



การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอแบบ Abrasive ของแม่พิมพ์ตัด
สำหรับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

โดย
เฉลิมพล คล้ายนิล



สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2557

A study of abrasive wear behavior of blanking dies
for high tensile strength steel

by
Chalernpol Klaynil



Granted by
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Fiscal Year 2014

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอแบบ Abrasive ของแม่พิมพ์ตัดสำหรับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณประจำปี พ.ศ.2557 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้ให้การส่งเสริมและสนับสนุนในการทำวิจัย เนื่องจากงานวิจัยเป็นภารกิจหลักสำคัญของอาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าอาจารย์ทุกท่านจะเล็งเห็นถึงความสำคัญของการทำวิจัยต่อไปในอนาคต

เฉลิมพล คล้ายนิล และคณะ

ตุลาคม 2557



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A-30 / 2557

ชื่อโครงการ : การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอแบบ Abrasive ของแม่พิมพ์ตัดสำหรับเหล็กกล้าความ
แข็งแรงสูง

ชื่อนักวิจัย : นายเฉลิมพล คล้ายนิล และผศ. ญัฐศักดิ์ พรพุมศิริ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาชนิดของเหล็กกล้าทำฟันซ์ที่มีผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดโดย
ศึกษาการสึกหรอแบบ Abrasive ของฟันซ์ที่ทำมาจากวัสดุแตกต่างกัน 4 ชนิด คือเหล็กกล้าเครื่องมือ
มาตรฐาน JIS SKD11, SKD12, SKS3 และเหล็กกล้า S50C กำหนดให้ค่าความแข็งคือ 60 ± 2 HRC
ค่าช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์คงที่ 8% ของความหนาชิ้นงานและทำการทดลองตัดเหล็กกล้าความ
แข็งแรงสูง JIS G3135 SPFC 440 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟันซ์ 25
มิลลิเมตร โดยฟันซ์แต่ละชนิดทำการตัดชิ้นงานรวมทั้งสิ้น 6,000 ชิ้น วัดผลการสึกหรอด้วยกล้อง
จุลทรรศน์และการชั่งน้ำหนักของฟันซ์ และศึกษาคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน จากการทดลองพบว่าฟันซ์ที่
มีระยะการสึกหรอน้อยที่สุดคือเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 รองลงมาคือ SKD12, SKS3 และฟันซ์ที่ทำ
จากเหล็กกล้า S50C มีค่าการสึกหรอมากที่สุด



คำสำคัญ: เหล็กกล้าเครื่องมือ, การสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด, เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

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

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2556 ถึง กันยายน 2557

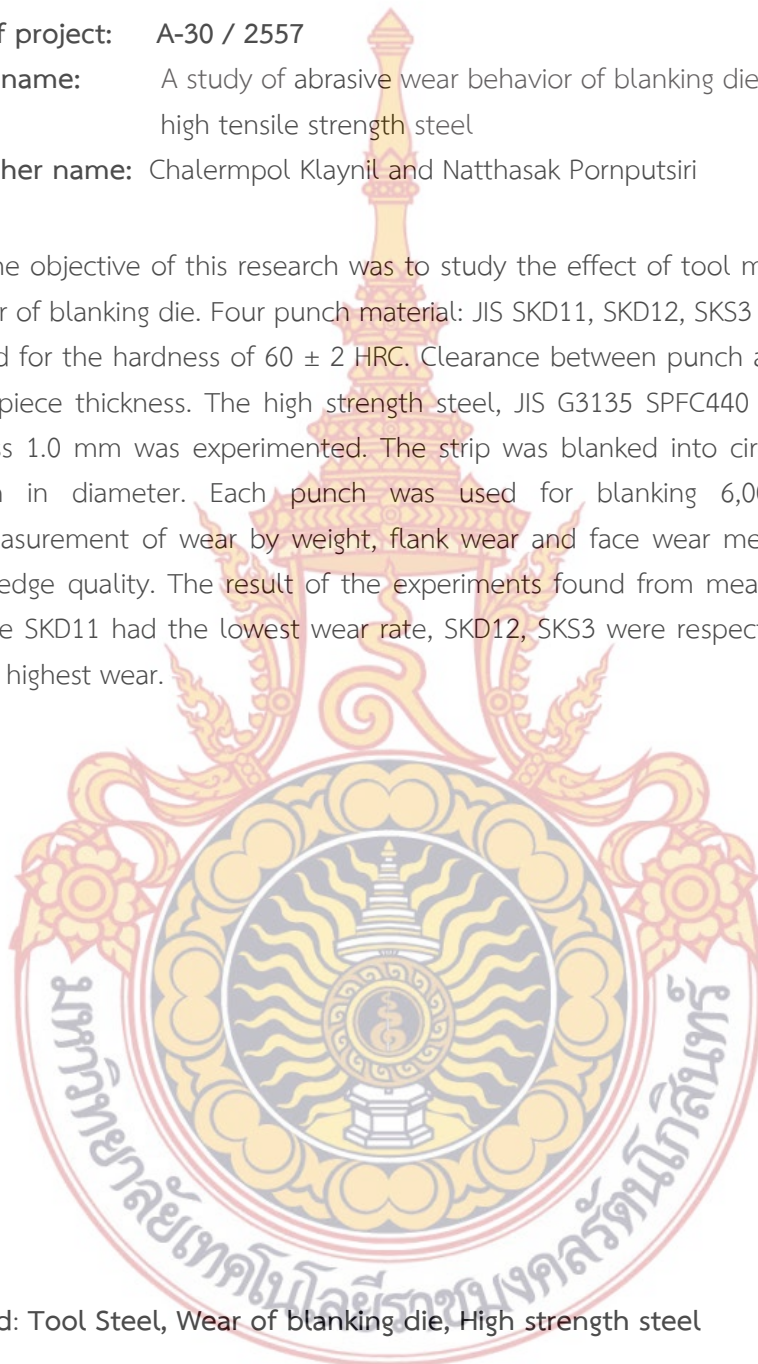
Abstract

Code of project: A-30 / 2557

Project name: A study of abrasive wear behavior of blanking dies for high tensile strength steel

Researcher name: Chalernpol Klaynil and Natthasak Pornputsiri

The objective of this research was to study the effect of tool material on wear behavior of blanking die. Four punch material: JIS SKD11, SKD12, SKS3 and S50C, were specified for the hardness of 60 ± 2 HRC. Clearance between punch and die was 8% of workpiece thickness. The high strength steel, JIS G3135 SPFC440 steel strip with thickness 1.0 mm was experimented. The strip was blanked into circular shapes of 25 mm in diameter. Each punch was used for blanking 6,000 workpieces. The measurement of wear by weight, flank wear and face wear measurement and cutting edge quality. The result of the experiments found from measuring the wear rate. The SKD11 had the lowest wear rate, SKD12, SKS3 were respectively and S50C had the highest wear.



Keyword: Tool Steel, Wear of blanking die, High strength steel

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

Period of project: September 2013 to October 2014

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. การสึกหรอของฟันซี่ในงานตัดโลหะแผ่น	11
3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	18
1. วิธีการดำเนินงานวิจัย	18
2. ส่วนประกอบของแม่พิมพ์	19
3. เครื่องปั๊มโลหะแบบเพลลาข้อเหวี่ยง	24
4. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บผลการทดลอง	25
5. วิธีการทดลองเพื่อศึกษาการสึกหรอของฟันซี่	26
6. การสรุปผล	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	29
1. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	29
2. การศึกษาลักษณะคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน	32
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	37
1. สรุปผลงานวิจัย	37
2. ข้อเสนอแนะ	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	38
ภาคผนวก ก. การคำนวณแรงตัดเฉือนและแรงปัดขึ้นงาน	40
ภาคผนวก ข. รายละเอียดของวัสดุทำพันธ์และวัสดุขึ้นงาน	43
ภาคผนวก ค. รายละเอียดการบันทึกผลการทดลอง	49
ภาคผนวก ง. ภาพถ่ายการสีกหรือของพันธ์ที่ทำจากเหล็กกล้าชนิดต่างๆ	75
ภาคผนวก จ. ภาพถ่ายขอบตัดขึ้นงานของพันธ์แต่ละชนิด	94
ประวัติผู้วิจัย	105



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	7
2	8
3	18
4	18
5	24
6	27
7	27
ข.1	44
ข.2	45
ข.3	45
ข.4	46
ข.5	46
ข.6	47
ข.7	47
ข.8	47
ข.9	48
ข.10	48
ค.1	50
ค.2	51
ค.3	52
ค.4	53
ค.5	54
ค.6	55
ค.7	56
ค.8	57
ค.9	58
ค.10	59
ค.11	60
ค.12	61
ค.13	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
ค.14	ตารางบันทึกผลระยะการตัดเดือนของชิ้นงาน SKD12	63
ค.15	ตารางบันทึกผลระยะการตัดเดือนของชิ้นงาน SKS3	64
ค.16	ตารางบันทึกผลระยะการตัดเดือนของชิ้นงาน S50C	65
ค.17	ตารางบันทึกผลระยะการฉีกขาดของชิ้นงาน SKD11	66
ค.18	ตารางบันทึกผลระยะการฉีกขาดของชิ้นงาน SKD12	67
ค.19	ตารางบันทึกผลระยะการฉีกขาดของชิ้นงาน SKS3	68
ค.20	ตารางบันทึกผลระยะการฉีกขาดของชิ้นงาน S50C	69
ค.21	ตารางบันทึกผลระยะความสูงของครีบบของชิ้นงาน SKD11	70
ค.22	ตารางบันทึกผลระยะความสูงของครีบบของชิ้นงาน SKD12	71
ค.23	ตารางบันทึกผลระยะความสูงของครีบบของชิ้นงาน SKS3	72
ค.24	ตารางบันทึกผลระยะความสูงของครีบบของชิ้นงาน S50C	73
ค.25	การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักพันซ์	74



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการตัดโลหะแผ่น	3
2	พฤติกรรมตัดโลหะแผ่น	4
3	แรงในการตัดเฉือน	5
4	ทิศทางความเค้นในการตัดโลหะ	6
5	ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสม	9
6	ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มากเกินไป	9
7	ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่น้อยเกินไป	10
8	ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่ตำแหน่งของพินซ์และตายเยื้องศูนย์กลางกัน	10
9	ลักษณะรอยแตกในแบบต่างๆ ตามขนาดระยะช่องว่างแม่พิมพ์	11
10	ตำแหน่งการสึกหรอของพินซ์และตาย	12
11	ลักษณะการสึกหรอแบบเชื่อมหรือยึดติดกัน	13
12	ลักษณะการสึกหรอแบบการขีดถูหรือขีดข่วน	13
13	ลักษณะการสึกหรอที่เกิดจากการล่าตัว	14
14	ชนิดของแนวโน้มการสึกหรอ	15
15	แม่พิมพ์ตัดที่ได้จากการออกแบบ	19
16	พินซ์สำหรับตัดขึ้นรูปชิ้นงาน	20
17	ตายสำหรับตัดขึ้นรูปชิ้นงาน	20
18	ลักษณะของชุดตายเซ็ท	21
19	ลักษณะแผ่นยึดพินซ์	21
20	ลักษณะของแผ่นยึดตาย	22
21	แผ่นปลดชิ้นงาน	23
22	สปริงที่ใช้ในการทดลอง	23
23	เครื่องปั๊มชิ้นงานแบบเพลลาข้อเหวี่ยง	24
24	กล้องจุลทรรศน์แบบส่องแสง	25
25	เครื่องชั่งน้ำหนัก	25
26	ตำแหน่งการสึกหรอของพินซ์	26
27	ลักษณะคุณภาพขอบตัดขึ้นงาน	26
28	การสึกหรอด้านข้างของพินซ์แต่ละชนิด	30
29	การสึกหรอด้านหน้าของพินซ์แต่ละชนิด	30
30	ภาพถ่ายการสึกหรอด้านข้างของพินซ์	31
31	ความสูงส่วนต่างๆ ของชิ้นงานจากพินซ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS SKD11	32
32	ความสูงส่วนต่างๆ ของชิ้นงานจากพินซ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS SKD12	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
33	ความสูงส่วนต่างๆของชิ้นงานจากพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS SKS3	33
34	ความสูงส่วนต่างๆของชิ้นงานจากพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS S50C	34
35	ความสูงของครีบบอกตัดชิ้นงาน	34
36	ส่วนโค้งมนของชิ้นงาน	35
37	ระยะการตัดเฉือนหรือส่วนเรียบตรงของชิ้นงาน	35
38	ระยะการฉีกขาดของชิ้นงาน	36
ง.1	การสึกหรอด้านข้างและด้านหน้าของพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS SKD11	76
ง.2	การสึกหรอด้านข้างและด้านหน้าของพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS SKD12	80
ง.3	การสึกหรอด้านข้างและด้านหน้าของพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS SKS3	84
ง.4	การสึกหรอด้านข้างและด้านหน้าของพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS S50C	89
จ.1	ขอบตัดชิ้นงานจากการทดลองตัดด้วยพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS SKD11	95
จ.2	ขอบตัดชิ้นงานจากการทดลองตัดด้วยพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS SKD12	97
จ.3	ขอบตัดชิ้นงานจากการทดลองตัดด้วยพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS SKS3	100
จ.4	ขอบขอบตัดชิ้นงานจากการทดลองตัดด้วยพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS S50C	102



บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (High Strength Steel) ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์มากขึ้น แทนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ซึ่งการผลิตรถยนต์ให้ประหยัดน้ำมัน (Eco Car) นอกจากจะต้องทำให้รถยนต์มีขนาดลดลงแล้ว ยังต้องออกแบบและเลือกใช้วัสดุที่มีให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ผู้ออกแบบสามารถลดความหนาของชิ้นส่วนลง ส่งผลให้น้ำหนักโดยรวมลดลง และความสามารถในการรับแรงกระแทกได้สูงขึ้น ด้วยการนำเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงมาใช้เสริมในโครงสร้างตัวถัง เพื่อลดการยุบตัวจากแรงกระแทกที่เกิดจากการชน รวมทั้งเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างตัวถัง [1] จะเห็นได้ว่าทิศทางการใช้เหล็กแผ่นในอุตสาหกรรมยานยนต์มีความต้องการใช้เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตชิ้นส่วน คือความสามารถในการขึ้นรูปโลหะลดต่ำลง แม่พิมพ์เกิดการสึกหรอเร็วขึ้นซึ่งกระบวนการตัดเฉือนและเจาะรูวัสดุเป็นกระบวนการที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย การบ่มชิ้นรูปส่วนใหญ่เป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรของวัสดุ ขอบตัดของชิ้นงานจะประกอบด้วยส่วนที่เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรและส่วนที่เกิดการตัดเฉือน ซึ่งเกิดขึ้นภายในบริเวณแคบมากๆ คมตัดของแม่พิมพ์จะอยู่ภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่รุนแรงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ชิ้นงานที่ตัดเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง ก็เกิดการสึกหรอบนคมตัดอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เมื่อแม่พิมพ์ตัดเกิดการสึกหรอจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพขอบตัดที่แย่ง ความเที่ยงตรงของขนาดลดลง และทำให้เกิดครีบ (Burr) บนขอบตัดสูงมากขึ้น จนไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ดังนั้นในกรรมวิธีการตัดจึงจำเป็นต้องเลือกวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ให้เหมาะสม นั่นคือเหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool Steel) ซึ่งสามารถแบ่งได้หลากหลายประเภท และมีคุณสมบัติแตกต่างกันโดย O'ner [2] ได้ศึกษาลักษณะของการสึกหรอจากการเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ที่แตกต่างกันสำหรับการบ่มชิ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง จากเหตุผลและปัญหาการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด จะสามารถลดลงได้ ถ้ามีการเลือกวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ที่ถูกต้องและเหมาะสมกับปริมาณการผลิต ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของเหล็กกล้ามีผลต่อที่พฤติกรรมการสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear) ของแม่พิมพ์ตัด โดยนำเหล็กกล้าที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือมาตรฐาน JIS SKD11, SKD12, SKS3 และ S50C ผ่านกรรมวิธีการอบชุบมาทำเป็นพUNCH มีความแข็งประมาณ 60 ± 2 HRC แม่พิมพ์ตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และการทดลองด้วยพUNCHดังกล่าว ตัดชิ้นงานวัสดุเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด SPFC 440 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ที่นิยมใช้ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ แล้วทำการบันทึกผลการสึกหรอของแม่พิมพ์ควบคู่กับคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน และถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดที่ทำจากวัสดุแต่ละชนิด

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอแบบขัดถูของพันธที่ทำจากวัสดุชนิดต่างๆ สำหรับการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง
2. เพื่อประเมินอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ตัด สำหรับการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

3. ขอบเขตของโครงการ

1. พันซ์ทดสอบทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือมาตรฐาน (JIS) SKD 11, SKD 12, SKS 3 และเหล็กกล้า S50C
2. พันซ์ทดสอบผ่านการชุบแข็ง (Hardening) และอบคืนตัว (Tempering)
3. เครื่องเพรสเพลลาข้อเหวี่ยงขนาด 60 ตันความเร็วในการตัดคงที่เท่ากับ 35 มิลลิเมตร/วินาที
4. ตัดชิ้นงานวัสดุเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด SPFC 440 ความหนา 1.0 มิลลิเมตร
5. ใช้ช่องว่างแม่พิมพ์คงที่ คือร้อยละ 8 ของความหนาชิ้นงาน
6. ไม่ใช้สารหล่อลื่นในการทดลอง

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงพฤติกรรมการสึกหรอแบบขัดถูของแม่พิมพ์ตัดที่ทำจากวัสดุชนิดต่างๆ สำหรับการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง
2. สามารถประเมินอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ตัด สำหรับการตัดเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง
3. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ตัดที่เหมาะสม
4. สามารถนำความรู้ไปประยุกต์กับสายงานที่เกี่ยวข้องได้



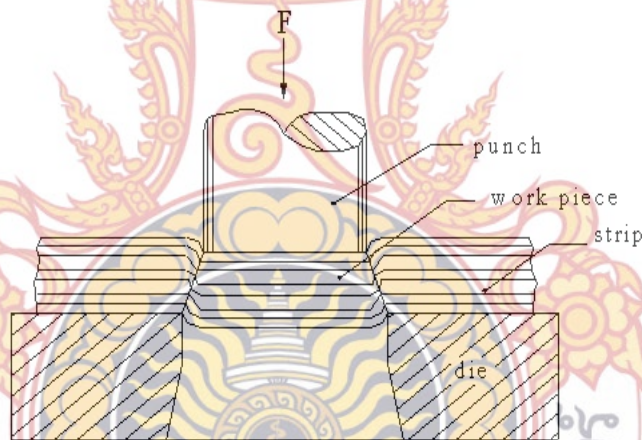
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานตัดโลหะแผ่น (Blanking Process)

1.1 การวิเคราะห์งานตัดโลหะแผ่น

การตัดโลหะจะใช้พื้นที่กดลงบนชิ้นงานทำให้เกิดความเค้นในเนื้อวัสดุเมื่อความเค้นเกินค่าความแข็งแรงสูงสุดของชิ้นงาน (Ultimate Tensile Strength) ซึ่งจะทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกัน ในการตัดโลหะแผ่นแรงที่ให้แก่พUNCH และตาย (Die) เพื่อใช้ในการตัดโลหะเรียกว่าแรงเฉือน (Shear Force) แรงนี้จะมีขนาดเท่ากันและอยู่ตรงข้ามกันโดยมีช่องว่างเล็กๆ อยู่ชั้นกลางระหว่างแรงทั้งสอง เมื่อมีแรงมากกระทำต่อโลหะจะทำให้เกิดความเค้นเฉือน (Shear Stress) เกิดขึ้นบนโลหะแผ่น แต่ในโลหะแผ่นจะมีแรงต้านแรงเฉือนเกิดขึ้นเรียกว่า ความแข็งแรงเฉือน (Shear Strength) ถ้าให้แรงเฉือนมีขนาดมากพอที่จะทำให้เกิดความเค้นเฉือนมากกว่าความแข็งแรงเฉือนของโลหะนั้นก็จะทำให้โลหะแผ่นขาดออกจากกัน ดังภาพที่ 1

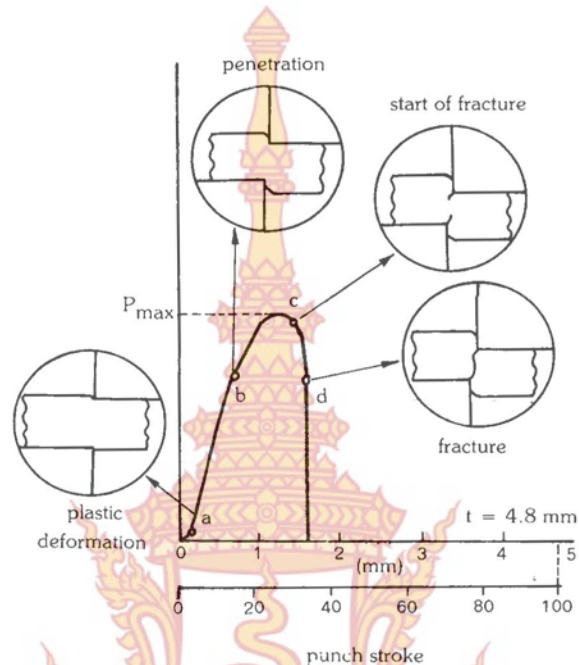


ภาพที่ 1 กระบวนการตัดโลหะแผ่น [3]

1.2 หลักการของงานตัดโลหะแผ่น

ในการตัดโลหะด้วยแม่พิมพ์เครื่องปั๊มโลหะจะให้แรงส่งผ่านมายังพUNCH เพื่อที่กดชิ้นงานให้ทะลุลงไปตายภายหลังจากการตัดวัสดุให้ขาดออกจากกันทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างเหมือนกับพUNCH หรือตายขั้นตอนในการตัดเริ่มจากการที่แม่พิมพ์ตัวผู้กดลงบนโลหะและพาเนื้อโลหะเข้าไปในช่องห่างของแม่พิมพ์ตัวเมียจนเลยจุดขีดจำกัดของความยืดหยุ่น (Elastic Limit) ของโลหะช่วงนี้ผิวด้านล่างของเนื้อโลหะเริ่มไหลเข้าไปในแม่พิมพ์ตัวเมียและผิวทางด้านบนถูกแม่พิมพ์ตัวผู้กดลงเมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นแม่พิมพ์ตัวผู้เจาะเข้าไปในเนื้อโลหะโดยความลึกของส่วนที่ถูกกดทางผิวด้านบนเท่ากับส่วนที่ถูกกดลงในแม่พิมพ์ตัวเมียทางผิวด้านล่างเมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นจนเลยจุดความแข็งแรงสูงสุดของโลหะ

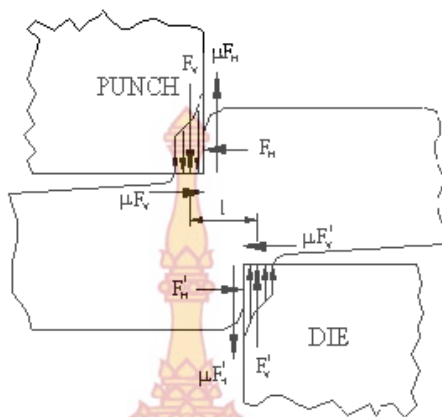
โลหะฉีกขาดออกจากกันรายละเอียดของขั้นตอนในการตัด ดังภาพที่ 2 และระยะที่แม่พิมพ์ตัวผู้กดเข้าไปในเนื้อโลหะก่อนที่โลหะขาดออกจากกันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับความหนาของของโลหะ [2]



ภาพที่ 2 พฤติกรรมตัดโลหะแผ่น [3]

- จากภาพที่ 2
- จุด a พันช์เริ่มกดลงบนเนื้อโลหะ
 - จุด b พันช์เพิ่มแรงกดลงบนเนื้อโลหะ
 - จุด c โลหะเริ่มฉีกตัว
 - จุด d การฉีกของโลหะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

การฉีกขาดของโลหะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ตัวผู้กับแม่พิมพ์ตัวเมีย กรณีช่องว่างมากไปหรือน้อยไปทำให้แรงที่มากกระทำต่อแม่พิมพ์ตัวผู้และแม่พิมพ์ตัวเมียทำให้เกิดการสึกหรอเร็ว นอกจากนั้นยังทำให้รอยฉีกขาดไม่เรียบอีกด้วย ตำราบางเล่มแบ่งเป็นสามขั้นตอนในขบวนการกดตัดของแม่พิมพ์ตัวผู้และแม่พิมพ์ตัวเมียแต่ยังคงใช้หลักการเดียวกันเมื่อพันช์ตัดทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุจะเกิดการเฉือนขึ้นที่จุดๆนั้นแรงเฉือน F_{max} (The Maximum Force) ที่ใช้ตัดวัสดุให้ขาดออกจากกันจึงต้องมากกว่าความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุ (Material Resistance to Shear) แต่ละชนิด ดังแสดงลักษณะแรงที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัด ดังภาพที่ 3

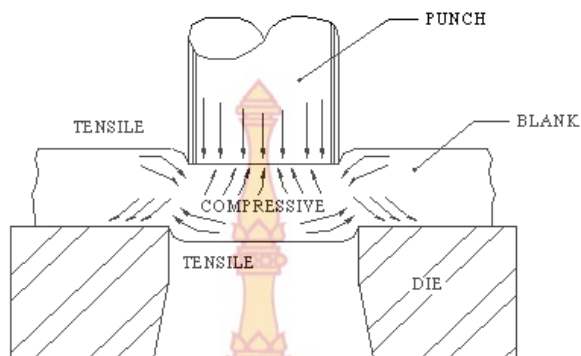


ภาพที่ 3 แรงในการตัดเฉือน [4]

