

บทที่ 3

การขึ้นรูปโลหะ

การขึ้นรูปโลหะเป็นพื้นฐานสำคัญของอุตสาหกรรมสมัยใหม่ ตั้งแต่การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อะไหล่เครื่องจักร ไปจนถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และงานอุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ จำนวนมาก

การขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming) คือกระบวนการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุโลหะในสถานะของแข็งให้เป็นรูปทรงตามต้องการ โดยใช้แรงกด, การดึง, หรือการตัดผ่านแม่พิมพ์ (Die/Tool) โดยไม่ทำลายคุณสมบัติวัสดุและมักไม่มีเศษวัสดุ แบ่งหลักๆ เป็นการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet) และโลหะก้อน (Bulk)

แต่ในบางสถานการณ์อาจกล่าวได้ว่า การขึ้นรูปโลหะคือกระบวนการเปลี่ยนรูปร่างโลหะอย่างถาวรในสถานะของแข็ง โดยใช้แรงทางกล (ดัด, อัด, ดึง, บีบ) ผ่านแม่พิมพ์ (Die) เพื่อให้ได้รูปร่างที่ต้องการโดยไม่เสียเศษวัสดุ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงานและประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด

พื้นฐานการขึ้นรูปโลหะ

พื้นฐานการขึ้นรูปโลหะ (Basic Principle of Metal Forming) ครอบคลุมการผลิตในภาคอุตสาหกรรม สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ตามมาตรฐาน DIN 8580 ซึ่งแบ่งประเภทได้ดังนี้

1. กรรมวิธีการขึ้นรูปเบื้องต้น (Primary Shaping) จากของแข็ง ของเหลว และก๊าซ
2. กรรมวิธีการแยกส่วนของวัสดุ (Dividing) โดยปราศจากเศษวัสดุ
3. กรรมวิธีการต่อเชื่อม (Joining) โดยประกอบชิ้นงานหลายๆ ชิ้นเข้าด้วยกัน
4. กรรมวิธีการเคลือบผิว (Coating) การนำสารเคลือบชนิดต่าง ๆ มาเคลือบบนผิวชิ้นงานเป็นชั้นบาง ๆ (Thin Layers)
5. กรรมวิธีการปรับปรุงสมบัติของวัสดุ (Modifying Material Property) เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน เช่น กรรมวิธี ทางความร้อน (Heat Treatment Processes)
6. กรรมวิธีการขึ้นรูป (Forming) เป็นกรรมวิธีการผลิต ชนิดงาน 3 มิติ เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างชนิดงานโดยยังคงลักษณะเป็น มวล (Mass) และการยึดเกาะเป็น กลุ่มก้อนของวัสดุ (Material Cohesion)

ทฤษฎีการงอ (Bending Theory)

ในการขึ้นรูปโลหะโดยการงอขึ้นรูปนั้น เราต้องให้แรงแก่ชิ้นงานทั้งนี้ เพื่อให้ชิ้นงานนั้นเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร ซึ่งแรงที่ให้แก่ชิ้นงานนั้นจะต้องไม่ทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานมากกว่าความเค้นดึงสูงสุดของชิ้นงานนั้น และจะต้อง ไม่น้อยกว่าจุดยึดหยุ่นจำกัดของชิ้นงานนั้น เมื่อเราให้แรงแก่ชิ้นงานเพื่อทำการงอจะปรากฏว่าความเค้นของชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะเริ่มจากบางจุดที่ต่ำกว่า ความแข็งแรงสูงสุดของโลหะนั้น และความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นจะแผ่กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงาน ซึ่งขณะที่แผ่กระจาย นั้น ความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานก็จะค่อยๆ ลดลงด้วยจนถึงบริเวณที่ความเค้นที่

เกิดขึ้นบนชิ้นงานเป็นศูนย์ ซึ่งลักษณะการ เกิดความเค้นบนชิ้นงานแบบนี้ จะทำให้เกิดการบิดงอของ ชิ้นงานมากกว่าจะเกิดการฉีกขาด สำหรับการเปลี่ยนแปลง รูปร่างอย่างถาวรของโลหะนั้นความเค้นที่ เกิดขึ้นบนชิ้นงานจะต้องผ่านจุดยืดหยุ่นจำกัดและจุดล้าตัวด้วย เป็นการแสดงถึงการเกิดแรงที่ใช้ใน การงอบนด้ายชนิดต่าง ๆ กัน สำหรับวี-ตาย (V-die) นั้นเราจะพบว่ามีการแผ่กระจาย ของแรงเกิดขึ้น มากที่สุด ส่วน ยู-ตาย (u-die) และวีปิ้ง-ตาย (Wiping-die) นั้นนิยมใช้ในการผลิตชิ้นงานมาก และ ยู-ตาย มักจะนิยมเรียกว่า ชาเนล ตาย (channel die)

การกระด้างตัวกลับของชิ้นงาน (Spring back)

