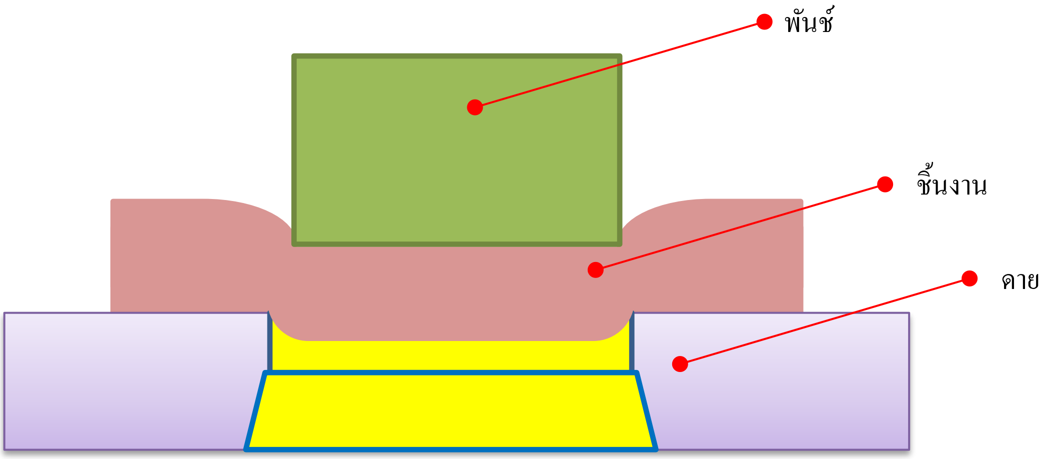
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

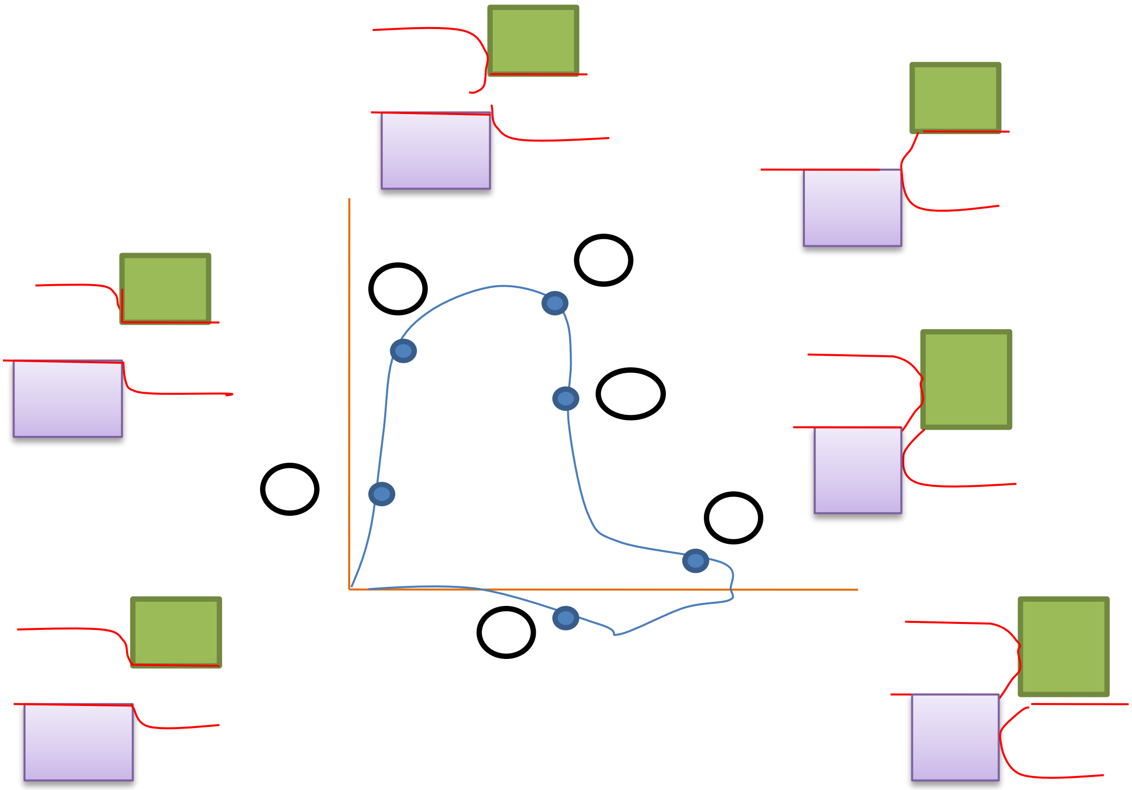
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการตัด (Blanking Mechanism)

กรรมวิธีการตัด คือ การทำให้ชิ้นโลหะแยกออกจากกันโดยใช้คมตัดของพันช์และดายกดลงบนชิ้นโลหะจนยืดเลยจุดต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Strength) ของโลหะ จึงทำให้โลหะฉีกออกจากกัน



รูปที่ 2.1 การตัดชิ้นงานด้วยพันช์และดาย

ในกระบวนการตัดเริ่มจากการนำพันช์กดลงบนชิ้นโลหะแล้วกดลงพาเนื้อโลหะยืดลงไปในช่องว่างของดายจนเลยจุดความยืดหยุ่น (Elastic Limits) ของชิ้นโลหะ ซึ่งโลหะไม่สามารถหดกลับคืนสภาพเดิมได้ ในช่วงขณะนี้ผิวด้านล่างของชิ้นโลหะเริ่มยืดลงไปในช่องว่างระหว่างดายและผิวด้านบนก็ถูกกดลงด้วยพันช์ ในช่วงจังหวะการทำงาน แรงที่เกิดและส่งมาที่พันช์กระแทกไปที่ผิวชิ้นโลหะ พันช์จะกดเข้าไปในเนื้อของชิ้นโลหะ โดยความลึกของผิวโลหะที่ถูกกดด้านบนของผิวจะลึกเท่ากับส่วนที่ถูกกดลงไปในดายที่ผิวด้านล่าง (รูปที่ 2.1) เมื่อแรงที่พันช์กดชิ้นโลหะจนเลยจุดความแข็งสูงสุด (Ultimate Strength) ของโลหะแล้ว เนื้อโลหะจะฉีกขาดออกจากกัน (รูปที่ 2.2) [1] การที่โลหะฉีกออกจากกันนั้น ผิวที่ขอบหรือคุณภาพของงานจะดีหรือไม่ดีขึ้นอยู่กับระยะช่องว่างคมตัด (Clearance) ระหว่างพันช์กับดาย ถ้าช่องว่างระหว่างคมตัดมากหรือน้อยไปจะทำให้มีผลต่อแรงที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน และที่สำคัญมีผลต่อการสึกหรอของพันช์ นอกจากนี้ยังทำให้มีผลต่อรอยฉีกขาดและครีบที่ชิ้นงานอีกด้วย



