และ 14% ฟันซ์ทำจากเหล็กกล้า AISI A2 ขนาด \varnothing 6 mm และ 8 mm. โดยในการทดลองได้วัดคุณภาพของชิ้นงานคือส่วนโค้งมน ความลึกของรอยแตก และความสูงของครีบ ด้วยกล้อง SEM.



บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. วิธีการดำเนินงานวิจัย

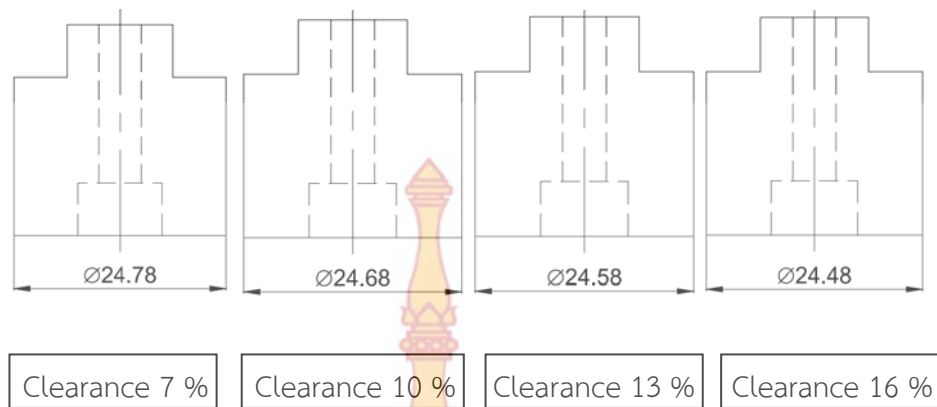
ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด จากการสึกหรอของพUNCHแต่ละชนิดที่มีช่องว่างคมตัดระหว่างพUNCHและตาย (Clearance) ที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ 7%, 10%, 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน โดยใช้พUNCHทำจากวัสดุคือเหล็กกล้าเครื่องมือมาตรฐาน JIS SKS3 ผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัวเพื่อให้ได้ค่าความแข็งที่ระดับเดียวกัน ทำการตัดชิ้นงานวัสดุเป็นแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงมาตรฐาน JIS G3113 เกรด SAPH440 เป็นวัสดุที่นิยมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ในปัจจุบัน ความหนา 1.6 มิลลิเมตร ควบคู่กับการศึกษาคุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน ดังตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขการทดลอง

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดลอง

Parameter	Punch/Die Clearance			
	7 %t	10 %t	13 %t	16 %t
Punch material	JIS SKS3 Cold work tool steel			
Punch hardness	60 ± 2 HRC			
Die material	JIS SKS3 Cold work tool steel			
Strip material	JIS G3113 Structural Automobile SAPH440 steel			
Strip thickness	1 mm			
Strip diameter	25 mm			
Punching speed	35 mm/s			

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วิจัย

2.1 สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดพUNCHที่ใช้ทำจากวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKS3 เป็นการออกแบบเพื่อตัดแผ่นเปล่า (Blanking) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคือ 25 มิลลิเมตร โดยจะลดขนาดความโตของพUNCHลงตามเปอร์เซ็นต์ความหนาของชิ้นงาน กำหนดขนาดช่องว่างคมตัดระหว่างพUNCHและตาย (Clearance) ที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ 7%, 10%, 13% และ 16% ความหนาของชิ้นงาน ดังภาพที่ 3.1 แสดงตัวอย่างของพUNCHที่ใช้ทดลองตัด



ภาพที่ 3.1 พUNCHที่ใช้ในงานวิจัยทำจากวัสดุ JIS SKS 3

2.2 เครื่องปั๊มโลหะแบบเพลลาข้อเหวี่ยง

เครื่องปั๊มโลหะที่ใช้ในการทดลองแบบเพลลาข้อเหวี่ยงรุ่น OCP-60 ขนาด 60 ตัน ความเร็วในการตัดคงที่เท่ากับ 35 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังภาพที่ 3.2 และสมรรถนะเครื่องปั๊ม ดังตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 เครื่องปั๊มขึ้นงานแบบเพลลาข้อเหวี่ยง

ตารางที่ 3.2 สมรรถนะของเครื่องปั๊มแบบเพลลาข้อเหวี่ยง

สมรรถนะของเครื่องปั๊มแบบเพลลาข้อเหวี่ยง	
MFG. NO.	A80897
MFG. DATE.	2008 – 10
CAPACITY	60 ตัน
RATING POINT (UP FROM BUTTOM OF STR)	4 มิลลิเมตร
STROKE NO.	35 – 90 S.P.M
STROKE	120 มิลลิเมตร
SLIDE AREA (LRXFB)	500 x 380 มิลลิเมตร
BOLSTER AREA (LRXFB)	900 x 500 มิลลิเมตร
MAIN MOTOR	VS 5.5 KW 4 P
MACHINE WEIGHT	4.6 ตัน

2.3 กล้องจุลทรรศน์สำหรับวัดการสีกหรือของพินซ์

กล้องส่องการสีกหรือของพินซ์แบบส่องแสง Optical Microscope ยี่ห้อ JENCO ด้วยโปรแกรม Axio Vision Rel. 4.7 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดการสีกหรือของพินซ์ ซึ่งเป็นการสีกหรือด้านข้างและการสีกหรือด้านหน้า เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบการสีกหรือที่เกิดขึ้นกับพินซ์แต่ละชนิด และยังใช้ส่องขอบตัดของชิ้นงานที่ทำการตัดในแต่ละช่วง เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบการสีกหรือของพินซ์แต่ละชนิดที่มีผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องแสง (Optical Microscope)

2.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก

ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP224S ความเที่ยงตรง 0.0001 กรัม และสามารถชั่งชิ้นงานที่น้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 220 กรัม ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3. วัสดุแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลอง

การเลือกใช้วัสดุเพื่อทำแม่พิมพ์ จะทำการเลือกวัสดุตามที่กำหนดไว้ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย ซึ่งจะคำนึงความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการทำงานด้วย สำหรับงานวิจัยนี้ กำหนดวัสดุทำแม่พิมพ์ตัดคือเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKS3 โดยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตาย (Die) คงที่คือ 25 มิลลิเมตร และกำหนดขนาดของพunch (Punch) ที่ระดับต่างกัน เพื่อให้มีช่องว่างระหว่างพunch และตาย (Clearance) ที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ 7%, 10%, 13% และ 16% ของความหนาวัสดุตามลำดับ และทำการชุบแข็งพunch และตาย โดยมีค่าความแข็งประมาณ $60 \pm 2\text{HRC}$

4. วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

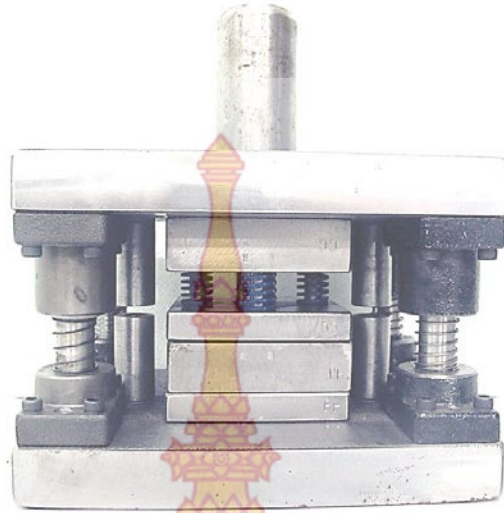
ในการออกแบบการทดลอง เพื่อทำการทดลองในงานวิจัยนี้ได้กำหนดวัสดุชิ้นงาน คือใช้แผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงมาตรฐาน JIS G3113 เกรด SAPH440 ความหนา 1.6 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบทางเคมีเหล็กกล้า SAPH440

เหล็กกล้า SAPH440		
Chemical composition (%)	C	0.1260
	Si	0.0500
	Mn	1.0250
	P	0.0120
	S	0.0030
	Cr	0.0210
	Ni	0.0180
	Mo	0.0120
	Cu	0.0200
	Nb	<0.0010
	V	0.0020
	Co	<0.0010
	Al	0.0210
	B	<0.0010
	Ti	0.0010
	W	0.0010

5. การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ตัด

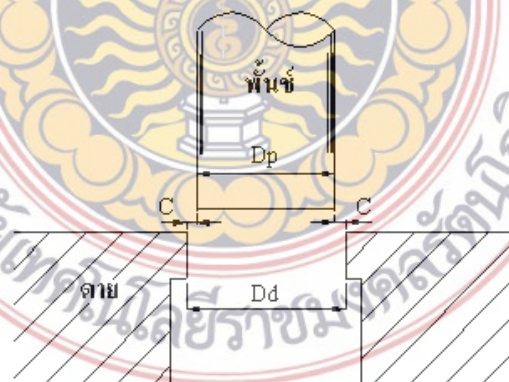
ในการออกแบบและจัดสร้างชุดแม่พิมพ์ตัดสำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลต่างๆ ที่ถูกต้องตามจุดประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย จึงได้ออกแบบแม่พิมพ์ที่สามารถถอดเปลี่ยนชุดพินซ์ และตายได้อย่างสะดวก เพื่อให้สามารถนำไปตรวจวัดผลต่างๆ ได้ง่าย ซึ่งชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ทำการทดลอง ดังภาพที่ 3.5 ประกอบด้วยชุดตายเซ็ท (die set) ชนิดสี่เสา ชุดพินซ์ แผ่นปลดชิ้นงาน ชุดสปริง แผ่นยึดพินซ์ และตาย เป็นต้น



ภาพที่ 3.5 แม่พิมพ์ตัดที่ได้จากการออกแบบ

5.1 การกำหนดขนาดพินซ์และดาย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดวัสดุชิ้นงานชนิดเป็นแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS G3113 เกรด SAPH440 โดยกำหนดชิ้นงานเป็นแบบแผ่นกลม ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 25 มิลลิเมตร ขนาดความหนา 1.6 มิลลิเมตร จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยจะทำการศึกษาลักษณะการสีกหรือของพินซ์และดายที่ค่าช่องว่างคมตัดระหว่างพินซ์และดายที่ระดับต่างๆกัน คือ 7%, 10%, 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีผลต่อการออกแบบแม่พิมพ์ตัด ดังนั้นจึงทำการออกแบบพินซ์และดายจำนวน 4 ชุดโดยในการออกแบบแต่ละชุดจะให้ขนาดของดายคงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงที่ขนาดของพินซ์เพื่อให้ได้ช่องว่างคมตัด (Clearance) ตามที่กำหนดไว้ ดังนั้นขนาดของพินซ์และดายแต่ละชุดจึงมีขนาดดังนี้ ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 การกำหนดช่องว่างคมตัดชิ้นงานกลม

จากสูตร

$$D_p = D_d - 2C$$

3.1

เมื่อ

D_p	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของพันธ	มิลลิเมตร
D_d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของตาย	มิลลิเมตร
C	=	ระยะช่องว่างคมตัด (Clearance)	มิลลิเมตร

5.1.1 พันซ์และตายชุดที่ 1

กำหนด	D_d	=	25	มิลลิเมตร
	C	=	7 %	ของความหนาชิ้นงาน
		=	0.07×1.6	
		=	0.112	มิลลิเมตร
\therefore	D_p	=	$25 - (2 \times 0.112)$	
		=	24.78	มิลลิเมตร

5.1.2 พันซ์และตายชุดที่ 2

กำหนด	D_d	=	25	มิลลิเมตร
	C	=	10 %	ของความหนาชิ้นงาน
		=	0.10×1.6	
		=	0.16	มิลลิเมตร
\therefore	D_p	=	$25 - (2 \times 0.16)$	
		=	24.68	มิลลิเมตร

5.1.3 พันซ์และตายชุดที่ 3

กำหนด	D_d	=	25	มิลลิเมตร
	C	=	13 %	ของความหนาชิ้นงาน
		=	0.13×1.6	
		=	0.208	มิลลิเมตร
\therefore	D_p	=	$25 - (2 \times 0.208)$	
		=	24.58	มิลลิเมตร

5.1.4 พันซ์และตายชุดที่ 4

กำหนด	D_d	=	25	มิลลิเมตร
	C	=	16 %	ของความหนาชิ้นงาน
		=	0.16×1.6	
		=	0.256	มิลลิเมตร

$$\begin{aligned} \therefore D_p &= 25 - (2 \times 0.256) \\ &= 24.48 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

5.2 ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ตัด

เมื่อทำการศึกษารายละเอียดต่างๆ ของแม่พิมพ์ตัดเรียบร้อยแล้ว ได้ทำการออกแบบแม่พิมพ์ตัด โดยคำนึงถึงความปลอดภัยในการทำงาน ความสะดวกรวดเร็วในการถอดเปลี่ยนชุดฟันชดาย รวมถึงประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงของแม่พิมพ์ตัด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เที่ยงตรงมากที่สุด สำหรับแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลองตัดชิ้นงานแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS G3113 เกรด SAPH440 เพื่อทำการศึกษากฎการสึกหรอของฟันชดาย ดังนั้นในแม่พิมพ์ตัดนี้จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

5.2.1. ชุดตายเซ็ท (Die Set) จะประกอบด้วย Upper Die set และ Lower Die Set จะทำหน้าที่เป็นส่วนที่ใช้ยึดแผ่นยึดฟันชดาย แผ่นยึดตาย และยังใช้เป็นชุดบังคับให้ชุดฟันชดายและตายเคลื่อนที่ขึ้นลงโดยไม่เอียงคูนัย นอกจากนี้ยังช่วยในการติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มโลหะ เพื่อช่วยในการถอดเปลี่ยนฟันชดายและตายได้สะดวกรวดเร็วอีกด้วย โดยกำหนดชุดตายเซ็ทเหล็กเหนียวประกอบด้วยไกด์โพสต์ (Guide Post) 4 เสา วางที่มุมทั้งสี่ของตายเซ็ท ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ลักษณะของชุดตายเซ็ท

5.2.2 แผ่นยึดฟันชดาย (Punch Holder Plate)