จากภาพที่ 3 พบว่าแรงในการตัดเฉือนแรง F_V และ F'_V กระทำห่างออกมาจากคมตัดเล็กน้อยซึ่งเกิดจากการที่ความเค้นกดในบริเวณใกล้คมตัดกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ แรงที่กระทำห่างกันเป็นระยะ L ทำให้เกิดโมเมนต์ซึ่งพยายามตัดหรือเอียงชิ้นงานจึงทำให้เกิดโมเมนต์ปฏิกิริยาขึ้นในทิศตรงกันข้ามซึ่งเป็นผลมาจากการตัดและความเค้นตั้งฉากในแนวระดับบนชิ้นงานรวมถึงพันธึกับตายความเค้นในแนวตั้งขนานกับแนวระดับสามารถแทนด้วยแรงลัพธ์ F_H และ F'_H นอกจากนั้นยังมีแรงในแนวระดับเกิดขึ้นเมื่อพันธึและตายมีมุมที่ขอบไม่เท่ากับ 90 องศาหรือเมื่อผิวรอยตัดไม่ตั้งฉากกับระนาบของโลหะแผ่นนอกจากแรง F_V , F'_V , F_H และ F'_H แล้วยังมีแรงเสียดทานกระทำกับพันธึและตายอีกด้วยด้วยแรงในแนวระดับ F_H และ F'_H ทำให้เกิดแรงเสียดทานบนผิวด้านข้างของพันธึและตายนั้นคือ μF_H และ $\mu F'_H$ แรงตัดเฉือนซึ่งทำให้วัสดุเลื่อนไปบนผิวของพันธึและตายทำให้เกิดแรงเสียดทาน μF_V และ $\mu F'_V$

1.3 แรงที่ใช้ในการตัด (Blanking Force)

แรงตัดเฉือน (Cutting Force) คือแรงที่ใช้ในการดันพันธึให้ทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุถ้าแม่พิมพ์ชุดหนึ่งใช้พันธึหลายตัวในเวลาเดียวกันแรงตัดก็จะเพิ่มขึ้นโดยรวมจากจำนวนของพันธึแต่ละตัวที่ใช้สำหรับงานแม่พิมพ์ตัดทั่วไป แรงตัดเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้เครื่องเพรส



ภาพที่ 4 ทิศทางความเค้นในการตัดโลหะ [5]

แรงในการตัดเฉือนจะขึ้นอยู่กับพื้นฐานการคำนวณแรงตัดโลหะคือ ผลคูณความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุ พื้นที่ขอบตัดและความหนาโดยพื้นที่ขอบตัดสามารถหาได้จากผลคูณความยาวขอบตัดกับความหนาชิ้นงานค่าแรงเฉือน F_S ที่ต้องการใช้ในการตัดวัสดุเมื่อผิวหน้าตัดของพunchและดายมีลักษณะเรียบ 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	=	แรงที่ต้องการใช้ในการตัด [ตัน]
k_S	=	ความต้านแรงเฉือนของวัสดุ [กิโลกรัม/ตารางมิลลิเมตร]
l_S	=	ความยาวของขอบตัดเส้นรอบรูป [มิลลิเมตร]
d	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน [มิลลิเมตร]
t	=	ความหนาของวัสดุ [มิลลิเมตร]

ในขณะที่ตัดชิ้นงานวัสดุจะบีบรัดรอบตัวพunchเนื่องจากการติดตัวกลับ เนื่องจากสมบัติของวัสดุส่วนที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างในช่วงยืดหยุ่น เมื่อเกิดการเสียดสีกันระหว่างชิ้นงานกับพunchและมีความร้อนเนื่องมาจากการทำงานอย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดการเชื่อมติดกัน (Cold Welding) ระหว่างเนื้อวัสดุกับผิวพunch ซึ่งการเชื่อมติดดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการสึกหรอได้ การป้องกันการบีบรัดพunchจึงจำเป็นต้องใช้แผ่นปลดชิ้นงาน แผ่นปลดชิ้นงานทำหน้าที่ในการกดชิ้นงานก่อนที่พunchจะตัดทำให้วัสดุที่ถูกจับยึดไว้ไม่ให้ขยับตัวทำให้การสึกหรอของพunch โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสึกหรอด้านข้างลดลงด้วย

เช่นกันซึ่งแรงให้กับแผ่นปลดชิ้นงานนั้นได้มาจากสปริงเรียกว่าแรงปลดชิ้นงาน (Stripping Force) ซึ่งต้องผ่านการคำนวณอย่างเหมาะสม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 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

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

ในกรณีที่มีพื้นที่หลายตัวในแม่พิมพ์ชุดเดียวกันแรงปลดชิ้นงานก็คือผลรวมของแรงปลดชิ้นงาน สำหรับพื้นที่แต่ละอัน หลักการนี้จะเป็นจริงเสมอแม้ว่าพื้นที่จะตัดเจาะพร้อมกันหรือไม่ก็ตาม [6]

1.4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์ตัด

1.4.1 การคำนวณค่าช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์

การกำหนดช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญมากเนื่องจากคุณภาพของขอบตัดที่จะนำไปใช้งานนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะเคลียแรนซ์ ดังตารางที่ 2 ซึ่งการที่จะกำหนดขนาดของเคลียแรนซ์นั้นจะต้องพิจารณาถึงชนิดของวัสดุรวมไปถึงความแข็งอ่อน ของวัสดุซึ่งถ้ากำหนดเคลียแรนซ์ไม่เหมาะสมส่งผลให้ลักษณะขอบของชิ้นงานที่ได้ออกมาไม่ดีและขนาดของชิ้นงานอาจไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้แต่ถ้าใช้เคลียแรนซ์น้อยเกินไปทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างคมตัดกับชิ้นงานทำให้ความเค้นบริเวณดังกล่าวมีค่าสูงมาก ส่งผลให้การสึกหรอของพื้นที่บริเวณคมตัดเกิดขึ้นเร็วกว่าในกรณีที่ระยะเคลียแรนซ์กว้าง และเมื่อการสึกหรอเกิดขึ้นทำให้ระยะเคลียแรนซ์กว้างขึ้นชิ้นงานก็จะไม่ได้ตามขนาดที่กำหนดไว้

ตารางที่ 2 การเลือกใช้ค่า Clearance แบ่งตามชนิดของวัสดุ

Material group	Clearance per side percent of thickness
1100 and 5052 aluminum alloys (all temper)	4.5%t
2024 and 6061 aluminum alloys (all temper) Cold rolled steel; soft Stainless steel; soft, Copper, soft	6.0%t
Cold rolled steel, half hard Copper hard	7.5%t
High carbon steel	12 – 16%t
Stainless steel	4 -13%t

การตัดแผ่นเปล่าในกระบวนการ Blanking นั้นเป็นกระบวนการตัดที่นำเศษออกมาไปใช้งาน จากนั้นทำการกำหนดขนาดของตายให้เหมาะกับขนาดของชิ้นงานและสามารถคำนวณช่องว่างแม่พิมพ์ได้

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

กำหนด

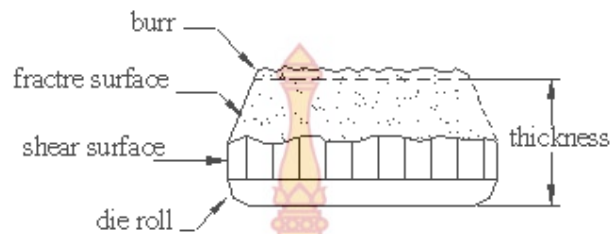
$$\begin{aligned} D_p &= \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของพินซ์} \\ D_D &= \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของตาย} \\ C &= \text{ช่องว่างระหว่างพินซ์กับตาย} \end{aligned}$$

1.4.2 อิทธิพลของแรงปลดชิ้นงาน (Effects of Stripping a Force)

แรงปลดชิ้นงานโดยทั่วไปจะใช้ในการดันปลดให้แผ่นชิ้นงานที่ติดอยู่บริเวณพินซ์ให้หลุดออกโดยจะมีค่าที่เหมาะสมจะมีค่าประมาณร้อยละ 15-20 ของแรงตัดชิ้นงาน

1. กรณีที่ช่องว่างแม่พิมพ์พอดีหรือเหมาะสม (Optimum Clearance)

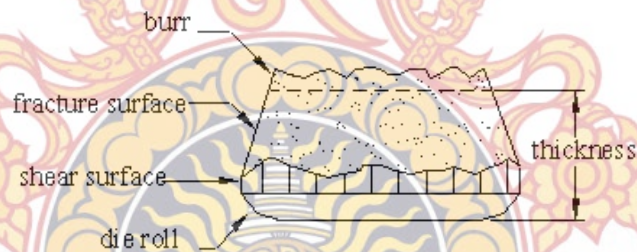
จากสถานะในขั้นตอนแรกของการเปลี่ยนรูอย่างถาวรในระหว่างการตัดจะเกิดขอบโค้งมน (Die Roll) ขึ้นที่ขอบของชิ้นงานตัดรอยตัดเฉือน (Shear Surface) ซึ่งเป็นแนวตรงมีลักษณะเงามันเกิดจากสถานะการตัดในขั้นตอนที่ 2 การกดลึก (Penetration) ความกว้างของรอยตัดจะมีขนาดประมาณ 1/3 ของความหนาของวัสดุที่ตัดรอยแตกหรือรอยฉีกขาด (Fracture Surface) สม่่าเสมอและความสูงครีบ (Burr) น้อยลักษณะของชิ้นงานที่ได้ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสม [6]

2. กรณีที่ช่องว่างแม่พิมพ์มากเกินไป (Excessive Clearance)

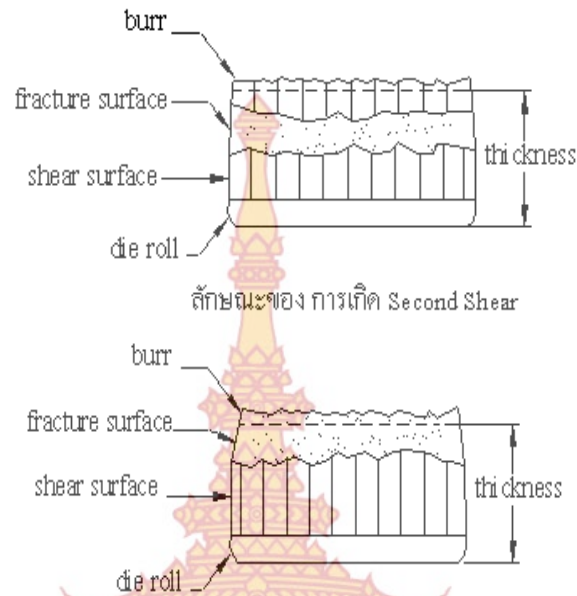
ผลที่เกิดจากการใช้ช่องว่างในการตัดระหว่างฟันซ์และดายมากเกินไปจากการเปรียบเทียบการใช้ระยะช่องว่างระหว่างฟันซ์และดายให้มากที่สุดเท่าที่จะทำการตัดวัสดุได้นั้นผลที่ได้จากปฏิบัติการตัดในครั้งแรกจะเหมือนกับการขึ้นรูปมากกว่าการตัดขอบโค้งมนของชิ้นงานจะใหญ่และรอยตัดเนียนแคบไม่ราบเรียบสม่ำเสมอมีรอยขรุขระรอยฉีกขาดจะกว้างและครีบที่เกิดขึ้นชิ้นงานที่ได้จากการตัด ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มากเกินไป [6]

3. กรณีที่ช่องว่างแม่พิมพ์น้อยเกินไป (Insufficient Clearance)

ผลที่เกิดจากช่องว่างระหว่างฟันซ์และดายน้อยไปสภาพของรอยตัดเนียนจะมีรอยกว้างและไม่สม่ำเสมอโดยอาจเกิดการตัดครั้งที่สอง (Second Shear) ขึ้นได้เนื่องจากมุมที่สูงชันมากเกินไประหว่างฟันซ์และดายเป็นอุปสรรคต่อการฉีกขาดของวัสดุเพิ่มขึ้นผลคือทำให้ใช้แรงกดในการฉีกของวัสดุในครั้งแรกมากกว่าการใช้คมตัดที่มีช่องว่างเหมาะสมชิ้นงานที่ได้จากการตัด ดังภาพที่ 7



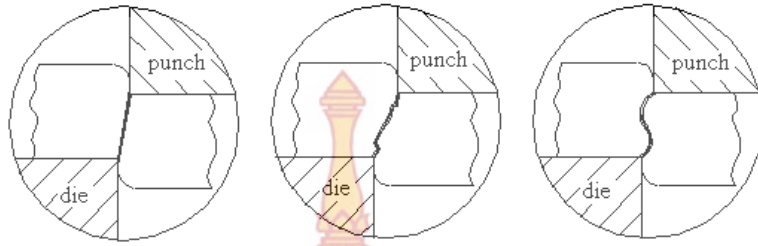
ดั่งภาพที่ 7 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่น้อยเกินไป [6]

4. กรณีที่ตำแหน่งฟันซ์และตายเยื้องศูนย์กลางกัน (Eccentric Clearance)

จากตำแหน่งของฟันซ์และตายที่เยื้องศูนย์กลางซึ่งกันและกันเกิดจากหลายสาเหตุทั้งจากเครื่องจักรที่ทำงานการประกอบแม่พิมพ์การจัดสร้างชิ้นส่วนแม่พิมพ์รวมถึงการประกอบแม่พิมพ์กับเครื่องเพรสด้วยจะส่งผลทำให้ฟันซ์และตายจะได้รับแรงกระทำไม่เท่ากันทุกจุดทำให้อายุการใช้งานของฟันซ์และตายสั้นลง [5] ดั่งภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่ตำแหน่งของฟันซ์และตายเยื้องศูนย์กลางกัน [6]



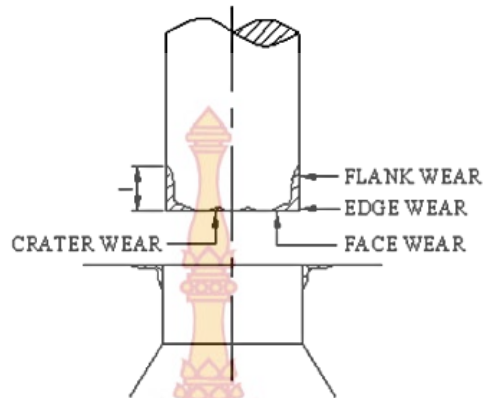
A. ช่องว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสม B. ช่องว่างแม่พิมพ์ที่มากเกินไป C. ช่องว่างแม่พิมพ์ที่น้อยไป

ภาพที่ 9 ลักษณะรอยแตกในแบบต่างๆ ตามขนาดระยะช่องว่างแม่พิมพ์ [6]

จากภาพที่ 9 แสดงลักษณะของการตัดที่ได้จากช่องว่างแม่พิมพ์ที่แตกต่างกันโดยช่องว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมรอยแตกจะวิ่งมาบรรจบกันพอดีในกรณีที่ย่อยแตกขยายยาวออกไปแต่ไม่บรรจบกันและเกิดการแตกเหนือคมตัดมากแสดงว่าช่องว่างแม่พิมพ์มากเกินไป ในกรณีที่ช่องว่างแม่พิมพ์น้อยเกินไปทำให้เกิดการตัดครั้งที่สองขึ้นขึ้นงานที่ได้จากการตัดจะดีหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับช่องว่างแม่พิมพ์ (Clearance) ระหว่างพunchและตายถ้าระยะช่องว่างมากไปหรือน้อยไปทำให้ชิ้นงานเกิดรอยฉีกไม่เรียบ เกิดครีบสูงและทำให้เพิ่มแรงที่ใช้ในการตัดส่งผลให้เกิดการสึกหรอเร็วขึ้นซึ่งระยะช่องว่างของแม่พิมพ์ตัดที่เหมาะสมกับการตัดวัสดุต่างๆ

2. การสึกหรอของพunchในงานตัดโลหะแผ่น

การสึกหรอเกิดจากการแยกหลุดตัวของอนุภาคเล็กๆ ของพunchเมื่อเกิดการกระทำทางกลหรือทางเคมีโดยพฤติกรรมการสึกหรอของวัสดุนี้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญๆ เช่นการสัมผัสกันลักษณะการเคลื่อนไหวและการรับภาระในการทำงานการสึกหรอที่เกิดขึ้นในงานตัดจะเกิดขึ้นในสองจุดที่สำคัญคือบริเวณพunchและตายตำแหน่งการสึกหรอแบ่งได้ 4 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 10 โดยการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับพunchและตายมี 4 ตำแหน่งคือ



ภาพที่ 10 ตำแหน่งการสึกหรอของฟันซ์และตาย [7]

- การสึกหรอด้านข้างแม่พิมพ์ (Flank Wear) จะเกิดตามแนวยาวของฟันซ์หรือเป็นพื้นที่การสึกหรอบริเวณด้านข้างของฟันซ์ซึ่งมีความสำคัญเพราะจะมีผลต่อขนาดชิ้นงานสำเร็จถ้าเกิดการสึกหรอที่บริเวณด้านข้างขึ้นจะทำให้ขนาดคมตัดของฟันซ์เปลี่ยนไปและจะมีผลทำให้ช่องว่างแม่พิมพ์เปลี่ยนไปด้วย

- การสึกหรอบริเวณมุมหรือคมตัดฟันซ์ (Edge Wear) จะเกิดขึ้นก่อนการเกิดการสึกหรอด้านข้างซึ่งจะมีผลต่อการเกิดครีบบนชิ้นงานเพราะถ้าคมตัดเกิดการสึกหรอขึ้นงานที่ได้จากการตัดจะเกิดครีบสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่อทำการตัดไปจำนวนครั้งมากๆ

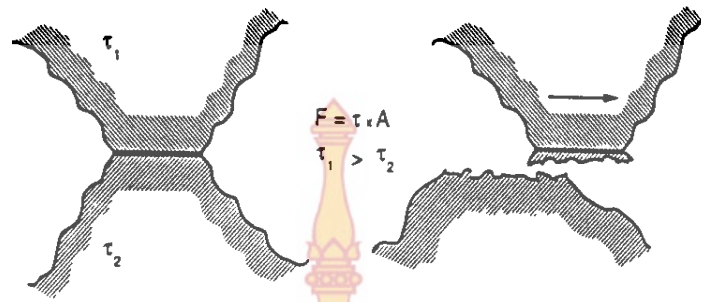
- การสึกหรอด้านหน้าแม่พิมพ์ (Face Wear) เกิดจากการกระแทกซ้ำๆกับชิ้นงานซึ่งจะทำให้เกิดความล้าขึ้นและจะมีผลมากเมื่อมีการตัดชิ้นงานจำนวนมากๆ

- การสึกหรอแบบเป็นหลุม (Crater Wear) เกิดจากการสึกหรอในลักษณะการขูดขีดหรือขีดข่วนและการสึกหรอแบบยึดติดจึงทำให้ต้องใช้แรงตัดเพิ่มขึ้นกว่าปกติโดยการสึกหรอจะเกิดในบริเวณคมตัดลักษณะวิ่งเข้าสู่ศูนย์กลางของฟันซ์

2.1 การสึกหรอที่เกิดขึ้นกับฟันซ์เกิดได้ 6 ลักษณะคือ

2.1.1 การสึกหรอแบบเชื่อมหรือยึดติดกัน (Adhesive Wear)

คือการสึกหรอที่เกิดจากการเชื่อมหรือเยิ้มติดกันของผิวโลหะจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุทั้งสองชนิดเกิดการเสียดสีกันเนื่องจากพื้นที่ที่สัมผัสกันระหว่างผิวสองผิวมากจะทำให้เกิดความเค้นเกินกว่าจุดครากตัวของวัสดุ (Yield Point) และจะทำให้เกิดแรงยึดเกาะกันทางโมเลกุลขึ้นเมื่อให้แรงเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ต่อไปบริเวณการยึดติดกันจะถูกดึงให้หลุดออกมา ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ลักษณะการสึกหรอแบบเชื่อมหรือยึดติดกัน [7]

2.1.2 การสึกหรอแบบการขีดถูหรือขีดข่วน (Abrasive Wear)

คือการสึกหรอที่เกิดจากพฤติกรรมกรขีดข่วนเฉือนหรือกระแทกซึ่งการกระทำเหล่านี้ทำให้เนื้อวัสดุหลุดออกมาในลักษณะเป็นอนุภาคเล็กๆ ดังภาพที่ 12

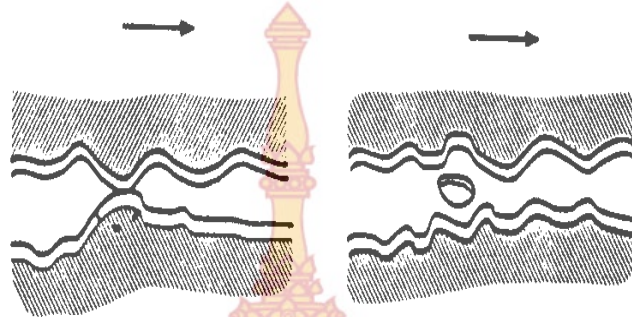


ภาพที่ 12 ลักษณะการสึกหรอแบบการขีดถูหรือขีดข่วน [7]

2.1.3 การสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัว (Fatigue Wear)

คือการสึกหรอที่เกิดจากชิ้นงานได้รับการกระทำไม่คงที่มีลักษณะเป็นคาบ (Cyclic Load) คือรับแรงดึงและอัดสลับกันไปและทำให้เกิดความล้าได้ผิวของชิ้นงานขึ้นทำให้ผิวของชิ้นงาน

เกิดการหลุดออกไป ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นหลุมหรือในลักษณะการเกิดรอยร้าวขึ้นที่ผิวชิ้นงาน ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ลักษณะการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัว [7]

2.1.4 การสึกหรอที่เกิดจากการกระทบ (Impact Wear)

คือการสึกหรอที่เกิดจากอนุภาคเล็กๆของเศษที่หลุดออกหรือของเหลวเกิดการกระทบกับผิวของวัสดุด้วยความเร็วและความแรงสูงทำให้เกิดการแตกหรือหลุดออกของผิววัสดุซึ่งการสึกหรอนี้จะประมาณได้จากเศษหรือวัสดุที่ชนกับผิวโดยความเร็วที่มากกว่าจะทำให้การสึกหรอเกิดขึ้นสูงกว่า

2.1.5 การสึกหรอจากการกัดกร่อน (Corrosion Wear)

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

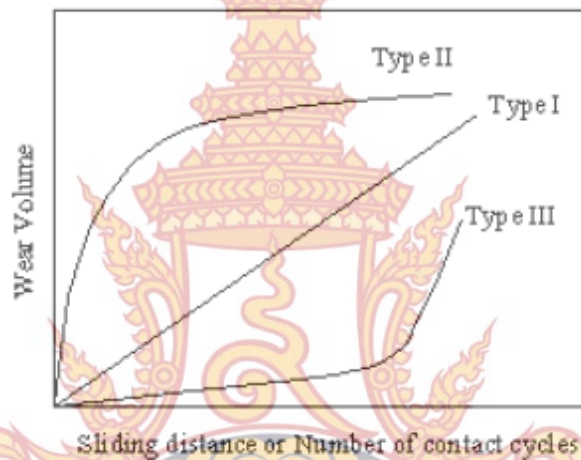
2.1.6 การสึกหรอแบบการแตกแยกชั้น (Delamination Wear)

คือการสึกหรอที่เกิดจากเศษที่หลุดจากการสึกหรอในลักษณะการขีดข่วนทำปฏิกิริยาทำให้เกิดออกไซด์ (Oxide) ซึ่งเศษนี้จะทำให้เกิดการสึกหรอแบบขีดข่วนเพิ่มขึ้นการสึกหรอในลักษณะการแตกแยกชั้นนี้จะรวมถึงการฉีกที่เกิดได้จากการที่รอยแตกจากความล้าตัวของผิวที่มีตัวหล่อลื่นเข้ามาติดอยู่และเมื่อมีแรงกระทำระหว่างผิวตัวหล่อลื่นจะเป็นเหมือนกับลิ้มดินให้เกิดรอยแตกและขยายรอยแตกออก

กระบวนการการสึกหรอจะขึ้นอยู่กับการทำงานเป็นส่วนใหญ่เพราะการทำงานจะเป็นตัวบ่งบอกถึงวัสดุที่ใช้ลักษณะการเคลื่อนไหวและแรงที่กระทำทำให้สามารถจำแนกลักษณะของการเกิดการสึกหรอได้ลักษณะโดยทั่วไปในงานทางด้านแม่พิมพ์ตัดที่เกิดกระบวนการในการตัดแผ่นโลหะจะทำให้เกิดการสึกหรอขึ้นโดยส่วนของพันทันจะเกิดการสึกหรอบริเวณผิวด้านหน้าคมตัดและด้านข้างส่วนของดายจะเกิดการสึกหรอบริเวณคมตัดและดายแลนด์ (Die Land) ซึ่งส่วนมากจะเป็นการสึกหรอแบบยึดติดและการสึกหรอแบบการขีดถู เมื่อแม่พิมพ์ตัดที่เกิดการสึกหรอแบบยึดติดและการสึกหรอ

แบบการขัดถูแล้วจะทำให้ต้องใช้แรงในการตัดเฉือนเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติซึ่งทำให้เกิดการสึกหรอแบบเป็นหลุมตามมา

การวัดปริมาณการสึกหรอที่นิยมมากที่สุดคือการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบการสึกหรอเพราะความเสียหายเนื่องจากการสึกหรอมักจะเกิดจากการที่ชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงและขนาด นอกจากนี้สามารถตรวจสอบลักษณะการสึกหรอได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscopes: EM) กล้องจุลทรรศน์แบบส่องแสง (Optical Microscopes: OM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ซึ่งแนวโน้มการสึกหรอแบ่งรูปแบบได้เป็น 3 ลักษณะตามทฤษฎีของ Koji และ Koshi ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ชนิดของแนวโน้มการสึกหรอ [8]

จากภาพที่ 14 แสดงกราฟที่ได้จากการทดลองการสึกหรอโดยสามารถแบ่งรูปแบบการสึกหรอออกเป็นออกเป็น 3 ลักษณะคือลักษณะที่ 1 (Type I) เป็นลักษณะของอัตราการเกิดการสึกหรอเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลองลักษณะที่ 2 (Type II) อัตราการสึกหรอเกิดขึ้นสูงในช่วงแรก จากนั้นอัตราการสึกหรอจะเริ่มลดลงและมีแนวโน้มคงที่ซึ่งการสึกหรอแบบนี้จะเกิดกับวัสดุที่เป็นโลหะลักษณะที่ 3 (Type III) อัตราการสึกหรอจะเกิดขึ้นต่ำในช่วงแรกและจะเพิ่มขึ้นสูงเมื่อจำนวนการทดลองเพิ่มขึ้นจากการแตกของวัสดุเนื่องจากความล้าการสึกหรอแบบนี้เกิดขึ้นกับวัสดุที่เป็นเซรามิคซึ่งสามารถหาค่าปริมาตรการสึกหรอได้จากสมการ

