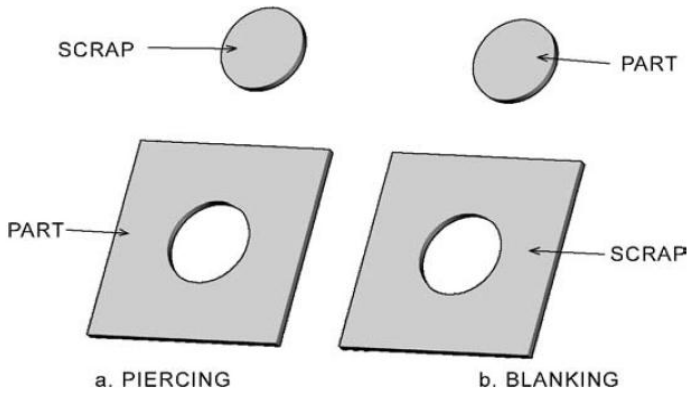
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในกระบวนการตัดขึ้นรูปโลหะแผ่นเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆเช่นอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ การผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เครื่องประดับตกแต่งตลอดจนภาชนะและสิ่งของที่ใช้ในชีวิตประจำวัน โดยส่วนใหญ่ใช้การขึ้นรูปแปรรูปโลหะด้วยแม่พิมพ์และแม่พิมพ์ชนิดหนึ่งที่เป็นพื้นฐานในการผลิตชิ้นส่วนในทางอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก คือ แม่พิมพ์ตัด(Blanking operation) เป็นวิธีการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่มีความสำคัญและใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตเกือบทุกชนิดในปัจจุบัน การตัดโลหะแผ่นเพื่อนำไปใช้ในการผลิตหรือขึ้นรูปต่อในกระบวนการอื่นๆ จึงจำเป็นที่จะต้องใช้แม่พิมพ์ตัดที่มีประสิทธิภาพดีเพื่อได้แผ่นเปล่า (Blank) ที่มีขนาดและคุณภาพเที่ยงตรงเหมาะสมกับลักษณะงานนั้นจึงสามารถนำแผ่นเปล่าใช้ในกระบวนการผลิตถัดไปได้โดยไม่เกิดปัญหา กรรมวิธีการตัดโดยใช้แม่พิมพ์ตัด คมตัดหรือพันช์ (Punch) มีความสำคัญต่อการตัดเพราะรูปทรงของพันช์และรูปแบบของคมตัดพันช์ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานและอายุการใช้งานของแม่พิมพ์

2.1 งานตัด Blanking และ Piercing

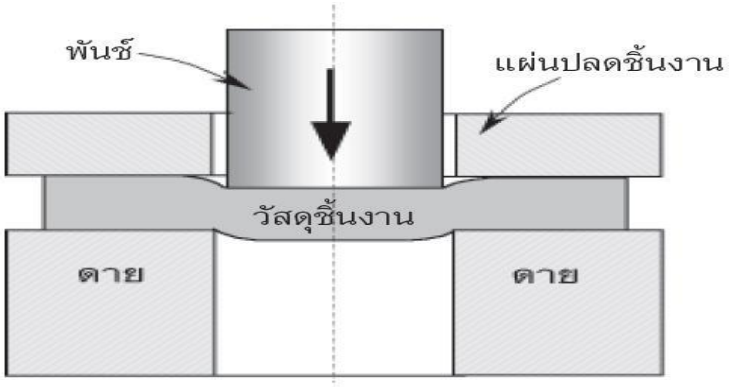
Blanking เป็นการตัดชิ้นงานเพื่อเอาแผ่นเปล่า (Blank) ไปใช้งาน โดยแผ่นเปล่าที่ถูกตัดจะมีขนาดหรือรูปทรงตามที่ได้ออกแบบไว้ส่วนการตัด Piercing เป็นการตัดเจาะรู เพื่อนำรูไปใช้ในงานจะแตกต่างจาก Blanking ซึ่งนำชิ้นส่วนที่ตัดขาดจากรูไปใช้งาน [1] ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่าง Piercing และ Blanking operation [2]

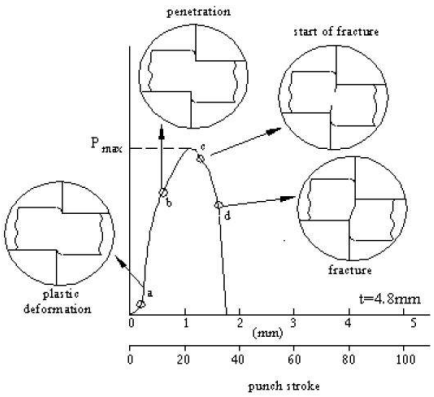
2.2 กรรมวิธีการตัดในแม่พิมพ์

ในกระบวนการตัดโลหะแผ่นคมตัดที่อยู่ในชุดแม่พิมพ์ตัด ประกอบด้วย คมตัด 2 ส่วน คือ คมตัดตัวผู้ Punch และ คมตัดตัวเมีย Die ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กรรมวิธีการตัดของแม่พิมพ์ [3]

การตัด คือ การใช้คมตัดของพันช์กดลงบนแผ่นโลหะจนทำให้เนื้อโลหะไหลเข้าไปในดายจนเลยช่วงเปลี่ยนรูปร่างการยืดตัวของโลหะ (elastic limit) และเมื่อแรงกดของพันช์เพิ่มขึ้น ทำให้โลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปเป็นช่วงการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (plastic Deformation) เมื่อพันช์กดลงในโลหะเพิ่มขึ้นจนเกินกว่าเนื้อโลหะแผ่นจะรับได้คือเกินกว่าค่าขีดจำกัดความแข็งแรงของวัสดุ (Ultimate strength) โลหะจะเริ่มฉีกขาดออกจากกัน และเมื่อแรงกดของพันช์ยังคงเพิ่มขึ้น รอยฉีกขาดดังกล่าวก็จะขยายตัวจนเนื้อโลหะขาดออกจากกัน (Fracture) แรงในการตัดช่วงนี้จะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แรงที่เกิดในการตัดโลหะแผ่น [4]

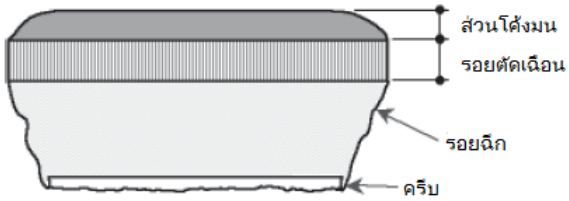
ในการตัดแผ่นโลหะขั้นต้น จะทำให้ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัดประกอบด้วยสี่ส่วนสำคัญ คือ

1. ส่วนโค้งมน (Die roll) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรของชิ้นงานที่ถูกดึงโดยคมตัดของพันช์และดาย

2. รอยตัดเฉือน (Shear surface) เกิดจากเนื้อวัสดุที่ถูกคมตัดของพันช์และดายเฉือนให้เกิดเป็นส่วนที่มีผิวเรียบตรง

3. ส่วนรอยฉีกขาด (Fracture surface) เกิดจากการที่ความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุมีค่าสูงเกินกว่าขีดจำกัดที่วัสดุสามารถรับได้ทำให้เกิดการฉีกขาดออกจากกันก่อนที่จะถูกคมตัดของพันช์และดายเฉือน รอยฉีกขาดจะมีลักษณะเป็นผิวขรุขระและเอียงทำมุมกับทิศทางตัด

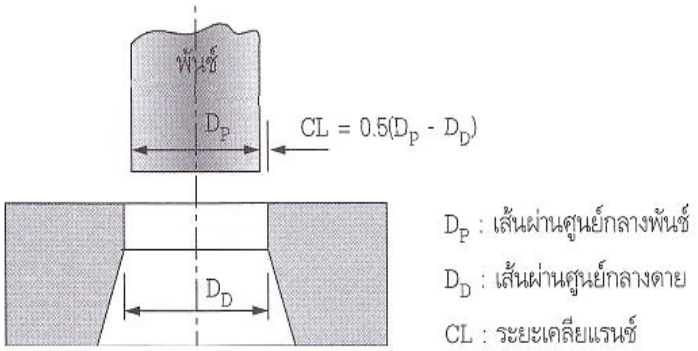
4. ครีบ (Burr) มีลักษณะเป็นขอบบางที่มีความคม เกิดขึ้นรอบๆ ขอบตัด ครีบจะเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในการตัดชิ้นงาน และสามารถใช้ครีบเป็นสิ่งที่บ่งบอกอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ตัดได้ เนื่องจากแม่พิมพ์ที่สึกหรอมากขึ้นจะมีครีบที่มีขนาดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ดังนั้นถ้าขนาดของครีบใหญ่เกินกว่าที่จะนำชิ้นงานไปใช้ได้ ก็ต้องนำแม่พิมพ์ตัดมาทำการปรับแต่งใหม่ หรืออาจต้องเปลี่ยนพันช์หรือดายถ้ามีความจำเป็น [3]



รูปที่ 2.4 ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัดด้วยแม่พิมพ์ [3]

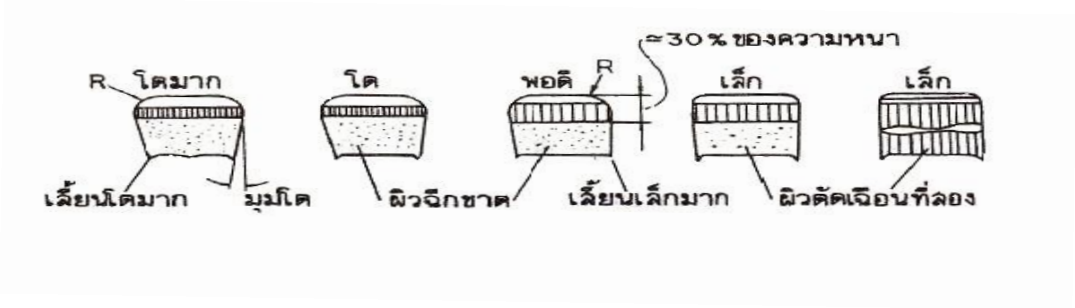
2.3 อิทธิพลของช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์