แผ่นยึดฟันชดาย (Punch Plate) เป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญเพราะเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ยึดฟันชดายให้ติดกับชุดตายเซ็ทด้านบน (Upper Die Set) ในการออกแบบจะใช้วิธีการยึดติดกับชุดตายเซ็ทโดยใช้สกรูหกเหลี่ยมหัวฝังขนาด M10×1.5 จำนวน 4 ตัว โดยยึดแผ่นฟันชดายนี้ มีขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) เท่ากับ (100×100×15 mm) โดยลักษณะการประกอบ ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ลักษณะแผ่นยึดพินซ์ (Punch Holder Plate)

5.2.3 แผ่นยึดตาย (Die holder plate)

แผ่นยึดตาย (Die Block) เป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญเพราะเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ยึดตาย ให้ติดกับชุดตายเซ็ทด้านล่าง (Die Set) ในการออกแบบจะใช้วิธีการยึดติดกับชุดตายเซ็ทโดยใช้สกรูหกเหลี่ยมหัวฝังขนาด M8 × 1.25 จำนวน 4 ตัว โดยแผ่นยึดตายนี้มีขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) = (100×100×10 mm) โดยลักษณะการประกอบ ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ลักษณะของแผ่นยึดตาย (Die holder Plate)

5.2.4 แผ่นปลดชิ้นงาน (Stripper Plate)

ความกว้าง × ความยาวของแผ่นปลดชิ้นงานควรเท่ากับ ความกว้าง × ความยาวของแผ่นยึดพินซ์ (Punch Plate) แต่ความหนาของแผ่นปลดชิ้นงานที่น้อยที่สุดไม่ควรต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.10

$$\text{ความหนาของแผ่นปลดชิ้นงาน (T)} = \frac{A}{30} + 2t \quad (5)$$

โดยที่

$$A = \text{ความกว้างของแผ่นชิ้นงาน}$$

T = ความหนาของแผ่นขึ้นงาน



ภาพที่ 3.10 แผ่นปลดชิ้นงาน (Stripper Plate)

5.2.5 ชุดสปริงปลดชิ้นงาน (spring)

สำหรับสปริงที่ใช้กับแม่พิมพ์แต่ละชุด ดังภาพที่ 3.11 จะให้ค่าแรงปลดชิ้นงานตามที่กำหนดไว้ แสดงดังภาคผนวก ก. ในการออกแบบครั้งนี้ได้เลือกใช้สปริงแม่พิมพ์ สีแดง เบอร์ 35 × 50 เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 35 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใน 17.5 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร จำนวน 4 ตัว



ภาพที่ 3.11 สปริงที่ใช้ในการทดลอง

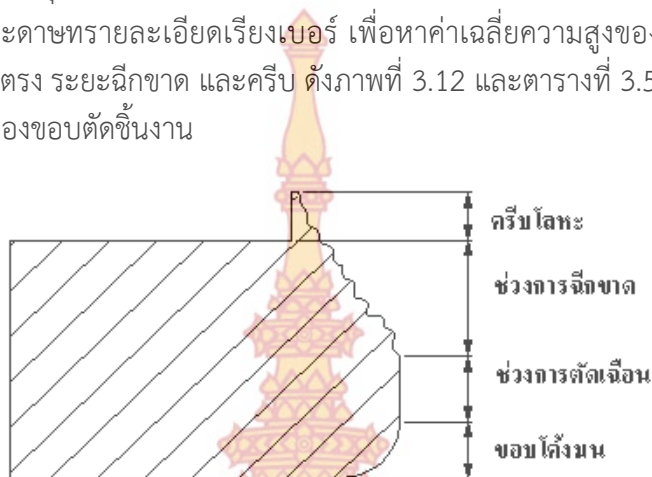
6. การบันทึกข้อมูล

ทำการทดลองตัดชิ้นงานโดยพินซ์ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือมาตรฐาน JIS SKS3 มีช่องว่างคมตัดระหว่างพินซ์และตาย (Clearance) ที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ 7%, 10%, 13% และ 16% ของความหนาวัสดุ ซึ่งในการทดลองตัดชิ้นงานด้วยพินซ์ แต่ละชนิดจะหยุดตัดเป็นช่วงๆ เพื่อถอดพินซ์ออกมาวัดผลการสึกหรอและค่าต่างๆ โดยพินซ์ที่ใช้เป็นแบบอินเสิร์ท (Insert punch) กำหนดจำนวนครั้งในการตัดที่ 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 และ 6000 โดยทุกครั้งที่หยุดการตัดชิ้นงานเป็นช่วงๆ จะทำการบันทึกผล ดังต่อไปนี้

6.1 ชั่งน้ำหนักของพินซ์ด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาร้อยละของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื่องจากการสึกหรอของพินซ์

6.2 ตรวจวัดระยะการสึกหรอด้านข้าง (flank wear) และด้านหน้า (face wear) ของพินซ์ที่เกิดขึ้น และภาพถ่ายลักษณะการสึกหรอของพินซ์ และตารางที่ 3.4 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกผลการสึกหรอของพินซ์

6.3 การศึกษาลักษณะขอบตัดชิ้นงาน การทดลองนี้จะทำการตรวจวัดคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน จากการสุ่มชิ้นงานมา 3 ชิ้น ที่ได้จากการตัดในแต่ละช่วงตั้งแต่ครั้งที่ 100 ถึง 7,000 จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการสุ่มในแต่ละช่วงมาทำการเตรียมชิ้นงานโดยการตัดแบ่งครึ่ง หล่อชิ้นงานด้วยเรซินและขัดด้วยกระดาษทรายละเอียดเรียงเบอร์ เพื่อหาค่าเฉลี่ยความสูงของส่วนโค้งมน ระยะตัดเฉือนหรือส่วนเรียบตรง ระยะฉีกขาด และครีบ ดังภาพที่ 3.12 และตารางที่ 3.5 ตัวอย่างตารางบันทึกการตรวจวัดขนาดของขอบตัดชิ้นงาน



ภาพที่ 3.12 ลักษณะคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน

6.4 ค่าความเรียบผิว (Ra) ที่บริเวณของคมตัดพื้นซ์ เพื่อเปรียบเทียบความเรียบผิวของพื้นซ์ก่อนทดลองตัดและหลังจากทดลองตัดเสร็จแล้ว

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างตารางบันทึกการสึกหรอของพื้นซ์

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	Clearance			
	7 %	10 %	13 %	16 %
	ระยะการสึกหรอด้านหน้าของพื้นซ์ (μm)			
0				
100				
200				
300				
400				
500				
600				
700				
800				
900				
1000				
1200				
1400				

1600				
1800				
2000				
2500				
3000				
4000				
5000				
6000				
7000				

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างตารางบันทึก การตรวจวัดคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	Clearance			
	7 %	10 %	13 %	16 %
	ความสูงของครีบบที่ขอบตัดชิ้นงาน (μm)			
0				
100				
200				
300				
400				
500				
600				
700				
800				
900				
1000				
1200				
1400				
1600				
1800				
2000				
2500				
3000				

4000				
5000				
6000				
7000				

7. การสรุปผล

หลังจากทำการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นการทดลอง สามารถบันทึกผลข้อมูลต่างๆ ตั้งแต่เริ่มต้นแต่ละช่วงต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ จะได้ข้อมูลทั้งหมดในลักษณะต่างๆ ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ของการสึกหรอของฟันซ์ และส่วนโค้งมน (Die roll) ระยะการตัดเฉือนหรือส่วนเรียบตรง (Shear surface) ระยะการฉีกขาด (Fracture surface) และครีป (Burr) ของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัด จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยฉบับนี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของช่องว่างคมตัดที่ส่งผลต่อค่าการสึกหรอ และคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือช่องว่างคมตัดระหว่างพUNCH และตาย (Clearance) มีค่า 7% 10% 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน โดยพUNCH (Punch) ทดลองทำจากวัสดุคือเหล็กกล้าเครื่องมือมาตรฐาน JIS SKS3 ทำการตัดชิ้นงานวัสดุเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงมาตรฐาน JIS G3113 เกรด SAPH440 ที่นิยมใช้ในการผลิตโครงสร้างรถยนต์ ความหนา 1.6 มิลลิเมตร ลักษณะชิ้นงานรูปร่างทรงกลม (Blanking) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ผู้ทำการวิจัยได้ทำการเก็บผลการทดลองเป็นช่วงๆ โดยการกำหนดช่วงของการเก็บข้อมูลการทดลองจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์ผลการวิจัย ซึ่งสามารถแยกผลการทดลองออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

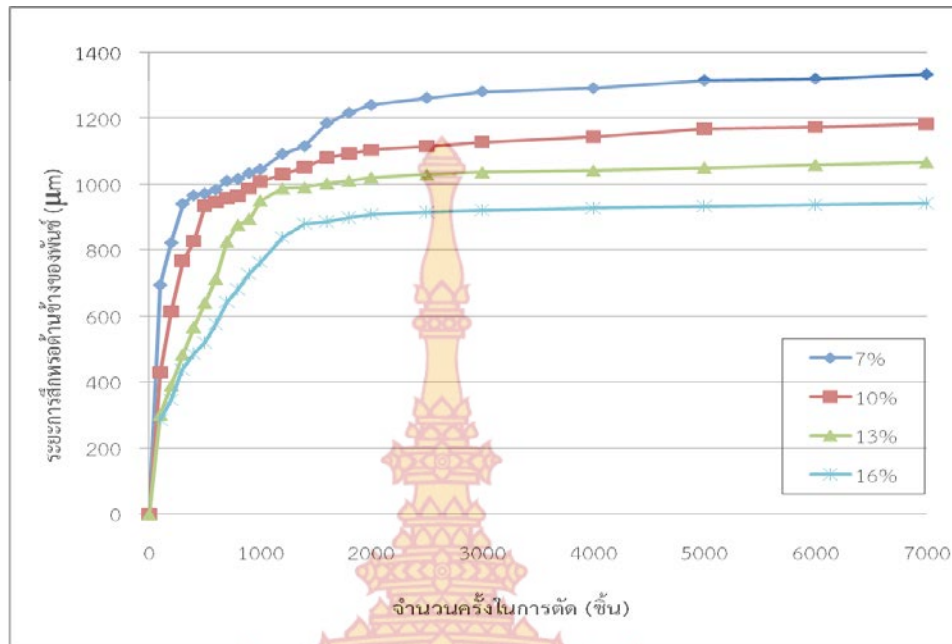
1. ผลการทดลอง

1.1 การสึกหรอของพUNCH (Punch)

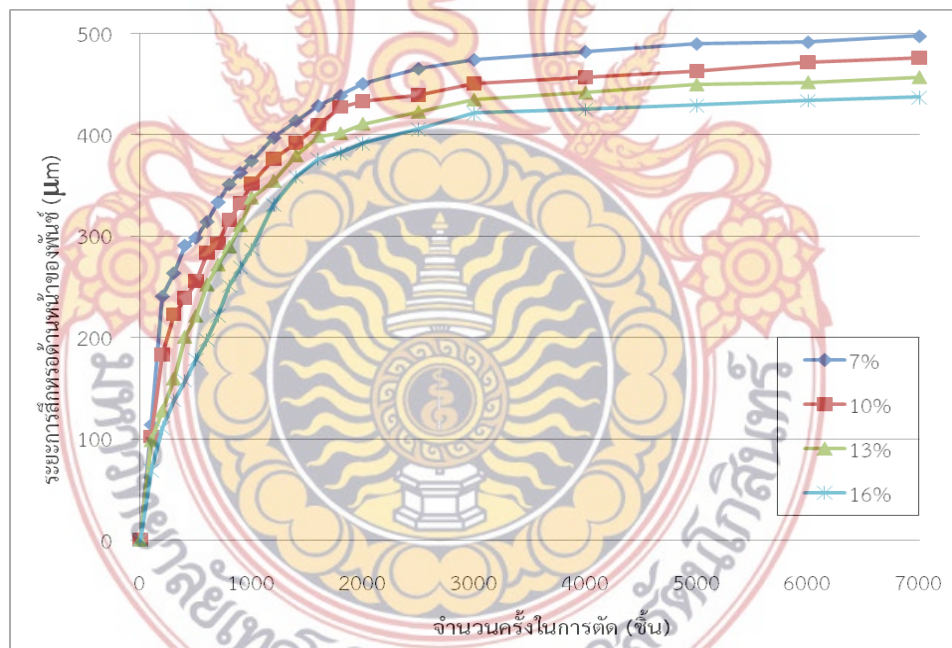
การสึกหรอในงานแม่พิมพ์ตัดแตกต่างจากการสึกหรอของงานทั่วไป คือการสึกหรอไม่เกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่ง แต่มีการขยายบริเวณการสึกหรอออกไปรอบคมตัดตามจำนวนการตัด ซึ่งในการทดลองนี้ทำการวัดการสึกหรอที่เปลี่ยนแปลงจากระยะเดิม เมื่อจำนวนการตัดที่มากขึ้น จากผลการทดลองการสึกหรอของพUNCH (Punch) ที่บริเวณด้านข้างของคมตัด (Flank Wear) ดังภาพที่ 4.1 ปรากฏว่าการสึกหรอด้านข้างของคมตัด (Flank Wear) ในช่วงแรกของการตัด การสึกหรอเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อจำนวนครั้งของการตัดชิ้นงานเพิ่มขึ้น การสึกหรอมีแนวโน้มคงที่ จากการทดลองป้อนตัดชิ้นงานจนถึงจำนวนการตัดที่ 7,000 ชิ้น พUNCH ที่มีช่องว่างคมตัด 7%, 10% 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน มีค่าการสึกหรอด้านข้าง 1334.79 μm , 1184.06 μm 1067.32 μm และ 944.48 μm ตามลำดับตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 การวัดระยะการสึกหรอบริเวณของคมตัดพUNCH [4]



