บทที่ 1
การขึ้นรูปกระบวนการผลิต

การขึ้นรูปในกระบวนการผลิต (Molding/Forming) มีความสำคัญสูงสุดในการเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างตามต้องการ แม่นยำ และมีความสม่ำเสมอ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุนต่อชิ้นงานเมื่อผลิตจำนวนมาก (Mass Production) และช่วยลดความเสี่ยงหรือของเสียในกระบวนการผลิต ทำให้ได้คุณภาพงานที่สม่ำเสมอ

หลักการพื้นฐานของการขึ้นรูปในกระบวนการผลิต (Forming Process) คือการเปลี่ยนรูปร่างวัตถุดิบ (โลหะหรือพลาสติก) ให้เป็นรูปทรงที่ต้องการโดยใช้แรงทางกลและความร้อน โดยไม่เพิ่มหรือลดเนื้อวัสดุ (No material removal) เน้นการเปลี่ยนรูปถาวร (Permanent Deformation) โดยใช้แม่พิมพ์ (Die) หรือเครื่องมือเฉพาะ เหมาะสำหรับการผลิตจำนวน

ความสำคัญหลักของการขึ้นรูปในกระบวนการผลิต

1. ความคุ้มค่าและลดต้นทุน (Cost-Effective) การขึ้นรูป โดยเฉพาะการฉีดพลาสติกหรือการอัดขึ้นรูป ช่วยลดต้นทุนการผลิตต่อชิ้นลงได้มากเมื่อผลิตในปริมาณสูง
2. ความแม่นยำสูง (High Precision) ได้ชิ้นงานที่มีขนาดรูปร่างคงที่ สม่ำเสมอ และแม่นยำตามแม่พิมพ์ที่ออกแบบไว้
3. ประสิทธิภาพการผลิตสูง (High Productivity) สามารถผลิตชิ้นงานจำนวนมากได้รวดเร็ว ช่วยตอบโจทย์ธุรกิจที่ต้องการกำลังการผลิตสูง
4. การออกแบบที่ซับซ้อน (Complex Design**)** สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรายละเอียดสลับซับซ้อน หรือความต้องการเฉพาะตัวได้ดี
5. ความแข็งแรงและโครงสร้างที่ดี (Structural Integrity) การขึ้นรูป (เช่น การขึ้นรูปร้อน) ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ทนทาน และลดรูพรุนในชิ้นงาน
6. ลดของเสีย (Low Waste) กระบวนการขึ้นรูปมักมีของเสียต่ำ (เช่น การกดอัดขึ้นรูปมีของเสียเพียง 2–5%

ประเภทหลักของการขึ้นรูป

การขึ้นรูปเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อระบบการผลิต อาจกล่าวได้ว่ากระบวนการขึ้นรูปเปรียบเสมือนหัวใจสำคัญของอุตสาหกรรมสมัยใหม่ ตั้งแต่การผลิตสิ่งของในชีวิตประจำวันไปจนถึงชิ้นส่วนอุตสาหกรรมที่ซับซ้อน การขึ้นรูปโดยทั่วไปสามารถจำแนกได้ 4 ประเภทดังนี้

1. การฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) คือกระบวนการผลิตที่นิยมใช้สูงที่สุดในการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกและยาง โดยการหลอมเม็ดวัตถุดิบด้วยความร้อนแล้วฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Mold) ด้วยความดันสูงเพื่อให้ได้รูปร่างที่แม่นยำ สม่ำเสมอ เหมาะสำหรับการผลิตจำนวนมาก (Mass Production) ที่ต้องการคุณภาพสูง เช่น ชิ้นส่วนรถยนต์ ของใช้ และเครื่องใช้ไฟฟ้า

ขั้นตอนการฉีดขึ้นรูป (6 ขั้นตอนหลัก)

1.1 การหนีบ (Clamping) เป็นขั้นตอนแรกและสำคัญที่สุดในกระบวนการฉีดขึ้นรูป โดยใช้ หน่วยยึดจับ (Clamping Unit) ปิดแม่พิมพ์ให้แน่นหนา เพื่อทนแรงดันพลาสติกเหลวที่ฉีดเข้าไป ช่วยให้ชิ้นงานมีความแม่นยำ และป้องกัน ครีบ (Flash) แรงหนีบ (Tonnage) ต้องคำนวณให้เหมาะสมกับพื้นที่ผิวงาน โดยมีทั้งระบบ สลับ (Toggle) สำหรับความเร็วสูง และ ลูกสูบ (Ram) สำหรับงานละเอียด โดยสรุปแม่พิมพ์ทั้งสองด้านจะถูกปิดและหนีบเข้าด้วยกันด้วยแรงดันสูง

1.2 การฉีด (Injection) คือกระบวนการผลิตชิ้นงานโดยการหลอมละลายวัสดุ (ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกหรือยาง) แล้วฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ภายใต้แรงดันสูง เพื่อให้วัสดุไหลเข้าไปเต็มช่องว่างและแข็งตัวเป็นรูปร่างตามต้องการ ซึ่งเม็ดพลาสติกหลอมละลายและถูกดันผ่านหัวฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ สำหรับขั้นตอนหลักของกระบวนการฉีดขึ้นรูปนี้เป็นกระบวนการนี้ทำงานเป็นวงจรที่รวดเร็ว (Cycle time) โดยมีขั้นตอนสำคัญดังนี้