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

เมื่อ

V	=	ปริมาตรการสึกหรอ (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)
L	=	ระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ (มิลลิเมตร)
K	=	เป็นค่าคงที่ของวัสดุที่ตำแหน่งการสึกหรอ

$$P = \text{แรงตึงฉาก (กิโลนิวตัน)}$$

$$H = \text{ค่าความแข็งของวัสดุ (HRC)}$$

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลองนี้เป็นงานวิจัยที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ตัดทั้งหมด โดยมีผู้สนใจทำการศึกษาอิทธิพลของการสึกหรอเป็นจำนวนมากทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ แต่ในงานวิจัยเรื่องนี้ได้นำมาเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทดลองโดยตรง ซึ่งสามารถแยกตามการศึกษาของอิทธิต่างๆ ที่เกิดมีผลกับการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดดังนี้

O'mer Necati Cora, Muammer Koc [2] ได้ศึกษาลักษณะของการสึกหรอจากการเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ที่แตกต่างกันสำหรับการบ่มขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง สำหรับโลหะผสมที่เป็นแผ่นบางเช่น อลูมิเนียม แมกนีเซียม และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งชิ้นส่วนและโครงสร้างต้องมีน้ำหนักเบา อย่างไรก็ตามก็มีข้อจำกัดในการขึ้นรูป และเกิด Spring Back ได้สูง เนื่องจากที่ผิวเกิดความแข็ง และเกิด Work hardening มากขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ที่ดีขึ้น การเคลือบผิว การใช้สารหล่อลื่น เพื่อลดการสึกหรอสำหรับการบ่มขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลการสึกหรอจากวัสดุแม่พิมพ์ 7 ชนิดคือ (AISID2, Vanadis4, Vancron40, K340ISODUR, Caldie, Carmo, 0050A) ทำการทดสอบการสึกหรอกับวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงผลการทดลองสรุปได้ว่าวัสดุแม่พิมพ์แต่ละชนิดมีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแตกต่างกัน และมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าเครื่องมือธรรมดา

Maiti และ คณะ [9] ทำการศึกษาพฤติกรรมการตัดชิ้นงานที่มีความหนาไม่มาก (0.1 ถึง 1.0 มม.) โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ จำลองการทำงานและเก็บผลการทดลอง ในการทดลองนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของช่องว่างแม่พิมพ์ แรงเสียดทาน ความหนาชิ้นงาน ขนาดชิ้นงาน และลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน เพื่อจะศึกษาผลของลักษณะของรอยตัดชิ้นงานและแรงตัด โดยกำหนดชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำความหนาชิ้นงาน 1 มม ช่องว่างแม่พิมพ์ร้อยละ 0,10 และ 20 ของความหนาชิ้นงาน ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.15 จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ระยะห่างของคมตัดมีผลต่อแรงตัดของชิ้นงาน คือที่ระยะช่องว่างของคมตัดน้อยจะใช้แรงตัดชิ้นงานสูงและที่ระยะช่องว่างของคมตัดมากจะใช้แรงตัดชิ้นงานต่ำกว่า และแรงตัดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะการกัดลึกมากขึ้น จากผลการทดลองพบว่าแรงตัดจะสูงที่ระยะช่องว่างคมตัดน้อย และค่าระยะช่องว่างคมตัดในช่วงร้อยละ 0 ถึง 20 ของความหนาชิ้นงานไม่มีผลต่อขนาดของชิ้นงานที่ได้ และแรงตัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้นเนื่องการเสียดสีที่เกิดขึ้นสูง

X.Z. Wang และ S.H Masood [10] ได้ศึกษาวิธีคัดเลือกของแม่พิมพ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของกระบวนการขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ซึ่งเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงได้ถูกนำมาใช้มากขึ้นในการบ่มขึ้นรูปโลหะแผ่น นั่นคืออุตสาหกรรมรถยนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าทั่วไปในการบ่มขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงจะทำให้เกิดความเค้นที่สูงระหว่างแม่พิมพ์กับโลหะแผ่น ส่งผลต่อการสึกหรอที่รุนแรงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่รัศมีของแม่พิมพ์ (Die) การพัฒนาความสามารถในการทำนายผลได้อย่างถูกต้องจะช่วยลดการสึกหรอของแม่พิมพ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในระหว่างขั้นตอนการ

ออกแบบแม่พิมพ์มีความสำคัญมากเพราะจะช่วยลดเวลาและลดต้นทุนในการผลิตลง ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงผลกระทบรูปร่างทางเรขาคณิตของแม่พิมพ์ เมื่อทำการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่มีผลต่อการสึกหรอ มากกว่าการใช้วิธีเชิงตัวเลขและการทดลอง โดยแบบจำลองการสึกหรอของแม่พิมพ์ ได้ศึกษาถึงรูปร่างทางเรขาคณิตแบบต่างๆ ของแม่พิมพ์ที่เป็นทรงมาตรฐานมีทั้งทรงกลม วงรี การศึกษาเชิงตัวเลขและปริมาณการสึกหรอ การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นที่สัมผัสกับวัสดุแม่พิมพ์ ผลจากการทดลองพบว่าอิทธิพลที่มีของแม่พิมพ์แบบต่างๆ มีผลต่อการสึกหรอของชิ้นส่วนรถยนต์สมัยใหม่ โดยการใช้รูปร่างทางเรขาคณิตของแม่พิมพ์ที่ผสมกันคือทรงกลมและวงรี

พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ และคณะ [11] ได้ทำงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของชนิดของวัสดุทำแม่พิมพ์ที่มีผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด โดยทำการศึกษาการสึกหรอของพินซ์ทำจากวัสดุที่มีปริมาณคาร์บอนแตกต่างกัน 4 ชนิด คือเหล็ก JIS SKD11, SKS3, SKH51 และ S50C กำหนดให้พินซ์ที่ทำจากวัสดุทั้ง 4 ชนิด มีความแข็งเท่ากันคือ 59 ± 1 HRC ใช้ช่องว่างแม่พิมพ์คงที่ คือร้อยละ 5 ของความหนาชิ้นงาน โดยทำการตัดเหล็กแผ่น JIS G3141 SPCC (AISI 1012) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพินซ์ 25 มิลลิเมตรความหนาของชิ้นงาน 0.8 มิลลิเมตรโดยพินซ์แต่ละชนิดทำการตัดชิ้นงานจำนวน 10,000 ชิ้นจากการทดลองพบว่า เหล็กที่มีอัตราการสึกหรอน้อยที่สุดคือเหล็ก SKD11 รองลงมาคือเหล็ก SKS3 SKH51 และ S50C ตามลำดับ ทั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า เนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็กแต่ละชนิดต่างกัน กล่าวคือเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนสูงทำให้อัตราการเกิดคาร์ไบด์สูงซึ่งทำให้ความแข็งของเหล็กสูงตามไปด้วย



บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด จากการสึกหรอของฟันซ์แต่ละชนิด ควบคู่กับคุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน โดยใช้ฟันซ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 มิลลิเมตร เลือกใช้วัสดุแตกต่างกัน 4 ชนิด คือ เหล็กกล้าเครื่องมือมาตรฐาน JIS SKD11, SKD12, SKS3 และ เหล็กกล้า S50C ส่วนตายทำมาจากเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น JIS SKD11 โดยทั่วไปรูปแบบการสึกหรอของฟันซ์และตายจะมีลักษณะคล้ายกันแต่การสึกหรอของฟันซ์จะเร็วกว่าตาย ในการตัดใช้ช่องว่างแม่พิมพ์คงที่ 8% ของความหนาของชิ้นงาน ฟันซ์ที่ใช้ในงานวิจัยจะผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัว ให้ได้ค่าต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ ดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 แสดงส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าที่ใช้ทำฟันซ์ทดลอง

ตารางที่ 3 เงื่อนไขการทดลอง

Condition	Types of punches			
	JIS SKD11	JIS SKD12	JIS SKS3	JIS S50C
Hardness (HRC)	60	60	58	58
Cutting speed	35 mm/sec			
Experiments	Room temperature			
Material	JIS G3135:SPFC440 High strength steel			

ตารางที่ 4 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าที่ใช้ทำฟันซ์

ชนิดของเหล็กกล้า	C	Cr	Mo	V	Si	Mn	Ni
JIS SKD11	1.55	12.0	0.70	1.0	0.40	0.60	0.50
JIS SKD12	1.05	5.50	1.40	0.50	0.30	1.0	-
JIS SKS3	0.95	0.6	-	0.1	0.30	1.1	0.25
JIS S50C	0.50	-	-	-	0.40	0.75	-

2. ส่วนประกอบของแม่พิมพ์

ในการออกแบบและจัดสร้างชุดแม่พิมพ์ตัดสำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลต่างๆ ที่ถูกต้องตามจุดประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย จึงได้ออกแบบแม่พิมพ์ที่สามารถถอดเปลี่ยนชุดพUNCH และตายได้อย่างสะดวก เพื่อให้สามารถนำไปตรวจวัดผลต่างๆ ได้ง่าย ซึ่งชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ทำการทดลอง ดังภาพที่ 15 ประกอบด้วยชุดตายเซ็ท (die set) ชนิดสี่เสา ชุดพUNCH แผ่นปลดชิ้นงาน ชุดสปริง แผ่นยึดพUNCH และตาย เป็นต้น



ภาพที่ 15 แม่พิมพ์ตัดที่ได้จากการออกแบบ

2.1 ชุดพUNCH (Punch) ที่มีช่องว่างคมตัด 8% ดังภาพที่ 16

ในการออกแบบชุดแม่พิมพ์ตัดในโครงการนี้ เป็นการออกแบบเพื่อการตัดแผ่นเปล่า (Blanking) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร จึงกำหนดขนาดรูของตายไว้คงที่ โดยจะลดขนาดความโตของพUNCH ลง ตามเปอร์เซ็นต์ความหนาของชิ้นงานที่กำหนด ในกรณีของการกำหนดค่าช่องว่างคมตัดที่ 8 % ของความหนาชิ้นงาน ซึ่งพUNCH ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11, SKD 12, SKS 3 และเหล็กกล้า S50C สามารถกำหนดขนาดชิ้นงานได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ขนาดของพUNCH} &= \text{Ø ชิ้นงาน} - 2CL & (4) \\
 \text{เมื่อ} & \\
 CL &= 8\% \\
 &= 8 \times 1 & \text{มิลลิเมตร} \\
 \text{Ø Punch} &= 25 - (2 \times 0.08 \times 1) & \text{มิลลิเมตร} \\
 &= 24.84 & \text{มิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$



ภาพที่ 16 พินซ์สำหรับตัดชิ้นรูปชิ้นงาน

2.2 ชุดตาย (Die) ที่มีช่องว่างคมตัด 8%

การออกแบบตายจะใช้วิธีการนำตายใส่ลงไปบนแผ่นยึดตาย โดยใช้วัสดุเกรด SKD 11 จะต้องกำหนดระยะห่างระหว่างของนอกถึงขอบตัดให้มีระยะที่เพียงพอที่สามารถรับแรงตัดได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ดังภาพที่ 17

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตาย	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน
\varnothing Die	=	\varnothing ชิ้นงาน
	=	25 มิลลิเมตร



รูปที่ 17 ตายสำหรับตัดชิ้นรูปชิ้นงาน

2.3 ชุดดายเซ็ท (Die Set)

ดายเซ็ท คือชุดแม่พิมพ์ซึ่งตัว พันซ์ ดาย และชิ้นส่วนที่จำเป็นต่างๆ ในการปั๊มชิ้นงานจะถูกนำมาประกอบในดายเซ็ทนี้ ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ลักษณะของชุดดายเซ็ท

2.4 แผ่นยึดพินซ์ (Punch Holder Plate)

แผ่นยึดพินซ์ (Punch Plate) เป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญเพราะเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ยึดพินซ์ให้ติดกับชุดดายเซ็ทด้านบน (Upper Die Set) ในการออกแบบจะใช้วิธีการยึดติดกับชุดดายเซ็ทโดยใช้สกรูหกเหลี่ยมหัวฝังขนาด M10×1.5 จำนวน 4 ตัว โดยยึดแผ่นพินซ์นี้ มีขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) เท่ากับ (100×100×15 mm) โดยลักษณะการประกอบ ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ลักษณะแผ่นยึดพินซ์ (Punch Holder Plate)

2.5 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 20



ภาพที่ 20 ลักษณะของแผ่นยึดตาย (Die holder Plate)

2.6 แผ่นปลดชิ้นงาน (Stripper Plate)

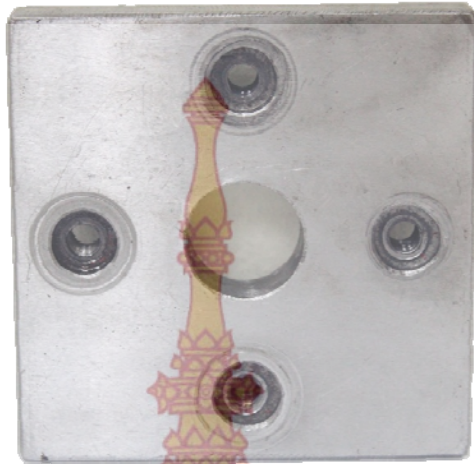
ความกว้าง × ความยาวของแผ่นปลดชิ้นงานควรเท่ากับ ความกว้าง × ความยาวของแผ่นยึดพันซ์ (Punch Plate) แต่ความหนาของแผ่นปลดชิ้นงานที่น้อยที่สุดไม่ควรต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 21

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

โดยที่

$$A = \text{ความกว้างของแผ่นชิ้นงาน}$$

$$T = \text{ความหนาของแผ่นชิ้นงาน}$$



ภาพที่ 21 แผ่นปลดชิ้นงาน (Stripper Plate)

2.7 ชุดสปริงปลดชิ้นงาน (spring)

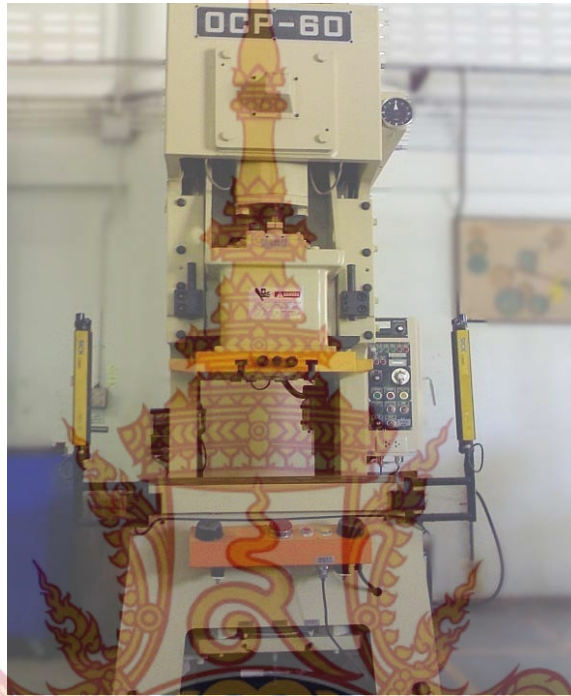
สำหรับสปริงที่ใช้กับแม่พิมพ์แต่ละชุด ดังภาพที่ 22 จะให้ค่าแรงปลดชิ้นงานตามที่กำหนดไว้ แสดงดังภาคผนวก ก. ในการออกแบบครั้งนี้ได้เลือกใช้สปริงแม่พิมพ์ สีแดง เบอร์ 35 × 50 เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 35 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางใน 17.5 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร จำนวน 4 ตัว



ภาพที่ 22 สปริงที่ใช้ในการทดลอง

3. เครื่องปั๊มโลหะแบบเพลลาข้อเหวี่ยง

เครื่องปั๊มโลหะที่ใช้ในการทดลองแบบเพลลาข้อเหวี่ยงรุ่น OCP-60 ขนาด 60 ตันความเร็วในการตัดคงที่เท่ากับ 35 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังภาพที่ 23 และสมรรถนะเครื่องปั๊ม ดังตารางที่ 5



ภาพที่ 23 เครื่องปั๊มขึ้นงานแบบเพลลาข้อเหวี่ยง

ตารางที่ 5 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

4. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บผลการทดลอง

4.1 กล้องจุลทรรศน์สำหรับวัดการสีกหของพินซ์

กล้องส่องการสีกหแบบส่องแสง Optical Microscope เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดการสีกหของพินซ์ซึ่งเป็นการสีกหต่อต้านข้างการสีกหตรงคมตัดและการสีกหด้านหน้า เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบการสีกหที่เกิดขึ้นกับพินซ์แต่ละชนิดและยังใช้ส่องขอบตัดของชิ้นงานที่ทำการตัด เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบการสีกหของพินซ์แต่ละชนิดที่มีผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องแสง (Optical Microscope)

4.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก

ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP224S ความเที่ยงตรง 0.0001 กรัม และสามารถชั่งชิ้นงานที่น้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 220 กรัม ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 เครื่องชั่งน้ำหนัก

5. วิธีการทดลองเพื่อศึกษาการสึกหรอของพUNCH

การทดลองตัดชิ้นงานโดยพUNCHที่ทำมาจากเหล็กกล้าแตกต่างกัน 4 ชนิด ซึ่งในการทดลองตัดชิ้นงานด้วยพUNCH แต่ละชนิดจะหยุดตัดเป็นช่วงๆ เพื่อถอดพUNCHออกมาวัดผลการสึกหรอ โดยพUNCHที่ใช้เป็นแบบอินเสิร์ท (Insert punch) กำหนดจำนวนครั้งในการตัดที่ 100, 300, 500, 700, 900, 1100, 1600, 2100, 2600, 3100, 4000, 5000 และ 6000 โดยทุกครั้งที่หยุดการตัดชิ้นงานเป็นช่วงๆ จะทำการบันทึกผล ดังต่อไปนี้

- ชั่งน้ำหนักของพUNCHด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล Sartorius รุ่น CP224S ค่าความแม่นยำ 0.0001 กรัม เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาร้อยละของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื่องจากการสึกหรอของพUNCH

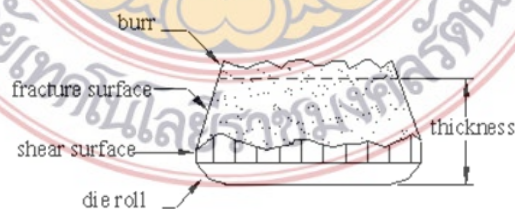
- ตรวจสอบวัฏระยะการสึกหรอด้านข้าง (flank wear) และด้านหน้า (face wear) ของพUNCHที่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 26 และตารางที่ 6 ตัวอย่างตารางบันทึกวัฏระยะการสึกหรอของพUNCH



ภาพที่ 26 ตำแหน่งการสึกหรอของพUNCH [4]

5.1 การศึกษาลักษณะขอบตัดชิ้นงาน

การทดลองนี้จะทำการตรวจวัดคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน ดังรูปที่ 4 จากการสุมชิ้นงานมา 3 ชิ้น ที่ได้จากการตัดในแต่ละช่วงตั้งแต่ครั้งที่ 100 ถึง 6,000 จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการสุมในแต่ละช่วงมาทำการเตรียมชิ้นงานโดยการตัดแบ่งครึ่ง หล่อชิ้นงานด้วยเรซินและขัดด้วยกระดาษทรายละเอียดเรียงเบอร์ เพื่อหาค่าเฉลี่ยความสูงของส่วนโค้งมน ระยะตัดเฉียงหรือส่วนเรียบตรง ระยะฉีกขาด และครีบ ดังภาพที่ 27 และตารางที่ 7 ตัวอย่างตารางบันทึก การตรวจวัดขนาดของขอบตัดชิ้นงาน



ภาพที่ 27 ลักษณะคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน [5]

ตารางที่ 6 ตัวอย่างตารางบันทึกการสีกหรือของพินซ์

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการสีกหรือด้านข้างของพินซ์ (มิลลิเมตร)			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100				
300				
500				
700				
900				
1,100				
1,600				
2,100				
2,600				
3,100				
4,000				
5,000				
6,000				

ตารางที่ 7 ตัวอย่างตารางบันทึก การตรวจวัดคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการตัดเฉือน Shear Surface (มิลลิเมตร)		
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100			
300			
500			
700			
900			
1,100			
1,600			
2,100			
2,600			
3,100			
4,000			
5,000			
6,000			

6. การสรุปผล

หลังจากทำการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นการทดลอง สามารถบันทึกผลข้อมูลต่างๆ ตั้งแต่เริ่มต้นแต่ละช่วงต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ จะได้ข้อมูลทั้งหมดในลักษณะต่างๆ ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ของการสึกหรอของฟันซ์และส่วนโค้งมน (Die Roll) ส่วนเรียบตรง (Burnish) รอยฉีกขาด (Fracture) และครีบ (Burr) ของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล เพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัยที่กำหนดไว้ อาจมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้ข้อมูลสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพื่อความถูกต้องในการสรุปผลงานวิจัย



บทที่ 4

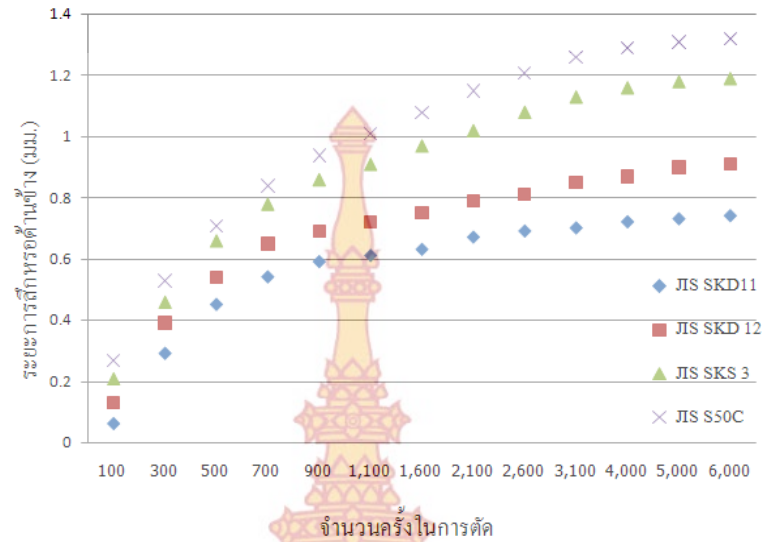
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

1. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

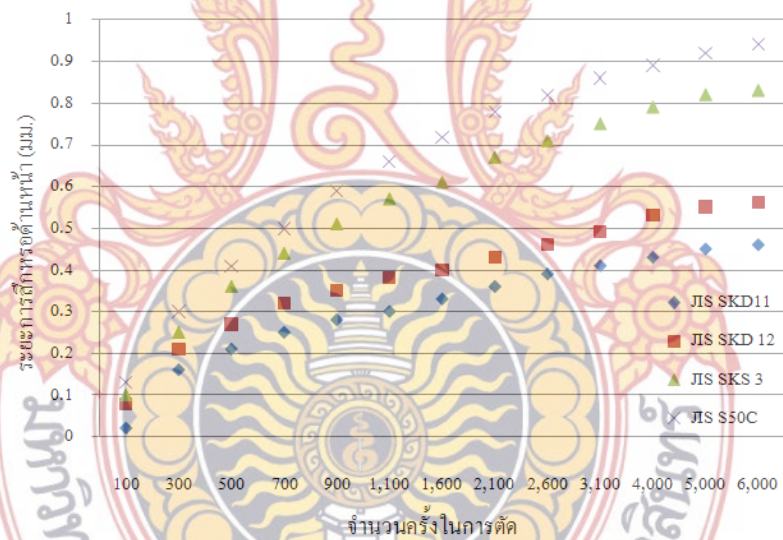
1.1 การสึกหรอของฟันซ์

การสึกหรอที่เกิดขึ้นในการบ่มตัดโลหะ เป็นการสึกหรอในลักษณะเกิดการขีดข่วนหรือขีดสีระหว่างฟันซ์กับชิ้นงาน โดยปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอมีสาเหตุจากหลายอย่างเช่น ความแข็งของฟันซ์ (Hardness) ความเหนียว (Toughness) โดยวิธีที่นำมาใช้ในการต้านทานการสึกหรอคือการเพิ่มความแข็งของฟันซ์ และในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าความแข็งของฟันซ์ให้มีค่าคือ $60 \pm 2\text{HRC}$ และกำหนดให้ใช้วัสดุชนิดเดียวกันในการตัด จำนวนครั้งในการตัด เครื่องบ่มที่ใช้ในการตัดให้มีกำลังเท่ากัน

