# กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น

# (Sheet Metal Forming Process)

## 1. วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับประเภทต่างๆ ของการขึ้นรูปโลหะแผ่นได้

2. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจการเลือกประเภทการขึ้นรูปโลหะแผ่นให้เหมาะสมกับงาน

3. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจ ส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์และการเลือกแม่พิมพ์หมาะสมกับประเภทการขึ้นรูปโลหะแผ่น

4. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจ เรื่องการดีดตัวกลับของชิ้นงาน (Spring back)

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กรรมวิธีการขึ้นรูป (Forming) หรือกระบวนการขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming Process) หมายถึง กระบวนการผลิตประเภทหนึ่งที่เปลี่ยนรูปร่างของวัตถุดิบ (Raw Material) ให้เป็น ผลิตภัณฑ์ (Product) หรือชิ้นงานที่มีรูปร่างตามต้องการ โดยใช้แม่พิมพ์หรือเครื่องมือเฉพาะ (Die หรือ Forming Tool) ในการขึ้นรูปขณะที่วัตถุดิบอยู่ในสภาวะของแข็ง โดยไม่มีการเสียเศษ และไม่มี การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในของวัสดุนั้น ๆ จึงเรียกกระบวนการนี้ว่า งานขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming Process) หรืองานเปลี่ยนรูปโลหะในช่วงการเปลี่ยนรูปถาวร (Metal Deformation Process หรือ Deformation Process

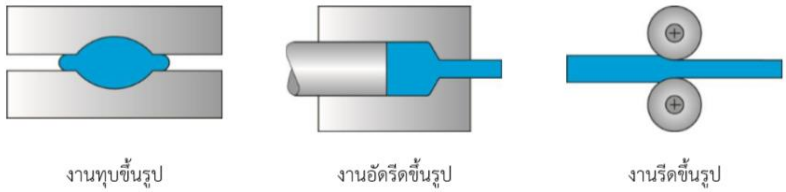
**ประเภทของกระบวนการขึ้นรูปโลหะ**

กระบวนการขึ้นรูปโลหะแบ่งเป็น 2 ประเภท โดยพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้น ถ้าวัสดุเริ่มต้นเป็นโลหะแผ่น จะเป็นกลุ่มกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process) และถ้าวัสดุเริ่มต้นมีลักษณะเป็นก้อน (Bulk Metal Forming Process) จะเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน

กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process) เช่น กระบวนการตัด เฉือน (Blanking Process) กระบวนการพับขึ้นรูป (Bending Process) และกระบวนการลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing Process) ) แสดงดังในรูปที่ 1

รูปที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น

กระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process) เช่น กระบวนการทุบขึ้น รูป (Forging Process) กระบวนการอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion Process) และกระบวนการรีดขึ้นรูป ดังรูปที่ 2




รูปที่ 2 กระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน

**องค์ประกอบในการขึ้นรูปโลหะแผ่น**

การทำงานและการผลิตชิ้นงานด้วยกระบวนการปั๊มโลหะ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ถูกต้องเที่ยงตรงตามความต้องการรวมถึงกระบวนการผลิตที่ดูแลรักษาง่ายไม่เกิดค่าใช้จ่ายสูงเกินไปอยู่ในขอบเขตที่ควรจะเป็นจำเป็นต้องมีการดูแลเชื่อมโยงอย่างเป็นระบบโดยมีองค์ประกอบดังนี้

1. กลไกการเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุและการไหลตัวสภาวะความเค้นที่เกิดขึ้นในบริเวณต่างๆ เพื่อวางแผนการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีประสิทธิภาพสามารถทำนายตำแหน่งหรือโอกาสในการ เกิดความเสียหายขณะทำการขึ้นรูป เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขป้องกันเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์

2. สมบัติของวัสดุเริ่มต้น องค์ประกอบทางเคมี ความแข็งแรงของวัสดุ ความสามารถในการ ไหลตัว ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นในขณะขึ้นรูป (Work Hardening) สมบัติทางด้านทิศทางตามแนวรีดของวัสดุ สมบัติทางโลหะวิทยา รวมถึงการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ความร้อน (Heat Treatment) ก่อนขึ้นรูปด้วย