ภาพที่ 4.2 การสึกหรอด้านข้างของพunch



ภาพที่ 4.3 การสึกหรอด้านหน้าของพunch

การสึกหรอด้านหน้าคมตัด (Face Wear) เกิดการกระแทกซ้ำๆ ระหว่างผิวหน้าของพunchกับชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้เกิดความล้าของผิวชิ้น โดยจะมีผลชัดเจนเมื่อมีการตัดชิ้นงานจำนวนมากๆ จากกราฟผลการทดลอง ดังภาพที่ 4.3 ในการทดลองตัดชิ้นงานจะพบว่าการสึกหรอด้านหน้าคมตัดพunch ระยะการสึกหรอที่เกิดขึ้นน้อยกว่าการสึกหรอด้านข้างคมตัด ระยะการสึกหรอด้านหน้าจะมีอัตรา

เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการตัด และเมื่อจำนวนการตัดเพิ่มมากขึ้นระยะการสึกหรอจะมีแนวโน้มคงที่ พันซ์ของชุดแม่พิมพ์ที่ช่องว่างคมตัด 7% 10% 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน เมื่อทำการวัดระยะการสึกหรอหลังจากทำการตัดไป 7,000 ชิ้น จะได้ค่าระยะการสึกหรอด้านหน้าของคมตัดพันธคือ 497.14 μm 475.69 μm 456.36 μm และ 436.98 μm ตามลำดับ

1.2 วิเคราะห์ผลการสึกหรอแม่พิมพ์

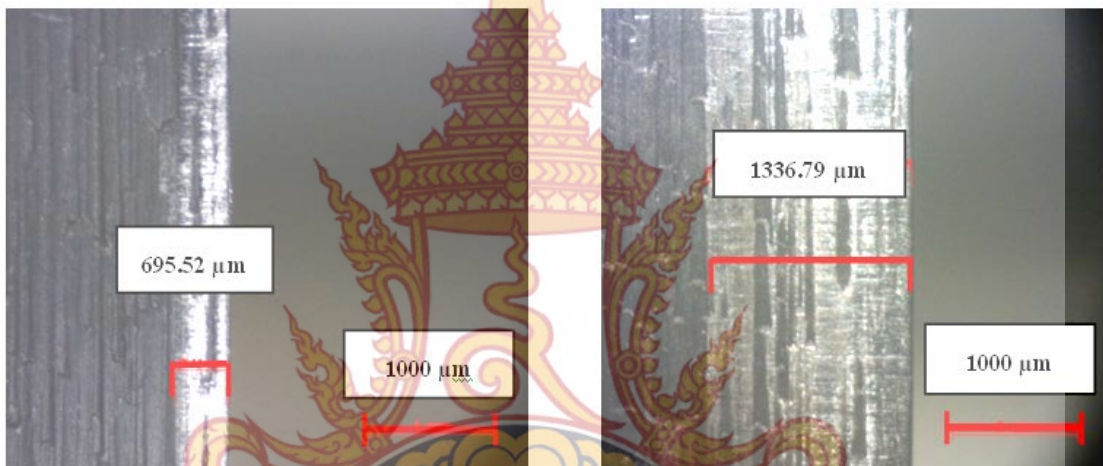
อิทธิพลของระยะช่องว่างคมตัด (Clearance: CL) มีผลต่อการสึกหรอของพันธ ซึ่งการสึกหรอเกิดขึ้นสูงในช่วงแรกของการตัดจากพันธทั้ง 4 ชุด และมีแนวโน้มคงที่เมื่อจำนวนการตัดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแม่พิมพ์ที่มีค่าช่องว่างคมตัดน้อยมีการสึกหรอสูงกว่าแม่พิมพ์ที่มีค่าช่องว่างคมตัดมาก โดยตำแหน่งการสึกหรอเกิดที่ด้านข้างคมตัด (Flank Wear) มากกว่าด้านหน้า (Face Wear) เนื่องจากผิวด้านข้างมีการสัมผัสโดยตรงกับผิวชิ้นงานมากกว่า ซึ่งการเสียดสีจะเกิดขึ้นในช่วงของการกัดตัดและขณะที่พันธยกขึ้นมีการเสียดสีกับขอบของรูชิ้นงาน ลักษณะการสึกหรอด้านข้างของพันธที่เพิ่มขึ้น เป็นไปตามทฤษฎีของ John A. Schey [5] โดยการสึกหรอด้านข้างเกิดที่ผิวตามแนวยาวหรือแนวแกนของพันธ การสึกหรอด้านข้างนี้มีความสำคัญเนื่องจากมีผลต่อขนาดชิ้นงานสำเร็จ เพราะจะทำให้ขนาดของพันธบริเวณคมตัดเปลี่ยนแปลงไป [17] และการสึกหรอด้านข้างเกิดเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนการตัดเพิ่มขึ้น เป็นผลจากการขีดหรือการขีดข่วน (Abrasive) เรียกการสึกหรอแบบนี้ว่าการสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear) ในช่วงแรกของการตัดเกิดการสึกหรอจากการขีดข่วนขึ้นสูง และการสึกหรอค่อยๆ ลดลงเมื่อจำนวนครั้งในการตัดเพิ่มขึ้น เพราะระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่เพิ่มขึ้น [3] เมื่อเปรียบเทียบลักษณะของการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับพันธทั้ง 4 ชุด ที่ช่องว่างคมตัดน้อยคือ 7%t เกิดการสึกหรอในลักษณะการขีดข่วนมากที่สุดในช่วงเริ่มต้น และเกิดการสึกหรอลักษณะขีดข่วนสูง เมื่อผิวของพันธหยาบขึ้นจากการสึกหรอ ส่วนที่ช่องว่างคมตัดมากคือ 16%t เกิดการสึกหรอในลักษณะขัดถูน้อยกว่าเมื่อเริ่มต้นของการตัด เนื่องจากแรงเสียดทาน (Friction Force) ที่เกิดขึ้นน้อยกว่า เป็นผลมาจากขนาดของระยะช่องว่างคมตัดระหว่างพันธและดายที่มากกว่า

รูปแบบการสึกหรอของแม่พิมพ์ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายด้าน เช่น องค์ประกอบทางเคมีของแม่พิมพ์และวัสดุชิ้นงาน องค์ประกอบด้านความเรียบผิวแม่พิมพ์ และองค์ประกอบด้านความเสียดทาน เป็นต้น ทั้งนี้จากการทดลองเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKS3 มีความแตกต่างจากชิ้นงานที่ทดลองตัดคือเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS G3113 เกรด SAPH440 การสึกหรอจึงเกิดขึ้นในลักษณะแบบขัดถู (Abrasive wear) ส่วนคุณภาพขอบตัดชิ้นงานขึ้นอยู่กับระยะช่องว่างคมตัดระหว่างพันธและดาย และคุณสมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงานเป็นหลัก ซึ่งมีความสามารถในการยึดตัวต่ำกว่าเหล็กกล้าทั่วไป ทำให้เกิดรอยแตกเร็ว กว่า จึงเป็นสาเหตุให้เกิดส่วนฉีกขาดสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าทั่วไปที่ระยะช่องว่างคมตัดระหว่างพันธและดายเท่ากัน

การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักพันธ จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณการสึกหรอของแม่พิมพ์ ซึ่งค่าน้ำหนักของพันธจะลดลงเมื่อเริ่มต้นการตัดชิ้นงาน โดยอัตราการลดลงของน้ำหนักจะเกิดขึ้นสูงในช่วงแรกของการตัด เนื่องจากช่วงนี้มีอัตราการสึกหรอเกิดขึ้นสูง เป็นผลมาจากอนุภาคของวัสดุพันธหลุดออก เนื่องจากการสึกหรอในลักษณะต่างๆ ดังที่กล่าวมา ซึ่งแม่พิมพ์ที่มีระยะ

ช่องว่างคมตัดน้อยคือ 7%t จะมีอัตราการลดลงของน้ำหนักสูงที่สุด เมื่อเทียบกับพื้นที่ช่องว่างคมตัดมากกว่า เนื่องจากมีอัตราการสึกหรอเกิดขึ้นสูงกว่าแม่พิมพ์ที่ช่องว่างคมตัดมาก และเมื่อทำการตัดชิ้นงานจำนวนมากขึ้น อัตราการลดลงของน้ำหนักจะเริ่มคงที่เป็นเพราะระยะช่องว่างของคมตัดที่เพิ่มขึ้น และเนื่องจากการสึกหรอที่มีแนวโน้มคงที่

1.3 ภาพถ่ายการสึกหรอด้านข้างของพินซ์ (Punch)



(ก) ชั้นที่ 100

(ข) ชั้นที่ 7,000

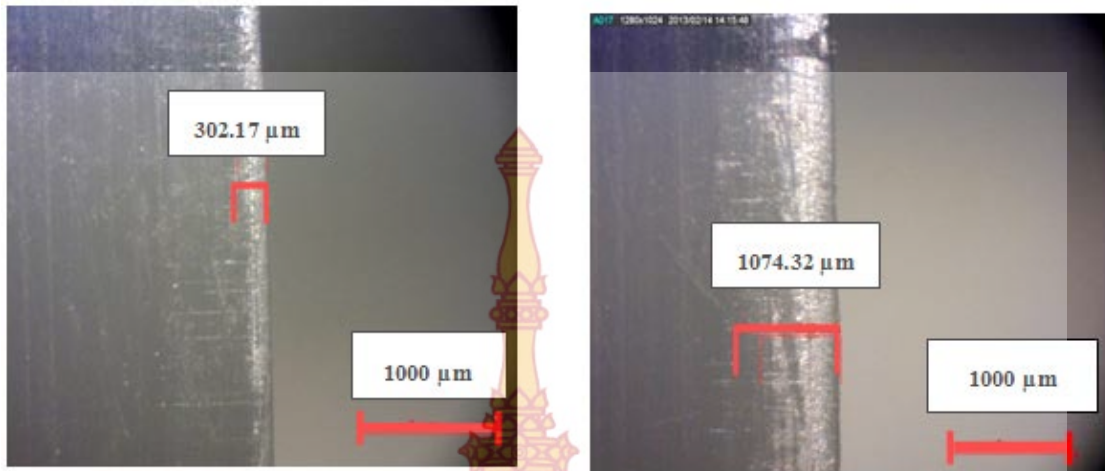
ภาพที่ 4.4 การสึกหรอด้านข้างของพินซ์ช่องว่างคมตัด 7%t



(ก) ชั้นที่ 100

(ข) ชั้นที่ 7,000

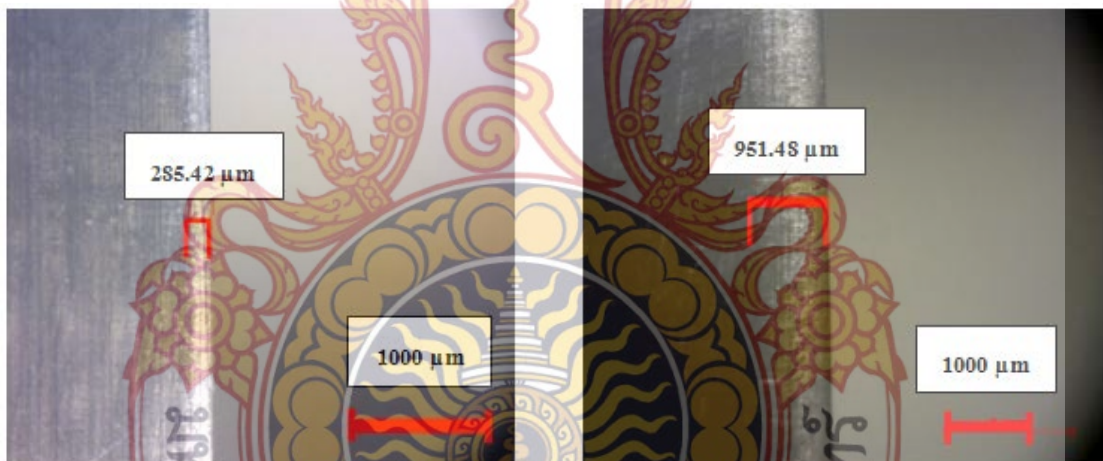
ภาพที่ 4.5 การสึกหรอด้านข้างของพินซ์ช่องว่างคมตัด 10%t



(ก) ชั้นที่ 100

(ข) ชั้นที่ 7,000

ภาพที่ 4.6 การสึกหรอด้านข้างของฟันช่ช่องว่างคมตัด 13%t



(ก) ชั้นที่ 100

(ข) ชั้นที่ 7,000

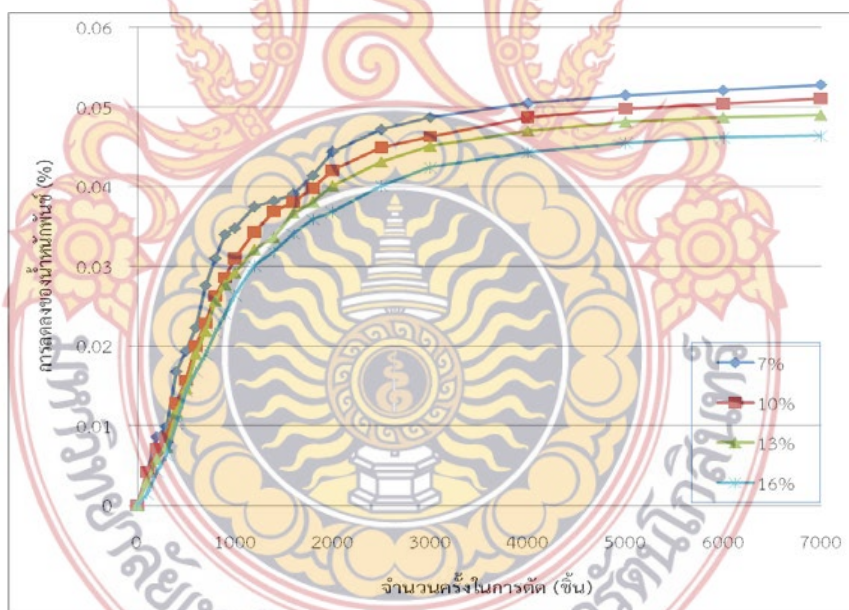
ภาพที่ 4.7 การสึกหรอด้านข้างของฟันช่ช่องว่างคมตัด 16%t