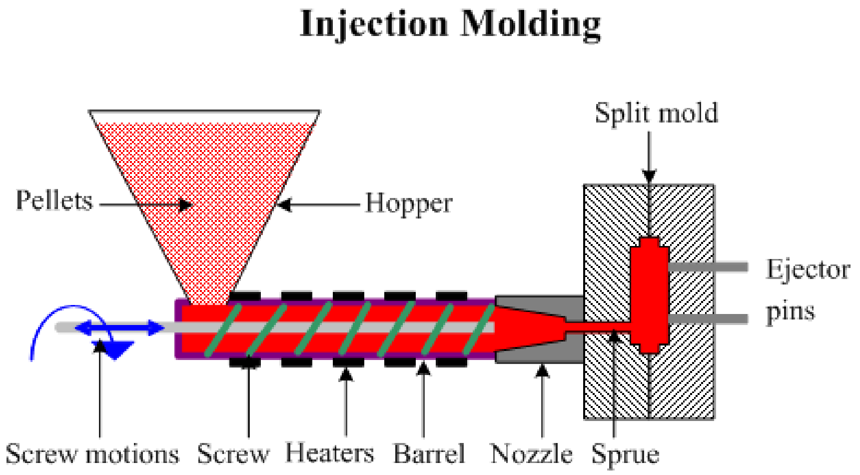
1.2.1 การหลอมละลาย (Melting) เป็นการนำเม็ดวัสดุจะถูกป้อนเข้าสู่กระบอกฉีดและถูกทำให้ร้อนจนหลอมละลาย

1.2.2 การฉีด (Injection) เป็นการนำสกรูจะดันวัสดุหลอมเหลวผ่านหัวฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ด้วยแรงดันสูง

1.2.3 การย้ำแรงดัน (Holding) เป็นการรักษาแรงดันไว้เพื่อให้วัสดุเต็มแม่พิมพ์และชดเชยการหดตัวขณะเริ่มเย็นลง

1.2.4 การทำให้เย็นตัว (Cooling) เป็นการรอให้วัสดุในแม่พิมพ์แข็งตัวจนได้รูปทรงที่คงที่

1.2.5 การปลดชิ้นงาน (Ejection) เป็นการเปิดแม่พิมพ์และใช้ระบบกระทุ้งเพื่อนำชิ้นงานสำเร็จรูปออกมา



ภาพที่ 1.1 การฉีด (Injection) สำหรับการฉีดขึ้นรูป

1.3 การคงแรงดัน (Dwelling/Holding) คือขั้นตอนสำคัญในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่เกิดขึ้นหลังจากน้ำพลาสติกหลอมเหลวถูกฉีดเข้าไปจนเต็มแม่พิมพ์แล้ว โดยเครื่องฉีดจะยังคงให้แรงดันกับพลาสติกภายในแม่พิมพ์ต่อไปอีกระยะหนึ่งแรงดันจะถูกคงไว้เพื่อให้พลาสติกเติมเต็มแม่พิมพ์อย่างสมบูรณ์ เพื่อวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

1.3.1 ชดเชยการหดตัว (Shrinkage Compensation) เมื่อพลาสติกในแม่พิมพ์เริ่มเย็นตัวลง ปริมาตรจะหดตัวลง การคงแรงดันจะช่วยดันน้ำพลาสติกส่วนเกินเข้าไปเติมเต็มช่องว่างที่เกิดจากการหดตัวนี้ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดตามแม่พิมพ์

1.3.2 ป้องกันน้ำพลาสติกไหลย้อน (Prevention of Backflow) แรงดันโฮลด์จะช่วยกั้นไม่ให้น้ำพลาสติกที่ยังไม่แข็งตัวไหลย้อนกลับออกมาทางรูฉีด (Gate) จนกว่าพลาสติกบริเวณรูฉีดจะเย็นตัวและแข็งตัวจนปิดสนิท (Gate Freeze)

1.3.3 รักษาคุณภาพผิวและมิติชิ้นงาน หากแรงดันหรือเวลาในการคงแรงดันไม่เพียงพอ อาจทำให้เกิดปัญหา รอยยุบ (Sink Marks) บนผิวชิ้นงาน หรือทำให้ขนาดของชิ้นงานไม่ได้มาตรฐาน

1.4 การระบายความร้อน (Cooling) เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานที่สุดในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยคิดเป็นประมาณ 70-80% ของรอบการทำงานทั้งหมด (Cycle Time) การออกแบบระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการลดต้นทุนและเพิ่มคุณภาพของชิ้นงาน ซึ่งพลาสติกภายในแม่พิมพ์เย็นตัวลงและแข็งตัวในที่สุด

1.4.1 ประเภทของระบบระบายความร้อนในแม่พิมพ์ ซึ่งระบบระบายความร้อนหลักๆ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) การระบายความร้อนแบบดั้งเดิม (Conventional Cooling) เป็นการเจาะช่องทางน้ำเป็นเส้นตรง (Straight Line) ภายในแม่พิมพ์ มีข้อดีคือทำง่ายและราคาถูก แต่เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่ซับซ้อน