รูปที่ 2.2 ลำดับขั้นการตัดโลหะ[1]

จากรูปที่ 2.2

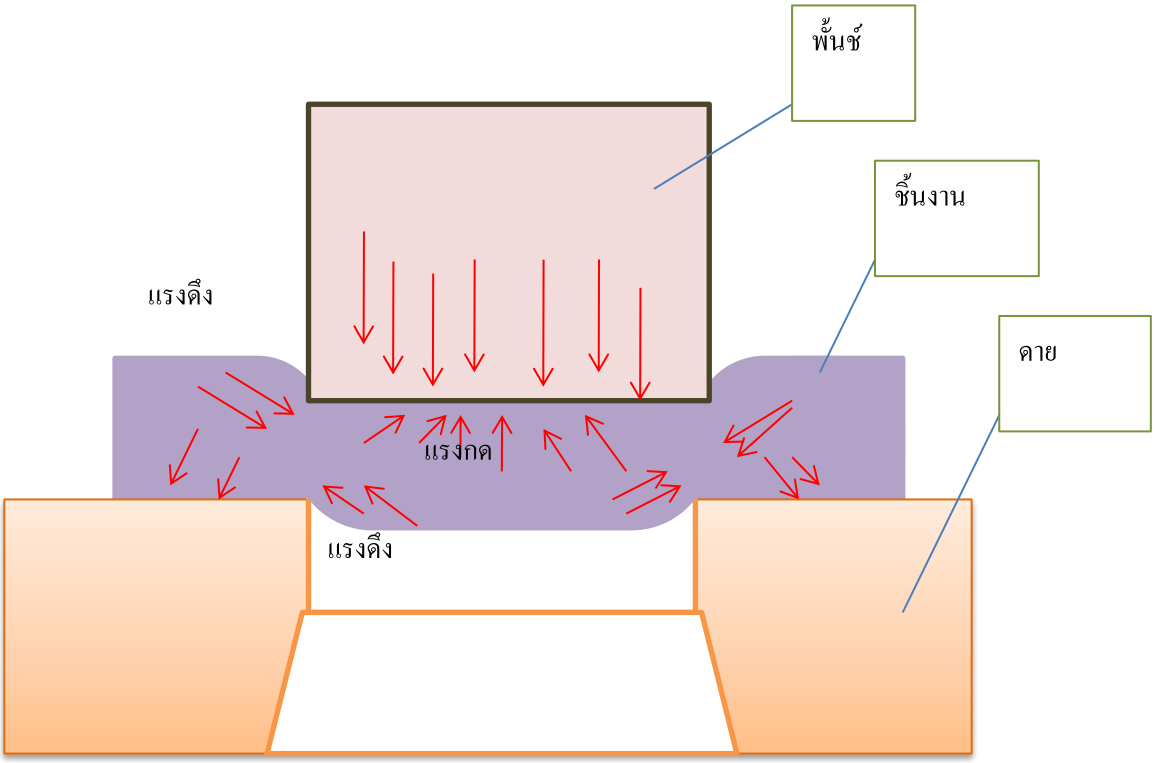
1. การเกิดส่วนโค้งมน
2. การเกิดส่วนเรียบตรง
3. การเกิดรอยแตก
4. การขยายตัวของรอยแตก
5. พันช์ดันชิ้นงานลงไปในรูดาย
6. การปลดชิ้นงาน

2.2 การเลือกขนาดกำลังของเครื่องปั๊มโลหะ

ในการเลือกขนาดของเครื่อง จะต้องเลือกเครื่องที่สามารถส่งแรงอัดได้มากกว่าค่าแรงที่ต้องใช้ในการตัด 30-50% ก็เพื่อช่วยให้สามารถตัดชิ้นงานได้ ในกรณีที่ชิ้นโลหะหนาไม่สม่ำเสมอ ชิ้นโลหะแข็งเกิดจากการทำให้แข็งด้วยความเครียด การเลือกใช้สารหล่อลื่น ขนาดของช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดาย และกรณีที่คมตัดของดายทื่อ [2]

