



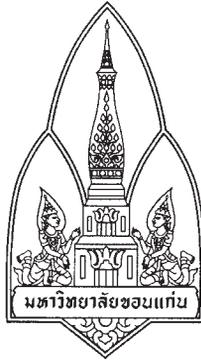
ทุนส่งเสริม
การผลิตตำรา

กระบวนการขึ้นรูป Forming Process



พศ. ดร.สุขอังคณา แกลงกัณฑ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



กระบวนการขึ้นรูป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา แถลงกัณฑ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ได้รับทุนสนับสนุนการผลิตตำรา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ลำดับที่ 199

จัดพิมพ์โดยมหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ.2565

ISBN (e-book) 978-616-438-730-0

สุขอังคณา แถลงกัณฑ์.

กระบวนการขึ้นรูป / สุขอังคณา แถลงกัณฑ์ -- พิมพ์ครั้งที่ 1. -- ขอนแก่น : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2565.

321 หน้า : ภาพประกอบ

1. วัสดุ -- การขึ้นรูป.
2. โพรงแบบ (งานหล่อ).
3. งานโลหะ.
4. การฉีดขึ้นรูปโลหะ.
5. การฉีดขึ้นรูปผง.
6. โลหะ -- การขึ้นรูปแบบเย็น.
7. วัสดุเซรามิก. (1) มหาวิทยาลัยขอนแก่น. คณะวิศวกรรมศาสตร์. (2) ชื่อเรื่อง.

TS243 ส743

ISBN (e-book) 978-616-438-730-0

จัดทำโดย ศูนย์นวัตกรรมการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ราคา 400 บาท

สงวนลิขสิทธิ์ โดยมหาวิทยาลัยขอนแก่น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2565

กิตติกรรมประกาศ

ตำราเล่มนี้ได้รับการสนับสนุนทุนผลิตตำรา ประจำปี พ.ศ. 2562

จากศูนย์นวัตกรรมการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คำนำ

ตำรา **กระบวนการขึ้นรูป** เล่มนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นตำราประกอบการเรียนการสอนหลัก ในรายวิชา กระบวนการขึ้นรูป (Forming Process) ซึ่งเป็นรายวิชาบังคับของหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ วิชาเอกวิศวกรรมการผลิตและวัสดุ (หลักสูตร ปรับปรุง 2560) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อให้เป็นตำราที่มีความสมบูรณ์ ผู้เขียน ได้รวบรวมทฤษฎีสำคัญครอบคลุมเนื้อหาวิชาของหลักสูตร และสอดคล้องกับคำอธิบายรายวิชา กระบวนการขึ้นรูปของสภาวิศวกร รวมทั้งข้อมูลเพิ่มเติมจากหลายแหล่งข้อมูล อาทิ หนังสือด้านการ ขึ้นรูป มาตรฐานด้านวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยของตนเองและผู้อื่น องค์ความรู้ด้านนวัตกรรมสมัยใหม่ด้านการขึ้นรูปจากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ นอกจากนี้ ยังได้เสริมเนื้อหา ด้านการขึ้นรูปกึ่งแข็งซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ของการขึ้นรูปโลหะและวัสดุเชิงประกอบ เพื่อเป็นประโยชน์ แก่ผู้เรียนและผู้ที่ต้องการเพิ่มพูนความรู้ด้านการขึ้นรูปวัสดุ โดยเนื้อหาในเล่มแบ่งเป็น 10 บท แต่ละบท จะประกอบด้วย จุดประสงค์รายบท คำอธิบายย่อหน้า เนื้อหาหลัก สรุปประเด็นสำคัญ คำถามท้ายบท และแนวคำตอบคำถามท้ายบท เพื่อให้นักศึกษาได้ฝึกทดลองเพื่อความเข้าใจมากยิ่งขึ้น ผู้เขียนหวังไว้ เป็นอย่างยิ่งว่าตำราเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษา ผู้ที่สนใจและเป็นประโยชน์ต่องานด้านการขึ้นรูป ในอุตสาหกรรมต่อไป หากมีสิ่งใดต้องปรับปรุงผู้เขียนขอน้อมรับเพื่อใช้ในการพัฒนาตำราให้มีความ สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นต่อไป