2) การระบายความร้อนแบบปรับตามรูปทรง (Conformal Cooling) เป็นการออกแบบช่องทางระบายความร้อนให้โค้งมนไปตามลักษณะของชิ้นงาน ช่วยให้ระบายความร้อนได้สม่ำเสมอและรวดเร็วกว่า เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูง

1.4.2 ความสำคัญของการระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ

1) ลดรอบการผลิต (Cycle Time) การทำให้พลาสติกเย็นตัวเร็วขึ้นช่วยให้สามารถถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ไวขึ้น

2) ควบคุมคุณภาพชิ้นงาน ป้องกันการบิดเบี้ยว (Warpage) หรือการหดตัว (Shrinkage) ที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดจากการที่ชิ้นงานเย็นตัวลงไม่พร้อมกันในแต่ละจุด

3) ยืดอายุการใช้งานแม่พิมพ์ ช่วยรักษาอุณหภูมิของแม่พิมพ์ให้คงที่ ลดความเครียดสะสมจากความร้อน

1.4.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาการระบายความร้อน

1) ความหนาของผนังชิ้นงาน ชิ้นงานที่หนากว่าจะใช้เวลาเย็นตัวนานกว่า

2) ประเภทของพลาสติก พลาสติกแต่ละชนิดมีค่าการนำความร้อนและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการถอดแบบต่างกัน

3) วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ การเลือกใช้วัสดุที่มีการนำความร้อนได้ดี (เช่น อะลูมิเนียม หรือทองแดงผสม) จะช่วยให้ระบายความร้อนได้เร็วกว่าเหล็ก

4) อุณหภูมิของสารหล่อเย็น การใช้ระบบหล่อเย็น (chiller) เพื่อควบคุมอุณหภูมิน้ำให้คงที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่าหอหล่อเย็น (Cooling Tower) ทั่วไป

1.5 การเปิดแม่พิมพ์ (Mold Opening) คือขั้นตอนในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่แม่พิมพ์ทั้งสองส่วน (ฝั่งคงที่และฝั่งเคลื่อนที่) แยกออกจากกันหลังจากพลาสติกแข็งตัวแล้ว เพื่อเตรียมนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

1.5.1 ขั้นตอนและกลไกการเปิดแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต การเปิดแม่พิมพ์ไม่ได้เกิดขึ้นเพียงจังหวะเดียว แต่มีลำดับความเร็วที่แตกต่างกันเพื่อป้องกันความเสียหาย

1) การเริ่มเปิดแบบช้า เริ่มต้นด้วยความเร็วต่ำเพื่อลดแรงยึดติด (Stiction) ระหว่างชิ้นงานกับผิวแม่พิมพ์

2) การเปิดแบบเร็ว เมื่อชิ้นงานหลุดจากแรงยึดเหนี่ยวเบื้องต้นแล้ว แม่พิมพ์จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเพื่อลดเวลาในรอบการผลิต (Cycle Time)

3) การชะลอก่อนหยุด แม่พิมพ์จะชะลอความเร็วลงเมื่อใกล้ถึงระยะที่กำหนด เพื่อป้องกันการกระแทกและแรงสั่นสะเทือนต่อโครงสร้างเครื่องจักร

1.5.2 ประเภทของแม่พิมพ์และลำดับการเปิด ลำดับการเปิดจะแตกต่างกันไปตามโครงสร้างของแม่พิมพ์แต่ละประเภท

1) แม่พิมพ์แบบ 2 แผ่น (Two-Plate Mold) เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุด แม่พิมพ์จะแยกออกที่รอยประกบ (Parting Line) เพียงจุดเดียว เพื่อให้ระบบอีเจ็คเตอร์ (Ejector) ดันชิ้นงานออกมา

2) แม่พิมพ์แบบ 3 แผ่น (Three-Plate Mold) มีลำดับการเปิดที่ซับซ้อนกว่า โดยมักจะเปิดที่ส่วนรันเนอร์ (Runner) ก่อนเพื่อให้ก้านพลาสติกหลุดออก จากนั้นจึงเปิดที่รอยประกบหลักเพื่อนำชิ้นงานออก

3) ระบบสไลด์ (Slider/Side Core) สำหรับชิ้นงานที่มีส่วนเว้า (Undercut) กลไกสไลด์จะเคลื่อนที่ออกในแนวขวางพร้อม ๆ กับการเปิดแม่พิมพ์เพื่อให้ชิ้นงานหลุดออกมาได้

1.5.3 ปัจจัยที่ต้องควบคุม

1) ระยะการเปิด (Opening Stroke) ต้องกว้างพอที่ระบบอัตโนมัติหรือพนักงานจะนำชิ้นงานออกได้สะดวก แต่ไม่ควรยาวเกินไปเพราะจะทำให้เสียเวลา

2) แรงเปิดแม่พิมพ์ (Opening Force) เครื่องฉีดต้องมีแรงดึงที่มากพอจะเอาชนะแรงสุญญากาศหรือแรงยึดติดที่เกิดขึ้นในโพรงแม่พิมพ์

3) เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) ต้องมั่นใจว่าพลาสติกเย็นตัวจนแข็งแรงพอที่จะไม่เสียรูปทรงขณะแม่พิมพ์เปิดออก