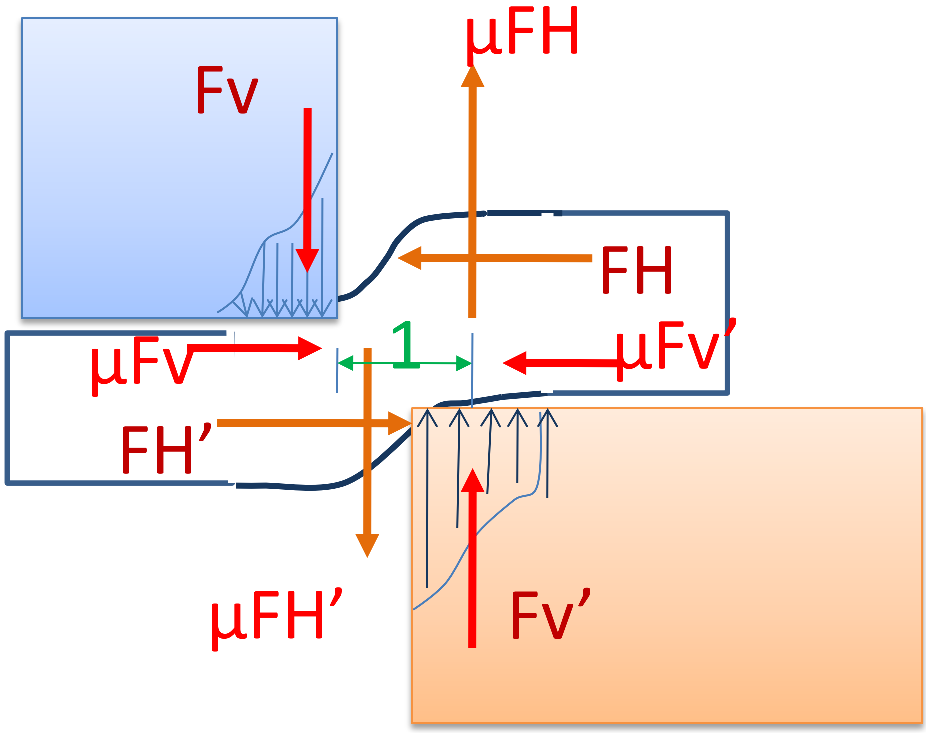
2.3 แรงตัดเฉือน (Cutting Force)

แรงที่ส่งมาที่พันช์กดชิ้นงานให้ผ่านดายด้วยแรงที่กดลงที่ผิวโลหะพร้อมกับเกิดแรงต้านจากดาย จึงทำให้ชิ้นโลหะถูกเฉือนจนฉีกขาด ทำให้ชิ้นงานออกมามีลักษณะเหมือนพันช์กับดาย เมื่อแรงกดเกิดที่พันช์ การตัดชิ้นงานก็เกิดขึ้นโดยขณะที่พันช์กดลงไปนั้น แรงกระทำต่างๆก็เกิดขึ้นที่ชิ้นงาน บริเวณผิวหน้าสัมผัสของชิ้นงานกับพันช์และดาย และเกิดแรงดึงขึ้นที่ชิ้นงานบริเวณคมตัดของพันช์และดาย



รูปที่ 2.3 ทิศทางแรงที่กระทำขณะทำการตัดโลหะ [3]

2.4 การคำนวณแรงตัดเฉือน (Cutting Force)



รูปที่ 2.4 แรงย่อยในการตัดเฉือน [4]

แรง F_v และ $F_{v'}$ กระทำออกห่างจากคมตัดเล็กน้อยเกิดจากความเค้นกดในบริเวณใกล้คมตัดกระจ่ายอย่างไม่สม่ำเสมอ แรงที่กระทำห่างกันเป็นระยะ1 จึงเกิดโมเมนต์ที่พยายามตัดหรือเอียงชิ้นงาน (รูปที่ 2.4) จึงเกิดโมเมนต์ปฏิกิริยาขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการตัดและความเค้นตั้งฉากกับแนวระดับ สามารถแทนด้วยแรงลัพท์ F_H และ $F_{H'}$ และยังมีแรงในแนวระดับเกิดขึ้นขณะแม่พิมพ์ตัดมีมุมที่ขอบไม่เท่ากับ 90° หรือเมื่อผิวรอยตัดไม่ตั้งฉากกับระนาบของโลหะแผ่น ยังมีแรงเสียดทานที่กระทำกับพันช์และดายอีก แรงในแนวระดับ F_H และ $F_{H'}$ ทำให้เกิดแรงเสียดทานด้านข้างของผิวพันช์และดาย ก็คือ μF_H และ $\mu F_{H'}$ แรงตัดเฉือนเพื่อซึ่งทำให้วัสดุเลื่อนลงไปบนผิวของพันช์และดาย ทำให้เกิดแรงเสียดทาน μF_V และ $\mu F_{V'}$

สมการสำหรับคำนวณหาค่าแรงตัดเฉือน F_S ที่ใช้ในการตัดหรือเจาะชิ้นงานหรือวัสดุ โดยให้ผิวหน้าตัดของพันช์และดายมีลักษณะเรียบตรง คือคมตัดไม่เอียงในการตัดเฉือน

สมการแรงในการตัด

$F_S = K_S \ldots\ldots L_S \ldots\ldots t$ (นิวตัน), .ใช้สำหรับตัดรูปทรงต่างๆ (คมตัดไม่ลาดเอียง)