3. สมบัติของวัสดุหลังการขึ้นรูป หมายถึง สมบัติทางกลลักษณะของผิวสำเร็จ ความเที่ยงตรงของขนาดในบางกรณีการเกิดความเครียดในเนื้อวัสดุอาจส่งผลต่อการนำไปใช้งาน จึงต้องคำนึงถึงการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนก่อนนำไปใช้

4. บริเวณผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานและแม่พิมพ์ เป็นบริเวณที่เกิดความเสียดทานที่ต้านการไหลตัวของวัสดุ จึงควรมีความเข้าใจในศาสตร์ของการหล่อลื่นและศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาวะผิวของแม่พิมพ์และชิ้นงาน รวมถึงการสึกหรอที่ผิวของแม่พิมพ์ภายใต้สภาวะการปั๊มโลหะด้วย

5. ความเข้าใจในกระบวนการทำงานของแม่พิมพ์ ตัวแปรที่มีผลต่อความสำเร็จในการขึ้นรูปทำให้เกิดการออกแบบที่เหมาะสมในการใช้งานและซ่อมบำรุงได้ง่าย รวมถึงความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในการผลิตเพื่อให้เกิดความเค้นตกค้างน้อยที่สุดและไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับชิ้นส่วนแม่พิมพ์ได้ง่าย

6. เครื่องปั้ม เป็นตัวส่งผ่านแรงในการประกบชุดแม่พิมพ์เข้าหากันเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน การเลือกใช้เครื่องปั้มที่เหมาะสม ความเข้าใจในกลไกการทำงาน วิธีการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊มและการปรับตั้งเงื่อนไขต่างๆ ในการปั้มโลหะ

**กรรมวิธีที่ใช้ในงานปั้ม (Stamping Process)**

กรรมวิธีที่ใช้ในงานปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่นมีหลายกรรมวิธี แต่แบ่งได้เป็น 3 กรรมวิธีพื้นฐานหลัก คือ
1. การตัดเฉือน (shearing) ซึ่งแบ่งเป็นการปั้มเจาะ(blaking) และการตัดเจาะรู (piercing) 2. การตัด (bending) หรือการขึ้นรูป (forming) และ 3. การลากขึ้นรูป (drawing) นอกจากนี้ยังมีกรรมวิธีดังเดิมอื่นๆ เช่น การปั๊มนูน (embossing) การปั้มจม (coining) การบีบอัด(swaging) การฝานขอบ(shaving) และการตัดขอบ(trimming) การผลิตชิ้นงานโลหะแผ่นจะต้องใช้หลายกรรมวิธีที่กล่าวมาแต่ไม่จำเป็นต้องใช้กรรมวิธีทั้งหมด กรรรมวิธีที่กล่าวทั้งหมดมีลักษณะการทำงานดังนี้

1. Blanking เป็นขั้นตอนแรกที่จะต้องทำในการผลิต โดยจะเป็นการตัดแผ่นโลหะด้วยพั้นซ์และดายให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการ แผ่นโลหะที่ตัดออกมานี้จะนำไปผ่านกรรมวิธีอื่นเพื่อผลิตเป็นชิ้นงานต่อไป

2. Piercing โดยทั่วไปเป็นขั้นตอนที่ต่อจาก blanking โดยจะตัดแผ่นโลหะให้เป็นรูตามตำแหน่งที่ต้องการบางครั้ง blanking และ piercing สามารถทำพร้อมกันได้ในขั้นตอนเดียว ข้อแตกต่างระหว่าง blanking และ piercing จะใช้แผ่นโลหะที่ตัดออกมาด้วยพั้นซ์และดายเป็นชิ้นงาน ส่วน piercing จะใช้แผ่นโลหะที่ถูกตัดเป็นรูเป็นชิ้นงาน

3. Bending เป็นการตัดพื้นผิวระนาบของโลหะทำมุมกันตั้งแต่หนึ่งมุมขึ้นไปโดยความหนาของแผ่นโลหะไม่เปลี่ยนแปลงและรัศมีการดัดจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับความหนาของแผ่นโลหะ

