

การศึกษาอิทธิพลของช่องว่างระหว่างพินซ์และดาบในการตัดเจาะที่มีผลต่อ  
กระบวนการตัดเซฟวิงโลหะผสม

**INFLUENCE OF CLEARANCE IN THE PIERCING PROCESS TO  
EFFECTING THE SHAVING PROCESS FOR ALLOY SHEET**

พงศกร หลีตระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2556  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาอิทธิพลของช่องว่างระหว่างพื้นซ์และคายในการตัดเจาะที่มีผลต่อ  
กระบวนการตัดเซฟวิ่งโลหะผสม

พงศกร หลีตระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของช่องว่างระหว่างพันธและคายในการตัดเจาะที่มีผลต่อกระบวนการตัดเซฟวิ้งโลหะผสม
ชื่อ – นามสกุล	นายพงศกร หลีตระกูล
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กุลชาติ จุลเพ็ญ, D.Eng.
ปีการศึกษา	2556

### บทคัดย่อ

คุณภาพของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดเจาะมีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตชิ้นงานที่ใช้ในการสวมประกอบเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิต งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของช่องว่างระหว่างคมตัดของแม่พิมพ์ตัดเจาะต่อคุณภาพของขอบชิ้นงานหลังจากผ่านกระบวนการตัดเซฟวิ้ง วัสดุโลหะผสมที่มีสมบัติทางกลแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ อลูมิเนียม ทองแดง ทองเหลือง

ในการศึกษาจะใช้วิธีการทดสอบโดยใช้แม่พิมพ์ตัดเจาะที่มีขนาดช่องว่างระหว่างคมตัดตั้งแต่ 0, 2, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของความหนาของชิ้นงาน โดยเลือกใช้วัสดุโลหะผสม 3 ชนิด คือ อลูมิเนียม ทองแดง ทองเหลือง ที่มีความหนา 3 มม. จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการตัดเจาะไปทำการตัดเซฟวิ้งด้วยแม่พิมพ์ตัดเซฟวิ้งที่มีขนาดช่องว่างระหว่างคมตัดเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นจะนำเอาชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเซฟวิ้ง ทำการตรวจสอบคุณภาพของขอบตัด เช่น ส่วนโค้งมน (Edge-Radius) ส่วนเรียบตรง (Sheared Surface) รอยฉีกขาด (Fracture Surface) และครีป (Burr) เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของรอยตัด

จากผลการทดลองพบว่า ช่องว่างระหว่างคมตัดในการตัดเจาะเพื่อเตรียมชิ้นงานเบื้องต้นด้วยแม่พิมพ์ตัด มีอิทธิพลต่อคุณภาพของขอบตัดชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดเซฟวิ้ง กล่าวคือถ้าช่องว่างคมตัดน้อยเกินไปจะทำให้การตัดเซฟวิ้งไม่สามารถกำจัด ส่วนโค้งมน รอยฉีกขาด และครีปของขอบตัดได้ทั้งหมด ในทางกลับกันหากช่องว่างคมตัดมากเกินไปจะทำให้กระบวนการตัดเซฟวิ้งจะเป็นเสมือนการตัดเจาะชิ้นงานครั้งที่สอง จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบพบว่าขนาดช่องว่างที่เหมาะสมสำหรับการตัดเจาะ อยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน สำหรับวัสดุอลูมิเนียม และ 5 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน สำหรับวัสดุทองแดงและทองเหลือง

**คำสำคัญ:** กระบวนการตัดเซฟวิ้ง แม่พิมพ์เจาะรู ขอบตัดชิ้นงาน

<b>Thesis Title</b>	Influence of Clearance in the Piercing Process to Effecting the Shaving Process for Alloy Sheet
<b>Name – Surname</b>	Mr. Pongsakorn Leetrakul
<b>Program</b>	Manufacturing Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Mr.Kunlachart Junlapen, D.Eng.
<b>Academic Year</b>	2013

## ABSTRACT

The cutting edge quality of parts from piercing process are very important for assembly process. It is also reduce complexity and production cost. This research aims to study the influence of the piercing die clearance onto the quality of the cutting edge of three different materials i.e. aluminum, copper and brass after they have been shaved with the shaving die.

The study was carried out by using piecing die with 5 different die clearances: 0%, 2%, 5%, 10%, and 15% of the workpiece thickness. The piecing process was applied to cut 3 difference materials such as aluminum, copper and brass which had 3 mm. of thickness. The workpieces from the piercing process were shaved by using the shaving die that had 0 % clearance. Then the shaved workpieces were examined and compared the quality of the cutting edge such as shear surface, fracture surface and burr.

The experimental results show that the influence of the die clearance on the quality of the cutting edge was significant. In case, too small die clearance was use to piece the workpiece, the shaving die could not be able to eliminate the edge radius of the workpiece. On the other hand, if the die clearance was too high, the shaving processing was likely to repeat the piecing process again. The results indicated that the optimized value of the die clearance was a 10% of the thinness for the aluminum and 5% of the thickness for the copper and brass.

**Keywords:** shaving process, piercing die, cutting edge

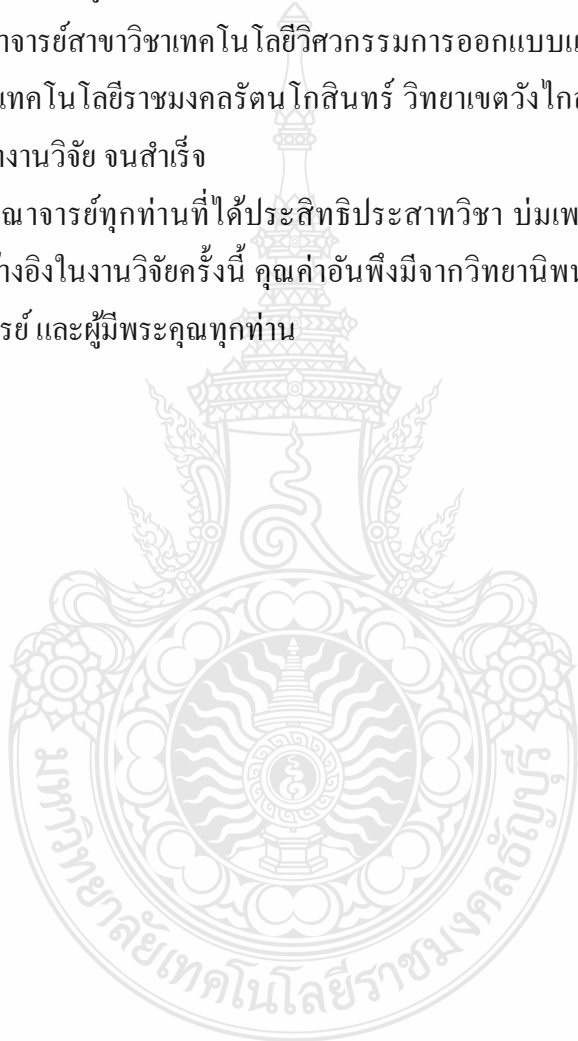
## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของ ดร.กฤษชาติ จุลเพ็ญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล กรรมการสอบ, ดร.ชัยยะ ปราณิตพล กรัง กรรมการสอบ, และรองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี เปรมานนท์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณคณะอาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการออกแบบแม่พิมพ์ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาลัยเทคโนโลยีช่างเทคนิคสาขาวิชาช่างเทคนิค ที่ให้ความรู้และใช้เครื่องมือเครื่องจักรในการทำงานวิจัย จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

พงศกร หลีตระกูล

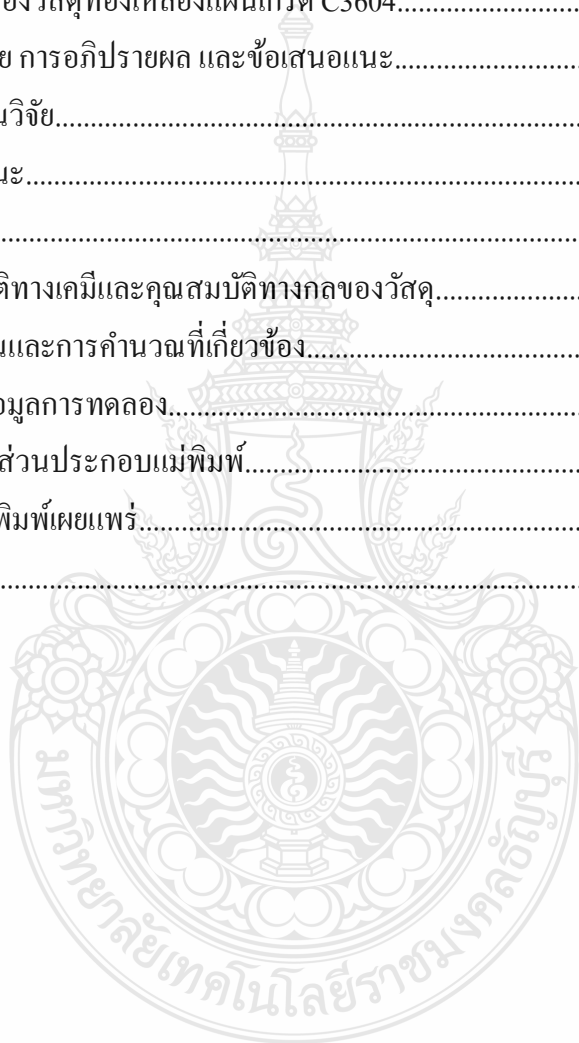


## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	(4)
กิตติกรรมประกาศ .....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง .....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	12
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	12
1.2 วัตถุประสงค์.....	13
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	13
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	13
1.5 คำจำกัดความในงานวิจัย.....	14
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกลไกในการตัด (Blanking Mechanism).....	15
2.2 การเลือกขนาดกำลังของเครื่องเพรส.....	16
2.3 แรงตัดเฉือน (Cutting Force).....	16
2.4 การคำนวณแรงตัดเฉือน (Cutting Force).....	17
2.5 ระยะช่องว่างระหว่างคมตัด (Cutting Clearance).....	19
2.6 ทฤษฎีการตัดเรียบ.....	24
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	38
3.1 เครื่องและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการวิจัย.....	38
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	39
3.3 การเก็บผลและเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	46

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย .....	47
4.1 ผลการทดลองวัสดุลูมิเนียมแผ่นเกรด AA6063.....	47
4.2 ผลการทดลองวัสดุทองแดงแผ่นเกรด C1100.....	52
4.3 ผลการทดลองวัสดุทองเหลืองแผ่นเกรด C3604.....	57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	64
รายการอ้างอิง .....	65
ภาคผนวก ก คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกลของวัสดุ.....	67
ภาคผนวก ข มาตรฐานและการคำนวณที่เกี่ยวข้อง.....	70
ภาคผนวก ค บันทึกข้อมูลการทดลอง.....	76
ภาคผนวก ง แบบและส่วนประกอบแม่พิมพ์.....	83
ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	86
ประวัติผู้เขียน.....	96



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าความดันที่ระบุขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุและพื้นที่ตัดเศษ โลหะ ที่เป็นวงแหวน.....	26
ตารางที่ 2.2 แสดงระยะช่องว่างแม่พิมพ์สำหรับเซฟวิ่งอลูมิเนียม.....	29
ตารางที่ 2.3 ค่า $\delta$ ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นชิ้นงานและชิ้นของวัสดุ.....	29
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างใบบันทึกผลการทดลองกระบวนการตัดเจาะและกระบวนการตัดเซฟวิ่ง	46
ตารางที่ 4.1 ขนาดของรูที่ตรวจสอบจากกระบวนการตัดเซฟวิ่งอลูมิเนียมเกรด AA 6063.....	52
ตารางที่ 4.2 ขนาดของรูที่ตรวจสอบจากกระบวนการตัดเซฟวิ่งทองแดงเกรด C1100.....	56
ตารางที่ 4.3 ขนาดของรูที่ตรวจสอบจากกระบวนการตัดเซฟวิ่งทองเหลืองเกรด C3604.....	61





## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การตัดชิ้นงานด้วย 펀ช์และคาย.....	15
รูปที่ 2.2 ลำดับขั้นตอนของการตัดโลหะ .....	16
รูปที่ 2.3 ทิศทางความเค้นในการตัดโลหะ.....	17
รูปที่ 2.4 แรงย่อยในการตัดเฉือน.....	17
รูปที่ 2.5 พันซ์คายในงานแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die).....	18
รูปที่ 2.6 รูปร่างหน้าตัดเฉือน.....	19
รูปที่ 2.7 ทิศทางของแรงเฉือน.....	19
รูปที่ 2.8 ลักษณะชิ้นงานจากการใช้ระยะช่องว่างคมตัดที่เหมาะสม.....	20
รูปที่ 2.9 ลักษณะชิ้นงานจากการใช้ระยะช่องว่างคมตัดที่มากเกินไป.....	21
รูปที่ 2.10 ลักษณะชิ้นงานจากการใช้ระยะช่องว่างที่น้อยเกินไป.....	22
รูปที่ 2.11 ลักษณะชิ้นงานที่เกิดจากตำแหน่งของ 펀ช์และคายที่เอียงศูนย์กลาง.....	23
รูปที่ 2.12 ลักษณะรอยตัดเฉือนในแบบต่างๆตามขนาดระยะช่องว่างคมตัด.....	23
รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบค่าความสูงครีป.....	24
รูปที่ 2.14 ขั้นตอนกรรมวิธีการตัดรูและขอบ.....	25
รูปที่ 2.15 พันซ์ที่ทำหน้าที่ตัดรูและตัดเรียบนิยมใช้วัสดุทองเหลืองผสมบรอนซ์หรืออลูมิเนียมผสม.....	26
รูปที่ 2.16 พันซ์ทรงกรวยจะทำหน้าที่ตัดรูและตัดเรียบ.....	27
รูปที่ 2.17 พันซ์รูปทรงกรวยปลายแหลมได้ถูกนำมาตัดรูและตัดเรียบ.....	27
รูปที่ 2.18 การตัดเรียบขอบของแผ่นชิ้นงาน.....	28
รูปที่ 2.19 ลักษณะการกำหนดขนาดและรูปร่างของ 펀ช์และคาย.....	30
รูปที่ 2.20 กราฟเปรียบเทียบแรงตัดชิ้นงานที่ระดับช่องว่างคมตัดต่างๆ.....	31
รูปที่ 2.21 ลักษณะของรอยตัดชิ้นงานจากการกำหนดช่องว่างคมตัดต่างกัน.....	32
รูปที่ 2.22 กราฟแสดงอิทธิพลของช่องว่างคมตัดที่มีผลต่อแรงตัดชิ้นงาน.....	33
รูปที่ 2.23 แรงตัดชิ้นงานที่วัดได้จากแม่พิมพ์ตัดที่ระยะช่องว่างคมตัดต่างกัน.....	34
รูปที่ 2.24 ค่าระยะการสึกหรอของ พันซ์แม่พิมพ์ตัดวัสดุ JIS S45C.....	35
รูปที่ 2.25 กระบวนการตัดเฉือนด้วยสเตปเพอร์ พันซ์.....	36
รูปที่ 2.26 แสดงผลของคุณภาพผิวงาน(A1100-O, $t = 3\text{mm}$ , $Clss = 0\%t$ , $\alpha = 6^\circ$ ).....	37

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินการวิจัยการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการตัดเซฟวิ้ง.....	39
รูปที่ 3.2 ลักษณะพันธ์และคายในการทดลอง.....	40
รูปที่ 3.3 ชุดแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลอง.....	40
รูปที่ 3.4 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	42
รูปที่ 3.5 ลักษณะการเตรียมชิ้นงาน.....	42
รูปที่ 3.6 เครื่องปั๊มชิ้นงานแบบเพลลาข้อเหวี่ยง.....	43
รูปที่ 3.7 เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ.....	44
รูปที่ 3.8 เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน.....	44
รูปที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์ Optical Microscopes.....	45
รูปที่ 3.10 เครื่องวัดขนาด Coordinate Measuring Machine (CMM).....	45
รูปที่ 3.11 ลักษณะความสูงของครีปที่เกิดบนชิ้นงาน.....	46
รูปที่ 4.1 สัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในการตัดเจาะอลูมิเนียมเกรด AA 6063.....	48
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเจาะอลูมิเนียมเกรด AA 6063.....	49
รูปที่ 4.3 สัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิ้งอลูมิเนียมเกรด AA 6063.....	50
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิ้งอลูมิเนียมเกรด AA 6063.....	50
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบความสูงของส่วนเรียบตรงของขอบตัดชิ้นงานระหว่างการตัดเจาะและการตัดเซฟวิ้งอลูมิเนียมเกรด AA 6063.....	51
รูปที่ 4.6 สัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในการตัดเจาะทองแดงเกรด C1100.....	52
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเจาะทองแดงเกรด C1100.....	53
รูปที่ 4.8 สัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิ้งทองแดงเกรด C1100.....	54
รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิ้งทองแดงเกรด C1100.....	55
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบความสูงของส่วนเรียบตรงขอบตัดชิ้นงานระหว่างการตัดเจาะและการตัดเซฟวิ้งทองแดงแผ่นเกรด C1100.....	56
รูปที่ 4.11 สัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในการตัดเจาะทองเหลืองเกรด C3604.....	57
รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเจาะทองเหลืองเกรด C3604.....	58
รูปที่ 4.13 สัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิ้งทองเหลืองเกรด C3604.....	59

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิ้งทองเหลืองเกรด C3604.....	60
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบความสูงของส่วนเรียบตรงขอบตัดชิ้นงานระหว่างการตัดเฉาะและการตัดเซฟวิ้งทองเหลืองเกรด C3604.....	60
รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิ้งอลูมิเนียมเกรด AA 6063.....	62
รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิ้งทองแดงเกรด C1100.....	62
รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิ้งทองเหลืองเกรด C3604.....	62

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

c	ช่องว่างระหว่างพันธ์และดาบ
cl	ช่องว่างระหว่างพันธ์และดาบ
d	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
D	แผ่นชิ้นงานภายหลังการตัด
$D_d$	เส้นผ่านศูนย์กลางของ (Die)
$D_p$	เส้นผ่านศูนย์กลางของพันธ์ (Punch)
$F_s$	เปอร์เซ็นต์แรงที่ใช้ปลดชิ้นงาน x F
$k_s$	ความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุ
$l_s$	ความยาวรอยตัด
t	ความหนาของวัสดุ
$\delta$	ปริมาณของชิ้นงานที่ถูกตัดเรียบ

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการออกแบบแม่พิมพ์ได้เข้ามามีบทบาทในการเพิ่มผลผลิต ในอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและชิ้นรูปต่าง ๆ แม่พิมพ์มีความจำเป็นอย่างมากต่อโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตให้สูงขึ้น ซึ่งกระบวนการทางด้านแม่พิมพ์ตัดเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต มีทั้งการตัดเจาะ การตัดขอบ เป็นต้น ซึ่งในการผลิต จะมีปัญหาทั้งทางด้านการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่เกิดจากการผลิตขึ้นเป็นจำนวนมาก และการเลือกใช้วัสดุที่นำมาเป็นเครื่องมือตัดไม่เหมาะสมมาทำการตัดจึงส่งผลทำให้งานที่ทำการผลิตออกมาไม่ได้ตามความต้องการ อย่างไรก็ตามงานแม่พิมพ์เป็นการผลิตขึ้นงานเป็นจำนวนมากจึงส่งผลให้งานแม่พิมพ์มีราคาสูงทั้งทางด้าน ราคาสีวัสดุ ค่าออกแบบ ค่าผลิต รวมไปถึงค่าซ่อมบำรุงรักษา ทำให้ผู้ผลิตแม่พิมพ์ต้องการชิ้นงานที่ออกมาได้ตามความต้องการด้วย นอกจากนี้งานแม่พิมพ์ตัดจะมีการตัดหลายกระบวนการ ล้วนมีความต้องการชิ้นงานที่ได้คุณภาพ ซึ่งในการตัดเจาะ โดยทั่วไปบริเวณขอบตัดจะมีส่วนเรียบตรงน้อย จึงทำให้ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีขอบตัดไม่ได้คุณภาพ เช่น ไม่มีความเที่ยงตรงหรือความคลาดเคลื่อนของขนาด และมีครีบก้น จึงมีการพัฒนาและคิดหาวิธีการทำงานของแม่พิมพ์ เพื่อปรับปรุงขอบตัดชิ้นงานให้ดีขึ้น โดยกระบวนการตัดเซฟวิ่ง เพื่อตัดแต่งขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดครั้งสุดท้าย คือ ลดส่วนโค้งมน เพิ่มส่วนเรียบตรง ลดรอยแตก และลดครีบก้น

จึงได้มีผู้วิจัยทำการศึกษาศึกษาของกระบวนการตัดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน เช่น การศึกษาอิทธิพลของการสึกหรอในงานแม่พิมพ์ตัดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน[1] การประยุกต์ใช้แหวนจิกเพื่อเพิ่มคุณภาพชิ้นงานในงานแม่พิมพ์ตัด[2] และการศึกษาความสัมพันธ์ของระยะเพื่อเซฟวิ่งและผิวงานตัดในกระบวนการตัดเนื้อด้วยสเตปเทเปอร์พันธ์โดยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์[3],[4] นอกจากนี้ยังมี การศึกษาถึงความสัมพันธ์ของค่าช่องว่างระหว่างพื้นผิวและคายของกระบวนการตัดเจาะที่มีผลต่อกระบวนการตัดเซฟวิ่ง โดยการใช้เทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์[5] ปัจจุบันในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ได้นำโลหะผสมมาใช้เป็นชิ้นส่วนรถยนต์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความแข็งแรง, น้ำหนักเบา และทนต่อการกัดกร่อน ซึ่งในกระบวนการตัดเจาะวัสดุชนิดนี้จะพบปัญหาเรื่องคุณภาพขอบตัด และที่ผ่านมายังไม่มีงานวิจัยใดได้ศึกษาการเพิ่มคุณภาพขอบตัดสำหรับโลหะผสมอย่างแพร่หลาย

จากที่ได้กล่าวมาจึงทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดทำการศึกษาศึกษาการประยุกต์ใช้กระบวนการตัดเซฟวิ่ง เพื่อขจัดรอยแตกและครีบก้น โดยการกำหนดเงื่อนไขการทำงานต่างๆที่เหมาะสมเช่นระยะช่องว่างคมตัด

พื้นที่และคาย (Clearance) ก่อนกระบวนการตัดเซฟวิ่ง และระยะช่องว่างคมตัดในการตัดเซฟวิ่งเพื่อเพิ่มส่วนเรียบตรงของขอบตัดชิ้นงานเพื่อเปรียบเทียบหาตัวแปรที่ดีที่สุดในการกระบวนการตัดเซฟวิ่ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้ และพัฒนาในอุตสาหกรรมต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน โดยกระบวนการตัดเซฟวิ่ง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 กำหนดช่องว่างระหว่างพื้นที่และคายในการตัดเจาะคือ 0%, 2%, 5%, 10% และ 15% ของความหนาชิ้นงาน
- 1.3.2 กำหนดช่องว่างระหว่างพื้นที่และคายในการเซฟวิ่งคือ 0% ของความหนาชิ้นงาน
- 1.3.3 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง
  - อลูมิเนียมแผ่นเกรด AA6063 ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร
  - ทองแดงแผ่นเกรด C1100 ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร
  - ทองเหลืองแผ่นเกรด C3604 ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร
- 1.3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้วัดประเมินผล
  - ตรวจวัดขนาดของรูหลังจากกระบวนการตัดเซฟวิ่ง
  - ตรวจวัดขอบตัดชิ้นงาน เช่น ความสูงส่วนโค้งมน ความสูงส่วนเรียบตรง ความสูงรอยฉีกขาด และความสูงครีป
- 1.3.5 วิเคราะห์ผลการทดลองพร้อมสรุปผล

## 1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ออกแบบสร้างแม่พิมพ์ สำหรับกระบวนการเจาะและกระบวนการตัดเซฟวิ่ง
- 1.4.3 ทดลองทำการตัดชิ้นงานตามขอบเขตที่กำหนด
- 1.4.4 ทำการเก็บข้อมูลชิ้นงานที่ได้จากการตัดเจาะ
- 1.4.5 ทำการเก็บข้อมูลชิ้นงานที่ได้จากการตัดเซฟวิ่ง
- 1.4.6 ศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระหว่างการตัดเจาะและการตัดเซฟวิ่ง

#### 1.4.7 วิเคราะห์ผลลัพธ์ และสรุปผลการวิเคราะห์การตัดชิ้นงาน

### 1.5 คำจำกัดความในการวิจัย

1.5.1 การตัดเจาะ (Piercing) เป็นการตัดเจาะรู เพื่อนำรูไปใช้งาน ซึ่งขนาดของรูจะเท่ากับขนาดของฟันซ์[6]

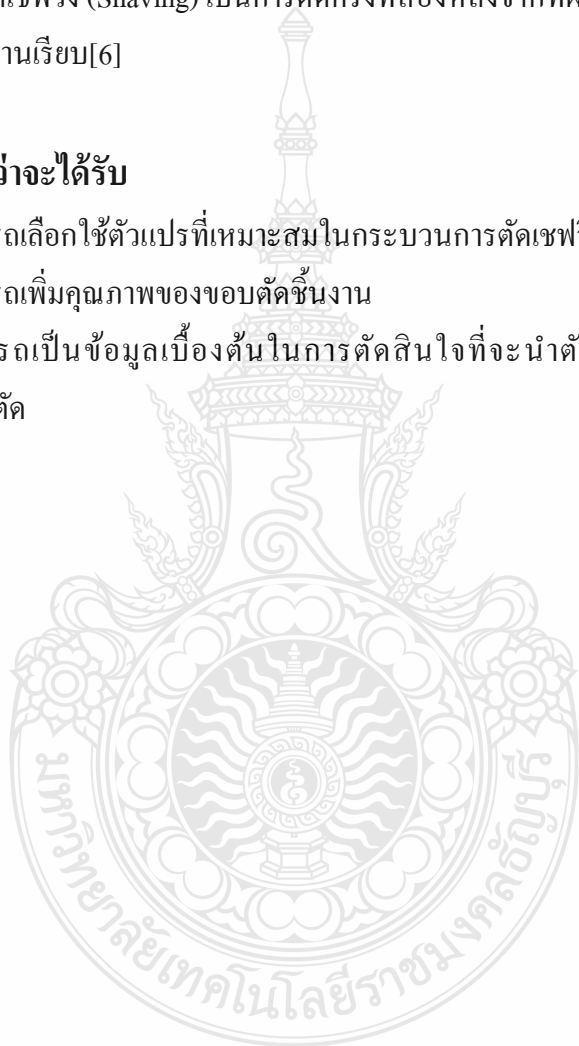
1.5.2 การตัดเซฟวิง (Shaving) เป็นการตัดครั้งที่สองหลังจากที่ผ่านการตัดเจาะ มาแล้วเพื่อทำให้ขอบตัดของชิ้นงานเรียบ[6]

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถเลือกใช้ตัวแปรที่เหมาะสมในกระบวนการตัดเซฟวิง

1.6.2 สามารถเพิ่มคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน

1.6.3 สามารถเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตัดสินใจที่จะนำตัวแปรประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ตัด

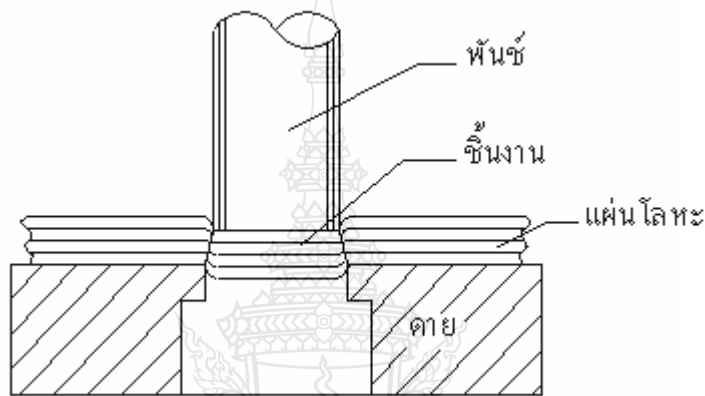


## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

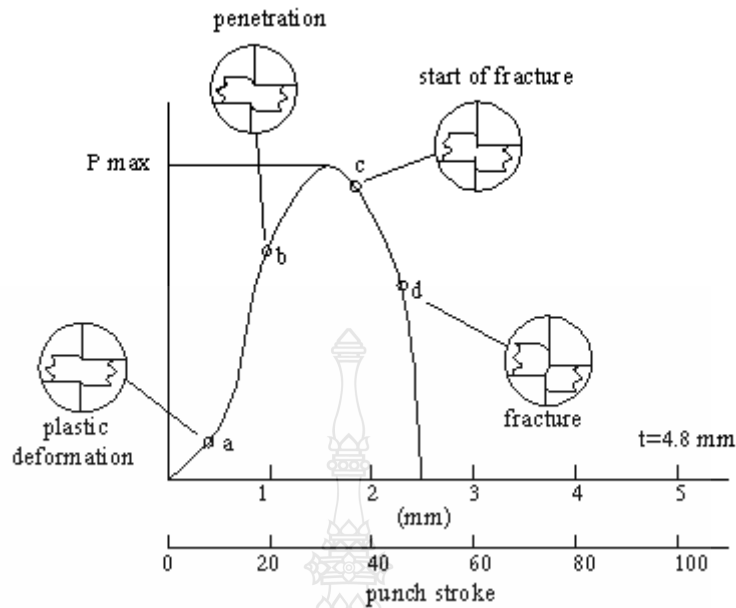
#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกลไกในการตัด (Blanking Mechanism)

กระบวนการตัดคือ การตัดโลหะออกจากกัน โดยใช้คมตัดของ 펀ช์และดายกดลงบนเนื้อโลหะจนเลยจุดความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Strength) ซึ่งจะทำให้โลหะ निकขาดออกจากกัน



รูปที่ 2.1 การตัดชิ้นงานด้วยพินช์และดาย[6]

ขั้นตอนในการตัดเริ่มจากการที่พินช์กดลงบนโลหะ และพาเนื้อโลหะเข้าไปในช่องว่างของดาย จนเลยจุดค่าความยืดหยุ่น (Elastic Limits) ของโลหะช่วงนี้ทางผิวด้านล่างของโลหะเริ่มข้อยเข้าไปในดาย และทางผิวด้านบนก็จะถูกพินช์กดลง เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น พินช์จะเจาะเข้าไปในเนื้อของโลหะ โดยความลึกของส่วนที่ถูกกดทางผิวด้านบนจะเท่ากับส่วนที่ถูกกดลงในดายทางผิวด้านล่าง ดังรูปที่ 2.1 เมื่อขนาดแรงกดของพินช์เพิ่มขึ้นจนเลยจุดความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) ของโลหะแล้ว โลหะจะ निकขาดออกจากกัน รายละเอียดของขั้นตอนดังรูปที่ 2.2[6] การ निकขาดของโลหะจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับระยะช่องว่างคมตัด (Clearance) ระหว่างพินช์กับดาย ถ้าช่องว่างคมตัดมากเกินไปหรือน้อยไป จะทำให้มีผลต่อแรงที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน ทำให้ส่งผลต่อการสึกหรอของพินช์และดาย นอกจากนี้ ยังทำให้มีผลต่อรอย निकขาดและครีบที่ชิ้นงานอีกด้วย



- a. พันช์เริ่มกดลงบนเนื้อโลหะ
- b. พันช์เพิ่มแรงกดลงบนเนื้อโลหะ
- c. โลหะเริ่มฉีกตัว
- d. การฉีกขาดของโลหะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 2.2 ลำดับขั้นตอนของการตัดโลหะ[6]