จากภาพที่ 4.4 ถึงภาพที่ 4.7 แสดงผลภาพถ่ายลักษณะการสึกหรอของฟันช่ พิจารณาภาพการสึกหรอด้านข้างของฟันช่จากภาพที่ 4.4 (ก) ถึง 4.7 (ก) ซึ่งเป็นฟันช่ที่ทำการตัดเฉือนชิ้นงานที่ 100 ชั้น พบว่าบริเวณคมตัดด้านข้างของฟันช่เกิดการสึกหรอเล็กน้อย และเมื่อทำการป้อนตัด จากภาพที่ 4.4 (ข) ถึง 4.7 (ข) ซึ่งเป็นฟันช่ที่ทำการตัดเฉือนชิ้นงานถึงจำนวน 7,000 ชั้น จะพบว่าบริเวณคมตัดของฟันช่ที่มีระยะห่างคมตัด 7% ของความหนาชิ้นงาน ภาพที่ 4.4 (ข) เกิดการสึกหรอชั้นที่คมตัดสูงที่สุด เนื่องจากการเสียดสีระหว่างฟันช่และตายกับชิ้นงานเกิดขึ้นสูง เมื่อเปรียบเทียบกับฟันช่ชุดอื่น

บริเวณคมตัดของฟันซี่ที่มีระยะห่างคมตัด 10% ของความหนาชิ้นงาน เมื่อทำการตัดชิ้นงานไป 7,000 ชิ้น ภาพที่ 4.5 (ข) มีความกว้างเกิดขึ้นที่คมตัดปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับฟันซี่ชุดอื่น และบริเวณคมตัดของฟันซี่ที่มีระยะห่างคมตัด 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน ภาพที่ 4.6 (ข) และภาพที่ 4.7 (ข) เมื่อทำการตัดชิ้นงานไป 7,000 ชิ้น การสึกหรอเกิดขึ้นน้อยลงตามลำดับ เพราะการเสียดสีเกิดขึ้นน้อยกว่าแม่พิมพ์ทั้งสองชุดที่กล่าวมา

1.4 การศึกษาผลของน้ำหนัที่เปลี่ยนแปลง

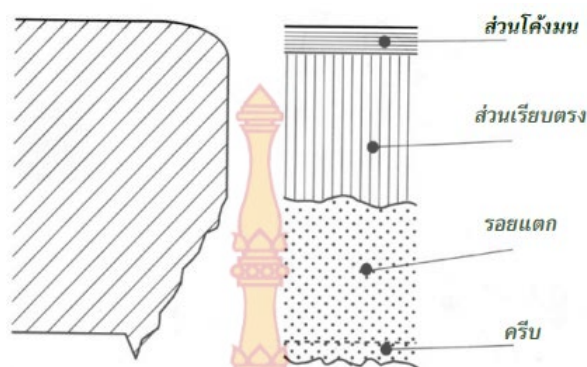
จากการทดลองพบว่าอิทธิพลของช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซี่และตายที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของฟันซี่ หลังจากการตัดชิ้นงานค่าน้ำหนักของฟันซี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงได้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนัก ดังภาพที่ 4.8 จากผลการทดลองปรากฏว่าน้ำหนักจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดลองและเมื่อจำนวนการตัดเพิ่มขึ้น อัตราการลดลงของน้ำหนักจะน้อยลงจนเกือบจะคงที่ ฟันซี่ที่มีช่องว่างคมตัด 7%t อัตราการลดลงของน้ำหนักที่สูงที่สุด รองลงมาคือ 10% 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าน้ำหนักของการตัดชิ้นงานชิ้นแรกกับชิ้นสุดท้ายของการทดลอง ที่ช่องว่างคมตัด 7%t 10%t 13%t และ 16%t น้ำหนักของฟันซี่จะลดลง 0.037 กรัม 0.036 กรัม 0.033 กรัม และ 0.032 กรัม หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำหนักฟันซี่ก่อนการทดลองคือ 0.0526% 0.0515% 0.0482% และ 0.0470% ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของฟันซี่

1.5 การศึกษาลักษณะคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน

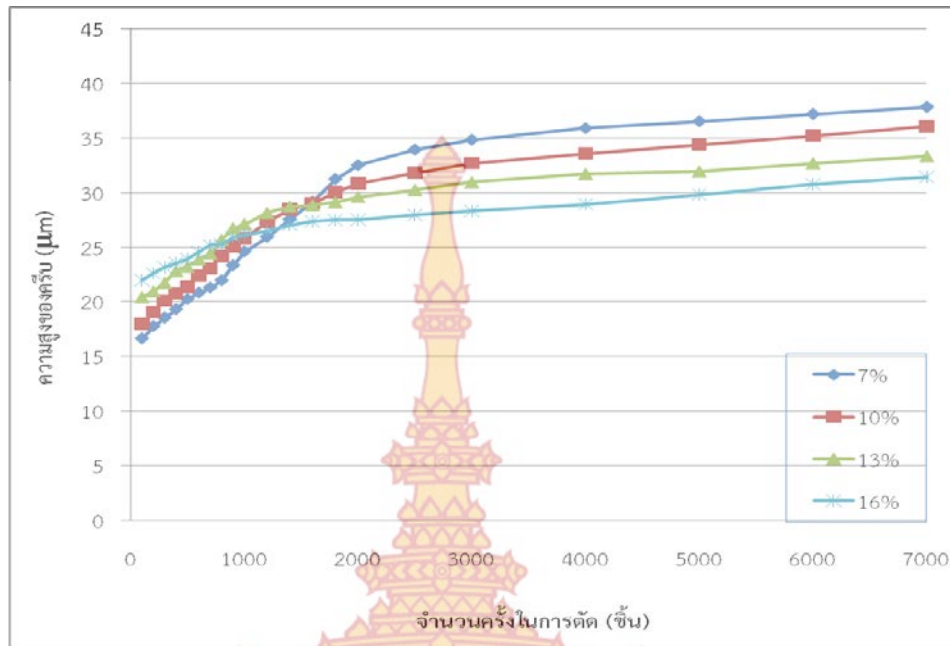
การสึกหรอของฟันซี่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขอบตัดชิ้นงานในลักษณะเหมือนกันคือ ส่งผลให้ส่วนโค้งมน (Die roll) เพิ่มขึ้น ระยะการตัดเฉือนหรือส่วนเรียบตรงน้อยลง (Shear surface) ระยะการฉีกขาด (Fracture surface) เพิ่มขึ้น และครีบ (Burr) จะมีขนาดเพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 4.9 โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของขอบตัดเป็นผลมาจากระยะการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับฟันซี่และตาย



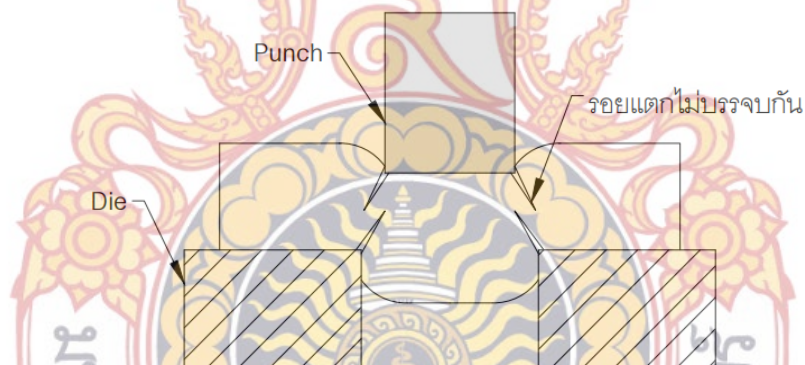
ภาพที่ 4.9 ส่วนต่างๆ ของขอบตัดชิ้นงาน [17]

1.5.1 ผลการศึกษาการเกิดครีบ (Burr) ที่ขอบตัดชิ้นงาน

โดยปกติขนาดของครีบที่ขอบตัดชิ้นงาน สามารถบ่งบอกอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ได้ระดับหนึ่ง การวัดความสูงของครีบชิ้นงานที่ได้จากการตัดโดยใช้แม่พิมพ์ทั้ง 4 ชุดที่มีช่องว่างคมตัด ดังภาพที่ 4.10 เมื่อนำชิ้นงานชิ้นที่ 100 ของทุกชุดแม่พิมพ์มาทำการวัดค่าความสูงครีบ ชิ้นงานที่ตัดด้วยแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างคมตัด 7% 10% 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน วัดระยะครีบได้ 16.63 μm 18.03 μm 20.41 μm และ 21.98 μm ตามลำดับ หรือ 1.04% 1.13% 1.28% และ 1.38% ของความหนาชิ้นงาน ค่าความสูงของครีบในช่วงเริ่มต้นของการตัดจะเกิดขึ้นสูงกับชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัดมาก และครีบจะเกิดขึ้นน้อยกับแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัดน้อย ค่าความสูงของครีบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการตัด โดยชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างคมตัดน้อยจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของครีบสูงที่สุด เนื่องจากบริเวณคมตัดของฟันซ์และตายมีการสึกหรอเพิ่มขึ้น ตำแหน่งที่เริ่มเกิดรอยแตกจะห่างจากคมตัดมากขึ้นทำให้รอยแตกที่เกิดขึ้นจากด้านฟันซ์และตายจะขยายยาวออกไปแต่ไม่บรรจบกัน ทำให้เนื้อวัสดุที่เหลือบนขอบตัดหรือครีบมีขนาดมากขึ้น [17] ดังภาพที่ 4.11 และชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัดมาก จะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของครีบต่ำที่สุด ค่าความสูงของครีบจากการวัดที่จำนวนการตัด 7,000 ชิ้น ด้วยแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างคมตัด 7% 10% 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน มีค่า 37.88 μm , 36.08 μm 33.37 μm และ 31.42 μm หรือ 2.36% 2.25% 2.08% และ 1.96% ของความหนาชิ้นงานตามลำดับ



ภาพที่ 4.10 ความสูงของครีบบอบตัดขึ้นงาน

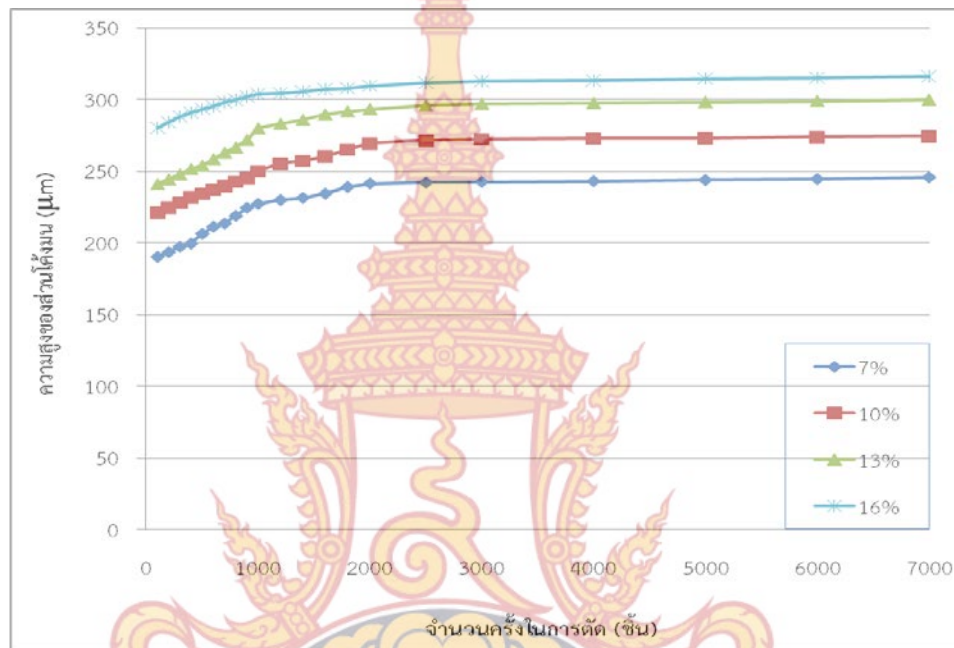


ภาพที่ 4.11 การขยายตัวของรอยแตกในชิ้นงานกรณีที่มีระยะ Clearance น้อยเกินไป [17]

1.5.2 ผลการศึกษาส่วนโค้งมน (Die roll) ที่เกิดบนขอบตัดขึ้นงาน

ส่วนโค้งมนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรของชิ้นงานที่ถูกดึงโดยคมตัดของฟันซ์และตายในช่วงแรกของการตัด [10] จากผลการทดลองพบว่าความสูงของระยะส่วนโค้งมนมีค่ามากขึ้นในจำนวนครั้งการตัดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสึกหรอของฟันซ์ทำให้การตัดยากขึ้นต้องใช้แรงในการตัดสูง ความเค้นดึงในเนื้อวัสดุมากขึ้น ส่งผลทำให้ส่วนโค้งมนเพิ่มขึ้นและการสึกหรอด้านข้างคมตัดทำให้ระยะช่องว่างระหว่างฟันซ์และตายมากขึ้น ระยะส่วนโค้งมนจึงสูงขึ้น ผลการวัดส่วนโค้งมนที่ขอบตัดขึ้นงาน ดังภาพที่ 4.12 ที่ระยะช่องว่างคมตัด 7%t มีระยะของการเกิดส่วนโค้งมนน้อยที่สุด และที่ช่องว่างคมตัด 16%t เกิดส่วนโค้งมนสูงที่สุด เมื่อเริ่มต้นการตัดขึ้นงานเกิดส่วนโค้งมนที่ 7%t

10%t 13%t และ 16%t คือ 190.25 μm 221.11 μm 240.86 μm และ 280.15 μm หรือ 11.89% 13.81% 15.05% และ 17.50% ของความหนาชิ้นงาน ตามลำดับ และเมื่อทำการตัดไปถึงจำนวนการตัดที่ 7,000 ชิ้น ส่วนการโค้งมนจะเพิ่มเป็น 245.75 μm 274.41 μm 299.77 μm และ 316.21 μm ตามลำดับ หรือ 15.36%, 17.15% 18.73% และ 19.76 % ของความหนาชิ้นงาน และหลังจากนั้นระยะการโค้งมนจะเพิ่มขึ้นน้อยมาก