เคลียแรนซ์ คือ ระยะห่างระหว่างพันช์กับดาย การตัดโดยปรกติจะต้องกำหนดให้มีช่องว่างเพื่อหลีกเลี่ยงการขบกันของขอบคมตัดที่อาจส่งผลเสียหายต่อทั้งพันช์ ดาย แม่พิมพ์ หรือแม้กระทั่งเครื่องปั๊มได้ ค่าเคลียร์แรนซ์ในการตัดต้องน้อยกว่าความหนาชิ้นงาน เพราะต้องการให้ชิ้นงานขาดออกจากกัน ไม่ใช่ลากชิ้นงานลงไปในดายเหมือนกรณีการลากขึ้นรูปลึก ในกรณีในการตัดแผ่นเปล่าหรือเจาะรูซึ่งเป็นงานตัดแบบรูปทรงปิด เช่น การตัดแผ่นชิ้นงานกลม เป็นต้น จะพิจารณาระยะเคลียร์แรนซ์ด้านเดียวเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพันช์และดายกรณีชิ้นงานที่มีรูปร่างเหลี่ยมหรือรูปร่างซับซ้อน ระยะเคลียร์แรนซ์ก็สามารถแสดงได้ในทำนองเดียวกัน โดยปรกติระยะเคลียร์แรนซ์จะแสดงเป็นร้อยละของความหนาของวัสดุ การออกแบบแม่พิมพ์ตัดที่ดีจำเป็นต้องกำหนดระยะเคลียร์แรนซ์ให้เหมาะสม เพราะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในงานตัด เพราะส่งผลต่อคุณภาพขอบตัดของชิ้นงานที่ได้ แรงที่ต้องใช้ในการตัด ความเที่ยงตรงของขนาดชิ้นงานที่ได้รวมทั้งยังมีผลต่อการสึกหรอของพันช์และดายอีกด้วย [5]



รูปที่ 2.5 ระยะเคลียร์แรนซ์ในการตัดแผ่นชิ้นงานกลม [5]

ในการตัดเจาะด้วยแม่พิมพ์ เมื่อเคลียแรนซ์ระหว่างพันช์กับดายเปลี่ยนแปลงไปก็จะได้ชิ้นงานที่มีผิวจากการตัดแตกต่างกันไป งานแต่ละประเภทต้องการผิวที่เกิดจากการตัด แตกต่างกันออกไปดังนั้นจึงไม่จำเป็นเสมอไปว่า ผิวที่ได้จากการตัดจะต้องเป็นผิวลักษณะผิวตัดเฉือนทั้งหมด เพราะอาจทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการทำแม่พิมพ์มากขึ้น และต้องใช้เครื่องเพรสที่มีสมรรถนะสูงจนเกินไป รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นผิวจากการตัดลักษณะต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของเคลียแรนซ์ระหว่างพันช์กับดาย [6]



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเคลียร์แรนซ์กับผิวที่ได้จากการตัดเจาะ[6]

ตารางที่ 2.1 เคลียร์แรนซ์มาตรฐานในการตัดเจาะชิ้นงานดังรูป 2.6 [6]

ช่องว่าง / วัสดุ	อัตราส่วน u/t (ด้านเดียว) , %				
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	สูงสุด 21	11.5-12.5	8-10	5-7	1-2
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง	สูงสุด 25	17-19	14-16	11-13	2.5-5
เหล็กกล้าไร้สนิม	สูงสุด 23	12.5-13.5	9-11	3-5	1-2
อะลูมิเนียมเจือ					
-ความต้านแรงดึง <230 N/mm²	สูงสุด 17	8-10	6-8	2-4	0.5-1
-ความต้านแรงดึง >230 N/mm²	สูงสุด 20	12.5-14	9-10	5-6	0.5-1
ทองเหลือง , อบอ่อน	สูงสุด 21	8-10	6-8	2-3	0.5-1
ทองเหลือง , อบอ่อน ½ ชั่วโมง	สูงสุด 24	9-11	6-8	3-5	0.5-1.5
ฟอสฟอรัสบรอนซ์	สูงสุด 25	12.5-13.5	10-12	3.5-5	1.5-2.5
	สูงสุด 25	8-9	5-7	2-4	0.5-1
	สูงสุด 25	9-11	6-8	3-5	1-2

หมายเหตุ u = เคลียร์แรนซ์ระหว่างพันช์กับดาย

t = ความหนาของงาน

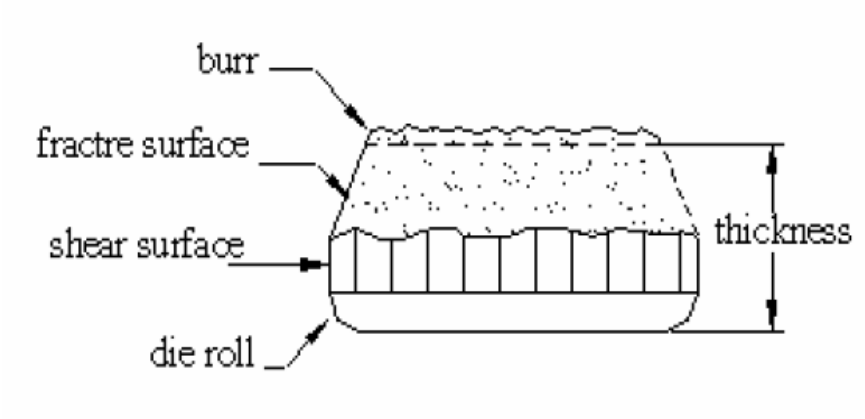
ตารางที่ 2.2 การใช้งานของการตัดเจาะด้วยช่องว่างขนาดต่าง ๆ [6]

	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5
มุมฉีกขาด (A)	14 ° -16°	8° -11°	7° -11°	6° -11°	……..
รัศมีแถบมน R	10-20 %	8-10%	6-8%	4-7%	2-5%
หน้าตัดเฉือน	10-20 %	15-25%	25-40%	35-55%	50-70%
หน้าฉีกขาด	70 - 80 %	60-75%	50-60%	35-50%	25-40%
รอบเสี้ยน	ใหญ่ , มีการบิดเบี้ยว	ปกติและเรียบ	ปกติและเรียบ	ปานกลางและมีแนวโน้มของการเกิดแรงดันกลับ	ใหญ่ มีแนวโน้มของการเกิดแรงดันกลับ
การใช้งาน	รูปร่างชิ้นงานและความเรียบไม่สำคัญมากนัก	แถบมนและหน้าตัดเฉือนหน้าแรกมีขนาด 1/3 ของความหนา ส่วนหน้าฉีกขาดมีขนาด 2/3 ของความหนาใช้ในกรณีที่ไม่จำเป็นต้องมีหน้าตัดเฉือนขนาดใหญ่ อายุใช้งานของแม่พิมพ์นานที่สุด	ความเค้นตกค้าง มีน้อยที่สุด ในกรณีที่วัสดุสามารถเกิด “การทำให้แข็งด้วยความเครียด” ได้ง่ายควรใช้แบบนี้เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุชิ้นงานแข็งตัวเพิ่มขึ้นจากแรงกระทำ(แรงตัดเจาะ)	เกิดหน้าตัดเฉือนหน้าที่สองขึ้น ใช้ในกรณีที่มีการแต่งขอบ เพื่อตกแต่งผิวหน้าจากการตัดเจาะ	ในกรณีที่ต้องการได้ชิ้นงาน ที่มีรูปร่างถูกต้องแน่นอนปกติจะให้มีรัศมีความโค้งที่ขอบตัดของพันช์และดายเพื่อการตกแต่งชิ้นงาน อายุใช้งานของแม่พิมพ์สั้นที่สุด

ระยะช่องว่างระหว่างพันช์และดาย ซึ่งจะบอกเป็นค่าของผลต่างของขนาดของพันช์และดาย การใช้ขนาดช่องว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสม จะทำให้ได้ขอบของชิ้นงานที่ผ่านการตัดเรียบและได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานเที่ยงตรงตามต้องการ รอยร้าวที่เริ่มต้นจากพันช์และดายจะพบกันพอดี ดังนั้นจึงไม่เกิดรอยตัดที่สอง ช่องว่างแม่พิมพ์มีผลต่อขนาดความถูกต้องของชิ้นงานและอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ช่องว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมทำให้ใช้แรงตัดที่ต่ำ ซึ่งหากว่าช่องว่างแม่พิมพ์มีค่าน้อยทำให้ได้แรงตัดที่สูง ส่งผลให้อายุของแม่พิมพ์ลดลง และยากต่อการสร้างแม่พิมพ์ นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ต้องพิจารณาช่องว่างแม่พิมพ์ให้เหมาะสมด้วย เช่น ชนิดของวัสดุชิ้นงาน (ความแข็ง) และความหนาของชิ้นงาน

1. กรณีที่ช่องว่างแม่พิมพ์พอดีหรือเหมาะสม (Optimum Clearance)