4. Drawing เป็นการสาลขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยพั้นซ์เข้าไปในโพรงของดายโดยปราศจากการยืดของแผ่นโลหะ ดังนั้นช่องว่างระหว่างพั้นซ์และดายจะเท่ากับความหนาของแผ่นโลหะ

5. Embossing เป็นการขึ้นรูปแผ่นโลหะให้เป็นหลุมหรือปุ่มตื้นๆ โดยที่ความหนาไม่เปลี่ยนแปลง ปกติทำแผ่นป้ายต่างๆ ที่มีตัวอักษรนูน

6. Coining เป็นการขึ้นรูปแผ่นโลหะให้เป็นลวดโดยการบีบอัดแผ่นโลหะในแม่พิมพ์ปิด ลวดลายทั้งสองด้านจะไม่เหมือนกันก็ได้ เช่น การทำเหรียญ

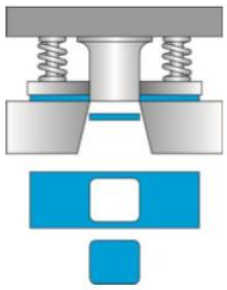
7. Swaging เป็นการขึ้นรูปโลหะโดยการบีบอัดในแม่พิมพ์เปิด โลหะจะสามารถไหลผ่านแม่พิมพ์ออกมาได้อย่างอิสระ

8. Shaving เป็นการตัดแต่งขอบแผ่นโลหะผ่านการ blanking หรือ piercing มาแล้ว

9. Trimming เป็นการทำงานคล้าย blanking เพื่อตัดโลหะส่วนเกินออก วิธีนี้จะทำทีหลังสุดเมื่อแผ่นโลหะผ่านกรรมวิธีอื่นๆ มาแล้ว

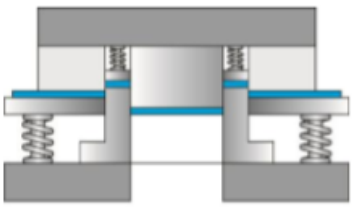
**ประเภทของแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่น**

1. แม่พิมพ์เดี่ยว (Single Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มีหนึ่งสถานีการทำงานและทำงานเพียงรูปแบบเดียว เช่น แม่พิมพ์ตัดเฉือน แม่พิมพ์เจาะรู แม่พิมพ์พับ เป็นต้น ตัวอย่างแม่พิมพ์เดี่ยวแสดงดังในรูปที่ 3



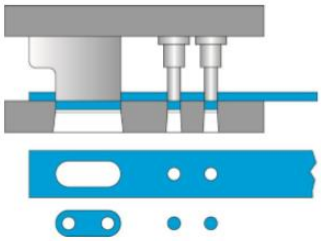
รูปที่ 3 แม่พิมพ์เดี่ยว

2. แม่พิมพ์ผสม (Compound Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มีหนึ่งสถานีการทำงาน แต่มีการทำงานสองรูปแบบขึ้นไป เช่น ตัดขอบและเจาะรู ตัดขอบและขึ้นรูป เป็นต้น ซึ่งมักจะออกแบบบนเส้นแกนกลางร่วมกัน การทำงานทั้งหมดจะเสร็จสิ้นในสโตรกเดียวของเครื่องปั๊มโลหะ ตัวอย่างแม่พิมพ์ผสมแสดงดังในรูปที่ 4



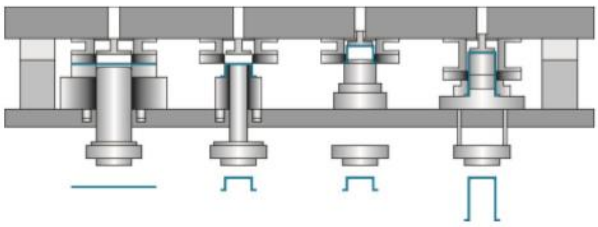
รูปที่ 4 แม่พิมพ์ผสม

3. แม่พิมพ์ต่อเนื่อง (Progressive Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มีมากกว่าหนึ่งสถานี ชิ้นงานจะถูกป้อนผ่านครั้งละสถานีจนได้รูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการ การป้อนชิ้นงานครั้งละสถานี จะท าโดยใช้ส่วนของแผ่นสตริปเอง (Strip) การตัดเฉือนเพื่อแยกชิ้นงานออกจากแผ่นสตริปจะท า ในขั้นตอนสุดท้าย ตัวอย่างของแม่พิมพ์ต่อเนื่อง แสดงดังในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แม่พิมพ์ต่อเนื่อง