เมื่อได้ทำการงอชิ้นงานแล้วจะมีความเค้นเกิดขึ้นในบริเวณที่ทำการงอ และความเค้นที่เกิดขึ้น นี้จะมีความแตกต่างกัน คือไม่เหมือนกันทุกจุดซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการกระด้างตัวกลับของชิ้นงาน ความเค้นดิ่งจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่ผิวหน้าด้าน นอกของการงอและจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ เมื่อระยะ ของชิ้นงานเข้าใกล้เส้นศูนย์กลางของความหนา ซึ่งความเค้นที่เกิดขึ้นนี้ จะกลายเป็นศูนย์ที่เส้น แกนกลาง จากรูปที่ 8 เป็นการแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของความเค้นดิ่งและความเค้นอัดในบริเวณ ที่มีการงอจากรูปจะเห็นได้ว่าที่จุด 0 นั้น ความเค้นดิ่งจะมีค่าเป็นศูนย์ซึ่งจุดนี้จะอยู่บนเส้นแกนกลาง และค่าความเค้นจะ เพิ่มขึ้นมากเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุด x ที่ผิวด้านนอกของชิ้นงานที่จุด x นี้จะมีค่า ความเค้นดิ่งเกิดมากที่สุด

เราจะเห็นได้ว่าบริเวณส่วนที่ใกล้กับเส้นแกนกลางนั้นจะมีความเค้นที่เกิดขึ้นต่ำกว่าจุด ยืดหยุ่น จำกัด สำหรับโลหะส่วนนี้นั้นได้ถูกแสดงด้วยแถบเล็ก ๆ ที่เรียกว่าแถบยืดหยุ่น (elastic band) แถบเล็ก ๆ นี้จะอยู่ทั้งสองข้างของเส้นแกนกลาง โลหะที่อยู่ห่างไปจากแถบกลางของชิ้นงานจะ มีความเค้นเกิดขึ้นมากกว่าจุดความแข็งแรงล้าตัวของ ชิ้นงานนั้น และที่บริเวณนี้จะมีการเปลี่ยนแปลง ของโลหะอย่างถาวร เมื่อได้ทำการงอชิ้นงานแล้วและขณะที่ดึงเอาพันธ้ออกไปนั้น ส่วนที่เป็นแถบ ยืดหยุ่นเล็ก ๆ ก็จะพยายามดึงตัวกลับเข้าอยู่ในตำแหน่งเดิม แต่ก็ไม่สามารถจะดึงตัวกลับคืนได้ หหมด เพราะมีความต้านทานของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงของโลหะอย่างถาวร ดังนั้นจึงมีการกระด้างกลับ เพียงเล็กน้อย เท่านั้นการที่โลหะกระด้างตัวกลับนี้เรียกว่า “Spring back” สาเหตุที่โลหะต้องกระด้าง กลับก็เพราะว่าต้องการให้อยู่ใน สภาวะสมดุลนั่นเอง สำหรับส่วนที่เป็นแถบยืดหยุ่นเล็ก ๆ นั้นจะเป็น ตัวทำให้เกิดแรงของการกระด้างกลับรอบจุด 0 ตามที่แสดงไว้ในรูป ความจริงแล้วในช่วงของการ เปลี่ยนแปลงอย่างถาวรของโลหะ (plastic deformation) ก็ยังคงมีส่วนที่เป็น ความยืดหยุ่นปนอยู่ เล็กน้อยซึ่งส่วนนี้จะไปเพิ่มแรงในการกระด้างตัวกลับให้มากขึ้น

วิธีป้องกันการเกิดการกระด้างตัวกลับ (Overcoming Spring back)

1. การงอให้มากกว่าความต้องการวิธีนี้เป็น การงอโลหะให้มากเกินจำนวนที่ต้องการซึ่งเมื่อดึง พันซ์กลับคืนไปจะ ทำให้โลหะนั้นกระด้างตัวกลับไปเล็กน้อยและได้มุมที่ต้องการพอดี
2. การกดกระทบบนชิ้นงานตรงบริเวณที่งอให้เป็นรอยวิธีนี้เป็น การใช้พันธักกระทบโลหะอย่าง แรงที่บริเวณรัศมี ที่งอของชิ้นงาน ซึ่ง ณ ที่ตำแหน่งนี้โลหะจะได้รับความเค้นอย่างมาก ซึ่งจะเป็นผล ทำให้เกิดการอยู่ตัวของ โลหะที่บริเวณนั้นผ่านจุดความแข็งแรงล้าตัวของโลหะนั้น วิธีการกดกระทบ

ชิ้นงานตรงบริเวณที่งอให้เป็นรอย ควรจะต้องทารอยนูนขึ้นมาบนพื้นผิว เพื่อใช้ในการกระแทกบริเวณพื้นที่ที่ถูกลง

3. การยึดชิ้นงานก่อนงอ วิธีนี้เป็นการยึดชิ้นงานนั้นเกิดความเค้นเลยจุดความแข็งแรงลำตัวของชิ้นงานนั้น จากนั้นก็ใช้แรงกดชิ้นงานนั้นลงบนพื้นผิวซึ่งได้ตั้งรับชิ้นงานไว้แล้ว วิธีการนี้จะมีการกระด้างกลับของชิ้นงาน เกิดขึ้นเล็กน้อย และเหมาะสมสำหรับใช้กับการขึ้นรูปงานต้นๆ เช่น กระโปรงครอบหน้าหม้อรถยนต์

