

# หัวข้อในการบรรยายในวันนี้

- การขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming)
- พื้นฐานการขึ้นรูปโลหะ (Basic Principle of Metal Forming)
- ทฤษฎีการงอ (Bending Theory)
- การจำแนกกระบวนการขึ้นรูปโลหะ
- การจำแนกตามวัสดุเริ่มต้น
  1. กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process)
  2. กระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process)
- การจำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปโลหะ
  1. การขึ้นรูปแบบร้อน (Hot Working)
  2. การขึ้นรูปแบบเย็น (Cold Working)

## การขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming)

การขึ้นรูปโลหะ คือกระบวนการเปลี่ยนรูปทรงวัตถุดิบโลหะในสถานะของแข็งให้เป็นรูปทรงตามต้องการ โดยใช้แรงกด, การดึง, หรือการตัดผ่านแม่พิมพ์ (Die/Tool) โดยไม่ทำลายคุณสมบัติวัสดุและมักไม่มีเศษวัสดุ แบ่งหลักๆ เป็นการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet) และ โลหะก้อน (Bulk)

# พื้นฐานการขึ้นรูปโลหะ (Basic Principle of Metal Forming)

กรรมวิธีการผลิตในภาค อุตสาหกรรม สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ตามมาตรฐาน DIN 8580 ซึ่งแบ่งประเภทได้ดังนี้

- กรรมวิธีการขึ้นรูปเบื้องต้น (Primary Shaping)
- กรรมวิธีการแยกส่วนของวัสดุ (Dividing)
- กรรมวิธีการต่อเชื่อม (Joining)
- กรรมวิธีการเคลือบผิว (Coating)
- กรรมวิธีการปรับปรุงสมบัติของวัสดุ (Modifying Material Property)
- กรรมวิธีการขึ้นรูป (Forming)

# ทฤษฎีการงอ (Bending Theory)

## การกระด้างตัวกลับของชิ้นงาน (Spring back)

- การเปลี่ยนแปลงของความเค้นดึงและความเค้นอัด
- แถบยืดหยุ่น (elastic band)

## วิธีป้องกันการเกิดการกระด้างตัวกลับ (Overcoming Spring back)

- การงอให้มากกว่าความต้องการ
- การกดกระทบชิ้นงานตรงบริเวณที่งอให้เป็นรอย
- การยืดชิ้นงานก่อนงอ

## การจำแนกกระบวนการขึ้นรูปโลหะ

โดยทั่วไปการขึ้นรูปโลหะจะสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ส่วน

### ➤ การจำแนกตามวัสดุเริ่มต้น

1. กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process)
2. กระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process)

### ➤ การจำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปโลหะ

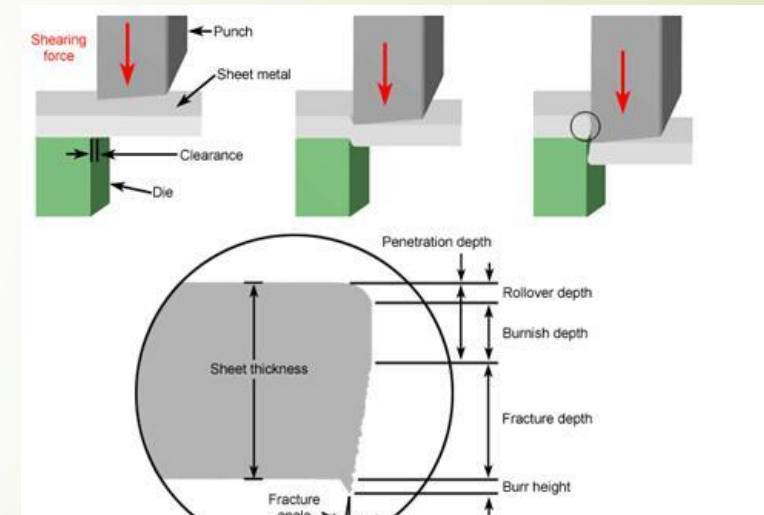
1. การขึ้นรูปแบบร้อน (Hot Working)
2. การขึ้นรูปแบบเย็น (Cold Working)

## กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process)

- การแปรรูปแผ่นโลหะบาง (โดยทั่วไปหนาน้อยกว่า 6 มม.) ให้เป็นรูปทรงต่าง ๆ ตามต้องการโดยใช้แรงกล (แรงกด/ดึง/เฉือน) ร่วมกับแม่พิมพ์ (Die & Punch) โดยเน้นการเปลี่ยนรูปร่างแต่ไม่เปลี่ยนแปลงเนื้อวัสดุมากนัก นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งกระบวนการนี้จะประกอบไปด้วยกรรมวิธีการตัดและการเฉือน (Shearing Process) ซึ่งเป็นกรรมวิธีการตัดแผ่นโลหะด้วย 펀ช์ (Punch) ใบมีด (Blade) และคายน (Die) เพื่อได้โลหะแผ่นที่มีรูปร่างตามที่ต้องการก่อนจะนำไปใช้ในกระบวนการต่อไป นั่นก็คือการพับขึ้นรูป (Bending Process) ที่เป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะด้วยการพับโลหะขึ้นจากแกนเส้นตรง จนโลหะมีความโค้งงอและมีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร
- มี 5 ประเภท

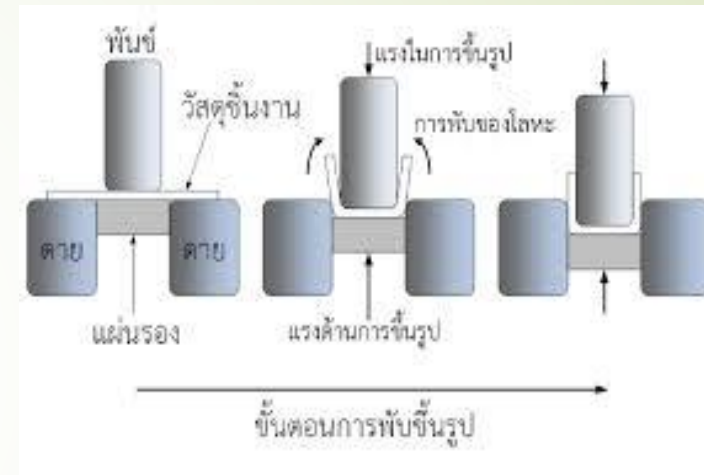
# กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process)

1. การตัด/เฉือน (Shearing/Blanking) คือกระบวนการแปรรูปโดยใช้แรงกลตัดแผ่นโลหะให้แยกจากกันผ่านแม่พิมพ์ (Punch & Die) โดย Blanking คือการตัดชิ้นงานให้ขาดออกมาตามรูปทรงที่ต้องการและนำชิ้นส่วนนั้นไปใช้ต่อ ในขณะที่ Shearing คือการตัดแผ่นโลหะแนวตรงเพื่อปรับขนาด เหมาะสำหรับการผลิตชิ้นส่วนจำนวนมาก ซึ่งการตัดลักษณะนี้จะเป็นการตัดแผ่นโลหะให้ได้ขนาดหรือรูปร่างต้นแบบที่ต้องการ



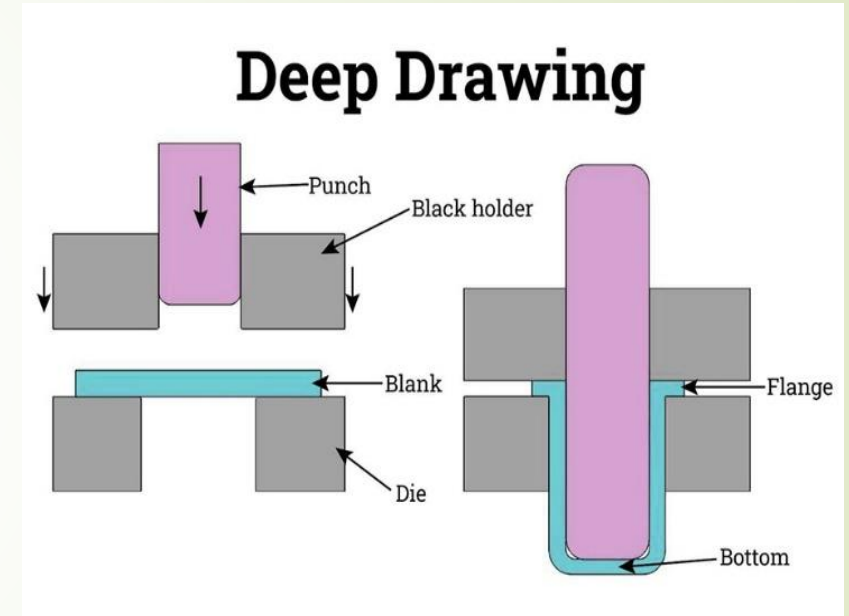
## กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process)