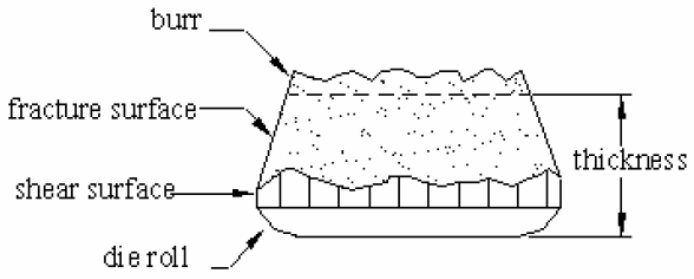
จากสภาวะในขั้นตอนแรกของการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ในระหว่างการตัดจะเกิดขอบโค้งมน (Die roll) ขึ้นที่ขอบของชิ้นงานตัด รอยตัดเฉือน (Shear Surface) ซึ่งเป็นแนวตรงมีลักษณะเงามัน เกิดจากสภาวะการตัดในขั้นตอนที่ 2 การกดลึก (Penetration) ความกว้างของรอยตัดจะมีขนาดประมาณ 1/3 ของความหนาของวัสดุที่ตัด รอยแตกรอยแตกหรือรอยฉีกขาด (Fracture Surface) สม่ำเสมอ และความสูงครีบ (Burr) น้อย ลักษณะของชิ้นงานที่ได้แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสม [7]

2. กรณีที่ช่องว่างแม่พิมพ์มากเกินไป (Excessive Clearance)

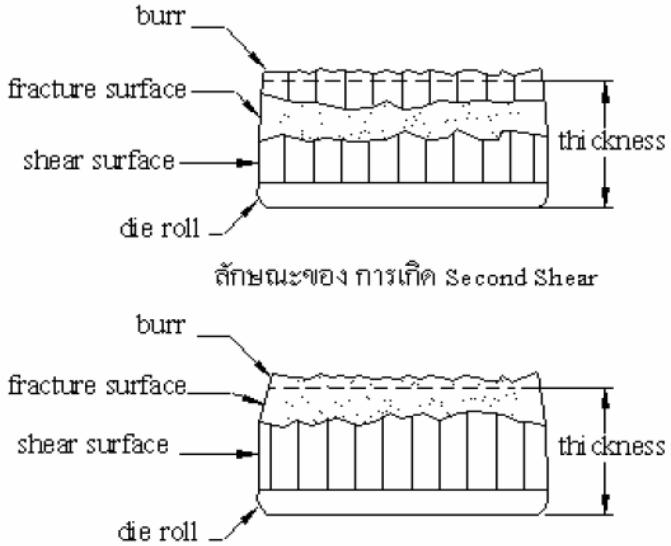
ผลที่เกิดจากการใช้ช่องว่างในการตัดระหว่างพันช์และดายมากเกินไปจากการเปรียบเทียบการใช้ระยะช่องว่างระหว่างพันช์และดายให้มากที่สุดเท่าที่จะทำการตัดวัสดุได้นั้น ผลที่ได้จากปฏิกิริยาการตัดในครั้งแรกจะเหมือนกับการขึ้นรูปมากกว่าการตัด ขอบโค้งมนของชิ้นงานจะใหญ่และรอยตัดเฉือนแคบไม่ราบเรียบสม่ำเสมอมีรอยขรุขระ รอยฉีกขาดจะกว้าง และครีบที่เกิดจะสูงขึ้น ชิ้นงานที่ได้จากการตัดแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มากเกินไป [7]

3. กรณีที่ช่องว่างแม่พิมพ์น้อยเกินไป (Insufficient Clearance)

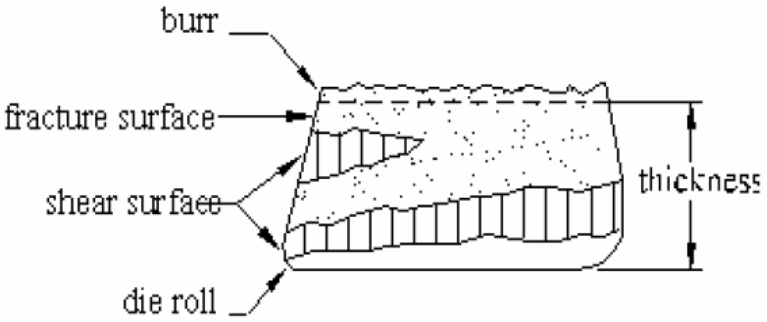
ผลที่เกิดจากช่องว่างระหว่าง พันช์และดายน้อยไป สภาพของรอยตัดเฉือนจะมีรอยกว้างและไม่สม่ำเสมอ โดยอาจเกิดการตัดครั้งที่สอง (Second Shear) ขึ้นได้ เนื่องจากมุมที่สูงชันมากเกินไประหว่างพันช์และดาย เป็นอุปสรรคต่อการฉีกขาดของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ผลคือทำให้ใช้แรงกดในการฉีกของวัสดุในครั้งแรกมากกว่าการใช้คมตัดที่มีช่องว่างเหมาะสม ชิ้นงานที่ได้จากการตัดแสดงในรูปที่ 2.9



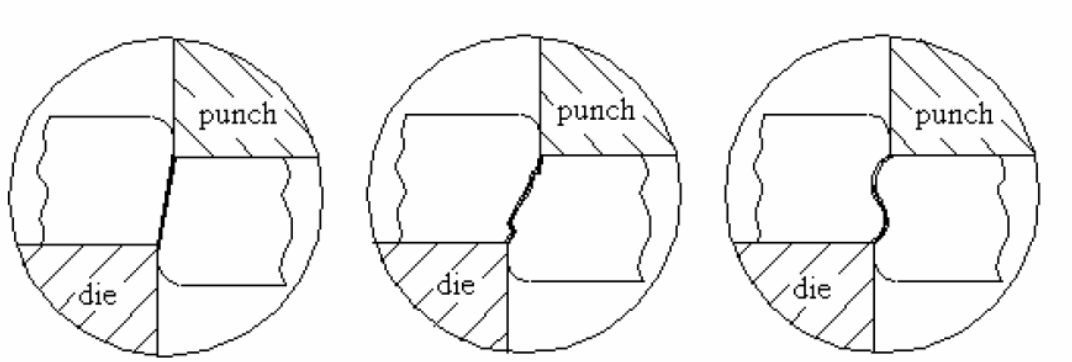
รูปที่ 2.9 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่น้อยเกินไป [7]

4. กรณีที่ตำแหน่งพันช์และดายเยื้องศูนย์กัน (Eccentric Clearance)

จากตำแหน่งของพันช์และดายที่เยื้องศูนย์ซึ่งกันและกัน เกิดจากหลายสาเหตุทั้งจากเครื่องจักรที่ทำงาน การประกอบแม่พิมพ์ การจัดสร้างชิ้นส่วนแม่พิมพ์รวม ไปถึงการประกอบแม่พิมพ์กับเครื่องเพรสด้วย จะส่งผลทำให้พันช์และดายจะได้รับแรงกระทำไม่เท่ากันทุกจุดทำให้อายุการใช้งานของพันช์และดายสั้นลง [8] ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่ตำแหน่งของพันช์และดายเยื้องศูนย์กัน [7]



A. ช่องว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสม B. ช่องว่างแม่พิมพ์ที่มากเกินไป C. ช่องว่างแม่พิมพ์ที่น้อยไป

รูปที่ 2.11 ลักษณะรอยแตกในแบบต่าง ๆ ตามขนาดระยะช่องว่างแม่พิมพ์ [7]

จากรูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของการตัดที่ได้จากช่องว่างแม่พิมพ์ที่แตกต่างกัน โดยช่องว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมรอยแตกจะวิ่งมาบรรจบกันพอดี ในกรณีที่รอยแตกขยายยาวออกไปแต่ไม่บรรจบกันและเกิดการแตกเหนือคมตัดมากแสดงว่าช่องว่างแม่พิมพ์มากเกินไป ในกรณีที่ช่องว่างแม่พิมพ์น้อยเกินไปทำให้เกิดการตัดครั้งที่สองขึ้น [7]

2.4 แรงและงานในการตัด [5]

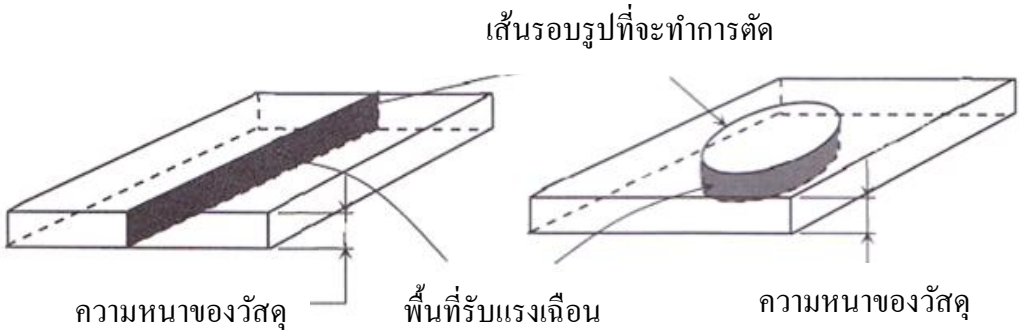
การคำนวณแรงในการตัด (Shearing Force) และการประมาณค่างานที่ใช้ในการตัด(Shearing Work) เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบแม่พิมพ์ รวมทั้งการใช้เครื่องปั๊มให้เหมาะสมกับการทำงาน ซึ่งการคำนวณแรงตัดสามารถทำได้ดังนี้

2.4.1 แรงตัด

ปรกติการคำนวณแรงตัดสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงโดยมีความคาดเคลื่อนไม่มากนัก เพราะกลไกการเปลี่ยนรูปขอบชิ้นงานบริเวณขอบตัดจะไม่ซับซ้อนเหมือนกระบวนการขึ้นรูป