1.6 การปลดชิ้นงาน (Ejection) คือขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการฉีดพลาสติก หลังจากพลาสติกเย็นตัวและแข็งตัวดีแล้ว โดยระบบจะทำหน้าที่ ดันชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ฝั่ง Cavity หรือ Core อย่างอัตโนมัติ วิธีที่นิยมได้แก่

1) การใช้หมุดดันชิ้นงาน (Ejector Pin) เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ใช้หมุดเล็ก ๆ กระจายแรงดันเพื่อปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

2) การใช้แผ่นกระทุ้ง (Ejector Plate) เป็นการใช้แผ่นดันรอบชิ้นงาน เหมาะสำหรับงานรูปทรงกระบอกหรือชิ้นงานบางMolder Enterprise ซึ่งออกแบบมาเพื่อไม่ให้ชิ้นงานเสีย

ข้อดีของการฉีดขึ้นรูป

1) ความรวดเร็วและประสิทธิภาพ: ผลิตชิ้นงานได้จำนวนมากต่อวัน

2) รายละเอียดสูง: สามารถสร้างรูปทรงที่ซับซ้อนได้อย่างสม่ำเสมอ

3) ต้นทุนต่ำเมื่อผลิตปริมาณมาก: แม้ค่าแม่พิมพ์จะสูงในช่วงแรก แต่ต้นทุนการผลิตต่อชิ้นต่ำลงมาก

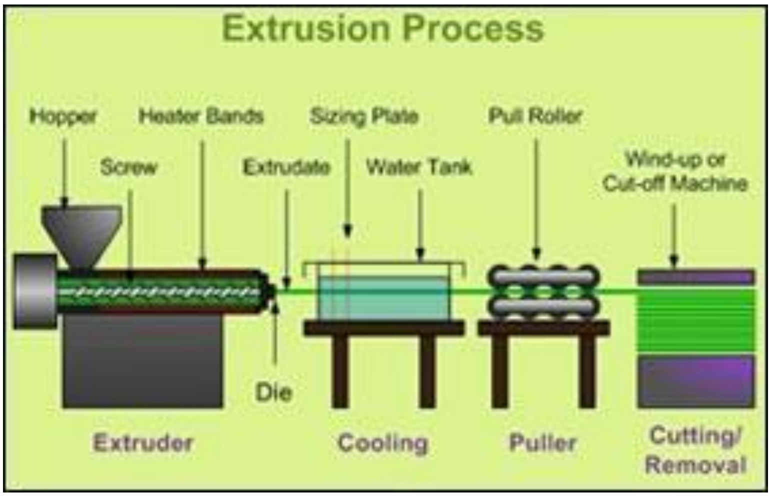
4) รีไซเคิลได้: เศษพลาสติกในกระบวนการสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์

ได้แก่ ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า บรรจุภัณฑ์ ของเล่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ และภาชนะพลาสติกต่าง ๆ

2. การอัดขึ้นรูป (Extrusion) คือกระบวนการผลิตที่หลอมวัสดุ (ส่วนใหญ่เป็นเทอร์โมพลาสติก หรือโลหะ) แล้วดันผ่านแม่พิมพ์ (Die) เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานที่มีหน้าตัดต่อเนื่องและสม่ำเสมอ เช่น ท่อ เส้น พลาสติกแผ่น หรือกรอบหน้าต่าง มีจุดเด่นด้านประสิทธิภาพการผลิตสูง สามารถทำงานต่อเนื่อง และต้นทุนคุ้มค่าเมื่อผลิตปริมาณมาก

2.1 ขั้นตอนหลักของกระบวนการอัดรีด (Extrusion) คือการขึ้นรูปวัสดุ (พลาสติก, โลหะ , ยาง) ให้เป็นเส้นยาวที่มีหน้าตัดคงที่ ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ การให้ความร้อนและหลอมละลาย (Melt extrusion) การอัดผ่านแม่พิมพ์ (Die) การทำให้เย็นตัวและแข็งตัว และการตัดแต่งเป็นชิ้นงานสำเร็จ



ภาพที่ 1.2 แสดงขั้นตอนหลักของกระบวนการ Extrusion

จากภาพที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าขั้นตอนหลักของกระบวนการ Extrusion จะประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

1) การป้อนวัตถุดิบ (Feeding) ใส่เม็ดพลาสติกหรือวัตถุดิบลงในช่องป้อน (Hopper)

2) การหลอมเหลว (Melting/Plasticizing) วัตถุดิบเคลื่อนที่ไปตามสกรูภายในกระบอกสูบ (Extruder) โดยได้รับความร้อนจากภายนอกและแรงเฉือนภายในจนหลอมเหลว

3) การดันผ่านแม่พิมพ์ (Die Casting) พลาสติกเหลวถูกดันผ่านแม่พิมพ์ (Die) ซึ่งมีรูปร่างหน้าตัดตามต้องการ

4) การทำให้เย็นและเก็บชิ้นงาน (Cooling & Taking-off) ชิ้นงานที่ถูกดันออกมา (Extrudate) จะถูกทำให้เย็นลงด้วยน้ำหรืออากาศเพื่อให้คงรูป แล้วจึงดึงผ่านเครื่องจักรไปเก็บ

2.2 ข้อดีของการอัดขึ้นรูป

1) ผลิตต่อเนื่องและรวดเร็ว เหมาะสำหรับการผลิตงานยาวๆ เช่น ท่อ สายไฟ หรือโปรไฟล์ต่าง ๆ