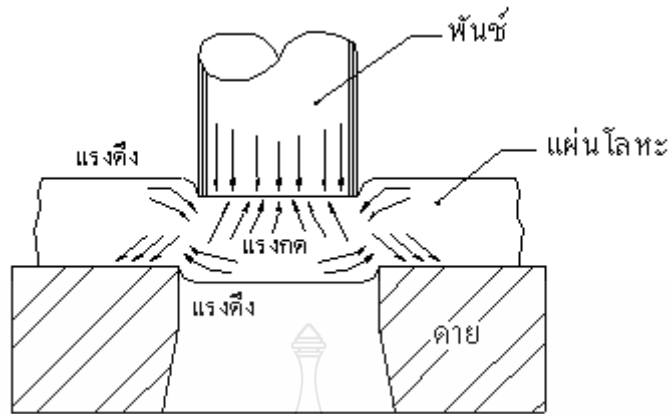
## 2.2 การเลือกขนาดกำลังของเครื่องเพรส

ในการเลือกขนาดของเครื่องเพรส จำเป็นที่จะต้องเลือกเครื่องเพรส ที่สามารถสร้างแรงอัดได้มากกว่าค่าแรงที่ต้องการใช้ในการตัดที่คำนวณได้ 30 – 50% ทั้งนี้ก็เพื่อช่วยให้สามารถตัดชิ้นงานได้ในกรณีที่วัสดุที่มีความหนาไม่สม่ำเสมอ วัสดุชิ้นงานเกิดการทำให้แข็งด้วยความเครียด (strain hardening) การเลือกใช้สารหล่อลื่นต่างชนิด ขนาดของช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และคายที่เปลี่ยนแปลง และกรณีที่คมตัดของคายที่ถือเป็นต้น[7]

## 2.3 แรงตัดเฉือน (Cutting Force)

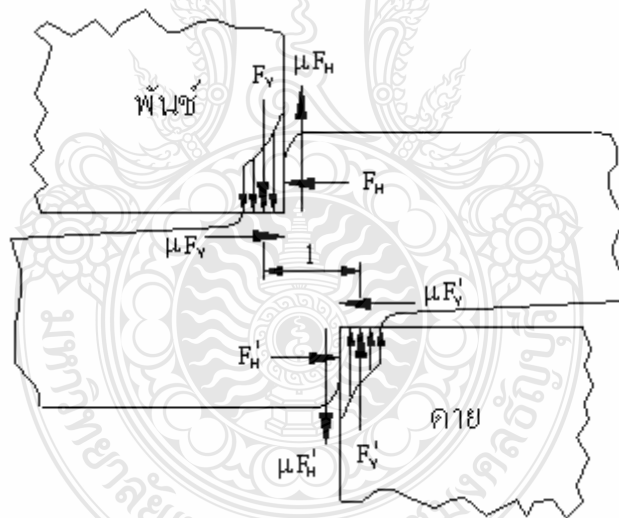
คือ แรงที่ใช้ในการกดพันช์ให้ทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ ถ้าแม่พิมพ์ชุดหนึ่งใช้พันช์หลายตัวในเวลาเดียวกัน แรงตัดก็จะเพิ่มขึ้น โดยรวมจากจำนวนของพันช์แต่ละตัวที่ใช้ สำหรับงานแม่พิมพ์ตัดทั่วไป แรงตัดเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้เครื่องปั๊มโลหะ[8]





รูปที่ 2.3 ทิศทางความเค้นในการตัดโลหะ[8]

#### 2.4 การคำนวณแรงตัดเฉือน (Cutting Force)



รูปที่ 2.4 แรงย่อยในการตัดเฉือน[9]

แรงย่อยในการตัดเฉือน แรง  $F_v$  และ  $F_v'$  กระทำห่างออกมาจากคมตัดเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากการที่ความเค้นกดในบริเวณใกล้คมตัดกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ แรงที่กระทำห่างกันเป็นระยะ  $l$  ทำให้เกิดโมเมนต์ ซึ่งพยายามดัดหรือเอียงชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จึงเกิดโมเมนต์ปฏิกิริยาขึ้นในทิศ

ตรงกันข้าม ซึ่งเป็นผลมาจากการตัดและความเค้นตั้งฉากในแนวระดับบนชิ้นงานและแม่พิมพ์ตัด (พินซ์และคาย) ความเค้นตั้งฉากในแนวระดับสามารถแทนด้วยแรงลัพธ์  $F_H$  และ  $F_H'$  นอกจากนั้นยังมีแรงในแนวระดับเกิดขึ้นเมื่อแม่พิมพ์ตัด (พินซ์และคาย) มีมุมที่ขอบไม่เท่ากับ  $90^\circ$  หรือ เมื่อผิวรอยตัดไม่ตั้งฉากกับระนาบของโลหะแผ่น นอกจากแรง  $F_V$ ,  $F_V'$ ,  $F_H$  และ  $F_H'$  แล้วยังมีแรงเสียดทานกระทำกับพินซ์และคายอีกด้วย แรงในแนวระดับ  $F_H$  และ  $F_H'$  ทำให้เกิดแรงเสียดทานบนผิวด้านข้างของพินซ์และคาย นั่นคือ  $\mu F_H$  และ  $\mu F_H'$  แรงตัดเฉือนซึ่งทำให้วัสดุเลื่อนไปบนผิวของพินซ์และคายทำให้เกิดแรงเสียดทาน  $\mu F_V$  และ  $\mu F_V'$  [10]

สมการสำหรับคำนวณค่าแรง  $F_s$  ที่ต้องการใช้ในการตัดหรือเจาะวัสดุที่กำหนดโดยให้ผิวหน้าตัดของพินซ์และคายมีลักษณะเรียบ นั่นคือไม่มีการเอียงของคมเฉือน ดังรูป 2.5

แรงที่ใช้ในการตัดสามารถหาได้จากสมการ

$$F_s = k_s \cdot l_s \cdot t \quad (\text{N}) \quad , \quad \text{สำหรับงานตัดรูปทรงใดๆ} \quad (2.1)$$

$$F_s = k_s \cdot \pi \cdot d \cdot t \quad (\text{N}) \quad , \quad \text{สำหรับงานตัดรูปวงกลม} \quad (2.2)$$

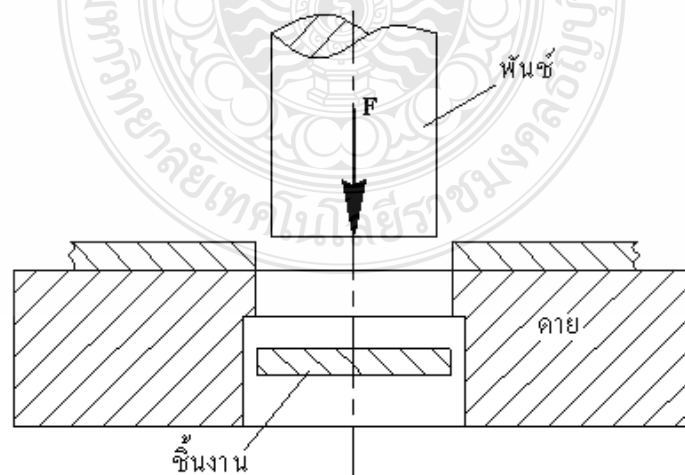
เมื่อ

$$k_s = \text{ความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุ} \quad \text{N/mm}^2$$

$$l_s = \text{ความยาวรอยตัด} \quad \text{mm}$$

$$d = \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง} \quad \text{mm}$$

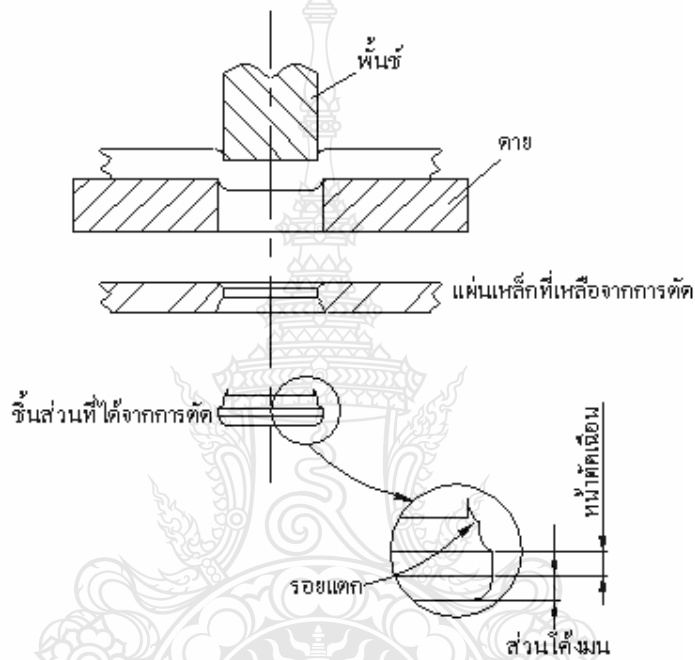
$$t = \text{ความหนาของวัสดุ} \quad \text{mm}$$



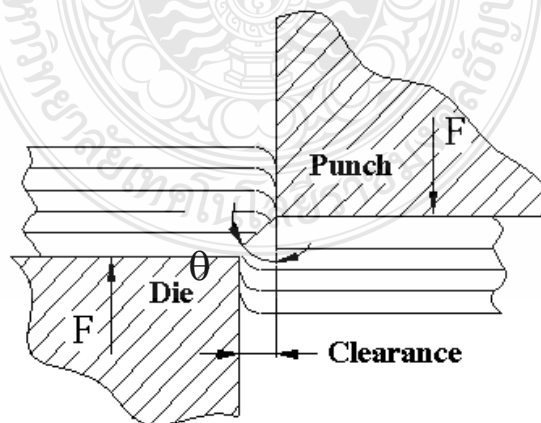
รูปที่ 2.5 พินซ์ดายในงานแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die)[11]

## 2.5 ระยะช่องว่างระหว่างคมตัด (Cutting Clearance)

ช่องว่างคมตัดระหว่างพินซ์และคาย (Clearance) มีผลต่อการตัดโลหะแผ่นของแม่พิมพ์มาก ถ้าเลือกใช้ขนาดของช่องว่างคมตัดไม่เหมาะสมจะมีผลทำให้การผลิตชิ้นงานออกมาไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ หรืออาจทำให้พินซ์และคายที่ใช้สึกหรือเร็วกว่าปกติ [12] ขนาดของช่องว่างคมตัดระหว่างพินซ์และคาย มักจะเรียกกันในหน่วยเปอร์เซ็นต์ของความหนาของโลหะแผ่นที่ใช้ในการตัด และผลจากการตัดจะมีลักษณะของรอยตัดที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รูปร่างหน้าตัดเฉือน[12]



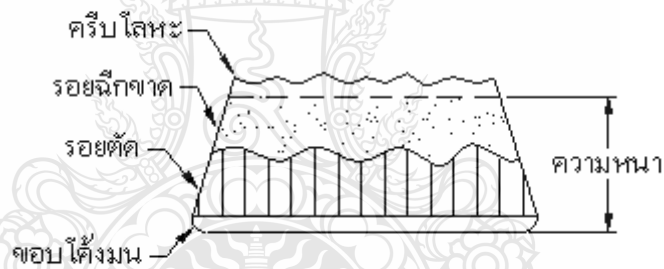
รูปที่ 2.7 ทิศทางของแรงเฉือน[12]

ในรูปที่ 2.7 เมื่อพินซ์กดลงมารอยแตกจะขยายยาวขึ้น ต่อมารอยแตกที่เกิดขึ้นที่ขอบคมตัดของพินซ์และคายจะมาบรรจบกันทำให้ขบวนการตัดเสร็จสิ้นสมบูรณ์ รอยแตกที่เกิดขึ้นจะทำมุม  $\theta$  กับทิศทางกดของพินซ์ จุดเริ่มต้นของรอยแตกทั้งสองข้างจะมีระยะห่างเท่ากับขนาดของช่องว่างคมตัดที่ใช้ ถ้าพินซ์และคายมีช่องว่างคมตัดเหมาะสมกับคุณสมบัติและความหนาของโลหะแล้ว รอยแตกทั้งสองด้านจะมาบรรจบกันพอดี ทำให้เกิดแรงต้านทานของชิ้นงานเกิดขึ้นน้อยที่สุด

### อิทธิพลของช่องว่างคมตัดที่มีต่อชิ้นงาน

ผลที่เกิดจากการกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัดในลักษณะต่าง ๆ (Effects of Cutting Clearance) ระยะช่องว่างระหว่างพินซ์และคายที่เหมาะสมสามารถดูจากสภาพรอยตัดของชิ้นงานได้ ดังนี้

#### 1. กรณีที่ระยะช่องว่างคมตัดเหมาะสม (Optimum Cutting Clearance)

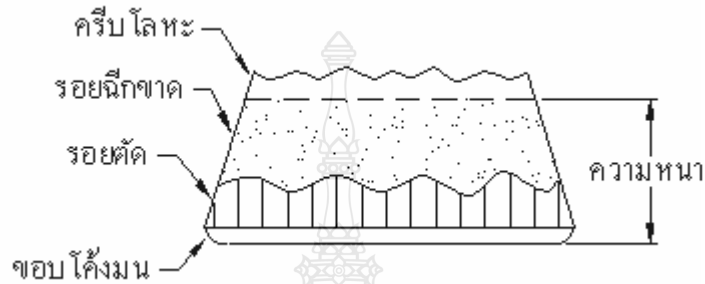


#### รูปที่ 2.8 ลักษณะชิ้นงานจากการใช้ระยะช่องว่างคมตัดที่เหมาะสม[12]

จากรูปที่ 2.8 เป็นชิ้นงานหรือเศษที่ได้จากสภาพการตัดที่เหมาะสม จากสภาวะในขั้นตอนแรกของการเปลี่ยนรูป (Plastic Deformation) ระหว่างการตัดจะเกิดขอบโค้งมน (Edge Radius) ขึ้นที่ขอบของชิ้นงาน รอยตัด (Shear Surface) ซึ่งเป็นแนวตรงมีลักษณะเงามัน เกิดจากสภาวะการตัดในขั้นตอนที่ 2 การกดลึก (Penetration) ความกว้างของรอยตัดจะมีขนาดประมาณ 1/3 ของความหนาวัสดุและสัดส่วนของรอยฉีกขาดเกิดจากปฏิกิริยาการตัดในขั้นตอนที่ 3 จะเป็นลักษณะของรอยแตกหรือการฉีกขาด(Fracture Surface)

## 2. กรณีของระยะช่องว่างคมตัดมากเกินไป (Excessive Cutting Clearance)

ผลที่เกิดจากการใช้ช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และคายมากเกินไป จากการเปรียบเทียบการใช้ระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และคายให้มากที่สุดเท่าที่จะทำการตัดวัสดุได้นั้น ผลที่ได้จากปฏิกิริยาการตัดในครั้งแรกจะเหมือนการขึ้นรูปมากกว่าการตัด ขอบโค้งมนของชิ้นงานจะใหญ่และรอยตัดจะแคบและไม่ราบเรียบสม่ำเสมอมีลักษณะเป็นรอยขรุขระดังรูปที่ 2.9

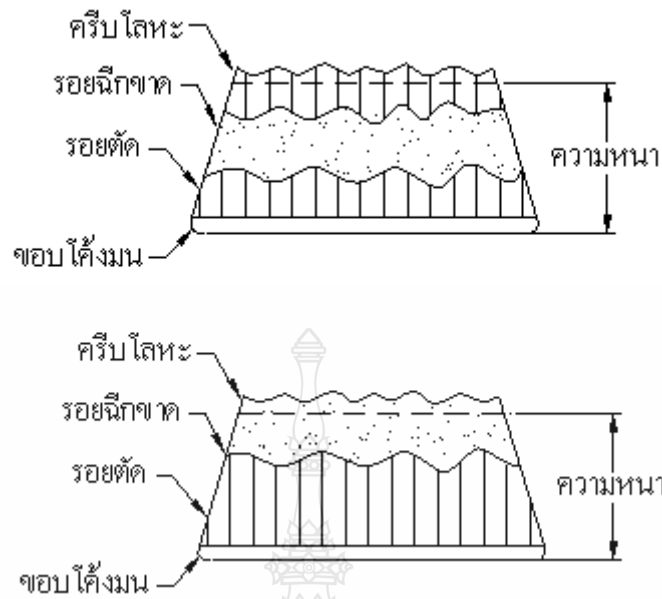


รูปที่ 2.9 ลักษณะชิ้นงานจากการใช้ระยะช่องว่างคมตัดที่มากเกินไป[12]

รอยฉีกขาดจะกว้าง เนื่องจากการฉีกขาดและอาจจะแผ่ขยายมาถึงรอยตัดและตรงมุม ทำให้เกิดเสี้ยนหรือครีปโลหะ (Burr) ขึ้นที่ขอบรอยฉีก

## 3. กรณีที่ระยะช่องว่างคมตัดน้อย (Insufficient Cutting Clearance)

แสดงผลที่เกิดจากช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และคายน้อยไป สภาพของรอยตัด จะมีรอยกว้างไม่สม่ำเสมอและอาจเกิดขึ้นมากกว่า 2 แห่ง ดังรูปที่ 2.10

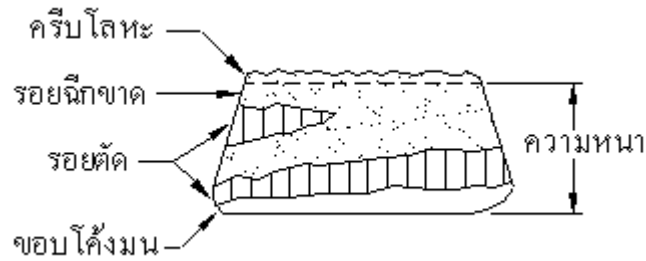


รูปที่ 2.10 ลักษณะชิ้นงานจากการใช้ระยะช่องว่างที่น้อยเกินไป[12]

เนื่องจากมุมที่สูงชันมากเกินไประหว่างพื้นและคาน เป็นอุปสรรคต่อการรักษาของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องใช้แรงกดในการฉีกวัสดุในครั้งแรกสูงกว่าปกติ ถ้ารอยแตกขยายยาวออกไปแต่ไม่บรรจบกันทำให้รอยฉีกของวัสดุไม่สมบูรณ์เกิดเป็นบางส่วนเท่านั้น แรงกดที่ยังคงมีอยู่ที่พื้นจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการครั้งที่สองขึ้นผลก็คือทำให้เกิดรอยฉีกครั้งที่สองเกิดขึ้นที่รอยตัดชิ้นงาน

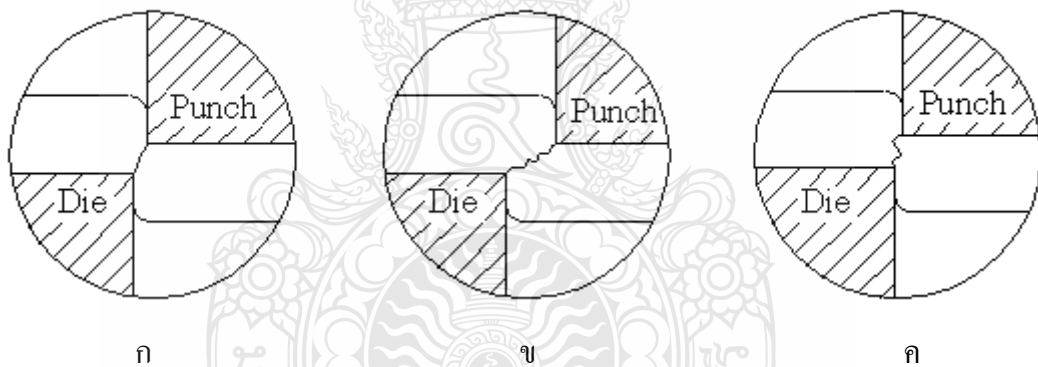
#### 4. ตำแหน่ง พื้นและคานเยื้องศูนย์กลาง

จากตำแหน่งของพื้นและคานที่เยื้องศูนย์กลางกันและกันจะทำให้พื้นและคานจะได้รับแรงไม่เท่ากันทุกจุด ทำให้รอยตัดของชิ้นงานมีลักษณะไม่เหมือนกันทุกด้าน คือด้านหนึ่งอาจจะมีลักษณะแบบเดียวกับชิ้นงานที่ได้จากการกำหนดระยะช่องว่างคมคดน้อยเกินไป ส่วนอีกด้านจะเกิดในลักษณะการกำหนดระยะช่องว่างคมคดมากเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานของพื้นและคานสั้นลงและเป็นตัวบ่งถึงความสามารถของเครื่องมือเครื่องจักรและผู้สร้างแม่พิมพ์ตัก ในการติดตั้งแม่พิมพ์ตักซึ่งสามารถตรวจพบและแก้ไขตำแหน่งการเยื้องศูนย์กลางได้ระหว่างการใช้งาน



รูปที่ 2.11 ลักษณะชิ้นงานที่เกิดจากตำแหน่งของฟันซ์และคายที่เชื่อมศูนย์กัน[12]

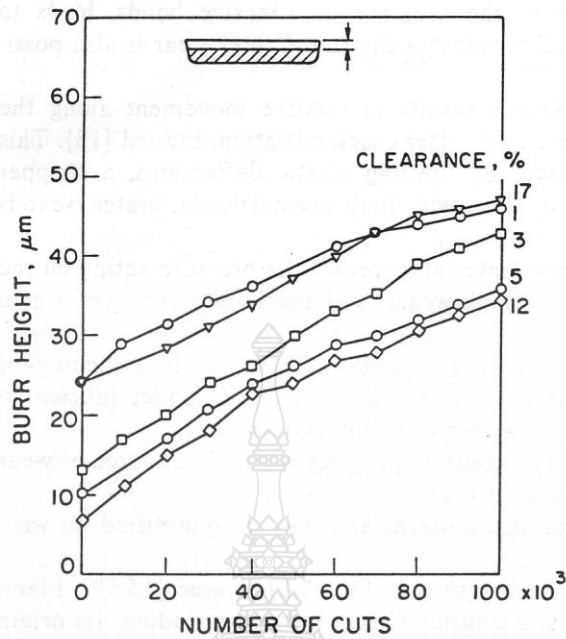
เสี้ยนหรือครีป โลหะที่เกิดขึ้นบนขอบชิ้นงาน อันเนื่องมาจากการใช้ช่องว่างระหว่างคมตัด ตัดน้อย จะดูแตกต่างไปจากครีปโลหะที่เกิดจากชิ้นงานที่ใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดมาก เพราะถ้าหาก ระยะช่องว่างระหว่างคมตัดมากครีปโลหะจะเกิดจากการดึงเนื้อโลหะให้ขาดจากกัน แต่ช่องว่างคมตัด น้อยครีปโลหะจะเกิดจากแรงกดที่ทำให้เนื้อโลหะขาดออกจากกัน[13]



- ก. ลักษณะรอยตัดเนียนของขนาดระยะช่องว่างคมตัดที่เหมาะสม
- ข. ลักษณะรอยตัดเนียนของขนาดระยะช่องว่างคมตัดที่มากเกินไป
- ค. ลักษณะรอยตัดเนียนของขนาดระยะช่องว่างคมตัดที่น้อยเกินไป

รูปที่ 2.12 ลักษณะรอยตัดเนียนในแบบต่างๆ ตามขนาดระยะช่องว่างคมตัด[13]

ตามทฤษฎีของ John A.Schey [14] ซึ่งได้กล่าวไว้ว่าความสูงครีปที่เพิ่มขึ้นนอกจากอิทธิพล ของช่องว่างคมตัดที่เพิ่มขึ้นแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเกิดครีปเช่นกัน เช่นลักษณะของคมตัด และ คุณสมบัติของวัสดุชิ้นงาน เป็นต้น ซึ่งแนวโน้มของการเกิดครีปที่ระดับช่องว่างคมตัดต่างๆ



รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบค่าความสูงครีบ[14]

ในส่วนของ การโค้งมนที่เกิดบนรอยตัดชิ้นงาน ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างคมตัดมาก จะเกิดส่วนโค้งมนสูง

## 2.6 ทฤษฎีการตัดเรียบ

ตัดเรียบนั้นเป็นกรรมวิธีที่ใช้หลังจากการตัดเฉือนมาแล้วเพื่อต้องการผิวที่เรียบไม่ต้องนำไปแต่งอีกและสามารถให้ค่าความเที่ยงตรงสูงกว่าการตัดโลหะแผ่นเพียงกรรมวิธีเดียว โดยกรรมวิธีตัดเรียบจะตัดเนื้อชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการตัดโลหะแผ่นในส่วนที่เป็นรอยฉีกขาดและครีบออก ซึ่งเป็นส่วนควบคุมขนาดได้ยากผิวเรียบที่ได้จากการตัดเรียบชิ้นงานซึ่งได้จากกรรมวิธีการตัดโลหะแผ่นมาแล้ว จะทำให้ได้ผิวเรียบประมาณ 75% ของความหนาวัสดุ [12] ในการตัดเรียบเพียงครั้งเดียวถ้าทำการตัดเรียบอีกครั้งจะทำให้ได้ผิวที่ดีกว่า คือ ประมาณ 90% ของความหนาวัสดุ ในการตัดเรียบเสาของแม่พิมพ์ต้องมีความแข็งแรงสูงเพื่อป้องกันการหนีศูนย์และอันตรายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน นอกจากนั้นจะขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุชิ้นงานและความต้านแรงของวัสดุ



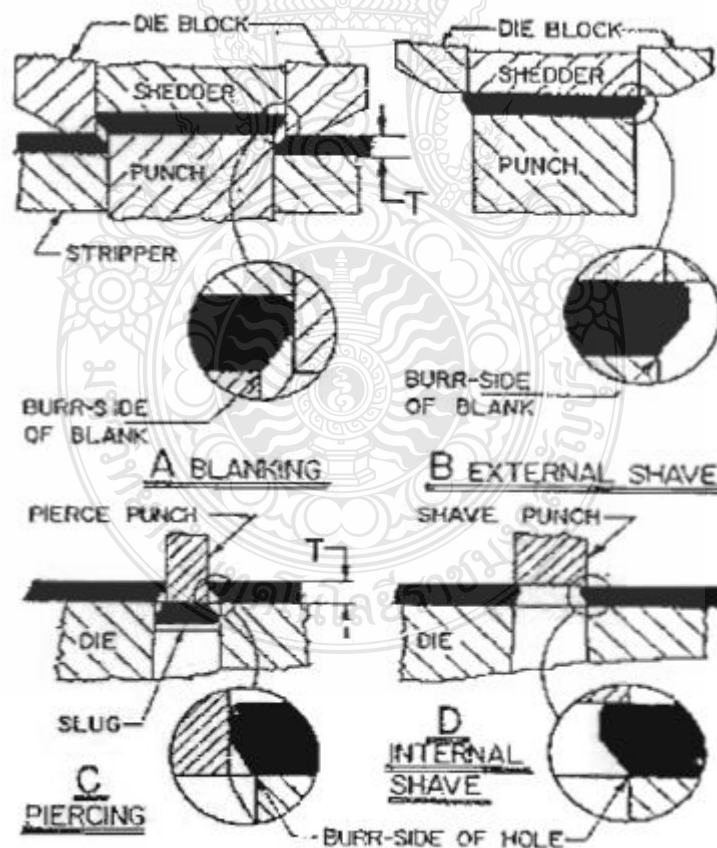
### 2.6.1 กรรมวิธีการตัดเรียบ

บางครั้งจำเป็นต้องมีการทำให้เรียบโดยการใช่กรรมวิธีการตัดเรียบ ซึ่งกรรมวิธีนี้เป็นการตัดเนื้อโลหะบางๆ ที่ผิวหน้าของรูออกด้วยคมตัดของพUNCH ซึ่งได้ถูกใช้กับการตัดแผ่นชิ้นงานและการตัดกรรมวิธีการตัดเรียบ ได้แก่ การตัดรูของแผ่นชิ้นงานให้เรียบและการตัดของชิ้นงานให้เรียบ

### 2.6.2 การตัดรูชิ้นงานให้เรียบ

ตามปกติของรูของแผ่นชิ้นงานที่ถูกต้องกรรมวิธีการเพรสขึ้นรูปจะไม่เรียบ ไม่เป็นมุมฉากกับผิวหน้า จึงต้องใช้กรรมวิธีตัดเรียบเพื่อการปรับปรุงผิวของรูและการปรับปรุงขนาดที่ถูกต้องของรูของแผ่นชิ้นงานและระยะห่างระหว่างรูบนแผ่นชิ้นงาน

กรรมวิธีการตัดเรียบดังรูปที่ 2.14 ได้ถูกทำแยกออกมาต่างหากโดยใช้แม่พิมพ์โดยใช้แม่พิมพ์อีกหนึ่งสถานีงานของแม่พิมพ์แบบต่อเนื่องซึ่งผิวบางๆ ที่ขอบรูจะถูกตัดออกด้วยกรรมวิธีนี้



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนกรรมวิธีการตัดรูและขอบ[12]

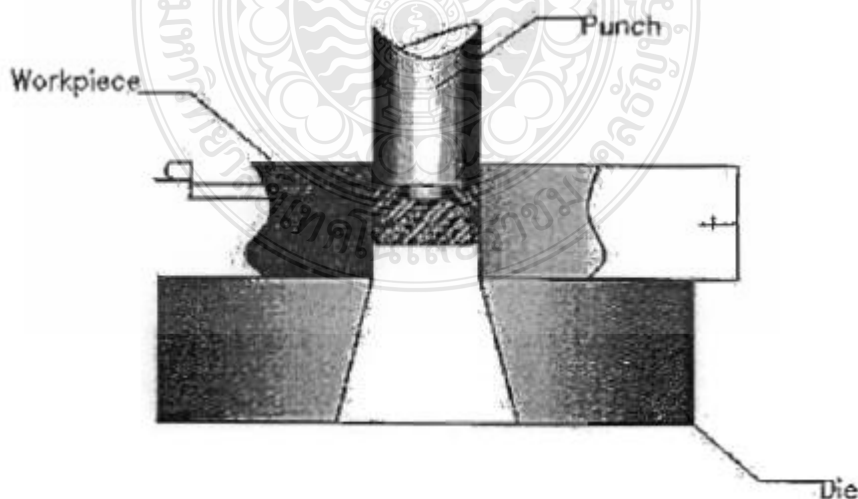
ซึ่งค่าความดันขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุชิ้นงานและพื้นที่หน้าตัดเศษโลหะที่เป็นวงแหวน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความดันที่ระบุขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุและพื้นที่ตัดเศษโลหะ ที่เป็นวงแหวน [12]

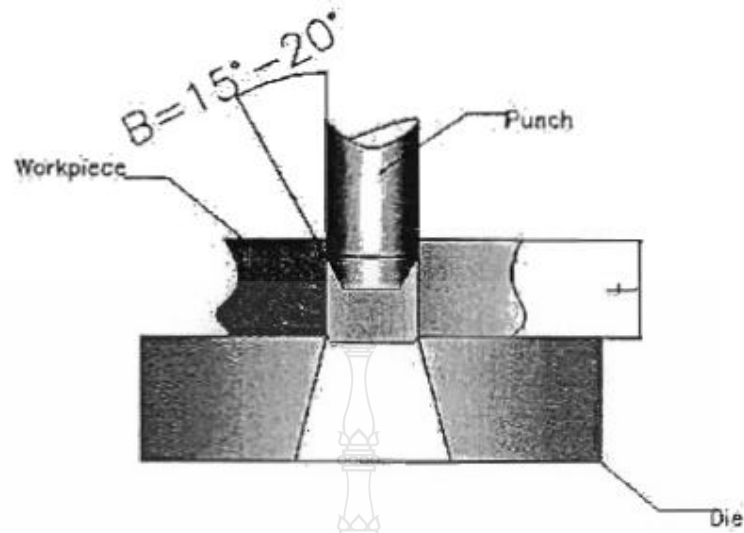
ความหนาวัสดุ (mm)	ค่าความดัน (mm <sup>2</sup> )						
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.27	0.3
0.4 to 0.5	1961	1765	1560	1375	1175	1080	980
0.6 to 2.0	2100	1900	1670	1225	1130	1125	1030
2.1 to 3.0	2250	2010	1765	1520	1175	1175	1080

### 2.6.3 การตัดรูและการตัดเรียบด้วยพัลส์ตัวเดียวกัน

ขั้นตอนแรกพัลส์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กจะต้องตัดรูก่อนต่อมาพัลส์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่จะตัดเรียบที่ขั้นตอนการตัดของรูดังรูปที่ 2.15 วัสดุจะถูกตัดเฉือนในระนาบ AB ก่อน ถ้าพัลส์ถูกทำเป็นรูปร่างกรวย ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งในรูปกระบวนการจะถูกทำให้สมบูรณ์ในสองขั้นตอนคือขั้นตอนแรกพัลส์จะตัดชิ้นงานเล็ก (0.5 ถึง 0.75 t) แต่วัสดุชิ้นงานที่ถูกตัดยังไม่ถูกแบ่งแยก ขั้นตอนที่สองจะเกิดการแตกของวัสดุชิ้นงานในขั้นตอนแรกให้เห็นและพัลส์ขนาดใหญ่จะตัดชิ้นงานให้เรียบข้อดีของวิธีนี้พัลส์จะมีความคมตลอดเวลา