การจำแนกกระบวนการขึ้นรูปโลหะ

โดยทั่วไปการขึ้นรูปโลหะจะสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ส่วน คือและการจำแนกตามวัสดุเริ่มต้นและการจำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปโลหะ

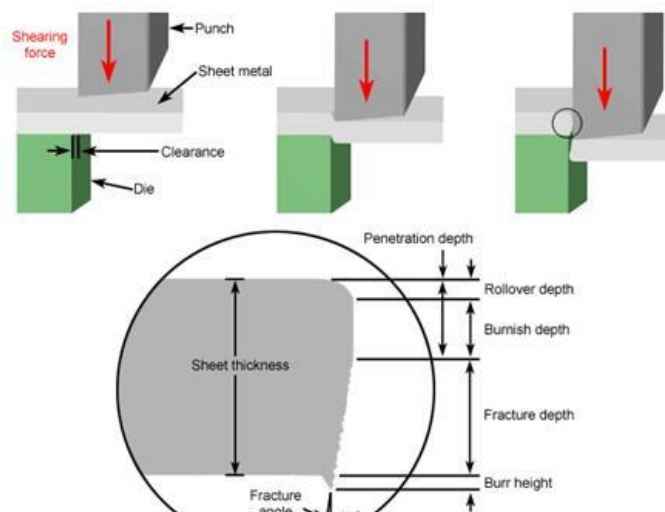
1. การจำแนกตามวัสดุเริ่มต้น

ในการจำแนกการขึ้นรูปโลหะ ที่จำแนกตามวัสดุเริ่มต้นนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process) และกระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process) ดังนี้

1.1 กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process) คือการแปรรูปแผ่นโลหะบาง (โดยทั่วไปหนาน้อยกว่า 6 มม.) ให้เป็นรูปทรงต่าง ๆ ตามต้องการโดยใช้แรงกล (แรงกด/ดึง/เฉือน) ร่วมกับแม่พิมพ์ (Die & Punch) โดยเน้นการเปลี่ยนรูปร่างแต่ไม่เปลี่ยนแปลงเนื้อวัสดุมากนัก นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์และเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งกระบวนการนี้จะประกอบไปด้วยกรรมวิธีการตัดและการเฉือน (Shearing Process) ซึ่งเป็นกรรมวิธีการตัดแผ่นโลหะด้วยพื้นผิว (Punch) ใบมีด (Blade) และตาย (Die) เพื่อได้โลหะแผ่นที่มีรูปร่างตามที่ต้องการก่อนจะนำไปใช้ในกระบวนการต่อไป นั่นก็คือการพับขึ้นรูป (Bending Process) ที่เป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะด้วยการพับโลหะขึ้นจากแกนเส้นตรง จนโลหะมีความโค้งงอและมีการเปลี่ยนรูปร่างไปอย่างถาวร ทำให้โลหะมีความลึกในระดับที่มากกว่าหรือเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน เช่น ครอบน้ำอัดลม หรือบรรจุภัณฑ์อาหาร เป็นต้น

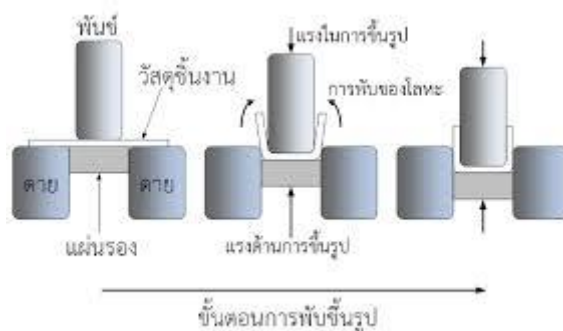
กระบวนการหลักที่สำคัญ

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



ภาพที่ 3.1 แสดงการตัด/เฉือน (Shearing/Blanking)

1.1.2 การพับโลหะ (Bending) คือกระบวนการแปรรูปแผ่นโลหะให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ เช่น เหล็ก สแตนเลส อลูมิเนียม ให้โค้งงอหรือเข้ามุมตามต้องการโดยใช้แรงภายนอกกดทับผ่านแม่พิมพ์ (Die) และเครื่องพับโลหะ เทคนิคที่นิยมคือ Air Bending (ยึดหยุ่นสูง) และ Bottom Bending (ความแม่นยำสูง) ซึ่งช่วยสร้างรูปทรงชิ้นงานโดยไม่มีรอยเชื่อมเป็นการงอแผ่นโลหะให้ทำมุมตามต้องการ เช่น การพับตัว V หรือ U

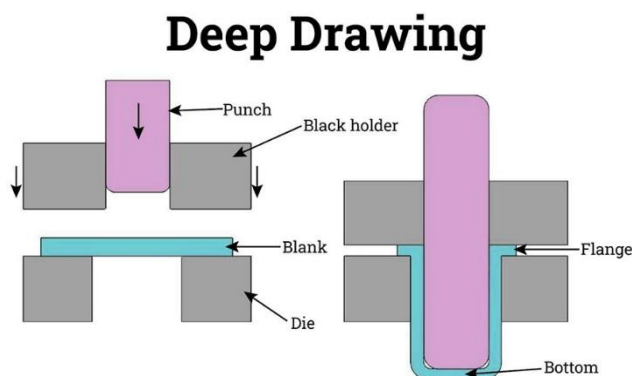


ภาพที่ 3.2 แสดงการพับโลหะ (Bending)