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณเป็นอย่างสูงต่อศูนย์นวัตกรรมการเรียนการสอน ที่สนับสนุน ทุนผลิตตำรา คณาจารย์ที่ให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำตำราเล่มนี้ และขอขอบคุณครอบครัว ของผู้เขียนที่เป็นกำลังใจในการทำงานเสมอมาจนตำราเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ได้

สุขอังคณา แถลงกัณฑ์

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
คำนำ	ข
สารบัญ	ค
บทที่ 1 : แนะนำกระบวนการขึ้นรูปวัสดุ	1
1. นิยามและความสำคัญ	2
1.1 นิยาม	2
1.2 ความสำคัญ	2
1.3 ประวัติการขึ้นรูป	4
2. ประเภทวัสดุ	7
2.1 วัสดุวิศวกรรม	7
2.2 วัสดุสมัยใหม่	9
3. ประเภทการขึ้นรูป	10
3.1 การขึ้นรูปก้อน	11
3.2 การขึ้นรูปโลหะแผ่น	12
3.3 การขึ้นรูปผง	13
3.4 การขึ้นรูปเยื่อ	13
3.5 การขึ้นรูปอุ้น	14
3.6 การขึ้นรูปร้อน	14
4. แนวคิดการขึ้นรูป	16
5. แนวโน้มการขึ้นรูปในอนาคต	16
5.1 ด้านวัสดุ	16
5.2 ด้านกระบวนการและระบบ	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
สรุปประเด็นสำคัญ	18
แบบฝึกหัดท้ายบท	18
เอกสารอ้างอิง	19
บทที่ 2 : สมบัติสำคัญของวัสดุในงานขึ้นรูป	21
1. สมบัติที่สำคัญของวัสดุในการขึ้นรูป	22
1.1 สมบัติทางกายภาพ	23
1.2 สมบัติทางเคมี	26
1.3 สมบัติทางความร้อน	27
2. สมบัติเชิงกลของวัสดุ	30
2.1 ความเค้น	30
2.2 ความเครียด	33
2.3 พฤติกรรมของความเค้น-ความเครียด	35
3. มาตรฐานการทดสอบและการแปลผล	43
3.1 การทดสอบความแข็ง	43
3.2 การทดสอบความต้านแรงดึง	54
3.3 การทดสอบความต้านแรงอัด	58
3.4 การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก	61
สรุปประเด็นสำคัญ	67
แบบฝึกหัดท้ายบท	68
เอกสารอ้างอิง	70
บทที่ 3 : พื้นฐานการวิเคราะห์การขึ้นรูป	73
1. แนวคิดพื้นฐานของการเสียรูป	75
1.1 สมมุติฐาน	75

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.2 ความค้ำในการขึ้นรูป	76
2. การครากตัวและการไหลแบบพลาสติก	84
2.1 ความค้ำจริง - ความเครียดจริง	84
2.2 เกณฑ์การคราก	89
2.3 ความค้ำไหล	94
2.4 งานต่อหน่วยปริมาตร	95
2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความค้ำไหล	98
3. การทดสอบความสามารถการขึ้นรูป	100
3.1 การทดสอบการยู่	100
3.2 การทดสอบแรงอัดในสภาวะระนาบ-ความเครียด	102
4. แรงเสียดทานและการหล่อลื่นในงานขึ้นรูป	103
สรุปประเด็นสำคัญ	105
แบบฝึกหัดท้ายบท	106
เอกสารอ้างอิง	107
บทที่ 4 : หลักมูลการขึ้นรูปก้อน	109
1. บทนำ	110
2. การรีด	110
2.1 นิยามและหลักการ	110
2.2 ชนิดของการรีด	115
2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการรีดขึ้นรูป	115
2.4 การรีดขึ้นรูป	116
2.5 การรีดเกลียว	117
2.6 จุดบกพร่องในการรีด	117