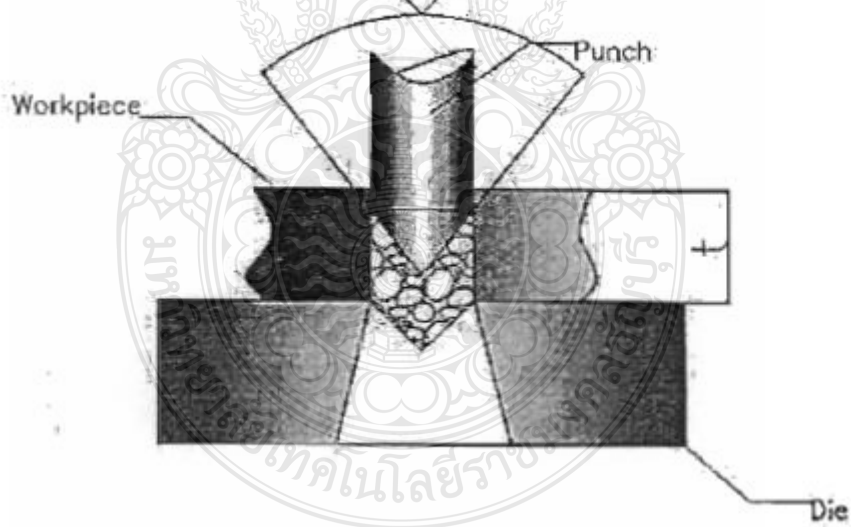


รูปที่ 2.15 พัลส์ที่ทำหน้าที่ตัดรูและตัดเรียบนิยมใช้วัสดุทองเหลืองผสมหรืออลูมิเนียมผสม[12]



รูปที่ 2.16 พันธ์ทรงกรวยจะทำหน้าที่ตัดรูและตัดเรียบ[12]

รูปพันธ์เป็นทรงกรวยแหลมดังรูปที่ 2.17 จะตัดกินลึกลงไปในเรื่องานประมาณ (0.7t ถึง 0.9t) ต่อมาพันธ์ขนาดใหญ่จะลงมาตัดรูให้เรียบ



รูปที่ 2.17 พันธ์รูปทรงกรวยปลายแหลมได้ถูกนำมาตัดรูและตัดเรียบ[12]

#### 2.6.4 การตัดเรียบที่แผ่นชิ้นงาน

ชั้นบางๆ ของวัสดุชิ้นงานจะถูกนำออกจากผิวขอบของแผ่นชิ้นงานคล้ายกรรมวิธีการตัดภาพที่ 2.18 เป็นการแสดงกรรมวิธีการตัดขอบของแผ่นชิ้นงานให้เรียบและมีขนาดที่ถูกต้อง ถ้าแผ่น

ชิ้นงานภายหลังการตัดกรรมวิธีนี้แล้วจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ  $D$  ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ 펀ช์สำหรับการตัดชิ้นงาน หาได้จาก

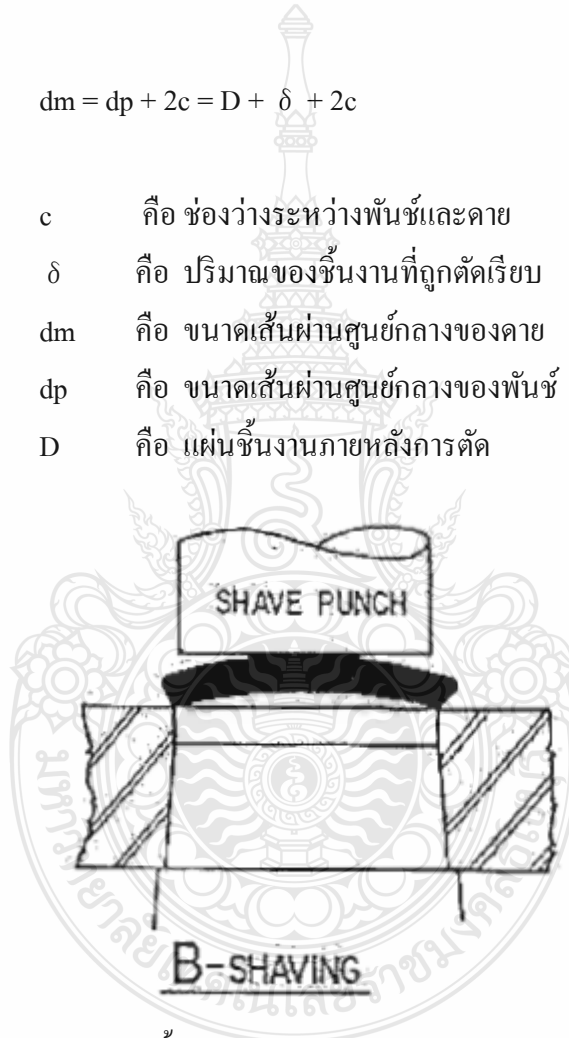
$$dp = D + \delta \quad (2.12)$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคายสำหรับตัดแผ่นชิ้นงานหาได้จาก

$$dm = dp + 2c = D + \delta + 2c \quad (2.13)$$

ในการนี้

- $c$  คือ ช่องว่างระหว่าง 펀ช์และคาย
- $\delta$  คือ ปริมาณของชิ้นงานที่ถูกตัดเรียบ
- $dm$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาย
- $dp$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ 펀ช์
- $D$  คือ แผ่นชิ้นงานภายหลังการตัด



รูปที่ 2.18 การตัดเรียบขอบของแผ่นชิ้นงาน[12]

ค่าช่องว่างของแม่พิมพ์สำหรับเซฟวิ่งอลูมิเนียมค่า  $c$  หาได้จากตารางที่ 2.2 ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นชิ้นงานและชิ้นของวัสดุ

ตารางที่ 2.2 แสดงระยะช่องว่างแม่พิมพ์สำหรับเซฟวิงอลูมิเนียม [12]

ความหนา (mm)	ตัดเรียบครั้งแรก (mm)	ตัดเรียบครั้งสุดท้าย (mm)
0.762	-	0.120
1.270	-	0.152
1.524	-	1.178
2.032	0.177	0.076
2.54	0.203	0.102
3.175	0.254	0.127
4.445	0.330	0.178
6.350	0.508	0.254

ค่าปริมาตรของชิ้นงานที่ถูกตัดเรียบ ( $\delta$ ) หาได้จากตารางที่ 2.3 ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นชิ้นงานและชิ้นของวัสดุ

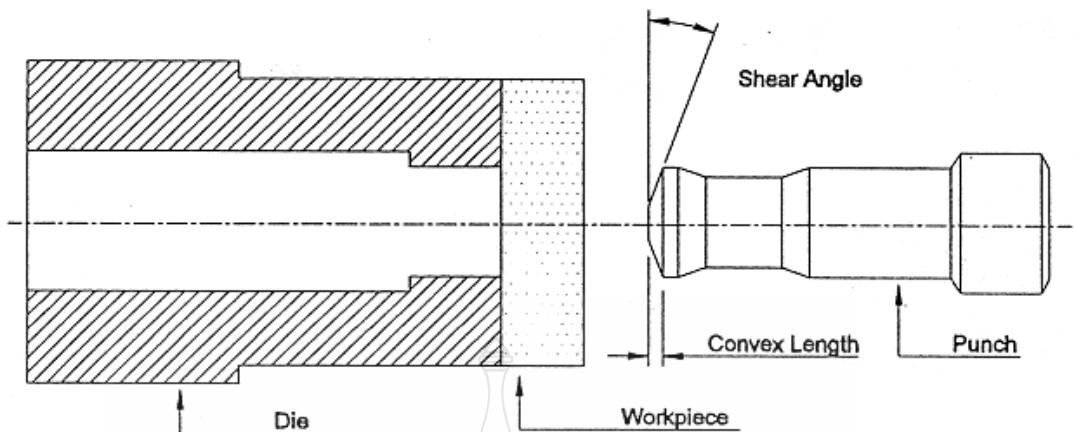
ตารางที่ 2.3 ค่า  $\delta$  ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นชิ้นงานและชิ้นของวัสดุ [12]

ความหนาของวัสดุ (mm)	วัสดุ		
	ทองแดง อลูมิเนียมคาร์บอนต่ำ	เหล็กกล้าคาร์บอน	เหล็กกล้าคาร์บอนสูง
0.5 to 1.4	0.10 to 0.15	0.15 to 0.20	0.15 to 0.25
1.5 to 2.8	0.15 to 0.20	0.20 to 0.25	0.20 to 0.30
3.0 to 3.8	0.20 to 0.25	0.25 to 0.30	0.25 to 0.35
4.0 to 5.2	0.25 to 0.30	0.30 to 0.35	0.30 to 0.40

## 2.7 งานวิจัยที่ผ่านมา

S.Y LUO : [15]

ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของพันธะในงานตัดโลหะแผ่นเป็นชิ้นงานกลมโดยใช้วัสดุ AISI 52100 ที่มีค่าความหนาต่างๆ



รูปที่ 2.19 ลักษณะการกำหนดขนาดและรูปร่างของ 펀ช์และคาย[15]

โดยการกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ 펀ช์ที่ 13.6 มม. และ 15.7 มม. และกำหนดมุมตัดรวมในการตัดเฉือนของ 펀ช์ที่ 12.5 องศา และ 20 องศา (ดังรูปที่ 2.19) และกำหนดลักษณะของผิวฟันช์เป็นแบบขัดมันและเคลือบผิว โดยกำหนดวัสดุที่ใช้ทำฟันช์เป็นเหล็กโรบสูง (High Speed Steel) และกำหนดค่าความแข็งที่ 65 – 67 HRC ทำการทดลองตัดชิ้นงานแล้วทำการสังเกตและวัดค่าการสึกหรอของฟันช์โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และเครื่อง Optical Stereoscope จากผลการทดลองรูปแบบการสึกหรอของฟันช์ที่มีมุมตัดรวม 12.5 องศา การสึกหรอจะเกิดบริเวณด้านข้างของคมตัด (Side Wear) เป็นลักษณะการสึกหรอเนื่องจากการเกาะติด (Adhesive Wear) ส่วนรูปแบบการสึกหรอของฟันช์ที่มีมุมตัดรวม 20 องศา การสึกหรอจะเกิดบริเวณด้านข้างคมตัดและผิวด้านหน้า (Face Wear) ของคมตัดเนื่องมาจากความล้า (Fatigue Wear) ทำให้เกิดการสึกหรอที่ผิวหน้าของฟันช์มากขึ้น

### C. JIA, Y. WANG and H. XUE : [16]

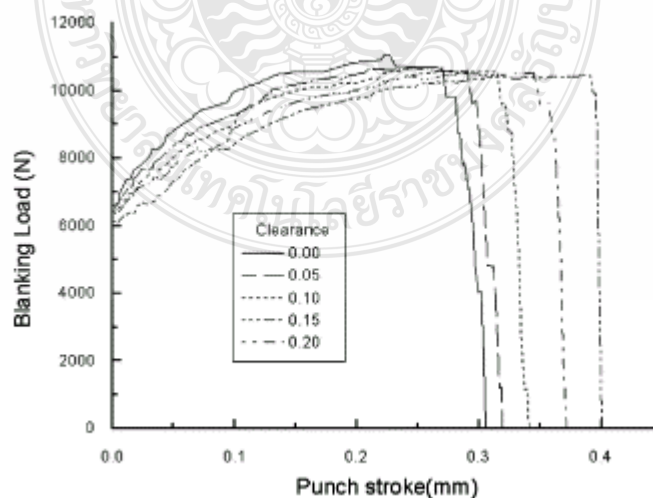
ทำการศึกษากระบวนการพื้นฐานของการเกิดการสึกหรอและการขยายตัวของการสึกหรอ โดยอาศัยเครื่องทดสอบการสึกหรอแบบพิเศษ (Wear Testing Machine) ในการทดสอบวัสดุทุกชนิด Metal Pin Versus Glass หรือ Metal Coating Glass ทำการเคลื่อนที่ในแนวราบ (Sliding) ด้วยความเร็ว 0.2 มม./วินาที และใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ช่วยในการศึกษาพฤติกรรม การเกิดการสึกหรอและการขยายตัวของการสึกหรอ จากการศึกษาได้พบพื้นฐานของการสึกหรอและการขยายตัวของการสึกหรอ 4 รูปแบบ

1. การเกิดการสึกหรอของอนุภาคเล็ก ๆ โดยมีการขยายตัวในช่วงเวลาที่ผ่านมาการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Plastic Deformation) ในลักษณะการเกิดรอยขีด
2. การขยายตัวของ การสึกหรอ โดยการถู (Plowing) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น
3. การขยายตัวของ การสึกหรอ เนื่องจากแรงดึงคูดขณะผ่านการรีด (Rolling)
4. การขยายตัวของ การสึกหรอ ที่เป็นแบบผสมในลักษณะที่มีการเกิดรอยครูดและรอยถูผสมกันหลายขั้นตอน เช่น จะเกิดลักษณะเป็นรอยใหม่ ๆ แล้วเกิดการถูและขีดกัน

ในการทดสอบนี้ได้นำเครื่อง SEM มาช่วยในการศึกษาพฤติกรรม การเกิดการสึกหรอและการขยายตัวของ การสึกหรอ ที่ทำการทดสอบ เพราะจะมีความชัดเจนในการตรวจสอบมาก ผลจากการใช้เครื่อง SEM จะมีกำลังขยายมากกว่าเครื่อง Optical Microscope

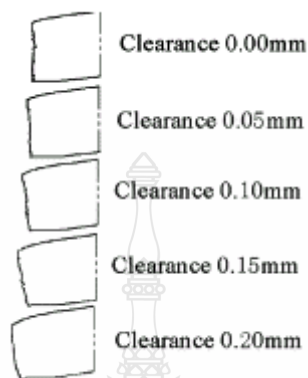
### Gang Fang ,Pan Zeng and Lulin Lou : [17]

ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของระยะห่างคมตัดของฟันซ์และคาย ที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ตัด ซึ่งจะทำการเก็บผลการทดลองในรูปของแรงตัด ความเที่ยงตรงและคุณภาพของรอยตัดชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองการทำงาน ในการทดลองกำหนดชนิดวัสดุชิ้นงานเป็น Aluminum Alloy 2040 ความหนา 1 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาย 20 มม. และกำหนดขนาดของฟันซ์ เพื่อให้ได้ค่าระยะห่างระหว่างคมตัด 0 , 0.05 , 0.1 , 0.15 และ 0.2 มม. หรือ 0% , 5% , 10% , 15% และ 20% ตามลำดับ ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบแรงตัดที่ระยะห่างคมตัดมาก จะให้ค่าแรงตัดต่ำที่สุด และที่ระยะห่างคมตัดน้อยจะให้ค่าแรงตัดสูงที่สุด ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 กราฟเปรียบเทียบแรงตัดชิ้นงานที่ระดับช่องว่างคมตัดต่างๆ [17]

ค่าของแรงตัดจะเริ่มคงที่เมื่อค่าช่องว่างคมตัดถึงที่ 20 % ของความหนาชิ้นงาน ในส่วนของชิ้นงานลักษณะของรอยตัดเฉือนที่ชิ้นงานจะเกิดเป็น 4 ลักษณะ คือส่วนโค้งมน(Die Roll) ส่วนการตัดเฉือน(Shear Zone) ส่วนการแตก(Fracture) และส่วนของการเกิดครีป(Burr High)



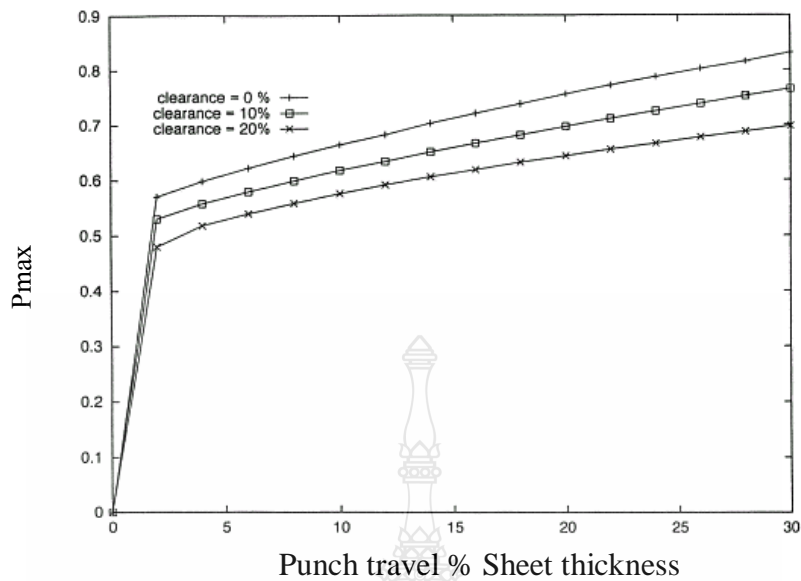
รูปที่ 2.21 ลักษณะของรอยตัดชิ้นงานจากการกำหนดช่องว่างคมตัดต่างกัน[17]

จากการทดลองที่ระดับของช่องว่างคมตัดทั้ง 5 ระดับ สรุปได้ว่าระยะห่างคมตัดมีผลต่อลักษณะของรอยตัดเฉือนชิ้นงาน คือ กรณีที่ระยะช่องว่างคมตัดมากขึ้นงานจะเกิด ส่วนโค้งมน ส่วนการแตก และเกิดครีปสูง แต่จะเกิดส่วนการตัดเฉือนน้อย

#### A.M.Goijaerts , L.E.Govaert และ F.P.T. Baaiens [18]

ได้ทำการศึกษาลักษณะของรอยตัดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานจากแม่พิมพ์ตัด ซึ่งในการทดลองได้มีข้อกำหนดในการทดลอง ดังนี้ คือ รัศมีคมตัดพันซ์ และดาบ ความเร็วในการตัด และระยะห่างคมตัด แม่พิมพ์ วัสดุชิ้นงานกำหนดเป็น เหล็กกล้าไร้สนิม X30Cr13 ความหนา 1 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดาบ 10 มม. กำหนดขนาดของพันซ์ คือ 9.98 , 9.94 , 9.88 และ 9.70 มม. เพื่อให้ได้ค่าระยะช่องว่างคมตัด 5 ระดับ คือ 1, 3, 6, 10 และ 15% ของความหนาชิ้นงาน และกำหนดค่าแรงกดชิ้นงาน (Blank Holder Force) คงที่ จากการทดลองจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองจากรอยตัด และแรงตัดของชิ้นงาน



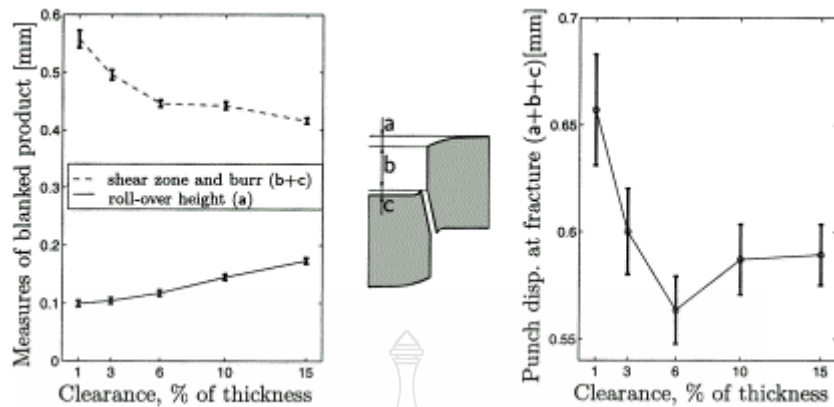


รูปที่ 2.22 กราฟแสดงอิทธิพลของช่องว่างคมตัดที่มีผลต่อแรงตัดชิ้นงาน[18]

ผลการทดลอง (ดังรูปที่ 2.22) ผู้วิจัยสรุปเกี่ยวกับค่าระยะช่องว่างคมตัดไว้ว่า มีผลต่อคุณภาพรอยตัดชิ้นงาน คือกรณีที่ช่องว่างคมตัดน้อย กรีบที่ชิ้นงานจะเกิดขึ้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ได้จากการกำหนดค่าช่องว่างคมตัดมาก ส่วนแรงในการตัดชิ้นงานจะสูงเมื่อกำหนดค่าช่องว่างคมตัดน้อยและจะใช้แรงตัดน้อยกว่าเมื่อกำหนดค่าช่องว่างคมตัดมากขึ้น ซึ่งระดับของแรงตัดชิ้นงานจะมากหรือน้อย นอกจากเกิดจากการกำหนดค่าช่องว่างคมตัดแล้ว ยังต้องคำนึงถึงลักษณะของการสึกหรอและความเสียดทานที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ขณะการทำงานด้วย

**S.K.Maiti , A.A.Ambekar , U.P.Singh , P.P.Date และ K.Narasimhan [19]**

ทำการศึกษาพฤติกรรมการตัดชิ้นงานที่มีความหนาแน่นน้อย ๆ (0.1 – 1 มม.) โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ จำลองการทำงานและเก็บผลการทดลอง ในการทดลองนี้ จะทำการศึกษาอิทธิพลของระยะห่างคมตัด แรงเสียดทาน ความหนาชิ้นงาน ขนาดชิ้นงาน และลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน เพื่อจะศึกษาผลของลักษณะของรอยตัดชิ้นงาน และแรงตัด โดยกำหนดปัจจัยการทดลองดังนี้ ให้ความหนาชิ้นงาน 1 มม. ระยะห่างคมตัด 0 , 10 และ 20% ของความหนาชิ้นงาน ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.15 ชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ระยะห่างของคมตัดมีผลต่อแรงตัดของชิ้นงาน คือที่ระยะช่องว่างของคมตัดน้อยจะใช้แรงตัดชิ้นงานสูงและที่ระยะช่องว่างของคมตัดมากจะใช้แรงตัดชิ้นงานต่ำกว่า และแรงตัดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระยะการกดลึกมากขึ้น

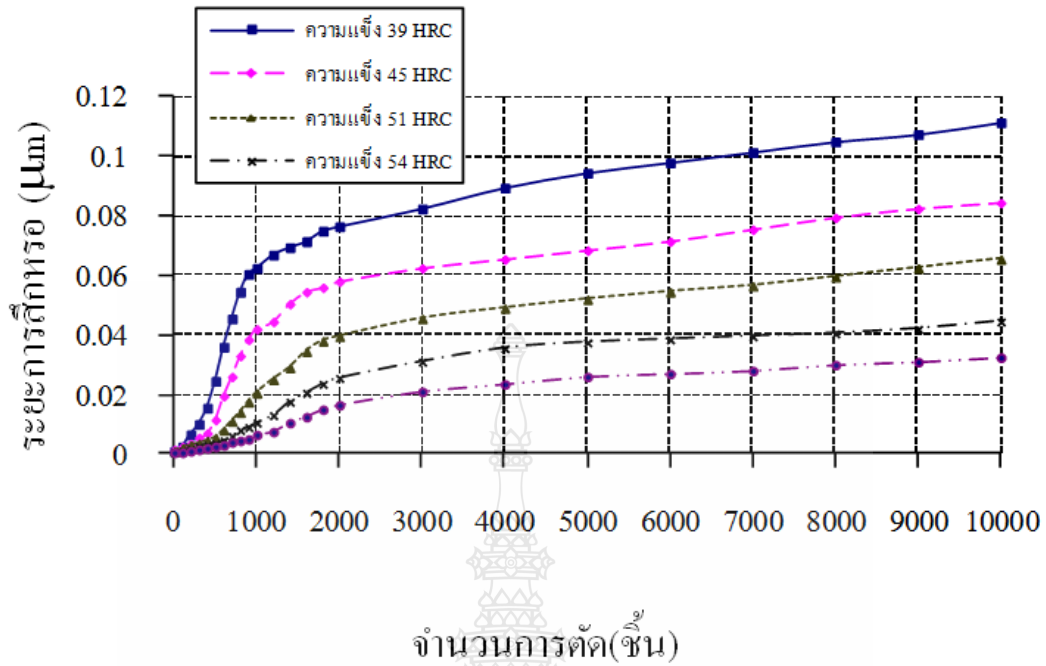


รูปที่ 2.23 แรงตัดชิ้นงานที่วัดได้จากแม่พิมพ์ตัดที่ระยะช่องว่างคมตัดต่างกัน[19]

จากผลการทดลองนี้ผู้วิจัยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้ คือ ค่าของแรงตัดจะมีค่าสูงที่ระยะช่องว่างคมตัดน้อย และค่าระยะช่องว่างคมตัดในช่วง 0 – 20 % ของความหนาชิ้นงานจะไม่มีผลต่อขนาดของชิ้นงานที่ได้ และแรงตัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้นเนื่องการเสียดสีที่เกิดขึ้นสูง ระหว่างพUNCH ดาย และชิ้นงาน ที่อัตราส่วนขนาดความโตต่อความหนาของชิ้นงานจะสามารถลดแรงตัดได้ และที่ระยะห่างคมตัดประมาณ 10 % ของความหนาชิ้นงานจะเหมาะสมที่สุด เนื่องจากคุณภาพของชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพดีที่สุด

### โกสิทธิ์ มงคลภิญโญกุล[10]

ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดวัสดุ JIS S45C โดยทำการศึกษาอิทธิพลของความแข็งแม่พิมพ์ตัด โดยการกำหนดระดับความแข็งที่แตกต่างกันและทำการตัดแผ่นชิ้นงานวัสดุ JIS G3141 SPCC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ความหนา 0.8 มม. การทดลองจะทำการติดตั้งแม่พิมพ์ตัดบนเครื่องปั๊มแบบเพลลาข้อเหวี่ยงกำลัง 630 kN โดยแม่พิมพ์ตัดมีความแข็ง 60 HRC ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลของ แรงตัด ระยะการสึกหรอ น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง ความสูงครีบน้ำมัน และภาพถ่ายลักษณะการสึกหรอของชุดแม่พิมพ์ตัด โดยพิจารณาพื้นที่และตาย เมื่อทำการตัดพบว่าเมื่อทำการตัดชิ้นงานน้อยกว่า 2,000 ชิ้น การสึกหรอจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อทำการตัดมากกว่า 2,000 ชิ้น การสึกหรอจะเกิดช้าลง ซึ่งค่าความแข็งของแม่พิมพ์มีผลต่อค่าการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด แม่พิมพ์ตัดที่มีค่าความแข็งสูงเกิดการสึกหรอน้อย และที่แม่พิมพ์ที่มีค่าความแข็งน้อยการสึกหรอจะเกิดขึ้นสูง ชุดแม่พิมพ์ที่มีค่าความแข็งสูงจะให้แรงตัดในช่วงแรกและแรงตัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้อยกว่าแม่พิมพ์ตัดที่มีค่าความแข็งต่ำเมื่อจำนวนการตัดเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการสึกหรอช้ากว่า ทำให้การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและความสูงของครีบน้ำมันน้อยกว่า ชุดแม่พิมพ์ที่มีค่าความแข็งต่ำ

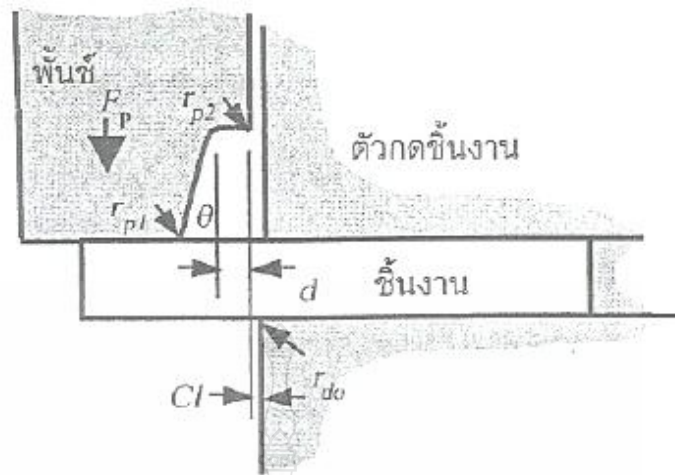


รูปที่ 2.24 ค่าระยะการสึกหรอของพันธแม่พิมพ์ตัดวัสดุ JIS S45C[10]

จากรูปที่ 2.24 แสดงให้เห็นว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับพันธในงานแม่พิมพ์ตัดจะเกิดขึ้นสูงเนื่องจากพันธจะเกิดแรงเสียดทานขึ้นสูง แรงเสียดทานจะเกิด 2 จังหวะการตัด จังหวะแรกคือขณะการกัดตัดให้ชิ้นงานขาดออกจากกันและแรงเสียดทานกับผิวด้านข้างของรูชิ้นงานขณะที่พันธยกขึ้น ทำให้ค่าการสึกหรอเกิดขึ้นสูงกว่าที่ตาย ลักษณะการสึกหรอจะเกิดขึ้นสูงในช่วงแรกของการตัดและจะเริ่มคงที่เมื่อจำนวนการตัดเพิ่มขึ้น

### C. Stromberger และคณะ [4]

ได้ทำการนำเสนอการตัดเซฟโดยใช้สเตปเทเปอร์พันธ ซึ่งมีลักษณะเป็นสเตปสำหรับกระบวนการตัด เฉือนและสำหรับกระบวนการตัดเซฟจึงทำให้สามารถทำการตัดได้อย่างต่อเนื่องของการเคลื่อนที่พันธหนึ่งสโตรกดังแสดงในรูปที่ 2.25



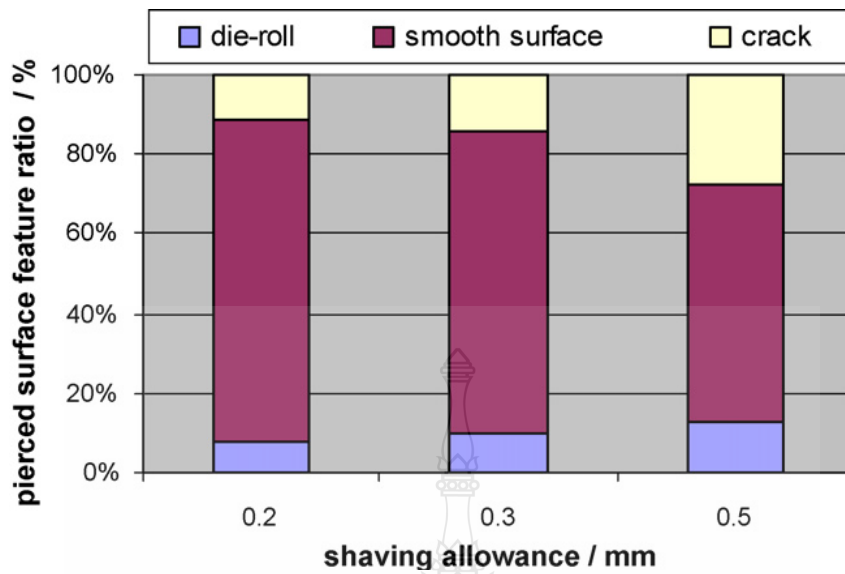
รูปที่ 2.25 กระบวนการตัดเนื้อด้วยสเตปเทเปอร์พื้นที่[4]

**M. Murakawa และคณะ [5]**

ได้ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยแรงของกระบวนการตัดเนื้อและค่าระยะเพื่อเซฟของกระบวนการ การตัดเซฟโดยการใช้เทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์

**T. Sutasn และคณะ[3]**

ศึกษาความสัมพันธ์ของระยะเพื่อเซฟและผิวงานตัดในกระบวนการตัดเนื้อด้วยสเตปเปอร์พื้นที่ โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยทำการตัดวัสดุอลูมิเนียม A1100-O ความหนา 3 มิลลิเมตรมุมเทเปอร์พื้นที่ เท่ากับ 6 องศาโดยใช้ช่องว่างระหว่างพื้นที่และดาบในการตัดเจาะคือ 0.2, 0.3, 0.5 มิลลิเมตร จากผลการศึกษาจะทำการสรุปได้ว่ากระบวนการตัดด้วยเทเปอร์พื้นที่สามารถลดขั้นตอนการตัดได้ โดยที่ให้ผลของคุณภาพผิวงานตัดที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการตัดเนื้อและตัดเซฟโดยกระบวนการปกติ นอกจากนี้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ยังสามารถทำการอธิบายถึงกลไกและผลของค่าระยะเพื่อเซฟได้



