บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

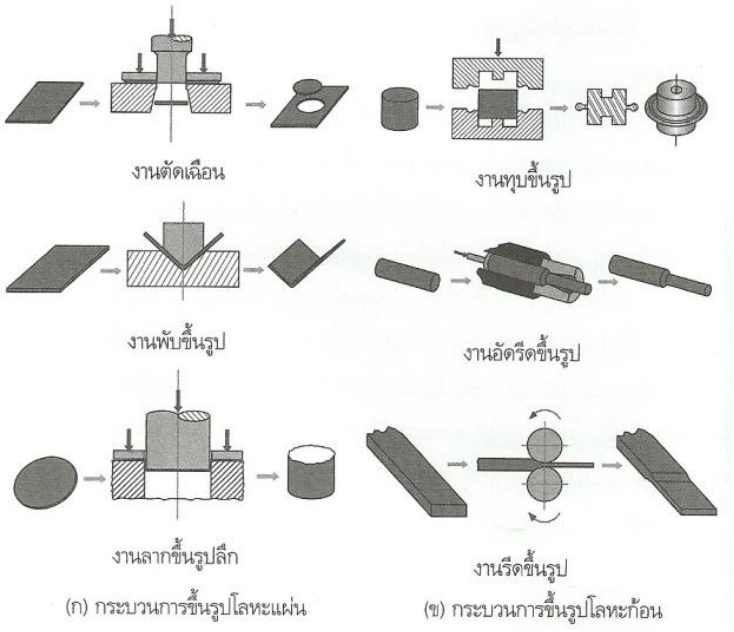
ในการทำการวิจัยมีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยงข้องกับการทดลองมีดังนี้

2.1 กระบวนการขึ้นรูปโลหะ (Metal forming Process)

กระบวนการขึ้นรูปโลหะเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์ (Product) หรือชนิดงานที่มีรูปร่างตามความต้องการโดยใช้แม่พิมพ์ในการขึ้นรูปวัตถุดิบที่มีอยู่ในสภาวะของแข็งโดยไม่การเสียเศษและไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายในของวัสดุนั้นซึ่งเรียกว่างานขึ้นรูปโลหะ (Metal forming Process) หรืองานเปลี่ยนรูปโลหะในช่วงเปลี่ยนรูปถาวร (Metal De forming Process) หรือ (De forming Process) [2]

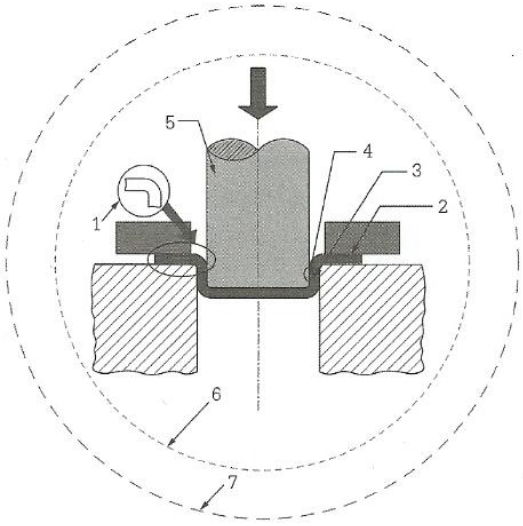
2.2 ประเภทของการขึ้นรูปโลหะ

งานขึ้นรูปโลหะแบบเป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากวัสดุที่ทำถ้าเป็นโลหะแผ่นจะเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น(Sheet metal forming Process) เช่น กระบวนการตัดเฉือน (Blanking Process) กระบวนการพับขึ้นรูป (Bending Process) และกระบวนการรากขึ้นรูป (Deep Drawing Process) และถ้าวัสดุเริ่มต้นมีลักษณะเป็นก้อนจะเป็นการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal forming Process) เช่น กระบวนการกบทุบขึ้นรูป (Forging Process) กระบวนการอัดฉีดขึ้นรูป (Estrasniom Process) และกระบวนการฉีดขึ้นรูป (Rolling Process) [2]



รูปที่ 2.1 กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นและกระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน

การขึ้นรูปโลหะแผ่นเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์เรียบร้อยตามความประสงค์ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญในการขึ้นรูปโลหะแผ่น ดังนี้



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของงานขึ้นรูปโลหะแผ่น

1. องค์ประกอบที่ 1 กลไกลการเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุและการไหลตัว สภาวะความเค้นที่เกิดขึ้นในบริเวณต่าง ๆ เพื่อวางแผนการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีประสิทธิภาพสามารถทำนายตำแหน่งหรือโอกาสในการเกิดความเสียหายขณะทำการขึ้นรูป เพื่อหาแนวทางในการแก้ไข ป้องกัน เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์

2. องค์ประกอบที่ 2 สมบัติของวัสดุเริ่มต้น องค์ประกอบทางเคมีความแข็งแรงของวัสดุ ความสามารถในการไหลตัว ความแข็งแรงที่เพื่อขึ้นในขนาดขึ้นรูป (Work Hardening) ในบางกรณีต้องคำนึงถึงสมบัติทางด้านทิศทางว่าตามแนวรีดหรือขวางแนวรีดของวัสดุ สมบัติทางโลหะวิทยา รวมถึงการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ความร้อน (Heat Treatment) ก่อนขึ้นรูปด้วย

3. องค์ประกอบที่ 3 สมบัติของวัสดุหลังการขึ้นรูป ซึ่งมักจะหมายถึงสมบัติทางกล ลักษณะของผิวสำเร็จความเที่ยงตรงของขนาดในบางกรณี การเกิดความเครียดในเนื้อวัสดุอาจส่งผลต่อการนำไปใช้งาน จึงต้องคำนึงถึงการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนก่อนนำไปใช้งาน

4. องค์ประกอบที่ 4 บริเวณผิวสัมผัสระหว่างชนิดงานและแม่พิมพ์ เป็นบริเวณที่เกิดความเสี่ยงทางที่ต้านการไหลตัวของวัสดุ จังควรมีความเข้าใจในศาสตร์ของการหล่อลื่นและศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาวะผิวของแม่พิมพ์และชิ้นงาน รวมถึงการสึกหรอที่ผิวของแม่พิมพ์ภายใต้สภาวะการปั๊มโลหะด้วย

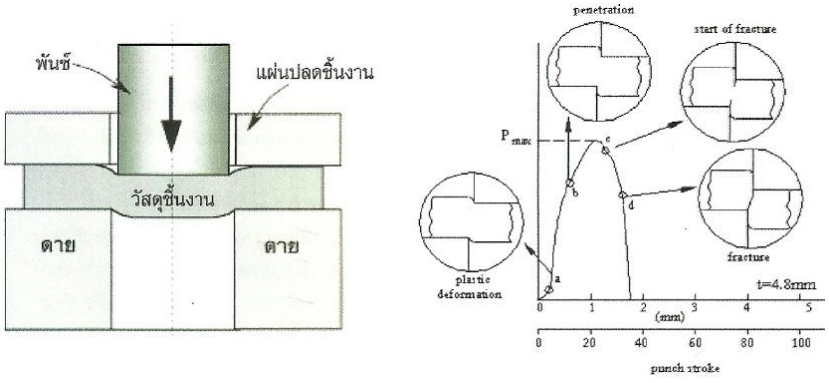
5. องค์ประกอบที่ 5 แม่พิมพ์ ความเข้าใจในกระบวนการทำงานของแม่พิมพ์ตัวแปรที่มีต่อความสำเร็จในการขึ้นรูป ทำให้เกิดการออกแบบที่เหมาะสมในการใช้งาน และซ่อมบำรุงได้ง่าย

การผลิตแม่พิมพ์ที่ถูกต้องเที่ยงตรงตามแบบ การใช้ขั้นตอนที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการผลิต การเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ที่เหมาะสมรวมถึงความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในการผลิตเพื่อให้เกิดความเค้นตกค้างน้อยที่สุดและไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับชิ้นแม่พิมพ์ได้ง่าย

6. องค์ประกอบที่ 6 เครื่องปั๊ม เป็นตัวส่งผ่านแรงในการประกบชุดแม่พิมพ์เข้าหากันเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน การเลือกเครื่องปั๊มที่เหมาะสม ความเข้าใจในกลไกลการทำงาน การส่งผ่านแรงของเครื่องปั๊ม ขนาดของเครื่องปั๊ม และขนาดของแรงที่จำเป็น เพื่อในการกำหนดขนาดของแม่พิมพ์ วิธีการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊มและการปรับตั้งเงื่อนไขต่าง ๆ ในการปั๊มโลหะ

7. องค์ประกอบที่ 7 อุปกรณ์ช่วยอื่น ๆ เช่นกลไกลในการป้อนชิ้นงาน กลไกลในการนำส่วนที่ไม่ต้องการหรือส่วนที่เลือกจากการทำงานออกจากเครื่องปั๊ม ระบบการพ่น หรือฉีดสารหล่อลื่น อุปกรณ์ในการตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นงานภายหลังการขึ้นรูป เป็นต้น [2]

(Blanking)เป็นการตัดชิ้นงานที่มีเส้นรอบรูปเป็นรูปต่าง ๆ ออกจากแผ่น สติ๊ป และส่วนที่ถูกตัดออกจากแผ่นสติ๊ปจะเป็นชิ้นงาน [3] ซึ่งประกอบด้วยพันช์ และดาย โดยเริ่มต้นพันช์จะกดลงบนชิ้นงานทำให้เพื่อโลหะไหลเข้าไปในช่องของดาย จนเลยขีดจำกัดทำให้เนื้อโลหะเกิดการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic de formation) และเมื่อพันช์กดลึกลงไปในชิ้นงานเพิ่มขึ้นจนกระทั่งความเค้นดึงทีเกิดขึ้นในเนื้อวัตถุสูงเกินคาดขีดจำกัดความแข็งแรงของของวัตถุจะทำให้เกิดรอยแตกเล็ก ๆ ขึ้น(Crack initiation) บริเวณเหนือคมตัดของพันช์และดายเล็กลงน้อยและเมื่อพันช์กดลงมาอย่างต่อเนื่องรอยแตกดังกล่าวจะขยายตัวมาต่อเนื่องกันอย่างรวดเร็วและจะทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกัน ช่วงนี้แรงในการตัดจะลดลงอย่างรวดเร็ว [4]



รูปที่ 2.3 กรรมวิธีการตัดและพฤติกรรมการตัดโลหะแผ่น [3]

2.3 โลหะที่ใช้ในการทดลอง

โลหะที่ใช้ในการเจาะทดลองสำหรับการวิจัยและใช้เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) โดยเป็นเหล็กไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic) AISI 304

2.3.1 เหล็กกล้าไร้สนิมคืออะไร [9]

เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอนและธาตุอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติมีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 1.2% มีโครเมียมเป็นส่วนผสมหลักไม่ต่ำกว่า 10.5% ซึ่งทำให้เกิดการสร้างฟิล์มโคเมียมออกไซด์ (Chromium Oxide Film CrO_2 ที่เรียกว่า Passive Film) ไม่สามารถมองเห็นได้และเกาะติดแน่น อยู่ที่ผิวของเหล็กกล้า และทำเหล็กกล้ามีความต้านทานต่อการกัดกร่อนในสภาพทั่ว ๆ ไป ได้กว่าเหล็กธรรมดา หลายเท่าถ้าหากเปลี่ยนความหนา ของฟิล์มโครเมียมออกไซด์นี้ ให้ลองนึกภาพดูว่า ถ้าให้ความหนาของกระดาษ A4 ที่เราใช้พิมพ์งานนี้ เท่ากับฟิล์มโครเมียมออกไซด์เนื้อเหล็กที่หนาประมาณ 1 มิลลิเมตรจะเท่ากับตึกสูง 20 ชั้นเลยทีเดียว ถึงแม้ว่าฟิล์มที่ผิวหน้านั้น จะถูกทำร้ายได้จากแรงทางกล สารเคมีหรือสิ่งอื่นใดก็ตามปริมาณ ออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศหรือในน้ำสารละลาย เคมี สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับโครเมียมในเนื้อเหล็กกล้า และสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ทดแทนขึ้นใหม่ด้วนตัวมันเองทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมไม่ถูกกัดกร่อนเสียหาย