$F_S = K_S \ldots\ldots \pi \cdot d \cdot t$ (นิวตัน), ใช้สำหรับตัดงานรูปทรงกลม

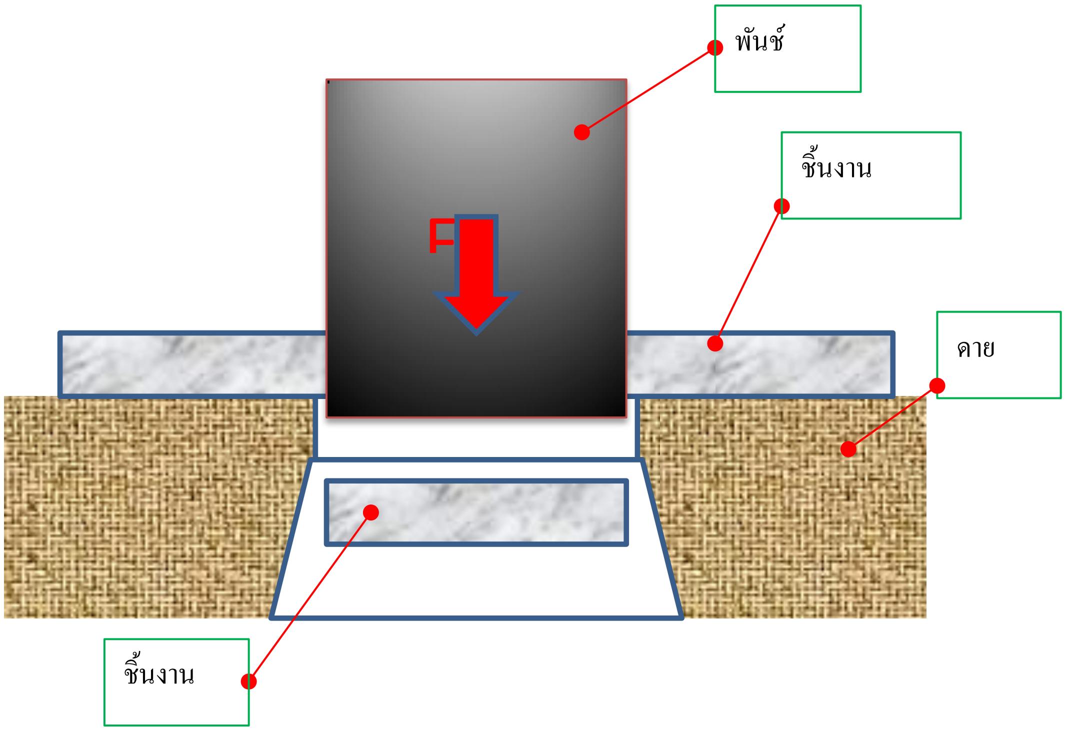
เมื่อ

K_S = ความต้านทานแรงเฉือนของวัตถุ นิวตัน/ ม.ม.^{2}

L_S = ความยาวรอยตัด ม.ม.

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน ม.ม.

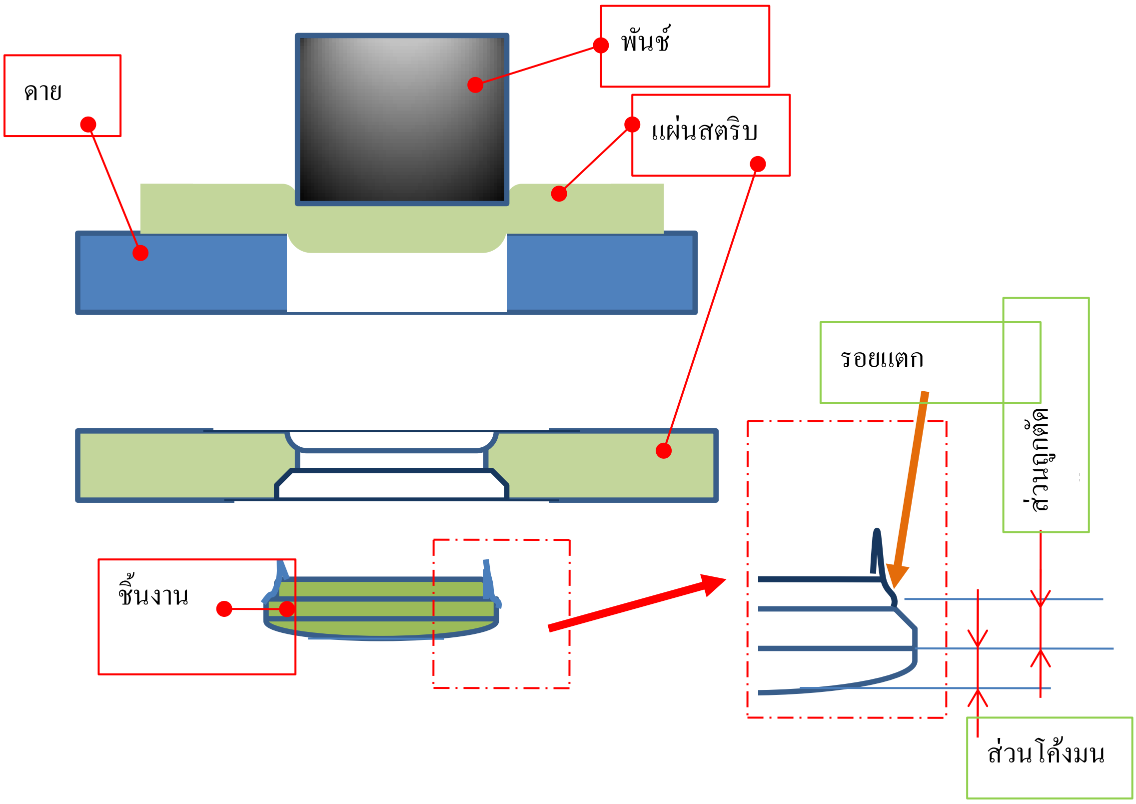
t = ความหนาของวัตถุ ม.ม.



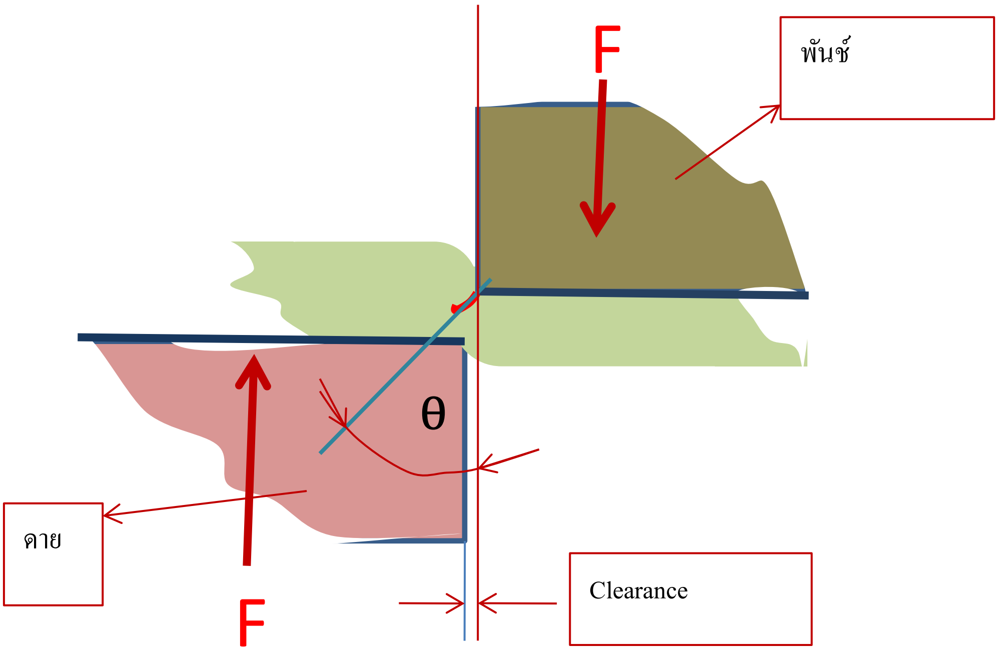
รูปที่ 2.5 พันช์ดายในงานแม่พิมพ์ตัด (Blanking Die) [5]