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. การตี	119
3.1 นิยามและหลักการ	119
3.2 การแบ่งประเภท	122
3.3 กระบวนการตีแบบอื่น ๆ	127
3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือ	128
3.5 จุดบกพร่องในงานตีขึ้นรูป	128
4. การอัดรีด	129
4.1 นิยามและหลักการ	129
4.2 การแบ่งประเภท	130
4.3 สัดส่วนการอัดรีดและแรงอัดรีด	132
4.4 แม่พิมพ์อัดรีด	133
4.5 ข้อบกพร่องในการอัดรีด	134
5. การลาก	136
5.1 นิยามและหลักการ	136
5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	137
5.3 แม่พิมพ์งานลาก	138
5.4 ข้อบกพร่องจากการลาก	139
กรณีศึกษา การอัดขึ้นรูปเย็นและการอัดขึ้นรูปร้อนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง	140
สรุปประเด็นสำคัญ	144
แบบฝึกหัดท้ายบท	145
เอกสารอ้างอิง	145

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 : หลักมูลของการขึ้นรูปโลหะแผ่น	147
1. บทนำกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น	148
2. การแบ่งประเภทงานโลหะแผ่น	149
2.1 การตัด	149
2.2 การดัด	158
2.3 การลากขึ้นรูปลึก	161
2.4 การขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีอื่น ๆ	167
3. แม่พิมพ์งานโลหะแผ่น	167
3.1 แม่พิมพ์ของงานตัด	167
3.2 แม่พิมพ์ของงานลากขึ้นรูปลึก	168
4. เครื่องอัด	170
4.1 เครื่องอัดเชิงกล	170
4.2 เครื่องอัดระบบไฮดรอลิก	171
กรณีศึกษา การศึกษาข้อบกพร่องที่เกิดในงานตัดแผ่นเปล่าและการลากขึ้นรูปโลหะแผ่น	171
สรุปประเด็นสำคัญ	173
แบบฝึกหัดท้ายบท	174
เอกสารอ้างอิง	175
บทที่ 6 : กรรมวิธีโลหะผง	177
1. บทนำ	178
2. ผงโลหะ	181
3. ขั้นตอนการขึ้นรูปโลหะผง	181
4. ลักษณะของกระบวนการ	183
5. วิธีการผลิตผงโลหะ	184

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 วิธีการลดขนาดสภาวะของแข็ง	184
5.2 การพ่น	186
5.3 กระบวนการแยกด้วยไฟฟ้า	186
5.4 กระบวนการทางเคมี	187
6. การอัดและการขึ้นรูป	189
6.1 การอัดด้วยแม่พิมพ์	189
6.2 การอัดด้วยแรงสมมาตร	190
7. การเผาสะสม	192
8. การฉีดโลหะผง	195
9. ข้อพิจารณาในการออกแบบชิ้นส่วน	196
กรณีศึกษา การผลิตผงโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิกอนคาร์ไบด์ด้วยวิธีเชิงกล	197
สรุปประเด็นสำคัญ	200
แบบฝึกหัดท้ายบท	201
เอกสารอ้างอิง	202
บทที่ 7 : กระบวนการขึ้นรูปวัสดุพอลิเมอร์	205
1. บทนำ	206
2. โครงสร้างโมเลกุล	207
3. ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์	208
4. การแบ่งประเภท	209
4.1 เทอร์โมพลาสติก	209
4.2 เทอร์โมเซต	209
4.3 พลาสติกยืดหยุ่น	210
5. สมบัติเชิงกลของวัสดุพอลิเมอร์	210

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์	211
6. กระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์	213
6.1 การเตรียมวัตถุดิบ	213
6.2 การขึ้นรูป	214
กรณีศึกษา การวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นงานพลาสติกพอลิโพรพิลีนขึ้นรูปด้วย การฉีดขึ้นรูป	219
สรุปประเด็นสำคัญ	222
แบบฝึกหัดท้ายบท	223
เอกสารอ้างอิง	224
บทที่ 8 : กระบวนการขึ้นรูปวัสดุเซรามิก	225
1. บทนำ	226
2. โครงสร้างผลึก	226
3. การแบ่งประเภท	227
3.1 เซรามิกดั้งเดิม	227
3.2 เซรามิกสมัยใหม่	228
4. กระบวนการขึ้นรูปเซรามิก	230
4.1 การเตรียมวัตถุดิบ	230
3.2 การขึ้นรูป	231
4.3 กระบวนการหลังการขึ้นรูป	233
สรุปประเด็นสำคัญ	235
แบบฝึกหัดท้ายบท	235
เอกสารอ้างอิง	236
บทที่ 9 : กระบวนการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ	237
1. บทนำ	238