เหล็กกล้าไร้สนิมหรือสแตนเลส (Stainless Steel) ในทางโลหะถือว่าเป็นโลหะผสมเหล็กที่มีโครเมียมออกไซด์10.8% เนื่องจากโลหะไม่เป็นสนิมซึ่งเราจำแนกประเภทสแตนเลสเลขรหัสที่กำหนดขึ้นตามมาตรฐานAISI 304 L316 เป็นต้น ชิ้นส่วนผสมจะเป็นตัวกำหนดเกรดของสแตนเลสซึ่งมีความต้องการแตกต่างกันออกไป [7]

1. กลุ่มออสเทนนิติค (Austenitic) หรือเหล็กกล้าไร้สนิมตระกูล 300 เป็นเกรดที่ใช้งานมากที่สุดถึง70% มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด (Non-Magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 16% คาร์บอนอย่างมากที่สุด 0.15% มีส่วนผสมของธาตุนิกเกิล 8% เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการทำการประกอบ (Fabrication) และเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน เกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมเรียก 18/10 คือการที่มีส่วนผสมของโครเมียม 18% และนิกเกิล 10% การนำไปใช้ประโยชน์ได้แก่

- ถังเก็บกักต่าง ๆ
- ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน
- บรรจุภัณฑ์อาหาร เครื่องสำอางและยา
- ตกแต่งอาคารทั่ว ๆ ไป
- งานศิลปะต่าง ๆ
- อุปกรณ์ประกอบรถยนต์

2. กลุ่มเฟอริติค (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด (Magnetic) มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ปริมาณที่ต่ำ และมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลัก ที่สำคัญอาจอยู่ระหว่าง 10.5%-27% มีนิกเกิลเป็นส่วนผสมอยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย และนำไปใช้งานได้แก่

- ซิงค์น้ำ
- ส่วนประกอบ อุปกรณ์ให้ความร้อน ท่อไอเสียต่าง ๆ
- อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน
- ส่วนประกอบเครื่องครัว ชั้นวางของในร่ม

3. กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex) มีโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างเฟอริติกส์และออสเทนนิติกส์ มีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19%-28% โมลิบดินัมสูงกว่า 5% มีนิกเกิลน้อยกว่าตระกูลออสเทนนิติกส์ พบว่ามีการใช้งานมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบรรยากาศแวดล้อมของคลอไรด์ การนำไปใช้งานได้แก่

- เครื่องมือแพทย์
- เครื่องมือ
- เครื่องจักรที่เกี่ยวกับ ผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มและเครื่องสำอาง

4. กลุ่มมาร์เทนซิติค (Martensitic) แม่เหล็กดูดไม่ติด (Non-Magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 12%-14% และมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ปานกลาง มีโมลิบดินัมเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 0.2%-1% ไม่มีนิกเกิล สเตนเลสตระกูลนี้สามารถปรับความแข็งได้โดยให้ความร้อนและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Quenching) และอบคืนตัว (Tempering) สามารถลดความแข็งได้ คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน และพบการใช้งานที่สำคัญในการผลิตเครื่องตัด อุตสาหกรรมเครื่องบินและงานวิศวกรรมทั่วไป การนำไปใช้งาน ได้แก่

- ทำ Hardened ได้
- วาล์ว
- ทำเครื่องมือต่าง ๆ
- เครื่องตัด เช่นมีด กรรไกร
- ใบพัดเรือ กังหัน
- อุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ที่ต้องการความแข็งแรงสูง

5. กลุ่มเพิ่มความแข็งโดยการตกผลึก (Precipitation Hardening) เกรดที่เป็นที่รู้จักในตระกูลนี้คือ 17-4H ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม 17% และนิกเกิล 4% สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้โดยกลไกเพิ่มความแข็งจากการตกผลึก (Precipitation Hardening Mechanism) โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงมาก มีค่าความเค้นพิสูจน์ (Proof Stress) อยู่ระหว่าง 1,000-1,500 เมกาปาสคาล(MPa) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน (Heat Treatment) การนำไปใช้งานได้แก่

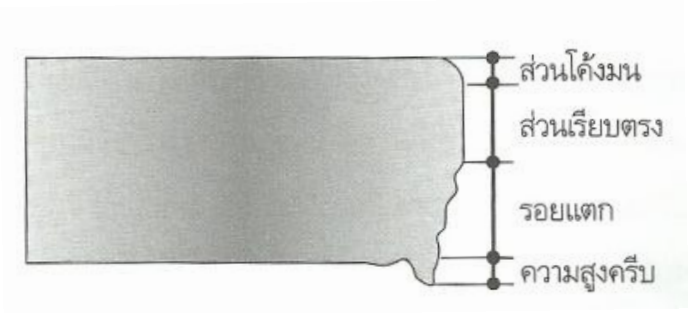
- เป็นชิ้นส่วนในดาวเทียมและยานอวกาศต่าง ๆ
- ปั๊มต่าง ๆ
- ด้าม เสา เพลาต่าง ๆ และเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่ต้องใช้ในสภาพความร้อนสูงกว่าปกติ

2.3.2 ประโยชน์ของการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิม

1. ใช้ในสิ่งแวดล้อมทีกัดกร่อน (Corrosive Environment)
2. งานอุณหภูมิที่เย็นจัดป้องกันการแตกเปราะ
3. ใช้งานอุณหภูมิสูง (high temperature) ป้องกันการเกิดคราบออกไซด์ Scale และยังคงความแข็งแรง
4. มีความแข็งแรงสูงเพื่อเทียบกับมวล
5. งานที่ต้องการสุขอนามัย
6. งานสถาปัตยกรรมไม่เป็นสนิม
7. ไม่ปนเปื้อน
8. ต้องการขัดถูแบบเปียก [10]

2.4 ขอบตัดของชิ้นงาน

ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากการตัดโดยใช้แม่พิมพ์จะมีลักษณะเฉพาะ ซึ่งขอบของการตัดจะเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขของการตัด และสามารถบ่งบอกได้ว่าเงื่อนไขการตัดที่กำหนดไว้เหมาะสมหรือไม่ อย่างไร ขอบตัดของชิ้นงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งสอดคล้องกับกลไกการตัดที่ได้อธิบายไว้



รูป 2.4 ส่วนต่าง ๆ ของขอบตัดของชิ้นงาน

1. ส่วนโค้งมน (Die Roll หรือ Rollover) เป็นการเปลี่ยนรูปของขอบตัด เนื่องจากเนื้อชิ้นงานถูกดึงในช่วงแรกของการตัด การเกิดส่วนโค้งมนมีข้อเสียคือ ทำให้ความหนาของาชิ้นงานบริเวณขอบตัดลดลงเมื่อเทียบกับความหนาของแผ่นชิ้นงานเริ่มต้น โดยเฉพาะกรณีการเจาะรูเพื่อร้อยอุปกรณ์ยึด การเกิดส่วนโค้งมนจะทำให้สูญเสียพื้นที่บริเวณรอบ ๆ รู และทำให้ความแข็งแรงของการยึดต่ำลง

2. ส่วนเรียบตรงหรือส่วนตัดเฉือน (Smooth Sheared Surface หรือ Burnished Surface) เป็นส่วนที่เกิดจากคมตัดของพันช์และดายที่เฉือนเนื้อชิ้นงานจนได้ผิวเรียบ เป็นส่วนที่ให้ขนาดของชิ้นงานเหมือนกับที่ออกแบบไว้ และเป็นส่วนที่ต้องการให้มีมากที่สุด โดยเฉพาะการตัดที่มีความเที่ยงตรงสูง เช่น งานตัดละเอียด (Fine Blanking) ที่ต้องการขอบตัดที่มีส่วนเรียบตรงเกือบทั้งหมดโดยไม่มีรอยแตก

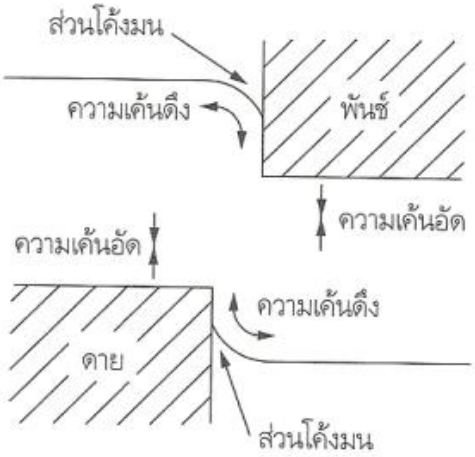
3. ส่วนที่เป็นรอยแตกหรือรอยฉีกขาด (Fracture Surface) เนื่องจากในกระบวนการตัดต้องทำให้วัสดุขาดออกจากกัน ซึ่งการขาดของวัสดุเกิดจากความเค้นดึงมีค่าสูงเกินขีดจำกัดที่วัสดุสามารถรับได้ ทำให้เกิดการแตกของเนื้อวัสดุก่อนที่จะถูกคมตัดของพันช์และดายเฉือน รอยแตกดังกล่าวจะมีความขรุขระ ไม่เรียบและไม่ได้ฉาก

4. ครีบ (Burr) หรือบางครั้งถูกเรียกว่า เสี้ยน เกิดขึ้นที่ขอบถัดจากรอยแตก ครีบเป็นเนื้อโลหะบางๆ ที่มีความคม ขนาดของครีบขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการตัด คือ ช่องว่างแม่พิมพ์หรือระยะเคลียแรนซ์ (Clearance) และสมบัติของวัสดุ ครีบบนขอบตัดจะมีความแข็งและคมมาก อาจจะทำให้เกิดอันตรายเมื่อสัมผัส และ อาจเป็นอุปสรรคที่ทำให้ชิ้นงานดังกล่าวไม่สามารถนำไปใช้ต่อได้ จึงจำเป็นต้นกำจัดครีบออกก่อน ซึ่งต้องใช้วิธีเฉพาะที่มีหลายรูปแบบ อาจเรียกโดยรวมว่า “ดีเบอริง (Debarring) “ ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ดังนั้นในบางกรณี ขนาดของครีบที่ยอมรับได้จะเป็นเกณฑ์ที่สำคัญในการกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด กลไกหรือสาเหตุของการเกิดครีบจะอธิบายในหัวข้อถัดไป และเมื่อรวมความสูงของทั้ง4 ข้อเข้าด้วยกัน จะต้องได้เท่ากับความหนาของวัสดุชิ้นงาน ส่วนครีบจะเป็นส่วนที่เกินออกมาจากความหนาเดิมของชิ้นงาน

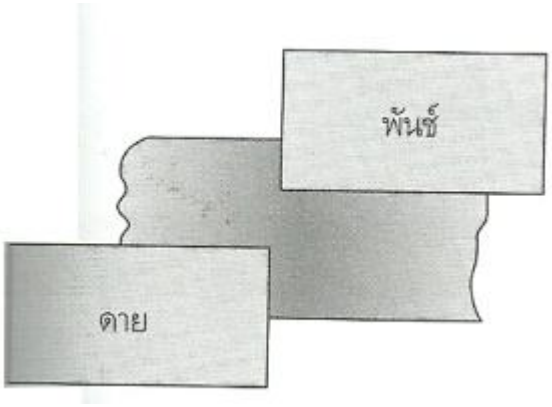
2.4.1 กลไกหรือสาเหตุการเกิดส่วนโค้งมน

กลไกหรือสาเหตุของการเกิดส่วนโค้งมนสามารถอธิบายได้ดังนี้ พิจารณารูปที่ 2.5 เมื่อพันช์เริ่มต้นกดชิ้นงานลงไปในดาย เนื้อชิ้นงานบริเวณใต้พันช์และเหนือดายจะมีความเค้นอัดที่มีค่าสูงมากระทำในขณะที่เนื้อชิ้นงานบริเวณด้านข้างของพันช์และดายมีความเค้นดึงเกิดขึ้น และถูกดึงให้ไหลตามการเคลื่อนที่ของพันช์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปในลักษณะคล้ายก้นจานซึ่งก็คือส่วนโค้งมนขึ้น นอกจากนั้นการเกิดส่วนโค้งมนยังสามารถอธิบายโดยใช้รูปที่ 2.6 นั่นคือ กรณีทีใช้ช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์เป็นศูนย์ (ไม่มีเคลียแรนซ์) รูปที่ 2.6 เนื้อวัสดุก็จะเติมเต็มได้พอดี ไม่เกิดสภาวะที่เนื้อวัสดุไม่พอเหมือนกับรูปที่ 2.7 ที่ใช้ช่องว่างแม่พิมพ์เป็นบวก จะเห็นได้ว่าบริเวณ A ที่ลูกศรชี้(ที่แรเงาสีทึบ)