2.5 ระยะช่องว่างระหว่างคมตัด (Cutting Clearance)

ช่องว่างระหว่างคมตัด (Clearance) มีผลต่อการตัดโลหะของแม่พิมพ์ตัดมาก การเลือกใช้ช่องว่าระหว่างคมตัดไม่เหมาะสมจะมีผลต่อชิ้นงานหรืออาจจะทำให้พันช์และดายสึกหรอเร็วกว่าปกติ [6] ช่องว่างระหว่างพันช์และดายเราจะเรียกเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงานที่ใช้ในการตัด ผลจากการตัดจะมีลักษณะรอยตัดที่เกิดขึ้น (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 หน้าตัดเฉือน [6]

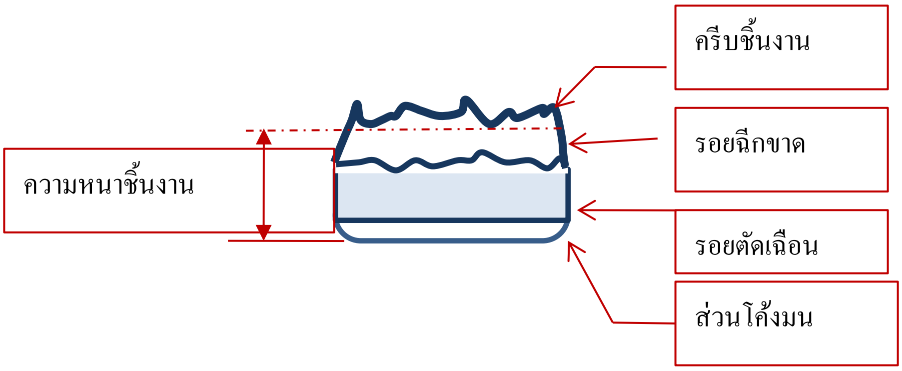


รูปที่ 2.7 ทิศทางของรอยฉีกขาด

จากรูปที่ 2.7 เมื่อพันช์กดลงมา รอยแตกจะขยายยาวขึ้น จนกระทั่งฉีกขาดแตกที่ขอบคมตัดพันช์และดายที่มาบรรจบกันที่คมตัดทั้งคู่ กระบวนการตัดชิ้นงานก็เสร็จสมบูรณ์ รอยฉีกขาดที่เกิดขึ้นจะทำมุม θ กับทิศทางการกดลงของพันช์

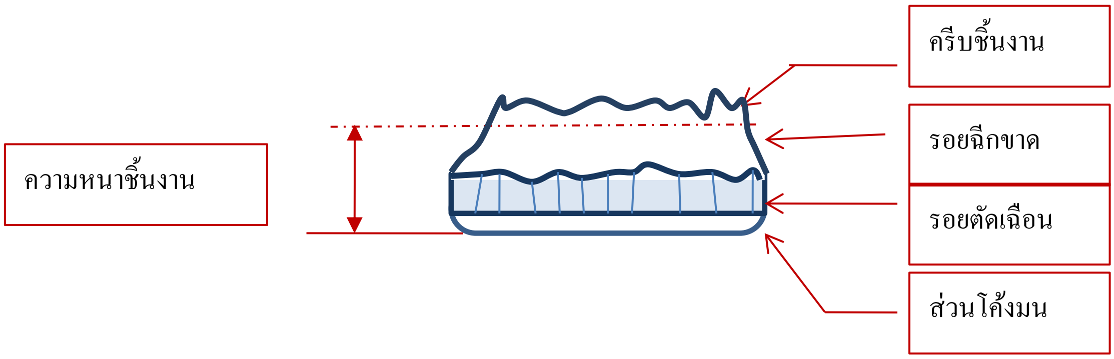
2.5.1 อิทธิพลของช่องว่างระหว่างคมตัดที่มีผลต่อชิ้นงาน

จากการกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัดมีผลในลักษณะต่างๆ (Effect of Cutting Clearance) ระยะช่องว่างระหว่างคมตัดของพันช์และดายที่เหมาะสมดูจากลักษณะของรอยตัดของชิ้นงาน การกำหนดระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่เหมาะสม (Optimum Cutting Clearance)