1.1.3 การลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) คือกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Metal Forming) โดยใช้แม่พิมพ์ (Die) และตัวกด (Punch) ดันแผ่นโลหะให้เปลี่ยนรูปเป็นทรงกลวงหรือรูปถ้วยที่มีความลึกมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็นการขึ้นรูปที่เน้นความนุ่มนวลและต่อเนื่อง เพื่อให้โลหะไหลตัวเข้าไปตามรูปทรงแม่พิมพ์โดยไม่ฉีกขาด มักใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ บรรจุก๊าซ และภาชนะบรรจุ เป็นการเปลี่ยนแผ่นโลหะแบนให้เป็นรูปทรงถ้วยหรือภาชนะที่มีความลึก

หลักการทำงานและองค์ประกอบสำคัญ

- 1) กระบวนการ โดยแผ่นโลหะ (Blank) จะถูกวางบนแม่พิมพ์ตัวเมีย (Die) แล้วใช้แม่พิมพ์ตัวผู้ (Punch) กดลงไป ทำให้เนื้อโลหะไหลตัวเข้าสู่โพรงแม่พิมพ์ภายใต้แรงดึงและแรงอัด
- 2) องค์ประกอบหลัก จะประกอบด้วยแม่พิมพ์ตัวผู้ (Punch) แม่พิมพ์ตัวเมีย (Die) และแผ่นจับชิ้นงาน (Blank Holder) เพื่อป้องกันการเกิดรอยย่น (Wrinkling)
- 3) การเปลี่ยนรูป โดยโลหะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปถาวร (Plastic Deformation) โดยบริเวณปีกจะได้รับแรงอัด (Compressive Stress) และบริเวณผนังจะได้รับแรงดึง (Tensile Stress)



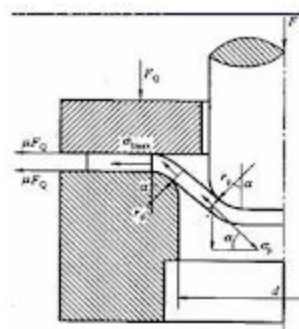
ภาพที่ 3.3 แสดงการลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing)

1.1.4 การปั๊มขึ้นรูป (Stamping/Pressing) คือกระบวนการผลิตชิ้นงานโลหะโดยการใช้แรงกดมหาศาลจากเครื่องปั๊ม (Press Machine) ผ่านแม่พิมพ์ (Die) เพื่อเปลี่ยนรูปทรงของโลหะแผ่นให้เป็นชิ้นงานตามที่ต้องการในขั้นตอนเดียวหรือหลายขั้นตอนต่อเนื่องกัน เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูงในอุตสาหกรรมยานยนต์และอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำสูง เป็นการใช้เครื่องปั๊มกดแผ่นโลหะให้เกิดรูปร่าง

กระบวนการปั๊มสามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ดังนี้

1. การตัด (Cutting/Blanking) การปั๊มเพื่อตัดแผ่นโลหะให้ขาดออกจากกันตามรูปร่างที่ต้องการ
2. การเจาะรู (Piercing/Punching) การเจาะรูบนแผ่นโลหะ โดยที่เศษโลหะจะถูกทิ้งไป

3. การดัดงอ (Bending) การเปลี่ยนรูปทรงโลหะให้โค้งหรือเป็นมุมตามแม่พิมพ์ เช่น การดัดตัววี (V-bending)
4. การลากขึ้นรูป (Drawing/Deep Drawing) การทำให้โลหะแผ่นยึดตัวออกเป็นรูปทรงถ้วยหรือทรงกระบอกที่มีความลึก
5. การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ต่อเนื่อง (Progressive Die Stamping) การปั๊มที่รวมหลายขั้นตอนไว้ในแม่พิมพ์ชุดเดียว ชิ้นงานจะเคลื่อนที่ผ่านสถานะต่าง ๆ จนเสร็จสมบูรณ์



Four-column hydraulic press Deep drawing stamping die Force analysis of each part of blank

ภาพที่ 3.4 แสดงการปั๊มขึ้นรูป (Stamping/Pressing)

1.1.5 การรีดขึ้นรูป (Roll Forming) คือกระบวนการตัดโค้งแผ่นโลหะยาวต่อเนื่องผ่านชุดลูกกลิ้ง (Rollers) หลายๆ คู่ เพื่อเปลี่ยนรูปร่างที่ละน้อยจนได้หน้าตัด (Profile) ตามต้องการ โดยปกติทำที่อุณหภูมิห้อง (Cold Working) นิยมใช้ผลิตชิ้นส่วนยาวและปริมาณมาก เช่น หลังคา ผนัง รางตัว C และท่อ ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการส่งแผ่นโลหะผ่านลูกกลิ้งหลายชุดเพื่อขึ้นรูปอย่างต่อเนื่อง

หลักการและกระบวนการทำงาน

1. การป้อนวัสดุ เป็นการป้อนแผ่นโลหะ (ม้วน) ถูกป้อนเข้าเครื่อง
2. ชุดลูกกลิ้ง แผ่นโลหะผ่านชุดลูกกลิ้งที่จัดวางอย่างต่อเนื่อง โดยแต่ละคู่จะค่อยๆ ดัดหรือพับโลหะไปที่ละส่วนจนได้รูปทรงสุดท้าย