4. แม่พิมพ์ส่งผ่าน (Transfer Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มีมากกว่าหนึ่งสถานีการทำงาน การตัดเฉือนส่วนของชิ้นงานออกจากแผ่นสตริป จะท ในสถานีแรก การส่งผ่านชิ้นงานจะใช้กลไกภายนอกทำการเคลื่อนย้ายในขณะที่แม่พิมพ์เปิดแต่ละจังหวะแสดงดังในรูปที่ 6



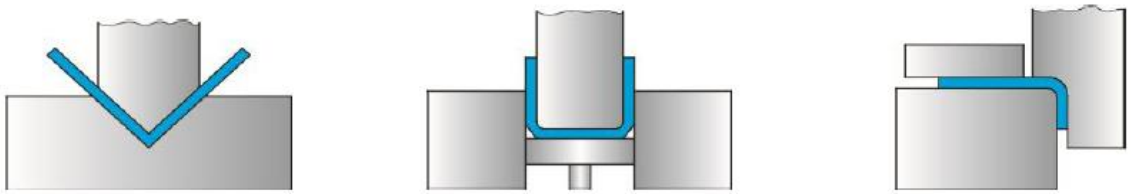
รูปที่ 6 แม่พิมพ์ส่งผ่าน

**ทฤษฎีการงอ (Bending Theory)**

ในการขึ้นรูปโลหะโดยการงอขึ้นรูปนั้น เราต้องให้แรงแก่ชิ้นงานทั้งนี้ เพื่อให้ชิ้นงานนั้นเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร ซึ่งแรงที่ให้แก่ชิ้นงานนั้นจะต้องไม่ทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานมากกว่าความเค้นดึงสูงสุดของชิ้นงานนั้น และจะต้องไม่น้อยกว่าจุดยืดหยุ่นจำกัดของชิ้นงานนั้น

เมื่อเราให้แรงแก่ชิ้นงานเพื่อทำการงอจะปรากฏว่าความเค้นของชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะเริ่มจากบางจุดที่ต่ำกว่าความแข็งแรงสูงสุดของโลหะนั้น และความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นจะแผ่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของชิ้นงาน ซึ่งขณะที่แผ่กระจายนั้น ความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานก็จะค่อยๆ ลดลงด้วยจนถึงบริเวณที่ความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานเป็นศูนย์ ซึ่งลักษณะการเกิดความเค้นบนชิ้นงานแบบนี้ จะทำให้เกิดการบิดงอของชิ้นงานมากกว่าจะเกิดการฉีดขาด สำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรของโลหะนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานจะต้องผ่านจุดยืดหยุ่นจำกัดและจุดล้าตัวด้วย จากรูปที่ 7 นั้น

เป็นการแสดงถึงการเกิดแรงที่ใช้ในการงอบนดาย์ชนิดต่างๆ กัน สำหรับวี-ดาย์ (V-die) นั้นเราจะพบว่ามีการแผ่กระจายของแรงเกิดขึ้นมากที่สุด ส่วน ยู-ดาย (u-die) และวิปปิ้ง-ดาย (Wiping-die) นั้นนิยมใช้ในการผลิตชิ้นงานมาก และยู-ดายมักจะนิยมเรียกว่า ชาเน็ล ดาย (channel die)