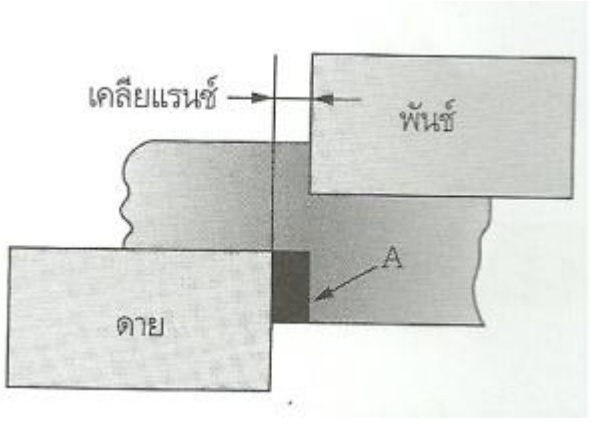
จะเกิดช่องโหว่ขึ้นเนื่องจากเนื้อวัสดุไม่พอ จึงมีส่วนโค้งมนเกิดขึ้นทั้งในส่วนของขอบตัดฝั่งรูและฝั่งชิ้นงานนั่นเอง



รูปที่ 2.5 ความเค้นในเนื้อชิ้นงานระหว่างกระบวนการตัด



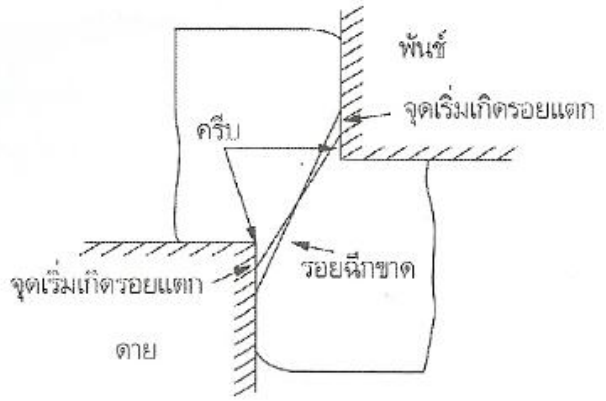
รูปที่ 2.6 กลไกการเกิดส่วนโค้งมนกรณีไม่มีเคลียแรนซ์



รูปที่ 2.7 กลไกการเกิดส่วนโค้งมนกรณีเคลียแรนซ์เป็นบวก

2.4.2 กลไกหรือสาเหตุการเกิดครีบ

จากหลักการและขั้นตอนของการตัดที่อธิบายไว้ข้างต้นการเริ่มเกิดรอยแตกในเนื้อวัสดุจะไม่ได้เกิดตรงคมตัดพอดี แต่จะเกิดขึ้นเหนือคมตัดเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.8 เนื่องจากจะเกิดความเค้นดึงสูงสุดขึ้นตรงจุดดังกล่าว ดังนั้น เมื่อรอยแตกในเนื้อวัสดุจากด้านพันช์และดายมาบรรจบกัน ก็จะทำให้วัสดุแยกออกจากกัน ส่วนเนื้อวัสดุบริเวณด้านข้างของคมตัดจะยังเหลืออยู่ที่ขอบตัด ส่วนนี้ก็คือครีบที่เกิดนั่นเองโดยทั่วไปเมื่อช่องว่างระหว่างพันช์และดายเพิ่มมากขึ้น หรือเมื่อคมตัดของพันช์และดายเกิดการสึกหรอ ตำแหน่งที่เริ่มเกิดรอยแตกจะห่างจากคมตัดมากขึ้น ทำให้เนื้อวัสดุที่เหลือบนขอบตัดหรือครีบมีขนาดใหญ่มากขึ้น

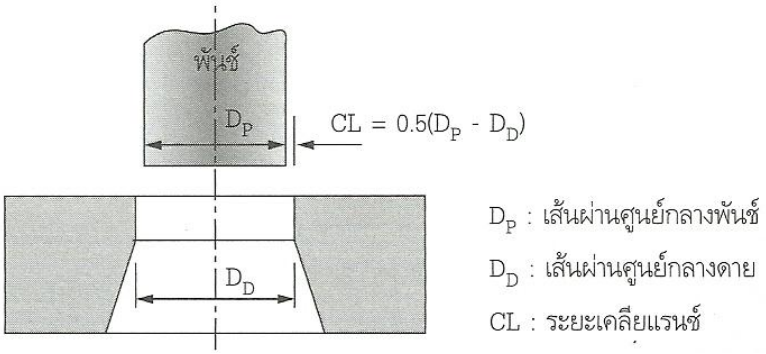


รูปที่ 2.8 กลไกการเกิดครีบ

2.5 การออกแบบแม่พิมพ์ตัด

การออกแบบแม่พิมพ์ตัดมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงหลายอย่าง แต่หลักการพื้นฐานของการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ จะไม่แตกต่างกันมากนัก โดยต้องพิจารณาปัจจัยหลัก ๆ ดังนี้

1. ช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์หรือเคลียแรนซ์ (Clearance) หมายถึง ระยะช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างคมตัดของพันช์และดาย การตัดโดยปกติจะต้องกำหนดให้มีช่องว่าง เพื่อหลีกเลี่ยงการขบกันของขอบคมตัดที่อาจส่งผลเสียหายต่อทั้งพันช์ ดายและแม่พิมพ์ หรือแม้กระทั้งเครื่องปั๊มได้ ค่าเคลียแรนช์ในการตัดต้องน้อยกว่าความหนาชิ้นงาน เพราะต้องการให้ชิ้นงานขาดออกจากกัน ไม่ใช่ลากชิ้นงานลงไปในดายเหมือนกรณีการลากขึ้นรูปลึก ในกรณีการตัดแผ่นเปล่าหรือการเจาะรู ซึ่งเป็นการตัดแบบรูปทรงปิด เช่น การตัดแผ่นชิ้นงานกลม เป็นต้นจะพิจารณาระยะเคลียแรนช์ด้านเดียวเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพันช์และดาย กรณีชิ้นงานที่มีรูปร่างเหลี่ยมหรือรูปร่างซับซ้อน ระยะเคลียแรนช์ก็สามารถแสดงได้ในทำนองเดียวกัน โดยปกติระยะเคลียแรนช์จะแสดงเป็นร้อยละความหนาของวัสดุ การออกแบบแม่พิมพ์ตัดที่ดีจำเป็นต้องกำหนดระยะเคลียแรนช์ให้เหมาะสมเพราะเป็นปัจจัยที่ถือว่าสำคัญที่สุดในการตัด เพราะส่งผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานที่ได้ แรงที่ต้องใช้ในการตัด ความเที่ยงตรงของขนาดชิ้นงานที่ได้ รวมทั้งยังมีผลต่ออัตราการสึกหรอของพันช์และดายอีกด้วย

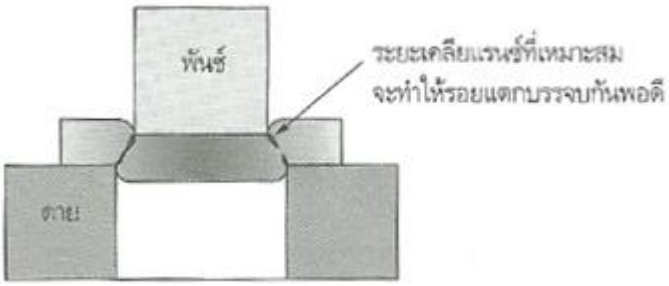


รูปที่ 2.9 ระยะเคลียแรนซ์ในการตัดแผ่นชิ้นงานกลม

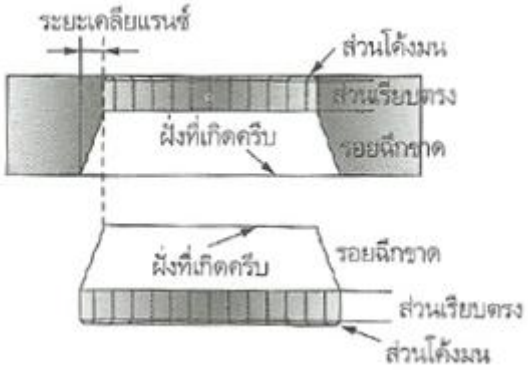
2. อิทธิพลของระยะเคลียแรนช์ที่มีผลต่อขอบตัดของชิ้นงาน ระยะเคลียแรนช์มีผลต่อคุณภาพขอบตัดของชิ้นงานเป็นอย่างมาก เพราะส่งผลโดยตรงความเค้นในเนื้อชิ้นงานและการแตกของเนื้อวัสดุ ซึ่งจะทำให้ขอบตัดที่ได้แตกต่างกันออกไป อิทธิพลของระยะเคลียแรนช์มีดังนี้

2.1 กรณีที่ใช้ระยะเคลียแรนช์เหมาะสม (Optimum Clearance) ในการตัดชิ้นงานจะเกิดการแตกของเนื้อวัสดุทั้งจากคมตัดของพันช์และคมตัดดาย ถ้ากำหนดระยะเคลียแรนช์ได้เหมาะสมกับวัสดุ รอยแตกที่เกิดจากทางด้านพันช์และดายจะอยู่ในแนวที่บรรจบกันพอดี ดังแสดงในรูป 2.10 ขอบ

ตัดที่ได้จากการตัดโดยใช้ระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสมดังรูปที่ 2.11 พิจารณาขอบตัดที่ได้ในขั้นตอนแรกของการกดตัดจะมีการเปลี่ยนรูปถาวรซึ่งมีลักษณะเป็นส่วนโค้งมนตรงช่วงแรกสุดของขอบตัด หลังจากนั้นเมื่อพันช์ทำการกดอย่างต่อเนื่องจะทำให้ได้ขอบตัดซึ่งเป็นแนวเรียบตรง มีลักษณะเป็นเงามัน ส่วนสุดท้ายของขอบตัดจะมีลักษณะเป็นรอยฉีกขาดหรือรอยแตกที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเค้นดึงภายในเนื้อวัสดุมีค่าสูงเกินค่าขีดจำกัดความแข็งแรงของวัสดุนั้น ๆ



รูปที่ 2.10 การบรรจบกันของรอยแตกในชิ้นงาน

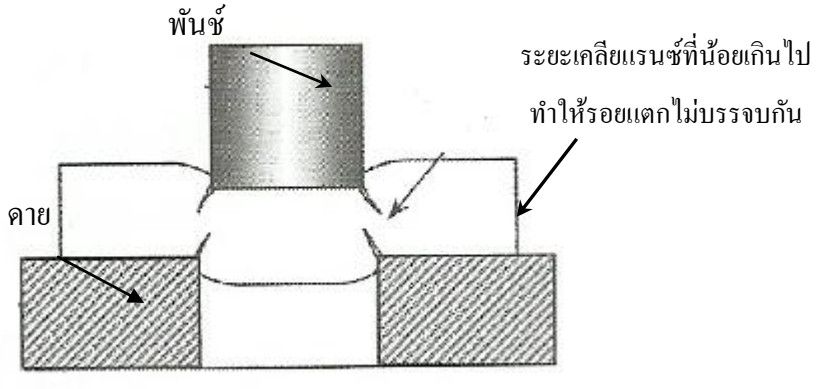


รูปที่ 2.11 ขอบตัดที่ได้เมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสม

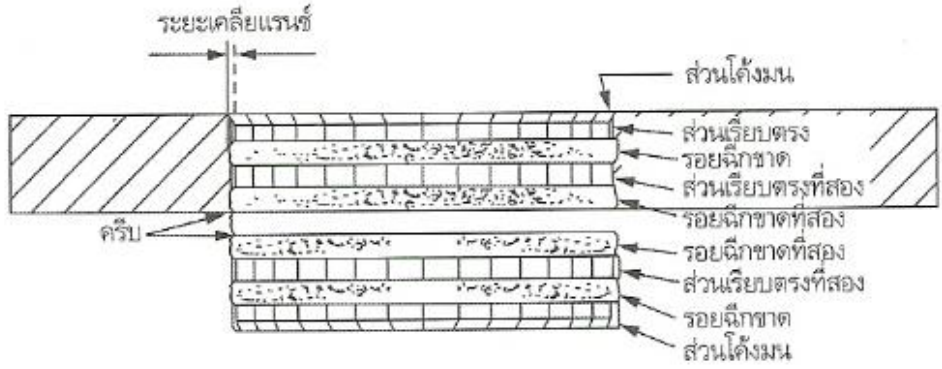
ระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสมที่ทำให้รอยแตกในเนื้อวัสดุมาบรรจบกันพอดีจะแตกต่างกันตามชนิดของเนื้อวัสดุ เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีค่าความแข็งแรงและความสามารถในการยืดตัวแตกต่างกันทำให้ตำแหน่งที่เริ่มเกิดรอยแตกแตกต่างกันออกไป