อื่นๆ การคำนวณแรงตัดสูงสุดหรือค่า P_m ในรูปที่ 2.12 สามารถทำได้โดยการประมาณค่า P_m ให้เท่ากับผลคูณระหว่างความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุกับพื้นที่รับแรงเฉือนหรือพื้นที่แรเงาในรูปที่ 2.7 ซึ่งพื้นที่รับแรงเฉือนดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างความยาวเส้นรอบรูปของการตัดและความหนาของแผ่นชิ้นงาน ดังนั้นค่า P_m สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (4.1)

$$P_m = K_s lt \qquad (4.1)$$



พื้นที่แรเงา = ความยาวเส้นรอบรูปของชิ้นงาน × ความหนาของวัสดุชิ้นงาน

รูปที่ 2.12 แสดงพื้นที่สำหรับการคำนวณแรงตัดชิ้นงาน [5]

โดยที่ k_s คือ ความต้านทานแรงเฉือน หรือค่าความแข็งแรงเฉือน (Kg/mm^2)

l คือ ความยาวเส้นรอบรูปของการตัด (mm)

t คือ ความหนาของชิ้นงานที่ทำการตัด (mm)

ค่าความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุหาได้จากตารางที่ 2. 3 อย่างไรก็ตามในกรณีที่ทำการตัดวัสดุ ที่ไม่รู้ค่าความต้านทานแรงเฉือน ก็สามารถประมาณค่าได้โดยให้ความต้านทานแรงเฉือนเท่ากับ 0.8 เท่าของค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุนั้น

ตารางที่ 2.3 ค่าความต้านทานแรงเฉือนและความแข็งแรงดึงของวัสดุชนิดต่าง ๆ [5]

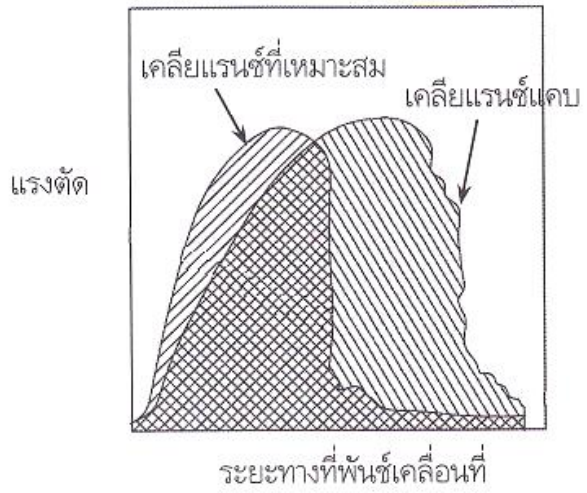
วัสดุ	ความต้านทานแรงเฉือน(kgf/mm^2)		ความแข็งแรงดึง (kgf/mm^2)	
	อ่อน	แข็ง	อ่อน	แข็ง
ตะกั่ว	2-3	-	2.5-4	-
ดีบุก	3-4	-	4-5	-
อลูมิเนียม	7-11	13-18	8-12	17-22
สังกะสี	12	20	15	25
ทองแดง	18-22	25-30	22-28	30-40
ทองเหลือง	22-30	35-30	28-35	40-60
บรอนซ์	32-40	40-60	40-50	50-75
เหล็ก	32	40	-	45
เหล็กสำหรับลากขึ้นรูป	30-35	-	32-38	-
เหล็กกล้า	40-50	55-60	-	60-70
เหล็กกล้าผสมคาร์บอน 0.1 %	25	32	32	40
เหล็กกล้าผสมคาร์บอน 0.2 %	32	40	40	50
เหล็กกล้าผสมคาร์บอน 0.3 %	36	48	45	60
เหล็กกล้าผสมคาร์บอน 0.4 %	45	56	56	72
เหล็กกล้าผสมคาร์บอน 0.6 %	56	72	72	90
เหล็กกล้าผสมคาร์บอน 0.8 %	72	90	90	110
เหล็กกล้าผสมคาร์บอน 1.0 %	80	105	100	130
เหล็กกล้าผสมซิลิกอน	45	56	55	65
เหล็กกล้าไร้สนิม	52	56	65-70	-
นิกเกิล	25	-	44-50	57-63

ตัวอย่าง เช่นกรณีต้องการตัดชิ้นงานเหล็กกล้าผสมคาร์บอน 0.3 % ที่ผ่านการอบอ่อน ความหนา 3 mm. ให้เป็นแผ่นชิ้นงานกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm. จะสามารถคำนวณแรงตัดได้ดังนี้จากการเปิดตารางเหล็กกล้าผสมคาร์บอน 0.3% ที่ผ่านการอบอ่อนจะมีค่าความต้านทานแรงเฉือน (k_s) เท่ากับ 36 kgf/mm^2 จากความยาวเส้นรอบรูป $l = \pi d$ โดยที่ d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน ดังนั้น l = 94.2 mm. และ P_m = 36 x 94.2 x 3 = 10,173.6 kg เท่ากับ 10.17 ตัน

2.4.2 งานการตัด

งานหรือพลังงานในการตัด(Shearing Work หรือ Energy) มีค่าเท่ากับพื้นที่ภายใต้กราฟระหว่างแรงตัดและระยะทางที่พันช์เคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งมีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร(N.m) หรือ จูล(J) นั่นเอง งานในการตัดมีความสำคัญในการเลือกใช้เครื่องปั๊มชนิดเชิงกลหรือข้อเหวี่ยง ซึ่งเครื่องปั๊มดังกล่าวจะแตกต่างจากเครื่องปั๊มไฮดรอลิก เพราะให้แรงในการตัดไม่คงที่ โดยจะให้แรงได้สูงสุดตามความสามารถหรือขนาดของเครื่องปั๊มเฉพาะเมื่อแรงเข้าใกล้ใกล้ศูนย์กลางเท่านั้น

โดยปรกติการเปลี่ยนระยะเคลียร์แรนซ์ในการตัดจะไม่ส่งผลต่อค่าแรงตัดสูงสุด (P_m) มากนัก แต่การกำหนดระยะเคลียร์แรนซ์ให้แคบลงจะทำให้รอยแตกเกิดขึ้นช้าลง พื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงตัดกับระยะทางที่พันช์เคลื่อนที่ซึ่งก็คืองานในการตัดก็จะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูป 2.13[5]



รูปที่ 2.13 งานในการตัดชิ้นงาน [5]

งานในการตัดสามารถประมาณค่าได้ดังสมการ

$$W = m\, t^2\, l\, k_s / 100 \qquad (4.2)$$

โดยที่ W คือ งานในการตัด (J)

m คือ แฟกเตอร์ปรับค่าขึ้นอยู่กับประเภทวัสดุ ดูค่าได้จากตารางที่ 4

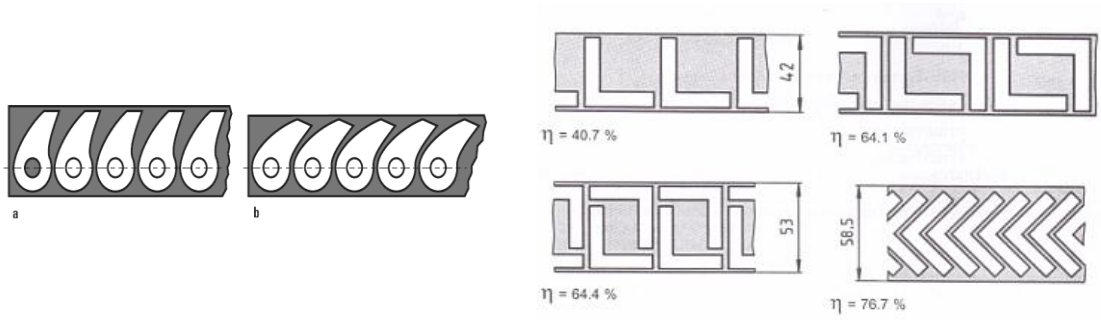
k_s ,t, l เหมือนกับค่าในสมการที่ (4.1)

ตารางที่ 2.4 แฟกเตอร์ปรับค่า (m) สำหรับสมการที่ 4.2 [5]

วัสดุ	ค่า m
อะลูมิเนียม	0.76
อะลูมิเนียม(อ่อน),ทองเหลือง(อ่อน),เหล็กกล้าละมุน(คาร์บอนน้อยกว่า 0.2%)	0.64
อะลูมิเนียม(แข็ง),ทองแดง(แข็ง),เหล็กกล้าละมุน(คาร์บอนน้อยกว่า0.2-0.3 %)	0.50
เหล็กสปริง,ทองเหลือง(แข็ง),เหล็กกล้า(คาร์บอน 0.3-0.6 %)	0.45
เหล็กกล้า(คาร์บอนมากกว่า 0.6%)	0.40
โลหะแผ่นรีดเย็น(ไม่อบอ่อน)	0.30