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2. ส่วนประกอบของวัสดุเชิงประกอบ	238
2.1 วัสดุเนื้อพื้น	238
2.2 วัสดุเสริมแรง	239
2.3 อันตรภาค	240
3. การแบ่งประเภท	240
4. สมบัติเชิงกล	241
5. การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ	243
5.1 วัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นโลหะ	245
5.2 วัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นเซรามิก	248
5.3 วัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นพอลิเมอร์	249
กรณีศึกษา การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นโลหะด้วยการหล่อกวนและฉีดขึ้นรูป	252
สรุปประเด็นสำคัญ	254
แบบฝึกหัดท้ายบท	254
เอกสารอ้างอิง	255
บทที่ 10 : กระบวนการขึ้นรูปกึ่งแข็ง	257
1. บทนำ	258
2. ลักษณะของวัสดุกึ่งแข็ง	259
2.1 โครงสร้างจุลภาค	259
2.2 ความเหน็ด	262
2.3 สมบัติด้านการไหลตัว	263
2.4 สมบัติที่ไซทออปิก	266
3. กระบวนการขึ้นรูปกึ่งแข็ง	268
3.1 วิธีการผลิตวัสดุตั้งต้น	268

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 วิธีการขึ้นรูป	272
4. ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของกระบวนการ	277
5. การนำไปประยุกต์ในอุตสาหกรรม	279
กรณีศึกษา การประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปอะลูมิเนียมกึ่งแข็งและวัสดุเชิงประกอบ ที่มีอะลูมิเนียมเป็นเนื้อพื้น	280
สรุปประเด็นสำคัญ	284
แบบฝึกหัดท้ายบท	285
เอกสารอ้างอิง	286
แนวคำตอบแบบฝึกหัดท้ายบท	291

บทที่ 1 : แนะนำกระบวนการขึ้นรูปวัสดุ

จุดประสงค์รายบท

เมื่อศึกษาจบบทที่ 1 แล้วนักศึกษาสามารถ

1. จำแนกประเภทและอธิบายกระบวนการขึ้นรูปได้
2. อธิบายความสำคัญของการขึ้นรูปในอุตสาหกรรมและในงานวิศวกรรม
3. อธิบายแนวคิดสำคัญของการออกแบบการขึ้นรูปในวัสดุประเภทต่าง ๆ

เค้าโครงเนื้อหา

ในบทนี้จะเป็นการแนะนำพื้นฐานสำคัญของการขึ้นรูปโลหะ เนื้อหาจะแบ่งเป็น 5 เรื่องหลัก ประกอบด้วย นิยามและความสำคัญของการขึ้นรูปต่ออุตสาหกรรม การแบ่งประเภทการขึ้นรูปโลหะ แนวคิดการขึ้นรูปและการสร้างรูปร่างผลิตภัณฑ์ และแนวโน้มการขึ้นรูปและการพัฒนาวัสดุและกระบวนการในอนาคต

แนวคิดและสาระสำคัญ

1. การขึ้นรูปเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญมากในการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรม วิศวกรควรเข้าใจพื้นฐานด้านการขึ้นรูปในแต่ละอุตสาหกรรม แนวคิดการขึ้นรูปและการสร้างรูปร่างผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว
2. วัสดุในงานขึ้นรูป แบ่งเป็น 4 กลุ่มหลักได้แก่ โลหะ พอลิเมอร์ เซรามิก วัสดุเชิงประกอบ แต่ละกลุ่มจะมีหลายชนิดย่อย วัสดุแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการผลิต ขึ้นรูป และการใช้งานที่แตกต่างกัน จึงต้องมีความรู้สมบัติทั่วไปของวัสดุโดยสังเขปเพื่อให้สามารถเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับกระบวนการขึ้นรูป
3. ความรู้ประเภทการขึ้นรูปจะมีประโยชน์ในการเลือกกระบวนการที่เหมาะสมกับประเภทวัสดุ การแบ่งประเภทการขึ้นรูปตามเกณฑ์ลักษณะของวัตถุดิบ ได้แก่ การขึ้นรูปก้อน แผ่น และผง เกณฑ์อุณหภูมิขึ้นรูป ได้แก่ การขึ้นรูปร้อน ขึ้นรูปอุ่น และขึ้นรูปเย็น
4. ประสิทธิภาพของการออกแบบและการควบคุมการขึ้นรูปจะขึ้นกับพื้นฐานสำคัญของการขึ้นรูปวัสดุ ได้แก่ ลักษณะและสมบัติของวัตถุดิบ พฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงกระทำเมื่อเกิดการเสียรูปถาวร การไหลของวัสดุในระหว่างการเปลี่ยนรูปร่างและขนาดในระหว่างการขึ้นรูป