2.2 กรณีที่ระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไป (Insufficient Clearance) เมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์ระหว่างพันช์และดายน้อยเกินไป จะส่งผลต่อระยะหรือตำแหน่งในการเริ่มเกิดรอยแตก รวมทั้งความเค้นในเนื้อชิ้นงานที่ทำการตัด โดยระยะเคลียแรนซ์ที่เล็กจะทำให้ส่วนโค้งมนมีขนาดเล็กลง และส่วนเรียบตรงมีความยาวมากขึ้น เนื่องจากรอยแตกจะเกิดขึ้นช้าลง ในกรณีที่ระยะเคลียแรนซ์แคบมาก ๆ รอยแตกที่เกิดขึ้นจากด้านพันช์และดายจะขยายยาวออกไป แต่ไม่บรรจบกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่ง

จะทำให้รอยฉีกขาดของเนื้อวัสดุไม่ต่อเนื่องกัน และเกิดเป็นรอยฉีกขาดบางส่วนสลับกับส่วนเรียบตรง ดังนั้น ขอบตัดที่ได้จากการตัดโดยใช้ระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไปอาจจะมีแนวเรียบตรงเกิดขึ้นมากกว่า 2 แห่ง ซึ่งเรียกกันว่าส่วนเรียบตรงที่สอง หรือรอยตัดเฉือนที่สอง (Secondary Shear) ดังแสดงในรูป 2.13 ในกรณีที่ระยะเคลียแรนซ์แคบ จะมีเนื้อวัสดุที่พันช์ต้องกดตัดให้ขาดออกจากกันมากกว่าในกรณีที่ระยะเคลียแรนซ์ กว้าง (ส่วนเรียบตรงทียาวกว่านั่นเอง) ดังนั้นจึงต้องใช้แรงในการตัดมากกว่า ส่งผลให้การสึกหรอของพันช์และดายเกิดขึ้นเร็ว นอกจากนั้น แรงที่จำเป็นต้องใช้ในการดันชิ้นงานหรือเศษโลหะให้หลุดออกจากรูดาย (Ejection Force) ก็จะเพิ่มมากขึ้น ทำนองเดียวกัน แรงที่จำเป็นต้องใช้ในการปลดแผ่นชิ้นงานให้ออกจากพันช์ (Stripping Force) ก็จะเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ระยะเคลียแรนซ์ในการตัดมีค่าน้อยจะมีข้อดีคือ ทำให้ครีบที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กลง

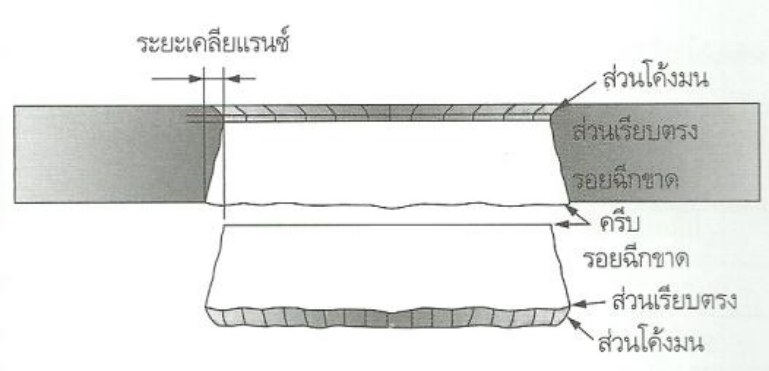


รูปที่ 2.12 ลักษณะการขยายตัวของรอยแตกในชิ้นงานกรณีที่ระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไป



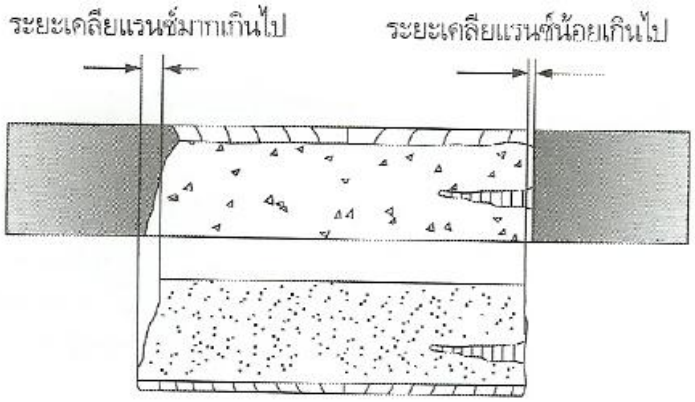
รูปที่ 2.13 ขอบตัดที่ได้เมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์น้อยเกินไป

2.3 กรณีระยะเคลียแรนซ์มากเกินไป (Excessive Clearance) กรณีที่ใช้ระยะเคลียแรนซ์มากเกินไป การขาดออกจากกันของวัสดุจะมีลักษณะคล้าย ๆ กับการถูกดึงให้ขาดมากกว่าถูกตัด โดยขอบตัดกรณีดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.14 ในกรณีนี้จะได้ส่วนเรียบตรงน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย ในขณะที่ส่วนโค้งมนหรือรอยฉีกขาดจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และครีบที่ได้ก็จะมีความสูงและมีความหนามากขึ้น ทำให้กำจัดได้ยาก



รูปที่ 2.14 ขอบตัดที่ได้เมื่อใช้ระยะเคลียแรนซ์มากเกินไป

2.4 กรณีที่ตำแหน่งของพันช์และดายเยื้องศูนย์กัน (Misalignment) ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จะแตกต่างกันไปเมื่อมีระยะเคลียแรนซ์เปลี่ยนไป ดังนั้น การสังเกตลักษณะของขอบตัดที่ได้จากการปั๊มจะสามารถบ่งบอกสภาวะของการบ่งบอกระยะเคลียแรนซ์ได้และจะมีประโยชน์อย่างมากในการลองพิมพ์เพื่อปรับแต่งให้ได้ตามความเที่ยงตรง ตัวอย่างของตัดที่ได้เมื่อตำแหน่งของพันช์และดายไม่เที่ยงตรงหรือเยื้องศูนย์กัน(Misalignment) แสดงในรูปที่ 2.15 การพิจารณาขอบตัดดังกล่าว จะทำให้ทราบได้ว่าพันช์หรือดายเอียงไปทางไหน ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการปรับแต่งแม่พิมพ์ให้ได้ความเที่ยงตรง เพราะถ้าฝืนทำงานในสภาพที่มีการเยื้องศูนย์ จะทำให้อัตราการสึกหรอในแต่ละด้านของพันช์และดายแตกต่างกันส่งผลให้แรงที่กระทำต่อพันช์ในแต่ละด้านแตกต่างกัน และก่อให้เกิดความเสียหายกับพันช์และดาย ส่วนประกอบอื่นของแม่พิมพ์ หรือแม้กระทั่งเครื่องปั๊มได้



รูปที่ 2.15 ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้ในกรณีที่ตำแหน่งของพันช์และดายเยื้องศูนย์กัน

3. การกำหนดระยะเคลียแรนซ์ การกำหนดระยะเคลียแรนซ์ในการตัดเป็นสิ่งสำคัญ โดยทั่วไป จะกำหนดระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสมเพื่อให้รอยแตกที่เกิดขึ้นมาบรรจบกันพอดี ค่าแนะนำของระยะเคลียแรนซ์สำหรับวัสดุต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.1 และแสดงค่าวามต้านทานแรงเฉือน (Shear Resistance) ของวัสดุไว้ด้วยเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง อย่างไรก็ตาม ในกรณีของกระบวนการตัดแบบพิเศษ เช่น การตัดแบบไม่มีครีบ (Burr-Free Shearing) ซึ่งต้องทำการตัดมากกว่า 1 ขั้นตอน กรณีนี้การกำหนดระยะเคลียแรนซ์จะแตกต่างจากที่กำหนดไว้ในตาราง โดยในขั้นตอนแรกต้องใช้พันช์ที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือเท่ากับรูดาย (ระยะเคลียแรนซ์เป็นลบหรือเท่ากับศูนย์) ก่อนที่จะดันกลับในขั้นตอนถัดไป เพื่อให้วัสดุขาดออกจากกันและไม่มีครีบที่ขอบตัด หรือกรณีการตัดละเอียด ซึ่งต้องการชิ้นงานที่มีรอยฉีกขาดที่มีแต่ส่วนเรียบตรง กรณีนี้ต้องกำหนดระยะเคลียแรนซ์ให้น้อยกว่ากรณีทั่วไปมาก ซึ่งไม่ควรเกินร้อยละ 0.5 ของความหนาชิ้นงานหรือประมาณ 10-20 ไมโครเมตร ทั้งสองกรณีดังกล่าวจำเป็นต้องกำหนดเคลียแรนซ์ให้แคบ เพราะต้องการใส่ความเค้นอัดในเนื้อวัสดุและลดค่าความเค้นดึงที่เกิดขึ้น ซึ่งจะช่วยชะลอการแตกของเนื้อวัสดุ หรือไม่ทำให้เกิดการแตกนั่นเอง

ตารางที่ 2.1 ระยะเคลียแรนซ์ที่เหมาะสม และความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุชนิดต่าง ๆ

วัสดุ	ระยะเคลียแรนซ์ (ข้างเดียว) (%t)	ความต้านทานแรงเฉือน (kgf/mm^2)
เหล็ก(Iron)	6-9	25-32
เหล็กกล้าละมุน(Mild Steel)	6-9	32-40
เหล็กกล้าแข็ง(Hard Steel)	8-12	55-90
เหล็กกล้าผสมซิลิกอน(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
อะลูมิเนียม(แข็ง)	6-10	13-18
อะลูมิเนียม(อ่อน)	5-8	7-11
อะลูมิเนียมผสม(แข็ง)	6-10	38
อะลูมิเนียมผสม(อ่อน)	6-10	22
ตะกั่ว (Lead)	6-9	2-3
เหล็กกล้าผสมนิกเกิล (Permalloy)	5-8	52

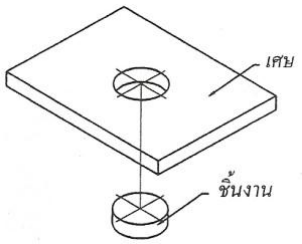
หมายเหตุ

1. ค่าในตารางใช้สำหรับกรณีที่ความหนาวัสดุ $t \leq 3$
2. กรณีที่ต้องการขอบตัดที่ได้ฉากกับระนาบผิวชิ้นงาน ให้ใช้ระยะเคลียแรนซ์ 1/3 ของค่าที่แนะนำในตาราง
3. กรณีพบเศษชิ้นงานที่ตัดออกหลุดขึ้นมาบนปากดาย ให้ใช้ระยะเคลียแรนซ์ในการตัดน้อยกว่าค่าที่แนะนำในตาราง [1]

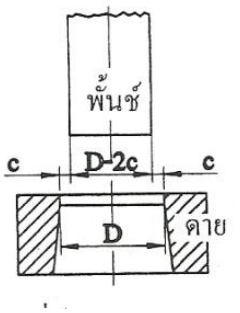
2.6 การคำนวณหาค่าช่องว่างระหว่าง Punch และ Die

2.6.1 การตัดแผ่นเปล่า Blank

การตัดแผ่นเปล่าจะกำหนดให้ขนาดของรูดายเท่ากับขนาดของชิ้นงานและลดขนาดของ Punch ลงตามช่องว่างระหว่าง Punch และ Die ตามที่กำหนด



รูปที่ 2.16 รูปการตัดแผ่นเปล่า [2]



รูปที่ 2.17 การกำหนด Die ในกรณีที่ตัดแผ่นเปล่า [2]

ในการตัดแผ่นเปล่าสามารถใช้สูตร

D – 2C

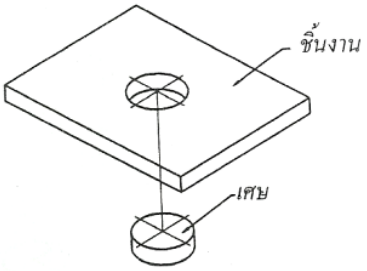
กำหนดให้

D = ขนาดของรูดาย

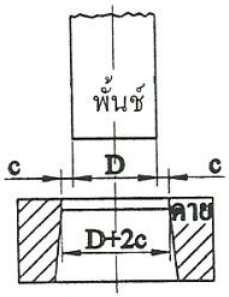
C = ช่องว่างระหว่าง Punch และ Die (เปิดจากตาราง)