3. การตัด ชิ้นงานจะถูกตัดตามความยาวที่ต้องการเมื่อผ่านขั้นตอนการรีด

ทั้งหมด



ภาพที่ 3.5 แสดงการรีดขึ้นรูป (Roll Forming)

1.2 กระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process) กระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน จะประกอบไปด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกันมากมาย ไม่ว่าจะเป็น การทุบขึ้นรูป (Forging Process) การอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion Process) และการรีดขึ้นรูป (Rolling Process) โดยในแต่ละกรรมวิธี ก็จะมีกระบวนการทำงานที่แตกต่างกันออกไป โดยเราขยายรายละเอียดทั้ง 3 กระบวนการดังนี้

1.2.1 การทุบขึ้นรูป (Forging Process) คือกระบวนการการแปรรูปโลหะให้กลายเป็นชิ้นงานต่าง ๆ โดยใช้แรงทุบของเครื่อง ไม่ว่าจะเป็นการทุบด้วยค้อน การตีกระทบแทก หรือการตีปั๊ม ซึ่งกรรมวิธีนี้มักจะถูกนำมาใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานโลหะที่มีรูปร่างเป็นบ่าหรือขอบ

ประเภทของการทุบขึ้นรูป (Forging Types)

1. การตีขึ้นรูปร้อน (Hot Forging) ทำที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดตกผลึกใหม่ เพื่อลดความแข็งแรงของโลหะ ทำให้ขึ้นรูปง่ายและเนื้อโลหะมีความเหนียว

2. การตีขึ้นรูปเย็น (Cold Forging) ทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความแม่นยำของขนาดชิ้นงาน

3. การตีขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์เปิด (Open Die Forging) โลหะถูกทุบระหว่างแม่พิมพ์แบน หรือแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างเรียบง่าย

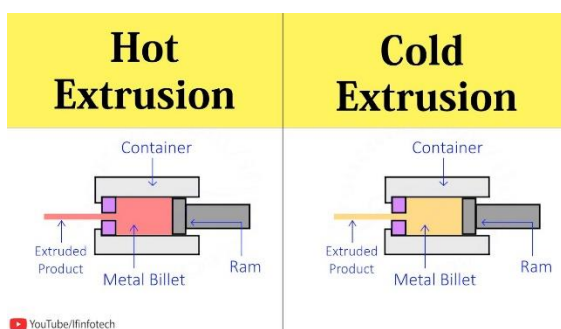
4. การตีขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ปิด (Closed Die Forging) โลหะถูกบีบอัดลงในแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างเฉพาะ ทำให้ได้รายละเอียดชิ้นงานที่ซับซ้อนและแม่นยำ



ภาพที่ 3.6 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์การทุบขึ้นรูปร้อน (hot Forging)

1.2.2 การอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion Process) คือกระบวนการการแปรรูปโลหะ ด้วยการนำโลหะเข้าไปในแม่พิมพ์แบบตาย (Die) เพื่อให้โลหะถูกบีบอัดหรือดันเข้าไปในแม่พิมพ์ และถูกผลักออกโดยใช้เครื่องอัดแบบกลไกหรือไฮดรอลิกส์ โดยลักษณะของพื้นผิวหน้าตัดของโลหะที่ได้จะขึ้นอยู่กับตายที่ใช้ แต่กรรมวิธีนี้จะทำให้สามารถได้ชิ้นงานโลหะที่ขึ้นรูปแล้วมีหน้าตัดที่ซับซ้อนและมีความสม่ำเสมอตลอดความยาว กระบวนการอัดรีดใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ดันแท่งโลหะ (Billet) ผ่านแม่พิมพ์ โดยแบ่งประเภทหลักๆ ดังนี้

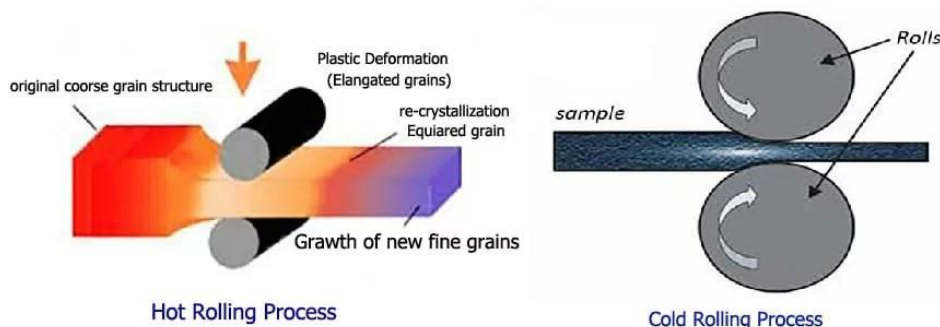
1. การอัดรีดโดยตรง (Direct/Forward Extrusion): โลหะไหลไปในทิศทางเดียวกับก้านกด (Ram) เป็นวิธีที่นิยมใช้ที่สุด
2. การอัดรีดโดยอ้อม (Indirect/Backward Extrusion): แม่พิมพ์จะอยู่ปลายก้านกดและเคลื่อนที่ย้อนกลับมาหาเนื้อโลหะ ช่วยลดแรงเสียดทาน
3. การอัดรีดเย็น (Cold Extrusion): ทำที่อุณหภูมิห้อง สำหรับโลหะที่อ่อนกว่า เพื่อความแม่นยำสูง
4. การอัดรีดร้อน (Hot Extrusion): ทำที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องถึง 0.5-0.75 เท่าของจุดหลอมเหลว สำหรับอลูมิเนียมหรือทองแดง