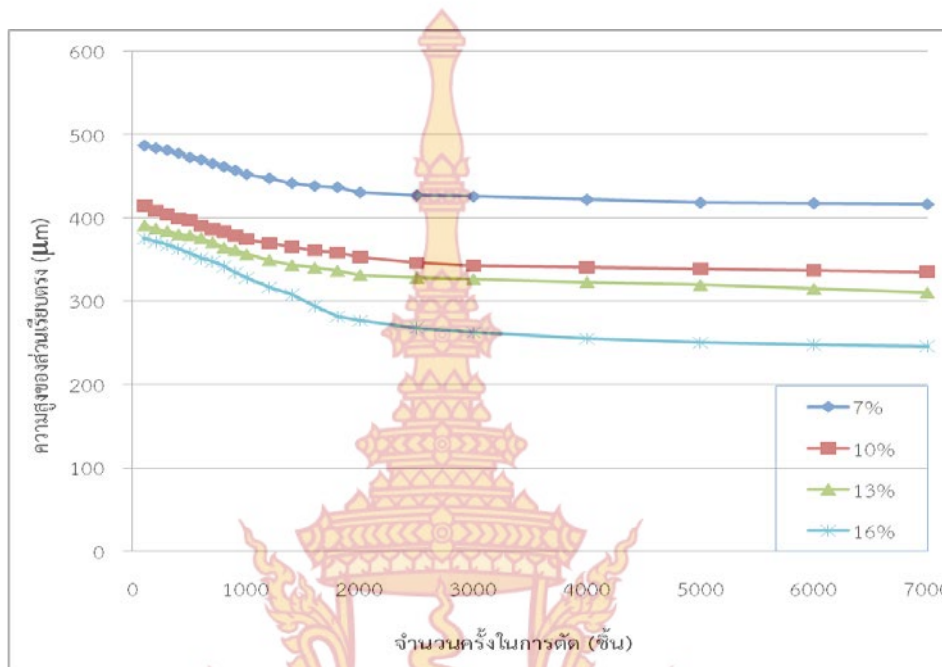


ภาพที่ 4.12 ส่วนโค้งมนของชิ้นงาน

1.5.3 ผลการศึกษาส่วนการตัดเฉือนหรือส่วนเรียบตรง (Shear surface) ที่เกิดบนขอบตัดชิ้นงาน

เกิดจากเนื้อวัสดุที่ถูกคมตัดของฟันซี่และดาบเฉือนให้เกิดเป็นส่วนที่มีผิวเรียบตรง จะเห็นว่าส่วนการตัดเฉือนมีค่าลดลง เมื่อจำนวนครั้งการตัดที่เพิ่มขึ้น เพราะการสึกหรอทำให้เกิดความเค้นอัดภายในเนื้อวัสดุลดลง จากผลการทดลองวัดค่าความกว้างรอยตัดเฉือนที่ขอบตัดชิ้นงานปรากฏว่าชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัด 7%t มีความกว้างของรอยตัดเฉือนมากที่สุด รองลงมาคือ 10%t, 13%t และ 16%t ตามลำดับ โดยที่รอยตัดเฉือนจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่สูงในช่วงแรกของการทดลอง และเมื่อจำนวนการตัดเพิ่มขึ้นระยะของรอยตัดเฉือนจะเริ่มคงที่ซึ่งชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่กำหนดระยะช่องว่างคมตัดที่ 7%t, 10%t, 13%t และ 16%t มีระยะของส่วนการตัดเฉือนของชิ้นงานจากการตัดครั้งที่ 100 คือ 487.11 μm 415.18 μm 391.21 μm และ 375.61 μm ตามลำดับ หรือ 30.44% 25.94% 24.45% และ 23.47% ของความหนาชิ้นงาน และเมื่อทำการตัดชิ้นงานถึง 7,000 ชิ้น ส่วนของรอยตัดเฉือนลดลงเป็น 416.36 μm 335.10

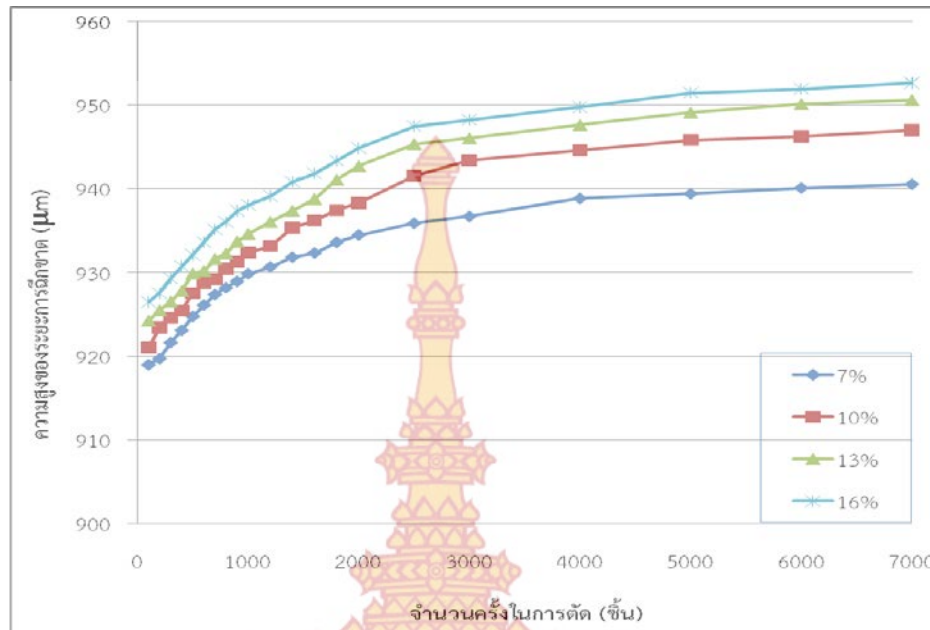
μm 310.21 μm และ 245.69 μm ตามลำดับ หรือ 26.02% 20.94% 19.38 และ 15.35% ของความหนาชิ้นงาน หลังจากนั้นระยะรอยตัดเฉือนจะมีแนวโน้มคงที่ ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 ส่วนการตัดเฉือนหรือส่วนเรียบตรงของชิ้นงาน

1.5.4 ผลการศึกษารอยฉีกขาดหรือส่วนรอยแตก (Fractured surface) ที่เกิดบนขอบตัดชิ้นงาน

เกิดจากการที่ความเค้นในเนื้อวัสดุมีค่าสูงเกินขีดจำกัดที่วัสดุสามารถรับได้ ทำให้เกิดการฉีกขาดออกจากกันก่อนที่จะถูกคมตัดของฟันซ์และตายเฉือน ผลจากการวัดส่วนของรอยฉีกขาดที่เกิดบนชิ้นงานที่ได้จากการตัด ดังภาพที่ 4.14 ผลการทดลองพบว่าส่วนที่เป็นรอยฉีกขาดจะเกิดขึ้นสูงในช่วงแรกของการตัด จำนวนการตัดเพิ่มขึ้นรอยฉีกขาดที่ขอบตัดจะมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยชิ้นงานที่ช่องว่างคมตัด 16% รอยฉีกขาดจะเกิดขึ้นสูงที่สุด รองลงมาคือ 13% 10% และ 7% ของความหนาชิ้นงาน ตามลำดับ โดยส่วนของรอยฉีกขาดเกิดขึ้นที่ขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดครั้งที่ 100 จากการกำหนดระยะช่องว่างคมตัด 7% 10% 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน คือ 918.99 μm 921.05 μm 924.30 μm และ 926.48 μm หรือ 57.43% 57.56% 57.76% และ 57.90% ของความหนาชิ้นงานตามลำดับ และเมื่อทำการตัดชิ้นงานไปถึง 7,000 ชิ้น ส่วนของรอยฉีกขาดเพิ่มขึ้นเป็น 940.58 μm 947.02 μm 950.63 μm และ 952.66 μm หรือ 58.78% 59.18% 59.41% และ 59.54% ของความหนาชิ้นงาน ตามลำดับ

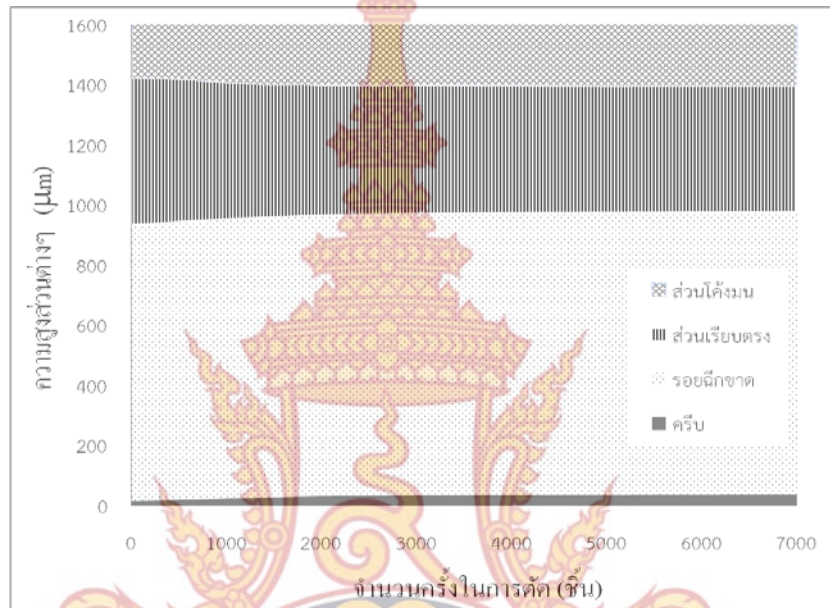


ภาพที่ 4.14 ระยะการฉีกขาดของชิ้นงาน

1.6 วิเคราะห์ผลเกี่ยวกับลักษณะของขอบตัดชิ้นงาน

จากผลการทดลองเมื่อนำชิ้นงานที่ได้จากการตัดด้วยแม่พิมพ์ ที่ระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตาย (Clearance) แตกต่างกัน พบว่าค่าความสูงของครีบที่เกิดบนชิ้นงานที่ได้จากช่วงแรกของการตัดเป็นผลมาจากค่าระยะห่างของช่องว่างคมตัด ซึ่งครีบจะเกิดขึ้นสูงกับชิ้นงานที่ได้จากชุดแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัดมาก และจะเกิดขึ้นน้อยกับแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัดน้อย แต่เมื่อจำนวนการตัดเพิ่มสูงขึ้นทำให้คมตัดของฟันซ์และตายเกิดการสึกหรอ คมตัดฟันซ์เปลี่ยนเป็นรัศมี ทำให้การตัดเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ส่งผลให้ค่าความสูงของครีบเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่สูง ซึ่งในช่วงนี้อิทธิพลของลักษณะคมตัดจะมีผลต่อการเกิดครีบมากกว่าระยะช่องว่างของคมตัดแม่พิมพ์ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี [5] ส่วนของการโค้งมนที่เกิดบนขอบตัดชิ้นงาน ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างคมตัดมากจะเกิดส่วนโค้งมนสูงเนื่องจากเกิดลักษณะของการตัดขึ้นที่ขอบตัดชิ้นงานระหว่างคมตัดของฟันซ์และตายที่ห่างกันทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูป ส่วนโค้งมนจะเกิดขึ้นน้อยบนชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัดน้อย เนื่องจากเกิดค่าความเค้นดึงสูงบริเวณคมตัดและมีการกระจายของค่าความเค้นน้อยกว่าลักษณะการเปลี่ยนรูปในลักษณะโค้งมนจึงเกิดขึ้นน้อย แนวโน้มของส่วนโค้งมนจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อจำนวนของการตัดมากขึ้น เนื่องจากการสึกหรอทำให้ค่าระยะช่องว่างของคมตัดเพิ่มขึ้นและผลของการเกิดรัศมีที่คมตัด ส่งผลให้พื้นที่ของการกดตัดมีมากขึ้นทำให้ค่าความเค้นดึงเกิดการกระจายตัวมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนรูปถาวรในลักษณะของการโค้งมนมีมากขึ้น ในส่วนของรอยฉีกที่เกิดขึ้นบนขอบตัดชิ้นงานจะเกิดขึ้นสูงที่สุดกับชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัดน้อย และจะเกิดขึ้นน้อยที่ชิ้นงานจากแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัดมาก และจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนของการตัดเพิ่มขึ้น ในส่วนของรอยฉีกขาดที่ขอบตัดชิ้นงาน จะเกิดขึ้นสูงกับชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัดมาก เนื่องจากขณะฟันซ์เพิ่มระยะการกดลึก