รูปที่ 2.8 ลักษณะของชิ้นงานที่มีระยะช่องว่างระหว่างคมตัดที่เหมาะสม

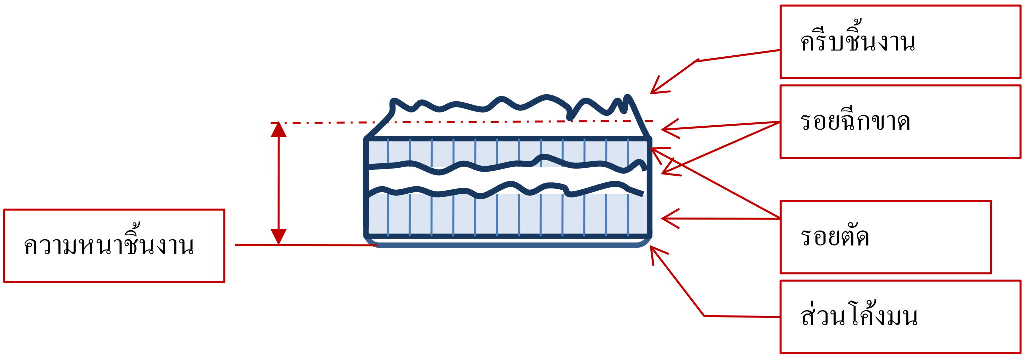
จากรูปที่ 2.8 ชิ้นงานหรือเศษโลหะที่ได้จากลักษณะการตัดของช่องว่างระหว่างคมตัดที่เหมาะสม จากสภาวะของการเปลี่ยนรูปของโลหะ (Plastic Deformation) ระหว่างการตัดจะทำให้เกิดขอบโค้งมน (Edge Radius) ของชิ้นงานช่วงที่ 2 รอยตัดเฉือน (Shear Surface) จะมีลักษณะเป็นแนวตรง มีลักษณะเงามัน เกิดจากสภาวะการตัด คือ การกดลึก (Penetration) ความกว้างของรอยตัดเฉือนจะมีขนาดประมาณ 1 ใน 3 ของความหนาชิ้นงาน ช่วงที่ 3 ตรงรอยฉีกขาดเกิดจากปฏิกิริยาการตัดจะเป็นลักษณะของการฉีกขาดหรือรอยแตก (Fracture Surface) ในช่วงที่ 4 เกิดทีหลังการเกิดรอบแตกก็คือการกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัดมากเกินไป (Excessive Cutting Clearance) ลักษณะของชิ้นงานที่มีช่องว่างระหว่าพันช์และดายมากเกินไปคือ ในช่วงแรกของการกดพันช์ลงไปจะเหมือนการขึ้นรูปโลหะมากกว่าการตัดที่ขอบมนโค้งของชิ้นงานจะใหญ่และรอยตัดเฉือนจะแคบและไม่ราบเรียบสม่ำเสมอเป็นรอยขรุขระเยินยับ (รูปที่ 2.9) รอยฉีกขาดก็จะกว้างเพราะการฉีกขาดแตกร้าวมาถึงรอยตัดเฉือนและตรงมุมทำให้เกิดเสี้ยนหรือครีบ (Burr) ที่รอบขอบตัดสูง

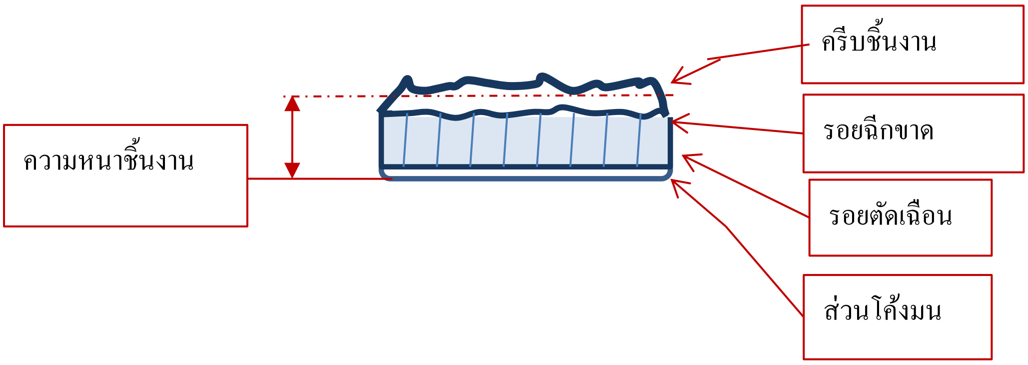


รูปที่ 2.9 ลักษณะชิ้นงานที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดมากเกินไป

2.5.3 การกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัดน้อย (Insufficient Cutting Clearance)

ผลของการกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัดน้อยไปลักษณะของรอยตัดเฉือนจะมีรอยกว้างไม่สม่ำเสมอและอาจเกิดขึ้นมากกว่าหนึ่งช่วง (รูปที่ 2.10)



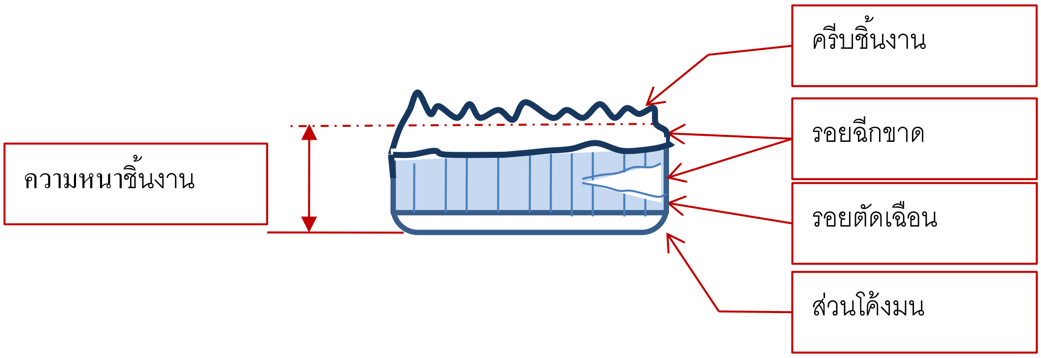


รูปที่ 2.10 ลักษณะชิ้นงานจากการกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัดน้อยไป

เนื่องจากผิวของพันช์และดายชิดกันมากทำให้มุมชันขึ้น จึงเป็นปัญหาของการฉีกขาดของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องใช้แรงกดที่ทำให้ชิ้นงานฉีกขาดสูงกว่าปกติ แต่ถ้ารอยแตกร้าวแยกออกไปแต่ไม่บรรจบกัน ทำให้รอยฉีกขาดของชิ้นงานไม่สมบูรณ์เกิดเป็นบางจุดเท่านั้น แรงกดที่มีอยู่ พันช์จะเป็นเหตุทำให้เกิดการตัดเฉือนเป็นครั้งที่ 2 ขึ้น ก็คือจะเกิดรอยตัดเฉือนอีกครั้งที่รอยตัดเฉือนชิ้นงาน