ภาพที่ 3.7 แสดงการอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion Process)

1.2.3 การรีดขึ้นรูป (Rolling Process) เป็นกระบวนการลดความหนา หรือเปลี่ยนขนาดพื้นที่หน้าตัดของแผ่นโลหะ โดยใช้แรงกดผ่านทางลูกรีด ทำให้เกิดการบีบอัดลงบนโลหะ ทำให้ได้โลหะขึ้นรูปตามแบบที่ต้องการ กระบวนการรีดขึ้นรูปมีหลักการทำงานดังนี้

1. การลดความหนา/พื้นที่หน้าตัด: ลูกกลิ้งทรงกระบอกจะบีบอัดและยืดโลหะ ส่งผลให้ความหนาลดลงและความยาวเพิ่มขึ้น
2. การปรับรูปทรง: ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเป็นตัวกำหนดความหนาของชิ้นงาน
3. ความต่อเนื่อง: เป็นการผลิตต่อเนื่องที่ได้รับความนิยมสูงในอุตสาหกรรม เพราะต้นทุนต่ำและได้ผลผลิตจำนวนมาก



ภาพที่ 3.8 แสดงการรีดขึ้นรูป (Rolling Process)

2. การจำแนกตามกระบวนการแปรรูปขึ้นรูปโลหะ

เช่นเดียวกันกับการจำแนกตามวัสดุเริ่มต้น การจำแนกตามกระบวนการแปรรูปขึ้นรูปโลหะ ก็สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ด้วยเช่นกัน คือ การขึ้นรูปแบบร้อน (Hot Working) และการขึ้นรูปแบบเย็น (Cold Working)

2.1 การขึ้นรูปแบบร้อน (Hot Working) คือ กระบวนการทำให้โลหะมีอุณหภูมิสูงจนทำให้เกิดการตกผลึกใหม่ แต่จะมีอุณหภูมิต่ำหรือน้อยกว่าการหลอมของโลหะหรือวัสดุนั้น ๆ จนเปลี่ยนรูปร่าง ซึ่งการขึ้นรูปโลหะแบบร้อนนั้นมีหลายวิธี เช่น การตีขึ้นรูป (Forging) การรีดร้อน (Hot Rolling) การดึงและกดขึ้นรูป (Drawing & Cupping) การเชื่อมต่อท่อ (Pipe Welding) การแทงขึ้นรูป (Piercing) การเคลื่อนไหลขึ้นรูป (Extruding) และ การหมุนขึ้นรูป (Spinning)

2.2 การขึ้นรูปแบบเย็น (Cold Working) คือ กระบวนการรีดและขึ้นรูปโลหะ เพื่อให้โลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างอย่างถาวร โดยจะใช้อุณหภูมิต่ำประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส ซึ่งการขึ้นรูปโลหะแบบเย็นนั้นก็มีด้วยกันหลายกรรมวิธี ไม่ว่าจะเป็น การดัดงอ (Bending) การรีดเย็น (Cold Rolling) การอัดรีด (Extruding) การบีบงอ (Squeezing) การรีดขึ้นรูป (Shear Spinning) การตัดยัด (Stretching) การงอตรง (Straight Bending) การตีขึ้นรูป (Shot Peening) การขึ้นรูปพิมพ์ลึก (Deep Drawing) การกระแทกขึ้นรูป (Forging) หรือการแทงขึ้นรูป (Hobbling)

โดยสรุปแล้วประเภทของการขึ้นรูปโลหะ สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ และการจำแนกตามวัสดุเริ่มต้น มี 2 ประเภท ได้แก่ การขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Working) เช่น การปั๊ม (Stamping) การดัด (Bending) การลากขึ้นรูป (Deep Drawing) และการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Forming) เช่น การตีขึ้นรูป (Forging) การรีด (Rolling) การอัดรีด (Extrusion) สำหรับการจำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปโลหะ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การขึ้นรูปร้อน (Hot Working) เป็นการขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดตกผลึกใหม่ (Recrystallization) ทำให้โลหะอ่อนตัว ขึ้นรูปทรงซับซ้อนได้ง่าย และการขึ้นรูปเย็น (Cold Working) เป็นการขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความแม่นยำสูง

องค์ประกอบสำคัญในการขึ้นรูปโลหะ

1. เครื่องจักร (Machine) เครื่องจักรสำหรับขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming Machine) เป็นอุปกรณ์หลักในอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้แรงกด พับ ตัด หรือรีด เพื่อเปลี่ยนรูปร่างโลหะแผ่นหรือชิ้นงานให้ได้รูปทรงที่ต้องการ ประเภทหลัก เช่น เครื่องเพรส (Press Machine) หรือเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ซึ่งรายละเอียดเครื่องจักรขึ้นรูปโลหะที่สำคัญมีดังนี้