สภาวะของผิวสัมผัสระหว่างแม่พิมพ์กับชิ้นงาน แรงหลักที่ใช้ในงานแปรรูป (แรงอัด แรงดึง แรงดัด และแรงเฉือน) เครื่องมือและเครื่องจักรที่ใช้

5. อุตสาหกรรมการขึ้นรูปถูกท้าทายด้วยการเปลี่ยนแปลงทางพลังงาน และการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการขึ้นรูปจำเป็นต้องใช้พลังงาน ดังนั้น การขึ้นรูปและการผลิตจะต้องถูกปรับเปลี่ยนให้เป็นกระบวนการที่มีมลพิษและปลดปล่อยมลพิษต่ำ ใช้พลังงานต่ำ เทคโนโลยีการขึ้นรูปที่เกี่ยวข้องสมัยใหม่ ระบบอัตโนมัติ การขึ้นรูปแบบใกล้เคียงชิ้นงานสำเร็จ

1. นิยามและความสำคัญ

1.1 นิยาม

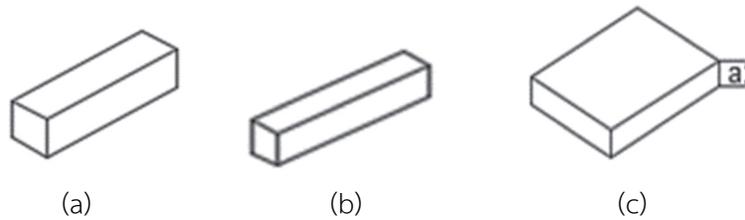
กระบวนการขึ้นรูป (forming processes) เป็นกระบวนการหรือกลุ่มของกระบวนการขึ้นรูปวัสดุในสถานะของแข็งให้เกิดเป็นรูปร่างหรือรูปทรงตามต้องการด้วยเครื่องมือ (tools) หรือตามลักษณะแม่พิมพ์ (die) ส่วนการขึ้นรูปในขณะที่วัสดุมีสถานะของเหลว นั้น มักจะถูกกล่าวถึงในกระบวนการหล่อ (casting process) ซึ่งจะอยู่นอกเหนือจากเนื้อหาของตำราเล่มนี้ โดยทั่วไปในการขึ้นรูปวัสดุของแข็ง จะเป็นการเปลี่ยนรูปร่างหรือรูปทรงของวัตถุดิบเดิมไปเป็นรูปร่างใหม่ในสถานะของแข็ง ซึ่งต้องใช้แรงกระทำ ซึ่งแรงกระทำนั้นจะต้องมีปริมาณสูงกว่าค่าความเค้นจุดคราก (yield strength) ของวัสดุ นั้น ๆ เพื่อให้วัสดุเกิดการเสียรูปไปอย่างถาวรได้