2. การพับโลหะ (Bending) คือกระบวนการแปรรูปแผ่นโลหะให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ เช่น เหล็ก สแตนเลส อลูมิเนียม ให้โค้งงอหรือเข้ามุมตามต้องการ โดยใช้แรงภายนอกกดทับผ่านแม่พิมพ์ (Die) และเครื่องพับโลหะ เทคนิคที่นิยมคือ Air Bending (ยึดหยุ่นสูง) และ Bottom Bending (ความแม่นยำสูง) ซึ่งช่วยสร้างรูปทรงชิ้นงานโดยไม่มีรอยเชื่อมเป็นการงอแผ่นโลหะให้ทำมุมตามต้องการ เช่น การพับตัว V หรือ U



## กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process)

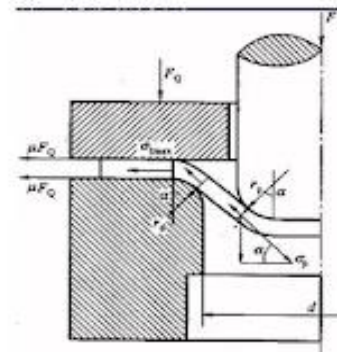
3. การลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) คือ กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Metal Forming) โดยใช้แม่พิมพ์ (Die) และตัวกด (Punch) ดันแผ่นโลหะให้เปลี่ยนรูปเป็นทรงกลวงหรือรูปถ้วยที่มีความลึกมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นการขึ้นรูปที่เน้นความนุ่มนวลและต่อเนื่อง เพื่อให้โลหะไหลตัวเข้าไปตามรูปทรงแม่พิมพ์โดยไม่ฉีกขาด มักใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ บรรจุก๊าซ และภาชนะบรรจุ เป็นการเปลี่ยนแผ่นโลหะแบนให้เป็นรูปทรงถ้วยหรือภาชนะที่มีความลึก



## กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process)

4. การปั๊มขึ้นรูป (Stamping/Pressing) คือกระบวนการผลิตชิ้นงานโลหะ โดยการใช้แรงกดมหาศาลจากเครื่องปั๊ม (Press Machine) ผ่านแม่พิมพ์ (Die) เพื่อเปลี่ยนรูปทรงของโลหะแผ่นให้เป็นชิ้นงานตามที่ต้องการในขั้นตอนเดียวหรือหลายขั้นตอนต่อเนื่องกัน

- การตัด (Cutting/Blanking)
- การเจาะรู (Piercing/Punching)
- การดัดงอ (Bending)
- การลากขึ้นรูป (Drawing/Deep Drawing)
- การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ต่อเนื่อง (Progressive Die Stamping)



## กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process)

5. การรีดขึ้นรูป (Roll Forming) คือ กระบวนการตัดโค้งแผ่นโลหะยาวต่อเนื่องผ่านชุดลูกกลิ้ง (Rollers) หลายๆ คู่ เพื่อเปลี่ยนรูปร่างทีละน้อยจนได้หน้าตัด (Profile) ตามต้องการ โดยปกติทำที่ อุณหภูมิห้อง (Cold Working) นิยมใช้ผลิตชิ้นส่วนยาวและปริมาณมาก เช่น หลังคา ผนัง รางตัว C และท่อ ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการส่งแผ่นโลหะผ่านลูกกลิ้งหลายชุดเพื่อขึ้นรูปอย่างต่อเนื่อง



## กระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process)

- ▶ เป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน จะประกอบไปด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกันมากมาย ไม่ว่าจะเป็น การทุบขึ้นรูป (Forging Process) การอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion Process) และการรีดขึ้นรูป (Rolling Process) โดยในแต่ละกรรมวิธี ก็จะมีกระบวนการทำงานที่แตกต่างกันออกไป
- ▶ มี 3 กระบวนการ ได้แก่

## กระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process)

1. การทุบขึ้นรูป (Forging Process) คือกระบวนการการแปรรูปโลหะให้กลายเป็นชิ้นงานต่างๆ โดยใช้แรงทุบของเครื่อง ไม่ว่าจะเป็นการทุบด้วยค้อน การตีกระทบ หรือการตีบีบ ซึ่งกรรมวิธีนี้มักจะถูกนำมาใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานโลหะที่มีรูปร่างเป็นบ่าหรือขอบ มี 4 ประเภท