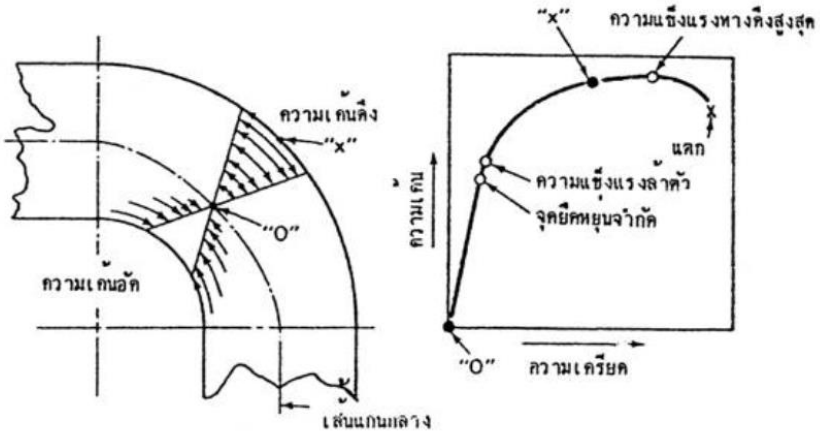


(ก) แม่พิมพ์รูปตัววี (ข) แม่พิมพ์รูปตัวยู (ค) แม่พิมพ์แบบไวปิง

รูปที่ 7 แม่พิมพ์พับแผ่นโลหะแบบต่างๆ

**การกระเด้งตัวกลับของชิ้นงาน (Spring back)**

เมื่อได้ทำการงอชิ้นงานแล้วจะมีความเค้นเกิดขึ้นในบริเวณที่ทำการงอ และความเค้นที่เกิดขึ้นนี้จะมีความแตกต่างกันคือไม่เหมือนกันทุกจุดซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการกระเด้งตัวกลับของชิ้นงาน ความเค้นดึงจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่ผิวหน้าด้านนอกของการงอและจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะของชิ้นงานเข้าใกล้เส้นศูนย์กลางของความหนา ซึ่งความเค้นที่เกิดขึ้นนี้จะกลายเป็นศูนย์ที่เส้นแกนกลาง จากรูปที่ 8 เป็นการแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของความเค้นดึงและความเค้นอัดในบริเวณที่มีการงอจากรูปจะเห็นได้ว่าที่จุด 0 นั้น ความเค้นดึงจะมีค่าเป็นศูนย์ซึ่งจุดนี้จะอยู่บนเส้นแกนกลาง และค่าความเค้นจะเพิ่มขึ้นมากเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุด x ที่ผิวด้านนอกของชิ้นงานที่จุด x นี้จะมีค่าความเค้นดึงเกิดมากที่สุด