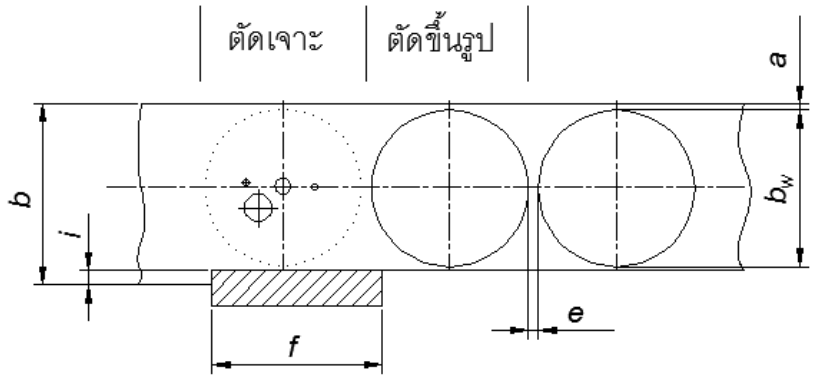
2.5 การกำหนดขนาดแผ่นงานในการผลิต

ในการผลิตชิ้นงานตัดจำนวนมากจำเป็นจะต้องเตรียมวัสดุแผ่นงานการผลิตให้เพียงพอต่อปริมาณการผลิตและที่สำคัญควรเตรียมแผ่นงานให้เหมาะสมกับขนาดชิ้นงานที่ต้องการผลิต และประหยัดที่สุด ทั้งนี้ในการผลิตชิ้นงานควรใช้ประโยชน์ของพื้นที่งานให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากในการตัดเจาะจะมีเศษเกิดขึ้น ซึ่งมีความสำคัญมากในการจัดเตรียมวัตถุดิบที่นำไปใช้ในการผลิตชิ้นงาน



รูปที่ 2.14 การกำหนดลักษณะงานผลิตมีผลต่อพื้นที่ของแผ่นงาน [4][9]

ดังนั้นเมื่อทราบถึงรูปร่างของชิ้นงานที่ผลิต จึงดำเนินตามขั้นตอน โดยการวางแผนในการผลิตด้วยการกำหนดลักษณะการตัดเจาะ เช่น วางชิ้นงานในลักษณะใด ทำการผลิตครั้งละกี่แถว



b = ความกว้างแถบงาน

a = ควากว้างขอบ

b_w = ความกว้างชิ้นงาน

i = ความกว้างคมตัดข้าง

f = ระยะป้อน

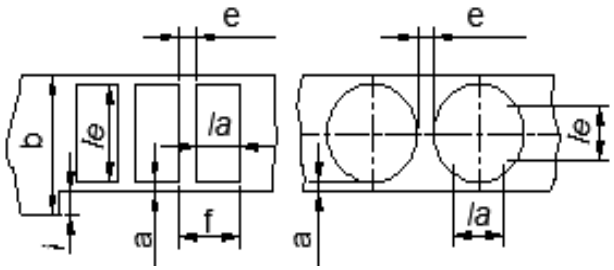
e = ความกว้างเอ็น

รูปที่ 2.15 แถบงานตัด [9]

ในการทำงานตัดของแม่พิมพ์ตัด ระยะความกว้างขอบ (a) และความกว้างเอ็น (e) จะเหลืออยู่หลังการตัดชิ้นงานเป็นลักษณะตาข่าย โดยปรกติจะพยายามกำหนดให้ความกว้างขอบ และความกว้างเอ็นมีขนาดเล็กที่เท่าที่จะทำได้ เพื่อลดการสูญเสียวัสดุ ในขณะเดียวกันต้องให้กว้างเพียงพอเพื่อการคงรูปไว้ได้ตามต้องการ คือให้คงรูปเป็นตาข่าย เพื่อลำเลียงชิ้นงานเข้าทำการตัด การกำหนดความกว้างเอ็นและขอบอาศัยค่าตามประสบการณ์ ตามข้อแนะนำ VDI 3367 กำหนดให้ใช้ขนาดแถบงานตามตารางที่ 2.5 [9]

ตารางที่ 2.5 ความกว้างเอ็นกลางและขอบตาม VDI 3367 (ค่าแนะนำสำหรับวัสดุเปราะและอ่อน รวมทั้งแถบหมุนกลับให้เพิ่มขึ้น 50 %) [9]

คมตัดแบบเฉือนด้วยเครื่องมือตัด



b = ความกว้างแถบงาน

i = ความกว้างข้างคมตัดด้านข้าง

l_e = ความยาวระหว่างเอ็นกลาง

l_a = ความยาวระหว่างขอบ.

a = ความกว้างขอบ

e = ความกว้างเอ็นกลาง

f = ระยะป้อน

ความกว้างเอ็นกลาง , ขอบ , และข้างคมตัดสำหรับงานโลหะ

ความกว้างแถบงาน b [mm.]	ความยาวเอ็นกลางหรือความยาวขอบขนาดโตสุด l_e, l_a [mm.]	ความกว้างเอ็นความกว้างขอบ e , a [mm.]	ความหนาวัสดุ t [mm.]										
			0.10	0.30	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00
ถึง 100	ถึง 10 หรือชิ้นงานกลม	e	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.9	2.1
		a	1.0	0.9	0.9								
	11 ถึง 50	e	1.6	1.2	0.9	1.0	1.1	1.4	1.4	1.6	1.7	2.0	2.3
		a	1.9	1.5	1.0								
	51 ถึง 100	e	1.8	1.4	1.0	1.2	1.3	1.6	1.6	1.9	2.2	2.2	2.5
		a	2.2	1.7	1.2								
	เกิน 100	e	2.0	1.6	1.2	1.4	1.5	1.8	1.8	2.0	2.1	2.4	2.7
		a	2.4	1.9	1.5								
	ความกว้างข้างคมตัด i		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	2.2	2.5	3.0	3.5	4.5
เกิน 100 ถึง200	ถึง 10 รือชิ้นงานกลม	e	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7	2.0	2.3
		a	1.2	1.1	1.1								
	11 ถึง 50	e	1.8	1.4	1.0	1.2	1.3	1.6	1.6	1.8	1.9	2.2	2.5
		a	2.2	1.7	1.2								
	51 ถึง 100	e	2.0	1.6	1.2	1.4	1.6	1.8	1.8	2.0	2.1	2.4	2.7
		a	2.4	1.9	1.5								

ในการคำนวณหาความยาวระหว่างเอ็น l_e และความยาวระหว่างขอบ l_a ต้องระวังว่าได้พิจารณาเพียงความยาวของด้านข้างชิ้นงานตัดที่ขนานกันเท่านั้น (ความกว้างเอ็นและขอบเท่ากัน)
เนื่องจากการตัดรูปนอกรูปทรงกลมไม่เกิดเส้นขอบขนานกันจึงกำหนดให้

ความกว้างเอ็นกลาง $l_e < 10$ mm.

$l_a < 10$ mm.

ความกว้างแถบงานสามารถคำนวณได้จาก

$$b = b_w + 2a + i$$

โดยที่ b_w = ความกว้างชิ้นงานตัด

a = ความกว้างขอบ

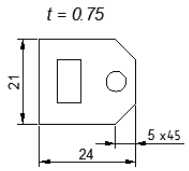
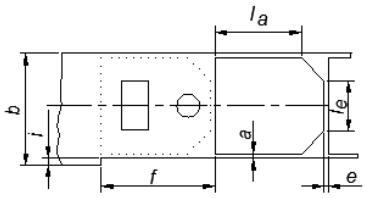
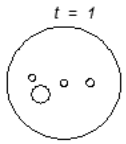
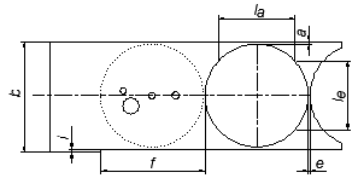
i = เศษคมตัดข้าง (เท่าที่มี)

ค่าที่คำนวณได้ให้ปัดเศษเป็นเศษหนึ่งส่วนสอง หรือเต็มขนาดมิลลิเมตร ระยะป้อนที่จำเป็นสำหรับการป้อนลำเลียงแถบงานได้จากความยาวชิ้นงานและความกว้างเอ็นกลาง

$$f = l + e$$

โดยที่ l = ความยาวชิ้นงานตัด

e = ความกว้างเอ็นกลาง

ชิ้นงานตัด	การจัดงานบนแถบงาน	ความยาวเอ็นกลาง l_e ความยาวขอบ l_a	ตาม VDI 3367 ใช้สำหรับความกว้างขอบ a ความกว้างเอ็นกลาง e เศษคมตัดข้าง i ระยะป้อน ความกว้างแถบ b
		$l_a = l - l_{chamfer}$ $l_e = b_w - 2i_{chamfer}$	a = 1 mm. e = 1 mm. i = 1.5 mm. b = b_w + 2a + i = (21 + 2×1+1.5) = 24.5 mm. f = l + e = (24+1) = 25 mm.
		l_a < 10 mm l_e < 10 mm.	a = 1 mm. e = 1 mm. i = 1.5 mm. b = b_w + 2a + i = (48 + 2×1+1.5) = 51.5 mm. f = l + e = (48+1) = 49 mm

รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการกำหนดความกว้างแถบงาน [9]

การใช้แผ่นวัสดุงานให้ได้ประโยชน์สูงสุด คือ การผลิตชิ้นงานตัดให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยที่มีเศษน้อยที่สุด และสามารถหาอัตราเปรียบเทียบของพื้นที่แถบงานตัดกับพื้นที่ของชิ้นงานที่ตัดได้ดังนี้

$$\eta = \frac{z_1 \cdot A}{l \cdot b}$$

โดยที่ z_1 = จำนวนชิ้นงานจากความยาวหนึ่งแถบงาน

A = พื้นที่ชิ้นงาน (ไม่คำนึงถึงรูเจาะออก)

l = ความยาวแถบงาน

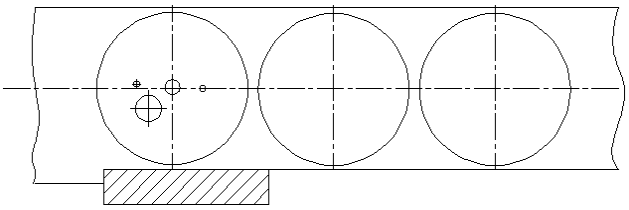
b = ความกว้างแถบงาน

“รูเจาะเป็นส่วนหนึ่งของชิ้นงานและไม่มีผลต่อการแบ่งแถบงานรวมถึงอัตราการใช้ประโยชน์วัสดุ”