1.1 เครื่องปั๊มขึ้นรูป (Stamping Press/Press Machine): ใช้แม่พิมพ์ตัวผู้-ตัวเมียในการตัด เจาะ หรือขึ้นรูปโลหะแผ่น มีทั้งระบบแมคคานิคและไฮดรอลิก สำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง มักใช้ Servo Press เป็นต้น

1.2 เครื่องพับโลหะ (Press Brake): เครื่องจักรสำหรับพับแผ่นโลหะให้ได้มุมตามต้องการ เหมาะสำหรับงานโครงสร้าง

1.3 เครื่องม้วนโลหะแผ่น (Sheet Metal Rolling Machine): ใช้ลูกกลิ้งหลายชุดเพื่อตัดโลหะแผ่นให้เป็นรูปทรงโค้งหรือทรงกระบอก

1.4 เครื่องรีดขึ้นรูป (Roll Forming Machine): เหมาะสำหรับการผลิตชิ้นส่วนต่อเนื่อง เช่น แผ่นเมทัลชีท, การ์ดเรล (Guardrail) หรือชั้นวางของ

1.5 เครื่องตัดโลหะแผ่น (Shearing Machine): ใช้ตัดแผ่นโลหะขนาดใหญ่ให้ได้ขนาดแม่นยำก่อนนำไปขึ้นรูป

การเลือกเครื่องจักรที่เหมาะสมช่วยให้การผลิตมีประสิทธิภาพและได้คุณภาพตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจัยในการเลือกใช้เครื่องจักร ได้แก่

- 1) ประเภทการขึ้นรูป: พับ, ม้วน, ปั๊ม
- 2) ความหนาของโลหะ: เครื่องจักรต้องรองรับแรงกด (Tonnage) ได้เหมาะสม
- 3) ความเร็วและความแม่นยำ: เซอร์โวเพรสจะให้ผลผลิตสูงและแม่นยำกว่าเครื่องจักรทั่วไป

2. แม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ (Die/Tooling) เป็นอุปกรณ์ความแม่นยำสูงที่ใช้แรงกดดันจากเครื่องจักร (เช่น เครื่องปั๊ม) เปลี่ยนรูปร่างวัตถุดิบโลหะแข็งให้เป็นชิ้นงานตามต้องการ โดยไม่เสียเศษวัสดุ แบ่งหลักๆ เป็นแม่พิมพ์เดี่ยว (Single) แม่พิมพ์ต่อเนื่อง (Progressive) และแม่พิมพ์ถ่ายโอน (Transfer) ตามความซับซ้อนและการผลิต

ประเภทของแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ

1. แม่พิมพ์ปั๊มตัด (Cutting/Blanking Die) ใช้ตัดแผ่นโลหะให้ได้รูปร่าง (Blanking) หรือเจาะรู (Piercing).

2. แม่พิมพ์ดัด (Bending Die) ใช้พับหรือดัดแผ่นโลหะให้ทำมุมหรือรูปทรงต่าง ๆ

3. แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป (Drawing Die) ใช้ดึงหรือลากโลหะให้เกิดรูปทรงลึก เช่น ถ้วย ก่อง

4. แม่พิมพ์ต่อเนื่อง (Progressive Die) แม่พิมพ์หนึ่งชุดมีหลายสถานีทำงานต่อเนื่องกันในเครื่องเดียว เพิ่มผลผลิตสูง

5. แม่พิมพ์ผสม (Compound Die) ตัดและขึ้นรูปในขั้นตอนเดียวในตำแหน่งเดียว

6. แม่พิมพ์ตีขึ้นรูป (Forging Die) ใช้กับงานร้อน/เย็น เพื่อเปลี่ยนรูปทรงโลหะก่อน

ส่วนประกอบหลักของแม่พิมพ์

1. พันช์ (Punch): แม่พิมพ์ตัวผู้ (ส่วนบน) ออกแรงกด/เจาะ.
2. ดาย (Die/Die Cavity): แม่พิมพ์ตัวเมีย (ส่วนล่าง) รับรูปร่างชิ้นงาน.
3. ชุดแผ่นรอง/โครง (Die Set/Holder): ส่วนยึด พันช์ และ ดาย เข้าด้วยกัน เพื่อความแข็งแรงและตรงตำแหน่ง.
4. วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ ส่วนใหญ่ใช้เหล็กกล้าสำหรับทำเครื่องมือ (Tool Steel) เช่น เพื่อความทนทานต่อการสึกหรอ ความร้อน และแรงกระแทกสูง

3. วัสดุ (Material) ที่นิยมใช้ในการขึ้นรูปโลหะคือโลหะที่มีความเหนียวและอ่อนตัวสูง (Ductility) เพื่อให้เปลี่ยนรูปร่างได้โดยไม่แตกหัก ได้แก่เหล็กกล้า(Steel) อลูมิเนียม (Aluminum) ทองเหลือง (Brass) ทองแดง (Copper) และสแตนเลส (Stainless Steel) โดยมีรูปแบบหลักเป็นแผ่น (Sheet) หรือแท่ง/ก้อน (Bar/Billet) ขึ้นอยู่กับกระบวนการ