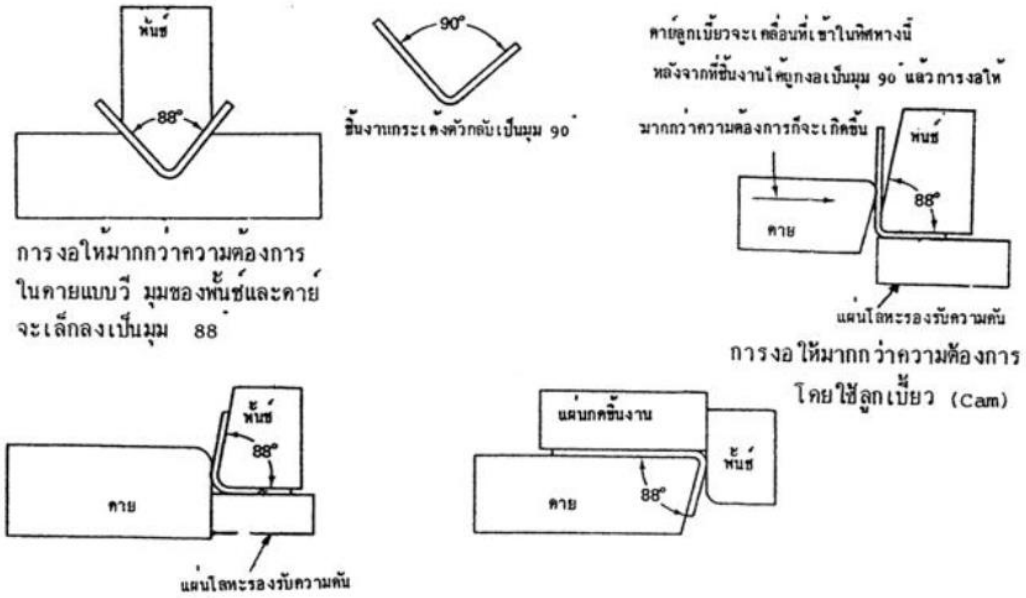

รูปที่ 8 การเปลี่ยนรูปแบบของความเค้นในการงอโลหะ

จากรูปที่ 8 เราจะเห็นได้ว่าบริเวณส่วนที่ใกล้กับเส้นแกนกลางนั้นจะมีความเค้นที่เกิดขึ้นต่ำกว่าจุดยืดหยุ่นจำกัด สำหรับโลหะส่วนนี้นั้นได้ถูกแสดงด้วยแถบเล็กๆ ที่เรียกว่าแถบยืดหยุ่น (elastic band) แถบเล็กๆ นี้จะอยู่ทั้งสอง

ข้างของเส้นแกนกลาง โลหะที่อยู่ห่างไปจากแถบกลางของชิ้นงานจะมีความเค้นเกิดขึ้นมากกว่าจุดความแข็งแรงล้าตัวของชิ้นงานนั้น และที่บริเวณนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงของโลหะอย่างถาวร เมื่อได้ทำการงอชิ้นงานแล้วและขณะที่ดึงเอาพันช์ออกไปนั้น ส่วนที่เป็นแถบยืดหยุ่นเล็กๆ ก็จะพยายามดึงตัวกลับเข้าอยู่ในตำแหน่งเดิม แต่ก็ไม่สามารถจะดึงตัวกลับคืนได้หมด เพราะว่ามีความต้านทานของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงของโลหะอย่างถาวร ดังนั้นจึงมีการกระเด้งกลับเพียงเล็กน้อยเท่านั้นการที่โลหะกระเด้งตัวกลับนี้เรียกว่า “Spring back” สาเหตุที่โลหะต้องกระเด้งกลับก็เพราะว่าต้องการให้อยู่ในสภาวะสมดุลนั่นเอง สำหรับส่วนที่เป็นแถบยืดหยุ่นเล็กๆ นั้นจะเป็นตัวทำให้เกิดแรงของการกระเด้งกลับรอบจุด 0 ดังที่แสดงไว้ในรูป ความจริงแล้วในช่วงของการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรของโลหะ (plastic deformation) ก็ยังคงมีส่วนที่เป็นความยืดหยุ่นปนอยู่เล็กน้อยซึ่งส่วนนี้จะไปเพิ่มแรงในการกระเด้งตัวกลับให้มากขึ้น

**วิธีป้องกันการเกิดการกระเด้งตัวกลับ (Overcoming springback)**

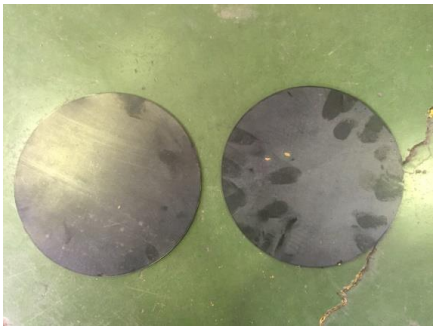
1. การงอให้มากกว่าความต้องการ วิธีนี้เป็นการงอโลหะให้มากเกินจำนวนที่ต้องการ ซึ่งเมื่อดึงพันช์กลับคืนไปจะทำให้โลหะนั้นกระเด้งตัวกลับไปเล็กน้อยและได้มุมที่ต้องการพอดี
2. การกดกระแทกชิ้นงานตรงบริเวณที่งอให้เป็นรอย วิธีนี้เป็นการใช้พั้นช์กดกระแทกโลหะอย่างแรงที่บริเวณรัศมีที่งอของชิ้นงาน ซึ่ง ณ ที่ตำแหน่งนี้โลหะจะได้รับความเค้นอย่างมาก ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการอยู่ตัวของโลหะที่บริเวณนั้นผ่านจุดความแข็งแรงล้าตัวของโลหะนั้น วิธีการกดกระแทกชิ้นงานตรงบริเวณที่งอให้เป็นรอยควรจะต้องทำรอยนูนขึ้นมาบนพั้นช์ เพื่อใช้ในการกระแทกบริเวณพื้นที่ที่ถูกงอ
3. การยึดชิ้นงานก่อนงอ วิธีนี้เป็นการยึดชิ้นงานนั้นเกิดความเค้นเลยจุดความแข็งแรงล้าตัวของชิ้นงานนั้น จากนั้นก็ใช้แรงกดชิ้นงานนั้นลงบนพันช์ซึ่งได้ตั้งรับชิ้นงานไว้แล้ว วิธีการนี้จะมีการกระเด้งกลับของชิ้นงานเกิดขึ้นเล็กน้อย และเหมาะสมสำหรับใช้กับการขึ้นรูปงานตื้นๆ เช่น กระโปรงครอบหน้าหม้อรถยนต์