รูปที่ 2.26 ผลของคุณภาพผิวงาน (A1100-O,  $t = 3\text{mm}$ ,  $Clss = 0\%$ ,  $\alpha = 6^\circ$ ). [3]

#### H. Sasahara และคณะ [20]

ได้ทำการศึกษาถึงกลไกการตัดเซฟด้วยเทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์จากที่กล่าวข้างต้น กระบวนการตัดเซฟด้วยสเตปเทเปอร์ฟันซ์ สามารถทำการลดขั้นตอนการทำงานลงได้ ซึ่งส่งผลทำให้ขั้นตอนของการทำงานลดลงได้ ซึ่งส่งผลทำให้ต้นทุนลดลง



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วนดังนี้ ส่วนแรกคือทำการตัดเจาะ (Piercing) ชิ้นงานให้เป็นรูกลม ส่วนที่สองคือการปรับปรุงด้วยกระบวนการตัดเซฟวิ่ง (Shaving) เพื่อวัดส่วนต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับขอบตัดของชิ้นงาน คือ ส่วนของการเกิด โค้งมน (Edge Radius) ส่วนเรียบตรง (Shear Surface) รอยฉีกขาด (Fracture Surface) และครีป (Burr) ที่ได้จากการทดลอง ทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลเพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ดีและเหมาะสมกับกระบวนการตัดเซฟวิ่ง ซึ่งมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

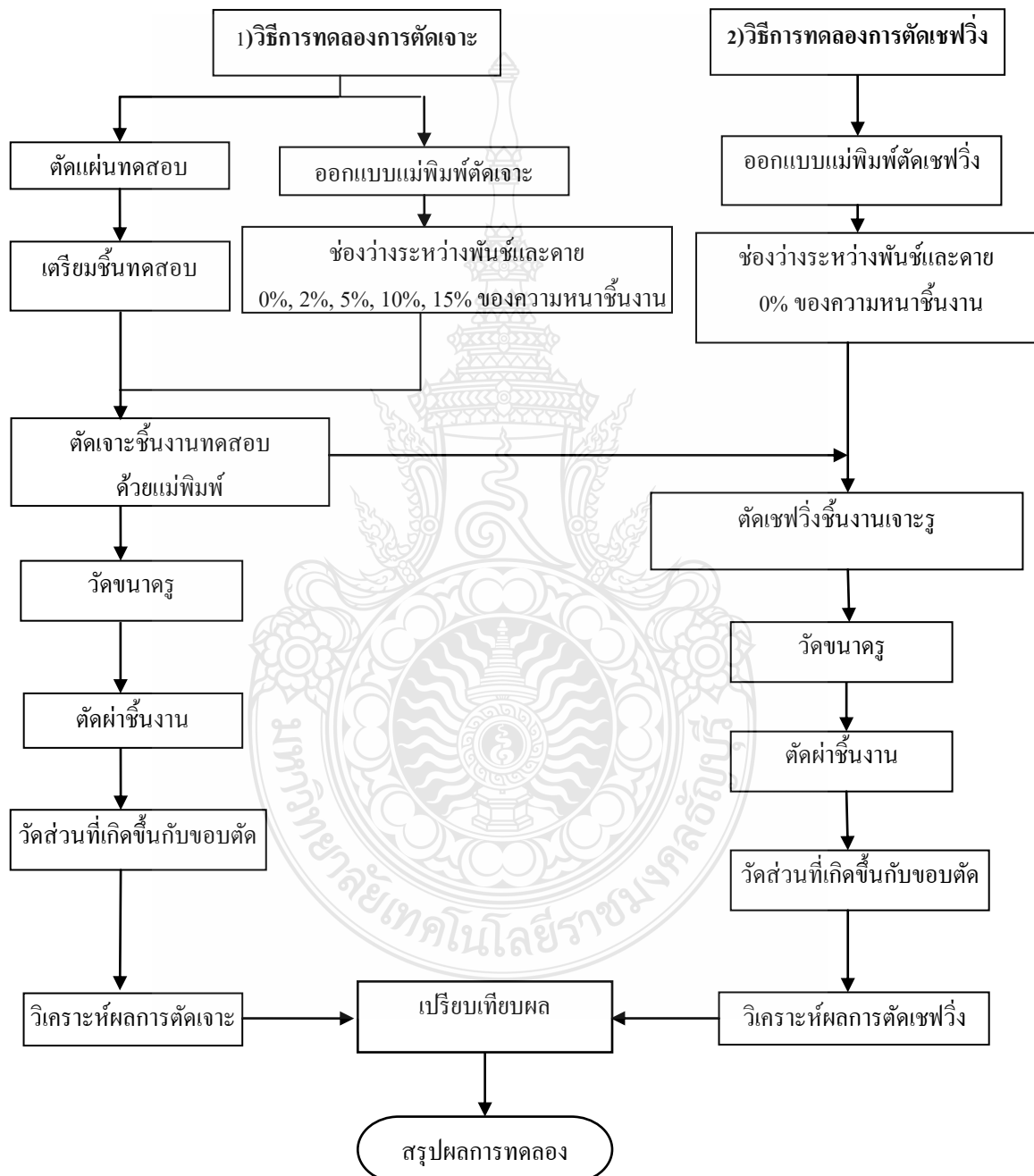
1. เครื่องและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการวิจัย
2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
3. การเก็บผลและเปรียบเทียบผลการทดลอง

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการวิจัย

- |  |           |
|--|-----------|
| 1. เครื่องเพรสแบบ Eccentric press ขนาด 60 ตัน        | 1 เครื่อง |
| 2. แม่พิมพ์ในกระบวนการตัดเจาะ                        | 1 ชุด     |
| 3. แม่พิมพ์ในกระบวนการเซฟวิ่ง                        | 1 ชุด     |
| 4. เครื่องวัดขนาด Coordinate Measuring Machine (CMM) | 1 ชุด     |
| 5. กล้องจุลทรรศน์ Optical Microscopes                | 1 ชุด     |
| 6. เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน                       | 1 ชุด     |
| 7. เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ                            | 1 ชุด     |
| 8. คอมพิวเตอร์และปรี้นเตอร์                          | 1 ชุด     |
| 9. โปรแกรมช่วยในการออกแบบ                            | 1 โปรแกรม |

### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกทำการตัดเจาะชิ้นงานตรวจสอบลักษณะของขอบตัดชิ้นงาน ส่วนที่สองเป็นการปรับปรุงคุณภาพของขอบตัดชิ้นงานโดยกระบวนการตัดเซฟวิ่ง



รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินการวิจัยการศึกษาอิทธิพลของตัวแปลที่มีผลต่อกระบวนการตัดเซฟวิ่ง

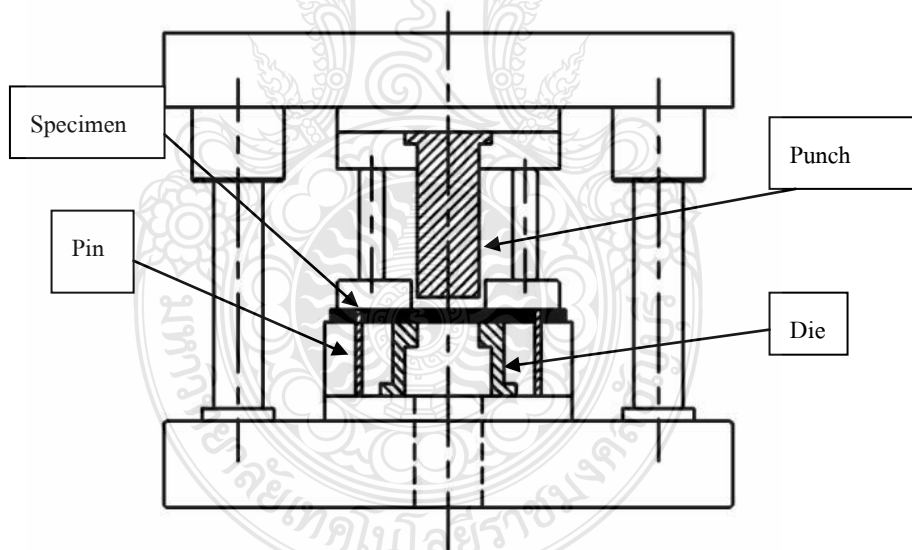


จากแผนภาพการดำเนินการวิจัยทั้งสองส่วนสามารถแสดงรายละเอียดมีขั้นตอนดังนี้

1. ออกแบบให้สามารถถอดเปลี่ยนชุดพunch และคay(Die) ได้เพื่อสะดวกต่อการปรับเปลี่ยนขนาดของพunch ดังรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 ซึ่งพunchและคayผ่านกระบวนการชุบแข็งโดยมีความแข็งเท่ากับ  $60\pm 1\text{HRC}$  และได้ออกแบบการกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานโดยการใช้สลัก (Pin) ในการกำหนดความเที่ยงตรงในชุดแม่พิมพ์



รูปที่ 3.2 ลักษณะพunchและคayในการทดลอง



รูปที่ 3.3 ชุดแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลอง

2. ในการออกแบบแม่พิมพ์ในงานวิจัยนี้กำหนดให้คayมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 20 มิลลิเมตร โดยที่มีขนาดช่องว่างระหว่างพunchและคay 0%, 2%, 5%, 10%, และ 15% ของความหนาชิ้นงาน โดยที่คำนวณได้จากสมการ (ตามภาคผนวก ข)



$$D_p = D_d - 2cl \quad (3.1)$$

เมื่อ

$D_p$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของพunch (Punch)

$D_d$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของ Die)

$cl$  = ช่องว่างระหว่างพunchและคาย

**ตารางที่ 3.1** ขนาดของพunchที่ใช้ในการทดลอง

ระยะช่องว่างระหว่างพunchและคาย (%)	ขนาดของพunchในการตัดเจาะความหนาชิ้นงาน 3 มม. (มม.)
0	20
2	19.88
5	19.7
10	19.4
15	19.1

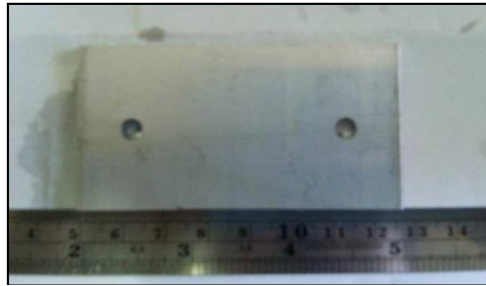
3. การคำนวณหาแรงตัดเพื่อเลือกใช้เครื่องในการตัดชิ้นงาน สามารถคำนวณจากสมการสมการ ซึ่งจะใช้เครื่องเพรสแบบ Eccentric press ขนาด 60 ตัน

$$F_s = k_s \cdot \pi \cdot d \cdot t \quad [N] \quad (3.2)$$

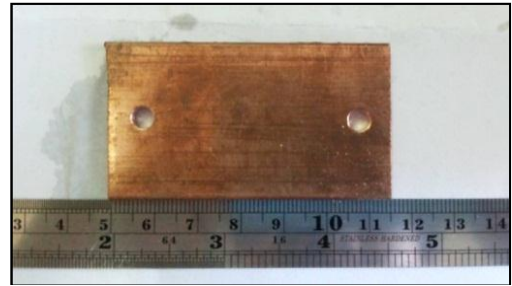
การคำนวณหาแรงปลดชิ้นงานสามารถคำนวณจากสมการ

$$F_s = \text{เปอร์เซ็นต์แรงที่ใช้ปลดชิ้นงาน} \times F \quad (3.3)$$

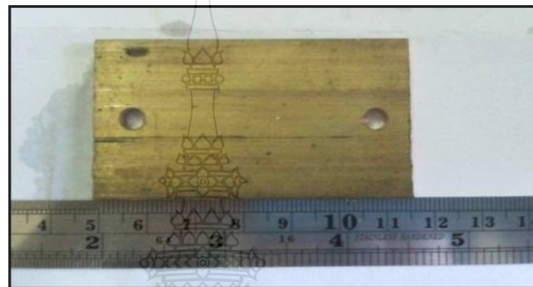
4. วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุอลูมิเนียมแผ่นเกรด AA6063 ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร ทองแดงแผ่นเกรด C1100 ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร ทองเหลืองแผ่นเกรด C3604 ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตรทำการเตรียมชิ้นงานให้ได้ขนาด ความยาว 76 มิลลิเมตร ความกว้าง 40 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.4 จากนั้นทำการเจาะรูด้วย เครื่อง CNC จำนวน 2 รู ขนาด  $5 \pm 0.02$  มิลลิเมตร เพื่อเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง ในกระบวนการตัดเจาะและกระบวนการตัดเซฟวิ้งด้วยแม่พิมพ์ต่อไป ดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5



ก. อลูมิเนียม AA 6063

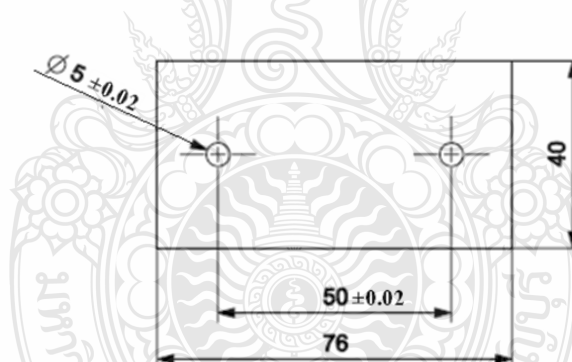


ข. ทองแดง C1100



ค. ทองเหลือง C3604

รูปที่ 3.4 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

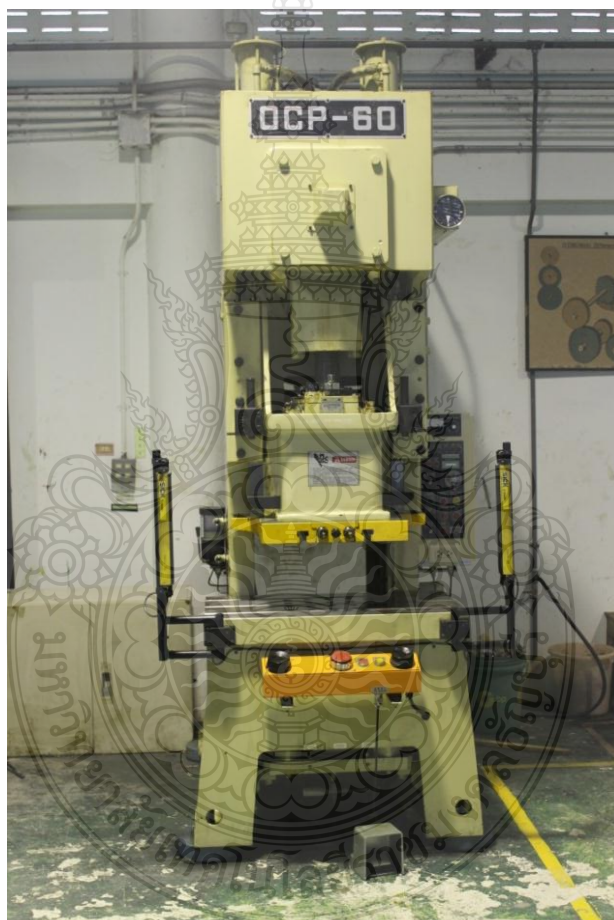


รูปที่ 3.5 ลักษณะการเตรียมชิ้นงาน

5. เครื่องปั๊มชิ้นงานแบบเพลลาข้อเหวี่ยง ในการทดลองใช้เครื่องปั๊มแบบเพลลาข้อเหวี่ยง ขนาด 60 ตัน เป็นเครื่องปั๊มแบบ C-Frame open back มีช่องคายเศษทางด้านหลัง แสดงดังรูปที่ 3.6

- MFG. NO.	A80897	
- MFG. DATE	2008-10	
- CAPACITY	60	ตัน
- RATING POINT	4	มิลลิเมตร
- STROKE NO	35-90	มิลลิเมตร

- STROKE	120	มิลลิเมตร
- DIE HEIGHT	300	มิลลิเมตร
- SLIDE ADJUSTMENT	75	มิลลิเมตร
- SLIDE AREA (LRXFB)	500 X 380	มิลลิเมตร
- BOLSTER AREA (LRXFB)	900 X 500	มิลลิเมตร
- MAIN MOTOR	VS 5.5	KW 4 P.
- MACHIINE WEIGHT	4.6	ตัน



รูปที่ 3.6 เครื่องปั๊มชิ้นงานแบบเพลาค้อเหวี่ยง

6. เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบเป็นเครื่องสำหรับตัดชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบซึ่งมีความละเอียด ในการตัดและทำการขัดด้วยเครื่องขัด แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ

7. เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการขัดผิวชิ้นงานให้มีความเรียบผิวที่ละเอียด เพราะเครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุนสามารถเปลี่ยนแผ่นขัดได้ ตั้งแต่แผ่นขัดแบบหยาบไปจนถึงแผ่นขัดแบบละเอียดที่สุด แสดงดังรูปที่ 3.8 จนสามารถนำชิ้นงานไปทำการส่องกล้องจุลทรรศน์ Optical Microscopes



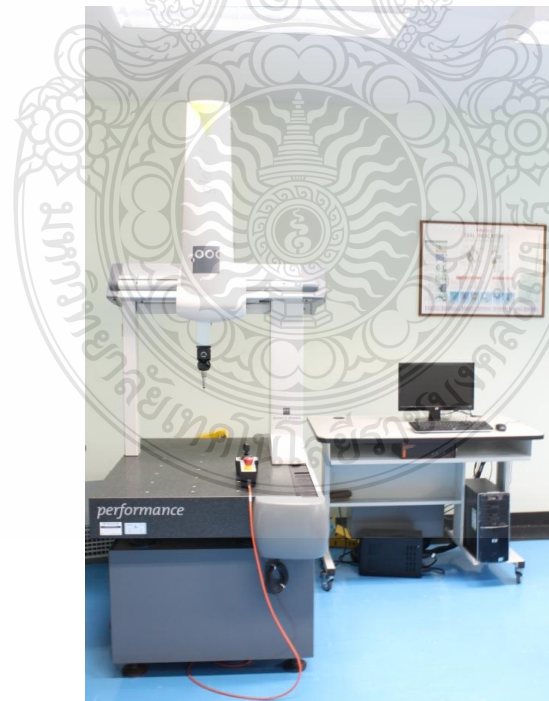
รูปที่ 3.8 เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน

8. กล้องจุลทรรศน์ Optical Microscopes ในการวัดส่วนที่เกิดขึ้นของขอบชิ้นงานในกระบวนการตัดและเพื่อความแม่นยำสามารถบอกถึงลักษณะของขอบตัด คือ ส่วนโค้งมน ส่วนเรียบตรง รอยฉีกขาด และกริบ ได้อย่างชัดเจน แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์ Optical Microscopes

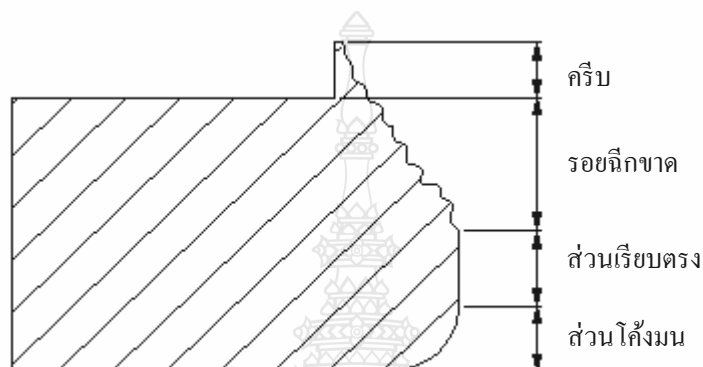
9. เครื่องวัดขนาด Coordinate Measuring Machine (CMM) สำหรับวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเจาะและงานตัดเซฟวิ้ง แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดขนาด Coordinate Measuring Machine (CMM)

### 3.3 การเก็บผลและเปรียบเทียบผลการทดลอง

บันทึกค่าขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองโดยใช้เครื่อง Optical Microscopes โดยนำเอาชิ้นงานที่ได้ในแต่ละชิ้นมาทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบแล้วนำไปวัดค่าส่วนต่างๆที่เกิดขึ้นกับขอบชิ้นงานทำการเปรียบเทียบ บันทึกลงในตารางบันทึกผลการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองต่อไป



รูปที่ 3.11 ลักษณะความสูงของครีปที่เกิดบนชิ้นงาน

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างใบบันทึกผลการทดลองกระบวนการตัดเจาะและกระบวนการตัดเซฟวิ้ง

ลำดับที่	กระบวนการตัดเจาะ				กระบวนการตัดเซฟวิ้ง			
	ส่วนโค้งมน	ส่วนเรียบตรง	รอยฉีกขาด	ครีป	ส่วนโค้งมน	ส่วนเรียบตรง	รอยฉีกขาด	ครีป
1								
2								
3								
4								
5								
$\bar{x}$								

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

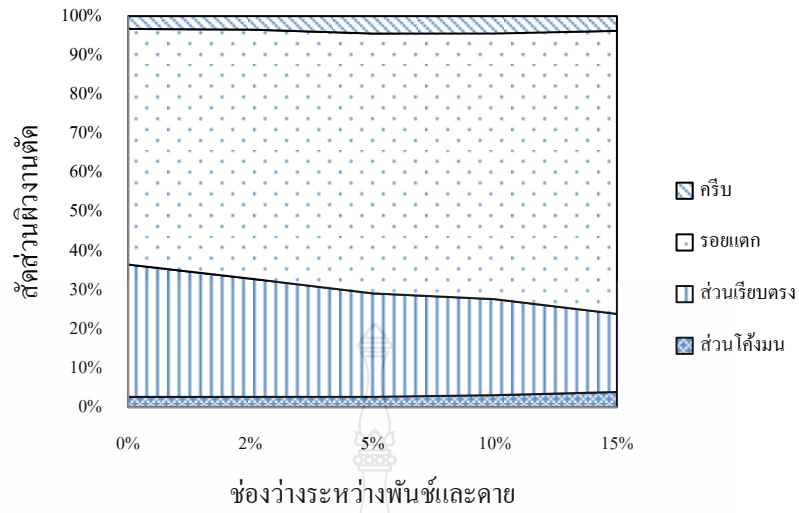
ในกระบวนการทดลองของงานวิจัยฉบับนี้ ต้องการศึกษอิทธิพลของช่องว่างระหว่างคมตัดในการตัดเจาะที่มีผลต่อกระบวนการตัดเซฟวิ้ง กำหนดให้วัสดุที่ใช้ในการศึกษา 3 ชนิดคือ อลูมิเนียมแผ่นเกรด AA6063 ทองแดงแผ่นเกรด C1100 และทองเหลืองแผ่นเกรด C3604 ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร โดยกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัด ในกระบวนการตัดเจาะ (Piercing) เท่ากับ 0%, 2%, 5%, 10%, และ 15% ของความหนาชิ้นงาน กำหนดช่องว่างระหว่างคมตัดในกระบวนการตัดเซฟวิ้ง (Shaving) เท่ากับ 0% ของความหนาชิ้นงาน ชุดเครื่องมือตัดฟันซ์และตายผลิตจากเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองและเก็บผลการทดลอง โดยการกำหนดการเก็บข้อมูลการทดลองจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์ผลการวิจัย ซึ่งสามารถแยกผลการทดลองเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการทดลองวัสดุอลูมิเนียมแผ่นเกรด AA6063

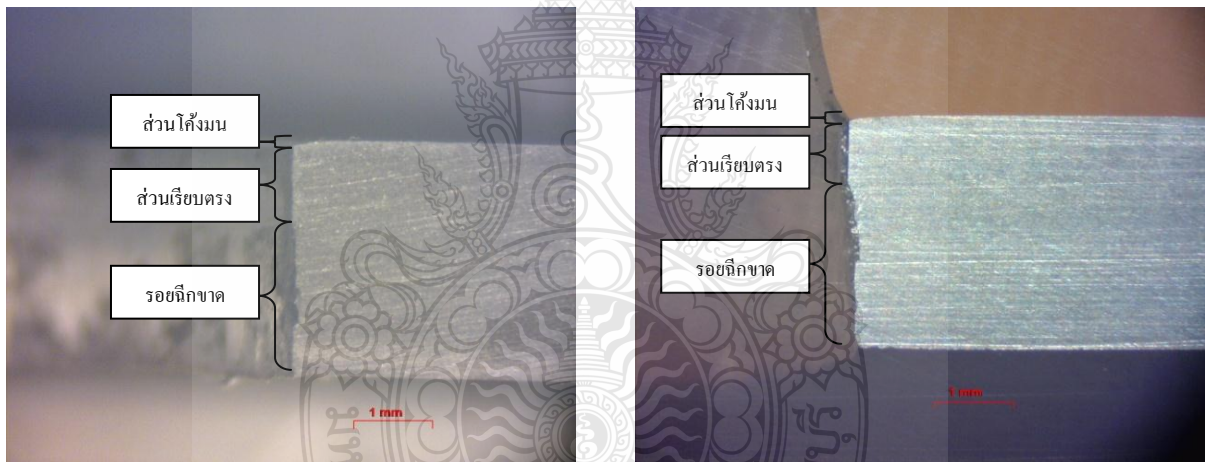
##### 4.1.1 ลักษณะของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดเจาะ

จากการทดลอง ในกระบวนการตัดเจาะอลูมิเนียมเกรด AA6063 โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการทดลองทำการส่องกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจสอบลักษณะขอบตัดของชิ้นงานและเก็บผลใน (ภาคผนวก ค) จะเห็นได้ว่าขอบตัดของชิ้นงานประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของการเกิดโค้งมน (Edge Radius) ส่วนเรียบตรง (Shear Surface) รอยฉีกขาด (Fracture Surface) และครีป (Burr) ดังรูปที่ 4.1 พบว่าเปอร์เซ็นต์การเกิดส่วนโค้งมน, รอยฉีกขาด และครีป เกิดขึ้นสูงและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะช่องว่างคมตัดมากขึ้นแต่ในขณะเดียวกันส่วนเรียบตรงจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อช่องว่างระหว่างคมตัดเพิ่มขึ้น



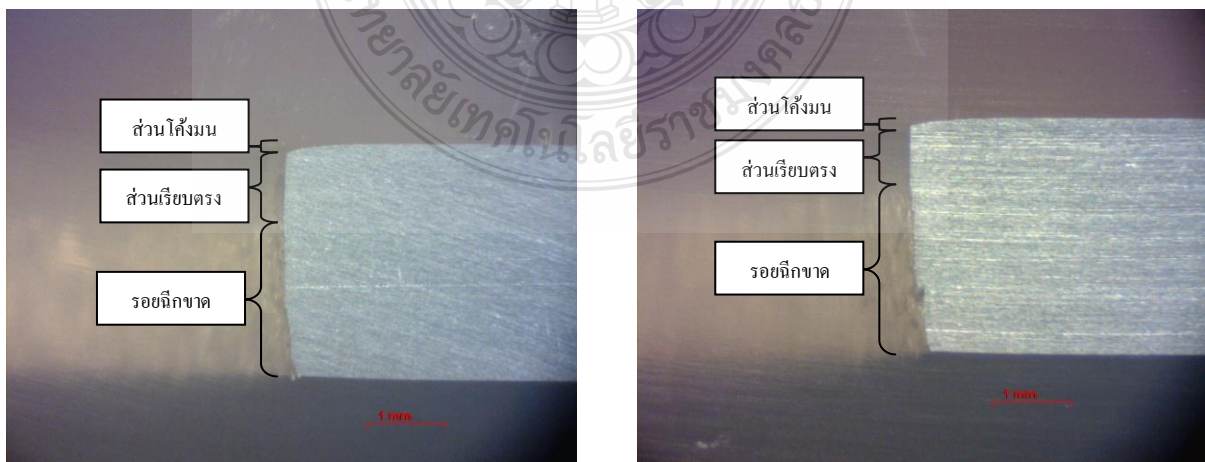


รูปที่ 4.1 สัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในการตัดเจาะอลูมิเนียมเกรด AA 6063



ก. ช่องว่างระหว่างคมตัด 0%

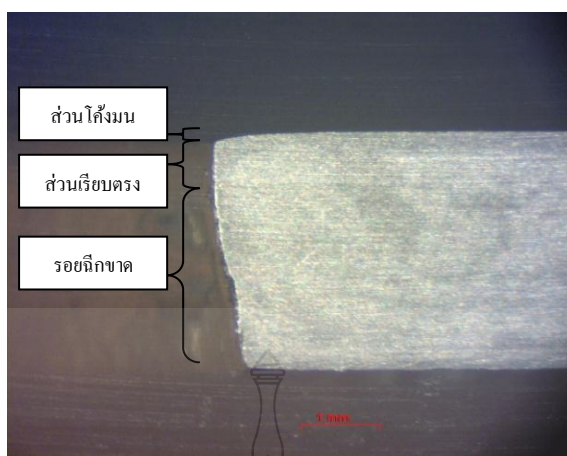
ข. ช่องว่างระหว่างคมตัด 2%



ค. ช่องว่างระหว่างคมตัด 5%

ง. ช่องว่างระหว่างคมตัด 10%





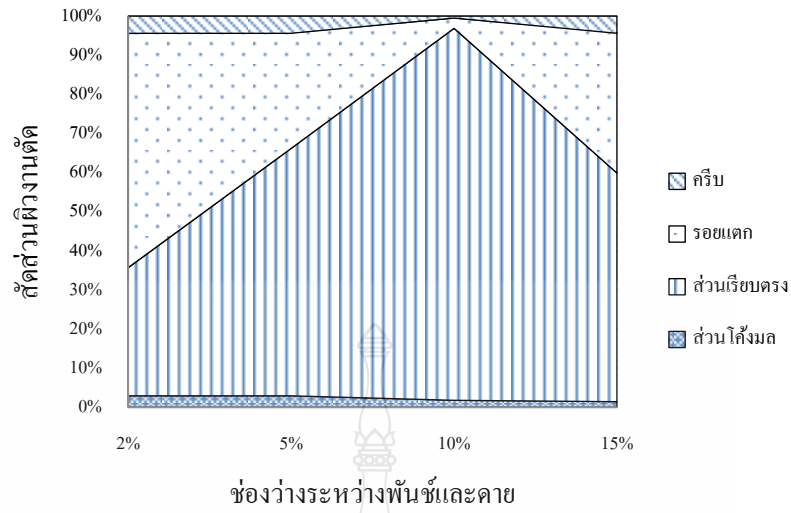
จ. ช่องว่างระหว่างคมตัด 15%

รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเจาะอลูมิเนียมเกรด AA 6063

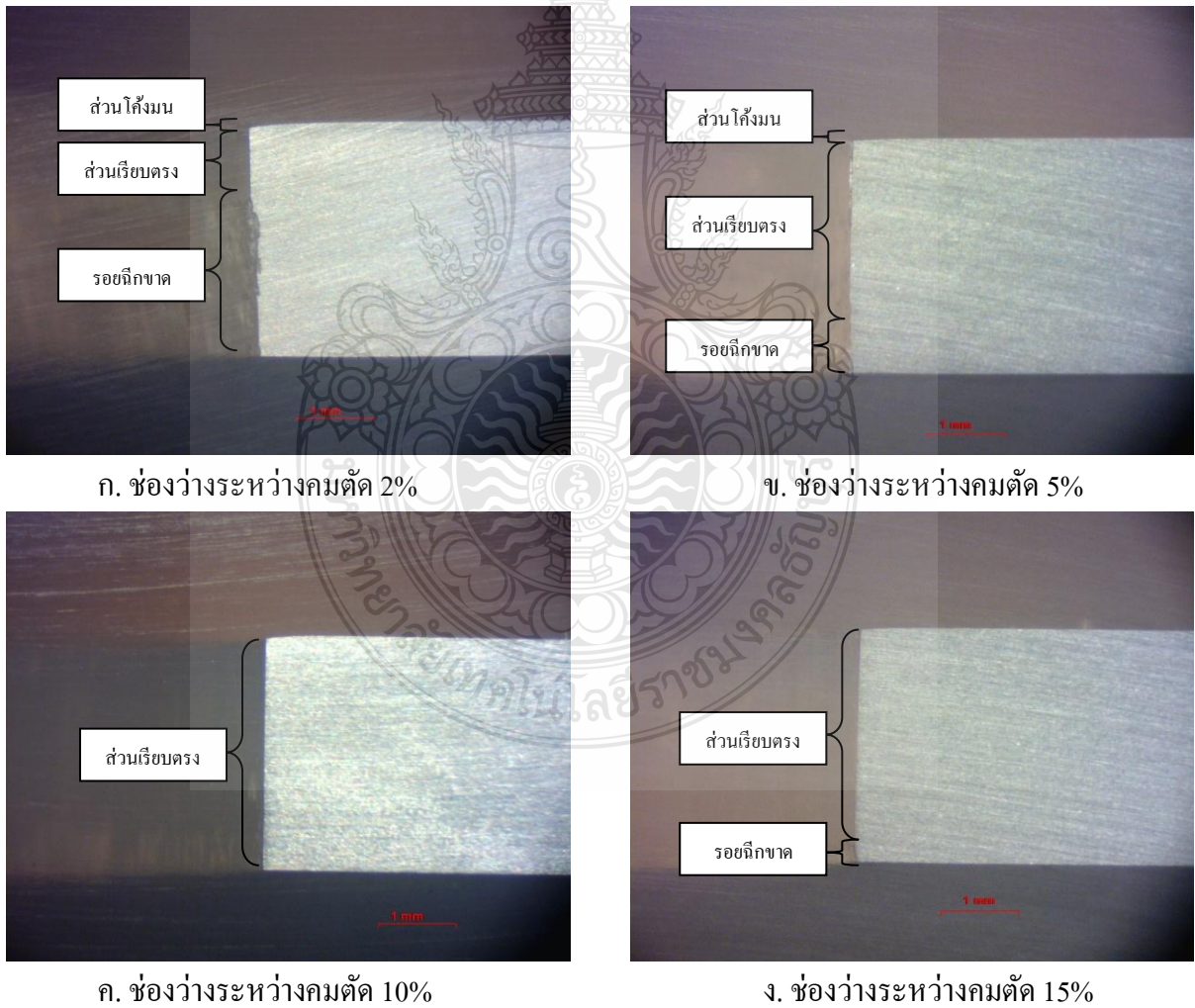
รูปที่ 4.2ก. ถึงรูปที่ 4.2จ. แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการทดลองตัดเจาะอลูมิเนียมเกรด AA6063 ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 0%, 2%, 5%, 10%, และ 15% ของความหนาชิ้นงาน เมื่อพิจารณาขอบตัดที่ช่องว่างระหว่างคมตัด เท่ากับ 0% ของความหนาชิ้นงาน จะมีส่วนเรียบตรงมากที่สุด รอยฉีกขาดน้อย และเมื่อช่องว่างระหว่างคมตัดเพิ่มขึ้น ขอบตัดของชิ้นงานก็จะมีส่วนเรียบตรงลดลง ส่วนโค้งมน รอยฉีกขาดและครีบเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากรอยแตกที่เกิดขึ้นในขณะการตัดไม่บรรจบกันในตำแหน่งที่เหมาะสม ทำให้เกิดส่วนโค้งมนเพิ่มขึ้น รอยฉีกขาดเพิ่มขึ้น ส่วนเรียบตรงลดลง และส่งผลให้เกิดครีบมากขึ้นตามไปด้วย[12] เป็นไปตามงานวิจัยของ (ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ)[21]