2) ต้นทุนต่ำ เป็นกระบวนการที่คุ้มค่าเมื่อต้องการผลิตสินค้าปริมาณมาก

3) ความสม่ำเสมอสูง ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างหน้าตัดสม่ำเสมอตลอดความยาว

4) หลากหลายรูปแบบ สามารถใช้กับพลาสติก ยาง ซิลิโคน หรือแม้แต่โลหะบางชนิด

2.3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ Extrusion

1) ท่อ PVC, ท่อสายไฟ

2) เส้นพลาสติกสำหรับเครื่องพิมพ์ 3D (Filament)

3) กรอบหน้าต่างอลูมิเนียมหรือพลาสติก

4) ฟิล์มพลาสติกและบรรจุภัณฑ์

3. การขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming) คือกระบวนการเปลี่ยนรูปร่างโลหะอย่างถาวรในสถานะของแข็ง โดยใช้แรงทางกล (ดัด, อัด, ดึง, ปั๊ม) ผ่านแม่พิมพ์ (Die) เพื่อให้ได้รูปร่างที่ต้องการโดยไม่เสียเศษวัสดุ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงานและประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด

3.1 ประเภทหลักของการขึ้นรูปโลหะ

3.1.1 **<u>การขึ้นรูปเย็น</u> (Cold Working):** ขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้อง ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความแม่นยำสูง

3.1.2 **<u>การขึ้นรูปร้อน</u> (Hot Working):** ขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดตกผลึกใหม่ (Recrystallization) ทำให้โลหะอ่อนตัว ขึ้นรูปทรงซับซ้อนได้ง่าย

3.1.3 **<u>การขึ้นรูปโลหะก้อน</u> (Bulk Forming):** เช่น การตีขึ้นรูป (Forging), การรีด (Rolling), การอัดรีด (Extrusion)

3.1.4 **<u>การขึ้นรูปโลหะแผ่น</u> (Sheet Metal Working):** เช่น การปั๊ม (Stamping), การดัด (Bending), การลากขึ้นรูป (Deep Drawing)

สำหรับรายละเอียดของการขึ้นรูปโลหะประเภทต่าง ๆ นั้น สามารถอ่านได้ในบทถัดไป

3.2 ข้อดีของการขึ้นรูปโลหะ

1) ความแข็งแรงสูง การบีบอัดช่วยเรียงโครงสร้างเกรนภายในใหม่ ทำให้ชิ้นงานแข็งแรงกว่างานหล่อ

2) ประหยัดวัตถุดิบ ไม่มีการเสียเศษวัสดุหรือเสียน้อยมาก

3) การผลิตจำนวนมาก เหมาะสำหรับการผลิตปริมาณมาก (Mass Production) ด้วยความเร็วสูง

4) ผิวงานละเอียด หากขึ้นรูปเย็นจะได้ผิวงานที่สวยงาม

4. การขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming) คือกระบวนการที่นำแผ่นพลาสติกเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) มาผ่านความร้อนจนอ่อนตัว แล้วใช้แรงดันอากาศหรือสุญญากาศดึงหรือดันให้แผ่นพลาสติกแนบกับแม่พิมพ์จนได้รูปทรงที่ต้องการ นิยมใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ ชิ้นส่วนยานยนต์ และภาชนะพลาสติกที่เน้นความบาง น้ำหนักเบา และต้นทุนแม่พิมพ์ต่ำ

4.1 ประเภทของการขึ้นรูปด้วยความร้อน

4.1.1 การขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ (vacuum Forming) คือกระบวนการแปรรูปพลาสติกด้วยความร้อน โดยนำแผ่นพลาสติกเทอร์โมพลาสติกมาให้ความร้อนจนอ่อนตัว แล้ววางบนแม่พิมพ์ จากนั้นใช้ปั๊มสุญญากาศดูดอากาศออก เพื่อให้แผ่นพลาสติกแนบสนิทกับแม่พิมพ์ ทำให้ได้รูปทรงที่ต้องการอย่างรวดเร็ว ต้นทุนต่ำ เหมาะสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ ถาดใส่ของ และชิ้นงาน การขึ้นรูปด้วยระบบนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมพลาสติกเนื่องจากมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ

ขั้นตอนหลักในการขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ

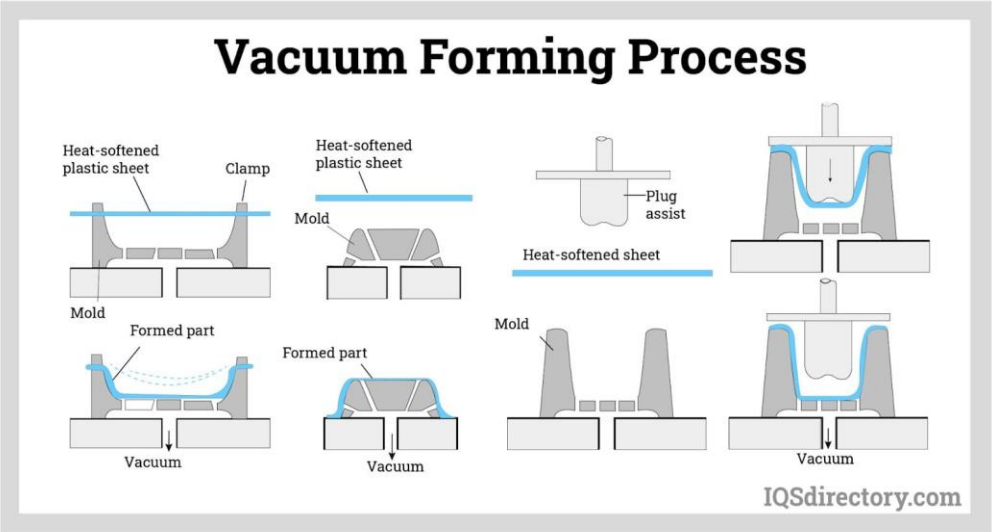
1. การทำความสะอาดและเตรียมแม่พิมพ์ (Mold Preparation) สร้างแม่พิมพ์ (มักเป็นไม้, ปูนปลาสเตอร์, หรืออลูมิเนียม) ตามแบบที่ต้องการ โดยนิยมทำมุมลาดเอียงอย่างน้อย 2 องศาเพื่อให้ถอดชิ้นงานง่าย

2. การทำความร้อนแผ่นพลาสติก (Heating) นำแผ่นพลาสติกวางบนเครื่องและให้ความร้อนจนอ่อนตัว (แต่ไม่ละลายจนไหล) โดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับชนิดพลาสติก

3. การดูดสุญญากาศ (Vacuum Forming) เคลื่อนแผ่นพลาสติกที่อ่อนตัวลงแนบกับแม่พิมพ์ จากนั้นปั๊มจะดูดอากาศออกระหว่างแผ่นพลาสติกกับแม่พิมพ์ ทำให้พลาสติกแนบสนิทกับผิวแม่พิมพ์

4. การทำให้เย็นลง (Cooling) ทิ้งไว้ให้พลาสติกเย็นตัวลงและแข็งตัวในรูปทรงของแม่พิมพ์ อาจใช้พัดลมช่วยเป่า

5. การปลดชิ้นงานและตัดแต่ง (Demolding and Trimming) นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (มักใช้ลมเป่าสวนทาง) จากนั้นตัดส่วนเกินออก



ภาพที่ 1.3 แสดงขั้นตอนหลักในการขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ

จากภาพที่ 1.3 แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนหลักในการขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ จะประกอบไปด้วยขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

1) การให้ความร้อน (Heating) เป็นการนำแผ่นพลาสติก (เช่น HIPS, ABS, PETG) มาผ่านความร้อนจนอ่อนตัวลง

2) การขึ้นรูป (Forming) เป็นการนำแผ่นพลาสติกที่อ่อนตัววางบนแม่พิมพ์ (Mold) แล้วใช้ระบบปั๊มสุญญากาศดูดอากาศออก

3) การทำให้เย็น (Cooling) นำพลาสติกที่ถูกดูดแนบกับแม่พิมพ์จะเย็นตัวลงและคงรูปทรง

4) การตัดแต่ง (Trimming) เป็นการตัดเศษพลาสติกส่วนเกินออกเพื่อให้ได้ชิ้นงานสำเร็จ

จุดเด่นและข้อจำกัดของการขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ

1) ต้นทุนต่ำ แม่พิมพ์ราคาไม่แพงและใช้เวลานานในการผลิตสั้น เมื่อเทียบกับการฉีดพลาสติก

2) เหมาะกับปริมาณน้อย-ปานกลาง เหมาะสำหรับการทำต้นแบบ (Prototype) หรือการผลิตจำนวนไม่มาก

3) ความเร็วสูง กระบวนการทำความร้อนและขึ้นรูปทำได้รวดเร็ว

4) รายละเอียด สามารถขึ้นรูปงานที่มีรายละเอียดซับซ้อนน้อยถึงปานกลางได้

5) ข้อจำกัดด้านความละเอียด ไม่เหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำสูงมาก ๆ หรือรายละเอียดที่ซับซ้อนมาก

6) ข้อจำกัดด้านความแข็งแรง ชิ้นงานมักมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอาจส่งผลต่อความแข็งแรงเมื่อเทียบกับการฉีดพลาสติก

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน

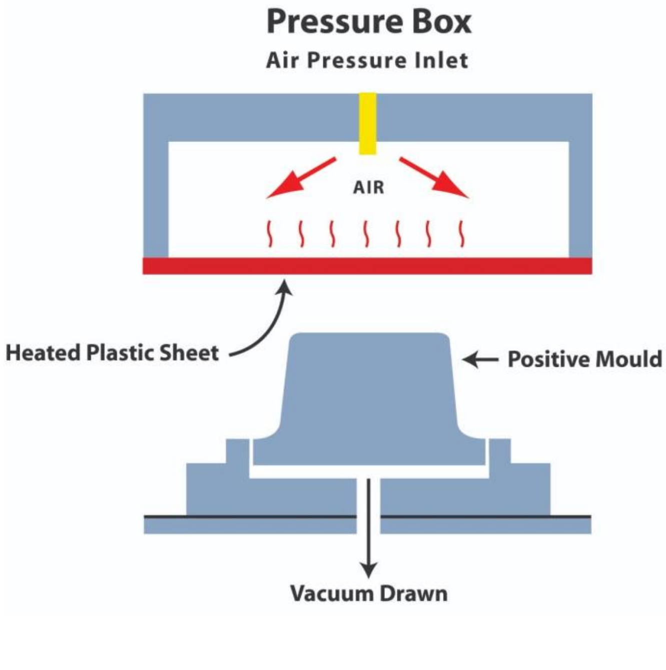
1) บรรจุภัณฑ์ ถาดใส่ขนม, แผงบรรจุยา (Blister pack), กล่องใส่สินค้า