การสึกหรอของฟันซ์แสดงได้ด้วยการลดลงของน้ำหนัก (ร้อยละการลดลงของน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น) และการวัดระยะการสึกหรอของฟันซ์ที่บริเวณด้านข้างและด้านหน้าของคมตัด โดยการสึกหรอบริเวณด้านข้างของฟันซ์จะส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างฟันซ์และดากกว้างขึ้น จากการทดลองตัดชิ้นงานจำนวน 6,000 ชิ้น พบว่าการสึกหรอบริเวณด้านข้างคมตัดของฟันซ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้า SKD11 มีระยะการสึกหรอเฉลี่ยคือ 0.57 มิลลิเมตร เกิดการสึกหรอน้อยที่สุด รองลงมาฟันซ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้า SKD12 มีระยะการสึกหรอเฉลี่ยคือ 0.69 มิลลิเมตร ฟันซ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้า SKS3 มีระยะการสึกหรอเฉลี่ยคือ 0.89 มิลลิเมตร และฟันซ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้า S50C มีระยะการสึกหรอเฉลี่ยคือ 1.0 มิลลิเมตร เกิดการสึกหรอด้านข้างมากที่สุด โดยเหล็กกล้า S50C จะมีการสึกหรอของฟันซ์มากกว่าเหล็กกล้า SKD11 ถึงประมาณ 1.8 เท่า และเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 28 และภาพที่ 29 คือเมื่อทดลองตัดชิ้นงานเพิ่มมากขึ้นระยะการสึกหรอด้านข้างและระยะการสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อพิจารณารูปแบบการสึกหรอบริเวณด้านข้างคมตัดฟันซ์ (flank wear) ซึ่งเกิดลักษณะการสึกหรอเป็นแบบขีดข่วน (abrasive wear) [12] ระหว่างผิวของชิ้นงานและผิวของฟันซ์เมื่อเกิดการเสียดสีกันจึงทำให้ผิวของฟันซ์เกิดการหลุดได้ ส่งผลต่อระยะการสึกหรอที่แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระยะการสึกหรอที่เกิดขึ้นด้านข้างของฟันซ์มีความรุนแรงมากกว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณด้านหน้าของฟันซ์ เนื่องจากเกิดการเสียดสีที่รุนแรงบริเวณดังกล่าว [13] และการสึกหรอทั้งสองด้านจะค่อยๆ ลดลงเมื่อจำนวนครั้งในการตัดเพิ่มสูงขึ้นจากการที่ระยะช่องว่างแม่พิมพ์แต่ละตัวถูกขยายใหญ่ขึ้น และคมตัดเกิดการเปลี่ยนรูปร่างเป็นรัศมี จึงเกิดการเสียดสีที่รุนแรงไม่มาก ส่งผลให้การสึกหรอลดลงและเกิดการเปลี่ยนแปลงของขอบตัดชิ้นงานเช่นกัน โดย Lange, K. [4] กล่าวว่าเมื่อชิ้นงานมีช่องว่างแม่พิมพ์โตขึ้นทำให้ระยะโค้งมนเพิ่มขึ้น ระยะการตัดเฉือนลดลง ระยะการฉีกขาด และครีบที่เกิดกับชิ้นงานจะมีค่ามากขึ้น



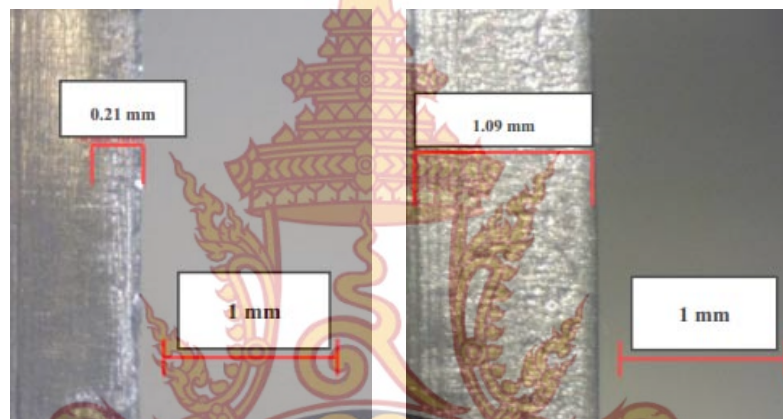
ภาพที่ 28 การสึกหรอด้านข้างของฟันซ์แต่ละชนิด



ภาพที่ 29 การสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์แต่ละชนิด

จากผลการทดลองพบว่า การสึกหรอที่เกิดแตกต่างกัน มีผลมาจากความแข็งระดับจุลภาค ซึ่งขึ้นอยู่กับเฟสของสารประกอบในเนื้อวัสดุ โดยพบว่าความแข็งจุลภาคเกิดจากอิทธิพลของสารประกอบคาร์ไบด์ กล่าวคือ สารประกอบคาร์ไบด์ที่กระจายตัวอย่างหนาแน่นและสม่ำเสมอจะทำให้ความแข็งจุลภาคสูงขึ้น จึงทำให้ต้านทานต่อการสึกหรอดีขึ้นด้วย ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pongpan [11] และจากผลงานวิจัยเรื่องนี้เหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 มีการสึกหรอน้อยกว่า SKD12, SKS3 และเหล็กกล้า S50C ตามลำดับ เป็นเพราะปริมาณคาร์บอนมีค่าแตกต่างกัน

กล่าวคือปริมาณคาร์บอนสูงของเหล็กกล้า SKD11 ทำให้เหล็กดังกล่าวมีโอกาสเกิดสารประกอบคาร์ไบด์สูงกว่าเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า [11] ส่งผลให้เหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนสูง มีความแข็งจุลภาคสูงกว่าเป็นผลให้ต้านทานต่อการสึกหรอได้ดีกว่า ซึ่งจากผลงานวิจัยในครั้งนี้นี้การสึกหรอของเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 มีการสึกหรอน้อยที่สุดมีปริมาณคาร์บอนประมาณ 1.55% รองลงมาคือเหล็กกล้า SKD12 มีปริมาณคาร์บอน 1.05% เหล็กกล้า SKS3 มีปริมาณคาร์บอน 0.95% และเหล็กกล้า S50C มีปริมาณคาร์บอน 0.5% จะมีการสึกหรอมากที่สุด นอกจากนี้เหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 ยังมีธาตุอื่นที่สามารถรวมตัวกับคาร์บอนเกิดเป็นสารประกอบคาร์ไบด์ เช่น โครเมียม (Cr) โมลิบดีนัม (Mo) แมงกานีส (Mn) ในปริมาณสูง และภาพที่ 30 เป็นตัวอย่างภาพถ่ายการสึกหรอด้านข้างของฟันซี่เมื่อทำการตัดครั้งที่ 100 และครั้งที่ 6,000



การสึกหรอครั้งที่ 100

การสึกหรอครั้งที่ 6,000

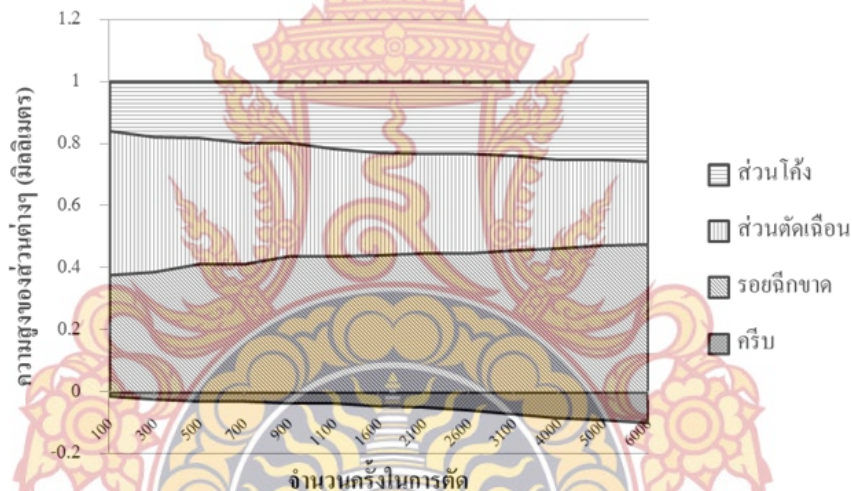
ภาพที่ 30 ภาพถ่ายการสึกหรอด้านข้างของฟันซี่

1.2 ผลของน้ำหนักฟันซี่ที่เปลี่ยนแปลง

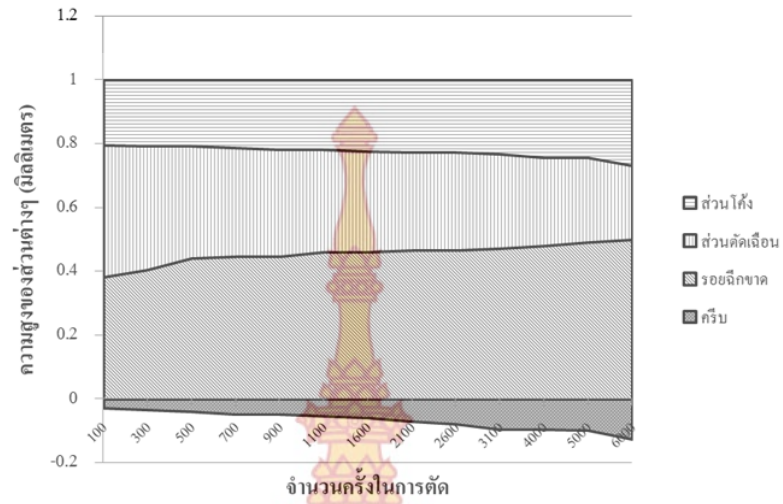
การเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของฟันซี่หลังจากการตัดชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าการลดลงของน้ำหนักฟันซี่และระยะการสึกหรอทั้งสองมีแนวโน้มคล้ายกันจากผลการทดลองพบว่าค่าการลดลงน้ำหนักของฟันซี่ที่ทำมาจากเหล็กกล้า S50C มีค่าการลดลงของน้ำหนักมากที่สุด เนื่องจากมีการสึกหรอสูงสุด รองลงมาคือ SKS3, SKD12 และ SKD11 เมื่อเปรียบเทียบค่าน้ำหนักของฟันซี่จากการตัดชิ้นงานชิ้นแรกกับชิ้นสุดท้ายของการทดลอง โดยน้ำหนักของฟันซี่จะลดลงจากการตัดชิ้นงานจำนวนครั้งที่ 1 ถึง 6,000 พบว่าฟันซี่ทั้ง 4 ชนิด คือเหล็กกล้า S50C, SKS3, SKD12 และ SKD11 น้ำหนักของฟันซี่ลดลง 0.0154 กรัม, 0.0090 กรัม, 0.0059 กรัม และ 0.0053 กรัม หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำหนักฟันซี่ก่อนการทดลองคือ 0.0222%, 0.0124%, 0.0084%, 0.0080% ตามลำดับ

2. การศึกษาลักษณะคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน

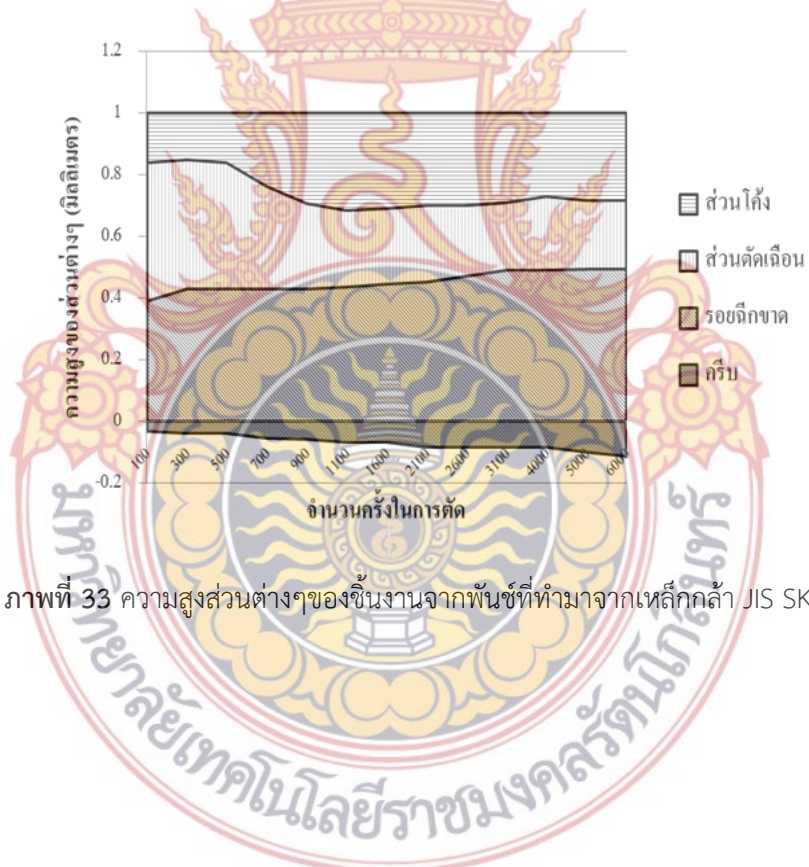
การสึกหรอของฟันซี่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขอบตัดชิ้นงานในลักษณะเหมือนกันคือ ส่งผลให้ส่วนโค้งมน (die roll) เพิ่มขึ้น ระยะการตัดเฉือนหรือส่วนเรียบตรงน้อยลง (shear surface) ระยะการฉีกขาด (fracture surface) เพิ่มขึ้น และครีบ (burr) จะมีขนาดเพิ่มสูงขึ้น ตั้งแต่ภาพที่ 31 ถึงภาพที่ 34 โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของขอบตัดเป็นผลมาจากระยะการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับฟันซี่และตาย ทำให้กลไกการตัดที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายกับช่องว่างแม่พิมพ์ถูกทำให้ขยายใหญ่ขึ้น [11] โดยปกติขนาดของครีบที่ขอบตัดชิ้นงาน สามารถบ่งบอกอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ได้ระดับหนึ่ง พบว่าความสูงของครีบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อจำนวนครั้งในการตัดเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาขนาดของครีบที่ได้จากฟันซี่แต่ละชุด ดังภาพที่ 35 พบว่าฟันซี่ที่ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 มีการสึกหรอน้อยที่สุดสามารถตัดชิ้นงานโดยทำให้เกิดครีบน้อยที่สุด ตามด้วยฟันซี่ที่ทำจากเหล็กกล้า SKD12, SKS3 และฟันซี่ที่ทำจากเหล็กกล้า S50C มีค่าการสึกหรอมากที่สุดจะทำให้ครีบที่ขอบตัดสูงที่สุดโดยค่าเฉลี่ยความสูงของครีบอยู่ที่ 0.045, 0.054, 0.074, 0.082 มิลลิเมตร ตามลำดับ



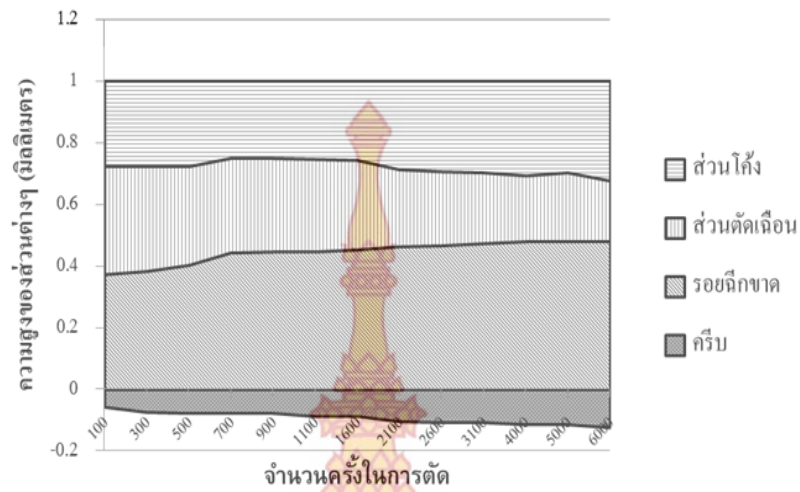
ภาพที่ 31 ความสูงส่วนต่างๆ ของชิ้นงานจากฟันซี่ที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS SKD 11



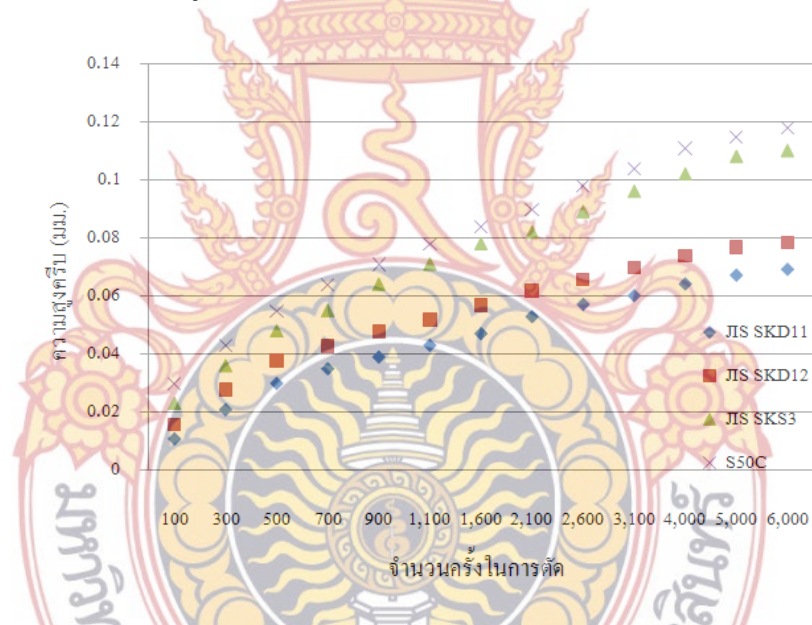
ภาพที่ 32 ความสูงส่วนต่างๆของชิ้นงานจากพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS SKD 12



ภาพที่ 33 ความสูงส่วนต่างๆของชิ้นงานจากพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS SKS 3



ภาพที่ 34 ความสูงส่วนต่างๆของชิ้นงานจากพื้นที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS S50C

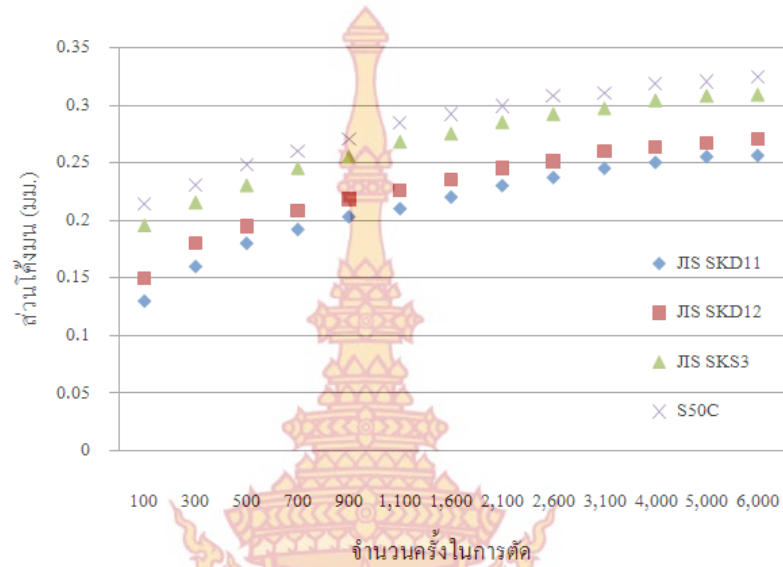


ภาพที่ 35 ความสูงของครีบบอบตัดชิ้นงาน

2.1 ส่วนโค้งมน

ส่วนโค้งมนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรของชิ้นงานที่ถูกดึงโดยคมตัดของ ฟันซ์และตาย จากผลการทดลองพบว่าความสูงของระยะส่วนโค้งมนมีค่ามากขึ้นในจำนวนครั้งการตัด ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสึกหรอของฟันซ์ทำให้การตัดยากขึ้นต้องใช้แรงในการตัดสูง ความเค้นดึงในเนื้อ วัสดุมากขึ้น ส่งผลทำให้ส่วนโค้งมนเพิ่มขึ้น และการสึกหรอด้านข้างคมตัดทำให้ระยะช่องว่างระหว่าง ฟันซ์และตายมากขึ้น ระยะส่วนโค้งมนจึงสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าฟันซ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้า SKD11

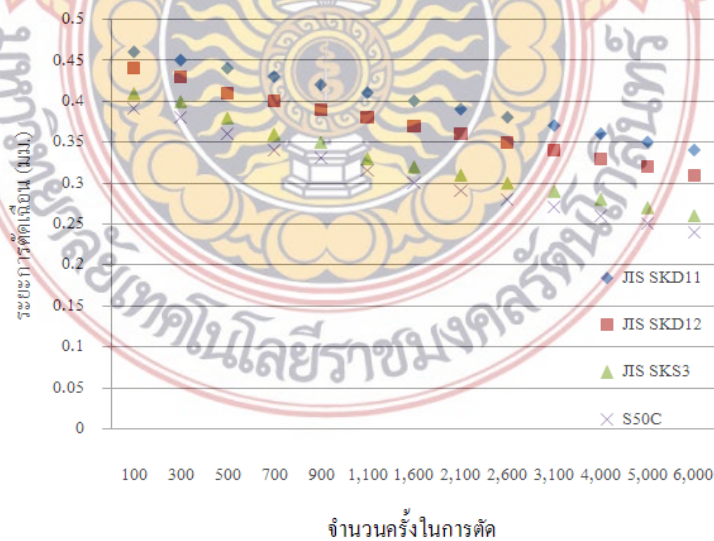
สามารถตัดชิ้นงานโดยเกิดระยะของส่วนโค้งมนน้อยที่สุด รองลงมาคือ SKD12, SKS3 และ S50C ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ส่วนโค้งมนของชิ้นงาน

2.2 ระยะการตัดเฉือนหรือส่วนเรียบตรง

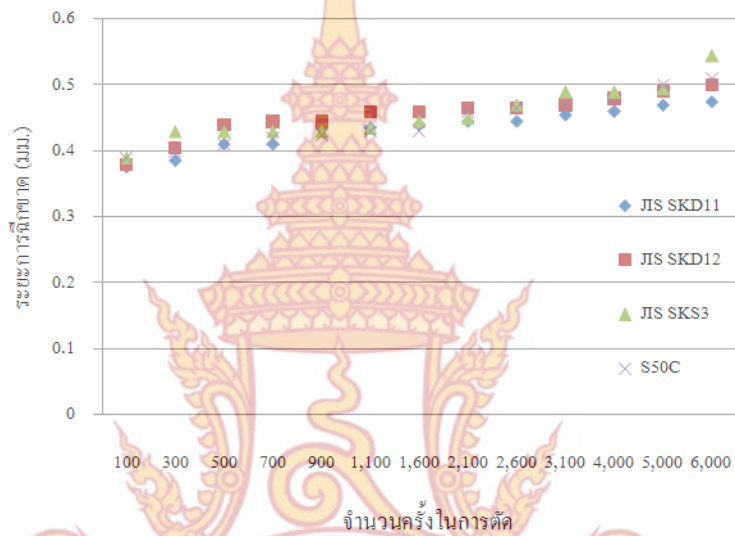
เกิดจากเนื้อวัสดุที่ถูกคมตัดของฟันซ์และตายเฉือนให้เกิดเป็นส่วนที่มีผิวเรียบตรง จะเห็นว่าระยะการตัดเฉือนมีค่าลดลง เมื่อจำนวนครั้งการตัดที่เพิ่มขึ้น เพราะการสึกหรอทำให้เกิดความเค้นอัดภายในเนื้อวัสดุลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าฟันซ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้า SKD11 สามารถตัดชิ้นงานโดยเกิดระยะของการตัดเฉือนมากที่สุด รองลงมาคือ SKD12, SKS3 และ S50C ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ระยะการตัดเฉือนหรือส่วนเรียบตรงของชิ้นงาน

2.3 ระยะเวลาฉีกขาด

เกิดจากการที่ความเค้นในเนื้อวัสดุมีค่าสูงเกินขีดจำกัดที่วัสดุสามารถรับได้ ทำให้เกิดการฉีกขาดออกจากกันก่อนที่จะถูกคมตัดของฟันซ์และตายเฉือน ผลจากการวัดระยะเวลาฉีกขาดที่เกิดบนชิ้นงานที่ได้จากการตัด ดังภาพที่ 38 ผลการทดลองพบว่าระยะเวลาฉีกขาดจะเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนครั้งการตัดที่เพิ่มขึ้นนอกจากนี้ฟันซ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้า SKS3 สามารถตัดชิ้นงานโดยเกิดระยะเวลาของการฉีกขาดมากที่สุด รองลงมาคือ S50C, SKD12, SKD11



ภาพที่ 38 ระยะเวลาฉีกขาดของชิ้นงาน



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการทดลอง

1.1 พันซ์ที่ทำจากเหล็กกล้า SKD11 มีระยะการสึกหรอน้อยที่สุด รองลงมาคือเหล็กกล้า SKD12, SKS3 และพันซ์ที่มีระยะการสึกหรอมากที่สุดคือเหล็กกล้า S50C สำหรับการตัดเหล็กกล้า ความแข็งแรงสูง

1.2 การสึกหรอของพันซ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขอบตัดชิ้นงานในลักษณะเหมือนกัน คือส่งผลให้ส่วนโค้งมนเพิ่มขึ้น ระยะการตัดเฉือนหรือส่วนเรียบตรงน้อยลงระยะการฉีกขาดเพิ่มขึ้น และครีบบจะมีขนาดเพิ่มสูงขึ้น

1.3 พันซ์ที่ทำจากเหล็กกล้า SKD11 มีระยะการสึกหรอน้อยที่สุดสามารถตัดชิ้นงานโดยทำให้เกิดครีบน้อยที่สุด รองลงมาคือเหล็กกล้า SKD12, SKS3 และพันซ์ที่มีระยะการสึกหรอมากที่สุด คือเหล็กกล้า S50C จะทำให้เกิดครีบบที่ขอบตัดสูงที่สุด

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 ใช้พันซ์ที่มีรัศมีในการศึกษาหารัศมีมุมของพันซ์ที่แตกต่างเพื่อศึกษาการสึกหรอของพันซ์ และคุณภาพของชิ้นงาน

2.2 ใช้พันซ์ในการตัดชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันในขณะที่ค่าช่องว่างยังเท่าเดิม



บรรณานุกรม

- [1] รัชณี ฮาโตะ และอรุณนพ เรืองวิเศษ (2551). ไขข้อสงสัยกระบวนการขึ้นรูป, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ
- [2] O'imer N.C. (2009). Experimental investigations on wear resistance characteristics of alternative die materials for stamping of advanced high-strength steels (AHSS), *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49, 2009, pp. 897-905.
- [3] ชาญชัย ททรัพย์ากร และคณะ (2542). การออกแบบแม่พิมพ์, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ
- [4] Lange, K. (1985). Blanking and Piercing Process, *Handbook of Metal Forming*, McGraw-Hill, New York, pp. 24.8-24.13
- [5] ธเนศ เมฆลาย และคณะ (2536). พื้นฐานการออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปโลหะ, สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพมหานคร
- [6] ชาญ ถนัดงาน, (2536). เอกสารประกอบการเรียนแม่พิมพ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, หน้า 1-20.
- [7] Schey, J. A. (1984). Tribology in Metalworking, *The American Society for Metals*, USA, pp.1-5
- [8] Koji, K. and Koshi, K., (1999). Wear Mechanisms”, In *Modern Tribology Handbook*, McGraw-Hill, New York, pp. 273-299
- [9] Mati, S.K. et al, (2000). Assessment of Influence of Some Process Parameter on Sheet Metal Blanking, *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 102, 2000, pp. 249-256.