#### 4.1.2 ลักษณะของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดเซฟวิ้ง

ผลการทดลองการปรับปรุงขอบตัดในกระบวนการตัดเซฟวิ้ง ของอลูมิเนียมเกรด AA 6063 โดยกำหนดช่องว่างคมตัดระหว่างพินซ์และคายก่อนกระบวนการตัดเซฟวิ้ง เท่ากับ 2%, 5%, 10% และ 15% ของความหนาชิ้นงาน ทำการทดลองและเก็บผลใน (ภาคผนวก ก) ดังรูปที่ 4.3 พบว่ารูเจาะที่ได้จากระยะช่องว่างคมตัดระหว่างพินซ์และคาย 2% และ 5% ของความหนาชิ้นงาน ขอบตัดยังมีส่วนโค้งมน, รอยฉีกขาด และครีบ สูงอยู่เนื่องจากมีเนื้อชิ้นงานเหลืออยู่น้อย ไม่เพียงพอสำหรับการปาดผิวเพื่อเพิ่มส่วนเรียบตรงบริเวณขอบตัด และพบว่าระยะช่องว่างคมตัดระหว่างพินซ์และคายที่ 10% ของความหนาชิ้นงาน ส่งผลให้เกิดเปอร์เซ็นต์ส่วนเรียบตรงมากที่สุด ส่วนระยะช่องว่างคมตัดระหว่างพินซ์และคายที่ 15% ของความหนาชิ้นงาน ส่งผลให้ส่วนเรียบตรงลดลง เนื่องจากมีเนื้อชิ้นงานเหลือในการปาดผิวบริเวณขอบตัดอยู่มาก จึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้

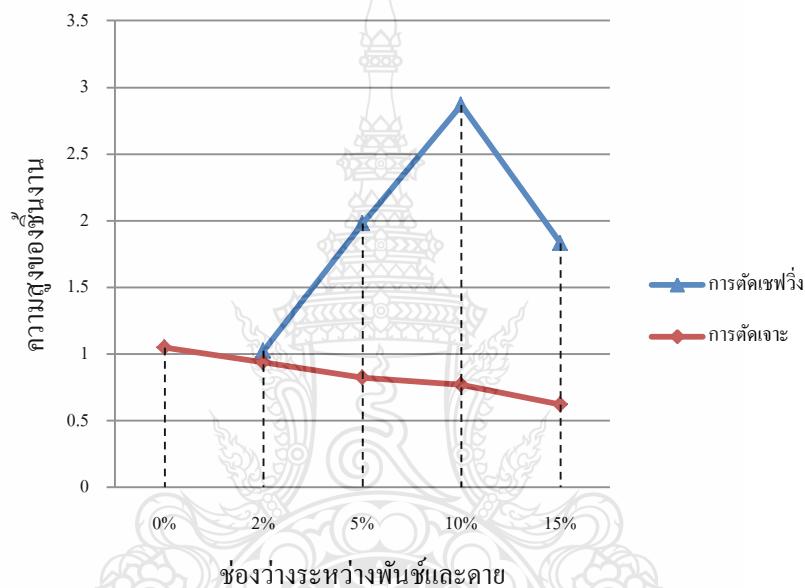


รูปที่ 4.3 สัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิงอลูมิเนียมเกรด AA 6063



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิงอลูมิเนียมเกรด AA 6063

รูปที่ 4.4ก. ถึงรูปที่ 4.4ง. แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการทดลองตัดเจาะอลูมิเนียมเกรด AA6063 ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 2%, 5%, 10%, และ 15% ของความหนาชิ้นงาน นำมาผ่านกระบวนการปรับปรุงขอบตัดด้วยกระบวนการตัดเซฟวิ่งที่ 0% ของความหนาชิ้นงาน ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดของการตัดเจาะที่ 2% และ 5% ของความหนาชิ้นงาน จะมีรอยฉีกขาดอยู่มาก เนื่องจากมีเนื้อในการปาดผิวอยู่น้อย ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดของการตัดเจาะที่ 10% ของความหนาชิ้นงาน สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้มากที่สุด ในขณะที่เดียวกัน ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดของการตัดเจาะที่ 15% ของความหนาชิ้นงาน รอยฉีกขาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีเนื้อในการปาดผิวอยู่มากจึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะอีกครั้งหนึ่ง



**รูปที่ 4.5** การเปรียบเทียบความสูงของส่วนเรียบตรงของขอบตัดชิ้นงานระหว่างการตัดเจาะและการตัดเซฟวิ่งอลูมิเนียมเกรด AA 6063

รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบความสูงของส่วนเรียบตรงของขอบตัดชิ้นงานระหว่างการตัดเจาะและการตัดเซฟวิ่งอลูมิเนียมเกรด AA 6063 ผลของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดเจาะของช่องว่างระหว่างคมตัด 0% ของความหนาชิ้นงาน จะมีส่วนเรียบตรงไม่มาก อยู่ที่ 1.1 มม. และเมื่อช่องว่างระหว่างคมตัดเพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้มีส่วนเรียบตรงลดลง ตามลำดับ จึงได้มีการนำกระบวนการตัดเซฟวิ่งมาทำการปรับปรุงคุณภาพขอบตัดโดยเซฟวิ่งที่ 0% ของความหนาชิ้นงาน โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการตัดเจาะ เริ่มต้นที่ 2% และ 5% ของความหนาชิ้นงาน ไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้เนื่องจากมีเนื้อในการปาดผิวอยู่น้อย และช่องว่างที่ 15% ของความหนาชิ้นงาน ไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้เนื่องจากมีเนื้อในการปาดผิวอยู่มากจึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะอีกครั้งหนึ่ง ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดที่เหมาะสมอยู่ที่ 10 % ของความหนาชิ้นงาน สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้มากที่สุด

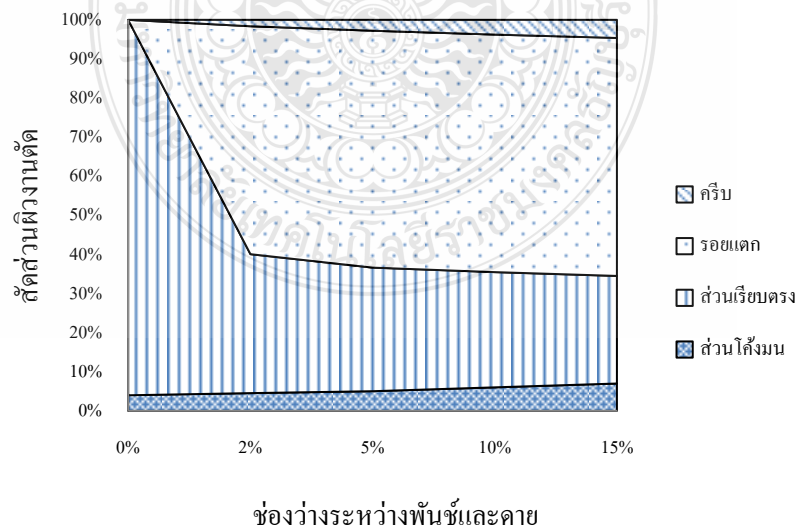
ตารางที่ 4.1 ขนาดของรูที่ตรวจสอบจากกระบวนการตัดเซฟวิงอคูมินิยมเกรด AA 6063

ขนาดช่องว่างระหว่าง พื้นซ์และคายในการตัดเจาะ	ขนาดรูในกระบวนการตัดเจาะ (มม.)	ขนาดรูในกระบวนการตัดเซฟวิง (มม.)
0%	19.9930	-
2%	19.8999	19.9934
5%	19.7224	20.0392
10%	19.4311	20.0041
15%	19.1271	20.0153

## 4.2 ผลการทดลองวัสดุทองแดงทองแดงแผ่นเกรด C1100

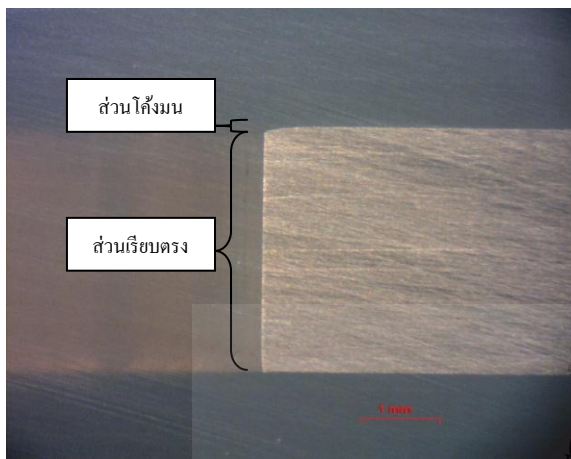
### 4.2.1 ลักษณะของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดเจาะ

จากการทดลองในกระบวนการตัดเจาะทองแดงเกรด C1100 โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการทดลองทำการส่องกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจสอบลักษณะขอบตัดของชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าขอบตัดของชิ้นงานประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของการเกิด โค้งมน ส่วนเรียบตรง รอยแตก และครีบก๊ีบผลใน (ภาคผนวก ค) ดังรูปที่ 4.6 พบว่าการตัดเจาะโดยช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 0% ของความหนาชิ้นงาน มีส่วนเรียบตรงมากที่สุดจึงไม่จำเป็นต้องปรงขอบตัดด้วยกระบวนการตัดเซฟวิง แต่อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์การเกิดส่วน โค้งมน รอยฉีกขาด และครีบก๊ีบเกิดขึ้นสูงและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะช่องว่างคมตัดมากขึ้นในขณะที่เดียวกันส่วนเรียบตรงจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อช่องว่างระหว่างคมตัดเพิ่มขึ้น

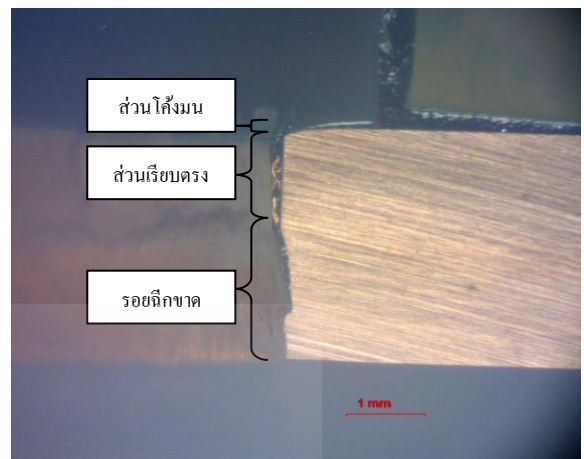


รูปที่ 4.6 สัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในการตัดเจาะทองแดงเกรด C1100

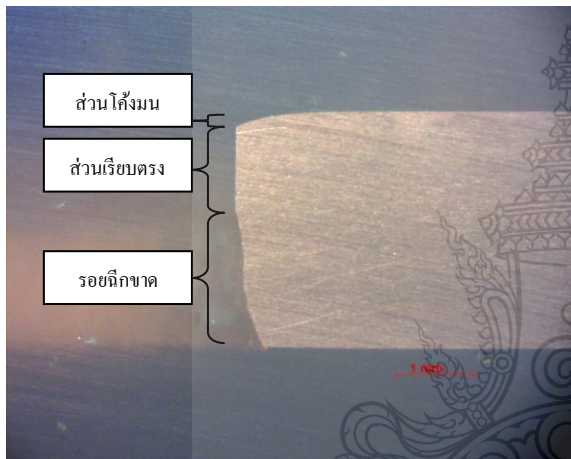




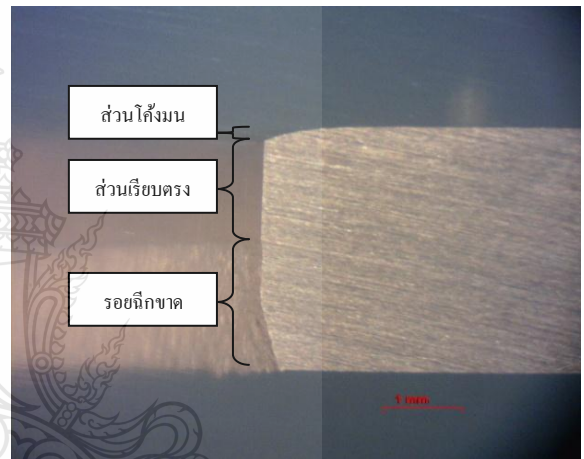
ก. ช่องว่างระหว่างคมตัด 0%



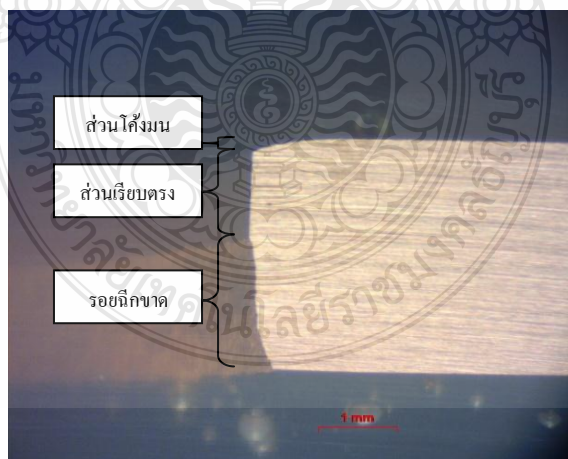
ข. ช่องว่างระหว่างคมตัด 2%



ค. ช่องว่างระหว่างคมตัด 5%



ง. ช่องว่างระหว่างคมตัด 10%



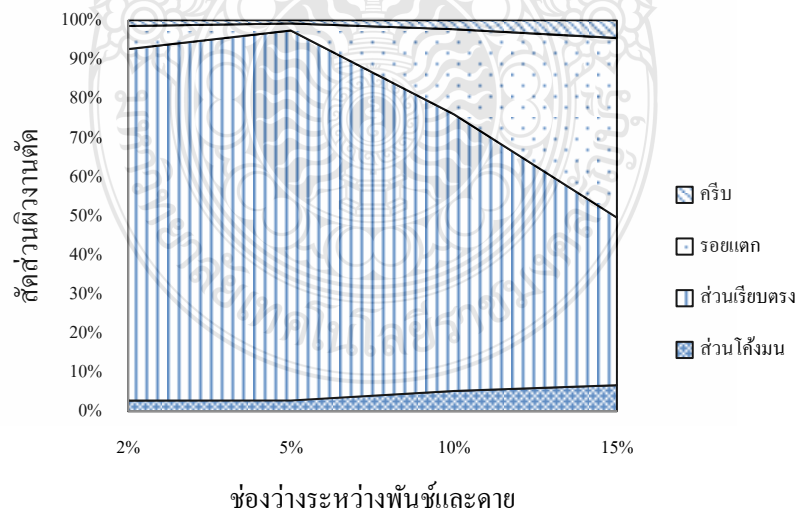
จ. ช่องว่างระหว่างคมตัด 15%

รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเจาะทองแดงเกรด C1100

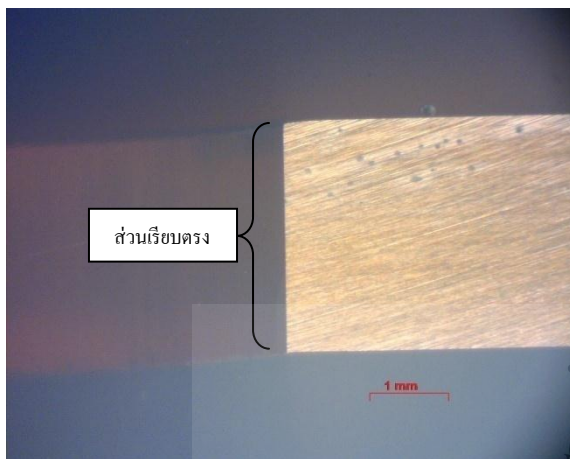
รูปที่ 4.7ก. ถึงรูปที่ 4.7จ. แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการทดลองตัดเจาะทองแดงเกรด C1100 ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 0%, 2%, 5%, 10%, และ 15% ของความหนาชิ้นงาน เมื่อพิจารณาขอบตัดที่ช่องว่างระหว่างคมตัด ที่ 0% ของความหนาชิ้นงาน จะมีส่วนเรียบตรงมากที่สุด รอยฉีกขาดน้อย และเมื่อช่องว่างระหว่างคมตัดเพิ่มขึ้น ขอบตัดของชิ้นงานก็จะมีส่วนเรียบตรงลดลง ส่วนโค้งมน รอยฉีกขาดและครีบกึ่ง เพิ่มขึ้นตามลำดับ

#### 4.2.2 ลักษณะของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดเซฟวิ่ง

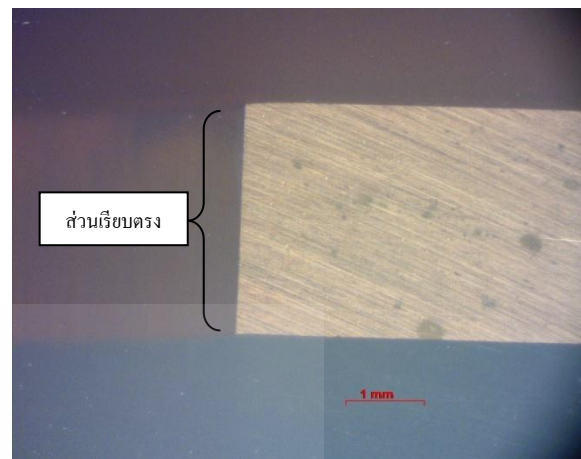
ผลการทดลองการปรับปรุงขอบตัดในกระบวนการตัดเซฟวิ่ง ของทองแดงเกรด C1100 โดยกำหนดช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และคายก่อนกระบวนการตัดเซฟวิ่ง เท่ากับ 2%, 5%, 10% และ 15% ของความหนาชิ้นงาน ทำการทดลองและเก็บผลใน (ภาคผนวก ค) ดังรูปที่ 4.8 พบว่ารูเจาะที่ได้จากระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และคาย 2% ของความหนาชิ้นงาน ขอบตัดยังมีส่วนโค้งมน, รอยฉีกขาด และครีบกึ่ง สูงอยู่เนื่องจากมีเนื้อชิ้นงานเหลืออยู่น้อย ไม่เพียงพอสำหรับการปาดผิวเพื่อเพิ่มส่วนเรียบตรงบริเวณขอบตัด และพบว่าระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และคายที่ 5% ของความหนาชิ้นงาน ส่งผลให้เกิดเปอร์เซ็นต์ส่วนเรียบตรงมากที่สุด ส่วนระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และคายที่ 10% และ 15% ของความหนาชิ้นงาน ส่งผลให้ส่วนเรียบตรงลดลง เนื่องจากมีเนื้อชิ้นงานเหลือในการปาดผิวบริเวณขอบตัดอยู่มาก จึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้



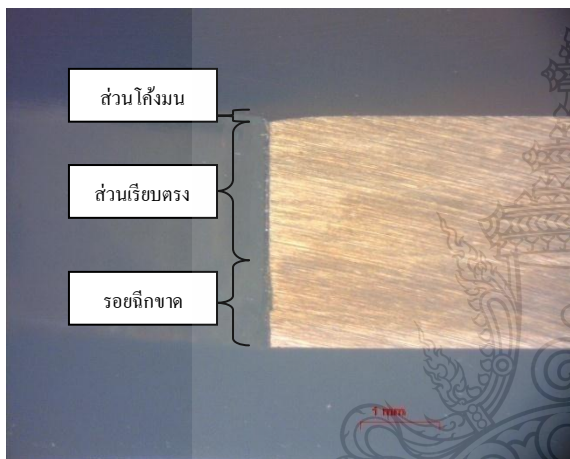
รูปที่ 4.8 สัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิ่งทองแดงเกรด C1100



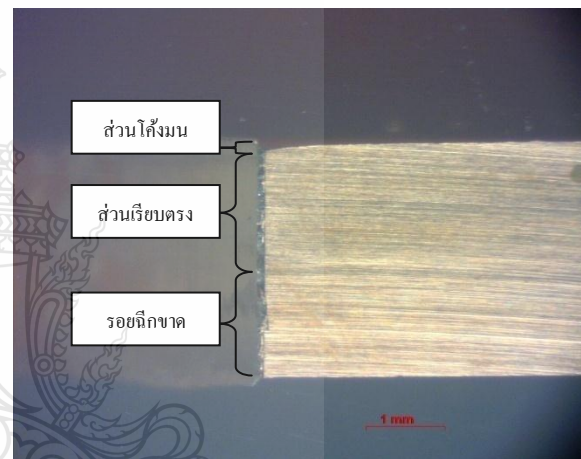
ก. ช่องว่างระหว่างคมตัด 2%



ข. ช่องว่างระหว่างคมตัด 5%



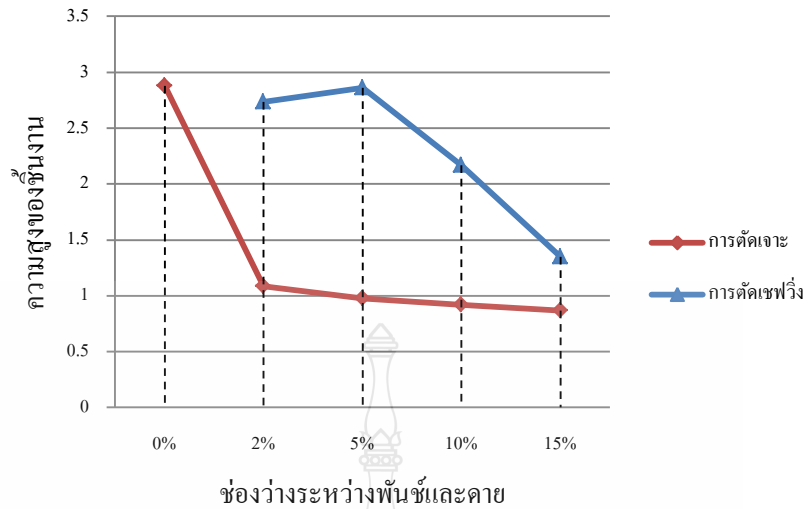
ค. ช่องว่างระหว่างคมตัด 10%



ง. ช่องว่างระหว่างคมตัด 15%

รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิงทองแดงแผ่นเกรด C1100

รูปที่ 4.9ก. ถึงรูปที่ 4.9ง. แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการทดลองตัดเจาะทองแดงเกรด C1100 ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 2%, 5%, 10%, และ 15% ของความหนาชิ้นงาน นำมาผ่านกระบวนการปรับปรุงขอบตัดด้วยกระบวนการตัดเซฟวิงที่ 0% ของความหนาชิ้นงาน ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดของการตัดเจาะที่ 2% ของความหนาชิ้นงาน จะมีรอยฉีกขาดอยู่มาก เนื่องจากมีเนื้อในการปาดผิวอยู่น้อย ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดของการตัดเจาะที่ 5% ของความหนาชิ้นงาน สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้มากที่สุด ในขณะเดียวกัน ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดของการตัดเจาะที่ 10% และ 15% ของความหนาชิ้นงาน เริ่มมีรอยฉีกขาดเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีเนื้อในการปาดผิวอยู่มากจึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะอีกครั้งหนึ่ง



**รูปที่ 4.10** การเปรียบเทียบความสูงของส่วนเรียบตรงของขอบตัดชิ้นงานระหว่างการตัดเฉาะและการตัดเซฟวิ่ง ทองแดงแผ่นเกรด C1100

รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบความสูงของส่วนเรียบตรงของขอบตัดชิ้นงานระหว่างการตัดเฉาะและการตัดเซฟวิ่งทองแดงแผ่นเกรด C1100 ผลของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดเฉาะของช่องว่างระหว่างคมตัด 0% ของความหนาชิ้นงาน จะมีส่วนเรียบตรงไม่มาก อยู่ที่ 2.86 มม. และเมื่อช่องว่างระหว่างคมตัดเพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้มีส่วนเรียบตรงลดลง ตามลำดับ จึงได้มีการนำกระบวนการตัดเซฟวิ่งมาทำการปรับปรุงคุณภาพขอบตัดโดยเซฟวิ่งที่ 0% ของความหนาชิ้นงาน โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการตัดเฉาะ เริ่มต้นที่ 2% ของความหนาชิ้นงาน ไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้เนื่องจากมีเนื้อในการปาดผิวอยู่น้อย และช่องว่างที่ 10% และ 15% ของความหนาชิ้นงาน ไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้เนื่องจากมีเนื้อในการปาดผิวอยู่มากจึงทำให้เกินกลไกการตัดเฉาะอีกครั้งหนึ่ง ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดที่เหมาะสมอยู่ที่ 5 % ของความหนาชิ้นงาน สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้มากที่สุด

**ตารางที่ 4.2** ขนาดของรูที่ตรวจสอบจากกระบวนการตัดเซฟวิ่งทองแดงเกรด C1100

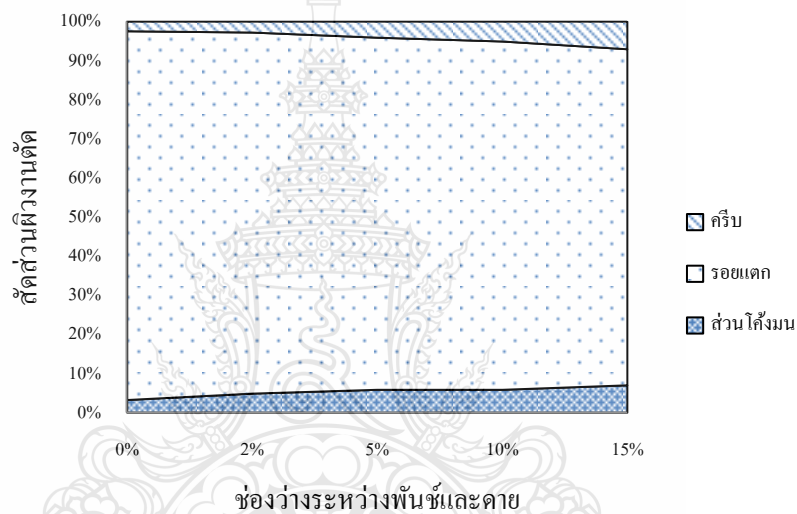
ขนาดช่องว่างระหว่างพินซ์และคายในการตัดเฉาะ	ขนาดรูในกระบวนการตัดเฉาะ (มม.)	ขนาดรูในกระบวนการตัดเซฟวิ่ง (มม.)
0%	19.9943	-
2%	19.8958	20.0080
5%	19.7220	19.9990
10%	19.4483	20.0907
15%	19.1367	20.0116



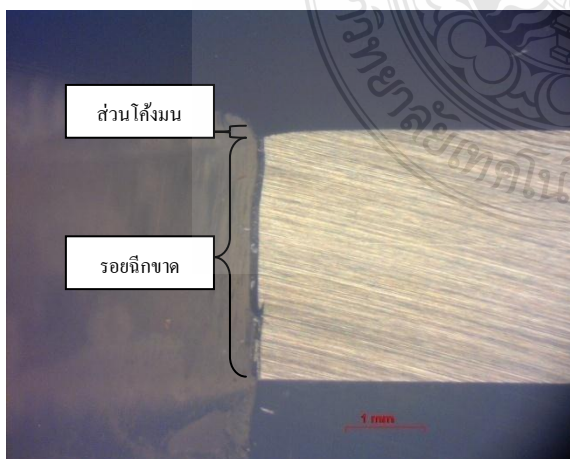
### 4.3 ผลการทดลองวัสดุทองเหลืองทองเหลืองแผ่นเกรด C3604

#### 4.3.1 ลักษณะของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดเฉาะ

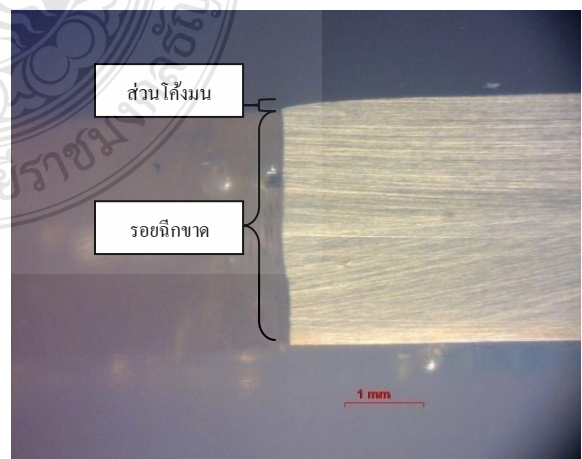
จากการทดลองในกระบวนการตัดเฉาะทองเหลืองเกรด C3604 โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการทดลองทำการส่องกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจสอบลักษณะขอบตัดของชิ้นงานและเก็บผลใน (ภาคผนวก ค) จะเห็นได้ว่าขอบตัดของชิ้นงานประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของการเกิดโค้งมน รอยแตก และครีบ ดังรูปที่ 4.11 พบว่าเปอร์เซ็นต์การเกิดส่วน โค้งมน และครีบ เกิดขึ้นสูงและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะช่องว่างคมตัดมากขึ้น