2.6.2 การตัดเจาะ Piercing

ในการตัดเจาะ จะกำหนดขนาดความโตของ Punch เท่ากับขนาดของชิ้นงานและเพิ่มขนาดของดายออกตามช่องว่างระหว่าง Punch และ Die



รูปที่ 2.18 การตัดเจาะ [2]



รูปที่ 2.19 การกำหนดขนาดของพันช์ในกรณีที่ตัดแผ่นเปล่า [2]

ในการตัดเจาะสามารถใช้สูตร

$$D + 2C$$

กำหนดให้

D = ขนาดความโตของ Punch

C = ช่องว่างระหว่าง Punch และ Die (เปิดจากตาราง)

ตัวอย่าง 2.1 ให้หาขนาดของ Punch และ Die จาก สูตร D + 2C ในกรณีที่ตัดเจาะ อลูมิเนียมอ่อน

เมื่อ

D = 250 มิลลิเมตร

C = ช่องว่างระหว่าง Punch และ Die

= 6/100 x t

= 6/100 x 1.2

= 0.72

C = 0.72 มิลลิเมตร

จากสูตร D + 2C

ดังนั้น 250 + (2 x 0.72) = 250.144 มิลลิเมตร

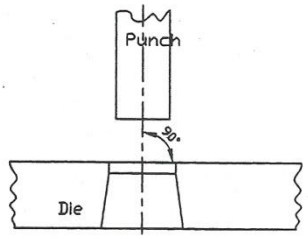
เพราะฉะนั้น

ขนาดของ Punch = 250 มิลลิเมตร

ขนาดของดาย = 250 144 มิลลิเมตร [ไทยเยอรมัน]

2.7 การคำนวณแรงในการตัดโลหะ

Punch และ Die ที่ใช้ตัดโลหะส่วนใหญ่มักจะมีปลายคมตัดแบนราบคือทำมุม 90 องศา กับเส้นผ่านศูนย์กลางของดาย นอกจากนั้น Punch และ Die ที่มีปลายแบนราบยังสามารถง่ายต่อการนำไปลับคมตัดใหม่โดยการเจียระไนผิวหน้าตัดคมตัด ในบางครั้งเมื่อต้องการลับคมตัดโลหะ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการตัดอย่างต่อเนื่องตามเส้นรอบรูป การที่คมตัดของ Punch และดายกระทำการตัดได้ถูกเรียกว่า การตัดเฉือน Shearing กระบวนการตัดโลหะบนดายทุกกระบวนการจะมีการยึดติดระหว่างโลหะกับผิวของ Punch ดังนั้นจึงต้องมีการเอาโลหะแผ่นออกจาก Punch และในส่วนนี้จะกล่าวถึงภายหลังถึงวิธีการคำนวณถึงแรงในการใช้ตัดโลหะ การคำนวณแรงที่ใช้ตัดโลหะก็เพื่อใช้ประโยชน์ในการเลือกขนาดของแรงที่ใช้ในการตัดโลหะที่เหมาะสม Tonnage กับเครื่องเพรส Press Machine และการคำนวณหาแรงที่ใช้ในการปลดชิ้นงาน ก็เพื่อต้องการทราบขนาด การอัดตัวของสปริง หรือยาง แรงดันของลม ซึ่งสิ่ง ๆ ต่าง เหล่านี้จะเป็นตัวพิจารณาในการกำหนดเลือกใช้ในการกำหนดแผ่นปลดชิ้นงาน [2]



รูปที่ 2.20 แสดงแนวตัดทำมุม 90 องศา [2]

โดยวิธีการทั่ว ๆ ไป การคำนวณหาแรงตัดก็คือ

แรง = ความดัน x พื้นที่

สูตรนี้มักใช้กับของเหลวหรือแก๊ส สำหรับความดันที่ใช้ในวัสดุของแข็งหรือโลหะจะเช็ความดันซึ่งมีหน่วย นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร การหาสูตรสำหรับแรงที่ใช้ตัดโดยผิวหน้าคมตัดแบบราบดังนี้

สูตรพื้นฐาน

แรง = ความดัน x พื้นที่

สำหรับการตัดโลหะ

แรง = ความดัน x พื้นที่

= ความต้านแรงเฉือน x (เส้นรอบรูปการตัด x ความหนาของโลหะ)

จะได้

F = S x R x t หน่วยกิโลกรัม

เมื่อ

S = ความต้านแรงเฉือน (กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร)

R = เส้นรอบรูปการตัด (มิลลิเมตร)

t = ความหนาของชิ้นงานที่ตัด (มิลลิเมตร)

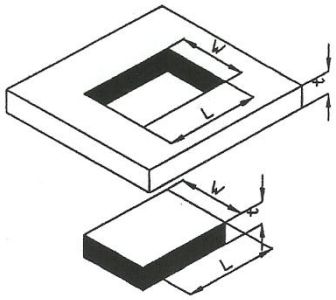
ในกรณีที่รูตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$R = (W + L) \times 2$$

กำหนดให้

W = เส้นความกว้างของการตัด (มิลลิเมตร)

L = เส้นความยาวของการตัด (มิลลิเมตร)



รูปที่ 2.21 รูตัดชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า [2]

จะได้สูตรสำหรับแรงตัดรูปสี่เหลี่ยม

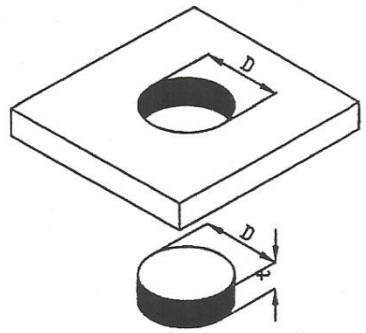
$$F = S \times (W + L) \times 2 \times t$$

ในกรณีที่รูตัดเป็นรูกลม

$$R = (\pi \times D)$$

กำหนดให้

D = เส้นผ่าศูนย์กลางที่ถูกตัด (มิลลิเมตร)



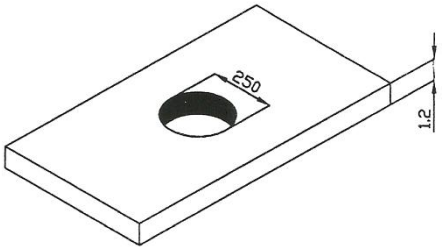
รูปที่ 2.22 รูตัดชิ้นงานเป็นรูปวงกลม [2]

จะได้สูตรสำหรับแรงตัดรูกลม

$$F = S \times (\pi \times D) \times t$$

ความยาวของขอบคมตัดดายจะใหญ่กว่า Punch ทั้งนี้เนื่องมาจากมีช่องว่างระหว่าง Punch และ Die เกิดขึ้น สำหรับชิ้นงานไม่หนาขนาดระหว่างช่องว่างระหว่าง Punch และ Die สามารถจะนำไปเป็นเส้นรอบรูปในการตัดแทนกันได้ เนื่องจากความยาวที่ได้จากการคำนวณใกล้เคียงกัน ปกติความต้านแรงเฉือน Shear Strength จะมีค่า 50-80 เปอร์เซ็นต์ของความแข็งแรงทางดึงของวัสดุ Ultimate Strength อลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสมอยู่ระหว่าง 50-70 เปอร์เซ็นต์ เหล็กกล้าผสมคาร์บอนต่ำอยู่ระหว่าง 70-80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อความถูกต้องในกระบวนการตัดควรใช้ค่าความแข็งแรงสูงสุดมาคำนวณ [2]

ตัวอย่าง 2.2 ในการคำนวณหาแรงในการตัดเจาะรูกลมขนาดส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มม. ชิ้นงานเป็นอลูมิเนียมอ่อน (ความต้านแรงเฉือน 7-11 kgf / mm^2) ความหนาแผ่นชิ้นงาน 1.2 มม.



รูปที่ 2.23 ชิ้นงาน [2]

ในตัวอย่างนี้จะใช้ความต้านแรงเฉือนสูงสุด 11 kgf/mm^2

1 kgf/mm^2 = 9.81 N

11 kgf/mm^2 = 9.81 N x 11 kgf/mm^2 = 108 N/mm^2

สำหรับรูตัดกลม

$F = S \times (\pi \times D) \times t$

แทนค่า $F = 108\ N/mm^2 \times 250\ mm. \times 1.2\ mm.$

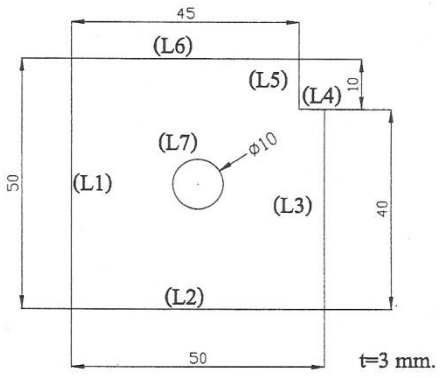
$= 101{,}736\ N$

แต่ว่าเครื่องตัดโลหะโดยทั่วไปมีหน่วยเป็นตัน TON ดังนั้นแปลงได้

$= 101{,}736\ N / 9810$

$= 10.4$ TON

ตัวอย่างที่ 2.3 จงคำนวณหาแรงตัดดังรูป กำหนดให้ชิ้นงานเป็นสแตนเลสอ่อนหนา 3 มม. มีค่าความต้านแรงเฉือน 52 kgf/mm^2 (52 x 9.81 N/mm^2)



รูปที่ 2.24 ชิ้นงาน [2]

สูตร $F = SR^t$

$R = L1+ L2+ L3+L4+L5+L6+L7$

$= 50 + 50 + 40 + 5+ 10 + 45 + (\pi x10)$

$= 180 + 31.4$

$= 211.4$ มม.

แทนค่า

$= (52x9.81 N /mm^2) x 211.4$ มม. x 3 มม.

$= 323,158$ N

$= 32$ TON

2.8 ตำแหน่งที่เกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด [2]

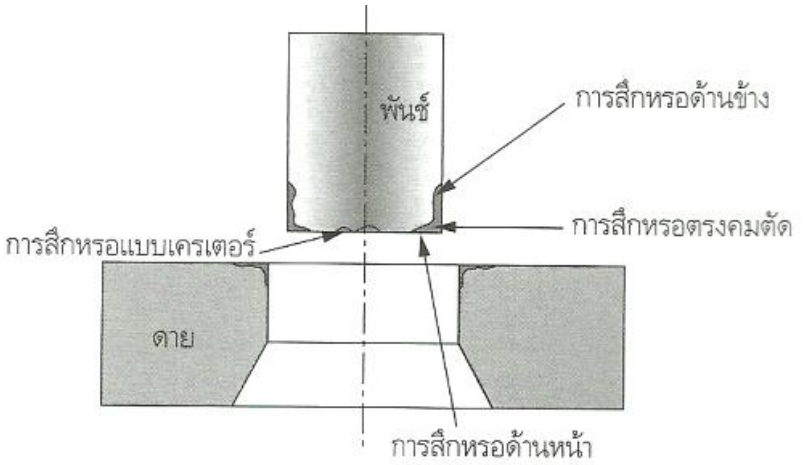
ตำแหน่งที่เกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด การสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดส่วนใหญ่ จะเกิดขึ้นบริเวณใกล้ ๆ กับคมตัดและผิวหน้าพันช์สามารถแบ่งการสึกหรอได้ 4 กลุ่ม คือ

1. การสึกหรอด้านข้าง (Flank Wear หรือ Side Wear) จะเกิดที่ผิวด้านข้างตามแนวยาวหรือแนวแกนของพันช์และดายการสึกหรอด้านข้างมีความสำคัญ เนื่องจากจะมีผลต่อขนาดชิ้นงานสำเร็จ เพราะจะทำให้ขนาดของพันช์และดายบริเวณคมตัดเปลี่ยนไป นั่นคือ พันช์จะมีขนาดเล็กลง ในขณะที่ดายมีขนาดใหญ่ขึ้น และส่งผลทำให้ค่าเคลียแรนซ์ของแม่พิมพ์เปลี่ยนไป ซึ่งจะกระทบกับขอบตัดที่ได้ตามที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้