2) ชิ้นส่วน หน้ากากฮาโลวีน, ฝาครอบเครื่องใช้ไฟฟ้า, ชิ้นส่วนภายในรถยนต์

การขึ้นรูปด้วยระบบนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมพลาสติกเนื่องจากมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ

4.1.2 การขึ้นรูปด้วยแรงดัน (Pressure Forming) เป็นเทคนิคการขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อน (Thermoforming) ที่ใช้ความดันอากาศ (ประมาณ 14.5-300 p.s.i.) ดันแผ่นพลาสติกที่ร้อนให้แนบชิดกับแม่พิมพ์ ซึ่งให้รายละเอียด คมชัด และความแม่นยำสูงกว่าวิธีสุญญากาศ (Vacuum Forming) เหมาะสำหรับงานที่มีรายละเอียดซับซ้อน ชิ้นส่วนยานยนต์ และบรรจุภัณฑ์คุณภาพสูง โดยสรุปแล้ววิธีนี้ใช้แรงดันอากาศช่วยกด ทำให้ได้รายละเอียดชิ้นงานที่คมชัดกว่า

การขึ้นรูปด้วยแรงดัน (Pressure Forming) ผสมผสานกระบวนการขึ้นรูปด้วยสุญญากาศแบบมาตรฐานเข้ากับแรงดันเพิ่มเติมจากด้านที่ไม่ใช่แม่พิมพ์ของแผ่นพลาสติกที่ร้อน โดยใช้กล่องแรงดัน (Pressure Box) ในทางทฤษฎี แรงดันบรรยากาศสูงสุดในการขึ้นรูปด้วยสุญญากาศแบบดั้งเดิมคือ 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แรงดันอากาศที่เพิ่มขึ้นถึง 60 PSI ในด้านที่ไม่ใช่แม่พิมพ์สามารถเพิ่มแรงดันการขึ้นรูปด้วยความร้อนโดยรวมได้มากถึง 4 เท่าของการขึ้นรูปด้วยสุญญากาศแบบเดิม แรงดันที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้สามารถผลิตชิ้นส่วนและส่วนประกอบที่มีรายละเอียดและความคมชัดมากขึ้นได้ ลักษณะของด้านแม่พิมพ์สามารถคล้ายคลึงกับชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปด้วยการฉีด (Injection Molding) แต่มีต้นทุนด้านเครื่องมือและการตั้งค่าที่ต่ำกว่ามาก (20% – 30% น้อยกว่า) การขึ้นรูปด้วยแรงดันยังคุ้มค่ากว่าการขึ้นรูปด้วยการฉีดแบบปฏิกิริยา (Reaction Injection Molding หรือ RIM) หรือการขึ้นรูปโฟมโครงสร้าง (Structural Foam Molding) และมีข้อได้เปรียบที่สำคัญเมื่อต้องการพื้นผิวที่มีลวดลายโดยใช้แม่พิมพ์ตัวเมีย กระบวนการนี้เหมาะสำหรับปริมาณการผลิตเฉลี่ยสำหรับชิ้นส่วนและส่วนประกอบขนาดกลางถึงขนาดใหญ่



ภาพที่ 1.4 แสดงการขึ้นรูปด้วยแรงดัน

การขึ้นรูปด้วยแรงดันสามารถช่วยแก้ปัญหาได้เมื่อคุณต้องการผลิตภัณฑ์พลาสติกขึ้นรูปสุญญากาศต้นทุนต่ำที่มีรูปลักษณ์ระดับสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการสั่งซื้อในปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับการฉีดขึ้นรูปที่มีราคาแพงกว่า การขึ้นรูปด้วยแรงดันสามารถเก็บรายละเอียดได้อย่างคมชัดเช่นเดียวกัน และกำลังพิสูจน์แล้วว่าเป็นประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมพลาสติก สามารถขึ้นรูปด้วยเทคนิคการเจาะรู การเซาะร่องสำหรับฉลากและโลโก้ รวมถึงร่องสำหรับติดตั้งชิ้นส่วนเพิ่มเติมได้ นักออกแบบสามารถเพิ่มคุณสมบัติเพิ่มเติมลงในผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ทำให้ได้รูปลักษณ์และความรู้สึกที่ดีขึ้น การขึ้นรูปด้วยแรงดันสามารถเพิ่มความน่าดึงดูดใจทั้งทางด้านภาพและสัมผัสของผลิตภัณฑ์พลาสติกขึ้นรูป และยังให้ผลกำไรที่มากกว่าเมื่อเทียบกับการฉีดขึ้นรูปอีกด้วย

4.1.3 การขึ้นรูปด้วยกลไก (Mechanical Forming) คือกระบวนการแปรรูปวัสดุโดยเฉพาะโลหะ ให้เป็นรูปร่างตามต้องการขณะอยู่ในสถานะของแข็ง โดยใช้แรงทางกลจากเครื่องจักร (เช่น เครื่องกด, ลูกกลิ้ง) ร่วมกับแม่พิมพ์ (Die/Tool) ทำให้เนื้อวัสดุเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation) โดยไม่เกิดเศษโลหะ ได้แก่ การตี การรีด การอัดและการดึงขึ้นรูป เป็นต้น