- [10] X.Z. Wang, S.H Masood, (2010). Investigation of die radius arc profile on wear behavior in sheet metal processing of advanced high strength steels”, **Journal of Materials and Design**, 2010, pp.1118–1128.
- [11] พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ และคณะ, (2548). อิทธิพลของชนิดเหล็กเครื่องมือที่มีผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด, **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร**. 28 (2): 2548, หน้า 169-182.
- [12] Bhushan, B. (1999). Wear, In **Principles and Application of Tribology**, JohnWily& Son, New York, pp. 479-535.
- [13] Fang, G., Zeng P. and Lou, L. (2002). Finite Element Simulation of the Effect of Clearance on the Forming Quality in the Blanking Process, **Journal of Material Processing Technology**, 122, 2002, pp. 249-254.





ภาคผนวก ก
การคำนวณแรงตัดเฉือนและแรงปัดขึ้นงาน

ก.1 การคำนวณแรงในการตัดเฉือน

การคำนวณหาแรงก็เพื่อนำไปใช้เลือกขนาดจำนวนตันที่เหมาะสมของเครื่องปั๊มโลหะ และนำไปคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนที่จะใช้ทำแม่พิมพ์ งานหรือพลังงานที่ใช้จะถูกนำไปคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ของเครื่องปั๊มโลหะ ขณะที่แรงดันแผ่นชิ้นงานให้หลุดออกได้ถูกใช้หาขนาดและการอัดตัวของสปริง หรือขนาดของยางยูรีเทน หรือขนาดของท่อลม ซึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้จะเป็นตัวบังคับให้แผ่นปลดชิ้นงานทำงาน บางครั้งเพื่อลดแรงในการตัดก็ต้องคำนวณหาระยะคมตัดเฉือนด้วย

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

เมื่อ

$$\begin{aligned} F_s &= \text{แรงที่ต้องการใช้ในการตัด [ตัน]} \\ k_s &= \text{ความต้านแรงเฉือนของวัสดุ [นิวตัน/ ตารางมิลลิเมตร]} \\ d &= \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน [มิลลิเมตร]} \\ t &= \text{ความหนาของวัสดุ [มิลลิเมตร]} \end{aligned}$$

วัสดุที่ใช้ในการตัด : (JIS G3135) SPFC440

ตัดเจาะรูกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร

ความหนาแผ่นชิ้นงาน 1 มิลลิเมตร

Tensile Strength (R_m) 440 เมกะปาสคาล

แทนค่า

$$\begin{aligned} K_s &= 1 \times 440 \\ &= 440 \text{ เมกะปาสคาล} \\ &= 440 / 9.81 \\ &= 44.85 \text{ นิวตัน/ ตารางมิลลิเมตร} \\ \pi &= 3.14 \\ d &= 25 \text{ มิลลิเมตร} \\ t &= 1 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} F_s &= 44.85 \times 3.14 \times 25 \times 1 \\ &= 3520.725 \text{ ตารางมิลลิเมตร} \\ &= 3.52 \text{ ตัน} \end{aligned}$$

ก.2 การคำนวณแรงในการปลดชิ้นงาน (Stripping Pressure)

สูตร

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

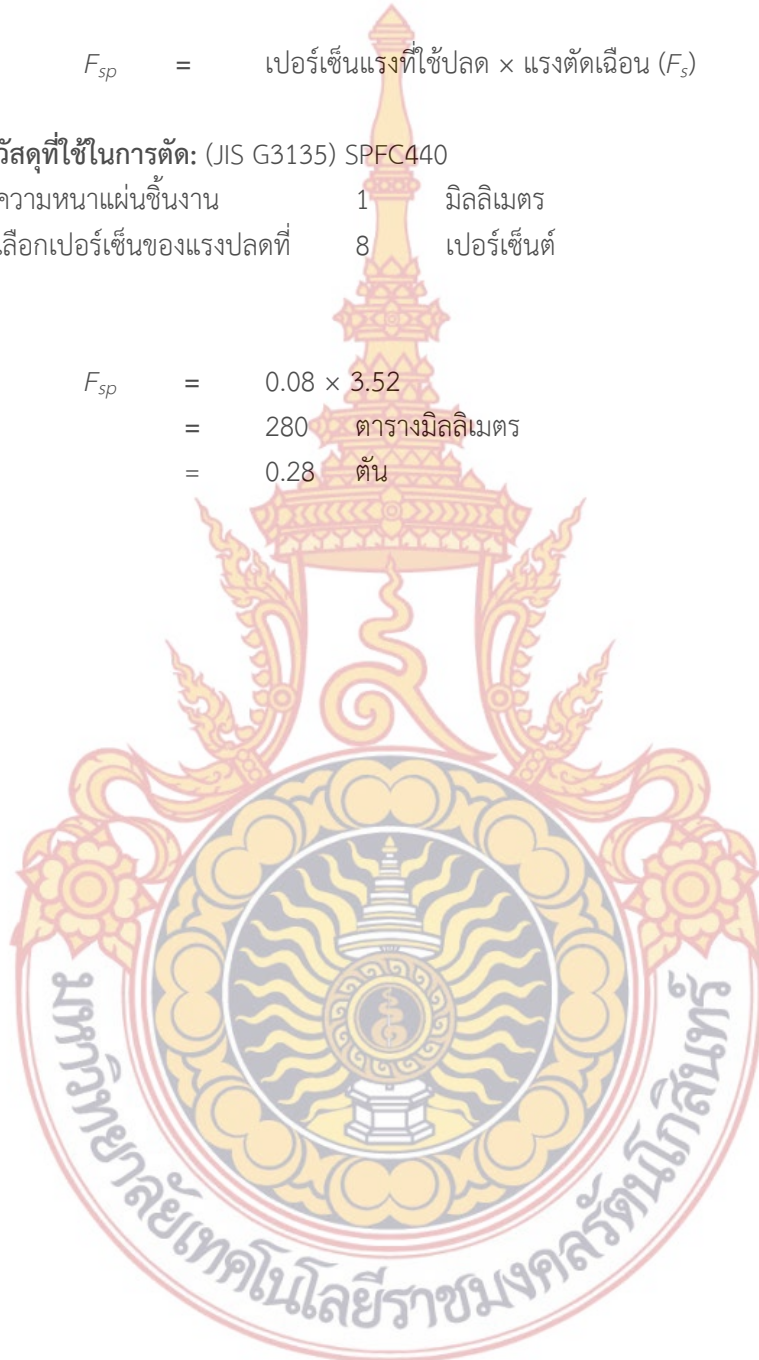
วัสดุที่ใช้ในการตัด: (JIS G3135) SPFC440

ความหนาแผ่นชิ้นงาน 1 มิลลิเมตร

เลือกเปอร์เซ็นต์ของแรงปลดที่ 8 เปอร์เซ็นต์

แทนค่า

$$\begin{aligned} F_{sp} &= 0.08 \times 3.52 \\ &= 280 \text{ ตารางมิลลิเมตร} \\ &= 0.28 \text{ ตัน} \end{aligned}$$





ภาคผนวก ข

รายละเอียดของวัสดุทำพื้นซ์และวัสดุชิ้นงาน

ภาคผนวก ข
รายละเอียดของวัสดุทำพื้นซ์และวัสดุชิ้นงาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ข.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กที่นำมาทำพันธ

ตารางที่ ข. 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%) ต่อ น้ำหนัก
คาร์บอน (C)	1.45-1.70
ซิลิกอน (Si)	≤ 0.40
แมงกานีส (Mn)	≤ 0.40
โครเมียม (Cr)	11.00 - 12.50
โมลิบดีนัม (Mo)	0.40 - 0.60
วานาเดียม (V)	0.15 - 0.30
ฟอสฟอรัส (P)	≤ 0.03
ซัลเฟอร์ (S)	≤ 0.03

คุณสมบัติ

เป็นเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นที่มีส่วนผสมของคาร์บอนและโครเมียมในปริมาณสูง จัดเป็นเหล็กกล้าในกลุ่ม 12% เลเดอไรติกโครเมียมสตีล ซึ่งมีความต้านทานต่อการเสียดสีดีมากนอกจากนี้ยังมีการผสมธาตุโมลิบดีนัมเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง ให้ความเหนียวแกร่งดี และยังมีการผสมธาตุวานาเดียมให้สูงถึง 1% เพื่อช่วยรักษาคมตัดให้มีความแข็งแรงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ช่วยให้ทนต่อการเสียดสีและต้านทานต่อการสึกหรอได้สูงมากขึ้น ยังมีคุณสมบัติเด่นทางด้าน การต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงมีความต้านทานต่อการสึกหรอสูงมาก มีความเหนียวแกร่งพอใช้ชุบแข็งได้ลึกมาก มีความสามารถในการชุบแข็งสูงมากสามารถชุบแข็งในเตาสุญญากาศได้ รักษาคมตัดให้มีอายุการใช้งานยาวนานต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงได้ดี เกิดการบิดงอเล็กน้อยหลังการชุบแข็ง ต้านทานการสูญเสียคาร์บอนที่ผิวได้ต่ำ สามารถทำไนไตรดิงหลังการชุบแข็งได้ สามารถเคลือบผิวด้วยเทคนิคพีวีดีได้ นิยมใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับงานเย็นอย่างกว้างขวาง ทั้งแม่พิมพ์แบลิ่งกิ้ง (Blanking) แม่พิมพ์ปั๊ม (Pressing) แม่พิมพ์ดัด (Bending) แม่พิมพ์ดึงขึ้นรูป (Drawing) แม่พิมพ์สำหรับงานอัดขึ้นรูปเย็น (Cold Extrusion) แม่พิมพ์สำหรับงานทริมมิ่ง (Trimming) งานปั๊มเหรียญ (Coining) เป็นต้น และยังสามารถใช้ทำลูกกรีด และแม่พิมพ์สำหรับงานรีดเกลียว ไบเม็ตตัดเฉือนโลหะ และพลาสติก และแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการความต้านทานต่อการสึกหรอสูง

ตารางที่ ข. 2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD 12

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%) ต่อ น้ำหนัก
คาร์บอน (C)	0.95 - 1.05
ซิลิกอน (Si)	≤ 0.5
แมงกานีส (Mn)	≤ 0.10
โครเมียม (Cr)	4.75 - 5.5
โมลิบดีนัม (Mo)	0.9 - 1.4
วานาเดียม (V)	0.15 - 0.5
ฟอสฟอรัส (P)	≤ 0.03
ซัลเฟอร์ (S)	≤ 0.03

คุณสมบัติ

มีความต้านทานต่อการเสียดสี และอบชุบแข็ง ได้เป็นอย่างดี มีความคงรูปร่างดีเยี่ยม สำหรับการใช้งานระดับปานกลางเหมาะสำหรับงานปั๊มตัด เจาะรู ตัดแต่งขอบ ตัดเฉือน ตัดขอบนอก แม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการทนต่อการเสียดสีมีการผสมผสานของความต้านทานต่อการบิ่น กะเทาะและทนต่อการเสียดสีได้เป็นอย่างดี มี คุณสมบัติการแปรรูปและไวร์คัตได้เป็นอย่างดีใช้สำหรับงานปั๊มตัด และงานปั๊มตัดโลหะที่มีความเที่ยงตรงสูง งานตัดเฉือน งานขึ้นรูป งานปั๊มขึ้นลาย งานปั๊มกระแทกขึ้นรูปเย็น งานดันขึ้นรูปเย็น งานรีดเกลียว งานขึ้นรูปและงานขึ้นรูปลึก งานอัดขึ้นรูปผงโลหะ

ตารางที่ ข. 3 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKS 3

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% โดยน้ำหนักทำให้มีความสามารถในการชุบแข็งลึก (Hardenability) ได้ดีเยี่ยมนอกจากนี้ ยังให้ความแข็งที่สูงมากภายหลังการชุบแข็ง (64 HRC) มีความเหนียวแรงแรงตีมาก สามารถนำไปใช้งานทั่วไปที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 200°C ได้อย่างกว้างขวาง จาก

การให้ผิวที่แข็งและมีความเหนียวแกร่งที่ภายในดีภายหลังการอบคืนตัวคุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics) รักษาความแข็งของคมตัดได้ดีพอสมควรชุบแข็งได้ลึก ให้ความแข็งสูงหลังการชุบแข็งมีความเหนียวแกร่งดีต้านทานการสูญเสียคาร์บอนที่ผิวได้ดีระหว่างการอบชุบตัดกลึง ได้ง่ายสามารถชุบฮาร์ดโครมหลังการชุบแข็งได้นิยมใช้ทำ แม่พิมพ์แบล็กกิ้ง แม่พิมพ์ แสตมปี้งแม่พิมพ์เพรส แม่พิมพ์ตัดงอโลหะแผ่น แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ ที่มีปริมาณการผลิตไม่สูงมากนัก สำหรับงานแบล็กกิ้ง โลหะแผ่นหนาไม่เกิน 4 มม. นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทำแม่พิมพ์รีดเกลียวส่วนประกอบในแม่พิมพ์ที่ต้องการความแข็งสูง ดอกสว่านเจาะไม้หรือพลาสติก บรอช (Broaches) เครื่องมือวัดละเอียด

ตารางที่ ข. 4 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า S50C

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%) ต่อ น้ำหนัก
คาร์บอน (C)	0.47 - 0.55
ซิลิกอน (Si)	0.17 - 0.35
แมงกานีส (Mn)	0.50 - 0.80
ฟอสฟอรัส (P)	≤ 0.035
ซัลเฟอร์ (S)	≤ 0.0355

คุณสมบัติ

จัดเป็นกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่นิยมใช้ในงานพื้นฐาน ทั้งงานโครงสร้าง งานอุปกรณ์การเกษตร งานเครื่องจักรกล งานแม่พิมพ์และส่วนประกอบแม่พิมพ์ รวมทั้งชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติที่ดีในหลายด้าน ทั้งด้านความแข็งแรง ความเหนียวแกร่ง และมีราคาถูก นอกจากนี้ยังสามารถทำการอบชุบเพื่อเพิ่มความแข็งและความแข็งแรงได้ S50C จะมีลักษณะการใช้งานส่วนใหญ่จะใกล้เคียงกับเกรด Ck45 เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกันมาก แต่จะมีความแข็ง และความแข็งแรงสูงกว่าเล็กน้อย S50C สามารถนำไปใช้งานได้หลายชนิดทั้งงานแม่พิมพ์พลาสติก ยาง และชิ้นส่วนประกอบของแม่พิมพ์ เช่น ทำกรอบแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์การเกษตรเกือบทุกชนิด เช่น จอบ เสียมคราด ชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรกล และส่วนประกอบในเครื่องยนต์และในรถยนต์ เป็นต้น

ตารางที่ ข. 5 เปรียบเทียบกรรมวิธีทางความร้อนของพันธที่ทำมาจากเหล็กกล้าแต่ละชนิด

ชนิดของวัสดุ	กรรมวิธีการชุบ
SKD 11	Hardening and Tempering (การชุบแข็งและอบคืนไฟ)
SKD 12	Hardening and Tempering (การชุบแข็งและอบคืนไฟ)
SKS 3	Hardening and Tempering (การชุบแข็งและอบคืนไฟ)
S50C	Hardening and Tempering (การชุบแข็งและอบคืนไฟ)

ตารางที่ ข. 6 ความแข็งของพันธที่ทำมาจากเหล็กกล้าแต่ละชนิดที่ผ่านการชุบแข็ง

ชนิดของวัสดุ	ค่าความแข็งที่ได้ (HRC)
SKD 11	60 ±2 HRC
SKD 12	60 ±2 HRC
SKS 3	58 ±2 HRC
S50C	58 ±2 HRC

ตารางที่ ข. 7 น้ำหนักเริ่มต้นของพันธที่ทำมาจากเหล็กกล้าแต่ละชนิด

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนักที่ได้ (g)
SKD 11	66.0836
SKD 12	70.0345
SKS 3	72.8482
S50C	69.4091

ตารางที่ ข. 8 ช่องว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมกับวัสดุที่แตกต่างกัน

ช่องว่างของแม่พิมพ์ คือช่องว่างที่อยู่ระหว่างขอบคมตัดของพันธและตาย ในการเลือกใช้ช่องว่างแม่พิมพ์ต้องเลือกใช้เหมาะสม เพราะช่องว่างของแม่พิมพ์มีผลต่อคุณภาพของขอบคมตัดของชิ้นงานและแรงที่ใช้ในการตัด ช่องว่างต่อต้านของแม่พิมพ์ที่เหมาะสมของวัสดุชนิดต่างๆ ช่องว่างของแม่พิมพ์จะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาของชิ้นงาน

วัสดุ	ช่องว่างระหว่างพันธและตาย (%)
เหล็กบริสุทธิ์	6 – 9
เหล็กกล้าซิลิกอน	7 – 11
เหล็กกล้าไรสนิม	7 – 11
ทองแดง (แข็ง)	6 – 10
ทองเหลือง (แข็ง)	6 – 10
พอสฟอรัส	6 – 10
บรอนซ์	6 – 10
อลูมิเนียม (แข็ง)	6 – 10
อลูมิเนียมเจือ (แข็ง)	6 – 9
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	6 – 9
เหล็กกล้าความต้านทานสูง	8 – 12
เหล็กกล้าความต้านทานสูง	8 – 12

ตารางที่ ข.9 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS G 3135 SPFC 440

ธาตุ	ส่วนผสมทางเคมี (%)
คาร์บอน (C)	0.18
แมงกานีส (Mn)	1.5
ฟอสฟอรัส (P)	0.08
ซัลเฟอร์ (S)	0.03
ซิลิกอน (Si)	0.3
อลูมิเนียม (Al)	0.02

ตารางที่ ข.10 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง JIS G 3135 SPFC 440

รายละเอียด	คุณสมบัติทางกล
Yield Strength	265
Ultimate Strength	440
Elongation	27





ภาคผนวก ค
รายละเอียดการบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 แสดงตารางบันทึกผลระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ (Flak Wear) เหล็กกล้าเครื่องมือ
มาตรฐาน JIS SKD 11

จำนวนครั้งของการ ตัด (ครั้ง)	ระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ (มิลลิเมตร)			
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	0.15	0.18	0.18	0.17
300	0.22	0.25	0.23	0.23
500	0.23	0.27	0.26	0.25
700	0.25	0.28	0.27	0.27
900	0.26	0.29	0.29	0.28
1,100	0.36	0.34	0.30	0.33
1,600	0.38	0.35	0.33	0.35
2,100	0.40	0.36	0.39	0.38
2,600	0.42	0.43	0.41	0.42
3,100	0.44	0.44	0.42	0.43
4,000	0.45	0.45	0.47	0.45
5,000	0.50	0.51	0.48	0.51
6,000	0.51	0.55	0.50	0.52



ตารางที่ ค.2 แสดงตารางบันทึกผลระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ (Flak Wear) เหล็กกล้าเครื่องมือ
มาตรฐาน JIS SKD 12

จำนวนครั้งของการ ตัด (ครั้ง)	ระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ (มิลลิเมตร)			
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	0.14	0.23	0.20	0.19
300	0.22	0.26	0.23	0.24
500	0.24	0.28	0.29	0.27
700	0.26	0.32	0.33	0.30
900	0.32	0.34	0.34	0.33
1,100	0.33	0.36	0.35	0.35
1,600	0.38	0.40	0.39	0.39
2,100	0.40	0.42	0.44	0.42
2,600	0.42	0.43	0.47	0.44
3,100	0.44	0.44	0.49	0.45
4,000	0.50	0.51	0.51	0.51
5,000	0.56	0.58	0.52	0.55
6,000	0.63	0.63	0.65	0.64



ตารางที่ ค.3 แสดงตารางบันทึกผลระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ (Flak Wear) เหล็กกล้าเครื่องมือมาตรฐาน JIS SKS 3

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซ์ (มิลลิเมตร)			
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	0.31	0.31	0.30	0.31
300	0.38	0.36	0.37	0.37
500	0.39	0.38	0.40	0.41
700	0.41	0.41	0.56	0.46
900	0.43	0.53	0.58	0.51
1,100	0.47	0.56	0.61	0.55
1,600	0.60	0.61	0.68	0.63
2,100	0.61	0.65	0.72	0.66
2,600	0.66	0.82	0.74	0.74
3,100	0.70	0.98	0.75	0.81
4,000	0.83	0.96	0.82	0.87
5,000	1.05	1.07	1.05	1.06
6,000	1.07	1.09	1.07	1.08



ตารางที่ ค.4 แสดงตารางบันทึกผลระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซี่ (Flak Wear) เหล็กกล้ามาตรฐาน JIS S50C

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการสึกหรอด้านข้างของฟันซี่ (มิลลิเมตร)			
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	0.53	0.40	0.41	0.45
300	0.56	0.52	0.51	0.53
500	0.57	0.56	0.52	0.55
700	0.61	0.63	0.62	0.62
900	0.67	0.65	0.68	0.67
1,100	0.73	0.73	0.72	0.73
1,600	0.75	0.78	0.79	0.77
2,100	0.80	0.80	0.82	0.81
2,600	0.84	0.82	0.85	0.84
3,100	0.87	0.85	0.87	0.86
4,000	0.92	0.93	0.94	0.93
5,000	1.22	1.10	1.06	1.12
6,000	1.24	1.26	1.23	1.24



ตารางที่ ค.5 แสดงตารางบันทึกผลระยะการสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์ (Face Wear) เหล็กกล้า เครื่องมือมาตรฐาน JIS SKD 11

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์ (มิลลิเมตร)			
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	0.45	0.42	0.52	0.46
300	0.58	0.57	0.57	0.57
500	0.60	0.59	0.62	0.60
700	0.62	0.61	0.64	0.62
900	0.64	0.63	0.65	0.64
1,100	0.65	0.64	0.66	0.65
1,600	0.65	0.65	0.67	0.66
2,100	0.68	0.66	0.69	0.68
2,600	0.69	0.68	0.71	0.69
3,100	0.70	0.69	0.72	0.70
4,000	0.72	0.70	0.74	0.72
5,000	0.73	0.71	0.79	0.74
6,000	0.76	0.74	0.84	0.78



ตารางที่ ค.6 แสดงตารางบันทึกผลระยะการสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์ (Face Wear) เหล็กกล้า เครื่องมือมาตรฐาน JIS SKD 12

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์ (มิลลิเมตร)			
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	0.56	0.56	0.55	0.56
300	0.58	0.59	0.58	0.58
500	0.60	0.64	0.59	0.61
700	0.64	0.65	0.61	0.63
900	0.66	0.67	0.61	0.65
1,100	0.67	0.68	0.63	0.66
1,600	0.68	0.72	0.65	0.68
2,100	0.71	0.77	0.69	0.72
2,600	0.78	0.82	0.73	0.78
3,100	0.83	0.84	0.87	0.85
4,000	0.88	0.86	0.88	0.87
5,000	0.92	0.89	0.90	0.90
6,000	0.95	0.90	0.92	0.92



ตารางที่ ค.7 แสดงตารางบันทึกผลระยะการสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์ (Face Wear) เหล็กกล้า เครื่องมือมาตรฐาน JIS SKS 3

จำนวนครั้งของการ ตัด (ครั้ง)	ระยะการสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์ (มิลลิเมตร)			
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	0.87	0.89	0.89	0.88
300	1.04	1.00	0.95	1.00
500	1.07	1.04	0.96	1.02
700	1.14	1.07	1.07	1.09
900	1.16	1.09	1.11	1.12
1,100	1.19	1.11	1.13	1.14
1,600	1.21	1.19	1.15	1.18
2,100	1.24	1.21	1.16	1.20
2,600	1.25	1.22	1.21	1.23
3,100	1.26	1.24	1.22	1.24
4,000	1.27	1.25	1.24	1.25
5,000	1.28	1.26	1.26	1.27
6,000	1.29	1.29	1.28	1.29



ตารางที่ ค.8 แสดงตารางบันทึกผลระยะการสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์ (Face Wear) เหล็กกล้ามาตรฐาน JIS S50C

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการสึกหรอด้านหน้าของฟันซ์ (มิลลิเมตร)			
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100	0.99	0.95	0.93	0.96
300	1.02	1.03	1.07	1.04
500	1.09	1.12	1.11	1.11
700	1.15	1.13	1.13	1.13
900	1.17	1.18	1.19	1.18
1,100	1.24	1.20	1.23	1.22
1,600	1.25	1.22	1.24	1.24
2,100	1.27	1.27	1.27	1.27
2,600	1.31	1.29	1.31	1.30
3,100	1.33	1.42	1.41	1.39
4,000	1.47	1.48	1.48	1.48
5,000	1.54	1.54	1.54	1.54
6,000	1.61	1.57	1.65	1.61



ตารางที่ ค.9 แสดงตารางบันทึกผลระยะโค้งมน (Die Roll) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ ตัด SKD 11

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะโค้งมน (Die Roll) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.15	0.17	0.160
300	0.21	0.15	0.180
500	0.14	0.23	0.185
700	0.20	0.20	0.200
900	0.21	0.19	0.200
1,100	0.25	0.19	0.220
1,600	0.21	0.25	0.230
2,100	0.18	0.29	0.235
2,600	0.21	0.26	0.235
3,100	0.31	0.17	0.240
4,000	0.26	0.25	0.255
5,000	0.31	0.20	0.255
6,000	0.30	0.22	0.260



ตารางที่ ค.10 แสดงตารางบันทึกผลระยะโค้งมน (Die Roll) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ ตัด SKD 12

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะโค้งมน (Die Roll) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.23	0.18	0.205
300	0.20	0.22	0.210
500	0.20	0.22	0.210
700	0.25	0.18	0.215
900	0.24	0.20	0.220
1,100	0.21	0.23	0.220
1,600	0.22	0.23	0.225
2,100	0.20	0.26	0.230
2,600	0.24	0.22	0.230
3,100	0.28	0.19	0.235
4,000	0.21	0.28	0.245
5,000	0.21	0.28	0.245
6,000	0.29	0.25	0.270