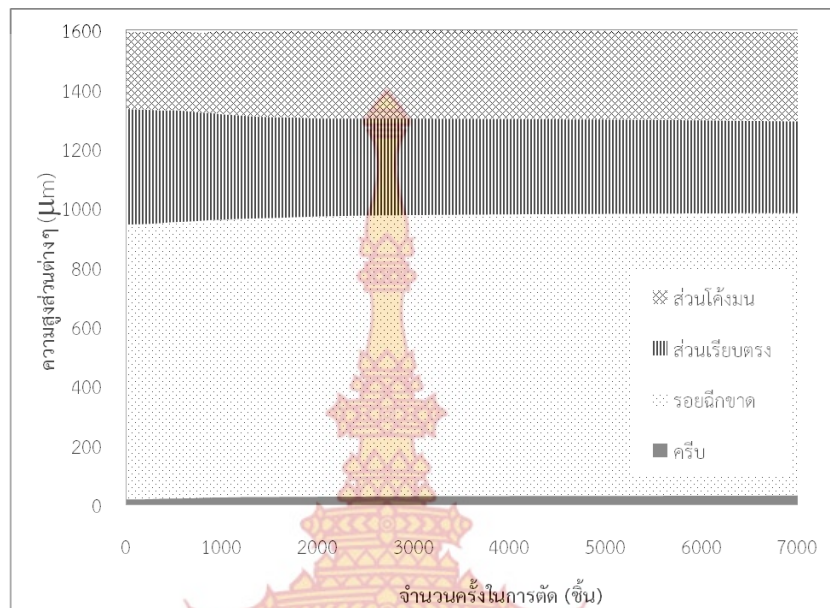
หลังจากเกิดการเชื่อมค่าความเค้นดึงจะเพิ่มขึ้นสูง จนเลยขีดจำกัดค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุทำให้วัสดุขาดออกจากกันในลักษณะการฉีกออกจากกันเกิดเป็นรอยขรุขระ และเกิดขึ้นต่ำกับชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัดน้อย แนวโน้มการเกิดรอยแตกจากการฉีกขาดจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนของการตัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะห่างคมตัดเพิ่มขึ้น และลักษณะของคมตัดที่เปลี่ยนไป ซึ่งค่าความสูงของครีบ ส่วนโค้งมน รอยตัดเฉือน และบริเวณการแตกจะเริ่มคงที่เมื่อทำจำนวนการตัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการสึกหรอที่ลดลงจากอิทธิพลของการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับฟันซ์และตาย



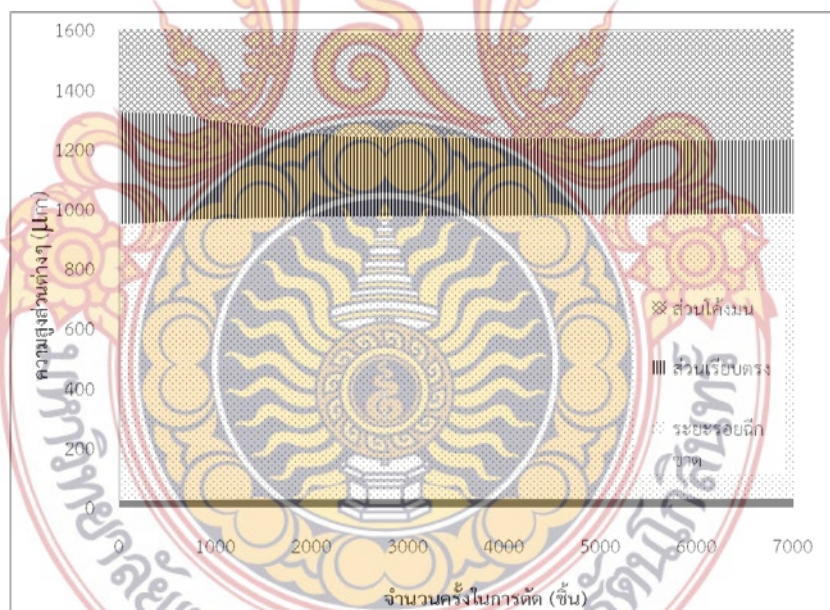
ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของขอบตัดชิ้นงานที่ช่องว่างคมตัด 7%t



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของขอบตัดชิ้นงานที่ช่องว่างคมตัด 10%t



ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของขอบตัดชิ้นงานที่ช่องว่างคมตัด 13%t

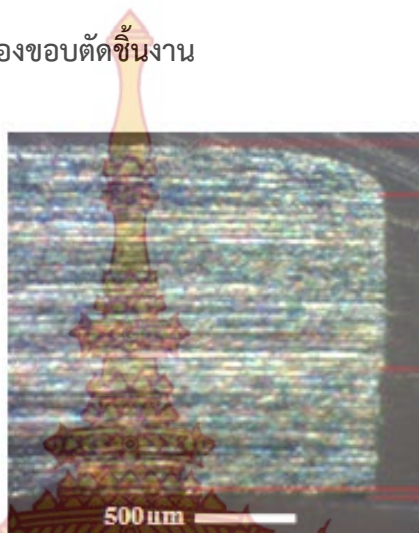


ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ของขอบตัดชิ้นงานที่ช่องว่างคมตัด 16%t

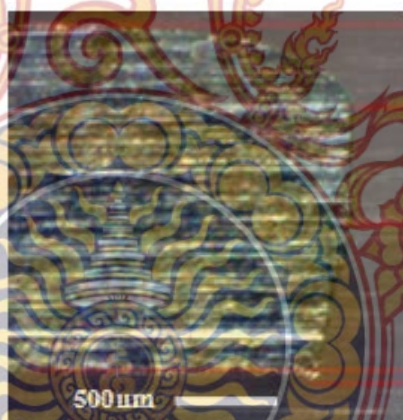
การเปลี่ยนแปลงของขอบตัดชิ้นงานจะมี 4 ส่วนเกิดขึ้น คือส่วนโค้งมน (Die Roll) รอยตัดเฉือน (Shear Surface) รอยฉีกขาด (Fracture Surface) และครีบ (Burr) ดังที่กล่าวมา ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของส่วนต่างๆ ของคมตัดเมื่อทำการตัดไปจำนวนมากขึ้น ขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีค่าช่องว่างคมตัดทั้ง 4 ชุดจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ไปในทิศทางเดียวกัน ดัง

ภาพที่ 4.15 ถึงภาพที่ 4.18 คือส่วนของการโค้งมนจะเพิ่มขึ้น ส่วนของรอยตัดเฉือนจะลดลง รอยฉีกขาดจะเพิ่มขึ้น และส่วนของครีบจะเพิ่มสูงขึ้น

1.6.1 ภาพถ่ายด้านข้างของขอบตัดขึ้นงาน

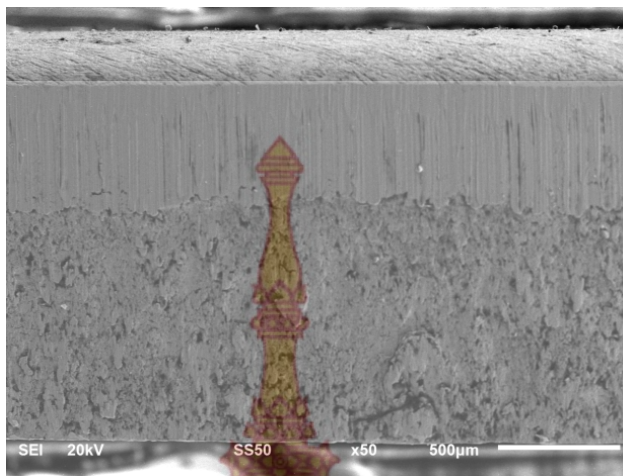


ภาพที่ 4.19 ขอบตัดที่ได้จากการตัดครั้งที่ 100 ช่องว่างคมตัด 7%t



ภาพที่ 4.20 ขอบตัดที่ได้จากการตัดครั้งที่ 7,000 ช่องว่างคมตัด 7%t

จากรูปที่ 4.19 ถึงภาพที่ 4.20 เป็นการเปรียบเทียบขอบตัดขึ้นงานที่ได้จากการตัดครั้งที่ 100 ถึงการตัดครั้งที่ 7,000 โดยช่วงเริ่มต้นการตัดบริเวณคมตัดของแม่พิมพ์ยังไม่มีอาการสึกหรอ ความสูงของครีบเกิดขึ้นเล็กน้อย ขอบตัดของชิ้นงานในส่วนต่างๆ ก็มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อจำนวนการตัดเพิ่มขึ้นทำให้คมตัดของพินซ์และตายเกิดการสึกหรอ ทำให้ลักษณะของคมตัดเปลี่ยนแปลงไป ตำแหน่งที่เริ่มเกิดรอยแตกจะห่างจากคมตัดมากขึ้น คือเลื่อนสูงขึ้นเหนือรัศมีคมตัดทำให้เนื้อวัสดุที่เหลือบนขอบตัดหรือครีบบมีขนาดใหญ่มากขึ้น และจากรูปที่ 4.21 เป็นขอบตัดขึ้นงานที่ได้จากการตัดครั้งที่ 7,000 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM)



ภาพที่ 4.21 ขอบตัดชิ้นงานที่ช่องว่างคมตัด 7%t ด้วยกล้อง SEM
1.7 ผลการวัดค่าความเรียบผิวพื้นซ์

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าของความเรียบผิว (Ra) ด้านข้างของพื้นซ์

ชนิดของพื้นซ์	ก่อนการตัด (μm)	หลังการตัดขึ้นที่ 7,000 (μm)
Clearance 7%t	0.163	0.617
Clearance 10%t	0.170	0.535
Clearance 13%t	0.138	0.482
Clearance 16%t	0.149	0.415

การวัดค่าความเรียบผิวด้านข้างของพื้นซ์ ก่อนและหลังจากการตัดชิ้นงาน ปรากฏว่าก่อนการตัดค่าความเรียบผิวของพื้นซ์ทั้ง 4 ชุด มีค่าความเรียบผิวใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการตัดชิ้นงานไป 7,000 ขึ้น ค่าความเรียบผิวของพื้นซ์จะมีค่ามากขึ้น (หยาบขึ้น) ซึ่งพื้นซ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัด 7%t ค่าความเรียบผิวจะเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ส่วนพื้นซ์ที่มีระยะช่องว่างคมตัด 16%t ค่าความเรียบผิวมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เมื่อค่าความเรียบผิวด้านข้างของพื้นซ์ Ra มีค่ามากขึ้น การสึกหรอแบบการขัดถู (Abrasive Wear) มีมาก เนื่องจากวัสดุที่มีความหยาบผิวมากยอหดแหลมที่ผิวของวัสดุจะมีความสูงมากกว่าวัสดุที่มีความหยาบผิวน้อยกว่า ดังนั้นเมื่อวัสดุทั้งสองเคลื่อนที่สวนทางกันวัสดุที่มีความหยาบผิวมากจะสูญเสียเนื้อของวัสดุบริเวณยอหดแหลมได้ง่ายกว่าวัสดุที่มีความหยาบผิวน้อยกว่า ทำให้เกิดการสึกหรอที่มากขึ้น [18]

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด โดยการศึกษาอิทธิพลช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตาย (Clearance) ที่ระดับแตกต่างกันคือ 7% 10% 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน และทำการตัดวัสดุชิ้นงานเป็นหลักกล้าความแข็งแรงสูงมาตรฐาน JIS G3113 เกรด SAPH440 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความหนา 1.6 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาอิทธิพลของช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตายที่มีผลต่อการสึกหรอ และคุณภาพขอบตัดของชิ้นงานที่ได้

1. สรุปผลการทดลอง

1.1 ระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตายมีอิทธิพลต่อการสึกหรอที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ การสึกหรอเกิดขึ้นสูงที่สุดกับแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างคมตัดน้อย คือช่องว่างคมตัด 7%t เนื่องจากการเสียดสีระหว่างฟันซ์และตายกับชิ้นงานเกิดขึ้นสูง ทำให้คมตัดของฟันซ์เปลี่ยนเป็นรัศมี และการสึกหรอจะเกิดขึ้นน้อยกับแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างคมตัดมาก คือช่องว่างคมตัด 16%t เนื่องจากการเสียดสีที่เกิดขึ้นน้อยกว่า โดยการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณด้านข้างของคมตัดมากกว่าด้านหน้าคมตัดฟันซ์

1.2 การสึกหรอของฟันซ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขอบตัดชิ้นงานในลักษณะเหมือนกัน คือส่งผลให้ส่วนโค้งมน (Die roll) เพิ่มขึ้น ส่วนของรอยตัดเฉือนหรือส่วนเรียบตรงน้อยลง (Shear surface) ระยะเวลาฉีกขาด (Fracture surface) เพิ่มขึ้น และครีป (Burr) จะมีขนาดเพิ่มสูงขึ้น

1.3 ระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตายมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของฟันซ์ โดยฟันซ์ที่ช่องว่างคมตัด 7% มีอัตราการลดลงของน้ำหนักสูงที่สุด รองลงมาคือ 10%, 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน โดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณการสึกหรอของแม่พิมพ์ อัตราการลดลงของน้ำหนักเกิดขึ้นสูงในช่วงแรกของการตัด เนื่องจากช่วงนี้มีการสึกหรอเกิดขึ้นสูง

2. ข้อเสนอแนะ

การสึกหรอของแม่พิมพ์แปรผกผันกับระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตาย คือระยะช่องว่างคมตัดน้อยการสึกหรอจะเกิดขึ้นสูง แต่ถ้าระยะช่องว่างคมตัดมากการสึกหรอจะเกิดขึ้นน้อยลง ส่วนคุณภาพขอบตัดชิ้นงานขึ้นอยู่กับระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตาย ดังนั้นการประยุกต์ใช้ในงานในอุตสาหกรรมจึงต้องคำนึงถึงปริมาณการผลิตและคุณภาพชิ้นงานเป็นสำคัญ คือถ้าต้องการคุณภาพขอบตัดชิ้นงานคุณภาพสูง แต่ปริมาณการผลิตไม่มากนักแนะนำให้เลือกใช้ระยะช่องว่างคมตัดที่มีค่าน้อย แต่ถ้าปริมาณการผลิตค่อนข้างสูงแนะนำให้เลือกใช้ระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และตายที่มีค่าปานกลางถึงมากสำหรับการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

บรรณานุกรม

- [1] รัชณี ฮาโตะ และอรุณณพ เรืองวิเศษ. *ไขข้อสงสัยกระบวนการขึ้นรูป*, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2551.
- [2] ชาญชัย ทรัพยากร และคณะ. *การออกแบบแม่พิมพ์*, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2552.
- [3] Lange, K. *Handbook of Metal Forming*, McGraw-Hill, New York, 1985.
- [4] ชาญ ถนัดงาน. *เอกสารประกอบการเรียนแม่พิมพ์*, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2536.
- [5] John A. Schey. Tribology in Metalworking. *The American Society for Metals*, USA, 1984.
- [6] Koji, K. and Koshi, K. Wear Mechanisms. *In Modern Tribology Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1999.
- [7] K. Mori, Y. Abe, Y. Kidoma, P. Kadarno. Slight clearance punching of ultra-high strength steel sheets using punch having small round edge. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2013; 65: 41-46
- [8] Rajiv Shivpuri, Siddarth Singh, Kuldeep Agarwal, Chun Liu. Energy release rate based approach for the wear of punches in precision blanking of high strength steel. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2011; 60: 307-310.
- [9] Hyunwoo So, Dennis Famann, Hartmut Hoffmann, Roland Golle, Mirko Schaper. An investigation of the blanking process of the quenchable boron alloyed steel 22MnB5 before and after hot stamping process. *Journal of Materials Processing Technology*. 2012; 212: 437-449
- [10] Soumya Subramonian, Taylan Altan, Bogdan Ciocirlan, Craig Campbell. Optimum selection of variable punch-die clearance to improve tool life in blanking non-symmetric shapes. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2013; 75: 63-71.