2.5.4 ตำแหน่งพันช์และดายเยื้องศูนย์กัน

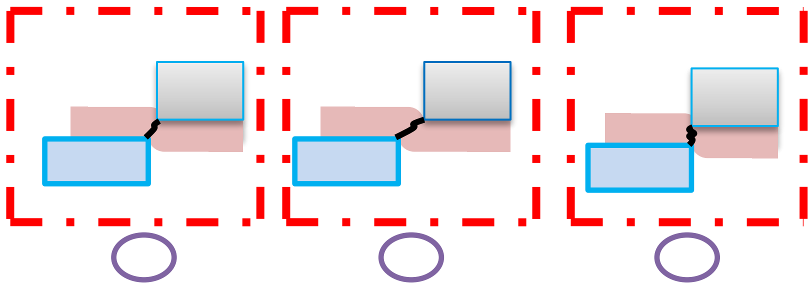
ถ้าพันช์และดายเยื้องศูนย์กัน จะทำให้เกิดพันช์และดายรับแรงไม่เท่ากันทุกจุด ทำให้รอยตัดของชิ้นงานมีลักษณะไม่เหมือนกันทุกด้าน คือด้านหนึ่งมีลักษณะเหมือนกับชิ้นงานที่มีช่องว่างระหว่างคมตัดมากเกินไป ลักษณะนี้จะทำให้อายุการใช้งานของพันช์และดายสั้นลง การเยื้องศูนย์ของพันช์และดายอาจเกิดจากเครื่องจักรไม่เที่ยงตรงหรือการผลิตแม่พิมพ์ที่ไม่เที่ยงตรง ในการทำงานเราสามารถตรวจพบความผิดปกติการเยื้องศูนย์และแก้ไขได้ระหว่างใช้งาน



รูปที่ 2.11 ลักษณะของชิ้นงานที่เกิดจากการเยื้องศูนย์ของพันช์และดาย

1. การตัดเฉือนของช่องว่างระหว่างพันช์และดายที่เหมาะสม
2. การตัดเฉือนของช่องว่างระหว่างพันช์และดายที่มากเกินไป
3. การตัดเฉือนของช่องว่างระหว่างพันช์และดายที่น้อยเกินไป

ครีบโลหะที่เกิดขึ้นบนขอบตัดที่กำหนดช่องว่างระหว่างพันช์และดายน้อยเกินไปแตกต่างกับกำหนดช่องว่างระหว่างคมตัดมาก ถ้าClearance มาก ครีบโลหะจะเกิดจากการดึงชิ้นงานให้ขาดจากกัน แต่ถ้า Clearance น้อย ครีบโลหะจะมาจากแรงที่ทำให้ชิ้นงานฉีกขาดออกจากกัน [7] จากทฤษฎีของ Schey [8] ได้กล่าวไว้ว่าความสูงครีบที่เพิ่มขึ้นนอกจากอิทธิพลของช่องว่างระหว่างคมตัดเพิ่มขึ้นแล้วยังมีปัจจัยอื่นอีกที่มีผลต่อการเกิดครีบเช่นลักษณะของคมตัดและคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงาน



รูปที่ 2.12 ลักษณะรอยตัดเฉือนในลักษณะต่างๆของระยะช่องว่างระหว่างคมตัด

2.6 การสึกหรอ (Wear)

การตัดเฉือนในงานแม่พิมพ์ตัดเป็นการกระแทก (Impact) คือส่งกำลังมาที่พันช์กดลงที่ชิ้นงานรุนแรงมาก จึงทำให้เกิดการสึกหรอของพันช์และดาย Hogmark [9] ได้ข้อสรุปไว้ว่าปัจจัยและสาเหตุที่ทำให้เกิดการสึกหรอดังนี้

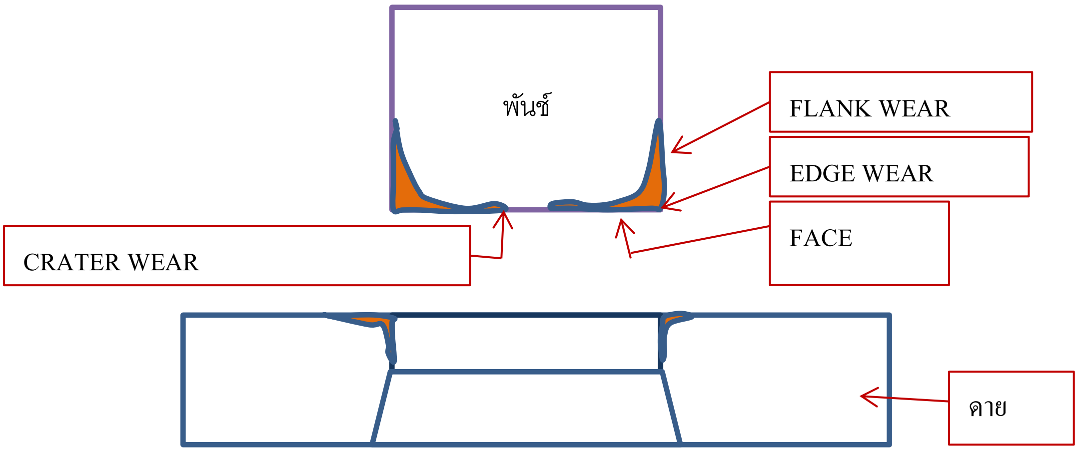
1. ช่วงคมตัดดายลงไปถึงดายแลนด์และผิวด้านข้างของพันช์จะเห็นผิวของทั้งพันช์และดายเป็นผิวใหม่เกิดจากการตัดเฉือนสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ ทำให้เกิดการสึกหรอ มีการเกาะที่คมตัด (Edge Wear) และด้านข้างของพันช์ (Flank Wear)

2. แรงอัดและแรงตัดเฉือนของพันช์และดายสูงมาก ในการผลิตจำนวนมากๆ ลักษณะของการทำงานเป็นการกระแทกซ้ำๆจนทำให้คมตัดเกิดการล้า จึงเป็นเหตุทำให้เกิดการสึกหรอที่คมตัด และที่ผิวหน้า ตลอดจนผิวด้านข้างของพันช์