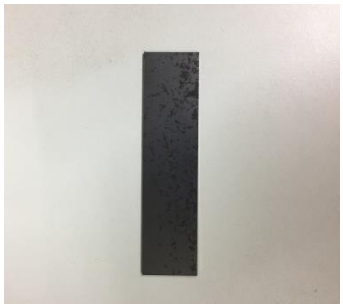
## 3. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องปั้มแผ่นโลหะ

2. แม่พิมพ์

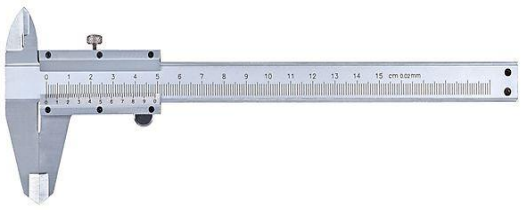


3. แผ่นโลหะกลม



4. แผ่นโลหะสี่เหลี่ยม

5. Profile Projector



6. Vernier Caliper

## 4. วิธีการทดลอง

1. ให้นักศึกษาทำการติดตั้งแม่พิมพ์สำหรับตัดแผ่นโลหะเข้ากับเครื่องปั้มแผ่นโลหะ

2. ให้นักศึกษาทำการทดลองโดยตัดแผ่นโลหะแบนสี่เหลี่ยมให้กลายเป็นแผ่นกลมและคำนวนค่า Maximum Cutting Force

3. ให้นักศึกษาทำการทดลองโดยขึ้นรูปแผ่นโลหะกลมให้กลายเป็นฐานเสาธง

4. ให้นักศึกษาทำการดัดแผ่นโลหะให้เกิดการงอตัว เพื่อศึกษาคุณสมบัติการดีดตัวกลับของโลหะเหล็กและอะลูมิเนียม

5. ให้นักศึกษาทำการวัดมุมการดีดตัวกลับของชิ้นงานและคำนวนค่าการดีดตัวกลับ (K)

## 5. ผลการทดลอง, วิเคราะห์ผล, สรุปผลการทดลอง

Blanking & Drawing

- วิเคราะห์ชิ้นงาน Appearance บน-ล่างว่าอะไรขึ้น เกิดได้อย่างไร , M.C.F เป็นอย่างไร
- วิเคราะห์การขึ้นรูปชิ้นงานเกิดในช่วงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติวัสดุอย่างไร
- สรุปตามผลการทดลอง

Bending & Spring Back

| วัสดุ \ ชิ้น | 1 (°) | 2 (°) | 3 (°) | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| แม่พิมพ์ | | | | |
| อะลูมิเนียม | | | | |
| เหล็ก | | | | |

- สร้างกราฟเทียบวัตถุกับมุมของงานที่วัดได้จริง
- วิเคราะห์เปรียบเทียบมุมดัดกับความหนา แม่พิมพ์กับอะลูมิเนียม, แม่พิมพ์กับเหล็ก, อะลูมิเนียมกับเหล็ก
- เปรียบเทียบผลของสัมประสิทธิ์ค่า K
- สรุปตามผลการทดลอง

## 6. คำถามท้ายการทดลอง

ให้นักศึกษาหาตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในชีวิตประจำวันที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการดังต่อไปนี้ พร้อมบอกเหตุผลทำไมต้องใช้กระบวนการดังกล่าว 1 ชิ้น/กระบวนการ

- Blanking
- Piercing
- Drawing
- Stretching
- Bending
- Coining