การหาจำนวนชิ้นงานที่ตัดจากแถบงานว่าได้จำนวนชิ้นเท่าไรหาได้จาก

$$z = \frac{l}{f}$$

ตัวอย่างที่ 1 ในการผลิตชิ้นงานกลมเปล่าใช้แถบงานตัดยาว 1000 มิลลิเมตร กว้าง 51.5 มิลลิเมตร



การหาค่าระยะป้อนแถบงาน (ตามรูปที่ 2.16)

f = 49 มิลลิเมตร

การคำนวณจำนวนชิ้น z ต่อแถบงาน (ใช้ประโยชน์สูงสุด)

$$z = \frac{l}{f} = \frac{1000}{49} = 20.4 = 20 \text{ ชิ้น}$$

การคำนวณอัตราการใช้ประโยชน์เป็นร้อยละ

$$\eta = \frac{z \cdot A}{l \cdot b} \cdot 100\ \% = \frac{20 \times 1810}{1000 \times 51.5} \times 100 = 70.3\ \%$$

ในการตัดแผ่นเปล่านี้สามารถเพิ่มอัตราการผลิตด้วยการจัดวางชิ้นงานตัดหลาย ๆ แถว โดยการเยื้องระยะป้อนของแถบงานกึ่งหนึ่ง ในการคำนวณอัตราการใช้ประโยชน์โดยไม่คำนึงถึงเศษของแถบงานที่เริ่มต้นและสุดท้าย รวมทั้งเศษตัดด้านข้าง จะได้สูตรคำนวณ

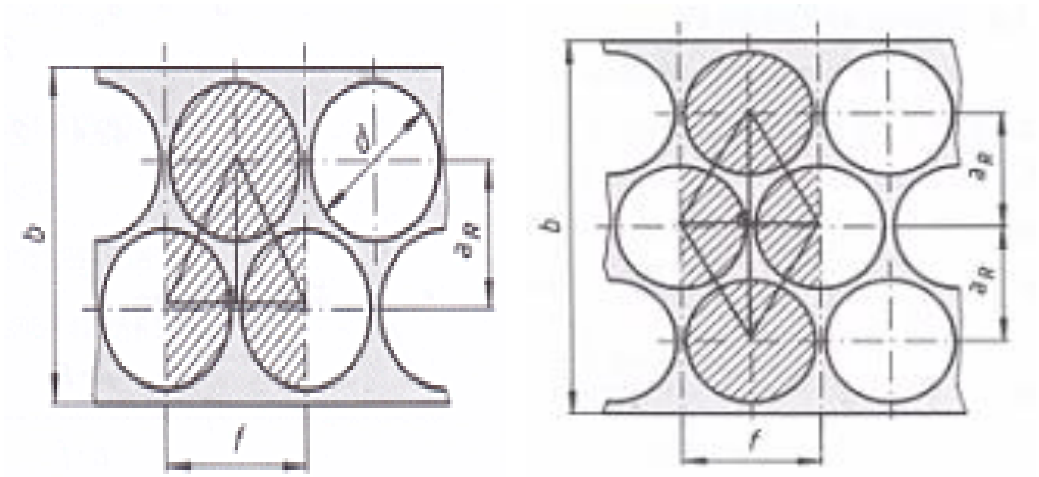
$$\eta = \frac{A \cdot R}{b \cdot f}$$

โดยที่ A = พื้นที่งานตัด

R = จำนวนแถว

สำหรับความกว้างแถบงาน เมื่อจัดวางหลายแถวจะต้องมีระยะห่างของแถว (a_R) เนื่องจากความกว้างของเอ็นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นตัดรอบนอกเท่ากันสามารถใช้รูปสามเหลี่ยมด้านเท่าในการคำนวณหา จึงได้สูตรระยะห่างระหว่างแถว[9]

$$a_R \approx 0.866\ f$$



$$a_R = \sqrt{(d+e)^2 - \left(\frac{f}{2}\right)^2}$$

สองแถว $\eta \approx 80\ \%$ สามแถว $\eta \approx 82\ \%$

รูปที่ 2.17 อัตราการใช้ประโยชน์วัสดุจากการวางระยะชิ้นงาน [9]

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณอัตราการใช้ประโยชน์ ของชิ้นงานกลมเปล่า $\varnothing$ 48 มม. เมื่อจัดวางแถบงานเป็น 2 แถว โดยที่ เมื่อ e = a = 1 มม.

1. เมื่อพื้นที่ตัดเป็นแถวเดียว

$$A = \frac{\pi}{4}d^2 = \frac{\pi}{4}48^2 \approx 1810 \text{ มม.}^2$$

2. ระยะป้อน

$$f = 2 \cdot \frac{d}{2} + e = 2\frac{48}{2} + 1 = 49 \text{ มม.}$$

3. ระยะห่างระหว่างแถว

$$a_R \approx 0.866\, f = 0.866 \times 49 = 42.4 \text{ มม.}$$

4. ความกว้างแถบงาน

$$b = a_R + 2\frac{d}{2} + 2a$$

$$= 42.4 + 2\frac{48}{2} + 2 \times 1 = 92.4 \approx 92.5 \text{ มม.}$$

5. อัตราการใช้วัสดุ

$$\eta = \frac{A \cdot R}{b \cdot f} = \frac{1810 \times 2}{92.5 \times 49} = 80\,\% \text{ [9]}$$

2.6 วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตพันช์และดาย

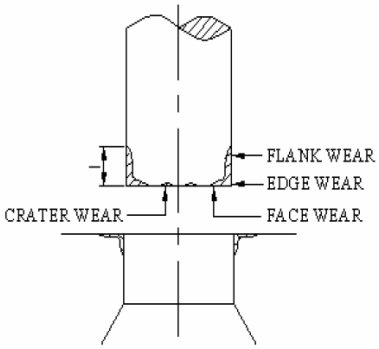
โดยปรกติแล้ววัสดุที่จะนำมาทำเป็นคมตัดในงานตัดเฉือนจะต้องมีความแข็ง ต้านทานต่อการสึกหรอ ต้านทานต่อการหลอมละลายติดและการขูดขีด ต้านทานต่อการบิ่นหรือแตกหัก และมีความเหนียวนุ่ม Toughness การเลือกชนิดของวัสดุที่ใช้ทำอินเสิร์ตพันช์หรืออินเสิร์ตดายขึ้นอยู่กับปริมาณชิ้นงานที่จะทำการผลิตด้วย ถ้าปริมาณการผลิตน้อย อาจใช้วัสดุที่มีคาร์บอนผสม หรือเหล็กคาร์บอน ถ้ามีปริมาณการผลิตปานกลางถึงมาก อาจใช้วัสดุประเภทเครื่องมือ Tool Steel และถ้ามีการผลิตมาก ๆ อาจใช้วัสดุประเภททังสเตนคาร์ไบด์ และทำการเคลือบผิวด้วย เพื่อลดจำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงด้วยการเจียรไนลับคมตัดให้มีจำนวนครั้งลดลงอันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานเครื่องปั๊มในการผลิตชิ้นงานได้มากยิ่งขึ้นด้วย [10]

เหล็กที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ใช้เหล็กเครื่องมืองานเย็น (Cold work tool steels) เกรด SKD11 มีส่วนผสมของคาร์บอน 1.48%ซิลิกอน 0.22% แมงกานีส 0.41% โครเมี่ยม 11.60% โมลิดินั่ม 0.88% วานาเดียม 0.26% ใช้ในการผลิตเครื่องมือสำหรับไปใช้ในการแปรรูปโลหะที่ไม่ได้ให้ความร้อนก่อนการแปรรูป เช่น แม่พิมพ์ตัด คุณสมบัติชุบแข็งได้ง่ายทนทานต่อการเสียดสีได้สูง มีความเหนียว ในการทดลองนี้ได้ชุบแข็งพันช์และดายที่ความแข็ง 60 ±1 HRC

2.7 รูปแบบการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับวัสดุแม่พิมพ์ตัด

การสึกหรอเกิดจากการแยกหลุดตัวของอนุภาคเล็กๆ ของพันช์ เมื่อเกิดการกระทำทางกลหรือทางเคมี โดยพฤติกรรมการสึกหรอของวัสดุนี้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญ ๆ เช่น การสัมผัสกัน ลักษณะการเคลื่อนไหวและการรับภาระในการทำงาน การสึกหรอที่เกิดขึ้นในงานตัดจะเกิดขึ้นในสองจุดที่สำคัญ คือ บริเวณพันช์และดาย ตำแหน่งการสึกหรอแบ่งได้ 4 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.18 โดยการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับพันช์และดายมี 4 ตำแหน่ง คือ

- การสึกหรอด้านหน้าแม่พิมพ์ (Face Wear)
- การสึกหรอด้านข้างแม่พิมพ์ (Flank Wear หรือ Side Wear)
- การสึกหรอบริเวณมุมหรือคมตัดพันช์ (Edge Wear)
- การสึกหรอบริเวณศูนย์กลางพันช์ (Crater Wear)



รูปที่ 2.18 ตำแหน่งการสึกหรอของพันช์และดาย [8]

การสึกหรอด้านข้างแม่พิมพ์ (Flank Wear) จะเกิดตามแนวยาวของพันช์ หรือเป็นพื้นที่การสึกหรอบริเวณด้านข้างของพันช์ ซึ่งมีความสำคัญเพราะจะมีผลต่อขนาดชิ้นงานสำเร็จ ถ้าเกิดการสึกหรอที่บริเวณด้านข้างขึ้นจะทำให้ขนาดคมตัดของพันช์เปลี่ยนไป และจะมีผลทำให้ช่องว่างแม่พิมพ์เปลี่ยนไปด้วย