ประเภทหลักของการขึ้นรูปด้วยกลไก

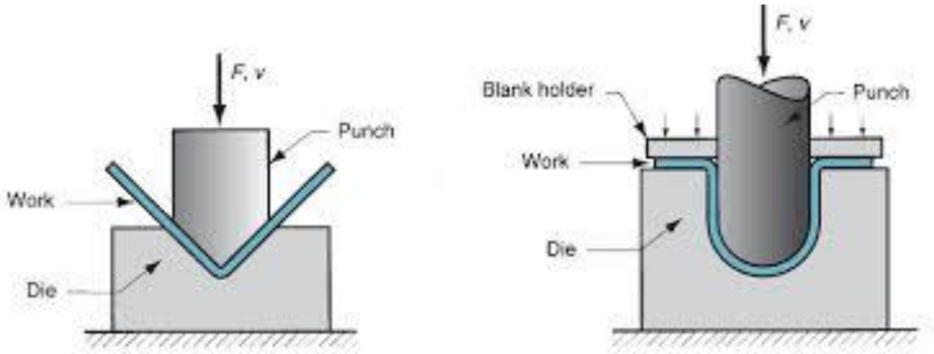
1) การตีขึ้นรูป (Forging) ใช้แรงกระแทกหรือแรงกดอัดต่อเนื่อง (โดย Fractory) เพื่อเปลี่ยนรูปโลหะ นิยมใช้ทำชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น เพลาข้อเหวี่ยง และ ก้านสูบ

2) การรีด (Rolling) การลดความหนาของโลหะโดยให้ผ่านลูกกลิ้ง (โดย Plant Automation Technology) เช่น การรีดแผ่นเหล็ก การรีดรูปทรงโครงสร้าง (คานรูปตัว I, L, U)

3) การอัดรีด (Extrusion) การบังคับให้เนื้อโลหะอ่อนตัวไหลผ่านแม่พิมพ์ เพื่อสร้างชิ้นงานที่มีหน้าตัดคงที่ เช่น ท่อ, เส้นอะลูมิเนียม

4) การดึงขึ้นรูป (Drawing) การดึงวัตถุดิบผ่านแม่พิมพ์เพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างที่เรียวลงหรือยืดออก

5) การปั๊มขึ้นรูป (Stamping/Pressing) การกดแผ่นโลหะให้เปลี่ยนรูป (เช่น การตัด, การเจาะ, การพับ)



ภาพที่ 1.5 แสดงการขึ้นรูปด้วยกลไก (Mechanical Forming)

4.2 จุดเด่นและลักษณะสำคัญ

1) **ต้นทุนแม่พิมพ์ต่ำ:** แม่พิมพ์ที่ใช้มักเป็นโลหะหรือวัสดุที่ทำได้ง่ายกว่าการฉีดพลาสติก

2) **เหมาะกับงานหลากหลาย:** ผลิตได้ตั้งแต่วัสดุบาง ๆ (บรรจุภัณฑ์) ไปจนถึงหนา (ชิ้นส่วนรถยนต์)

3) **ความเร็วในการผลิตสูง:** ขึ้นรูปได้เร็วและเหมาะกับการผลิตจำนวนมาก (Mass Production)

4) **ข้อจำกัด:** โดยปกติขึ้นรูปได้ด้านเดียว (Single-sided) และมีเศษวัสดุจากการตัดแต่ง (Trim waste)

4.3 วัสดุที่นิยมใช้ (Thermoplastics)

1) **PS (Polystyrene):** ถาดอาหาร, บรรจุภัณฑ์

2) **PET/PVC:** บรรจุภัณฑ์ใส

3) **ABS/PC:** ชิ้นส่วนรถยนต์, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

กระบวนการนี้เป็นทางเลือกที่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) สำหรับชิ้นงานที่ต้องการรูปร่างพื้นฐานหรือมีความซับซ้อนน้อยกว่า

คำถามทบทวน

1. การขึ้นรูปในกระบวนการผลิตมีความสำคัญอย่างไร
2. จงอธิบายหลักการพื้นฐานของการขึ้นรูปในกระบวนการผลิต (Forming Process)
3. ประเภทหลักของการขึ้นรูป มีอะไรบ้าง
4. จงอธิบายขั้นตอนการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) มาอย่างละเอียด
5. จงอธิบายขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ (vacuum Forming) มาอย่างละเอียด
6. จงอธิบายขั้นตอนหลักของกระบวนการอัดรีด (Extrusion) มาอย่างละเอียด
7. ประเภทของการขึ้นรูปโลหะมีอะไรบ้าง จงอธิบายมาพอเข้าใจ
8. จงอธิบายหลักการขึ้นรูปด้วยแรงดัน (Pressure Forming) มาพอเข้าใจ
9. จงอธิบายประเภทของการขึ้นรูปด้วยกลไก (Mechanical Forming) มีอะไรบ้าง
10. จงยกตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยการขึ้นรูปด้วยกลไก (Mechanical Forming) ให้มากที่สุด