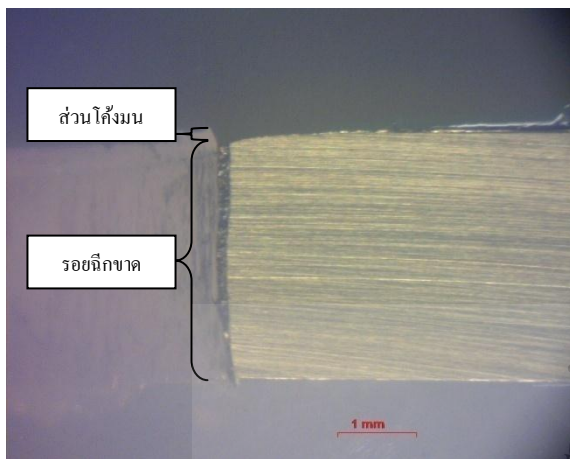
รูปที่ 4.11 สัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในการตัดเฉาะทองเหลืองเกรด C3604



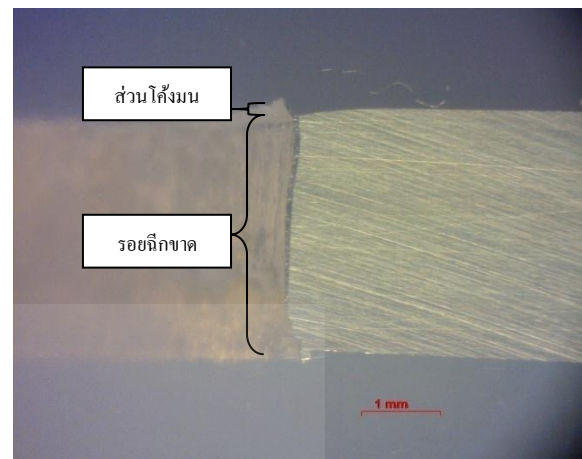
ก. ช่องว่างระหว่างคมตัด 0%



ข. ช่องว่างระหว่างคมตัด 2%



ค. ช่องว่างระหว่างคมตัด 5%



ง. ช่องว่างระหว่างคมตัด 10%



จ. ช่องว่างระหว่างคมตัด 15%

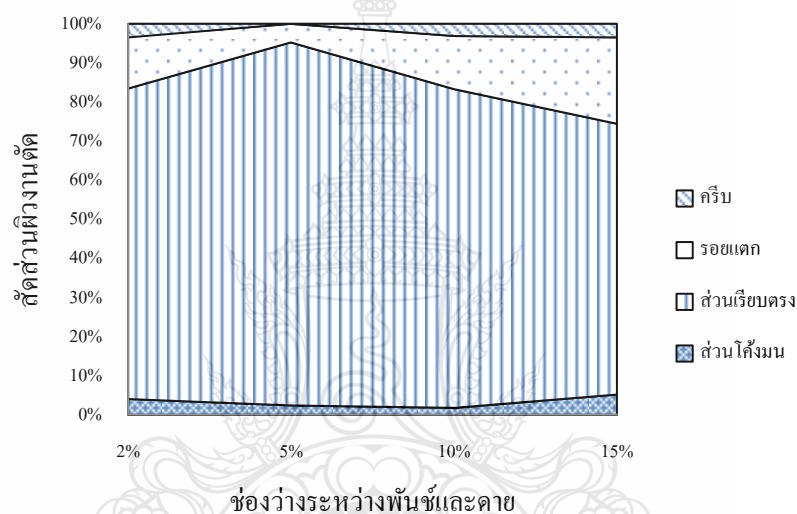
รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเจาะทองเหลืองเกรด C3604

รูปที่ 4.12ก. ถึงรูปที่ 4.12จ. แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการทดลองตัดเจาะทองเหลืองเกรด C3604 ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 0%, 2%, 5%, 10%, และ 15% ของความหนาชิ้นงาน เมื่อพิจารณาขอบตัดที่ช่องว่างระหว่างคมตัด ที่ 0%, 2%, 5%, 10%, และ 15% ของความหนาชิ้นงาน จะไม่มีส่วนเรียบตรง แต่มีรอยฉีกขาด ทุกช่องว่างระหว่างคมตัด และเมื่อช่องว่างระหว่างคมตัดเพิ่มขึ้น ส่วนโค้งมน ครีบ จะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ

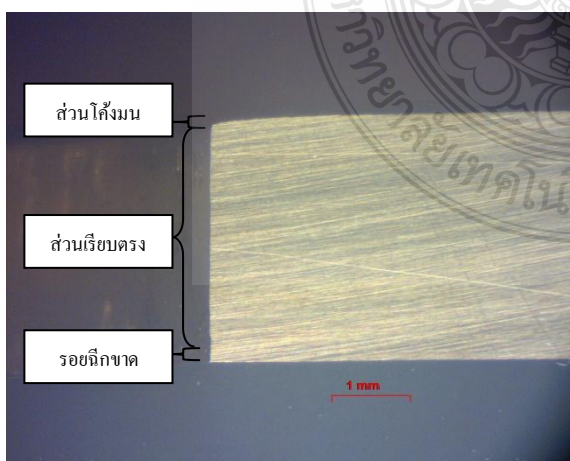
#### 4.3.2 ลักษณะของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดเซฟวิ้ง

ผลการทดลองการปรับปรุงขอบตัดในกระบวนการตัดเซฟวิ้ง ของทองเหลืองเกรด C3604 โดยกำหนดช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และดาบก่อนกระบวนการตัดเซฟวิ้ง เท่ากับ 2%, 5%, 10% และ 15% ของ

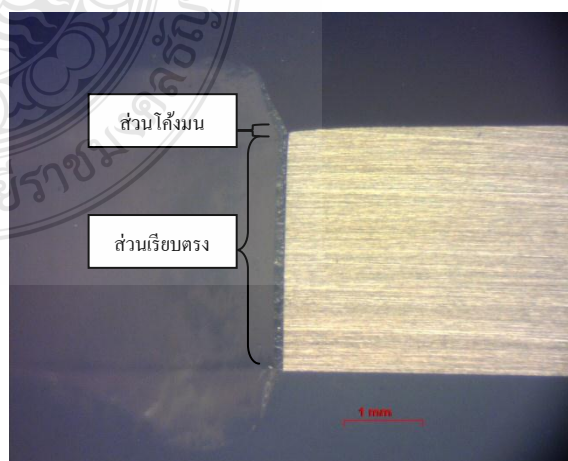
ความหนาชิ้นงาน ทำการทดลองและเก็บผลใน (ภาคผนวก ก)ง ดังรูปที่ 4.13 พบว่ารูเจาะที่ได้จากระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และคาย 2% ของความหนาชิ้นงาน ขอบตัดยังมีส่วนโค้งมน, รอยฉีกขาด และครีบ สูงอยู่เนื่องจากมีเนื้อชิ้นงานเหลืออยู่น้อย ไม่เพียงพอสำหรับการปาดผิวเพื่อเพิ่มส่วนเรียบตรงบริเวณขอบตัด และพบว่าระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และคายที่ 5% ของความหนาชิ้นงาน ส่งผลให้เกิดเปอร์เซ็นต์ส่วนเรียบตรงมากที่สุด ส่วนระยะช่องว่างคมตัดระหว่างฟันซ์และคายที่ 10% และ 15% ของความหนาชิ้นงาน ส่งผลให้ส่วนเรียบตรงลดลง เนื่องจากมีเนื้อชิ้นงานเหลือในการปาดผิวบริเวณขอบตัดอยู่มาก จึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้



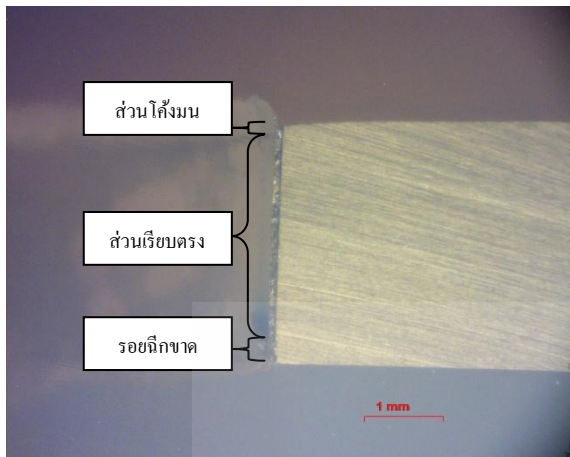
รูปที่ 4.13 สัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิงทองเหลืองเกรด C3604



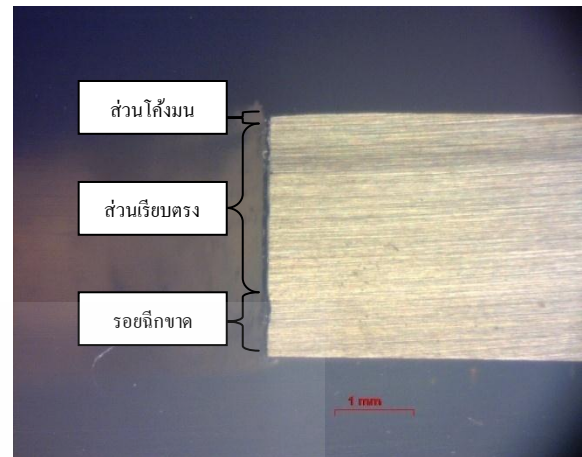
ก. ช่องว่างระหว่างคมตัด 2%



ข. ช่องว่างระหว่างคมตัด 5%



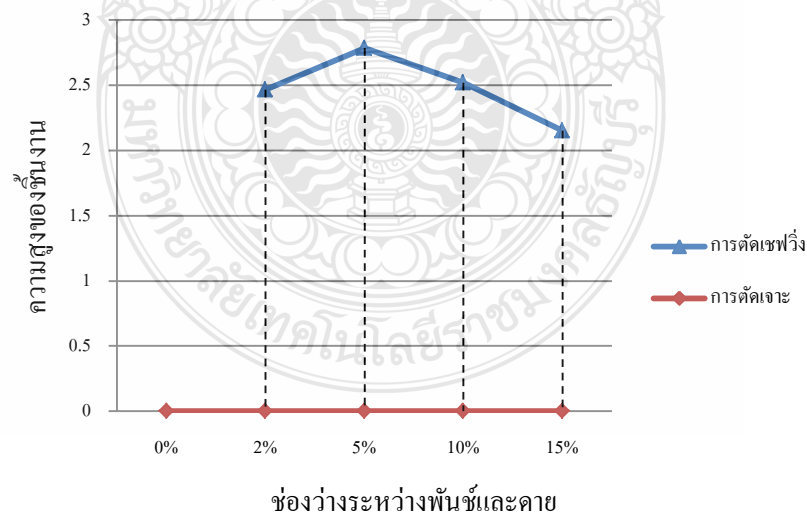
ค. ช่องว่างระหว่างคมตัด 10%



ง. ช่องว่างระหว่างคมตัด 15%

รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิ่งทองเหลืองเกรด C3604

รูปที่ 4.14ก. ถึงรูปที่ 4.14ง. แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการทดลองตัดเจาะทองเหลืองเกรด C3604 ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดที่ 2%, 5%, 10%, และ 15% ของความหนาชิ้นงาน นำมาผ่านกระบวนการปรับปรุงขอบตัดด้วยกระบวนการตัดเซฟวิ่งที่ 0% ของความหนาชิ้นงาน ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดของการตัดเจาะที่ 2% ของความหนาชิ้นงาน จะมีรอยฉีกขาดอยู่มาก เนื่องจากมาเนื้อในการปาดผิวอยู่น้อยที่ช่องว่างระหว่างคมตัดของการตัดเจาะที่ 5% ของความหนาชิ้นงาน สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้มากที่สุด ในขณะที่ส่วนที่ช่องว่างระหว่างคมตัดของการตัดเจาะที่ 10% และ 15% ของความหนาชิ้นงาน เริ่มมีรอยฉีกขาดเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีเนื้อในการปาดผิวอยู่มากจึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบความสูงของส่วนเรียบตรงขอบตัดชิ้นงานระหว่างการตัดเจาะและการตัดเซฟวิ่งทองเหลืองเกรด C3604



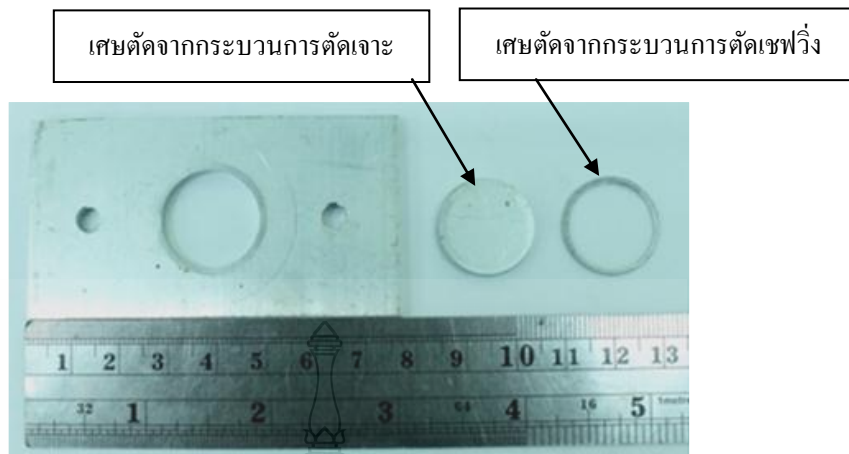
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบความสูงของส่วนเรียบตรงของขอบตัดชิ้นงานระหว่างการตัดเจาะและการตัดเซฟวิ่งทองเหลืองเกรด C3604 ผลของขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดเจาะจะไม่มีส่วนเรียบตรงในทุกช่วงช่องว่างระหว่างคมตัด จึงได้มีการนำกระบวนการตัดเซฟวิ่งมาทำการปรับปรุงคุณภาพขอบตัด โดยเซฟวิ่งที่ 0% ของความหนาชิ้นงาน โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการตัดเจาะ เริ่มต้นที่ 2% ของความหนาชิ้นงาน ก็ไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้เนื่องจากมีเนื้อในการปาดผิวอยู่น้อย และช่องว่างที่ 10% และ 15% ของความหนาชิ้นงาน ก็ไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้เนื่องจากมีเนื้อในการปาดผิวอยู่มากจึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะอีกครั้งหนึ่ง ที่ช่องว่างระหว่างคมตัดที่เหมาะสมอยู่ที่ 5 % ของความหนาชิ้นงาน สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.3 ขนาดของรูที่ตรวจสอบจากกระบวนการตัดเซฟวิ่งทองเหลืองเกรด C3604

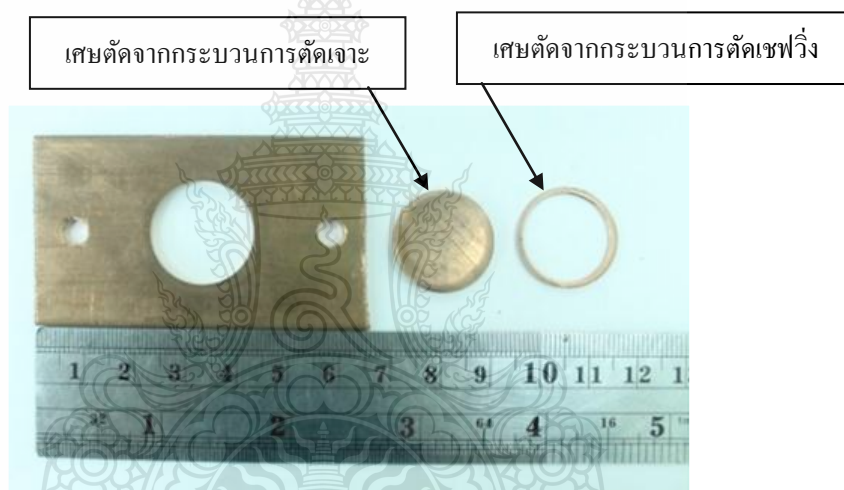
ขนาดช่องว่างระหว่างพันธ์และตายในการตัดเจาะ	ขนาดรูในกระบวนการตัดเจาะ (มม.)	ขนาดรูในกระบวนการตัดเซฟวิ่ง (มม.)
0%	20.0131	-
2%	19.8175	19.9660
5%	19.7179	19.9785
10%	19.4324	20.0194
15%	19.1296	19.9803

#### 4.4 วิเคราะห์เศษตัดที่ได้จากกระบวนการตัดเซฟวิ่ง

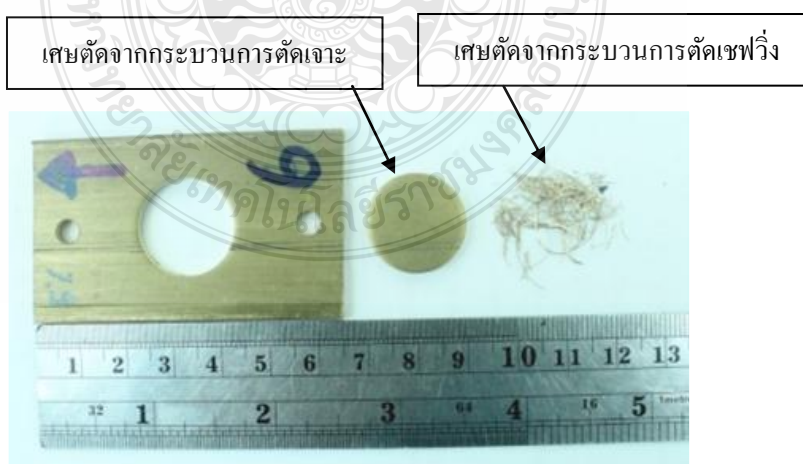
จากการทดลองและวิเคราะห์ผลเศษตัดที่ผ่านกระบวนการตัดเซฟวิ่งของวัสดุ 3 ชนิด คือ อลูมิเนียมเกรด AA6063, ทองแดงเกรด C1100 และทองเหลือง C3604 ซึ่งวัสดุอลูมิเนียมเกรด AA6063 ดังรูปที่ 4.16 เศษตัดจะมีลักษณะเป็นวงแหวน ซึ่งขนาดของเศษตัดขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่างระหว่างคมตัดของการตัดจากการตัดเซฟวิ่งเศษตัดจะมีลักษณะเป็นวงแหวนเนื่องจากคุณสมบัติทางกลของวัสดุของอลูมิเนียมจะมีความเหนียว เช่นเดียวกับวัสดุทองแดงเกรด C1100 ดังรูปที่ 4.17 เศษตัดจะมีลักษณะเป็นวงแหวน เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุซึ่งมีความเหนียวเช่นกัน ส่วนวัสดุทองเหลืองเกรด C3604 ดังรูปที่ 4.18 เศษตัดจะมีลักษณะเป็น ขุยผง เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุของทองเหลืองซึ่งมี ธาตุสังกะสีผสมอยู่เกิน 37% จึงส่งผลให้วัสดุชนิดนี้มีความแข็งและเปราะ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี [22] ได้กล่าวไว้ว่า ทองเหลืองที่มีธาตุสังกะสีผสมอยู่เกิน 37% โครงสร้างอะตอมจะเป็นแบบ BCC จะทำให้ความเหนียวลดลงความแข็งเพิ่มขึ้น และจะทำให้การปาดผิวมีเศษงานสั้น



รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิงอลูมิเนียมเกรด AA 6063



รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิงทองแดงเกรด C1100



รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายชิ้นงานในกระบวนการตัดเซฟวิงทองเหลืองเกรด C3604

## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของตัด ด้วยกระบวนการตัดเซฟวิ้ง (Shaving) ของวัสดุ 3 ชนิด คือ อลูมิเนียมแผ่นเกรด AA6063 ทองแดงแผ่นเกรด C1100 และทองเหลืองแผ่นเกรด C3604 ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร โดยจะศึกษาช่องว่างระหว่างฟันซ์และคายในการตัดเจาะ (Piercing) ที่ระดับต่างกันคือ 0%, 2%, 5%, 10% และ 15% ของความหนาชิ้นงาน หลังจากนั้นนำมาปรับปรุงขอบตัดด้วยกระบวนการตัดเซฟวิ้งโดยใช้ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย คือ 0% ของความหนาชิ้นงาน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

5.1.1 ผลของการตัดเจาะของวัสดุอลูมิเนียมเกรด AA6063 การกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัดน้อยหรือแคบมีผลทำให้การตัดเซฟวิ้งไม่สามารถกำจัดส่วนโค้งมน, รอยฉีกขาด และครีปได้หมด เพราะเนื้อเหลืออยู่น้อยไม่เพียงพอสำหรับการปาดผิว เพื่อเพิ่มส่วนเรียบตรงบริเวณขอบตัดได้ ในกรณีกระบวนการตัดเจาะหากกำหนดระยะช่องว่างระหว่างคมตัดกว้างเกินไป จะมีเนื้อชิ้นงานเหลือในการปาดผิวบริเวณขอบตัดอยู่มากจึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะขึ้นอีกครั้ง จึงไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้ ซึ่งช่องว่างระหว่างคมตัดที่เหมาะสมสำหรับอลูมิเนียมอยู่ที่ 10% ของความหนาชิ้นงาน ก่อนทำการปรับปรุงขอบตัด ด้วยกระบวนการตัดเซฟวิ้งที่ช่องว่างระหว่างคมตัด 0% ของความหนาชิ้นงาน สามารถลดส่วนโค้งมน เพิ่มส่วนเรียบตรงและ กำจัดครีปได้มากที่สุด

5.1.2 ผลของการตัดเจาะวัสดุทองแดงเกรด C1100 และวัสดุทองเหลืองเกรด C3604 ในการกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัดของกระบวนการตัดเจาะน้อยหรือแคบมีผลทำให้การตัดเซฟวิ้งไม่สามารถกำจัดส่วนโค้งมน, รอยฉีกขาด และครีปได้หมด เพราะเนื้อเหลืออยู่น้อยไม่เพียงพอสำหรับการปาดผิว เพื่อเพิ่มส่วนเรียบตรงบริเวณขอบตัดได้ ในกรณีกระบวนการตัดเจาะหากกำหนดระยะช่องว่างระหว่างคมตัดกว้างเกินไป จะมีเนื้อชิ้นงานเหลือในการปาดผิวบริเวณขอบตัดอยู่มากจึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะขึ้นอีกครั้ง จึงไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้ ซึ่งช่องว่างระหว่างคมตัดที่เหมาะสมสำหรับทองแดงอยู่ที่ 5% ของความหนาชิ้นงาน ก่อนทำการปรับปรุงขอบตัด เนื่องจากค่า

เปอร์เซ็นต์การยึดตัวของวัสดุทองแดงอยู่ที่ 35% และทองเหลืองอยู่ที่ 37% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดของการตัดเจาะเดียวกันได้ จากนั้นผ่านกระบวนการตัดเซฟวิงที่ช่องว่างระหว่างคมตัด 0% ของความหนาชิ้นงาน สามารถลดส่วนโค้งมนเพิ่มส่วนเรียบตรงและกำจัดครีปได้มากที่สุด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เครื่องมือในการทำการทดลองนั้นเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก เพราะจะส่งผลต่อความถูกต้อง ชัดเจนของข้อมูลผลการทดลอง ดังนั้นเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองควรมีสภาพที่สามารถใช้งานได้ดี มีความทันสมัย และมีความพร้อม

5.2.2 ในการออกแบบแม่พิมพ์นั้นควรคำนึงถึงความเหมาะสมของขนาดแม่พิมพ์และขนาดชิ้นงานด้วยหากแม่พิมพ์มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นจะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการจัดทำยากต่อการเคลื่อนย้าย และการบำรุงรักษา





## รายการอ้างอิง

- [1] กุลชาติ จุลเพ็ญ, วารุณี เปรมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์. (2547). “อิทธิพลของการสึกหรอในงานแม่พิมพ์ตัดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน”.การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18.
- [2] ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ, คมกรชิตะวรรณวงษ์และภาสพิรุฬห์ ศรีสำเร็จ. (2554). “การประยุกต์ใช้แหวนจิกเพื่อเพิ่มคุณภาพชิ้นงานในงานแม่พิมพ์”.(น. 437 – 441). การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2554, 20-21ตุลาคม.
- [3] SutasnThipprakmas.(2007). “An investigation of step taper-shaped punch in piercing process using finite element method” Journal of Material processing Technology, Thailand,:132-139.
- [4] Stromberger,C.,et al. (1965) Werkatatt Betr.,Vol.98-10,739.(in German)
- [5] Murakawa, M., Thipprakmas, S.,and Jin, M. (2003). “investigation of the Relationship between Shaved Surface and Shaving Allowance”,Journal of JSTP.( Vol.44-513),(pp.53-57). (in Japanese)
- [6] ชาญชัย ทรัพย์ากรณ์, และคณะ .(2534). การออกแบบแม่พิมพ์. (น. 9-16). กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [7] ชาญ ถนัดงาน .(2538). การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ขนาดเล็ก. (น. 1-1 – 1-8). : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [8] ชาญ ถนัดงาน.(2536). เอกสารประกอบการเรียนแม่พิมพ์. (น 1-20). :สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [9] Lange. K. .(1985). **Handbook of Metal Forming** .(pp. 24.8-24.13). New York ,MC : Grew-Hill.
- [10] โกสิทธิ์ มงคลภิญโญกุล. (2543). การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอแม่พิมพ์ตัดวัสดุ JIS S45C. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี).
- [11] IvanaSuchy .(1998). “Blanking and Piercing Operation”**Handbook of Die Design**. (pp.6.11–6.39).
- [12] จุลศิริ ศรีงามผ่อง. (2539). วิศวกรรมงานแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่นเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 8. (น. 1-50) : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [13] ธเนศ ลายเมฆ และคณะ. (2539). พื้นฐานการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ. (น. 3-1 – 3-34)

- [14] John A.Schey.(1984). “Tribology in Metalworking”**The American Society for Metals** . (pp.94-102, pp.511-517) .USA.
- [15] S.Y. Luo.(1999) . “Effect of the geometry and the surface treatment of punching tools on the tool life and wear conditions in the piercing of thick steel plate” **Journal of Materials Processing Technology**. (pp. 122 – 133).
- [16] C.JIA at al. “The Direct Observation Research on The Basis Process ofWear Particle Formation and Growth” **Journal of Material Science**. (pp. 2.4-1 – 2.4 – 16). :Chain.
- [17] Gang Fang at al. (2002). “Finite element simulation of effect of clearance on the forming quality in the blanking process” **Journal of Material Process**. (pp.209 – 215). : Chain.
- [18] A.M.Goijaerts.et al. (2001). “Evaluation of ductile fracture models for different metals in blanking” **Journal of Material Technology**. (pp.454 – 462). : Netherlands.
- [19] S.K.Maiti et al. (2000). “Assessment of influence of some process parameters on sheet metal blanking” **Journal of Material Technology**. (pp.224-234). : India.
- [20] Sasahara.H.,Tabuchi, H., Jin, M.,andMurakawa, M. (2001). “FEM Simulation on Machined Surface Generation in Shaving Process”, Trans action of the Japanese Society of Mechanical Engineers”(Vol. 67-654).(pp. 251-256).: in Japanese
- [21] ณัฐศักดิ์ พรพุดิสิริ และคณะ. อิทธิพลของช่องว่างระหว่างพินซ์และคายที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, จังหวัดภูเก็ต, 14-16 ตุลาคม 2545; หน้า 437 – 441.
- [22] มานพ ตันตระบัณฑิตย์.(2545). **วัสดุวิศวกรรม**. (น. 216-222). กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [23] วารุณี เปรมานนท์.(2555). **แม่พิมพ์โลหะแผ่น พิมพ์ครั้งที่6**. (น. 63-105). : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).