ตารางที่ ค.11 แสดงตารางบันทึกผลระยะโค้งมน (Die Roll) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ ตัด SKS 3

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะโค้งมน (Die Roll) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.28	0.16	0.220
300	0.24	0.20	0.220
500	0.18	0.28	0.230
700	0.27	0.21	0.240
900	0.23	0.28	0.250
1,100	0.24	0.31	0.255
1,600	0.18	0.33	0.255
2,100	0.34	0.17	0.255
2,600	0.19	0.35	0.270
3,100	0.30	0.24	0.270
4,000	0.20	0.34	0.270
5,000	0.37	0.24	0.285
6,000	0.39	0.18	0.285



ตารางที่ ค.12 แสดงตารางบันทึกผลระยะโค้งมน (Die Roll) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ ตัด S50C

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะโค้งมน (Die Roll) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.31	0.21	0.260
300	0.34	0.18	0.260
500	0.12	0.42	0.270
700	0.16	0.38	0.270
900	0.30	0.24	0.270
1,100	0.28	0.26	0.270
1,600	0.36	0.20	0.280
2,100	0.35	0.23	0.290
2,600	0.33	0.25	0.290
3,100	0.24	0.34	0.290
4,000	0.37	0.23	0.300
5,000	0.38	0.22	0.300
6,000	0.25	0.40	0.325



ตารางที่ ค.13 แสดงตารางบันทึกผลระยะการตัดเฉือน (Shear Surface) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ตัด SKD 11

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการตัดเฉือน (Shear Surface) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.50	0.43	0.465
300	0.38	0.49	0.435
500	0.34	0.47	0.405
700	0.41	0.37	0.390
900	0.46	0.27	0.365
1,100	0.34	0.35	0.345
1,600	0.31	0.35	0.330
2,100	0.40	0.24	0.320
2,600	0.30	0.34	0.320
3,100	0.40	0.21	0.305
4,000	0.16	0.41	0.285
5,000	0.18	0.37	0.275
6,000	0.15	0.38	0.265



ตารางที่ ค.14 แสดงตารางบันทึกผลระยะการตัดเฉือน (Shear Surface) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ตัด SKD 12

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการตัดเฉือน (Shear Surface) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.36	0.47	0.415
300	0.38	0.39	0.385
500	0.36	0.34	0.350
700	0.28	0.40	0.340
900	0.27	0.40	0.335
1,100	0.32	0.32	0.320
1,600	0.35	0.28	0.315
2,100	0.29	0.32	0.305
2,600	0.35	0.26	0.305
3,100	0.19	0.40	0.295
4,000	0.35	0.20	0.275
5,000	0.24	0.29	0.265
6,000	0.16	0.30	0.230



ตารางที่ ค.15 แสดงตารางบันทึกผลระยะการตัดเฉือน (Shear Surface) ของชั้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ตัด SKS 3

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการตัดเฉือน (Shear Surface) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.36	0.42	0.390
300	0.38	0.32	0.350
500	0.38	0.30	0.340
700	0.35	0.31	0.330
900	0.34	0.29	0.315
1,100	0.42	0.20	0.310
1,600	0.34	0.26	0.300
2,100	0.19	0.39	0.290
2,600	0.43	0.09	0.240
3,100	0.15	0.33	0.240
4,000	0.32	0.16	0.240
5,000	0.08	0.36	0.220
6,000	0.07	0.37	0.220



ตารางที่ ค.16 แสดงตารางบันทึกผลระยะการตัดเฉือน (Shear Surface) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ตัด S50C

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการตัดเฉือน (Shear Surface) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.35	0.35	0.350
300	0.12	0.56	0.340
500	0.33	0.31	0.320
700	0.36	0.26	0.310
900	0.33	0.28	0.305
1,100	0.33	0.27	0.300
1,600	0.20	0.38	0.290
2,100	0.13	0.37	0.250
2,600	0.15	0.33	0.240
3,100	0.32	0.14	0.230
4,000	0.12	0.34	0.230
5,000	0.10	0.30	0.200
6,000	0.25	0.08	0.165



ตารางที่ ค.17 แสดงตารางบันทึกผลระยะการฉีกขาด (Fracture Surface) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ตัด SKD 11

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการฉีกขาด (Fracture Surface) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.35	0.40	0.375
300	0.41	0.36	0.385
500	0.52	0.30	0.410
700	0.39	0.43	0.410
900	0.33	0.54	0.435
1,100	0.41	0.46	0.435
1,600	0.48	0.40	0.440
2,100	0.42	0.47	0.445
2,600	0.49	0.40	0.445
3,100	0.43	0.48	0.455
4,000	0.58	0.34	0.460
5,000	0.51	0.43	0.470
6,000	0.55	0.40	0.475



ตารางที่ ค.18 แสดงตารางบันทึกผลระยะการฉีกขาด (Fracture Surface) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ตัด SKD 12

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการฉีกขาด (Fracture Surface) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.41	0.35	0.380
300	0.42	0.39	0.405
500	0.44	0.44	0.440
700	0.47	0.42	0.445
900	0.49	0.40	0.445
1,100	0.47	0.45	0.460
1,600	0.43	0.49	0.460
2,100	0.51	0.42	0.465
2,600	0.41	0.52	0.465
3,100	0.53	0.41	0.470
4,000	0.44	0.52	0.480
5,000	0.55	0.43	0.490
6,000	0.55	0.45	0.500



ตารางที่ ค.19 แสดงตารางบันทึกผลระยะการฉีกขาด (Fracture Surface) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ตัด SKS 3

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการฉีกขาด (Fracture Surface) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.36	0.42	0.390
300	0.38	0.48	0.430
500	0.44	0.42	0.430
700	0.38	0.48	0.430
900	0.43	0.43	0.430
1,100	0.38	0.49	0.435
1,600	0.48	0.41	0.445
2,100	0.47	0.44	0.450
2,600	0.38	0.56	0.470
3,100	0.55	0.43	0.490
4,000	0.48	0.50	0.490
5,000	0.55	0.44	0.495
6,000	0.54	0.55	0.545



ตารางที่ ค.20 แสดงตารางบันทึกผลระยะการฉีกขาด (Fracture Surface) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ตัด S50C

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะการฉีกขาด (Fracture Surface) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.34	0.44	0.390
300	0.54	0.26	0.400
500	0.55	0.27	0.410
700	0.48	0.36	0.420
900	0.37	0.48	0.425
1,100	0.39	0.47	0.430
1,600	0.44	0.42	0.430
2,100	0.52	0.40	0.460
2,600	0.52	0.42	0.465
3,100	0.44	0.52	0.470
4,000	0.51	0.43	0.470
5,000	0.52	0.48	0.500
6,000	0.50	0.52	0.510



ตารางที่ ค.21 แสดงตารางบันทึกผลระยะความสูงของครีบบ (Burr Height) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ตัด SKD 11

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะความสูงของครีบบ (Burr Height) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.02	0.01	0.015
300	0.04	0.01	0.025
500	0.05	0.01	0.030
700	0.03	0.03	0.030
900	0.02	0.05	0.035
1,100	0.02	0.05	0.035
1,600	0.03	0.06	0.045
2,100	0.07	0.03	0.050
2,600	0.07	0.05	0.060
3,100	0.10	0.04	0.070
4,000	0.11	0.04	0.075
5,000	0.08	0.08	0.08
6,000	0.11	0.07	0.09



ตารางที่ ค.22 แสดงตารางบันทึกผลระยะความสูงของครีบบ (Burr Height) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ตัด SKD 12

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะความสูงของครีบบ (Burr Height) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.02	0.04	0.030
300	0.04	0.03	0.035
500	0.05	0.03	0.040
700	0.06	0.03	0.045
900	0.05	0.05	0.050
1,100	0.04	0.07	0.055
1,600	0.04	0.08	0.060
2,100	0.09	0.05	0.070
2,600	0.13	0.03	0.080
3,100	0.12	0.05	0.085
4,000	0.12	0.05	0.085
5,000	0.11	0.07	0.09
6,000	0.13	0.07	0.10



ตารางที่ ค.23 แสดงตารางบันทึกผลระยะความสูงของครีป (Burr Height) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ตัด SKS 3

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะความสูงของครีป (Burr Height) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.05	0.02	0.035
300	0.04	0.04	0.040
500	0.04	0.06	0.050
700	0.06	0.05	0.055
900	0.04	0.08	0.060
1,100	0.03	0.11	0.070
1,600	0.06	0.08	0.070
2,100	0.09	0.07	0.080
2,600	0.06	0.11	0.085
3,100	0.13	0.05	0.090
4,000	0.05	0.14	0.095
5,000	0.14	0.07	0.105
6,000	0.18	0.04	0.110



ตารางที่ ค.24 แสดงตารางบันทึกผลระยะความสูงของครีป (Burr Height) ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงของชุดแม่พิมพ์ตัด S50C

จำนวนครั้งของการตัด (ครั้ง)	ระยะความสูงของครีป (Burr Height) (มิลลิเมตร)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย
100	0.06	0.06	0.060
300	0.02	0.13	0.075
500	0.09	0.07	0.080
700	0.06	0.10	0.080
900	0.09	0.07	0.080
1,100	0.05	0.13	0.090
1,600	0.10	0.08	0.090
2,100	0.12	0.09	0.105
2,600	0.16	0.06	0.110
3,100	0.04	0.18	0.110
4,000	0.20	0.03	0.115
5,000	0.15	0.08	0.115
6,000	0.10	0.12	0.125



ตารางที่ ค.25 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักพันซ์

จำนวนครั้งของ การตัด (ครั้ง)	การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักพันซ์			
	SKD 11	SKD 12	SKS 3	S50C
0	66.0836	70.0345	72.8482	69.4091
100	66.0829	70.0338	72.8475	69.4050
300	66.0825	70.0332	72.8467	69.4026
500	66.0823	70.0330	72.8464	69.4024
700	66.0822	70.0329	72.8463	69.4021
900	66.0819	70.0326	72.8457	69.4013
1,100	66.0814	70.0320	72.8447	69.4002
1,600	66.0813	70.0317	72.8444	69.3998
2,100	66.0811	70.0313	72.8439	69.3993
2,600	66.0810	70.0312	72.8437	69.3989
3,100	66.0809	70.0311	72.8435	69.3986
4,000	66.0801	70.0301	72.8422	69.3972
5,000	66.0793	70.0297	72.8407	69.3955
6,000	66.0783	70.0286	72.8392	69.3937

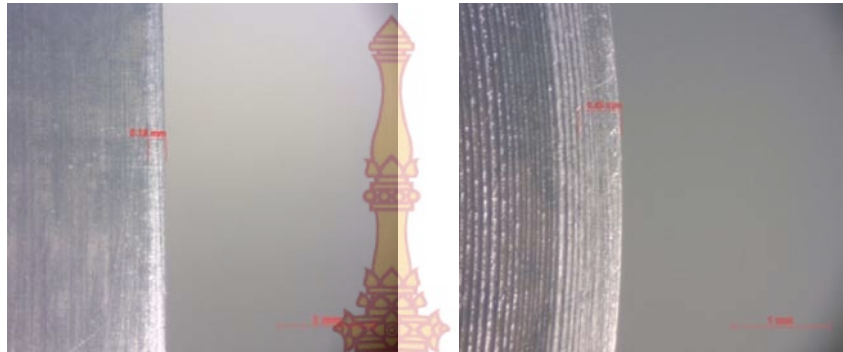




ภาคผนวก ง

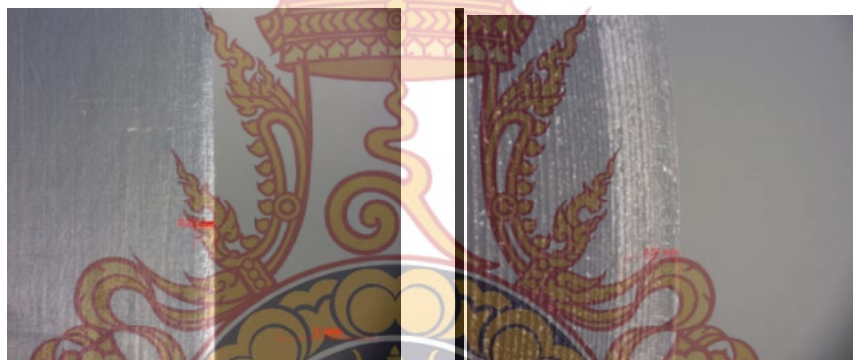
ภาพถ่ายการสักหรอของพันธที่ทำจากเหล็กกล้าชนิดต่างๆ

ภาพที่ ง. 1 การสีหรือด้านข้างและด้านหน้าของฟันซ์ที่ทำมาจากเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11



ครั้งที่ 100

ครั้งที่ 100



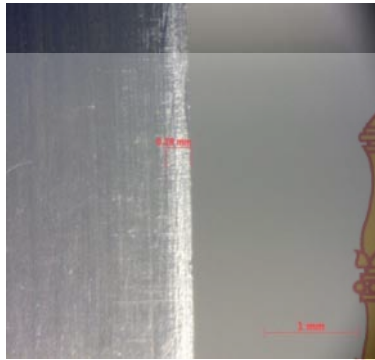
ครั้งที่ 300

ครั้งที่ 300

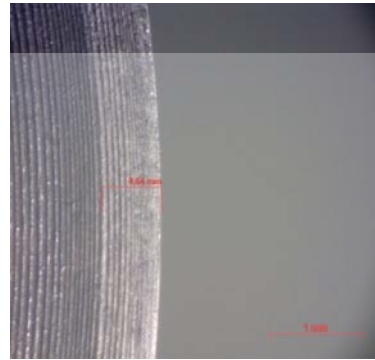


ครั้งที่ 500

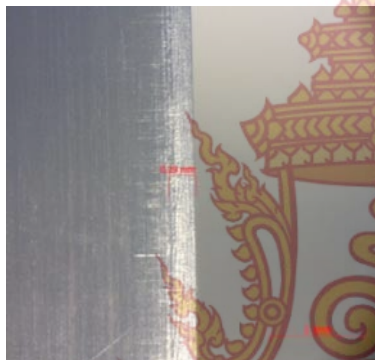
ครั้งที่ 500



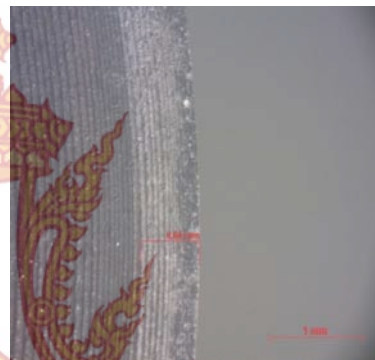
ครั้งที่ 700



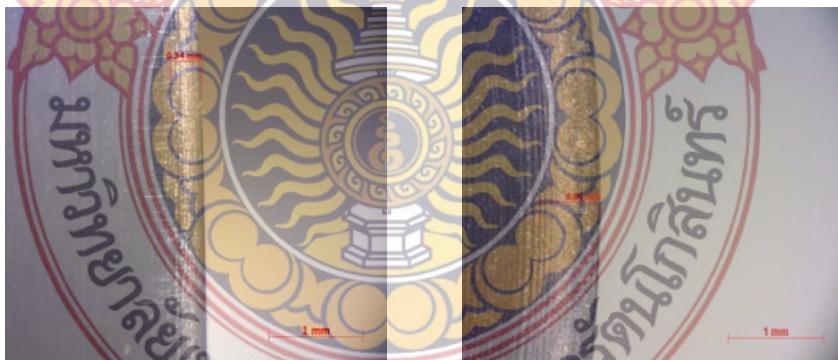
ครั้งที่ 700



ครั้งที่ 900



ครั้งที่ 900



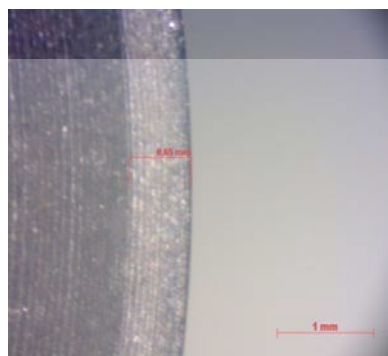
ครั้งที่ 1,100

ครั้งที่ 1,100





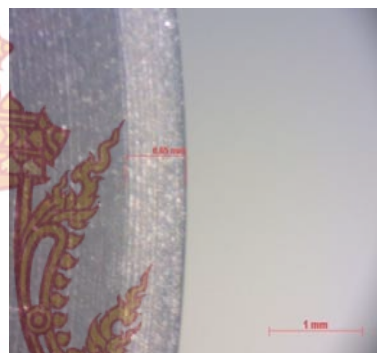
ครึ่งที่ 1,600



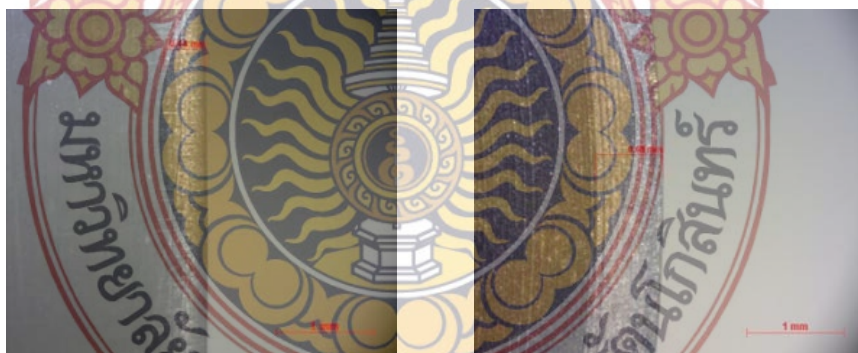
ครึ่งที่ 1,600



ครึ่งที่ 2,100



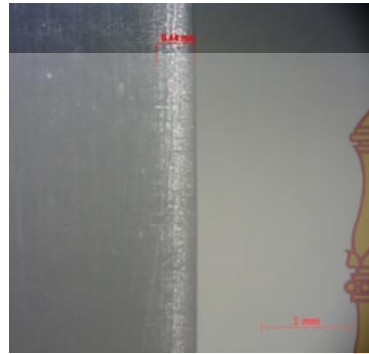
ครึ่งที่ 2,100



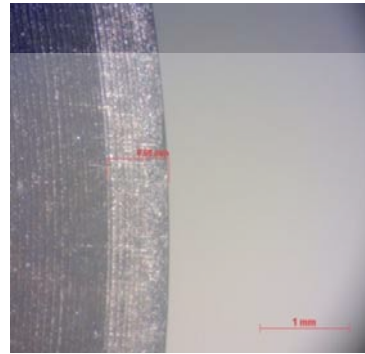
ครึ่งที่ 2,600

ครึ่งที่ 2,600





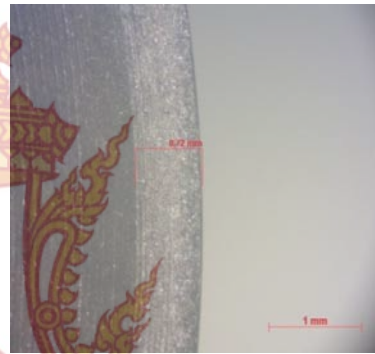
ครั้งที่ 3,100



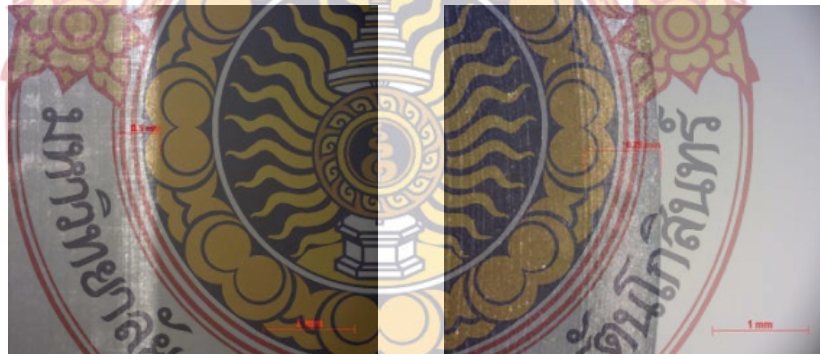
ครั้งที่ 3,100



ครั้งที่ 4,000

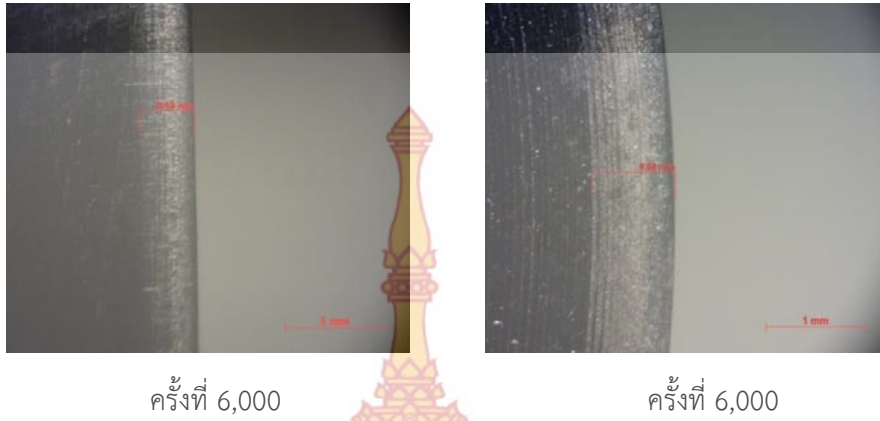


ครั้งที่ 4,000



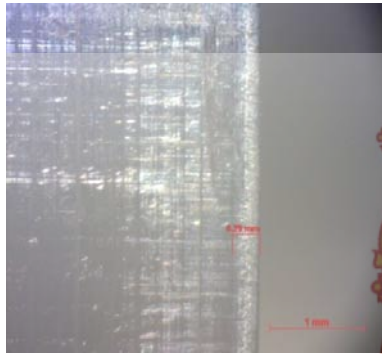
ครั้งที่ 5,000

ครั้งที่ 5,000

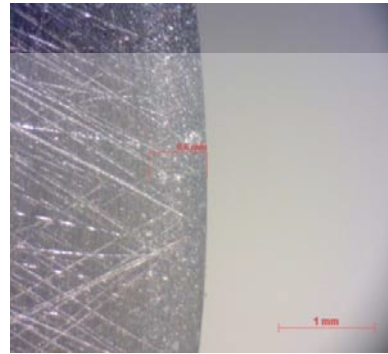


ภาพที่ ง. 2 การศึกษาหน้าตัดและด้านหน้าของฟันซี่ที่ทำมาจากเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD12





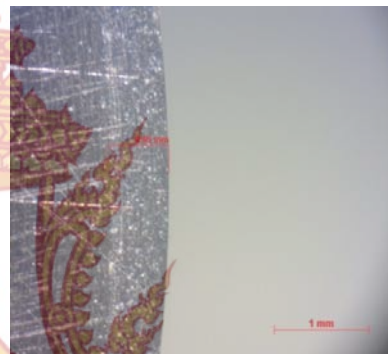
ครั้งที่ 500



ครั้งที่ 500



ครั้งที่ 700



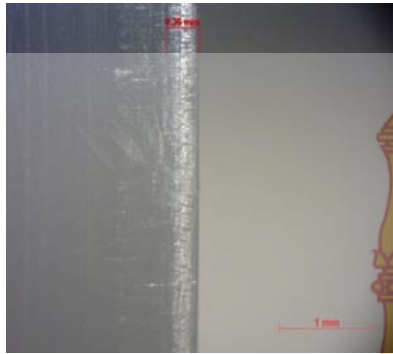
ครั้งที่ 700



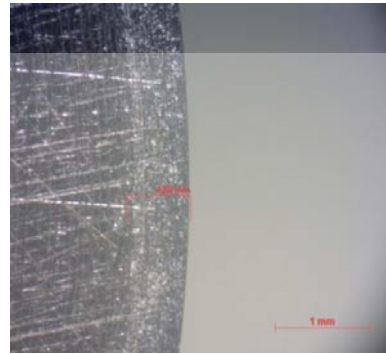
ครั้งที่ 900

ครั้งที่ 900





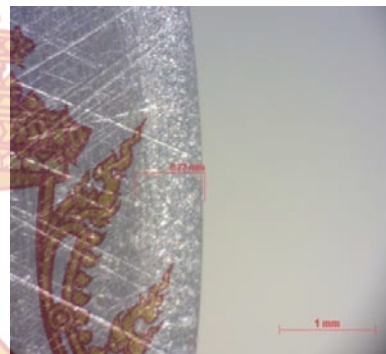
ครั้งที่ 1,100



ครั้งที่ 1,100



ครั้งที่ 1,600



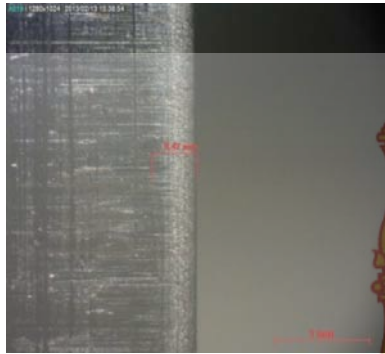
ครั้งที่ 1,600



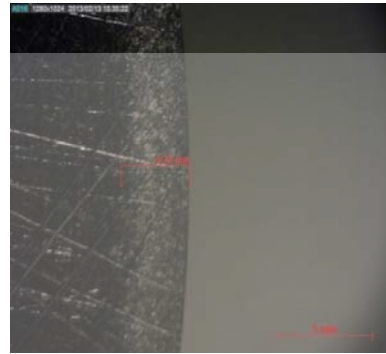
ครั้งที่ 2,100

ครั้งที่ 2,100

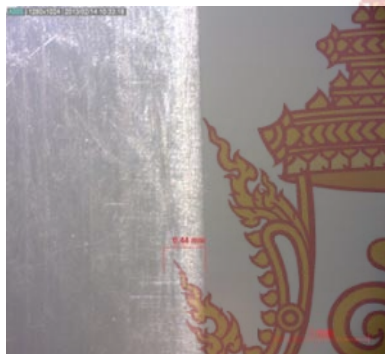




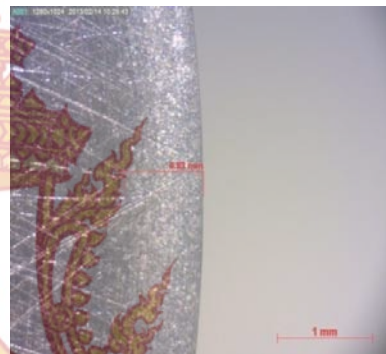
ครั้งที่ 2,600



ครั้งที่ 2,600



ครั้งที่ 3,100



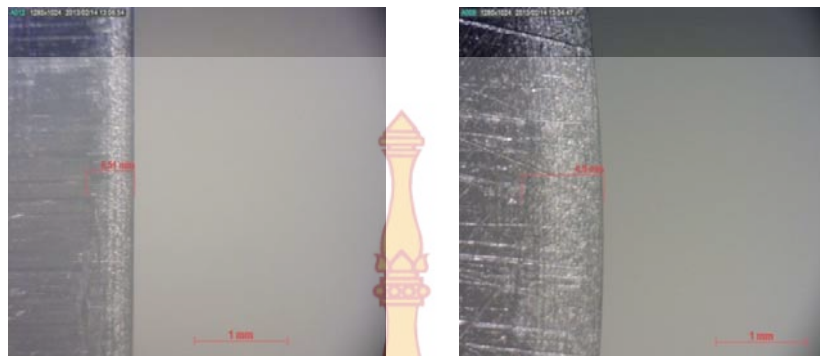
ครั้งที่ 3,100



ครั้งที่ 4,000

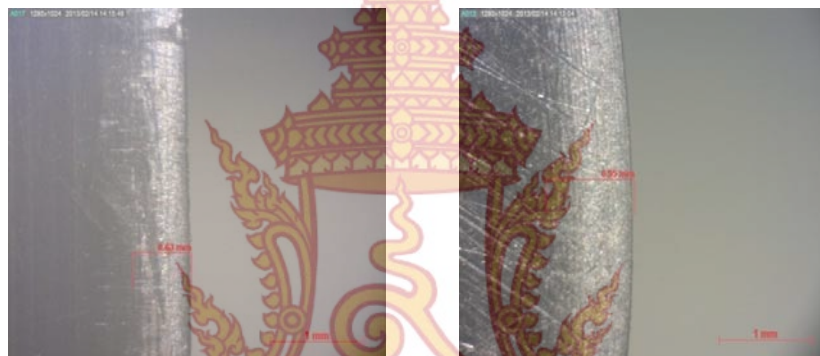
ครั้งที่ 4,000





ครั้งที่ 5,000

ครั้งที่ 5,000



ครั้งที่ 6,000

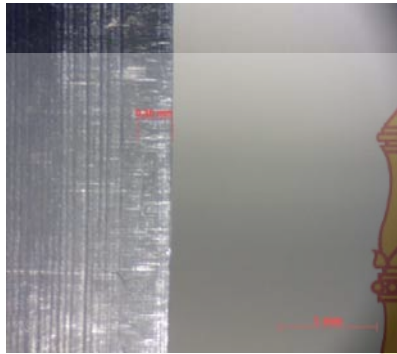
ครั้งที่ 6,000

ภาพที่ ง. 3 การสึกหรอด้านข้างและด้านหน้าของฟันซี่ที่ทำมาจากเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKS3