- [11] O'mer Necati Cora, Muammer Koc. Experimental investigations on wear resistance characteristics of alternative die materials for stamping of advanced high-strength steels (AHSS). *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2009; 49: 897-905.
- [12] Gang Fang, Pan Zeng, Lulian Lou. Finite element simulation of the effect of clearance on the forming quality in the blanking process. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002; 122: 249-254.
- [13] S.K. Maiti et al, (2000). Assessment of Influence of Some Process Parameter on Sheet Metal Blanking. *Journal of Material Processing Technology*, 2000; 102: 249-256.
- [14] X.Z. Wang, S.H Masood. Investigation of die radius arc profile on wear behavior in sheet metal processing of advanced high strength steels. *Journal of Materials and Design*, 2010; 32: 1118-1128.
- [15] Zafer Tekiner, Muammer Nalbant, Hakan Gurun. An experimental study for the effect of different clearances on burr smooth-sheared and blanking force on aluminium sheet metal. *Materials and Design* 2006; 27: 1134-1138.
- [16] J.J. Hernandez, P. Franco, M. Estrems, F. Faura. Modelling and experimental analysis of the effects of tool wear on form errors in stainless steel blanking. *Journal of Materials Processing Technology*, 2006; 180: 143-150.
- [17] วารุณี เปรมมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์. แม่พิมพ์โลหะแผ่น, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2555.
- [18] Bhushan, B. Wear, In Principles and Application of Tribology, John Wiley & Son, New York, 1999.



ภาคผนวก ก

รายละเอียดการบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ตารางบันทึกผลระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ (Flak Wear)

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	Cutting clearance			
	7 %	10 %	13 %	16 %
	ระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ (μm)			
0	0	0	0	0
100	695.52	430.41	302.17	285.42
200	823.98	614.74	391.19	346.68
300	942.00	769.51	485.11	438.69
400	967.44	828.13	568.21	487.43
500	973.22	936.37	641.54	521.13
600	984.93	947.54	713.98	576.87
700	1011.71	959.06	826.47	643.67
800	1017.54	964.91	877.37	681.36
900	1035.09	988.30	896.05	729.14
1000	1046.78	1009.09	951.58	764.98
1200	1093.58	1030.94	988.70	840.76
1400	1116.96	1052.63	991.04	882.46
1600	1187.19	1081.87	1003.20	888.30
1800	1218.07	1093.63	1011.43	900.15
2000	1241.46	1105.26	1021.60	911.50
2500	1263.10	1116.96	1029.97	917.56
3000	1282.55	1128.65	1037.10	923.39
4000	1292.40	1144.56	1042.21	929.24
5000	1315.91	1169.59	1051.15	935.09
6000	1321.08	1174.64	1059.63	938.87
7000	1334.79	1184.06	1067.32	944.48

ตารางที่ ก.2 ตารางบันทึกผลระยะการสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์ (Face Wear)

จำนวนครั้งของการ ตัด (ครั้ง)	Cutting clearance			
	7 %	10 %	13 %	16 %
	ระยะการสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์ (μm)			
0	0	0	0	0
100	113.74	102.05	98.49	68.52
200	240.53	182.98	127.32	110.35
300	263.37	222.68	159.17	137.89
400	290.70	238.53	200.42	157.13
500	298.30	255.07	221.08	178.37
600	314.09	283.16	251.88	197.61
700	333.38	292.40	271.59	221.46
800	350.88	315.79	289.23	250.70
900	362.57	332.37	310.41	269.25
1000	374.27	351.42	337.60	286.79
1200	396.96	375.76	354.16	331.03
1400	413.66	391.81	379.15	358.42
1600	428.51	409.36	398.21	376.01
1800	438.60	426.90	401.14	381.81
2000	450.29	432.75	410.53	391.51
2500	465.18	438.60	422.11	405.20
3000	473.99	450.27	434.36	421.05
4000	481.84	456.14	441.10	425.09
5000	489.61	462.17	449.07	429.06
6000	491.33	471.28	451.39	433.67
7000	497.14	475.69	456.36	436.98

ตารางที่ ก.3 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของฟันซ์

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	Cutting clearance			
	7 %	10 %	13 %	16 %
	การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักฟันซ์ (กรัม)			
0	70.294	69.772	68.356	67.991
100	70.291	69.769	68.354	67.989
200	70.289	69.767	68.352	67.988
300	70.287	69.766	68.351	67.986
400	70.284	69.763	68.349	67.983
500	70.281	69.761	68.347	67.981
600	70.279	69.758	68.343	67.979
700	70.276	69.756	68.341	67.977
800	70.275	69.754	68.338	67.975
900	70.273	69.752	68.337	67.972
1000	70.272	69.749	68.335	67.970
1200	70.269	69.748	68.334	67.969
1400	70.268	69.746	68.333	67.967
1600	70.267	69.745	68.332	67.966
1800	70.266	69.744	68.331	67.965
2000	70.263	69.741	68.329	67.963
2500	70.261	69.739	68.327	67.962
3000	70.260	69.738	68.326	67.962
4000	70.259	69.737	68.325	67.961
5000	70.258	69.737	68.324	67.961
6000	70.258	69.736	68.324	67.960
7000	70.257	69.736	68.323	67.959

ตารางที่ ก.4 เปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักรีด

จำนวนครั้งของการ ตัด (ครั้ง)	Cutting clearance			
	7 %	10 %	13 %	16 %
	เปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักรีด (%)			
0	0	0	0	0
100	0.0042	0.0042	0.0029	0.0014
200	0.0086	0.0071	0.0058	0.0042
300	0.0099	0.0085	0.0073	0.0063
400	0.0168	0.0128	0.0117	0.0102
500	0.0194	0.0157	0.0147	0.0143
600	0.0223	0.02	0.019	0.0168
700	0.0276	0.0229	0.0219	0.0189
800	0.031	0.0263	0.0257	0.0217
900	0.034	0.0286	0.0277	0.024
1000	0.0348	0.031	0.0292	0.0264
1200	0.0375	0.0343	0.0321	0.0301
1400	0.0382	0.0369	0.0336	0.0318
1600	0.0391	0.0381	0.0367	0.0341
1800	0.0414	0.0398	0.0381	0.0359
2000	0.0444	0.0421	0.0401	0.0368
2500	0.0472	0.0449	0.0431	0.0401
3000	0.0487	0.0463	0.0451	0.0424
4000	0.0505	0.0487	0.047	0.0443
5000	0.0515	0.0498	0.0481	0.0455
6000	0.0521	0.0504	0.0487	0.0462
7000	0.0528	0.0511	0.049	0.0464

ตารางที่ ก.5 ความสูงของครีบบที่ขอบตัดชิ้นงาน

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	Cutting clearance			
	7 %	10 %	13 %	16 %
	ความสูงของครีบบที่ขอบตัดชิ้นงาน (μm)			
0	0	0	0	0
100	16.63	18.03	20.41	21.98
200	17.76	19.12	20.95	22.62
300	18.54	20.14	21.74	23.15
400	19.31	20.81	22.82	23.53
500	20.24	21.41	23.21	23.89
600	20.84	22.41	23.88	24.55
700	21.31	23.08	24.42	25.19
800	21.97	24.22	25.69	25.23
900	23.35	25.12	26.73	25.88
1000	24.61	25.86	27.11	26.12
1200	25.96	27.33	28.15	26.46
1400	27.56	28.47	28.74	27.03
1600	29.18	29.03	28.86	27.37
1800	31.26	30.02	29.14	27.48
2000	32.54	30.85	29.63	27.52
2500	33.96	31.84	30.25	27.94
3000	34.86	32.72	30.97	28.34
4000	35.93	33.61	31.72	28.94
5000	36.57	34.42	31.96	29.83
6000	37.23	35.21	32.72	30.73
7000	37.88	36.08	33.37	31.42

ตารางที่ ก.6 ความสูงของระยะการฉีกขาดที่ขอบตัดชิ้นงาน

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	Cutting clearance			
	7 %	10 %	13 %	16 %
	ความสูงของระยะการฉีกขาด (μm)			
0	0	0	0	0
100	918.99	921.05	924.3	926.48
200	919.72	923.44	925.54	927.56
300	921.65	924.63	926.58	929.32
400	923.13	925.45	927.87	930.74
500	924.77	927.58	929.91	932.11
600	926.14	928.82	930.25	933.66
700	927.4	929.24	931.68	935.14
800	928.21	930.47	932.32	936.07
900	928.97	931.33	933.75	937.41
1000	929.87	932.4	934.66	938.08
1200	930.69	933.2	936.09	939.17
1400	931.86	935.36	937.43	940.86
1600	932.37	936.25	938.81	941.87
1800	933.64	937.46	941.11	943.34
2000	934.51	938.33	942.74	944.87
2500	935.91	941.54	945.38	947.52
3000	936.74	943.4	946.06	948.25
4000	938.87	944.58	947.63	949.78
5000	939.44	945.86	949.11	951.47
6000	940.13	946.24	950.14	951.96
7000	940.58	947.02	950.63	952.66

ตารางที่ ก.7 ความสูงของส่วนเรียบตรง

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	Cutting clearance			
	7 %	10 %	13 %	16 %
	ความสูงของส่วนเรียบตรง (μm)			
0	0	0	0	0
100	487.11	415.18	391.21	375.61
200	483.93	408.69	387.25	371.52
300	481.46	404.75	384.32	367.86
400	477.71	399.42	380.27	362.94
500	472.65	397.63	379.06	357.32
600	469.96	390.68	375.9	351.6
700	465.29	386.56	370.94	347.88
800	461.53	383.85	364.33	342.01
900	457.11	378.71	361.57	334.56
1000	452.18	374.52	356.49	328.32
1200	447.52	369.91	349.53	316.75
1400	441.61	365.67	343.48	307.86
1600	438.33	361.2	340.36	294.44
1800	436.87	358.63	336.69	281.74
2000	430.42	353.23	331.63	277.03
2500	427.03	346.23	328.19	267.62
3000	425.62	342.67	326.67	262.62
4000	421.91	340.96	322.87	254.91
5000	418.27	339.33	319.41	250.16
6000	417.6	337.25	314.85	247.63
7000	416.36	335.1	310.21	245.69

ตารางที่ ก.8 ความสูงของส่วนโค้งมน

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	Cutting clearance			
	7 %	10 %	13 %	16 %
	ความสูงของส่วนโค้งมน (μm)			
0	0	0	0	0
100	190.25	221.11	240.86	280.15
200	193.51	224.46	244.15	284.29
300	197.29	228.30	247.60	288.02
400	199.53	231.74	251.41	290.76
500	206.31	234.36	253.82	293.32
600	211.25	237.08	258.29	295.41
700	213.53	239.81	262.87	298.25
800	218.87	242.66	266.41	299.90
900	224.50	245.15	271.77	302.10
1000	227.23	249.96	279.86	303.87
1200	229.90	255.28	283.02	304.41
1400	231.44	257.37	285.75	305.75
1600	234.32	260.19	289.51	307.22
1800	239.02	265.14	291.63	307.89
2000	241.50	269.31	293.29	309.65
2500	242.12	271.44	295.78	311.52
3000	242.64	272.25	297.01	312.63
4000	243.11	272.87	297.56	313.25
5000	243.87	273.02	298.20	314.72
6000	244.54	273.89	298.88	315.21
7000	245.75	274.41	299.77	316.21



ภาคผนวก ข
รายละเอียดของวัสดุทำพิมพ์และการคำนวณ

1. ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าที่ทำพันธซ์

ตารางที่ ข.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKS3

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%) ต่อ น้ำหนัก
คาร์บอน (C)	0.85 - 0.95
ซิลิกอน (Si)	≤ 0.40
แมงกานีส (Mn)	0.9 - 1.2
ทังสแตน (W)	0.5 - 0.8
ฟอสฟอรัส (P)	≤ 0.03
ซัลเฟอร์ (S)	≤ 0.03

คุณสมบัติ

เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มงานเย็นที่สามารถชุบแข็งด้วยน้ำมัน จากการที่ผสมกันระหว่างของธาตุคาร์บอนและแมงกานีสอย่างละประมาณ 1.0% โดยน้ำหนักทำให้มีความสามารถในการชุบแข็งเหล็ก (Hardenability) ได้ดีเยี่ยมนอกจากนี้ ยังให้ความแข็งที่สูงมากภายหลังการชุบแข็ง (64 HRC) มีความเหนียวแรงแรงดีมาก สามารถนำไปใช้งานทั่วไปที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 200°C ได้อย่างกว้างขวางจากการให้ผิวที่แข็งและมีความเหนียวแรงแรงที่ภายในดีภายหลังการอบคืนตัวคุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics) รักษาความแข็งของคมตัดได้ดีพอสมควรชุบแข็งได้ลึก ให้ความแข็งสูงหลังการชุบแข็งมีความเหนียวแรงแรงดีต้านทานการสูญเสียคาร์บอนที่ผิวได้ดีระหว่างการอบชุบตัดกลึงได้ง่ายสามารถชุบฮาร์ดโครมหลังการชุบแข็งได้นิยมใช้ทำ แม่พิมพ์แบล็กกิ้ง แม่พิมพ์ แสตมป์แม่พิมพ์เพรส แม่พิมพ์ดัดงอโลหะแผ่น แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ ที่มีปริมาณการผลิตไม่สูงมากนัก สำหรับงานแบล็กกิ้งโลหะแผ่นหนาไม่เกิน 4 มม. นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทำแม่พิมพ์รีดเกลียวส่วนประกอบในแม่พิมพ์ที่ต้องการความแข็งสูง ดอกสว่านเจาะไม้หรือพลาสติก บรอกซ์ (Broaches) เครื่องมือวัดละเอียด