1.2 ความสำคัญ

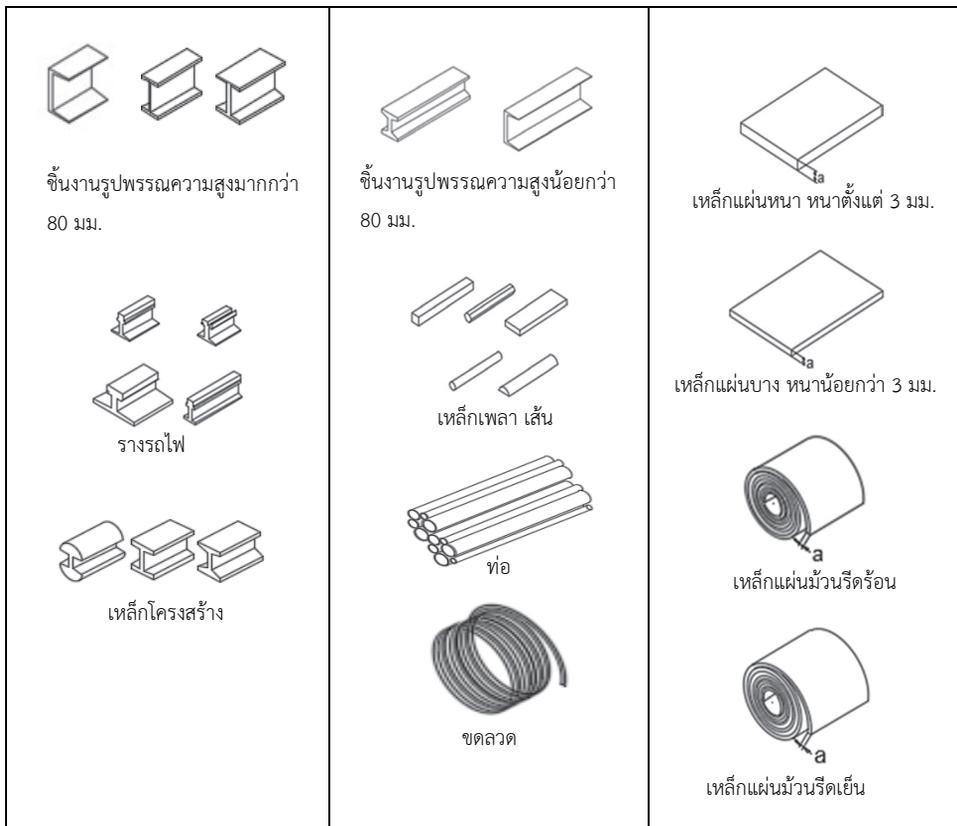
การขึ้นรูปเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญมากในการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมสำคัญต่าง ๆ อาทิ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมขนส่ง อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งการผลิตสินค้าชนิดหนึ่ง อาจจะต้องประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนจำนวนมากที่ผ่านการขึ้นรูป ยกตัวอย่างเช่น รถจักรยานยนต์หนึ่งคัน อาจจะมีชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปจากวัสดุต่าง ๆ ที่ขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกันมากกว่า 10,000 ชิ้นส่วน ในระดับอุตสาหกรรมนั้นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนสามารถออกแบบให้เป็นกระบวนการผลิตที่ผลิตชิ้นงานได้เป็นจำนวนมาก (mass product) เพื่อลดต้นทุนการผลิต หากสามารถควบคุมปัจจัยการขึ้นรูปได้เหมาะสมแล้วจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งาน ชิ้นงานจากการขึ้นรูปมีทั้งแบบกึ่งสำเร็จและสำเร็จซึ่งมีสมบัติเชิงกลต่างกันขึ้นกับกระบวนการผลิตและการตอบสนองต่อความต้องการของการพัฒนาอุตสาหกรรม

ตัวอย่างวัตถุดิบและการขึ้นรูป อาทิ ผลิตภัณฑ์เหล็กรูปพรรณที่ใช้ทั่วไป วัตถุดิบเริ่มต้นของกระบวนการขึ้นรูปมักจะเป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการหล่อต่อเนื่องและการหล่อก้อน ซึ่งผลิตภัณฑ์ในขั้นนี้จะเรียกว่า *ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จ* (semi-finished products) ได้แก่ บลูม (blooms) บิลเล็ต

(billets) สแลบ (slabs) และม้วน (coils) จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จเหล่านี้จะผ่านการแปรรูปหรือขึ้นรูป ด้วยแรงและอุณหภูมิต่าง ๆ จนได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จ ตัวอย่างภาพผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในงานเหล็ก แสดงในภาพที่ 1.1 และ 1.2



ภาพที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จ (a) บลุ่มหรือเหล็กแท่งหนาตั้งแต่ 120 มิลลิเมตร ขึ้นไป (b) บิลเล็ตหรือแท่งเหล็กหนาต่ำกว่า 120 มิลลิเมตร (c) เหล็กแท่งแบนหนา (สัญลักษณ์ a) มากกว่า 40 มิลลิเมตร