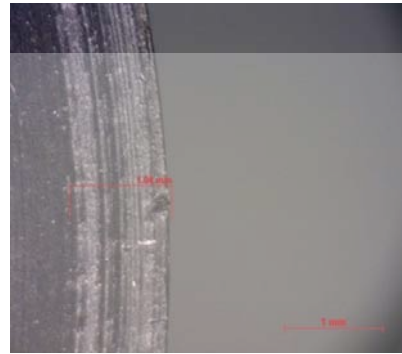


ครั้งที่ 100

ครั้งที่ 100



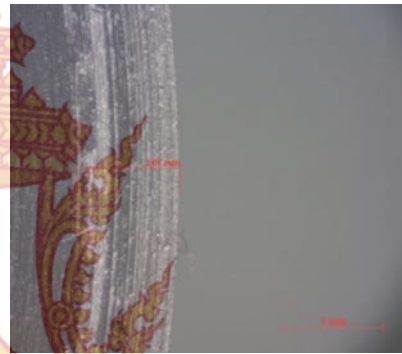
ครั้งที่ 300



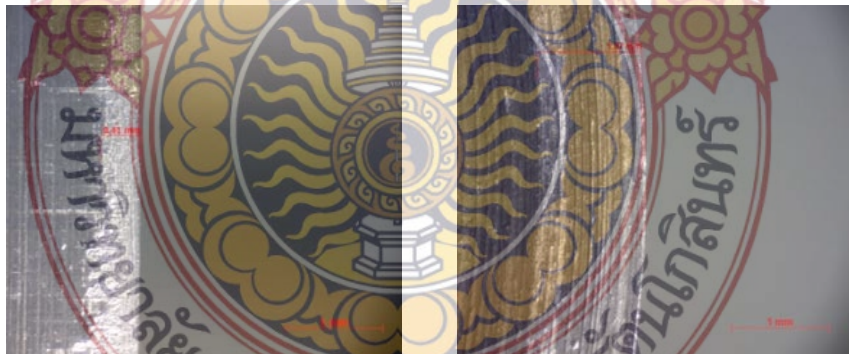
ครั้งที่ 300



ครั้งที่ 500

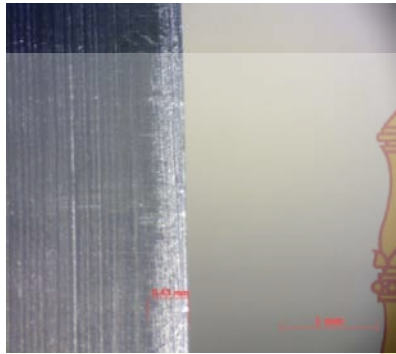


ครั้งที่ 500

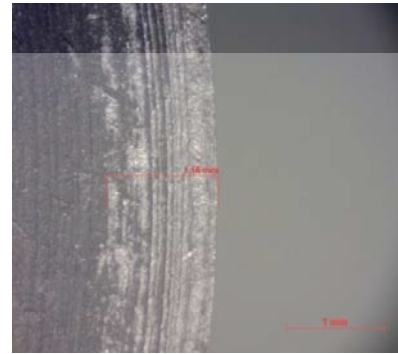


ครั้งที่ 700

ครั้งที่ 700



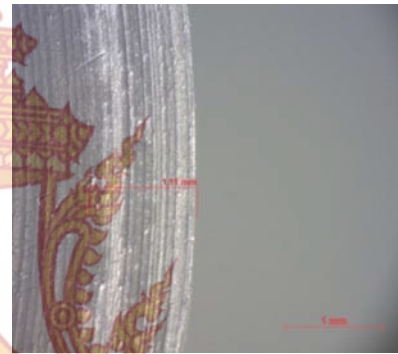
ครั้งที่ 900



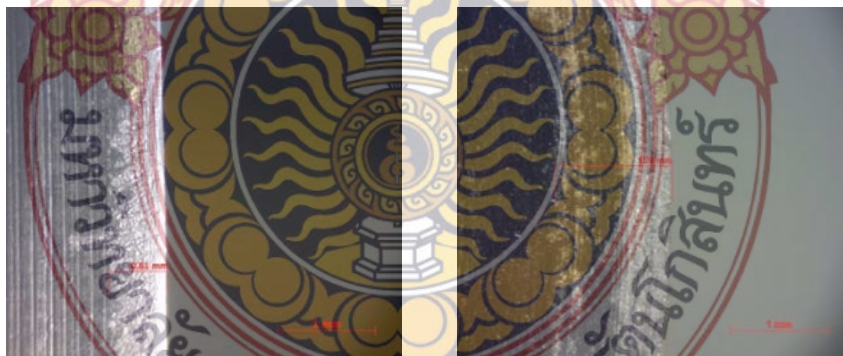
ครั้งที่ 900



ครั้งที่ 1,100

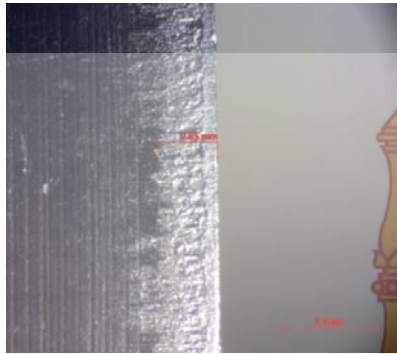


ครั้งที่ 1,100

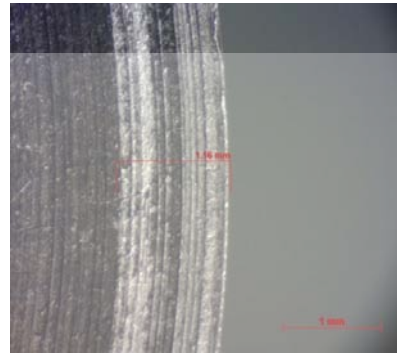


ครั้งที่ 1,600

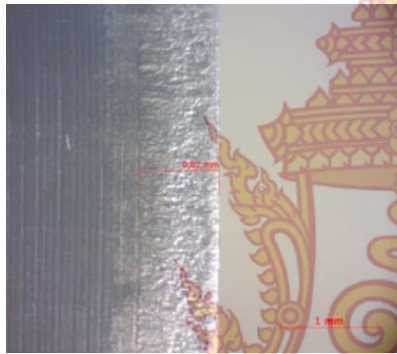
ครั้งที่ 1,600



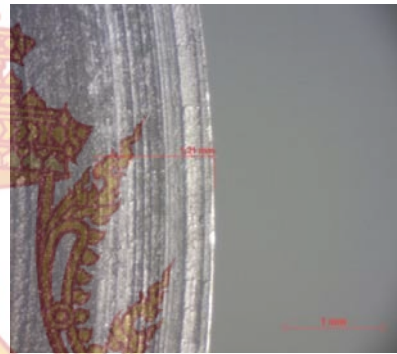
ครั้งที่ 2,100



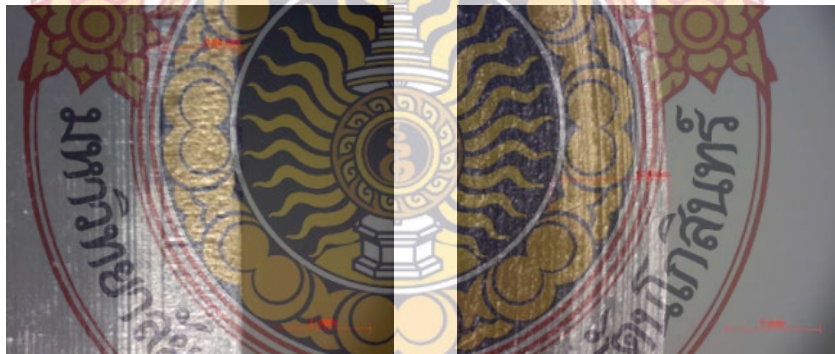
ครั้งที่ 2,100



ครั้งที่ 2,600

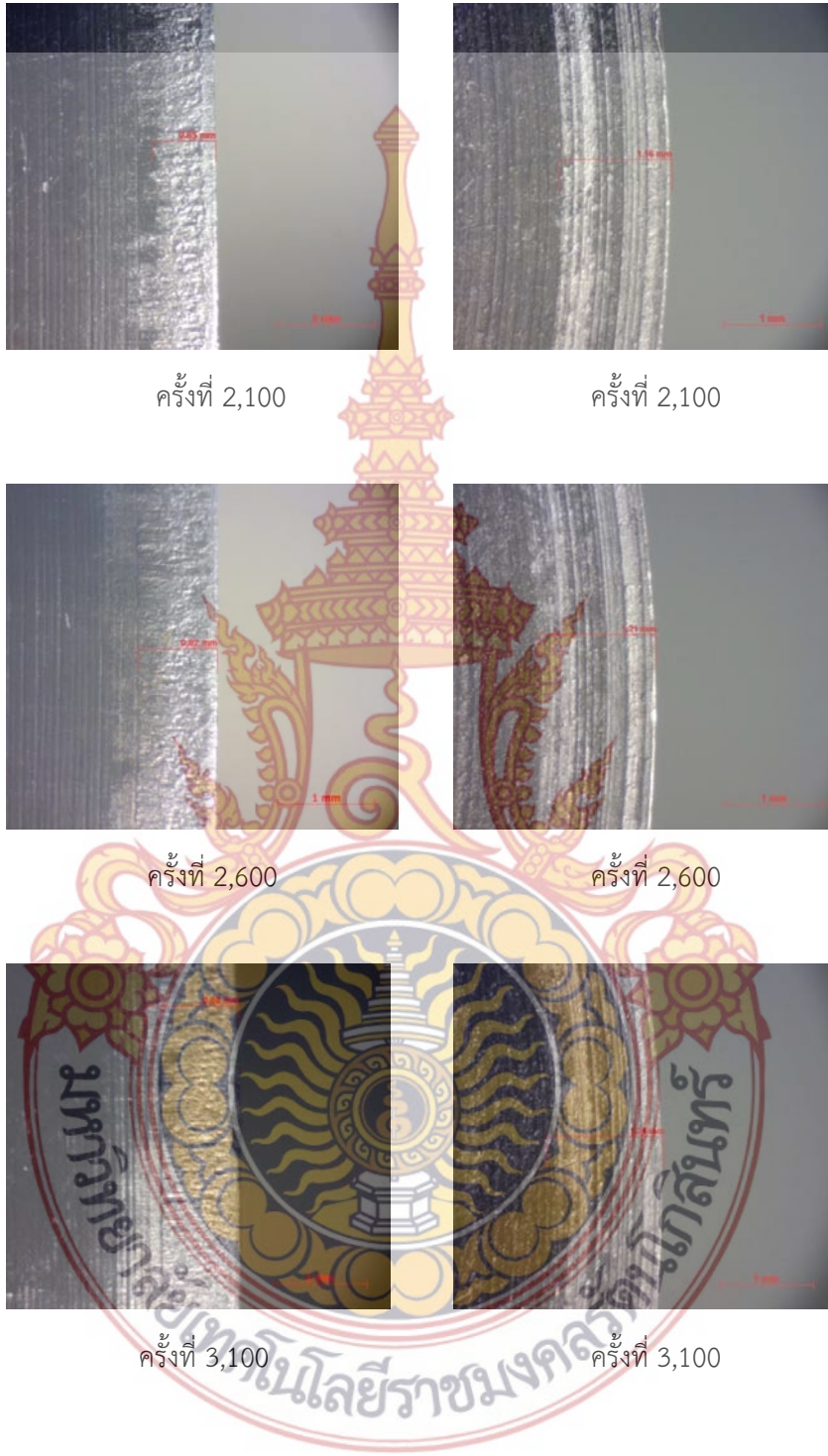


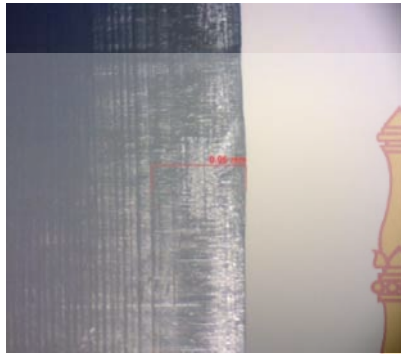
ครั้งที่ 2,600



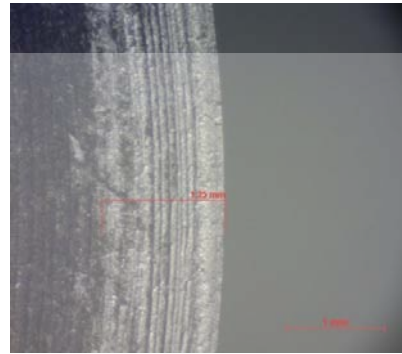
ครั้งที่ 3,100

ครั้งที่ 3,100





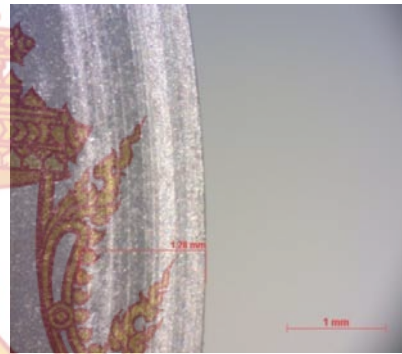
ครั้งที่ 4,000



ครั้งที่ 4,000



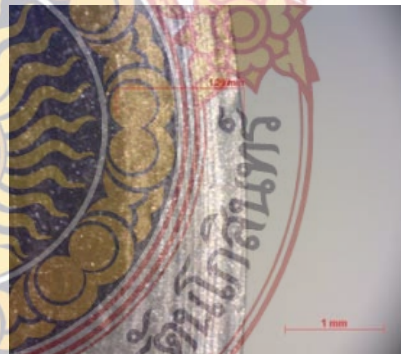
ครั้งที่ 5,000



ครั้งที่ 5,000



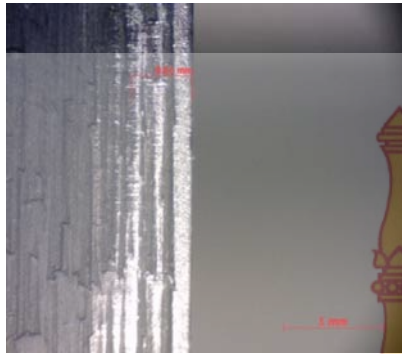
ครั้งที่ 6,000



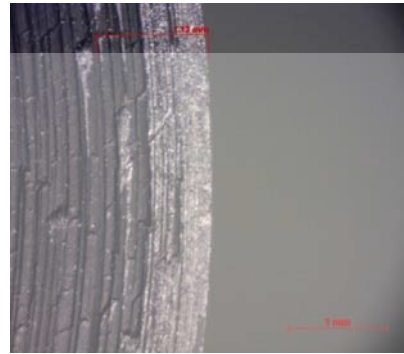
ครั้งที่ 6,000

ภาพที่ ง. 4 การสึกหรอด้านข้างและด้านหน้าของฟันซี่ที่ทำมาจากเหล็กกล้า JIS S50C





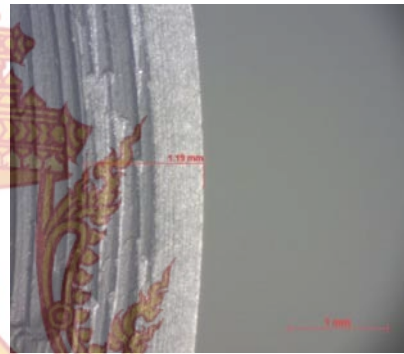
ครั้งที่ 700



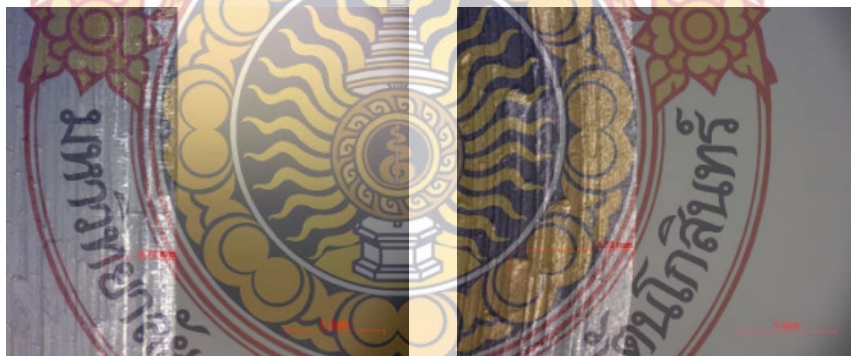
ครั้งที่ 700



ครั้งที่ 900

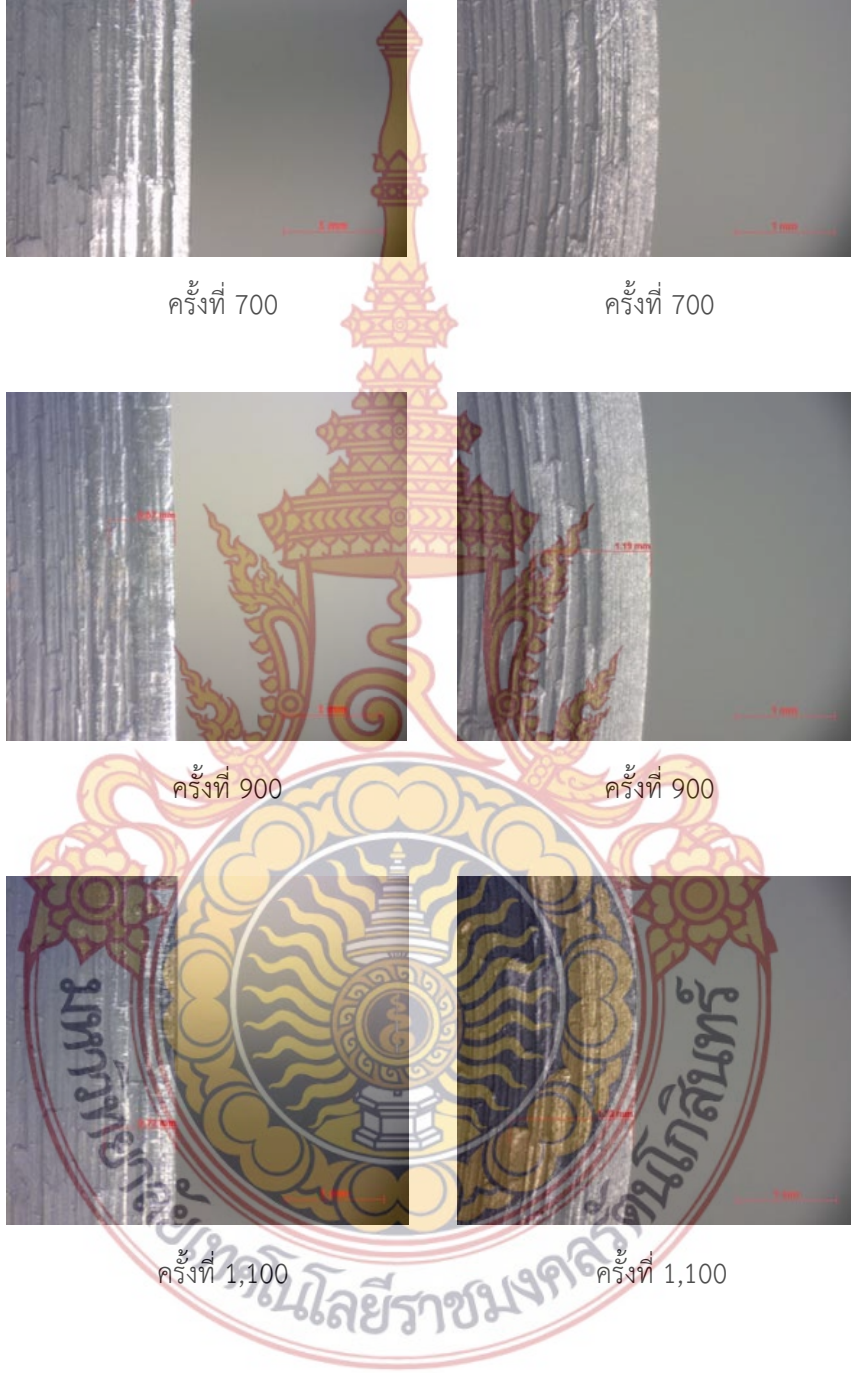


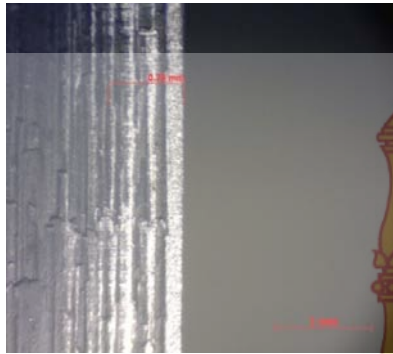
ครั้งที่ 900



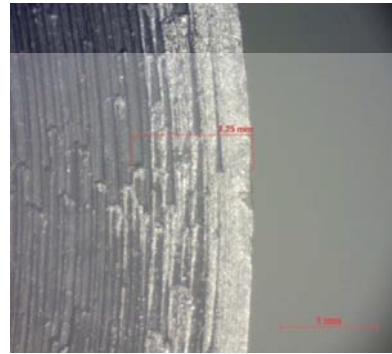
ครั้งที่ 1,100

ครั้งที่ 1,100





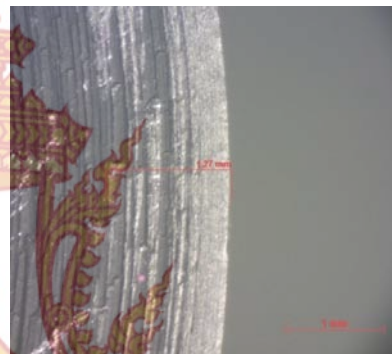
ครั้งที่ 1,600



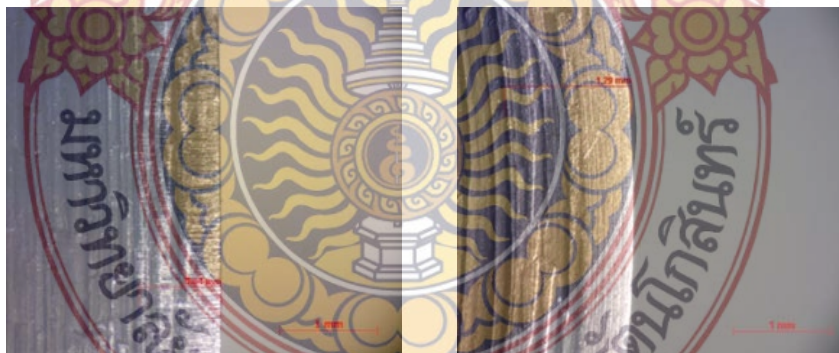
ครั้งที่ 1,600



ครั้งที่ 2,100

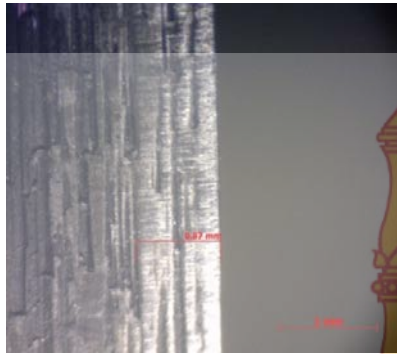


ครั้งที่ 2,100

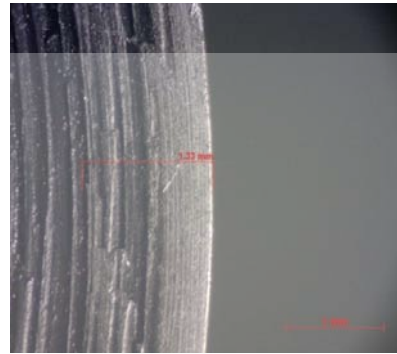


ครั้งที่ 2,600

ครั้งที่ 2,600



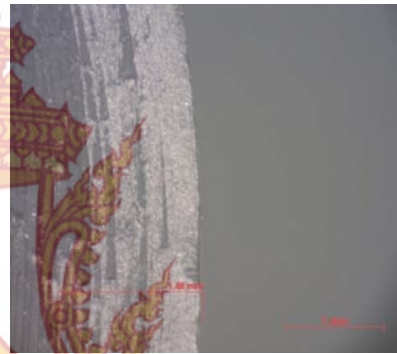
ครั้งที่ 3,100



ครั้งที่ 3,100



ครั้งที่ 4,000

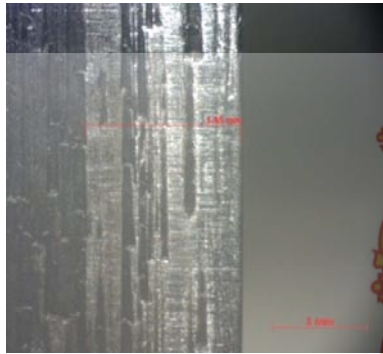


ครั้งที่ 4,000

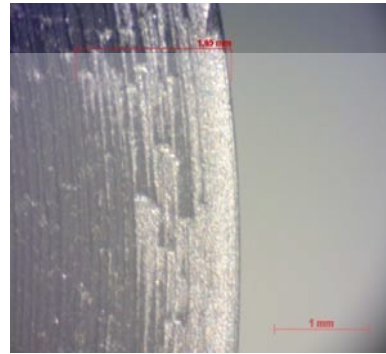


ครั้งที่ 5,000

ครั้งที่ 5,000



ครั้งที่ 6,000



ครั้งที่ 6,000

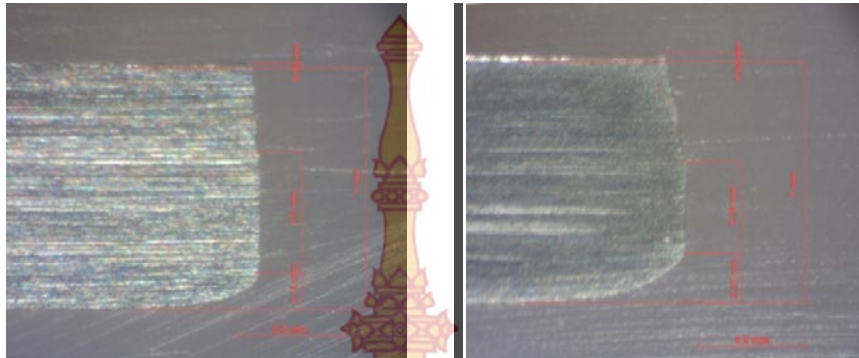




ภาคผนวก จ

ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานของฟันซ์แต่ละชนิด

ภาพที่ จ.1 ขอบตัดชิ้นงาน จากการทดลองตัดด้วยฟันซ์ทำมาจากเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11