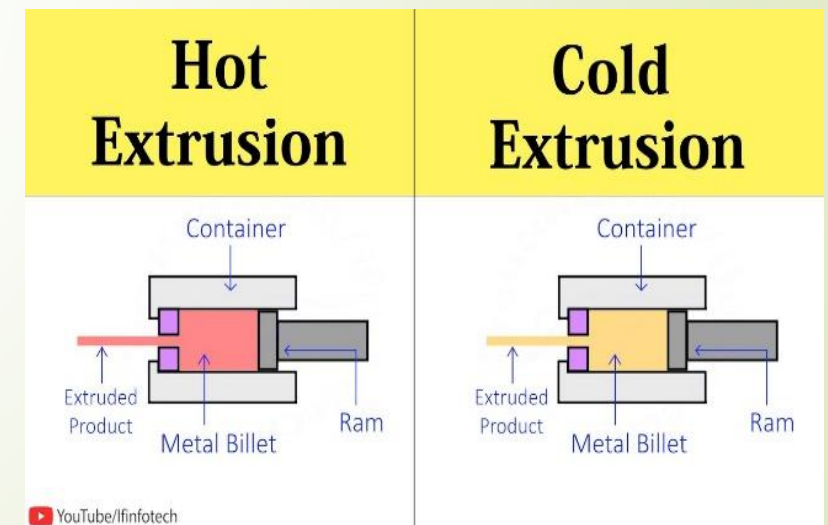
- ▶ การตีขึ้นรูปร้อน (Hot Forging)
- ▶ การตีขึ้นรูปเย็น (Cold Forging)
- ▶ การตีขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์เปิด (Open Die Forging)
- ▶ การตีขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ปิด (Closed Die Forging)



## กระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process)

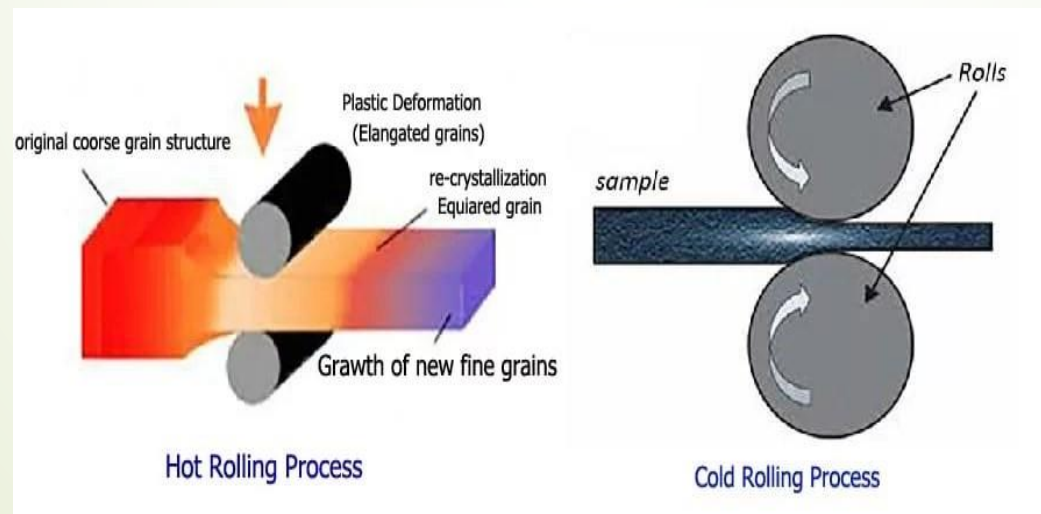
2. การอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion Process) คือกระบวนการการแปรรูปโลหะด้วยการนำโลหะเข้าไปในแม่พิมพ์แบบตาย (Die) เพื่อให้โลหะถูกบีบอัดหรือดันเข้าไปในแม่พิมพ์ และถูกผลักออกโดยใช้เครื่องอัดแบบกลไกหรือไฮดรอลิกส์ โดยลักษณะของพื้นผิวหน้าตัดของโลหะที่ได้จะขึ้นอยู่กับตายที่ใช้ แต่กรรมวิธีนี้จะทำให้สามารถได้ชิ้นงานโลหะที่ขึ้นรูปแล้วมีหน้าตัดที่ซับซ้อนและมีความสม่ำเสมอตลอดความยาว กระบวนการอัดรีดใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ดันแท่งโลหะ (Billet) ผ่านแม่พิมพ์

- การอัดรีดโดยตรง (Direct/Forward Extrusion)
- การอัดรีดโดยอ้อม (Indirect/Backward Extrusion)
- การอัดรีดเย็น (Cold Extrusion)
- การอัดรีดร้อน (Hot Extrusion):



## กระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process)

3. การรีดขึ้นรูป (Rolling Process) เป็นกระบวนการลดความหนา หรือเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัดของแผ่น โลหะ โดยใช้แรงกดผ่านทางลูกรีด ทำให้เกิดการบีบอัดลงบน โลหะ ทำให้ได้โลหะขึ้นรูปตามแบบที่ต้องการ



## การขึ้นรูปแบบร้อน (Hot Working)

- กระบวนการทำให้โลหะมีอุณหภูมิสูงจนทำให้เกิดการตกผลึกใหม่ แต่จะมีอุณหภูมิที่ต่ำหรือน้อยกว่าการหลอมของโลหะหรือวัสดุนั้น ๆ จนเปลี่ยนรูปร่าง ซึ่งการขึ้นรูปโลหะแบบร้อนนั้นมีหลายวิธี เช่น การตีขึ้นรูป (Forging) การรีดร้อน (Hot Rolling) การดึงและกดขึ้นรูป (Drawing & Cupping) การเชื่อมต่องานท่อ (Pipe Welding) การแทงขึ้นรูป (Piercing) การเคลื่อนไหลขึ้นรูป (Extruding) และ การหมุนขึ้นรูป (Spinning)

## การขึ้นรูปแบบเย็น (Cold Working)

- ▶ เป็นกระบวนการรีดและขึ้นรูปโลหะ เพื่อให้โลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างอย่างถาวร โดยจะใช้อุณหภูมิประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส ซึ่งการขึ้นรูปโลหะแบบเย็นนั้นก็มีด้วยกันหลายกรรมวิธี ไม่ว่าจะเป็น การดัดงอ (Bending) การรีดเย็น (Cold Rolling) การอัดรีด (Extruding) การบีดงอ (Squeezing) การรีดขึ้นรูป (Shear Spinning) การตัดยืด (Stretching) การงอตรง (Straight Bending) การตีขึ้นรูป (Shot Peening) การขึ้นรูปพิมพ์ลึก (Deep Drawing) การกระแทกขึ้นรูป (Forging) หรือการแทงขึ้นรูป (Hobbling)

## องค์ประกอบสำคัญในการขึ้นรูปโลหะ

- **เครื่องจักร (Machine)** เครื่องจักรสำหรับขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming Machine) เป็นอุปกรณ์หลักในอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้แรงกด พับ ตัด หรือรีด เพื่อเปลี่ยนรูปร่างโลหะแผ่นหรือชิ้นงานให้ได้รูปทรงที่ต้องการ
- **แม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ (Die/Tooling)** เป็นอุปกรณ์ความแม่นยำสูงที่ใช้แรงกดดันจากเครื่องจักร (เช่น เครื่องปั๊ม) เปลี่ยนรูปร่างวัตถุดิบโลหะแข็งให้เป็นชิ้นงานตามต้องการ โดยไม่เสียหายวัสดุ แบ่งหลักๆ เป็นแม่พิมพ์เดี่ยว (Single) แม่พิมพ์ต่อเนื่อง (Progressive) และแม่พิมพ์ถ่ายโอน (Transfer) ตามความซับซ้อนและการผลิต
- **วัตถุดิบ (Material)** ที่นิยมใช้ในการขึ้นรูปโลหะคือ โลหะที่มีความเหนียวและอ่อนตัวสูง (Ductility) เพื่อให้เปลี่ยนรูปร่างได้โดยไม่แตกหัก ได้แก่ เหล็กกล้า (Steel) อลูมิเนียม (Aluminum) ทองเหลือง (Brass) ทองแดง (Copper) และสแตนเลส (Stainless Steel) โดยมีรูปแบบหลักเป็นแผ่น (Sheet) หรือแท่ง/ก้อน (Bar/Billet) ขึ้นอยู่กับกระบวนการ

## ข้อพิจารณาสำคัญในการขึ้นรูปโลหะ

- คุณสมบัติของวัสดุ (Material Properties)
- ประเภทการขึ้นรูป ประกอบด้วย การขึ้นรูปเย็น (Cold Forming)
- รูปร่างและความซับซ้อน
- การออกแบบแม่พิมพ์และเครื่องมือ (Die & Tooling)
- ต้นทุนและปริมาณการผลิต (Cost & Volume)
- สภาพการผลิต (Process Conditions)
- การป้องกันความเสียหาย (Defect Prevention)