**ภาคผนวก ก**

**คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกลของวัสดุ**

ตารางที่ ก.1 ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมเกรด AA6063

ส่วนผสม	อัตราส่วนผสม(%)
Mn	0.10
Fe	0.35
Mg	0.90
Si	0.60
Zn	0.10
Ti	0.10
Cr	0.10
Cu	0.10
Al	Residual

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมเกรด AA6063

คุณสมบัติทางกล	ค่าที่ได้
Tensile Strength	241 Mpa
Yield Strength	214 Mpa
Elongation	12 %
Hardness	73 HB

ตารางที่ ก.3 ส่วนผสมทางเคมีของทองแดงเกรด C1100

ส่วนผสม	อัตราส่วนผสม(%)
Cu	99.90

ตารางที่ ก.4 คุณสมบัติทางกลของทองแดงเกรด C1100

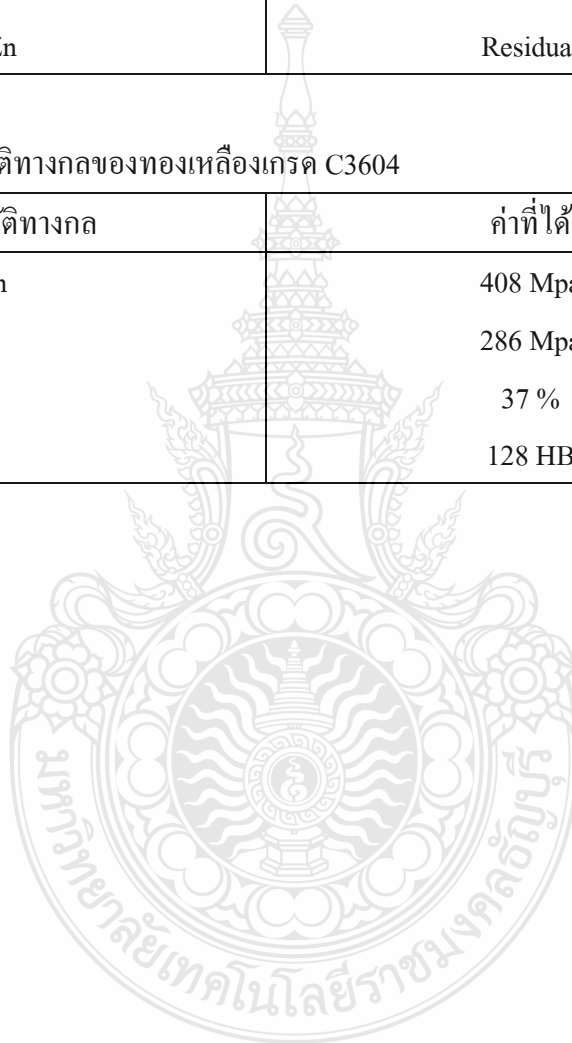
คุณสมบัติทางกล	ค่าที่ได้
Tensile Strength	293 Mpa
Yield Strength	251 Mpa
Elongation	35 %
Hardness	70 HB

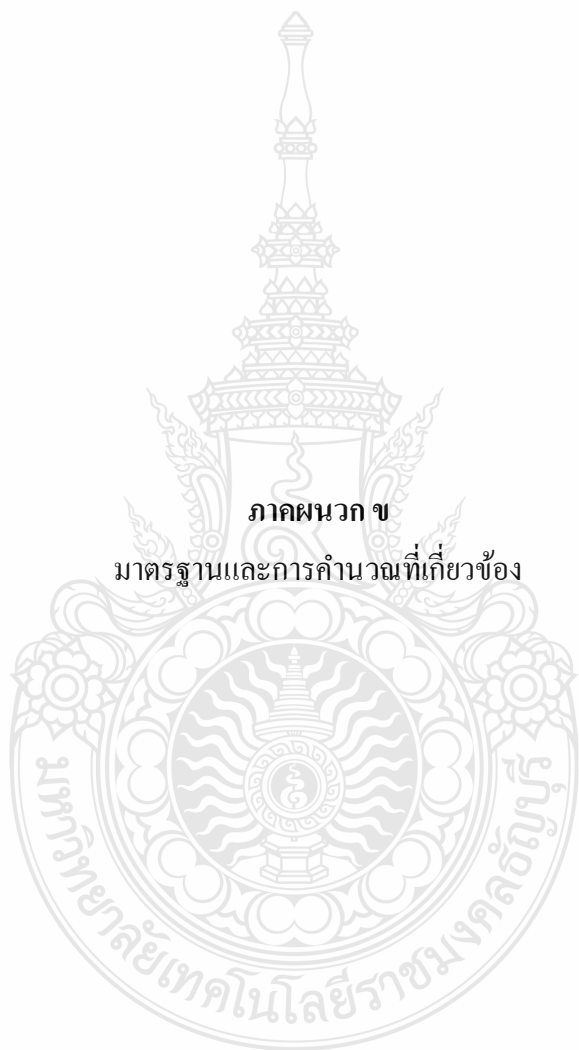
ตารางที่ ก.5 ส่วนผสมทางเคมีของทองเหลืองเกรด C3604

ส่วนผสม	อัตราส่วนผสม(%)
Cu	57
Pb	1.8
Fe+Sn	1.2
Fe	0.5
Zn	Residual

ตารางที่ ก.6 คุณสมบัติทางกลของทองเหลืองเกรด C3604

คุณสมบัติทางกล	ค่าที่ได้
Tensile Strength	408 Mpa
Yield Strength	286 Mpa
Elongation	37 %
Hardness	128 HB





ภาคผนวก ข

มาตรฐานและการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

## ข.1 มาตรฐานช่องว่างคมตัด

ตารางที่ ข.1 มาตรฐานเปอร์เซ็นต์ช่องว่างคมตัดของวัสดุต่างๆ[23]

วัสดุ	ระยะเคลียแรนซ์ (%)	ความต้านทานแรงเฉือน (kgf/mm <sup>2</sup> )
เหล็ก (Iron)	6-9	25-32
เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel)	6-9	32-40
เหล็กกล้าแข็ง (Hard Steel)	8-12	55-90
เหล็กกล้าผสมซิลิคอน(Silicon Steel)	7-11	45-56
เหล็กกล้าไร้สนิม(Stainless Steel)	7-11	52-56
ทองแดง (แข็ง)	6-10	25-30
ทองแดง (อ่อน)	6-10	18-22
ทองเหลือง (แข็ง)	6-10	35-40
ทองเหลือง (อ่อน)	6-10	22-30
บรอนซ์ (Phosphor Bronze)	6-10	50
โลหะผสมเงิน-นิกเกิล (Albata)	6-10	44
อลูมิเนียม (แข็ง)	6-10	13-18
อลูมิเนียม (อ่อน)	5-8	7-11
อลูมิเนียมผสม (แข็ง)	6-10	38
อลูมิเนียมผสม (อ่อน)	6-10	22
ตะกั่ว (Lead)	6-9	2-3
เหล็กกล้าผสมนิกเกิล (Permalloy)	5-8	52

## ข.2 มาตรฐานแรงกดแผ่นขึ้นงาน

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงแรงกดแผ่นขึ้นงาน (Stripping Pressure)

ความหนาขึ้นงาน	ค่าที่ใช้ในการปลด (%)
น้อยกว่า 1 มม.	6
1-1.6 มม.	8
1.6-2.5 มม.	10
2.5-4 มม.	12.5

### ข. 3 การคำนวณที่เกี่ยวข้อง

#### ข. 3.1 การคำนวณหาแรงในการตัด(Cutting Force)

สูตร

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

เมื่อ

$k_s$  = ความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุ

$d$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

$t$  = ความหนาของวัสดุ

##### ข.3.1.1 กำหนดการคำนวณวัสดุลูมิเนียม

คำนวณแรงตัดวัสดุลูมิเนียม

$d$  = 20 มิลลิเมตร

$t$  = 3 มิลลิเมตร

$k_s$  = 15.5 Kg/mm<sup>2</sup>

แทนค่าสูตร

$$F_s = \pi \times 20 \times 3 \times 15.5$$

$$= 2,922 \text{ Kg.}$$

$$\approx 2.9 \text{ Ton}$$

แรงกดแผ่นขึ้นงานวัสดุลูมิเนียม (Stripping pressure)

ที่ ความหนาชิ้นงาน 2.5 – 4 มม. ใช้ Stripping pressure ที่ 12.5 เปอร์เซ็นต์ของ cutting pressure

สูตร

$$P_s = 2,922 \times 0.125$$

$$= 365.25 \text{ kg.}$$

##### ข.3.1.2 กำหนดการคำนวณวัสดุทองแดง

คำนวณแรงตัดวัสดุทองแดง

$d$  = 20 มิลลิเมตร

$t$  = 3 มิลลิเมตร



$$k_s = 13.25 \text{ Kg/mm}^2$$

แทนค่าสูตร

$$\begin{aligned} F_s &= \pi \times 20 \times 3 \times 13.25 \\ &= 2,497.5 \text{ Kg.} \\ &\approx 2.4 \text{ Ton} \end{aligned}$$

แรงกดแผ่นขึ้นงานวัสดุทองแดง (Stripping pressure)

ที่ ความหนาขึ้นงาน 2.5 – 4 มม. ใช้ Stripping pressure ที่ 12.5 เปอร์เซ็นต์ของ cutting pressure

สูตร

$$\begin{aligned} P_s &= 2,497.5 \times 0.125 \\ &= 312.2 \text{ kg.} \end{aligned}$$

### ข.3.1.3 กำหนดการคำนวณวัสดุทองเหลือง

คำนวณแรงตัดวัสดุทองเหลือง

$$\begin{aligned} d &= 20 \text{ มิลลิเมตร} \\ t &= 3 \text{ มิลลิเมตร} \\ k_s &= 37 \text{ Kg/mm}^2 \end{aligned}$$

แทนค่าสูตร

$$\begin{aligned} F_s &= \pi \times 20 \times 3 \times 37 \\ &= 6,974.3 \text{ Kg.} \\ &\approx 7 \text{ Ton} \end{aligned}$$

แรงกดแผ่นขึ้นงานวัสดุทองเหลือง (Stripping pressure)

ที่ ความหนาขึ้นงาน 2.5 – 4 มม. ใช้ Stripping pressure ที่ 12.5 เปอร์เซ็นต์ของ cutting pressure

สูตร

$$\begin{aligned} P_s &= 6,974.3 \times 0.125 \\ &= 871.7 \text{ kg.} \end{aligned}$$

### ข. 3.2 การกำหนดขนาดพินซ์และคาย

จากสูตร

$$D_p = D_d - 2C_l$$

เมื่อ

$$D_p = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของพินซ์}$$

$$D_d = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของคาย}$$

$$C_l = \text{ระยะช่องว่างระหว่างพินซ์และคาย(Clearance)}$$

พินซ์และคายชุดที่ 1 ระยะช่องว่างระหว่างพินซ์และคาย 0%

กำหนด

$$D_p = 20 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$C_l = 0\% \text{ ของความหนาชิ้นงาน}$$

$$= 20 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\therefore D_d = 20 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$C_l = 0\% \text{ ของความหนาชิ้นงาน}$$

$$= 20 \text{ มิลลิเมตร}$$

พินซ์และคายชุดที่ 2 ระยะช่องว่างระหว่างพินซ์และคาย 2%

กำหนด

$$D_d = 20 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$C_l = 2\% \text{ ของความหนาชิ้นงาน}$$

$$= 0.02 \times 20$$

$$= 0.04 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\therefore D_p = 20 - (2 \times 0.04)$$

$$= 19.92 \text{ มิลลิเมตร}$$

พินซ์และคายชุดที่ 3 ระยะช่องว่างระหว่างพินซ์และคาย 5%

กำหนด

$$D_d = 20 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\begin{aligned}
 C &= 5\% \text{ ของความหนาชิ้นงาน} \\
 &= 0.05 \times 3 \\
 &= 0.15 \text{ มิลลิเมตร} \\
 \therefore D_p &= 20 - (2 \times 0.15) \\
 &= 19.70 \text{ มิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

พื้นที่และคายชุดที่ 4 ระยะช่องว่างระหว่างพื้นที่และคาย 10%

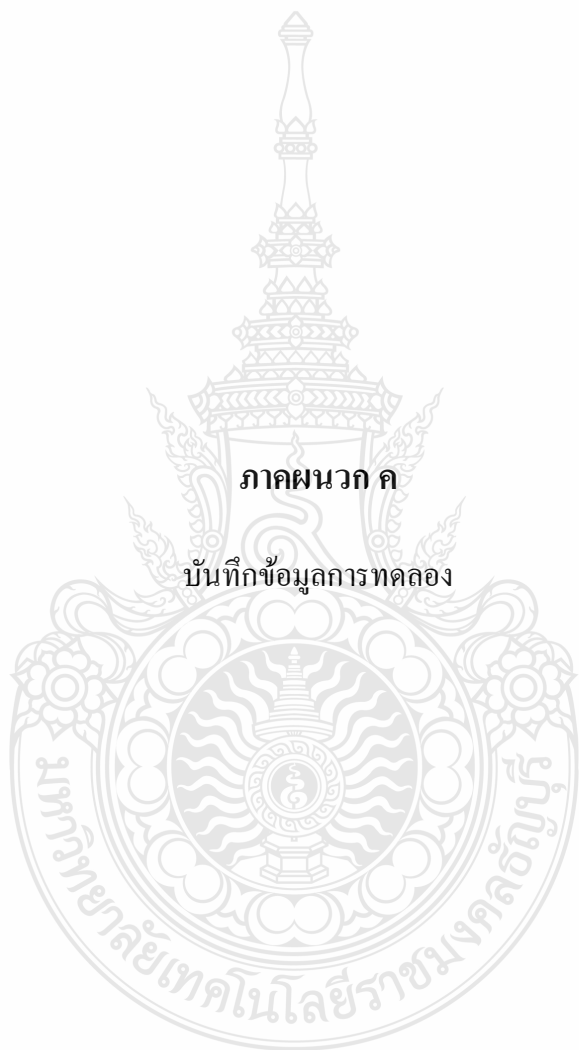
กำหนด

$$\begin{aligned}
 D_d &= 20 \text{ มิลลิเมตร} \\
 C &= 10\% \text{ ของความหนาชิ้นงาน} \\
 &= 0.1 \times 3 \\
 &= 0.3 \text{ มิลลิเมตร} \\
 \therefore D_p &= 20 - (2 \times 0.3) \\
 &= 19.40 \text{ มิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

พื้นที่และคายชุดที่ 5 ระยะช่องว่างระหว่างพื้นที่และคาย 15%

กำหนด

$$\begin{aligned}
 D_d &= 20 \text{ มิลลิเมตร} \\
 C &= 15\% \text{ ของความหนาชิ้นงาน} \\
 &= 0.15 \times 3 \\
 &= 0.45 \text{ มิลลิเมตร} \\
 \therefore D_p &= 20 - (2 \times 0.45) \\
 &= 19.10 \text{ มิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$



ภาคผนวก ค

บันทึกข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองกระบวนการตัดเจาะของอลูมิเนียม

ลำดับที่	ความสูงส่วนโค้งมน	ความสูงส่วนเรียบตรง	ความสูงส่วนน็อกขาด	ความสูงครีป
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 0%				
1	0.1	0.93	1.66	0.11
2	0.08	0.74	1.83	0.11
3	0.08	0.89	1.7	0.11
4	0.08	0.89	1.7	0.11
5	0.07	0.88	1.73	0.08
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 2%				
6	0.06	0.7	1.81	0.1
7	0.09	0.72	1.79	0.09
8	0.11	0.85	1.63	0.12
9	0.13	0.69	1.74	0.17
10	0.07	0.71	1.79	0.12
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 5%				
11	0.08	0.82	1.9	0.15
12	0.09	0.71	1.94	0.14
13	0.09	0.88	1.77	0.15
14	0.09	0.78	1.88	0.12
15	0.1	0.74	1.92	0.14
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 10%				
16	0.11	0.78	1.81	0.14
17	0.09	0.86	1.78	0.13
18	0.07	0.79	1.84	0.14
19	0.1	0.74	1.88	0.13
20	0.11	0.89	1.78	0.12
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 15%				
21	0.12	0.82	1.63	0.12
22	0.09	1.1	1.37	0.1
23	0.11	0.91	1.5	0.11
24	0.14	0.94	1.54	0.18
25	0.15	0.82	1.64	0.15

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองกระบวนการตัดเซฟวิ่งของอลูมิเนียม

ลำดับที่	ความสูงส่วน โค้งมน	ความสูงส่วนเรียบตรง	ความสูงส่วนนีกขาด	ความสูงครีป
ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และคาย 2%				
1	0.11	1.01	1.47	0.29
2	0.09	1.02	1.5	0.15
3	0.1	1.31	1.25	0.11
4	0.11	1.43	1.09	0.07
5	0.06	0.76	1.75	0.07
ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และคาย 5%				
6	0.1	1.75	0.98	0.18
7	0.11	1.67	1	0.14
8	0.09	1.93	0.7	0.13
9	0.08	1.77	0.94	0.12
10	0.08	2.09	0.64	0.13
ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และคาย 10%				
11	0.05	2.72		
12	0.13	2.28	0.41	0.14
13	0.05	2.69		0.13
14	0.06	2.57	0.19	
15	0.07	2.31	0.39	
ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และคาย 15%				
16	0.06	1.85	0.7	0.17
17	0.04	1.9	0.61	0.2
18	0.04	1.57	0.95	0.12
19	0.04	1.79	0.75	0.12
20	0.04	1.8	0.72	0.12

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองกระบวนการตัดเจาะของทองแดง

ลำดับที่	ความสูงส่วนโค้งมน	ความสูงส่วนเรียบตรง	ความสูงส่วนน็อกขาด	ความสูงกรีบ
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 0%				
1	0.12	2.88	0	0
2	0.1	2.9	0	0
3	0.12	2.88	0	0
4	0.13	2.87	0	0
5	0.13	2.87	0	0
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 2%				
6	0.14	1.07	1.79	0.05
7	0.14	1.1	1.76	0.05
8	0.12	1.07	1.81	0.04
9	0.15	1.08	1.77	0.06
10	0.14	1.1	1.76	0.04
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 5%				
11	0.15	0.97	1.88	0.09
12	0.15	0.98	1.87	0.07
13	0.16	0.95	1.89	0.1
14	0.17	0.97	1.86	0.1
15	0.16	1	1.84	0.07
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 10%				
16	0.19	0.9	1.91	0.1
17	0.19	0.92	1.89	0.14
18	0.17	0.95	1.88	0.12
19	0.19	0.9	1.91	0.14
20	0.2	0.93	1.87	0.1
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 15%				
21	0.23	0.85	1.92	0.12
22	0.2	0.88	1.92	0.17
23	0.23	0.85	1.92	0.14
24	0.23	0.88	1.89	0.15
25	0.2	0.88	1.92	0.15

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองกระบวนการตัดเซฟวิ่งของทองแดง

ลำดับที่	ความสูงส่วนโค้งมน	ความสูงส่วนเรียบตรง	ความสูงส่วนนิกขาด	ความสูงกรีบ
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 2%				
1	0.09	2.74	0.17	0.04
2	0.09	2.74	0.17	0.04
3	0.07	2.72	0.21	0.05
4	0.08	2.75	0.17	0.04
5	0.09	2.73	0.18	0.06
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 5%				
6	0.08	2.86	0.06	0.04
7	0.08	2.87	0.05	0
8	0.1	2.84	0.06	0.04
9	0.07	2.86	0.07	0
10	0.1	2.87	0.03	0.05
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 10%				
11	0.18	2.2	0.62	0.05
12	0.15	2.18	0.67	0.07
13	0.15	2.15	0.7	0.09
14	0.16	2.15	0.69	0.07
15	0.15	2.17	0.68	0.06
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 15%				
16	0.22	1.33	1.45	0.12
17	0.2	1.33	1.47	0.12
18	0.2	1.35	1.45	0.17
19	0.22	1.38	1.4	0.14
20	0.2	1.35	1.45	0.16



ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองกระบวนการตัดเจาะของทองเหลือง

ลำดับที่	ความสูงส่วน โค้งมน	ความสูงส่วนเรียบตรง	ความสูงส่วนนิกขาด	ความสูงกรีบ
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 0%				
1	0.1	0	2.9	0.06
2	0.09	0	2.91	0.09
3	0.11	0	2.89	0.07
4	0.1	0	2.9	0.09
5	0.1	0	2.9	0.08
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 2%				
6	0.15	0	2.85	0.09
7	0.15	0	2.85	0.08
8	0.16	0	2.84	0.1
9	0.14	0	2.86	0.09
10	0.16	0	2.84	0.08
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 5%				
11	0.17	0	2.83	0.14
12	0.19	0	2.81	0.1
13	0.18	0	2.82	0.14
14	0.18	0	2.82	0.13
15	0.19	0	2.81	0.14
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 10%				
16	0.17	0	2.83	0.16
17	0.19	0	2.81	0.17
18	0.2	0	2.8	0.15
19	0.18	0	2.82	0.17
20	0.19	0	2.81	0.16
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 15%				
21	0.22	0	2.78	0.23
22	0.22	0	2.78	0.24
23	0.24	0	2.76	0.24
24	0.23	0	2.77	0.21
25	0.22	0	2.78	0.22

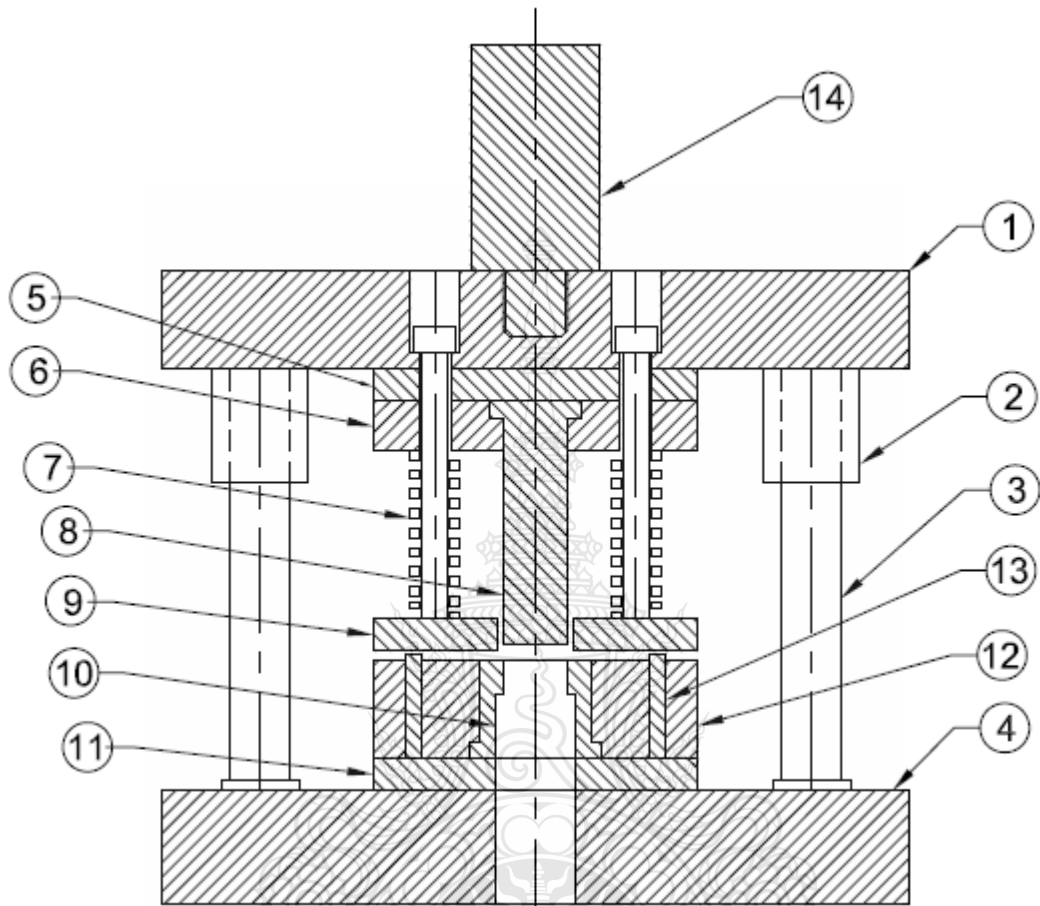
ตารางที่ ๓.๖ ผลการทดลองกระบวนการตัดเซฟวิ่งของทองเหลือง

ลำดับที่	ความสูงส่วน โค้งมน	ความสูงส่วนเรียบตรง	ความสูงส่วนน็อกขาด	ความสูงครีบก
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 2%				
1	0.14	2.44	0.42	0.13
2	0.1	2.5	0.4	0.1
3	0.14	2.48	0.38	0.1
4	0.11	2.48	0.41	0.11
5	0.13	2.44	0.43	0.08
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 5%				
6	0.07	2.76	0.17	0
7	0.05	2.8	0.15	0
8	0.05	2.78	0.17	0
9	0.09	2.78	0.13	0
10	0.1	2.8	0.1	0
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 10%				
11	0.05	2.56	0.39	0.08
12	0.05	2.5	0.45	0.1
13	0.07	2.48	0.45	0.08
14	0.05	2.5	0.45	0.1
15	0.06	2.57	0.37	0.11
ช่องว่างระหว่างฟันซ์และคาย 15%				
16	0.17	2.16	0.67	0.12
17	0.15	2.15	0.7	0.12
18	0.15	2.17	0.68	0.08
19	0.17	2.14	0.69	0.1
20	0.17	2.14	0.69	0.12



ภาคผนวก ง

แบบและส่วนประกอบแม่พิมพ์



รูปที่ ๑.๑ แบบภาพประกอบแม่พิมพ์ตัดในงานวิจัย

ตารางที่ ง.1 ชั้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในงานวิจัย

ชั้นที่	รายการ	ขนาด	จำนวน	วัสดุ
1	Upper Plate	230x175x30	1	S50C
2	Bush	Ø30x65	4	S50C
3	Guide Post	Ø18x160	4	S50C
4	Lower Plate	230x175x35	1	S50C
5	Punch Backup	100x100x10	1	S50C
6	Punch Plate	100x100x15	1	S50C
7	Spring	Ø15x55	4	-
8	Punch	Ø28x75	5	SKD11
9	Stripper Plate	100x100x10	1	S50C
10	Buton Die	Ø40x30	1	SKD11
11	Die Backup	100x100x10	1	S50C
12	Die Plate	100x100x30	1	S50C
13	Guide Pin	Ø5x30	2	S50C
14	Shank	Ø40x90	1	S50C



**ภาคผนวก จ**

**ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่**



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยมหิดล

ร่วมกับ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยศิลปากร

Proceedings  
**IE Network Conference 2013**  
**Green Productivity and Innovation**

16 - 18 ตุลาคม 2556

โรงแรม เอวิ้น เดอะ รอยัล ครุช พัทยา ชลบุรี



ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ  
การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ.ดร.จิตรา รุ่งกิจการพานิช

ผศ.ดร.มานพ เรียวเคชะ

ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผศ. ดร.กรทิพย์ วัชรปัญญาวงศ์ เตชะเมธีกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ผศ.ดร.สิรวงศ์ กลั่นคำสอน

ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง

ดร.นงนุชวิภา จันทรศรี

ดร.เพ็ญสุดา พันธุธัชคำ

ดร.ฐิติกร พัฒนพิบูล

อ.จักรินทร์ กลั่นเงิน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล

รศ.ดร.ชนนาค กฤตวรภาณุจัน

รศ.ดร.นิวิธ เจริญใจ

รศ.ดร.วิมลสิน เหล่าศิริถาวร

รศ.ดร.อภิชาติ โสภางแดง

ผศ.ดร.ศักดิ์เกษม ระมิงค์วงศ์

ผศ.ดร.กรกฎ ไยบัวเทศ ทิพย์าวงศ์

ผศ.ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์

ผศ.ดร.รุ่งนิตร์ ชมภูอินทไ

ผศ.ดร.วิไลสนัย วรรัตน์จณวียา

ผศ.ดร.อรรถพล สมทุคบุตตี

ดร.วไลวัชร นาคเขียว

ดร.วิรัช วิไลทิพย์พานิช

ดร.อนิรุท ไชยจารุณิช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ.ดร.เดือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์

รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์

รศ.วชิระ มีทอง

ผศ.ดร.สุขสันต์ พรหมบุญพงศ์

ผศ.ดร.อภิรักษ์นา อุดมศักดิ์กุล

ผศ.ดร.เจริญชัย โชมพัตราภรณ์

ผศ.ดร.ธัญญา วสุศรี

ผศ.ดร.อิศรทัต พึ่งอัน







ผศ.เฉลิมเกียรติ จิระรุ่งเสถียร  
ผศ.เชิดพงษ์ จอมเดช  
ผศ.เจริญ สุนทราวาณิชย์  
ดร.ปภัศร ชัยวัฒน์  
อ.ภัทธีรา ม้วนจั่น

ดร.ช่อแก้ว จตุรานนท์  
อ.แบงค์ งามอรุณโชติ  
อ.อาวุธ สนใจยุทธ  
ผศ.มงคล สีนะวัฒน์

**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**

ผศ.ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์  
ผศ.ดร.กุศล พิมาพันธุ์ศรี  
ผศ.ดร.ธีรเดช วุฒิพรพันธ์

ผศ.ดร.นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร  
ดร.ธนสาร อินทรกำธรชัย  
ดร.วราภรณ์ มีดม

**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร**

ดร.วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ ออยุธยา  
อ.ธนกฤต โชติภาววิศ  
อ.ธนิศา สุนาร์ักษ์  
อ.พัฒนพงษ์ แสงหัตถวัฒนา

อ.พรเทพ แก้วเชื้อ  
อ.วรินทร์ เกียรติบุญกุล  
อ.อรณิชา อนุชิตชาญชัย

**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี**

รศ.ดร.ณฐา ศุภดิษฐ์เรียว  
ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงษ์  
ผศ.ดร.ศิริชัย ต่อสกุล  
ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง  
ผศ.นฤฤทธิ์ คชฤทธิ์  
ผศ.ไพฑูรย์ พูลสุขโช  
ผศ.ไพบูลย์ เข้มเนียน  
ผศ.ศุภเอก ประมูลมาก

ผศ.ศรีโร จารุกัญญา  
ผศ.สมศักดิ์ แกนทอง  
ผศ.สุรัตน์ ตริยวงษ์พงศ์  
ดร.กุลชาติ จุลเพ็ญ  
ดร.ชัยยะ ปราณิตพลกรัง  
ดร.ระพี ภาณุจนะ  
อ.วราญา วัฒนจิตสิริ





**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ**

ผศ.ดร.นันทโชติ อุดมศรี  
ผศ.จักรินทร์ น่วมทิม

ผศ.ร่ำพิง เจริญยศ  
ดร.สมพงษ์ พิริยานต์

**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุโขทัยธรรมาธิราช**

รศ.ผกามาศ ผจญแก้ว  
รศ.สุภาวดี อีธรรมมาร  
รศ.สุณี ภูสีม่วง  
รศ.ศุภณี เวียบเลิศศิริ  
ดร.แนวบุญ แยมแสงสังข์

อ.กรรณิการ์ ยี่มนา  
อ.จิราบุษ บุคติจิน  
อ.บุญชัย วลีธรรมสวัสดิ์  
อ.ภูมิ เจือศิริภักดี  
อ.อิทธิเดช มูลมั่งมี

**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**

ดร.จกกล ศรีธ

**มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**

รศ.ดร.จิรัชย์ พุทธกุลสมศิริ

**มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์**

ผศ.ดร.ปัญญา พิทักษ์กุล  
ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์  
ดร.สมหญิง งามพรประเสริฐ  
ดร.สันต์ รัฐวิบูลย์

อ.วุฒิกรณ์ จรรย์ต้นติเวทย์  
อ.อรดี พงศ์ศรีณายนนท์  
ผศ.ดร.ศุภราชชัย วรรัตน์

**มหาวิทยาลัยนครพนม**

ดร.บัณฑิต บุญขาว  
ดร.วิชัย พัฒนพล  
อ.รุจามา นันทโทธีเดช

**มหาวิทยาลัยแม่โจ้**

ผศ.เสริมสุข บัวเจริญ





มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร  
รศ.ดร.ไพโรจน์ เนียมมาศ

ผศ.วิชญ์ บัวเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช  
ดร.วีระยุทธ สุดสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์  
ดร.จิรวัดน์ วัฒนศิริวิริยา

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร  
รศ.ดร.วิชัย แหวนเพชร  
ผศ.ดร.ประณต บุญไชยอภิสิทธิ์  
ผศ.อวยชัย วงศ์วัฒน์  
ดร.อนันตกุล อินทรผดุง  
อ.ชาดูชัย วัลลิสุต

อ.พิเชษฐ์ รัตนบุญทวี  
อ.ภาสุระ อังกุลานนท์  
อ.ลักขณา ฤกษ์เกษม  
อ.อรรณ บั่นทอง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม  
อ.ธณิดา ไชนงนุช

อ.อลงกรณ์ เมืองไหว

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย  
อ.เปรมชัย มูลหล้า

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา  
รศ.นิตยา สวัสดิพงษ์  
ผศ.สุทัศน์ จันบัวลา  
ดร.ชาติ ทีมะ

ดร.ชนินทร์ กุลเศรษฐ์อุชลี  
ดร.สิริวัลย์ เรืองช่วย คู่ประกาย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์  
ผศ.ดร.ชูชาติ พยอม  
ผศ.ดร.ณัฐกานต์ พวงไพบูลย์

ผศ.ดร.นิคม ลนขุนทด





**มหาวิทยาลัยสยาม**

รศ.ดร.วันชัย ธิจิรวัณิช  
รศ.ศันสนีย์ สุภาภา  
ผศ.ดร.เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิทธิ  
ผศ.ดร.รัฐภูมิ รัตนคุณ  
ผศ.ดร.อาทิตย์ ไสตรโยม

อ.ณัฐพล พุฒยางกูร  
อ.ธัชณนธ์ แคนเขต  
อ.ปุณยิศา คินดี  
อ.พงศ์พัฒน์ เพชรรุ่งเรือง  
อ.วิมลพรรณ คงสมบูรณ์

**มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย**

รศ.ดร.สถาพร อมรสวัสดิ์วัฒนา  
ผศ.ดร.กาญจนา กาญจนสุนทร

ผศ.ดร.ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์  
ดร.วิวัฒน์ พงษ์กานนท์

**มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย**

ดร.นิศากร สมสุข  
อ.จิตลดา หมายมั่น

อ.วรลักษณ์ เสถียรรังสฤษฏ์  
อ.อรอุมา กอสมาน

**มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**

รศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส  
ผศ.ดร.คณิศร ภูนิคม  
ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง  
ผศ.ดร.บุษรา เกรียงกรกฎ  
ผศ.ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ

ผศ.ดร.สมบัติ สีนุเชาวน์  
ดร.จรรยาพร แสนทวีสุข  
ดร.ธารชอุดา พันธน์กุล  
ดร.สันต์ ไอนหวาหรือกุล

**โรงเรียนนายเรืออากาศ**

น.อ.สุทธิ ศรีบูรพา

น.ท.ปัญญาธิรักษ์ โกศลวัฒน์

**สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น**

ผศ.ดร.ณัฐพล ลิ่มจิระจรัส  
ผศ.ดร.พิศุทธิ พงษ์ชัยฤกษ์  
ผศ.ดร.วราคม เมินน้อย  
ผศ.ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ

ดร.กรกฎ เหมสถาปัตย์  
ดร.จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์  
ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน







**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

ดร.วิภู ศรีสืบสาย

ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล

รศ.ดร.วัลย์ลักษณ์ อัศวธีรวงศ์

รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

รศ.ดร.ฤดี มาสุจันทร์

รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต

ผศ.ดร.ชุมพล ยวงโย

ดร.พลชัย โชติปรายนกุล

ดร.พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม

ดร.อุคม จันทร์จรัสสุข

**มหาวิทยาลัยศิลปากร**

ผศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิต

ผศ.จันทร์เพ็ญ อนุรัตน์านนท์

ผศ.วันชัย สีลากวีวงศ์

ดร.กัญจนา ทองสนิท

ดร.คณศ พลอยคณีย์

ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม

ดร.สุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์

อ.กวินธร สัยเจริญ

**มหาวิทยาลัยมหิดล**

รศ.ดร.ดวงพรรณ กริชชาญชัย

รศ.ศุภชัย นาทะพันธ์

ผศ.ดร.กนกวรรณ กิ่งผดุง

ผศ.ดร. ดร.ธนภรณ์ แน่นหนา

ผศ.ดร.วเรศรา วีระวัฒน์

ผศ.ดร.สรนาถ ไธภู

ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย

ดร.จิรพรรณ เลี้ยงโรควาฬ

ดร.มงคล เทียนวิบูลย์

อ.สิทธิพันธุ์ ดันทวีรุฬห์

ดร.รณชัย ศีโรเวฐนกุล

ดร.ศุภชัย ราชบุรีศิริ

อ.กัญจน์ คณาธารทิพย์

อ.ดวงยศ สมภักดิ์

อ.ธนา สาตรา

อ.นพกร ภูระยา

อ.พิมพ์วิมลชัย สตะโคตร





MAN028	การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาบัดกรีที่มีต่อความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะระหว่างโลหะบัดกรี Sn-58Bi กับแผ่นรองทองแดง กมลวิภา พึ่งเจียก ชัยพนม หนูแก้ว และ กรรณชัย กัลยาศิริ	29
MAN029	การพัฒนาสมการเชิงตัวแปรสำหรับกระบวนการออกแบบและผลิตเฟืองดอกจอกแบบเฉียง ศฤมภ์ สังข์ทอง และ ชนะ รัชศิริ	30
MAN030	การกำหนดจำนวนพีชซีเซตที่เหมาะสมในระบบพีชซีสำหรับการตรวจสอบการสึกหรอของเครื่องมือในกระบวนการตีแปกลีด้วยใช้การจัดกลุ่มแบบลบบอก รัชพล มาศกลิน และ ชนะ รัชศิริ	31
MAN031	การประยุกต์ใช้เทคนิคการแทรกค่าเชิงเส้นแบบหลายแกนเพื่อทำนายพฤติกรรมการกัดตัวกลับของชิ้นงานในกระบวนการพับตัว ภาสกรวิรุฬห์ ศรีสำเริง รามิล เกศวรากุล และ วรุณี เปรมมานนท์	32
MAN032	การศึกษาอิทธิพลของอินเดียมต่อการกระจายตัวและการเกิดสารประกอบเชิงโลหะของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.3Ag-0.7Cu-xIn บนแผ่นทองแดง กัธร สุขพิมาย กัลยา นุ้ยไพบ และ กรรณชัย กัลยาศิริ	33
MAN033	การศึกษาช่องว่างระหว่างพันธะและคายในการัดเจาะที่มีผลต่อคุณภาพขอบตัดสำหรับกระบวนการตัดเซพริงแผ่นอลูมิเนียม AA 6063 พงศกร หลีตระกูล ชานี ทองมาก อรรถพล พลาศรี และ กุลชาติ จุลเพ็ญ	34
MAN034	การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมเพื่อทำผิวสำเร็จชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด STAVAX ESR ด้วยเครื่องกัดสปาร์คไฟฟ้าโดยวิธีทากซ์ บรรจบ ประสารแสง ยภิวัฒน์ มุตตามระ และ บุษบา พุกษาพันธุ์รัตน์	35
MAN035	อิทธิพลของรัศมีโค้งที่มีผลต่อการบิ่นขึ้นรูปร่างตัวบูแบบโค้ง บุญเรือง เย็นศิริ ชวลา วรณสิทธิ์ ธวัชชัย แก้วสีโส บัญชา วงศ์ศรีทา ไพศาล เอี่ยมมิ และ กุลชาติ จุลเพ็ญ	36
MAN036	การปรับปรุงคานไบมีต้อยทางปาล์มของอุปกรณ์พ่วงรถแทรกเตอร์ บรรเลง คำเกตุ จตุพร ใจดำรงค์ ปิยวิทย์ สุวรรณ จักรวันทร์ ฉัตรทอง และ พิชญาก พิศสุวรรณ	37
MAN037	อิทธิพลของรัศมีมุมคายในการลากขึ้นรูปด้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสของเหล็กกล้าวีคร็อนทนแรงดึงสูงสำหรับงานโครงสร้างรถยนต์ ชวลา วรณสิทธิ์ บัญชา วงศ์ศรีทา บุญเรือง เย็นศิริ ไพศาล เอี่ยมมิ ธวัชชัย แก้วสีโส และ กุลชาติ จุลเพ็ญ	38



การประชุมวิชาการช่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2556  
IE Network Conference 2013

ช่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ขอขอบเกียรติบัตรนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

พงศกร หลีตระกูล ชำนิ ทองมาก อรรถพล พลาศรัย กุลชาติ จุลเพ็ญ

ได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิชาการในหัวข้อ

การศึกษาช่องว่างระหว่างพื้นที่และดาวยในการตัดเจาะที่มีผลต่อคุณภาพ

ขอขอบตัดสำรับกระบวนการตัดเซพิ่งแผ่นอลูมิเนียม AA 6063

ระหว่างวันที่ 16-18 ตุลาคม 2556

ณ โรงแรมเอวิน เดอะ รอยัล ครูซ พัทยา จังหวัดชลบุรี

นางสาว กัญญา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ กิ่งผดุง)

ประธานช่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2556

PK

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร)

ประธานช่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2556

# การศึกษาช่องว่างระหว่างพินซ์และดายในการตัดเจาะที่มีผลต่อคุณภาพขอบตัด สำหรับกระบวนการตัดเซฟวิ่งอลูมิเนียม AA 6063

## A Study of Piercing Clearance on Cutting Edge Quality in Shaving Process for 6063-Aluminum Alloy Sheet

พงศกร เหลือตระกูล<sup>1\*</sup> ชานี ทองมาก<sup>2</sup> อรรถพล พลาศรีย์<sup>3</sup> กุลชาติ จุลเพ็ญ<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
E-mail: pongsakorn\_23@hotmail.com

Pongsakorn Leetrakul<sup>1\*</sup> Chamni Thongmark<sup>2</sup> Attapol Palasay<sup>3</sup> Kunlachart Junlapen<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology  
Thanyaburi  
E-mail: pongsakorn\_23@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณภาพขอบตัดชิ้นงานด้วยกระบวนการตัดเซฟวิ่ง สำหรับอลูมิเนียมเกรด AA6063 ความหนา 3 มิลลิเมตร โดยกำหนดแม่พิมพ์เจาะรูเริ่มต้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดาย เท่ากับ 20 มิลลิเมตร และทำการศึกษาอิทธิพลของช่องว่างระหว่างพินซ์และดายในการตัดเจาะรู 4 ระดับ คือ 2, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน ความเร็วในการตัดเจาะคงที่เท่ากับ 30 มิลลิเมตร/วินาที ส่วนแม่พิมพ์ในกระบวนการตัดเซฟวิ่งได้ถูกออกแบบให้มีช่องว่างระหว่างพินซ์และดาย เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน และใช้ความเร็วในการตัดเซฟวิ่ง เท่ากับ 10 มิลลิเมตร/วินาที จากผลการทดลองพบว่าช่องว่างระหว่างพินซ์และดายในการตัดเจาะรู มีผลต่อคุณภาพขอบตัดด้วยกระบวนการตัดเซฟวิ่ง กล่าวคือ ถ้าใช้ระยะช่องว่างระหว่างพินซ์และดายในการตัดเจาะน้อย มีผลทำให้การตัดเซฟวิ่งไม่สามารถกำจัด ส่วนโค้งมน, รอยฉีกขาด และครีปได้หมด เพราะมีเนื้อชิ้นงานเหลืออยู่น้อย ไม่เพียงพอสำหรับการปาดผิวเพื่อเพิ่มส่วนเรียบตรงบริเวณขอบตัด ในทางกลับกันในขณะที่ช่องว่างระหว่างพินซ์และดายมาก ก็มีเนื้อชิ้นงานเหลือในการปาดผิวบริเวณขอบตัดอยู่มาก จึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้ ซึ่งช่องว่างระหว่างพินซ์และดายของการตัดเจาะที่เหมาะสม ก่อนปรับปรุงคุณภาพขอบตัดด้วยกระบวนการตัดเซฟวิ่ง อยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน สามารถลดส่วนโค้งมนและเพิ่มส่วนเรียบตรง กำจัดรอยฉีกขาดของขอบตัดชิ้นงาน

**คำหลัก** กระบวนการตัดเซฟวิ่ง แม่พิมพ์เจาะรู ขอบตัดชิ้นงาน

### Abstract

The objective of this research is to study the improvement of cutting edge with shaving process for Aluminum Alloy AA6063 shaving a thickness of 3mm. The diameter of piercing dies was specified at 20mm. This research studied the influence of clearance of piercing punch and die at 2, 5, 10 and 15% according to the thickness of sheet. The cutting speed of piercing was fixed at 30 mm/second. The clearance of punch and die in the shaving process was 0% according to the thickness of sheet while cutting speed was fixed at 10 mm/second. The experimental results showed that the clearance of



piercing punch and die affected to cutting edge quality. In the case of clearances at 2-5%, die-roll, fracture surface and blur on the cutting edge could not be eliminated, due to cutting surface was too thin. On the other hand, in the case of clearance at 15%, crack was regenerated, due to cutting surface was too thick. In our experiment, the clearance at 10% was the optimized value. The die-roll, fracture could be eliminated while sheared surface was increased.

**Keywords:** Shaving process Piercing die Cutting edge

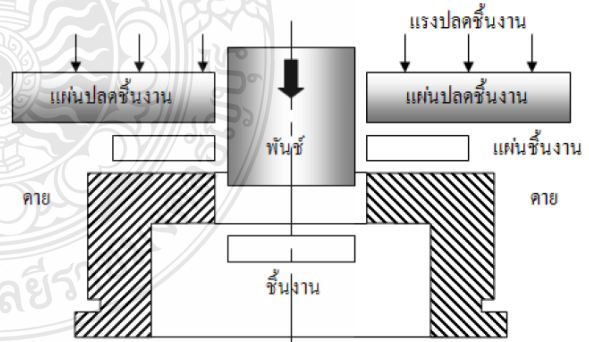
## 1. บทนำ

เทคโนโลยีทางด้านแม่พิมพ์โลหะได้เข้ามามีบทบาทในการเพิ่มผลผลิต ทางด้านอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและการขึ้นรูปชิ้นส่วนต่าง ๆ อย่างไม่กี่ตาม แม่พิมพ์ตัดเจาะ (Piercing die) เป็นกระบวนการตัดจากคมตัดของแท่งพินช์ (Punch) และตาย (Die) โดยจะนำแผ่นเปล่า ที่ได้จากการตัดไปใช้งานหรือ ในกระบวนการผลิตลำดับต่อไป ดังนั้นมีความจำเป็นอย่างมากต่อโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต ในกระบวนการตัดโดยทั่วไปแล้ว บริเวณขอบตัดจะมี ส่วนที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นคือ รอยแตกและครีบ จึงทำให้เสียเวลาในการกำจัดรอยแตกและครีบ โดยการนำชิ้นงานไปผ่านกระบวนการแมชชีน เช่น กระบวนการเจียรไน แต่จะเป็นการเพิ่มเวลาและต้นทุนในการผลิต ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาของกระบวนการตัดที่มีผลต่อคุณภาพผิวงาน รายงานวิจัยในอดีต [1]กุลชาติ จุลเพ็ญ และคณะ ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการสึกหรอในงานแม่พิมพ์ตัดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานงาน [2]ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริและคณะ ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้แหวนจิกเพื่อเพิ่มคุณภาพชิ้นงานในงานแม่พิมพ์ [3]สุทัศน์ ทิพย์ปรีภักมาศ และคณะได้ศึกษาความสัมพันธ์ของระยะเผื่อเซฟและผิวงานตัดในกระบวนการตัดเฉือนด้วยสเตปเทเปอร์พินช์ โดยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ [4]C.Stromberger และคณะได้ทำการนำเสนอการตัดเซฟด้วยการใช้สเตปเทเปอร์พินช์ ซึ่งมีลักษณะเป็นเตปสำหรับกระบวนการตัดเฉือน และสำหรับกระบวนการตัดเซฟจึงทำให้สามารถทำการตัดได้อย่างต่อเนื่อง [5]M. Murakawa และคณะได้ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของค่าช่องว่างระหว่างพินช์และตายของกระบวนการตัดเจาะที่มีผลต่อกระบวนการตัดเซฟวิ้ง โดยการใช้เทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์ วิจัยนี้จึงได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้กระบวนการ

ตัดเซฟ เพื่อขจัดรอยแตก และครีบ ทำให้ทราบว่าการประยุกต์ใช้กระบวนการตัดเซฟ สามารถขจัดรอยแตกและครีบ และได้มีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานต่างๆ ที่เหมาะสม เช่น ระยะช่องว่างระหว่างพินช์และตาย (Clearance) ก่อนกระบวนการตัดเซฟ ระยะช่องว่างระหว่างพินช์และตาย ในการตัดเซฟวิ้ง เพื่อเพิ่มส่วนเรียบตรงของขอบตัดชิ้นงาน

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการตัด[6] คือการตัดโลหะให้ขาดออกจากกันโดยใช้คมตัดของพินช์และตายกดลงบนเนื้อโลหะจนความเค้นเกิดขึ้นในชิ้นงานมีค่าสูงกว่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของวัสดุซึ่งทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกัน โดยชุดแม่พิมพ์ตัดจะประกอบด้วยพินช์ (Punch), ตาย (Die), ชิ้นงาน, และแผ่นปลดชิ้นงานดังรูป 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ตัด

### 2.1 กลไกการตัดเจาะ (Piercing Mechanism)

Piercing คือกระบวนการตัดเฉือน ซึ่งมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร และการฉีกขาดอยู่ภายในกระบวนการเดียว กับการตัดโลหะออกจากกัน เกิดจากการใช้คมตัดของพินช์และตาย กดลงบนเนื้อโลหะจนเลยจุดความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Strength)ซึ่งจะทำให้

โลหะฉีกขาดออกจากกัน โดยมีขั้นตอนในการตัด (piercing Process) อยู่ 5 ขั้นตอน แสดงในรูปที่ 2



ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนที่ 5

รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการตัด[7]

ขั้นตอนที่หนึ่ง : พันช์เคลื่อนลงมาสัมผัสกับเนื้อวัสดุชิ้นงาน โดยจะมีแรงกดจากแผ่นปลดชิ้นงานกดแผ่นงานที่ระดับหนึ่ง

ขั้นตอนที่สอง : วัสดุชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่น(Elastic Deformation) มีการดัดตัว (Bending) และพาเนื้อโลหะเข้าไปในช่องว่างของตาย และเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Plastic Deformation) เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้น

ขั้นตอนที่สาม : วัสดุชิ้นงานถูกตัดเฉือนและเกิดการแตก เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนนี้ผิวหน้าของพันช์กับตายจะอยู่ในระดับเดียวกัน

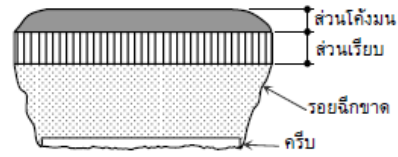
ขั้นตอนที่สี่ : พันช์จะดันให้ชิ้นงานทะลุลงไปในช่วงของตายหลังจากสิ้นสุดการตัดแล้ว วัสดุบริเวณรูมีการดีดตัวกลับมายังพันช์เนื่องจากการดีดตัวกลับ (Spring back) ของวัสดุส่วนที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างในช่วงยืดหยุ่น หรืออาจเกิดจากในบางขณะจะมีการเชื่อมติดกัน (Cold welding) ระหว่างเนื้อวัสดุกับผิวพันช์ เช่นเดียวกับด้านนอกของแผ่นมีการดีดตัวกลับมายังช่องบนตาย

ขั้นตอนที่ห้า : การปลดชิ้นงานให้หลุดจากพันช์ ความเค้นในแนวเส้นสัมผัสและแนวรัศมีที่เหลือค้างในเนื้อวัสดุทำให้เกิดความเสียหายระหว่างพันช์กับผนังรูเจาะเพิ่มมากขึ้นในขณะที่พันช์ถอยกลับ

## 2.2 ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัด (Cutting Edge of piercing)

ในกรรมวิธีการตัดวัสดุชิ้นงานจะเกิดเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวรในปริมาณสูง จนกระทั่งเกิดการฉีกขาดของวัสดุ โดยทั่วไปลักษณะขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ ส่วนโค้งมน (Die roll) ส่วนเรียบตรง (Burnish) รอยฉีกขาด (Fracture) และครีบ

(Burr) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัดโดยทั่วไป[1]

2.2.1 ส่วนโค้งมน (Roll over) ส่วนที่เกิดขึ้นเมื่อพันช์กดชิ้นงานให้ไหลตัวลงไปในช่วงว่างระหว่างพันช์กับตายทำให้มีรูปร่างคล้ายกับกันถ้วย

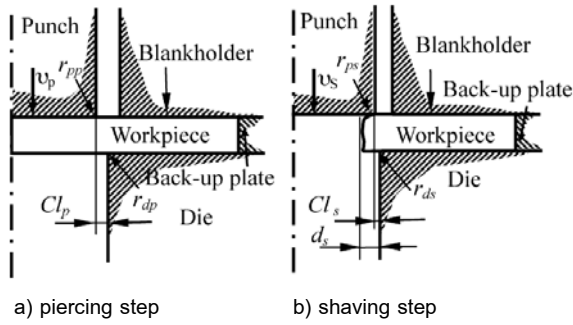
2.2.2 ช่วงการตัดเฉือน (Shear Zone) เป็นส่วนที่เกิดขึ้นหลังจากที่พันช์ถูกกดกั้นลึกลงไปในเนื้อของโลหะระยะหนึ่งแล้วจะเกิดหน้าตัดเฉือนในแนวตั้ง ระหว่างขอบคมตัดของพันช์และเนื้อของโลหะ มีลักษณะเป็นมันวาว เป็นส่วนที่สำคัญมากเพราะขนาดและความเที่ยงตรงของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกกำหนดไว้ที่ส่วนนี้

2.2.3 ช่วงการแตก (Fracture Zone) เป็นส่วนที่เกิดขึ้นหลังจากที่ตัดเฉือน เกิดจากความเค้นดึงมีค่าสูงกว่าความแข็งแรงสูงสุดของโลหะ จึงทำให้เกิดการแตกขึ้น ในลักษณะถูกดึงขาด จึงมีรูปร่างขรุขระไม่เป็นระเบียบ

2.2.4 ครีบ (Burr) มีลักษณะบางๆ ไม่เรียบเกิดขึ้นที่ขอบล่างรอบๆแนวตัด เกิดจากขอบคมตัดพันช์ และตายเกิดการสึกหรอ ถ้าขอบคมตัดสึกหรอมากก็จะเกิดครีบขึ้นมาก เนื่องจากรอยแตกในเนื้อวัสดุจากด้านพันช์ และตายมาบรรจบกันจะทำให้วัสดุแยกออกจากกันแต่ส่วนเนื้อวัสดุบริเวณด้านข้างของคมตัดจะยังเหลืออยู่ที่ขอบตัดซึ่งส่วนนี้ก็คือครีบที่เกิดขึ้นนั่นเอง

## 2.3 กลไกการตัดเซฟ (Shaving Mechanism)

Shaving เป็นการตัดครั้งที่สอง หลังจากที่ shearing หรือ cutting มาแล้ว เพื่อทำให้ขอบของชิ้นงานเรียบ โดยที่ระยะช่องว่างระหว่างพันช์และตาย เท่ากับ 0 เปอร์เซนต์ของความหนาชิ้นงาน ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนในการตัด[3]

### 3. วิธีการและอุปกรณ์การทดลอง

#### 3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาช่องว่างระหว่างพินซ์และตายในการตัดเจาะที่มีผลต่อคุณภาพขอบตัดสำหรับกระบวนการตัดเซฟวิ่ง โดยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตาย เท่ากับ 20 มิลลิเมตร และทำการศึกษาอิทธิพลของช่องว่างระหว่างพินซ์และตายในการตัดเจาะรูป 4 ระดับ กำหนดช่องว่างระหว่างพินซ์และตายก่อนกระบวนการตัดเซฟวิ่ง 2, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 จะได้ขนาดของพินซ์ ตามตารางที่ 1 และความเร็วในการตัดเจาะคงที่เท่ากับ 30 มิลลิเมตร/วินาที ส่วนแม่พิมพ์ในกระบวนการตัดเซฟวิ่งได้ถูกออกแบบให้มีช่องว่างระหว่างพินซ์และตาย เท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน และใช้ความเร็วในการกระบวนการตัดเซฟวิ่ง เท่ากับ 10 มิลลิเมตร/วินาที ทำการตัด อลูมิเนียม AA6063 ความหนา 3 มิลลิเมตร โดยไม่ใช้สารหล่อลื่น

$$D_p = D_d - 2cl \quad (1)$$

เมื่อ

$D_p$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของพินซ์ (Punch)

$D_d$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของ (Die)

$cl$  = ช่องว่างระหว่างพินซ์และตาย

ตารางที่ 1 ขนาดของพินซ์ที่ใช้ในการทดลอง

เปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างพินซ์และตาย (%)	ขนาดของพินซ์ในการตัดเจาะ (มม.)
0	20
2	19.88
5	19.7
10	19.4
15	19.1

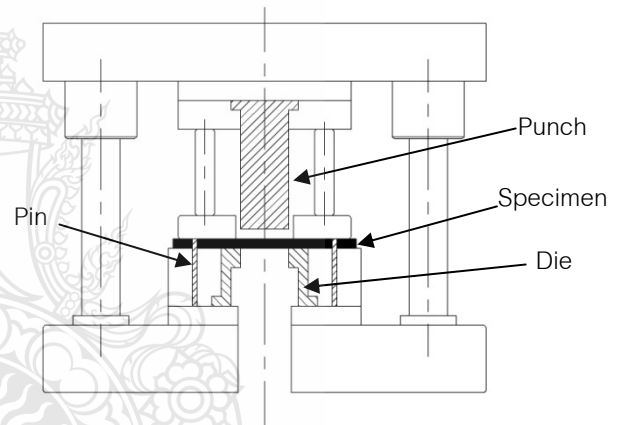
#### 3.2. ชุดแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลอง

แม่พิมพ์ได้ออกแบบให้สามารถถอดเปลี่ยนชุดพินซ์และตายได้ เพื่อสะดวกต่อการปรับเปลี่ยนขนาดของพินซ์ ดังรูปที่ 5 ซึ่งพินซ์และตายผ่านกระบวนการชุบแข็งโดยมีความแข็งเท่ากับ  $60 \pm 1\text{HRC}$  และได้ออกแบบการกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานโดยการใช้สลัก ในชุดแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 6



ลักษณะของพินซ์ในการทดลอง ลักษณะตายในการทดลอง

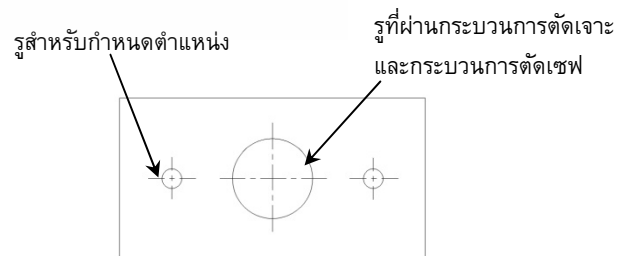
รูปที่ 5 แสดงลักษณะพินซ์และตายในการทดลอง



รูปที่ 6 แสดงชุดแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.3. ชิ้นงานในกระบวนการตัด

เตรียมชิ้นงานอลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร ทำการตัดให้ได้ขนาด ความยาว 76 มม. ความกว้าง 40 มม. ทำการเจาะรูเพื่อกำหนดตำแหน่ง แล้วนำไปทำการตัดเจาะ (Piercing) และกระบวนการตัดเซฟ (Shaving) ดังรูปที่ 7

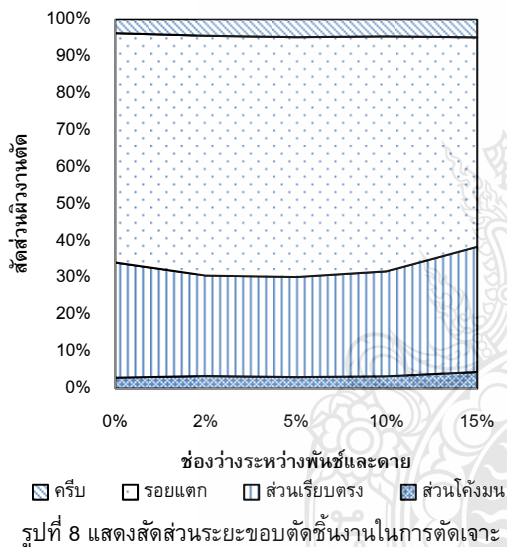


รูปที่ 7 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง

#### 4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

##### 4.1. อิทธิพลของช่องว่างระหว่างฟันซ์และตายที่มีต่อขอบตัดชิ้นงาน

ผลการทดลองในกระบวนการตัดเจาะของอลูมิเนียมเกรด AA6063 โดยมีช่องว่างระหว่างฟันซ์และตายเท่ากับ 0, 2, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน พบว่าเปอร์เซ็นต์การเกิด ส่วนโค้งมน, รอยฉีกขาด และครีบ ยังสูงอยู่ ดังรูปที่ 8 เนื่องจากอิทธิพลช่องว่างระหว่างฟันซ์และตาย ดังนั้นควรที่ต้องนำไปผ่านการปรับปรุงคุณภาพขอบตัดโดยกระบวนการเซฟวิ้ง Shaving เพื่อเพิ่มส่วนเรียบตรง ลดส่วนโค้งมนและรอยฉีกขาด

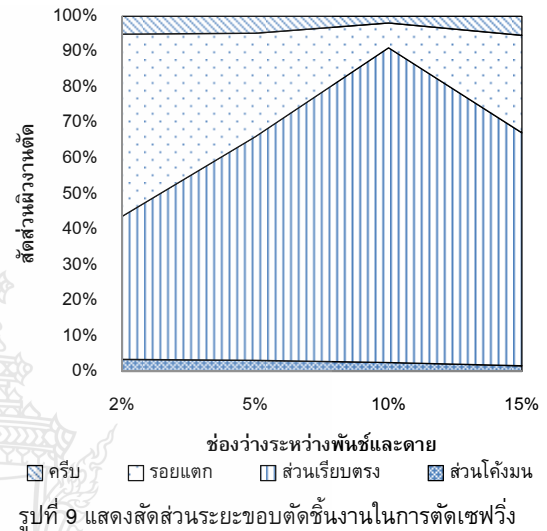


รูปที่ 8 แสดงสัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในการตัดเจาะ

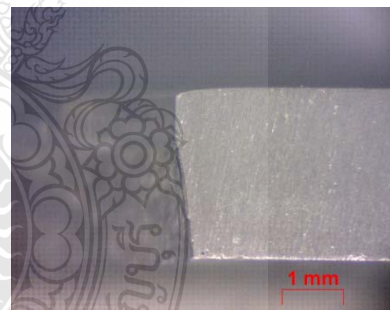
##### 4.2. อิทธิพลกระบวนการตัดเซฟวิ้งที่มีต่อขอบตัดชิ้นงาน

ผลการทดลองการปรับปรุงขอบตัดในกระบวนการตัดเซฟวิ้ง ของอลูมิเนียม เกรด AA 6063 โดยมีช่องว่างระหว่างฟันซ์และตายก่อนกระบวนการตัดเซฟ Shaving เท่ากับ 2, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของความหนา ดังรูปที่ 9 จะพิจารณาได้ว่า ระยะช่องว่างระหว่างฟันซ์และตายเท่ากับ 2 และ 5 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน ขอบตัดยังมีส่วนโค้งมน, รอยฉีกขาด และครีบ สูงอยู่เนื่องจากมีเนื้อชิ้นงานเหลืออยู่น้อย ไม่เพียงพอสำหรับการปาดผิวเพื่อเพิ่มส่วนเรียบตรงบริเวณขอบตัด และจะเห็นได้ว่าระยะช่องว่างระหว่างฟันซ์และตายที่เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน เป็นระยะที่มีเปอร์เซ็นต์ส่วนเรียบ

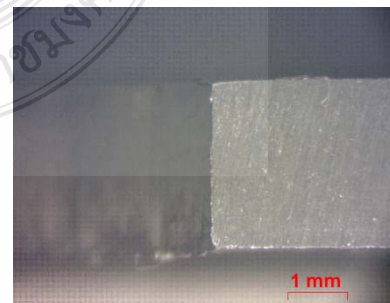
ตรงมากที่สุดในการทดลองครั้งนี้ ในขณะที่ช่องว่างระหว่างฟันซ์และตายเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงานส่วนเรียบตรงลดลงเนื่องจากมีเนื้อชิ้นงานเหลือในการปาดผิวบริเวณขอบตัดอยู่มาก จึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้



รูปที่ 9 แสดงสัดส่วนระยะขอบตัดชิ้นงานในการตัดเซฟวิ้ง



กระบวนการตัดเจาะ



กระบวนการตัดเซฟวิ้ง

รูปที่ 10 แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงาน ช่องว่างระหว่างฟันซ์และตาย 10 เปอร์เซ็นต์



จากการสังเกต ลักษณะขอบตัดชิ้นงานในกระบวนการตัดเจาะและกระบวนการตัดเซฟวิ้ง ดังรูปที่ 10 พบว่ารอยตัด ของระยะช่องว่างระหว่างพินซ์และตายเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงมากที่สุด

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในกระบวนการตัดเจาะเพื่อตรวจสอบหาช่องว่างระหว่างพินซ์และตายที่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้มากที่สุด ในกระบวนการตัดเซฟวิ้งสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

1. ในกระบวนการตัดเจาะระยะช่องว่างระหว่างพินซ์และตายน้อย มีผลทำให้การตัดเซฟวิ้งไม่สามารถกำจัดส่วนโค้งมน, รอยฉีกขาด และครีปได้หมด เพราะมีเนื้อชิ้นงานเหลืออยู่น้อย ไม่เพียงพอสำหรับการปาดผิวเพื่อเพิ่มส่วนเรียบตรงบริเวณขอบตัด

2. ในกระบวนการตัดเจาะระยะช่องว่างระหว่างพินซ์และตายมาก ก็มีเนื้อชิ้นงานเหลือในการปาดผิวบริเวณขอบตัดอยู่มาก จึงทำให้เกิดกลไกการตัดเจาะขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ไม่สามารถเพิ่มส่วนเรียบตรงได้

3. ช่องว่างระหว่างพินซ์และตายของการตัดเจาะที่เหมาะสม ก่อนปรับปรุงคุณภาพขอบตัดด้วยกระบวนการตัดเซฟวิ้ง อยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงานสามารถลดส่วนโค้งมนและเพิ่มส่วนเรียบตรง กำจัดรอยฉีกขาดของขอบตัดชิ้นงานได้มากที่สุด

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการออกแบบแม่พิมพ์ คณะอุตสาหกรรมและ

เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้คำปรึกษาและใช้เครื่องมือเครื่องจักรงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กุลชาติ จุลเพ็ญ, วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2547, อิทธิพลของการสึกหรอในงานแม่พิมพ์ตัดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18,
- [2] ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ, คมกรชี่ ละวรรณวงษ์, ภาสพิรุฬห์ ศรีสำโรง, 2554, “การประยุกต์ใช้แหวนจิกเพื่อเพิ่มคุณภาพชิ้นงานในงานแม่พิมพ์”, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2554, 20-21 ตุลาคม, หน้า 437-441.
- [3] Sutasn Thipprakmas, 2007. “An investigation of step taper-shaped punch in piercing process using finite element method” Journal of Material processing Technology, Thailand., 132-139.
- [4] Stromberger, C., et al, 1965, Werkatatt Betr., Vol. 98-10, 739. (in German)
- [5] Murakawa, M., Thipprakmas, S., and Jin, M, 2003, “investigation of the Relationship between Shaved Surface and Shaving Allowance”, Journal of JSTP., Vol. 44-513, pp. 53-57. (in Japanese)
- [6] ชาญ ถนัดงาน, 2538, การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ขนาดเล็ก, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,
- [7] Schuler, Metal Forming Handbook, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1998.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพงศกร หลีตระกูล
วัน เดือน ปีเกิด	23 มีนาคม 2530
ที่อยู่	45/9 หมู่ 1 ต.ท่าสาป อ.เมืองยะลา จ.ยะลา
การศึกษา	
พ.ศ. 2547 –2549	ระดับ ปวช. สาขาวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคยะลา
พ.ศ. 2549 –2550	ระดับ ปวส. สาขาวิชาช่างกลโรงงาน-เครื่องจักรกลอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
พ.ศ. 2550 –2551	ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2554 –2555	ตำแหน่งวิศวกรออกแบบผลิตภัณฑ์ บริษัท พงศ์พารา โพลีเมอร์ จำกัด
พ.ศ. 2555 – ปัจจุบัน	ตำแหน่งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
โทรศัพท์	083-1855771
อีเมล	pongsakorn_23@hotmail.com