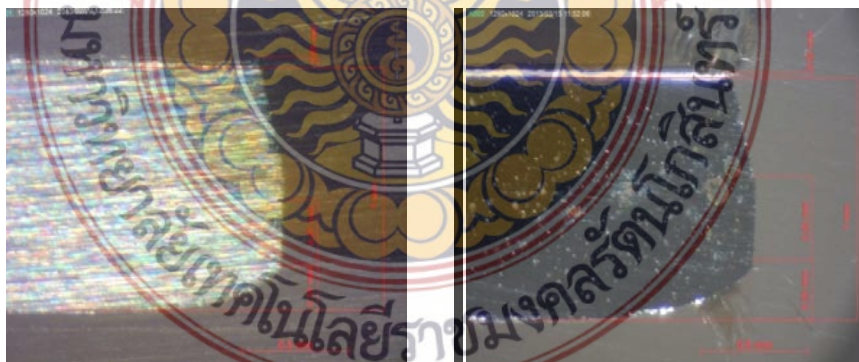
ครั้งที่ 100

ครั้งที่ 300



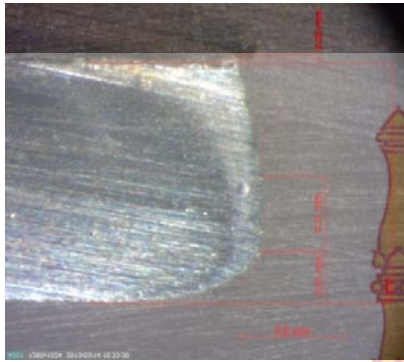
ครั้งที่ 500

ครั้งที่ 700

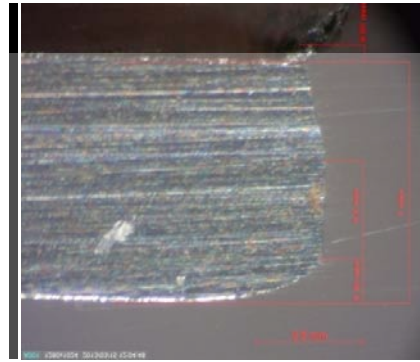


ครั้งที่ 900

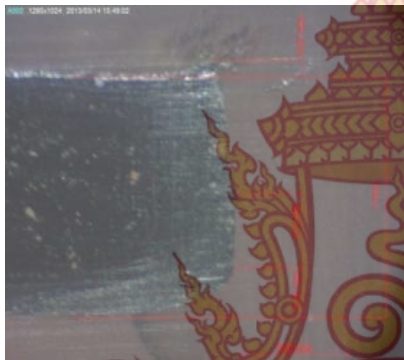
ครั้งที่ 1,100



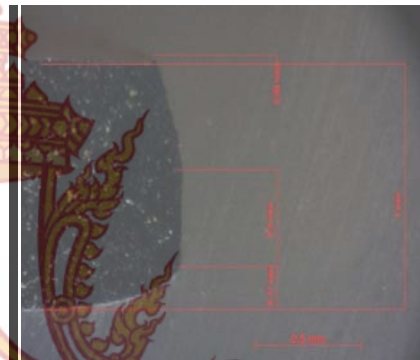
ครั้งที่ 1,600



ครั้งที่ 2,100



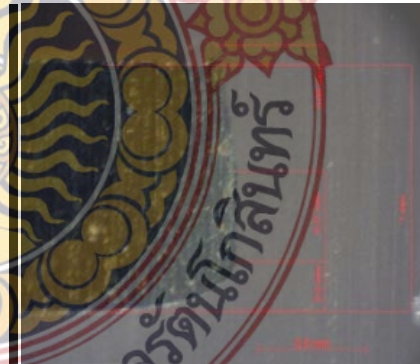
ครั้งที่ 2,600



ครั้งที่ 3,100

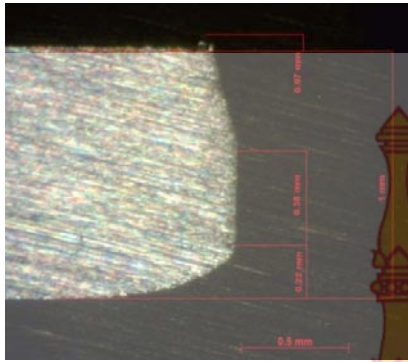


ครั้งที่ 4,000



ครั้งที่ 5,000





ครั้งที่ 6000

ภาพที่ จ. 2 ขอบตัดชิ้นงาน จากการทดลองตัดด้วยฟันซ์ทำมาจากเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD 12



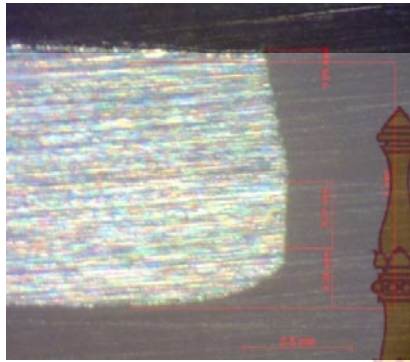
ครั้งที่ 100

ครั้งที่ 300

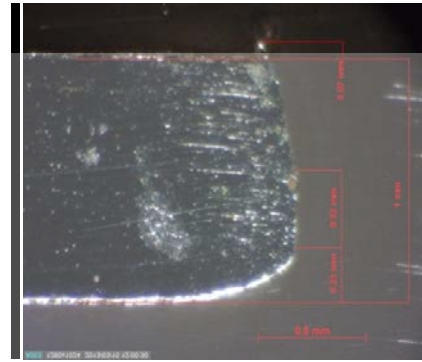


ครั้งที่ 500

ครั้งที่ 700



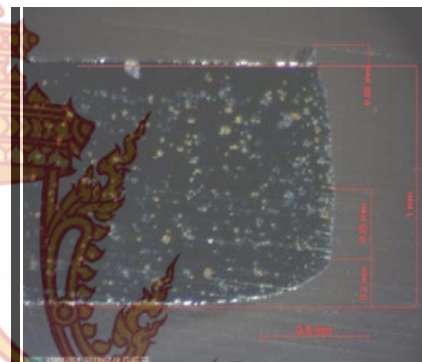
ครั้งที่ 900



ครั้งที่ 1,100



ครั้งที่ 1,600

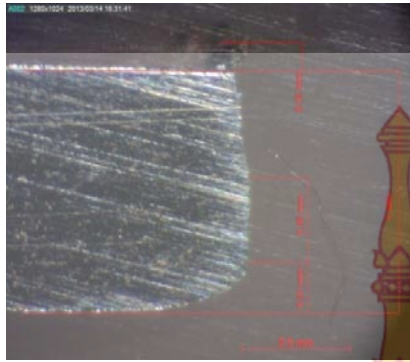


ครั้งที่ 2,100

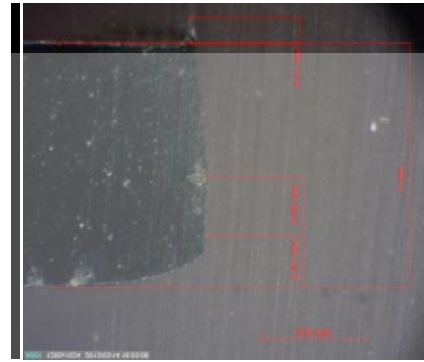


ครั้งที่ 2,600

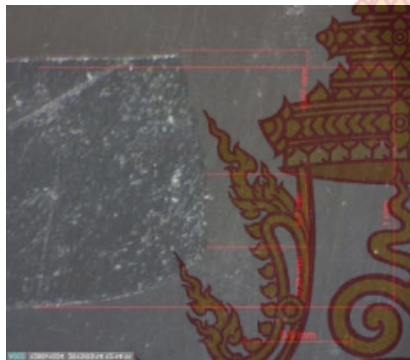
ครั้งที่ 3,100



ครั้งที่ 4,000



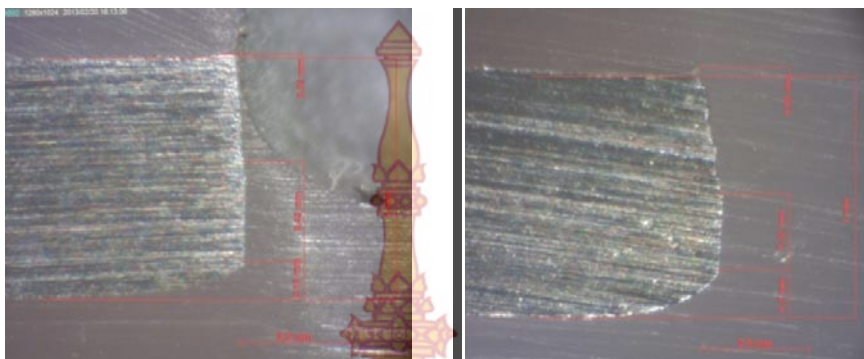
ครั้งที่ 5,000



ครั้งที่ 6,000



ภาพที่ จ. 3 ขอบตัดชิ้นงาน จากการทดลองตัดด้วยฟันซ์ทำมาจากเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKS 3



ครั้งที่ 100

ครั้งที่ 300



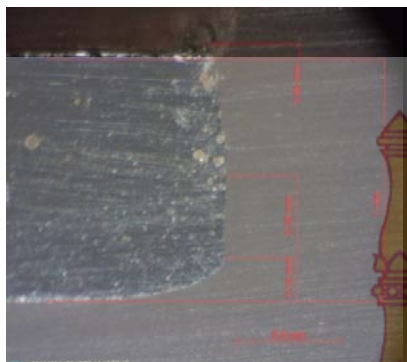
ครั้งที่ 500

ครั้งที่ 700

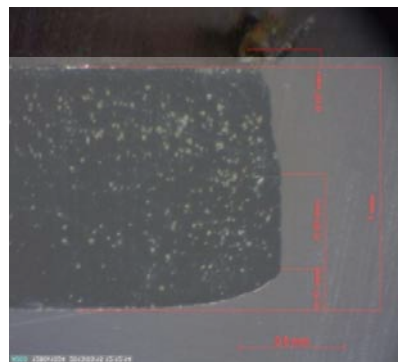


ครั้งที่ 900

ครั้งที่ 1,100



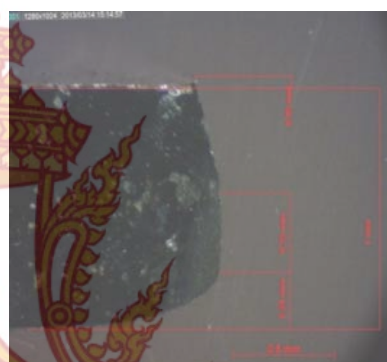
ครั้งที่ 1,600



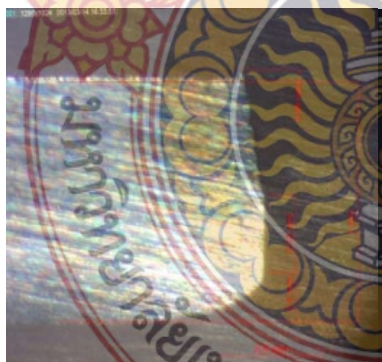
ครั้งที่ 2,100



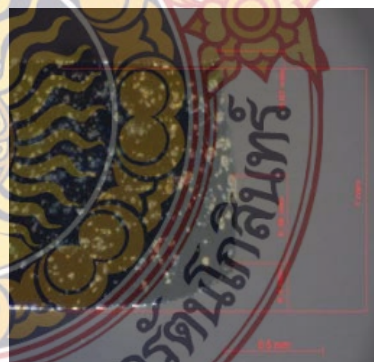
ครั้งที่ 2,600



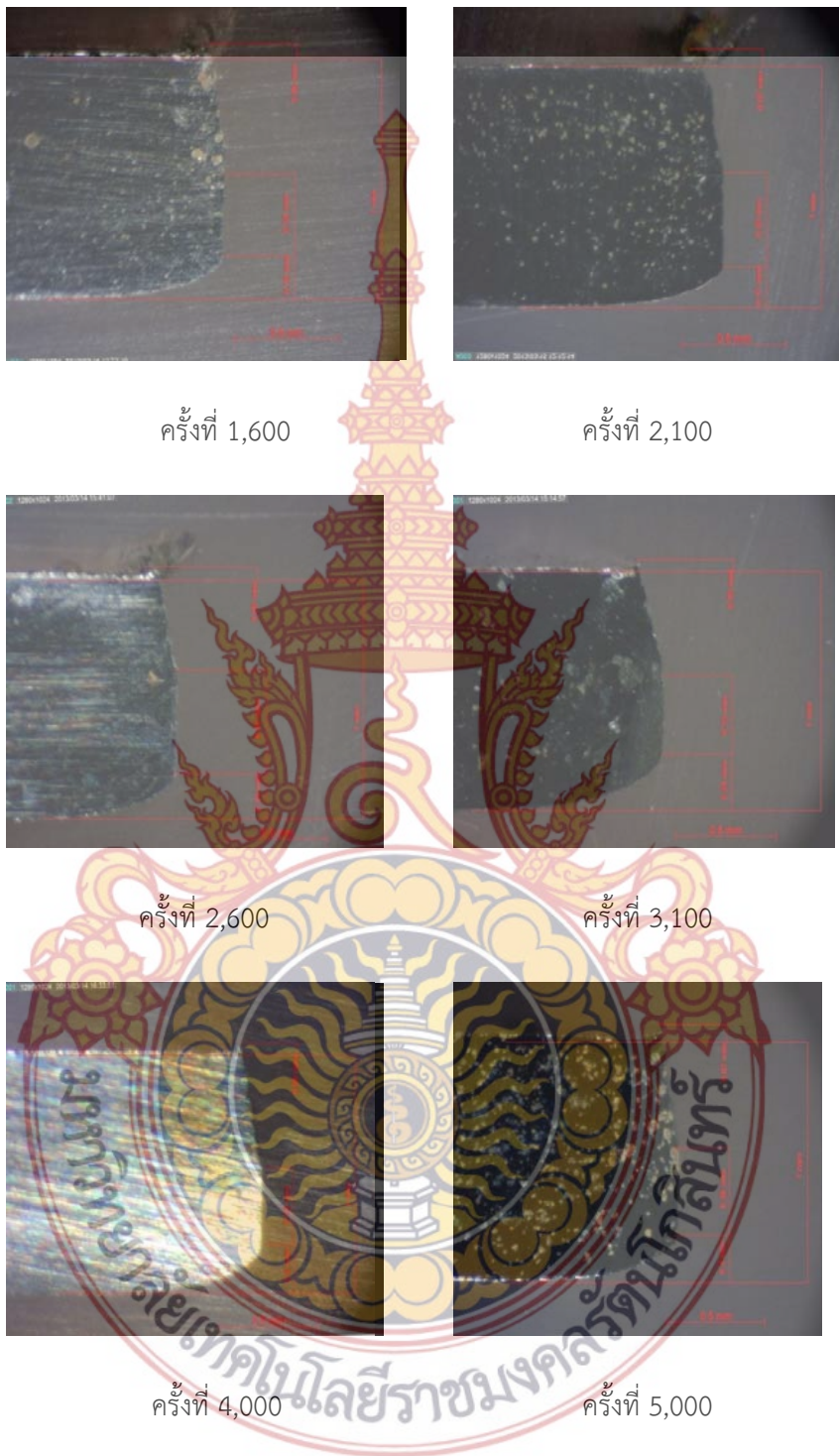
ครั้งที่ 3,100



ครั้งที่ 4,000



ครั้งที่ 5,000





ครั้งที่ 6,000

ภาพที่ จ. 4 ขอบขอบตัดขึ้นงาน จากการทดลองตัดด้วยฟันซ์ทำมาจากเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS S50C



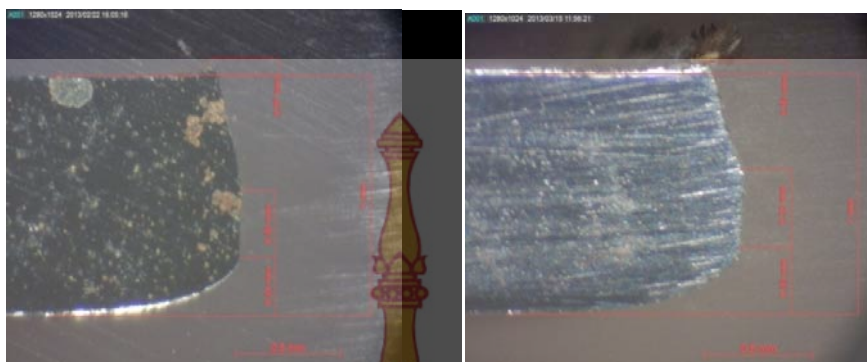
ครั้งที่ 100

ครั้งที่ 300



ครั้งที่ 500

ครั้งที่ 700



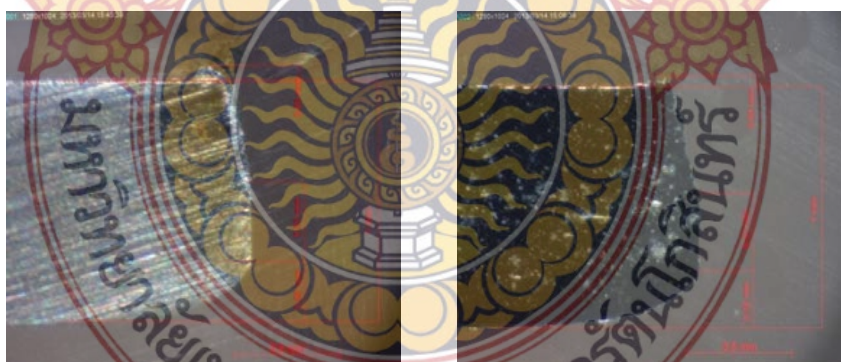
ครั้งที่ 900

ครั้งที่ 1,100



ครั้งที่ 1,600

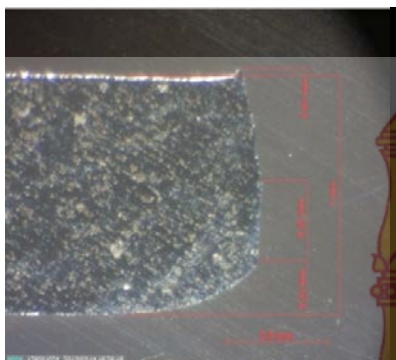
ครั้งที่ 2,100



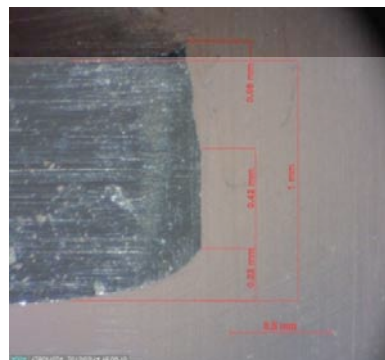
ครั้งที่ 2,600

ครั้งที่ 3,100

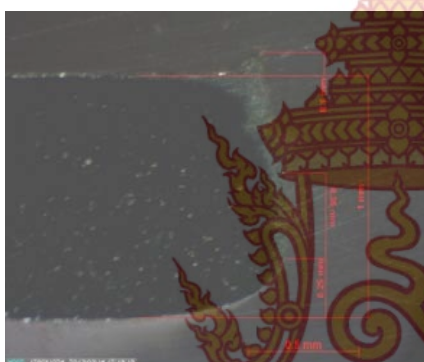




ครั้งที่ 4,000



ครั้งที่ 5,000



ครั้งที่ 6,000



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. รายงานการประชุมทางวิชาการ

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.

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

เฉลิมพล คล้ายนิล, จิณกมล ลุยจันทร์ และพิมพ์มาศ กาละวงศ์ (2555). การศึกษาชนิดของเหล็กกล้าเครื่องมือที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 17-19 ตุลาคม 2555, โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ จ.เพชรบุรี

เฉลิมพล คล้ายนิล, พงศกร หลีตระกูล และพงษ์พันธ์ ราชภักดี (2555). การประมาณการสึกหรอของ
เม็ตมีดกลึงด้วยโครงข่ายประสาทเทียม, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 17-19
ตุลาคม 2555, โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ จ.เพชรบุรี

เฉลิมพล คล้ายนิล, ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ และพงษ์พันธ์ ราชภักดี (2554). ผลกระทบของศูนย์รวมความ
เค้นในแนวเชื่อมเหล็กกล้า SS400 ภายใต้แรงดึง, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม
, 20-21 ตุลาคม 2554, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี

ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ, เฉลิมพล คล้ายนิล และกุลชาติ จุลเพ็ญ (2554). การศึกษาอิทธิพลของรัศมีลูกกลึง
หัวกัดที่มีผลต่อการขึ้นรูปถ้วยอลูมิเนียมโดยกระบวนการหมุนรีดขึ้นรูป, การประชุมวิชาการ
ช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 20-21 ตุลาคม 2554, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี จอมเทียน
พัทยา จ.ชลบุรี

เฉลิมพล คล้ายนิล, ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ และทศพร เงินเนตร (2554). ผลกระทบของการชุบผิวแข็ง
เหล็กกล้า AISI1020 ที่มีผลต่ออายุของควมล่า, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์, ครั้งที่
9, 2-3 พฤษภาคม 2554, โรงแรมเมอร์ลินบีช รีสอร์ท จ.ภูเก็ต

เฉลิมพล คล้ายนิล (2552). เครื่องอัดถ่านแท่งจากแกลบด้วยระบบไฮดรอลิกส์, การประชุมวิชาการ
ของเครื่องช่างการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา, 2-4 เมษายน 2552, โรงแรมทวินโลตัส,
จ.นครศรีธรรมราช

เฉลิมพล คล้ายนิล (2552). เครื่องอบแห้งเนื้อมะพร้าวด้วยพลังงานทดแทน, การประชุมวิชาการของ
เครื่องช่างการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา, 2-4 เมษายน 2552, โรงแรมทวินโลตัส, จ.นครศรีธรรมราช

เฉลิมพล คล้ายนิล และพงษ์พันธ์ ราชภักดี (2550). อิทธิพลของสภาวะการกลึงเหล็กกล้าสแตนเลส
AISI 316, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 24-26 ตุลาคม 2550, โรงแรม
Royal Phuket City, จ.ภูเก็ต

เฉลิมพล คล้ายนิล และไชยา คำคำ (2549). การศึกษาอิทธิพลของสภาวะการกลึงเหล็กกล้า
สแตนเลสด้วยใบมีดคาร์ไบด์ที่มีผลต่อการสึกหรอใบมีดตัดและความขรุขระของพื้นผิว, การประชุม
วิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 17-19 ธันวาคม 2549, โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล,
กรุงเทพฯ