การสึกหรอบริเวณมุมหรือคมตัดพันช์ (Edge Wear) จะเกิดขึ้นก่อนการเกิดการสึกหรอด้านข้างซึ่งจะมีผลต่อการเกิดครีบบนชิ้นงาน เพราะถ้าคมตัดเกิดการสึกหรอ ชิ้นงานที่ได้จากการตัดจะเกิดครีบสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อทำการตัดไปจำนวนครั้งมาก ๆ

การสึกหรอด้านหน้าแม่พิมพ์ (Face Wear) เกิดจากการกระแทกซ้ำๆ กับชิ้นงานซึ่งจะทำให้เกิดความล้าขึ้นและจะมีผลมากเมื่อมีการตัดชิ้นงานจำนวนมากๆ

การสึกหรอแบบเป็นหลุม (Crater Wear) เกิดจากการสึกหรอในลักษณะการขูดขีดหรือขีดข่วนและการสึกหรอแบบยึดติด จึงทำให้ต้องใช้แรงตัดเพิ่มขึ้นกว่าปกติ โดยการสึกหรอจะเกิดในบริเวณคมตัดลักษณะวิ่งเข้าสู่ศูนย์กลางของพันช์ [11]

การสึกหรอ (Wear) หมายถึง การสูญเสียเนื้อวัสดุที่เป็นผิวหน้า เมื่อมีการเสียดสีหรือมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กันของวัสดุ 2 ชิ้น แม้ว่าวัสดุที่สูญเสียไปจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่อาจจะทำให้ชิ้นส่วนนั้นเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง เช่น แม่พิมพ์ หรือ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลบางชนิด [8] การสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณคมตัดพันช์เกิดขึ้นได้ 6 ลักษณะคือ [3]

2.7.1 การสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear)

เป็นการสึกหรอที่เกิดจากการสัมผัสของผิวหน้าชิ้นงาน 2 ชิ้น อันส่งผลให้เกิดความเค้นสัมผัส (Contact Stress) ที่สูงและเกิดขึ้นเนื่องจากธรรมชาติของความหยาบผิววัสดุ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าวัสดุ 2 ชนิดเสียดสีกันทำให้เกิดความเครียดเกินจุดครากของวัสดุ เนื้อวัสดุบริเวณที่ถูกเสียดสีจะเกิด Plastic zone เมื่อชิ้นงานเคลื่อนที่ไป ชิ้นงานที่มีความแข็งแรงมากกว่าจะพาเอาเนื้อวัสดุของชิ้นงานที่มีความแข็งน้อยกว่าไปด้วย ทำให้เกิดการสึกหรอขึ้น ถ้าผิวหน้าที่เคลื่อนที่มีการเสียดสีกันอย่างต่อเนื่อง ค่าความเค้นแรงเฉือนที่บริเวณที่เกิดพันธะอะตอมมิค จะเกิดขึ้นจนมีค่าเกินขีดจำกัดของอีกวัสดุหนึ่งและทำให้จุดที่สัมผัสกันเกิดการแตก พร้อมทั้งนำชิ้นส่วนติดมาด้วย ชิ้นส่วนที่เกิดการแตกสามารถหลุดออกมาเป็นเศษชิ้นโลหะหรือยังคงเหลือพันธะอะตอมมิคไว้บนผิวหน้าชิ้นงานที่อยู่ฝั่งตรงข้าม (Punch) [12]

การกระเทาะ (Galling) เป็นรูปแบบการเสียหายของการสึกหรอแบบยึดติดที่ค่อนข้างรุนแรง เกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดสีกันอย่างรุนแรง ส่งผลให้เกิดการเชื่อมติดกันของเฟสของแข็งแบบเฉพาะที่ และส่งผลให้เกิดการหลุดร่อนของชิ้นส่วนโลหะ [12]

2.7.2 การสึกหรอแบบขัดถูหรือขีดข่วน (Abrasive wear)

คือการสึกหรอที่เกิดจากพฤติกรรมการขีดข่วน ขัดถู หรือกระแทก ซึ่งการกระทำเหล่านี้ทำให้เนื้อวัสดุหลุดออกมาในลักษณะเป็นอนุภาคเล็ก ๆ [13]

2.7.3 การสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการล้าตัว (Fatigue wear)

คือการสึกหรอที่เกิดจากได้รับการกระทำไม่คงที่มีลักษณะเป็นคาบ (Cyclic load) คือรับแรงดึงและอัดสลับกันไป และทำให้เกิดความล้าใต้ผิวของชิ้นงานขึ้น ทำให้ผิวของชิ้นงานเกิดการหลุดออกไป ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นหลุมเป็นบ่อหรือในลักษณะการเกิดรอยร้าวขึ้นที่ผิวชิ้นงาน[13]

2.7.4 การสึกหรอที่เกิดจากการชน (Impact wear)

คือ การสึกหรอที่เกิดจากอนุภาคเล็กๆ ของเศษที่หลุดออกหรือของเหลวเกิดการกระแทกกับผิวของวัสดุด้วยความเร็วและความแรงสูง ทำให้เกิดการแตกหรือหลุดออกของผิววัสดุ ซึ่งการสึกหรอนี้จะประมาณได้จากเศษหรือวัสดุที่ชนกับผิว ซึ่งความเร็วในการชนที่มากกว่าจะทำให้การสึกหรอเกิดขึ้นมากกว่า [14]

2.7.5 การสึกหรอจากการกัดกร่อน (Corrosin wear)

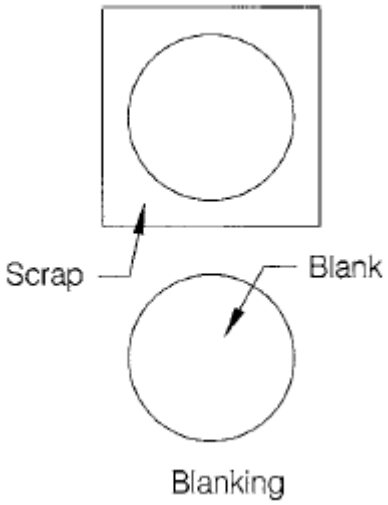
คือการสึกหรอที่เกิดจากการเกิดออกซิเดชั่น (Oxidation) ขึ้นที่ผิวของวัสดุทำให้ผิวเกิดจุดบกพร่องขึ้น ส่งผลให้เมื่อมีแรงกระทำที่ผิวเพิ่มสูงขึ้น เนื้อโลหะตรงบริเวณยอดผิว (Asperity) จะหลุดออกจากผิวของวัสดุได้ง่าย ทำให้พื้นที่สัมผัสของผิวสองผิวเพิ่มขึ้น เกิดการสึกหรอแบบการเชื่อมหรือยึดติดได้ง่ายขึ้น [14]

2.7.6 การสึกหรอแบบการแตกแยกชั้น (Delamination wear)

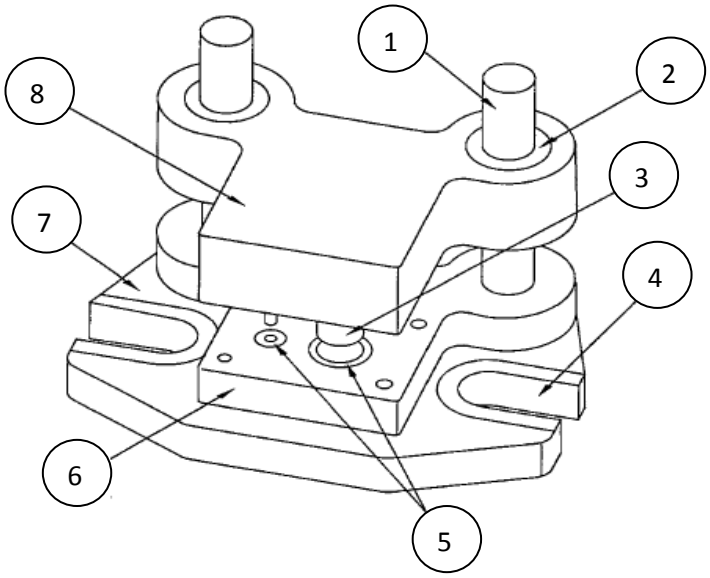
คือการสึกหรอที่เกิดจากเศษที่หลุดจากการสึกหรอในลักษณะการขีดข่วนทำปฏิกิริยาทำให้เกิดออกไซด์ (Oxide) ขึ้น ซึ่งเศษนี้จะทำให้เกิดการสึกหรอแบบขีดข่วนเพิ่มขึ้น การสึกหรอในลักษณะการแตกแยก ชั้นนี้จะรวมถึงการแตกจากความล้าตัวของผิวที่มีตัวหล่อลื่นเข้ามาติดอยู่ โดยเมื่อมีแรงกระทำระหว่างผิวตัวหล่อลื่นจะเป็นเหมือนกับลิ่มตันให้เกิดรอยแตกและขยายรอยแตกออก [14]

2.8 แม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่า Blanking

แม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่าหรือแม่พิมพ์เดี่ยว Single Die โดยทั่วไปแม่พิมพ์เดี่ยว Single Die จะมีเงื่อนไขเบื้องต้นว่า การทำงานของแม่พิมพ์จะใช้คนทำ งาน เป็นส่วนใหญ่ และมีลักษณะการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง และอาจกล่าวได้ว่า การแปรรูปชิ้นงานโดยใช้แม่พิมพ์เดียว Single Die เป็นขั้นตอนสำคัญของการทำงานแม่พิมพ์ต่อ ๆ ไปถ้าเราใช้แม่พิมพ์เดี่ยวในการทำงานเราสามารถทำงานได้ชิ้นงาน ที่ได้มาจากแม่พิมพ์ต่อไปนี้