2. การสึกหรอตรงคมตัด (Edge Wear) จะเกิดขึ้นตรงมุมของคมตัดและเกิดก่อนการสึกหรอด้านข้าง การสึกหรอตรงคมตัดจะมีผลต่อขนาดของครีบบนชิ้นงาน เพราะถ้าคมตัดเกิดการสึกหรอการตัดจะไม่สมบูรณ์ และทำให้ขนาดของครีบสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อการสึกหรอเพิ่มมากขึ้นหรือเมื่อทำการตัดชิ้นงานไปปริมาณมาก ๆ นั่นเอง

3. การสึกหรอด้านหน้า (Face Wear) เกิดจากการที่ผิวด้านหน้าของพันช์และดายบริเวณใกล้ ๆ คมตัดเกิดการกระแทกซ้ำๆ กับชิ้นงานซึ่งจะทำให้เกิดความล้าของผิวดังกล่าวขึ้น โดยจะมีผลชัดเจนเมื่อมีการตัดชิ้นงานจำนวนมากๆ

4. การสึกหรอแบบเครเตอร์ (Crater Wear) เกิดจากการกระแทกซ้ำ ๆ ระหว่างผิวหน้าของพันช์และผิวชิ้นงาน คล้ายกับการสึกหรอด้านหน้า แต่จะเกิดขึ้นห่างจากขอบคมตัดและบริเวณใกล้ศูนย์กลางพันช์ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Deformation) ของชิ้นงานขณะทำการตัดเฉือน และจะทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างผิวหน้าของพันช์กับผิวชิ้นงาน



รูปที่ 2.25 การสึกหรอที่เกิดขึ้นบนพันช์และดาย

ในกระบวนการตัดโดยปกติจะใช้ขนาดของครีบบนขอบตัดของชิ้นงานเป็นตัวกำหนดอายุของแม่พิมพ์ เมื่อขนาดความสูงของครีบที่เกิดขึ้นเกินค่าที่ยอมรับได้จะต้องนำพันช์และดายมาเจียระไนใหม่ ปกติคมตัดของพันช์จะเกิดการสึกมากกว่าคงตัดของดาย เนื่องจากคมตัดของพันช์จะเสียดสีกับวัสดุชิ้นงานทั้งในตอนกดตัด และตอนที่พันช์เคลื่อนที่กลับขึ้นใหม่

2.9 การกำหนดขนาดพันช์และดาย

ในการตัดแผ่น Blank ทำเคลียแรนซ์ โดยการลดขนาดของพันช์ โดยให้ขนาดของดายเท่ากับขนาดของชิ้นงานในการตัดเจาะทำเคลียแรนซ์ โดยการเพิ่มขนาดของช่องดาย โดยการให้ขนาดของพันช์เท่ากับขนาดของรูเจาะเมื่อต้องการตัดเจาะให้ได้ผิวของรูเจาะที่เรียบมาก ควรให้เคลียแรนซ์แคบ เมื่อต้องการให้ได้ผิวที่ดีที่สุดควรมี blank holder มากดวัสดุไว้ในขณะที่ตัดและใช้เคลียแรนซ์แคบ สำหรับการตัดและการตัดเจาะชิ้นงานที่บางกว่า 0.3 mm. ควรใช้แม่พิมพ์ตัดและควรใช้แม่พิมพ์ตัดที่ไม่มีเคลียแรนซ์ เผื่องานตัดระหว่างพันช์กับดายได้โดยการแทงเจาะ broaching ดายด้วยพันช์ที่ผ่านการชุบแข็งแล้ว หรือในทางกลับกันก็สามารถทำพันช์ได้โดยดึงพันช์ผ่านช่องเปิดของดายที่ผ่านการชุบแข็งแล้ว เทคนิคนี้สามารถนำมาใช้ในการทำแม่พิมพ์สำหรับตัดเจาะรูขนาดเล็กได้ (ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะจะเท่ากับความหนาของวัสดุหรือเล็กกว่าความหนาวัสดุ) [คู่มือการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์]

ตารางที่ 2.2 ตารางช่องว่างระหว่างพันช์และดายสำหรับวัสดุชนิดต่าง ๆ ต่อข้าง [ไทยเยอรมัน]

วัสดุ	C ช่องว่างระหว่างพันช์และดาย	วัสดุ	C ช่องว่างระหว่างพันช์และดาย
เหล็กบริสุทธิ์	6 – 9	เหล็กกล้าละมุน	6 - 9
เหล็กกล้าซิลิกอน	7 – 11	เหล็กกล้าความต้านแรงสูง	8 - 12
เหล็กล้าไร้สนิม	7 – 11		
ทองแดง (แข็ง)	6 – 10	ทองแดง (อ่อน)	6 – 10
ทองเหลือง(แข็ง)	6 – 10	ทองเหลือง (อ่อน)	6 – 10
ฟอสฟอรัส	6 – 10	เงินนิเกิล	
บรอนซ์		อลูมิเนียม (อ่อน)	6 – 10
อลูมิเนียม (แข็ง)	6 – 10	อลูมิเนียมเจือ (อ่อน)	5 - 6
อลูมิเนียมเจือแข็ง	6 – 10	เมกกาไลต์	1 - 3
ตะกั่ว	6 – 9		

ช่องว่างคมตัดเป็นระยะห่างระหว่างคมของคมตัดพันช์ที่จงลงในดายกับแผ่นดายขนาดของช่องว่างคมตัดให้วัดตั้งฉากกับระนาบตัด ดังนั้นขนาดช่องว่างคือ

$$c = \frac{d - d_p}{2}$$

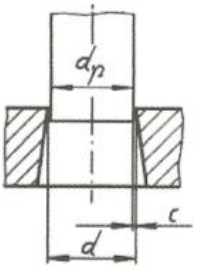
โดยที่ d = ขนาดช่องผ่านคมตัดของดาย

D p = ขนาดพันช์

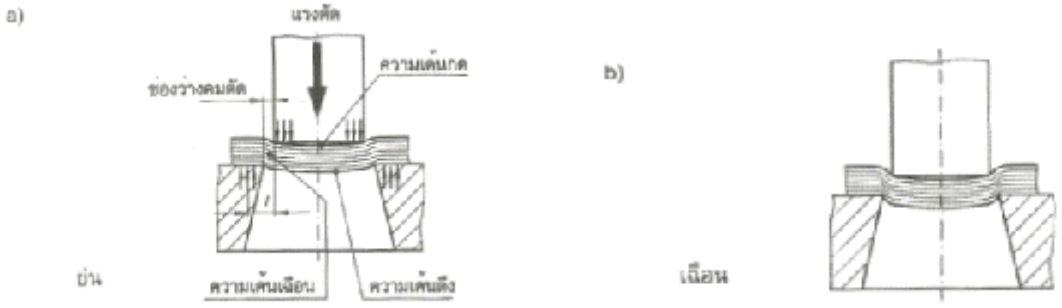
2.9.1 ขนาดช่องว่างของพันช์และดาย

ขนาดช่องว่างของดายได้จากค่าตามประสบการณ์และการทดลอง ดังนั้นจึงมักกำหนดขนาดของช่องว่างจะอยู่ประมาณ 2 - 6% ของความหนาวัสดุ (ในกรณีเส้นคมตัดเป็นรูปปิด) ความหนาแผ่นงานมาก ๆ ต้องการช่องว่างพันช์และดายโต (เช่น6%ของความหนา t) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วัสดุที่มีความต้านแรงเฉือนสุงกว่า โดยทั่วไปจะต้องใช้ช่องว่างพันช์และดายโตกว่าด้วยในการกำหนดขนาดช่องว่างพันช์และดายสามรถใช้ค่าตามตารางที่ 2 ซึ่งได้พิจารณาถึงเงื่อนไขเหล่านี้แล้ว

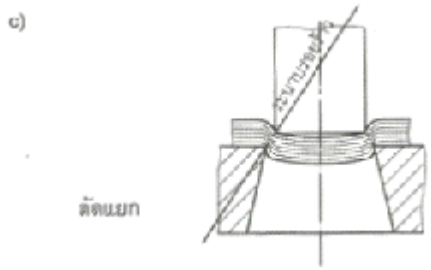
ตารางที่ 2.3 ขนาดช่องว่างพันช์และดาย (c) แปรผันตามความหนาวัสดุ (t) และความต้านแรงเฉือน (Tu)



Tu (N/mm^2) \ t (mm.)	0.1-0.3	0.4-0.6	0.7-0.8	0.9-1.0	1.5-2.0	2.5-3.0	3.5-4.0	4.5-5.0
ถึง 250	0.002-0.005	0.01	0.015	0.02	0.03	0.04	0.05-0.06	0.07-0.08
250-400	0.003-0.008	0.015	0.02	0.03	0.04-0.05	0.06-0.07	0.08-0.09	0.11-0.13
400-600	0.004-0.011	0.02	0.03	0.04	0.05-0.07	0.09-0.10	0.11-0.13	0.15-0.17
เกิน 600	0.005-0.015	0.025	0.04	0.05	0.07-0.09	0.11-0.13	0.15-0.17	0.19-0.21



รูปที่ 2.26 กระบวนการตัดเฉือน



รูปที่ 2.26 (ต่อ) กระบวนการตัดเฉือน

2.9.2 ขนาดขององค์ประกอบขนานพันช์และดาย

ขนาดพันช์และดายจะแปรผันตามชิ้นงานตัด (ดูกระบวนการตัดรูปที่ 2.26) การนี้ต้องพิจารณาดังนี้

1. สำหรับการตัดขึ้นรูป (ขนาดภายนอก)ที่ต้องรักษาขนาดชิ้นงาน คือขนาดของช่องผ่านของคมตัดดาย โดยคมตัดของดายจะเป็นตัวรักษาขนาดชิ้นงานที่ต้องการ(ดายคงที่)

2. สำหรับการตัดเจาะ (ขนาดภายใน)กำหนดจากคมตัดพันช์ ซึ่งจะเป็นตัวรักษาขนาดของชิ้นงานที่ต้องการ(พันช์คงที่)

สำหรับขนาดของเครื่องมือตัดหมายความถึงกรรมวิธีการผลิต ตัวอย่างเช่น

การตัดขึ้นรูป : ช่องผ่านของคมตัดดายรูปกรวยจะโตขึ้นจากการเจียระไนลับคมดังนั้นชิ้นงานจะคงอยู่ในพิกัดความคลาดเคลื่อนได้นานขนาดอ้างอิงของขนาดต่ำสุด (Gmin) ของชิ้นงาน

การตัดเจาะ : การสึกหรอของคมตัดพันช์ที่ผิวฟรี ทำให้ขนาดคมตัดเจาะมีขนาดเล็ก ดังนั้นเพื่อให้คมพิกัดความคลาดเคลื่อนของการตัดเจาะไว้ได้นาน ขนาดอ้างอิงของขนาดโตสุด (Gmax) ของรูปตัดใน

ข้อแนะนำของสมาคมวิศวกรเยอรมัน VDI 3368แนะนำให้ใช้เพียง 4/ 5ของพิกัดความคลาดเคลื่อนชิ้นงาน

ขนาดดายในกรณีการตัดขึ้นรูป **D = Gmin + 15 T**

และขนาดของพันช์ **Dp = d – 2c**

Dp = Gmax – 15t

ขนาดของพันช์ในกรณีการตัดเจาะ

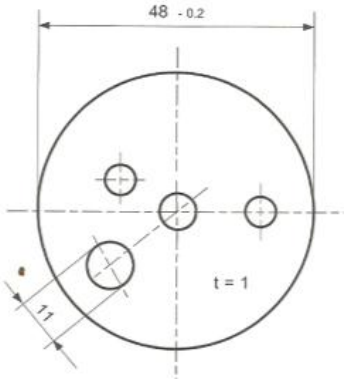
และขนาดช่องผ่านดายคมตัด

$$D = dp + 2c$$

โดยที่

t	=	พิกัดความคาดเคลื่อนของชิ้นงาน
Gmin	=	ขนาดต่ำสุดของชิ้นงาน
Gmax	=	ขนาดโตสุดของชิ้นงาน
C	=	ขนาดช่องคมตัด

ตัวอย่างที่ 2.4 การคำนวณขนาดของพันช์ตัดและแผ่นดาย สำหรับการตัดรูปภายนอก ϕ.48 -0.2 mm. และรูเจาะ ϕ11 โดยคำนึงถึงพิกัดความคาดเคลื่อนของชิ้นงาน



รูปที่ 2.27 ชิ้นงาน [2]

Gmax = ขนาดโตสุด Gmin = ขนาดต่ำสุด ชิ้นงานหนา 1 mm วัสดุ 1.0037 C

วัสดุเหล็กคาร์บอน 0.2% ตามตารางที่ 2.3 Tu =400 N/mm^2 ความต้านแรงเฉือนและความหนาชิ้นงานเป็นตัวกำหนดขนาดช่องว่างคมตัด ตามตารางที่ 2.3 จะได้ช่องว่างคมตัด c = 0.03 mm. ขนาดของพันช์คมตัดสำหรับรูปภายนอก ϕ 48 -0.2 mm.