ตารางที่ ข.2 ช่องว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมกับวัสดุที่แตกต่างกัน

วัสดุ	ช่องว่าง Punch และ Die (%)	วัสดุ	ช่องว่าง Punch และ Die (%)
เหล็กบริสุทธิ์	6 - 9	เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	6 - 9
เหล็กกล้าซิลิกอน	7 - 11	เหล็กกล้าความต้านทานสูง	8 - 12
เหล็กกล้าไร้สนิม	7 - 11	เหล็กกล้าความต้านทานสูง	8 - 12
ทองแดง (แข็ง)	6 - 10	ทองแดง (อ่อน)	6 - 10
ทองเหลือง (แข็ง)	6 - 10	ทองเหลือง (อ่อน)	6 - 10
พอสฟอรัส	6 - 10	เงินนิเกิล	6 - 10
บรอนซ์	6 - 10	อลูมิเนียม (อ่อน)	6 - 10
อลูมิเนียม (แข็ง)	6 - 10	อลูมิเนียมเจือ (อ่อน)	6 - 10

ช่องว่างของแม่พิมพ์ คือช่องว่างที่อยู่ระหว่างขอบคมตัดของพUNCHและตาย ในการเลือกใช้ช่องว่างแม่พิมพ์ต้องเลือกใช้เหมาะสม เพราะช่องว่างของแม่พิมพ์มีผลต่อคุณภาพของขอบตัดของชิ้นงานและแรงที่ใช้ในการตัด ช่องว่างต่อต้านของแม่พิมพ์ที่เหมาะสมของวัสดุชนิดต่างๆ ช่องว่างของแม่พิมพ์จะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาของชิ้นงาน

2. การคำนวณแรงในการตัดเฉือน

การคำนวณหาแรงก็เพื่อนำไปใช้เลือกขนาดจำนวนตันที่เหมาะสมของเครื่องปั๊มโลหะ และนำไปคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนที่จะใช้ทำแม่พิมพ์ งานหรือพลังงานที่ใช้จะถูกนำไปคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ของเครื่องปั๊มโลหะ ขณะที่แรงดันแผ่นชิ้นงานให้หลุดออกได้ถูกใช้หาขนาดและการอัดตัวของสปริง หรือขนาดของยางยูรีเทน หรือขนาดของท่อลม ซึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้จะเป็นตัวบังคับให้แผ่นปลดชิ้นงานทำงาน บางครั้งเพื่อลดแรงในการตัดก็ต้องการหาระยะคมตัดเฉือนด้วย

$$F_s = k_s \cdot \pi \cdot d \cdot t$$

เมื่อ

F_s	=	แรงที่ต้องการใช้ในการตัด	[ตัน]
k_s	=	ความต้านแรงเฉือนของวัสดุ	[นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร]
d	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน	[มิลลิเมตร]
t	=	ความหนาของวัสดุ	[มิลลิเมตร]

วัสดุที่ใช้ในการตัด: (JIS G3113) SAPH440

ตัดเจาะรูกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	25	มิลลิเมตร
ความหนาแผ่นชิ้นงาน	1.6	มิลลิเมตร
Tensile Strength (R_M)	440	เมกะปาสคาล

แทนค่า

$$K_s = 1 \times 440$$

$$= 440 \quad \text{เมกะปาสคาล}$$

$$\pi = 3.14$$

$$d = 25 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

$$t = 1.6 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

ดังนั้น

$$F_s = 440 \times 125.66$$

$$= 55290.4 / 9.81$$

$$= 5636.13 \quad \text{กิโลกรัม}$$

$$= 5636.13 / 1000$$

$$= 5.6 \quad \text{ตัน}$$

3. การคำนวณแรงในการปลดชิ้นงาน (Stripping Pressure)

สูตร

$$F_{sp} = \text{เปอร์เซ็นต์แรงที่ใช้ปลด} \times \text{แรงตัดเฉือน} (F_s)$$

วัสดุที่ใช้ในการตัด: (JIS G3113) SAPH440

ความหนาแผ่นชิ้นงาน	1.6	มิลลิเมตร
เลือกเปอร์เซ็นต์ของแรงปลดที่	8	เปอร์เซ็นต์

แทนค่า

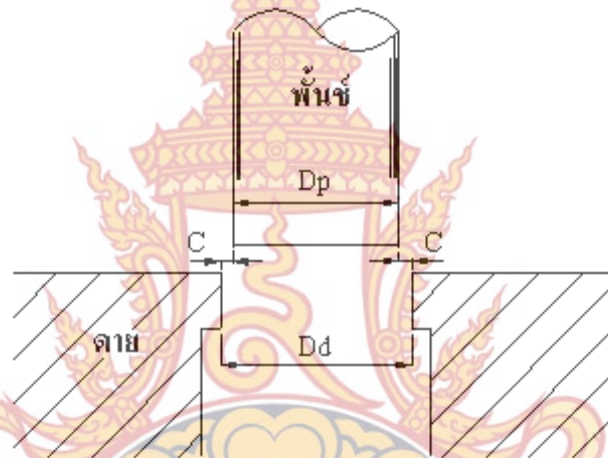
$$F_{sp} = 0.08 \times 5636.13$$

$$= 450.86 \quad \text{กิโลกรัม}$$

$$= 0.45 \quad \text{ตัน}$$

4. การกำหนดขนาดพันธ์และตาย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดวัสดุชิ้นงานชนิดเป็นแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS G3113 เกรด SAPH440 โดยกำหนดชิ้นงานเป็นแบบแผ่นกลม ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 25 มิลลิเมตร ขนาดความหนา 1.6 มิลลิเมตร จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยจะทำการศึกษาลักษณะการสึกหรอของพันธ์และตายที่ค่าช่องว่างคมตัดระหว่างพันธ์และตายที่ระดับต่างๆกัน คือ 7%, 10%, 13% และ 16% ของความหนาชิ้นงาน ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีผลต่อการออกแบบแม่พิมพ์ตัด ดังนั้นจึงทำการออกแบบพันธ์และตายจำนวน 4 ชุดโดยในการออกแบบแต่ละชุดจะให้ขนาดของตายคงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงที่ขนาดของพันธ์เพื่อให้ได้ช่องว่างคมตัด (Clearance) ตามที่กำหนดไว้ ดังนั้นขนาดของพันธ์และตายแต่ละชุดจึงมีขนาดดังนี้ ดังภาพที่ ข.1



ภาพที่ ข.1 การกำหนด Clearance ชิ้นงานกลม

จากสูตร

$$D_p = D_d - 2C$$

3.1

เมื่อ

D_p	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของพันธ์	มิลลิเมตร
D_d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของตาย	มิลลิเมตร
C	=	ระยะช่องว่างคมตัด (Clearance)	มิลลิเมตร

4.1 พันธุ์และตายชุดที่ 1

กำหนด	D_d	=	25	มิลลิเมตร
	C	=	7 %	ของความหนาชิ้นงาน

$$\begin{aligned}
 &= 0.07 \times 1.6 \\
 &= 0.112 \quad \text{มิลลิเมตร} \\
 \therefore D_p &= 25 - (2 \times 0.112) \\
 &= 24.78 \quad \text{มิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

4.2 พันซ์และตายชุดที่ 2

$$\begin{aligned}
 \text{กำหนด } D_d &= 25 \quad \text{มิลลิเมตร} \\
 C &= 10 \% \quad \text{ของความหนาชิ้นงาน} \\
 &= 0.10 \times 1.6 \\
 &= 0.16 \quad \text{มิลลิเมตร} \\
 \therefore D_p &= 25 - (2 \times 0.16) \\
 &= 24.68 \quad \text{มิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

4.3 พันซ์และตายชุดที่ 3

$$\begin{aligned}
 \text{กำหนด } D_d &= 25 \quad \text{มิลลิเมตร} \\
 C &= 13 \% \quad \text{ของความหนาชิ้นงาน} \\
 &= 0.13 \times 1.6 \\
 &= 0.208 \quad \text{มิลลิเมตร} \\
 \therefore D_p &= 25 - (2 \times 0.208) \\
 &= 24.58 \quad \text{มิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

4.4 พันซ์และตายชุดที่ 4

$$\begin{aligned}
 \text{กำหนด } D_d &= 25 \quad \text{มิลลิเมตร} \\
 C &= 16 \% \quad \text{ของความหนาชิ้นงาน} \\
 &= 0.16 \times 1.6 \\
 &= 0.256 \quad \text{มิลลิเมตร} \\
 \therefore D_p &= 25 - (2 \times 0.256) \\
 &= 24.48 \quad \text{มิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล นายเฉลิมพล คล้ายนิล
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต
3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ถ.เพชรเกษม ต.หนองแก
อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
4. ประวัติการศึกษา

ปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถานศึกษา	ปีที่จบ
โท	วิศวกรรมโลหการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2549
ตรี	วิศวกรรมอุตสาหการ	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	2540

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Manufacturing Process, Metallurgical Engineering, Tool Wear

6. รายงานการเผยแพร่ตีพิมพ์ทางวิชาการ

เฉลิมพล คล้ายนิล และณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ (2558). การศึกษาชนิดของเหล็กกล้าเครื่องมือที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์สำหรับการปั๊มเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง, *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, ปีที่ 22 เล่มที่ 2, พฤษภาคม-สิงหาคม 2558.

เฉลิมพล คล้ายนิล (2558). การจำลองการสึกหรอของมีดกลึงคาร์ไบด์โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม, *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, ปีที่ 22 เล่มที่ 3, กันยายน-ธันวาคม 2558.

พิสิทธิ์ เมืองน้อย เฉลิมพล คล้ายนิล และจิณกมล ลุยจันทร์ (2558). การพัฒนาโลหะแม่ Al-4% B-2%Sr สำหรับการปรับปรุงสภาพเกรนละเอียดและปรับปรุงสภาพเฟสยูเทคติกซิลิคอนในโลหะผสมหล่ออลูมิเนียม-ซิลิคอน-แมกนีเซียม, *วิศวกรรมศาสตร์*, ปีที่ 32 เล่มที่ 4, ธันวาคม 2558.

เฉลิมพล คล้ายนิล พิมพ์มาศ กาละวงศ์ และจิณกมล ลุยจันทร์ (2556). การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์และคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน, *การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ*, 17 พฤษภาคม 2556, ณ โรงแรมราม่า การ์เด้นส์ กรุงเทพฯ

- เฉลิมพล คล้ายนิล จิณกมล ลุยจันทร์ และพิมพ์มาศ กาละวงศ์ (2555). การศึกษาชนิดของเหล็กกล้า เครื่องมือที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด, *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, 17-19 ตุลาคม 2555, โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ จ.เพชรบุรี
- เฉลิมพล คล้ายนิล พงศกร หลีตระกูล และพงษ์พันธ์ ราชภักดี (2555). การประมาณการสึกหรอของ เม็ดเม็ดกลึงด้วยโครงข่ายประสาทเทียม, *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, 17-19 ตุลาคม 2555, โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ จ.เพชรบุรี
- เฉลิมพล คล้ายนิล ญัฐศักดิ์ พรพุฒิสิริ และพงษ์พันธ์ ราชภักดี (2554). ผลกระทบของศูนย์รวมความเค้นในแนวเชื่อมเหล็กกล้า SS400 ภายใต้แรงดึง, *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, 20-21 ตุลาคม 2554, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี
- ญัฐศักดิ์ พรพุฒิสิริ เฉลิมพล คล้ายนิล และกุลชาติ จุลเพ็ญ (2554). การศึกษาอิทธิพลของรัศมีลูกกลิ้ง หัวกดที่มีผลต่อการขึ้นรูปถ้วยอลูมิเนียมโดยกระบวนการหมุนรีดขึ้นรูป, *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, 20-21 ตุลาคม 2554, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี
- เฉลิมพล คล้ายนิล ญัฐศักดิ์ พรพุฒิสิริ และทศพร เงินเนตร (2554). ผลกระทบของการชุบผิวแข็งเหล็กกล้า AISI1020 ที่มีผลต่ออายุของความล้า, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์*, ครั้งที่ 9, 2-3 พฤษภาคม 2554, โรงแรมเมอร์ลินบีช รีสอร์ท จ.ภูเก็ต
- เฉลิมพล คล้ายนิล (2552). เครื่องอัดถ่านแท่งจากแกลบด้วยระบบไฮดรอลิกส์, *การประชุมวิชาการของเครือข่ายการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา*, 2-4 เมษายน 2552, โรงแรมทวินโลตัส, จ.นครศรีธรรมราช
- เฉลิมพล คล้ายนิล (2552). เครื่องอบแห้งเนื้อมะพร้าวด้วยพลังงานทดแทน, *การประชุมวิชาการของเครือข่ายการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา*, 2-4 เมษายน 2552, โรงแรมทวินโลตัส, จ.นครศรีธรรมราช
- เฉลิมพล คล้ายนิล และพงษ์พันธ์ ราชภักดี (2550). อิทธิพลของสภาวะการกลึงเหล็กกล้าสแตนเลส AISI 316, *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, 24-26 ตุลาคม 2550, โรงแรม Royal Phuket City, จ.ภูเก็ต
- เฉลิมพล คล้ายนิล และไชยา คำคำ (2549). การศึกษาอิทธิพลของสภาวะการกลึงเหล็กกล้าสแตนเลสด้วยใบมีดคาร์ไบด์ที่มีผลต่อการสึกหรอใบมีดตัดและความขรุขระของพื้นผิว, *การ*

ประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 17-19 ธันวาคม 2549, โรงแรมอินเตอร์คอน
ติเนนตัล, กรุงเทพฯ