รูปที่ 2.19 รูปชิ้นงานที่ได้มาจากแม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่า Blanking [2]



รูปที่ 2.20 แม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่า [2]

1. ไกด์โพสต์ Guide Post
2. ไกด์บุช Guide Bushing
3. พันช์ Punch
4. ร่องยึดแม่พิมพ์กับโต๊ะงาน Mounting Slot
5. ดาย Die Buttons
6. ดายบล็อก Die Block

7. ตัวยึดดาย Die holder or Lower shoe
8. ตัวยึดพันช์ Punch holder or Upper shoe

แม่พิมพ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น คือแม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่าส่วนประกอบของแม่พิมพ์ที่กล่าวมานั้นอาจจะออกแบบมาไม่ครบซึ่งอาจจะต้องมีการเพิ่มชิ้นส่วนหรืออาจลดชิ้นส่วนขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน [7]

2.9 วัสดุที่ใช้ในการทดลองตัด

เป็นเหล็กมาตรฐาน JIS เกรด S50C เทียบมาตรฐาน AISI 1050 หรือ DIN 1.1206 (Ck 50/C50 E) มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอยู่ที่ 0.47 – 0.05 แมงกานีส 0.60 – 0.90 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกอนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.40 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.030 เปอร์เซ็นต์ จัดเป็นกลุ่มเหล็กคาร์บอนปานกลางที่นิยมใช้ในงานพื้นฐานทั้งงานโครงสร้าง งานอุปกรณ์การเกษตร งานเครื่องจักรกล งานแม่พิมพ์และส่วนประกอบแม่พิมพ์ รวมทั้งชิ้นส่วนในรถยนต์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติที่ดีในหลายด้าน ทั้งด้านความแข็งแรง ความเหนียวแกร่งและมีราคาถูก นอกจากนี้ยังสามารถทำการอบชุบเพื่อเพิ่มความแข็งและความแข็งแรงได้ โดยสามารถชุบให้มีความแข็งอย่างน้อย 58 HRC ก่อนอบคืนตัว (As quenched hardness) และยังสามารถชุบอินดักชั่นได้อีก [15]

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด

ชาญยุทธ มะกา[3] ได้ทำการศึกษาวัสดุทำแม่พิมพ์ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของเหล็กเครื่องมือ 4 ชนิด ที่นำมาทำพันช์ประกอบด้วย (JIS) SKD11,SKS3,SKH51,S50C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร นำมาผ่านกรรมวิธีชุบแข็งให้ได้ความแข็งเท่ากันคือ 59$\pm$1 HRC ใช้ช่องว่างของแม่พิมพ์คงที่ คือร้อยละ 5 ของความหนาชิ้นงาน โดยทำการเหล็กแผ่น (JIS) G3141 SPCC (AISI 1012) ความหนาของชิ้นงาน 0.8 มิลลิเมตร ในการตัดชิ้นงานจำนวน 10,000 ชิ้น พบว่าพันช์ที่มีอัตราการสึกหรอน้อยที่สุดคือ SKD11 รองลงมาคือ SKS3,SKH51 และ S50C ตามลำดับ

ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ [16] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของช่องว่างของแม่พิมพ์ที่มีผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด โดยการศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์ตัดโดยกำหนดค่าช่องว่างระหว่างพันซ์และดาย ที่ระดับต่างกัน คือ 3% ,8% และ 18% ของความหนาวัสดุชิ้นงาน วัสดุแผ่นตัดชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าไร้

สนิม SUS 430 โดยวัสดุพันช์และดายเป็น SKD11 ทำการชุบแข็งที่ระดับความแข็ง 60 HRC ในการทดลองพบว่าระยะค่าช่องว่างระหว่างคมตัด 3% การสึกหรอของพันช์เกิดขึ้นสูงที่สุด แต่ความสูงของครีบของชิ้นงานจะเกิดขึ้นน้อยที่สุดและความสูงของครีบจะสูงขึ้นเมื่อเกิดการสึกหรอของพันช์ ส่วนระยะค่าช่องว่าง 8% พบว่าการสึกหรอของพันช์จะเกิดขึ้นปานกลาง ความสูงของครีบที่ชิ้นงานจะเกิดขึ้นน้อยกว่า ส่วนที่ระยะค่าช่องว่างพันช์กับดายที่ 18% พบว่าการสึกหรอจะเกิดขึ้นต่ำที่สุด แต่ความสูงของครีบชิ้นงานจะเกิดขึ้นมากที่สุด

2.10.2 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับรูปร่างของชิ้นงานที่ได้จากการตัด

Luo,S.Y.[17] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของมุมตัดเฉือนที่ส่งผลต่อการสึกหรอของพันช์โดยสังเกตพฤติกรรมการสึกหรอบริเวณขอบของพันช์ โดยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพันช์ที่ 13.6 มิลลิเมตร และ 15.7 มิลลิเมตร กำหนดมุมตัดเฉือนของพันช์ที่12.5 องศา และ 20 องศา ลักษณะของผิวพันช์เป็นแบบขัดมันและเคลือบผิว โดยกำหนดวัสดุที่ใช้ทำพันช์เป็นเหล็กความเร็วรอบสูง (High-speed Steel) และกำหนดค่าความแข็งที่ 65-67 HRC ทำการทดลองตัดชิ้นงาน สังเกตวัดค่าความสึกหรอของพันช์โดยใช้กล้อ Scanning Electron Microscope (SEM) จากการทดลองพบว่า การสึกหรอของพันช์ที่มีมุมตัดรวม 12.5 องศา การสึกหรอจะเกิดบริเวณด้านข้างของคมตัดเป็นลักษณะการสึกหรอเนื่องจากการเชื่อมติด ส่วนรูปแบบการสึกหรอของพันช์ที่มีมุมตัดรวม 20 องศา การสึกหรอที่เกิดบริเวณด้านข้างและด้านหน้าของคมตัดเป็นลักษณะการสึกหรอแบบล้าตัว เนื่องจากพื้นที่สัมผัสระหว่างผิวชิ้นงานและผิวด้านหน้าของพันช์สัมผัสกันมาก ซึ่งสอดคล้องกันกับผลของณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ และคณะ [13] และยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมุมตัดเฉือนของพันช์คือ งานวิจัยของ Luo [14] พบว่ามุมตัดเฉือนต่างกันทำให้รูปแบบการสึกหรอต่างกัน จากการวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดพบว่ามีประโยชน์ในการนำมาช่วยกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาการสึกหรอของคมตัดในรูปแบบคมตัดที่แตกต่างกันโดยเปรียบเทียบพันช์รูปทรงกลมและรูปทรงสี่เหลี่ยม และคุณภาพของขอบตัดชิ้นงานที่ได้

Fang,G' [18] ได้ทำงานวิจัยที่ศึกษาอิทธิพลช่องว่างของแม่พิมพ์ที่มีต่อคุณภาพขอบตัดของชิ้นงานและต่ออายุของใช้งานของแม่พิมพ์ตัด โดยทำการทดลองและเก็บผลการทดลองในรูปของแรงตัด คุณภาพของขอบชิ้นงานตัดโดยใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการทดลองกำหนดชนิดวัสดุชิ้นงานเป็นอลูมิเนียมอัลลอยด์เกรด 2040 (Aluminum Alloy 2040) หนา 1 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ของดาย 20 มิลลิเมตร กำหนดขนาดพันช์เพื่อให้ได้ค่าช่องว่างของแม่พิมพ์ร้อยละ 0,5,10,15 และ 20 ของความหนาชิ้นงานตามลำดับ ผลการทดลองเปรียบเทียบแรงตัดที่ช่องว่างแม่พิมพ์มากจะให้ค่าแรงตัดต่ำที่สุด และช่องว่างแม่พิมพ์น้อยจะให้ค่าแรงตัดสูงที่สุด ในส่วนชิ้นงานลักษณะของรอยตัดเฉือนที่ชิ้นงานจะเกิดเป็น 4 ลักษณะ คือ ระยะโค้งมน ระยะตัดเฉือน ระยะฉีกขาด และความสูงของครีบ จากการวิจัยสรุปได้ว่าช่องว่างของแม่พิมพ์ที่มีผลต่อคุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน คือ กรณีที่ช่องว่างของแม่พิมพ์มากจะทำให้เกิดส่วนโค้งมน ส่วนการแตกและเกิดครีบสูง แต่ระยะตัดเฉือนจะเกิดขึ้นน้อยและช่องว่างของแม่พิมพ์ที่เหมาะสมที่สุดในการทำงานนี้คือ ช่องว่างของแม่พิมพ์ร้อยละ 5 ของความหนาชิ้นงาน

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาทั้งหมด ที่เกี่ยวข้องกับการสึกหรอของแม่พิมพ์ พบว่าการทดลองของ ชาญยุทธ มะกา [3] ซึ่งใช้วัสดุทำแม่พิมพ์เป็นเหล็ก (JIS)SKD11 สามารถทนต่อการสึกหรอได้สูงกว่าเหล็กชนิดอื่น การทดลองของ ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ , วารุณี เปรมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ [13] ที่ช่องว่างของแม่พิมพ์ที่ร้อยละ 8 ของความหนาชิ้นงาน อัตราการสึกหรอของพันช์จะเกิดขึ้นน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับระยะช่องว่างของแม่พิมพ์ 3% ความสูงของครีบที่ชิ้นงานจะเกิดขึ้นน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่างคมตัด 18% ในการวิจัยของ Gang Fang และคณะ [15] พบว่าที่ช่องว่างของแม่พิมพ์น้อยจะทำให้เกิดการสึกหรอสูง