D = Gmin + 1-5 T

= (48 -0.2)+1-5x0.2

= 47.84 mm.

ขนาดของพันช์

D p = d-2c

= 47.84 – 2 x 0.03

= 47.78 mm.

ขนาดพันช์คมตัดสำหรับเจาะรู … 11 ด้วยพิกัดความคลาดเคลื่อนทั่วไปตาม DIN 2768n เท่ากับ+0.02 mm.

Dp = Gmax – 1-5T

= (11+0.02) – 1-5Tx0.4

= 11.12 mm.

ขนาดช่องผ่านของดายคมตัด

D = d2+2c

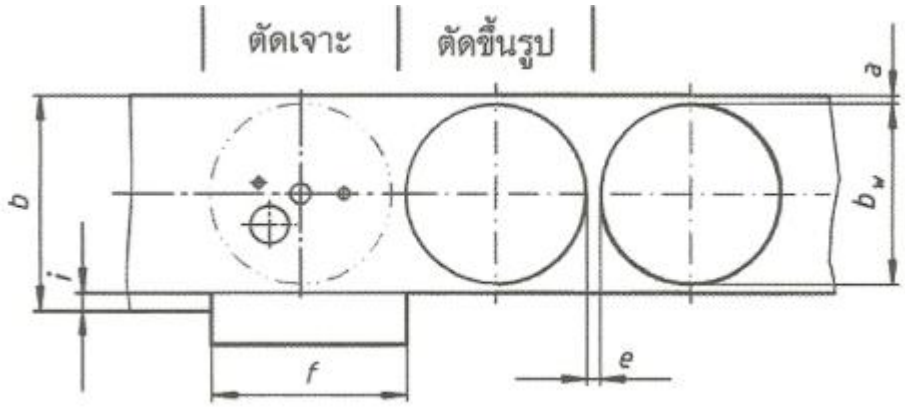
= 11.12+2x0.03

= 11.18 mm.

2.9.3 การกำหนดขนาดแถบวัสดุ

แผ่นงานเปล่า (Blank) มักเกิดจากการตัดวัสดุในรูปของแผ่นหรือม้วน แผ่นงานจะต้องตัดให้เป็นแถบตามความกว้างที่จำเป็น ในขณะเดียวกันความกว้างของแถบอาจแบ่งไม่ลงตัวกับความกว้างของแผ่นงาน ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียวัสดุมาก ในทางตรงข้ามอาจใช้การสั่งซื้อม้วนแถบงานตามความขว้างที่ต้องการเมื่อเทียบกับแผ่นงานแถบแล้วจะเสียเศษน้อยกว่า เนื่องจากความยาววัสดุม้วน (ประมาณ 2,000เมตร ตามแต่ความหนาแน่น) ค่อนข้างมาก การใช้อุปกรณ์ป้อนแผ่นงานแบบอัตโนมัติจะได้เปรียงสำหรับจำนวนการผลิตที่สูง แต่วัสดุม้วนจะมีราคาสุงกว่าวัสดุแผ่นเล็กน้อย ในการผลิตแผ่นงานเปล่าที่มีจำนวนการผลิตน้อย จึงใช้แทบงานเส้นยาวรูปแบบแทบงานควรกำหนดดังนี้

1. ระดับครั้งตอนการตัดที่ตามมา
2. ตำแหน่งและการจัดวางคมตัดพันช์
3. รูปทรงเลขาคณิตของแทบงานตัด



b = ความกว้างแทบงาน

b_w = ความกว้างชิ้นงาน

f = ระยะป้อน

a = ความกว้างขอบ

i = ความกว้างคมตัดข้าง

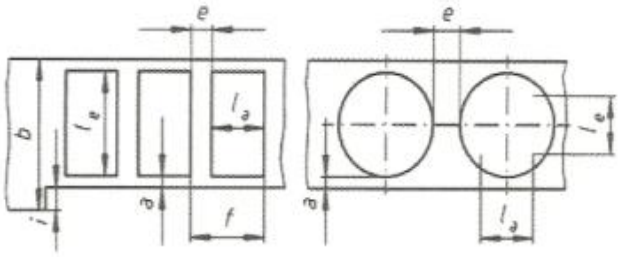
e = ความกว้างเอ็น

รูปที่ 2.28 แบบงานตัด

ด้วยเหตุที่ชิ้นงานถูกตัดออกจากแถบงาน (ม้วน) คงเหลือระยะขอบ (au) รวมทั้งเอ็นกลาง(e) ระหว่างชิ้นงานตัดแต่ละชิ้นที่เรียกว่า “ตาข่ายเศษ” ปกติจะพยายามให้ขอบและเอ็นมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดการสูญเสียวัสดุ ในขณะเดียวกันต้องให้กว้างเพียงพอเพื่อการคงรูปไว้ได้ตาต้องการของตาข่ายเศษ ซึ่งมีความจำเป็นต่อการขนถ่ายลำลียงแทบงานออกและสอดคล้องกับฟังก์ชันการทำงานของเครื่องมือ การกำหนดความกว้างเอ็นและขอบอาศัยค่าตามประสบการณ์ ตามขอแนะนำ VDI 3367 กำหนดให้ใช้ขนาดแทบงานตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความกว้างเอ็นกลางและขอบตา VID 3367 (ค่าแนะนำสำหรับวัสดุเปราะและอ่อนรวมทั้งแถบหมุนกลับให้เพิ่มขึ้น 50%)

คมตัดแบบเฉือนด้วยเครื่องมือตัด



b = ความกว้างแถบงาน
i = ความกว้างข้างคมตัดด้านข้าง
l_e = ความยาวระหว่างเอ็นกลาง
l_a = ความยาวระหว่างขอบ
a = ความกว้างขอบ
e = ความกว้างเอ็นกลาง
f = ระยะป้อน

ความกว้างเอ็นกลาง, ขอบ, และข้างคมตัดสำหรับงานโลหะ

ความกว้างแถบงาน b[mm]	ความยาวเอ็นกลางหรือความยาวขอบขนาดโตสุด le,la[mm]	ความกว้างเอ็น ความกว้างขอบ e,a [mm]	ความหนาวัสดุt[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								
	11-50	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								
	51-100	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
เกิน100-200	ถึง 10 หรือชิ้นงานกลม	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								
	11-50	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								
	51-100	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 /e และความยาวระหว่างขอบ /a (ตารางที่ 2.5) ต้องระวังว่าได้พิจารณาเพียงความยาวของด้านข้างชิ้นงานที่ขนานกันเท่านั้น (ความกว้างเอ็นและขอบเท่ากับ)

เนื่องจากการตัดรูปนอกรูปทรงกลมไม่เกิดเส้นขอบขนานกันจึงกำหนดให้

ความกว้างเอ็นกลาง /e < 10 mm

/a < 10mm

ความกว้างแทบงานสามารถคำนวณได้จาก

$$\mathbf{B = bw + 2a + i}$$

โดยที่ bw = ความกว้างชิ้นตัด

A = ความกว้างของ

i = เศษคมตัดข้าง (เท่าที่มี)

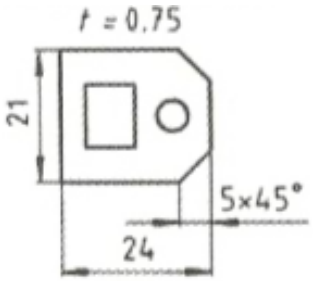
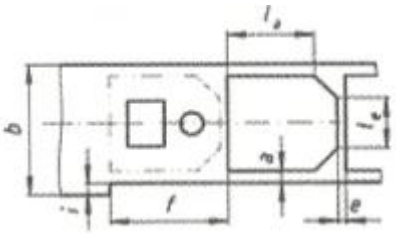
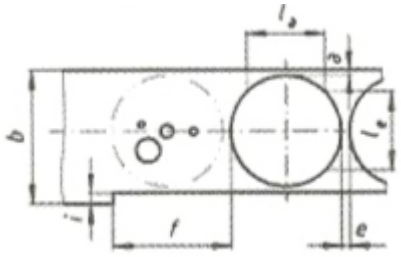
ค่าที่คำนวณได้ให้ปัดเป็นเศษหนึ่งส่วนสอง หรือเต็มขนาดมิลิเมตร ระยะป้อนที่จำเป็นสำหรับการป้อนลำเลียงแถบงานได้จากความยาวชิ้นงานและความกว้างเอ็นกลาง

$$F = /+e$$

โดยที่ / +e = ความยาวชิ้นงานตัด

F = ความกว้างเอ็นกลาง

ตารางที่ 2.5 การกำหนดความกว้างแถบ

ชิ้นงานตัด	การจัดวางบนแถบงาน	ความยาวเอ็นกลาง le ความยาวขอบ la	ตาม VDI 3367 ใช้สำหรับความกว้างขอบ a ความกว้างเอ็นกลาง e เศษคมตัดข้าง i ระยะป้อน f ความกว้างแถบ b
		$l_a = l - 1_{chamfer}$ $l_e = b_w - 2\,1_{chamfer}$	a = 1 mm e = 1 mm i = 1.5 mm b = bw + 2.a + i = 21+2x1+1.5 = <u>24.5 mm</u> f = l+e = 24+1 = <u>25 mm</u>
		l_a<10 mm l_e<10 mm	a = 1.0 mm e = 1.0 mm i = 1.5 mm b = bw + 2.a + i = 48+2x1+1.5 = <u>51.5 mm</u> f = l+e = 48+1 = <u>49 mm</u>

2.10 เครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองคือ

1. เครื่อง Press แบบข้อเหวี่ยงใช้แรงตัด 40 กิโลนิวตัน
2. เครื่องปั๊ม (Press Machine) หมายถึง เครื่องจักรที่รวมแม่พิมพ์เข้าไว้ 2 แม่พิมพ์ หรือมากกว่านั้น ถูกออกแบบเพื่อการขึ้นรูปวัสดุที่วางอยู่ระหว่างแม่พิมพ์โดยแม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าหากันด้วยการใช้กำลังส่งไปยังวัสดุซึ่งเป็นผลให้เกิดแรงปฏิกิริยาโต้ตอบจากแรงที่ใช้ไปยังวัสดุที่อยู่ระหว่างแม่พิมพ์ซึ่งรองรับด้วยแท่นเครื่องของตัวมันเอง ความเที่ยงตรงในการขึ้นรูปของเครื่องปั๊มเป็นตัวกำหนดความแม่นยำควบคู่ไปกับการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ในขณะที่อัตราการผลิตถูกกำหนดโดยความเร็วรอบของการทำงานของแม่พิมพ์

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

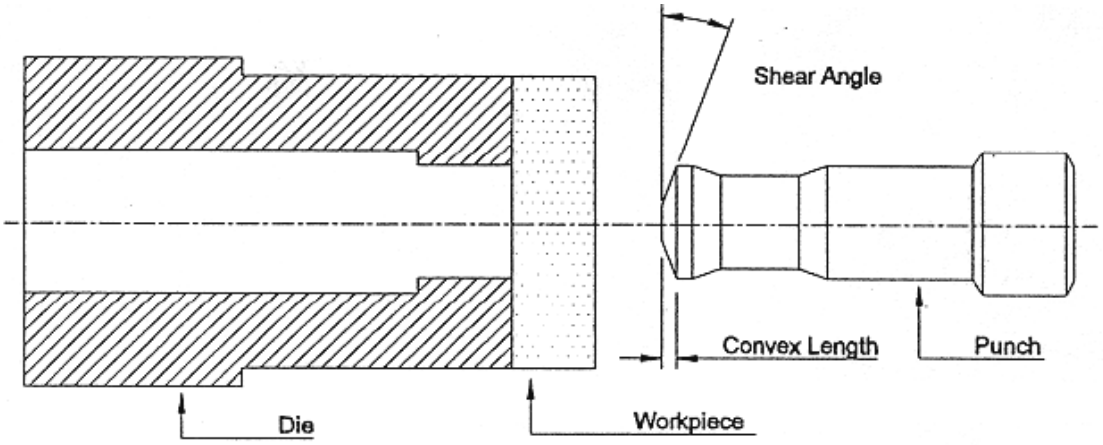
2.11.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด

ชาญยุทธ มะกา[16] 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 [11] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของช่องว่างของแม่พิมพ์ที่มีผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด โดยการศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์ตัดโดยกำหนดค่าช่องว่างระหว่างพันช์และดาย ที่ระดับต่างกัน คือ 3% ,8% และ 18% ของความหนาวัสดุชิ้นงาน วัสดุแผ่นตัดชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 430 โดยวัสดุพันช์และดายเป็น SKD11 ทำการชุบแข็งที่ระดับความแข็ง 60 HRC ในการทดลองพบว่าระยะค่าช่องว่างระหว่างคมตัด 3% การสึกหรอของพันช์เกิดขึ้นสูงที่สุด แต่ความสูงของครีบของชิ้นงานจะเกิดขึ้นน้อยที่สุดและความสูงของครีบจะสูงขึ้นเมื่อเกิดการสึกหรอของพันช์ ส่วนระยะค่าช่องว่าง 8% พบว่าการสึกหรอของพันช์จะเกิดขึ้นปานกลาง ความสูงของครีบที่ชิ้นงานจะเกิดขึ้นน้อยกว่า ส่วนที่ระยะค่าช่องว่างพันช์กับดายที่ 18% พบว่าการสึกหรอจะเกิดขึ้นต่ำที่สุด แต่ความสูงของครีบชิ้นงานจะเกิดขึ้นมากที่สุด

2.11.2 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับรูปร่างของชิ้นงานที่ได้จากการตัด

Luo [12] ทำการศึกษาอิทธิพลของมุมตัดเฉือนที่มีผลต่อการสึกหรอของพันช์ โดยดูพฤติกรรมการสึกหรอบริเวณขอบของพันช์โดยการกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพันช์ที่ 13.6 มม. และ15.7 มม. และกำหนดมุมตัดรวมในการตัดเฉือนของพันช์ที่ 12.5 องศา และ 20 องศา (ดังรูป 2.22) และกำหนดลักษณะของผิวพันช์เป็นแบบขัดมันและเคลือบผิว โดยกำหนดวัสดุที่ใช้ทำพันช์เป็นเหล็กไฮสปีด (High-Speed Steel) และกำหนดค่าความแข็งที่ 65 ถึง 67 HRC ทำการทดลองตัดชิ้นงานแล้วทำการสังเกตและวัดค่าการสึกหรอของพันช์โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และกล้องแบบ Optical Stereoscope จากการทดลองพบว่าการสึกหรอของพันช์ที่มุมตัดรวม 12.5 องศา การสึกหรอจะเกิดบริเวณด้านข้างของคมตัดเป็นลักษณะการสึกหรอเนื่องจากการยึดติดหรือเชื่อมติด ส่วนรูปแบบการสึกหรอของพันช์ที่มีมุมตัดรวม 20 องศา การสึกหรอจะเกิดบริเวณด้านข้างและผิวด้นหน้าของคมตัดเนื่องมาจากความล้าทำให้เกิดการสึกหรอที่ผิวหน้าของพันช์มากขึ้น



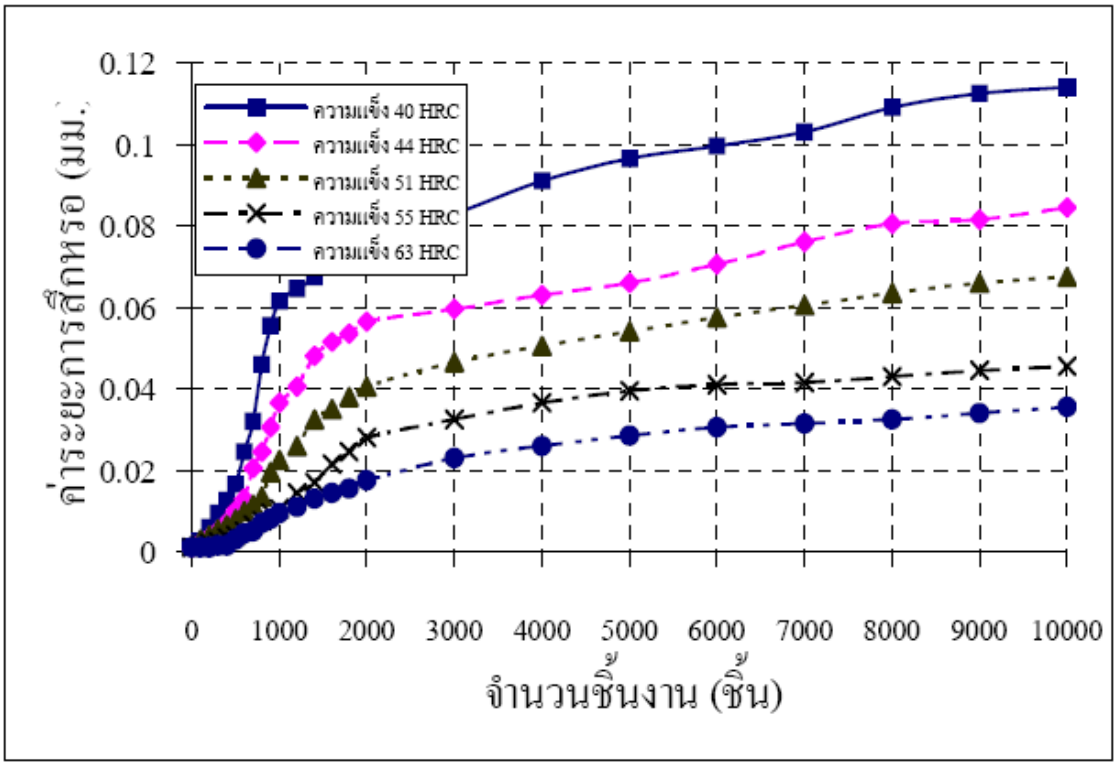
รูปที่ 2.29 ขนาดและรูปร่างของพันช์และดาย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวมาจะพบเห็นได้ว่า จากการทดลองของคุณโกสิทธ์จะพบว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ตัดจะขึ้นเกิดบริเวณพันช์ในปริมาณที่สูงกว่าดายและยังพบว่าเหล็กที่มีความแข็งมากกว่าจะเกิดการสึกหรอที่น้อยกว่าเหล็กที่มีความแข็งต่ำกว่า การทดลองของคุณ Nillson ซึ่งทำการทดลองกับเหล็กเฉพาะพบว่าพันช์ที่ทำจากเหล็กที่ถูกพัฒนาขึ้นมาพิเศษในลักษณะเหล็กพาวเดอร์ไฮ-สปีดจะทนการการสึกหรอได้ดีกว่าเหล็กทั่วไป การทดลองของคุณ Fang พบว่าช่องว่างแม่พิมพ์ที่น้อยกว่าทำให้ปริมาณการสึกหรอที่เกิดขึ้นสูงกว่า และยังพบว่าช่องว่างแม่พิมพ์ที่ร้อยละ 5 ของความหนาชิ้นงานมีค่าเหมาะสมที่สุด การทดลองของคุณ Maiti พบว่าช่องว่างแม่พิมพ์มากจะทำให้การสึกหรอที่เกิดขึ้นช้าและแรงเสียดทานทีมีค่าสูงจะส่งผลทำให้การสึกหรอที่เกิดขึ้นสูงตามไปด้วย การทดลองของคุณ Schey พบว่าผิวของชิ้นงานที่มีผิวหยาบกว่าจะทำให้การสึกหรอเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าผิวของ

ชิ้นงานที่เรียบกว่าและสามารถใช้สารหล่อลื่นในการลดแรงเสียดทานและการสึกหรอที่เกิดขึ้นได้และจากการทดลองของคุณ Luo พบว่ามุมรวมในการตัดเฉือนที่ต่างกันจะทำให้รูปแบบการสึกหรอที่เกิดขึ้นแตกต่างกันด้วย

Gang Fang และคณะ [13] ได้ทำงานวิจัยที่ศึกษาอิทธิพลช่องว่างของแม่พิมพ์ที่มีต่อคุณภาพขอบตัดของชิ้นงานและต่ออายุของใช้งานของแม่พิมพ์ตัด โดยทำการทดลองและเก็บผลการทดลองในรูปของแรงตัด คุณภาพของขอบชิ้นงานตัดโดยใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการทดลองกำหนดชนิดวัสดุชิ้นงานเป็นอลูมิเนียมอัลลอยด์เกรด 2040 (Aluminum Alloy 2040) หนา 1 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดาย 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

โกสิทธิ์ มงคลภิญโญกุล [15] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความแข็งของแม่พิมพ์ตัดซึ่งทำจากวัสดุ JISS45C โดยชุดแม่พิมพ์ตัดมีความแข็ง 40 45 50 55 และ 60 HRC ทำการตัดแผ่นชิ้นงานวัสดุเหล็กแผ่น JIS G3141 SPCC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ความหนา 0.8 มม. การทดลองจะติดตั้งแม่พิมพ์ตัดบนเครื่องเพรสแบบเพลาข้อเหวี่ยงขนาด 630 กิโลนิวตัน ทำการบันทึกข้อมูล แรงตัด ระยะการสึกหรอน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง ความสูงครีบและภาพถ่ายลักษณะการสึกหรอของชุดแม่พิมพ์ตัดโดยพิจารณาทั้งพันช์และดาย ผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการตัดชิ้นงานค่าระยะการสึกหรอเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อการตัดชิ้นงานน้อยกว่า 2,000 ชิ้น และเมื่อทำการตัดชิ้นงานมากกว่า 2,000 ชิ้น เกิดอัตราการสึกหรอลดลง และความแข็งของแม่พิมพ์ตัดมีอิทธิพลต่อการสึกหรอ คือชุดแม่พิมพ์ตัดที่มีความแข็งสูงทำให้เกิดการสึกหรอต่ำส่วนแม่พิมพ์ที่ความแข็งต่ำจะเกิดการสึกหรอสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.30 จากกราฟที่ได้พบว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับทั้งพันช์ เมื่อดูระยะการสึกหรอที่วัดได้ พบว่าพันช์ที่มีความแข็งมากกว่าจะมีอัตราการการสึกหรอน้อยกว่าพันช์ที่มีความแข็งน้อยกว่า เมื่อผลิตพันช์จากเหล็กชนิดเดียวกัน นอกจากนี้แม่พิมพ์ตัดที่มีความแข็งสูงใช้แรงตัดสูงกว่าแม่พิมพ์ที่มีความแข็งต่ำในช่วงแรกแต่หลังจากที่ตัดชิ้นงานเพิ่มขึ้นชุดแม่พิมพ์ที่มีความแข็งสูงจะใช้แรงตัดต่ำกว่าชุดแม่พิมพ์ที่มีความแข็งต่ำเนื่องจากเกิดการสึกหรอช้ากว่า เมื่อชุดแม่พิมพ์ตัดที่มีความแข็งสูงเกิดการสึกหรอช้ากว่าทำให้มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และความสูงครีบน้อยกว่าชุดแม่พิมพ์ตัดที่มีความแข็งต่ำ



รูปที่ 2.30 ค่าระยะการสึกหรอของพันช์แม่พิมพ์ตัดวัสดุ JIS S45C

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการตัดชิ้นงานในช่วงแรกของชุดแม่พิมพ์ตัดแต่ละชุดจะมีค่าความสูงครีบและอัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักพันช์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการตัด ทำให้บริเวณคมตัดที่อมีผลให้ค่าความสูงครีบของชิ้นงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งชุด แม่พิมพ์ตัดความแข็งต่ำจะมีค่าความสูงครีบของชิ้นงานมากกว่าชุดแม่พิมพ์ตัดความแข็งสูง

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการสึกหรอของแม่พิมพ์ พบว่า การทดลองของพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ และคณะ [4] ซึ่งใช้วัสดุทำแม่พิมพ์เป็นเหล็ก (JIS) SKD11 สามารถทนต่อการสึกหรอได้สูงกว่าเหล็กชนิดอื่น ที่ช่องว่างของแม่พิมพ์ที่ร้อยละ 8 ของความหนาชิ้นงาน อัตราการสึกหรอของพันช์จะเกิดขึ้นน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับระยะช่องว่างของแม่พิมพ์ 3% ความสูงของครีบที่ชิ้นงานจะเกิดขึ้นน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่างคมตัด 18% ในการวิจัยของ Gang Fang และคณะ [13] พบว่าที่ช่องว่างของแม่พิมพ์น้อยจะทำให้เกิดการสึกหรอสูง