3. การยืดของชิ้นงานนั้นมีผลต่อผิวหน้าของพันช์เกิดจากการคืนรูปของชิ้นงานระหว่างการกดอัด จึงเกิดการเสียดสีที่ผิวหน้าของพันช์เป็นสาเหตุทำให้บริเวณหน้าของพันช์สึกหรอ (Crater Wear)

4. การหดคืนตัวของชิ้นงานจากการตัดแล้วจึงเกิดแรงต้านในการดึงกลับของพันช์เนื่องจากการบีบตัวของชิ้นงานกับตัวพันช์ จึงเกิดการสึกหรอด้านข้างของพันช์เนื่องจากการเสียดสี

5. ในการผลิตชิ้นงานจำนวนมากๆชุดพันช์และดายเกิดความร้อนมากๆจากการเสียดสีพันช์ชิ้นงานและดาย จึงเกิดการสึกหรอ เนื่องจากการเกาะติด (Adhesive Wear) และจากการกัดกร่อน (Corrosion Wear)



รูปที่ 2.13 การสึกหรอที่เกิดขึ้นกับพันช์และดาย [9]

2.6.1 การสึกหรอที่เกิดในแม่พิมพ์ตัด

1. Flank Wear จะเกิดตามแนวยาวของพันช์คือ ขึ้นลงของพันช์จะเป็นการสึกหรอบริเวณด้านข้างของพันช์ ส่วนนี้มีความสำคัญ เพราะมีผลกับขนาดชิ้นงานที่ได้ เพราะจะทำให้ขนาดคมตัดของพันช์เปลี่ยนไป และจะทำให้ค่าระยะห่างระหว่างคมตัดของแม่พิมพ์เปลี่ยนไป

2. Edge Wear การสึกหรอที่เกิดขึ้นตรงด้านข้างของพันช์ ซึ่งจะทำให้เกิดครีบบนชิ้นงาน ถ้าคมตัดสึกหรอ การตัดชิ้นงานจะไม่สมบูรณ์จึงทำให้เกิดครีบที่ชิ้นงานและสูงขึ้นๆเมื่อทำการตัดชิ้นงานจำนวนมากๆ

3. Face Wear การทำงานของพันช์ซึ่งเกิดจากการกระแทกซ้ำๆ จากการผลิตจำนวนมากๆจึงทำให้เกิดความล้าที่ผิวหน้าพันช์ เป็นเหตุให้มีการสึกหรอขึ้น

4. Crater Wear การเกิดจากการทำงานผลิตจำนวนมากๆชิ้นก็คือ การกระแทกซ้ำๆระหว่างผิวหน้าของพันช์กับผิวของชิ้นงานเกิดจากการยืดของผิวชิ้นงานขณะทำการตัดเฉือนมีการเสียดสีระหว่างการตัดที่ผิวหน้าของพันช์คือ เมื่อมีการตัดชิ้นงานพันช์จะกดชิ้นงาน ดายเกิดแรงต้านทำให้ชิ้นงานยืดก่อนที่จะขาดและเมื่อขาดก็จะหดกลับเป็นแบบนี้ซ้ำๆ ผิวหน้าพันช์จึงเกิดการสึกหรอ

2.6.2 ลักษณะการสึกหรอในงานแม่พิมพ์ตัด

1. การสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear) เป็นผลจากกาเสียดสีของโลหะสองชนิดคือ พันช์กับชิ้นงาน ในการยึดตัวของโลหะทำให้เกิดความเค้นอาจจะเท่ากับหรือเกินจุดคราก (Yield Point) ของชิ้นงาน แรงในการกระทำของพันช์กับชิ้นงาน จะทำให้เกิดแรงเกาะติดกันทางโมเลกุล ทำให้อนุภาคของวัตถุที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าถูกดึงหลุดออกมา จึงเป็นเหตุให้เนื้อโลหะติดกัน

2. การสึกหรอแบบขีดข่วน (Abrasive Wear) คือลักษณะของการกระแทก จึงเกิดการถูและเฉือน จึงเป็นรอยขีดข่วน การเกิดลักษณะนี้จะทำให้เนื้อวัสดุหลุดออกไปในลักษณะอนุภาคเล็กๆ

3. การสึกหรอเนื่องจากความล้า (Fatigue Wear) เป็นการสึกหรออันเนื่องมากจากการล้าตัวของพันช์ที่ผิวเนื่องจากการทำงานที่กระแทกซ้ำๆ (Cyclic load) ทำให้พันช์เกิดการแตกหรือหลุดเป็นชิ้นเล็กๆ

4. การสึกหรอแบบ (Crater Wear) คือการเกิดต่อเนื่องมากจากการสึกหรอแบบยึดติดและสึกหรอแบบขีดข่วนมาแล้ว จึงต้องใช้แรงในการตัดเฉือนชิ้นงานมากขึ้นกว่าเดิม การสึกหรอนี้จะเกิดที่บริเวณขอบของคมตัดและลามเข้าสู่จุดศูนย์กลางของพันช์

การหาปริมาตรของการสึกหรอ จากสมการ

$$V = \frac{1}{3} \cdot \frac{WL}{H}$$ Abrasive wear volume (1)

$$V = \frac{2}{\pi \cdot \tan\theta} \cdot \frac{WL}{H}$$ Adhesive wear volume (2)

เมื่อ	V	=	ปริมาตรการสึกหรอ	ตารางมิลลิเมตร
	W	=	แรงตั้งฉากกับแนวนอน	กิโลนิวตัน
	L	=	ระยะการกดสึกของพันช์	มิลลิเมตร
	H	=	ค่าความแข็งของพันช์	HRC
	θ	=	มุมในการสัมผัสของพันช์	องศา

กำหนดค่า K = 1 สำหรับการตัดโดยไม่ใช้สารหล่อลื่น