วัตถุดิบยอดนิยมแบ่งตามประเภทการขึ้นรูป

1. งานปั๊มขึ้นรูป (Stamping/Sheet Metal): นิยมใช้เหล็กแผ่นรีดเย็น (Cold Rolled Steel) เช่น SPCC, SPCD, SPCE เนื่องจากมีความเหนียวและยึดตัวได้ดี และเหล็กกล้าไนซ์
2. งานขึ้นรูปโลหะแผ่น: สแตนเลส (304, 316), อลูมิเนียมเกรดต่าง ๆ ทองเหลือง และทองแดง
3. งานขึ้นรูปโลหะก้อน/อัดรีด (Forging/Extrusion): เหล็กคาร์บอนสูง, เหล็กกล้าผสม (Alloy Steel) และอลูมิเนียม อัลลอยด์

4. งานฉีดผงโลหะ (MIM): ผงสแตนเลส ผงไทเทเนียม ผงนิกเกิล และผงทองแดง

ปัจจัยในการเลือกวัตถุดิบ

1. ความสามารถในการเปลี่ยนรูป (Formability): ความเหนียวที่เพียงพอ
2. ความแข็งแรง (Strength): ตามการใช้งาน
3. ความทนทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion Resistance): เช่น สแตนเลส
4. น้ำหนัก: อลูมิเนียมเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมที่ต้องการน้ำหนักเบา

ข้อพิจารณาสำคัญในการขึ้นรูปโลหะ

ในการขึ้นรูปโลหะประกอบด้วยคุณสมบัติวัสดุ (ความเหนียว, ความแข็ง) อุณหภูมิการทำงาน (ร้อนหรือเย็น) ความซับซ้อนของรูปทรง อัตราความเร็วในการผลิต และการหล่อลิ้น โดยต้องคำนึงถึงแรงที่ใช้ แม่พิมพ์ (Die) และการบิดงอหรือแตกร้าวที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้ชิ้นงานมีความแม่นยำและคุณภาพสูงสุด มีข้อที่ควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1. **คุณสมบัติของวัสดุ (Material Properties):** วัสดุต้องมีคุณสมบัติที่สามารถขึ้นรูปได้ (Formability) เช่น ความเหนียว (Ductility) เพื่อยึดหรือพับโดยไม่แตก ต้องพิจารณาความแข็งแรง (Yield Strength) และแนวทิศทางการรีด (Anisotropic)

2. **ประเภทการขึ้นรูป ประกอบด้วย การขึ้นรูปเย็น (Cold Forming):** ได้ชิ้นงานแม่นยำ ผิวเรียบ ผิวงานแข็งแรง (Work Hardening) แต่ต้องใช้แรงเครื่องจักรสูง และ**การขึ้นรูปร้อน (Hot Forming):** โลหะอ่อนตัว ขึ้นรูปซับซ้อนได้ง่ายกว่า ไม่แตกร้าว

3. **รูปร่างและความซับซ้อน:** รูปทรงที่ซับซ้อนมากต้องใช้แม่พิมพ์หลายขั้นตอน (Stages) และอาจต้องใช้การขึ้นรูปลึก (Deep Drawing)

4. **การออกแบบแม่พิมพ์และเครื่องมือ (Die & Tooling):** ต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของ 펀ช์ (Punch) และตาย (Die) แรงเสียดทาน รวมถึงการเผื่อระยะห่าง (Clearance)

5. **ต้นทุนและปริมาณการผลิต (Cost & Volume):** หากผลิตจำนวนมาก ควรใช้การปั๊มขึ้นรูปที่แม่นยำสูงเพื่อลดต้นทุนต่อชิ้น

6. **สภาวะการผลิต (Process Conditions):** อัตราความเร็วในการทำงาน (Speed/Strain Rate) และการใช้สารหล่อลื่นเพื่อลดความร้อนและแรงเสียดทาน

7. **การป้องกันความเสียหาย (Defect Prevention):** การตรวจสอบรอยย่น (Wrinkling) หรือรอยแยก (Tearing) จากการดึงโลหะเกินขีดจำกัด

โดยสรุปแล้วสิ่งที่ต้องคำนึงถึงได้แก่ การเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับชนิดวัสดุ รูปร่างที่ต้องการ และงบประมาณเครื่องจักร เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์

คำถามทบทวน

1. การขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming) มีความหมายว่าอย่างไร
2. พื้นฐานการขึ้นรูปโลหะ มีข้อพิจารณาอะไรบ้าง
3. จงอธิบายทฤษฎีการงอ (Bending Theory) กับ การขึ้นรูปโลหะ
4. การขึ้นรูปโลหะจะสามารถจำแนกออกได้เป็นกี่ประเภท อะไรบ้าง
5. จงอธิบายกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming Process) มีอะไรบ้าง
6. จงอธิบายกระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process) มีอะไรบ้าง
7. จงอธิบายการขึ้นรูปแบบร้อน (Hot Working) มีอะไรบ้าง
8. จงอธิบายการขึ้นรูปแบบเย็น (Cold Working) มีอะไรบ้าง
9. องค์ประกอบสำคัญในการขึ้นรูปโลหะมีอะไรบ้าง
10. ข้อพิจารณาสำคัญในการขึ้นรูปโลหะมีอะไรบ้าง