ภาพที่ 1.2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สำเร็จในงานขึ้นรูปเหล็กรูปพรรณ (สัญลักษณ์ a = ความหนา)

1.3 ประวัติการขึ้นรูป

ประวัติกระบวนการผลิตและการขึ้นรูปด้วยวิธีต่าง ๆ จะขึ้นกับประเภทวัสดุและเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องในการผลิตได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยมนุษย์มาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีต ประวัติในแต่ละยุคแต่ละสมัยจากยุคหินสู่ยุคปัจจุบันสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 1.1 การขึ้นรูปที่มีประสิทธิภาพจะต้องมีการพิจารณาเลือกใช้วัสดุและกระบวนการขึ้นรูปที่เหมาะสม และสิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมหลายประเด็น ไม่ว่าจะเป็นประเด็นด้านสมบัติที่ต้องการ ด้านราคา ด้านการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ด้านการใช้พลังงานและต้นทุน อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะผลิตสินค้าจริงนั้น โรงงานผลิตจะทำการสร้างต้นแบบ (*prototype*) ออกมาก่อน ก่อนที่จะผลิตเป็นสินค้าหรือชิ้นส่วนจริง ซึ่งจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ส่วนต่าง ๆ และการปรับปรุงต้นแบบให้มีความสมบูรณ์ก่อนที่จะผลิตเป็นสินค้าจริงเพื่อออกสู่ตลาดต่อไป การผลิตต้นแบบในปัจจุบันสามารถทำได้ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า *การผลิตต้นแบบรวดเร็ว (rapid prototype process)* ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการกำหนดรูปร่าง รูปทรงและทำการผลิตต้นแบบด้วยวัสดุกลุ่มพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถทำได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับการผลิตต้นแบบในอดีต ทำให้ลดเวลาในการสร้างต้นแบบที่มีรูปร่างซับซ้อนและลดต้นทุนได้

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างวัสดุ เครื่องมือที่เกี่ยวข้อง ที่มีใช้และขั้นตอนการผลิตในยุคสมัยต่าง ๆ

ยุคสมัย	ช่วงเวลา	การขึ้นรูป	วัสดุ	เครื่องมือ
ยุคหิน	ก่อน 4,000 ปีก่อน คริสต์ศักราช	การตีขึ้นรูป	ทอง ทองแดง วัสดุธรรมชาติ	หิน ไม้ วัสดุ ธรรมชาติ
ยุคทองแดง	4,000-2,000 ปีก่อน คริสต์ศักราช	การตัด ทำลวด	ทองแดง เงิน ตะกั่ว ดีบุก สำริด	แร่คอร์รันดัม ค้อน เครื่องมือ ในงานหล่อ
กรีก 1,100-150 ปี ก่อนคริสต์ศักราช	2,000-1 ปีก่อน	บีบขึ้นรูปเหรียญ	เหล็กดิบ เหล็กหล่อ	สิ่ว เลื่อย เครื่องมือกลึง
โรมัน 500 ปี ก่อนคริสต์ศักราช ค.ศ. 500	คริสต์ศักราช		แก้ว	งานไม้
ค.ศ. 1400-1600	ค.ศ. 1-2000	รีด ดึงขึ้นรูป	เหล็กกล้า สังกะสี ทองเหลือง	กระดาษทราย เครื่องกลึง เครื่องเจาะ
ปฏิวัติอุตสาหกรรม	ค.ศ. 1700- 1900	การอัดรีด รีดร้อน รีดต่อเนื่อง แม่พิมพ์	เหล็กหล่อเหนียว อะลูมิเนียม เหล็กชุบ โลหะผง ยาง พลาสติก หลอดไฟ	เครื่องกลึง กึ่งอัตโนมัติ เครื่องกัด หินขัด
สงครามโลก ครั้งที่ 1	ค.ศ. 1900- 1950	ฉีดขึ้นรูป	พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ไฟเบอร์กลาส ยางสังเคราะห์	ถังสแตนคาร์ไบด์
สงครามโลก ครั้งที่ 2	ค.ศ. 1950- 1960	หล่อแบบ ฉีดขึ้นรูป	เหล็กหล่อแกรไฟต์ กลม	ตัดแผ่นด้วย ไฟฟ้า/เคมี ด้วย