



หนังสือเรียน

# วิชา กรรมวิธีการผลิต (2102-2007)

ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้น พุทธศักราช 2556  
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา



เรียบเรียงโดย

เสกสรร ศรียศ





## หลักสูตรรายวิชา

---

2102-2007    กรรมวิธีการผลิต

2-0-2

(Manufacturing Process)

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจหลักการการผลิตชิ้นส่วน
2. เลือกกรรมวิธีการผลิตให้เหมาะสมกับการผลิตชิ้นส่วน
3. มีกิจนิสัยในการทำงานที่มีระเบียบแบบแผน สร้างสรรค์ มีความปลอดภัย มีความรับผิดชอบ

ต่อตนเองและส่วนรวม

สมรรถนะรายวิชา

แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการ กระบวนการ เลือกกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ในงานอุตสาหกรรม

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาหลักการของกรรมวิธีการขึ้นรูปชิ้นส่วนที่เป็น โลหะและอโลหะด้วยเครื่องมือกล การขึ้นรูปรีด การขึ้นรูปเย็น การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้าและทางเคมี



## โครงการสอนรายวิชา

สอนครั้งที่	สัปดาห์ที่	บทที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้	จำนวนชั่วโมงสอน
1	1	-	ปฐมนิเทศการเรียนการสอนรายวิชา	2
2	2	1	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิต	2
3	3			2
4	4	2	การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน	2
5	5			2
6	6			2
7	7	3	การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลอัตโนมัติ	2
8	8	4	การขึ้นรูปร้อน	2
9	9			2
10	10	5	การขึ้นรูปเย็น	2
11	11			2
12	12	6	การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีการหล่อ	2
13	13			2
14	14	7	การขึ้นรูปด้วยโลหะผง	2
15	15	8	กรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีทางไฟฟ้า	2
16	16		กรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีทางเคมี	2
17	17	9	การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกล	2
18	18		การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางความร้อน	2
-	-	-	วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	-
<b>รวม</b>				<b>36</b>

หมายเหตุ      โครงการสอนนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม



## คำนำ

วิชากรรมวิธีการผลิต (2102-2007) เป็นวิชาที่มุ่งให้ผู้เรียนที่เรียนแล้วมีความรู้เกี่ยวกับหลักการ กระบวนการ และเลือกกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ในงานอุตสาหกรรม ได้ถูกต้องและเหมาะสม ซึ่งจากคำอธิบายรายวิชาสามารถจำแนกเนื้อหาความรู้ ซึ่งประกอบด้วย ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิต การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลอัตโนมัติ การขึ้นรูปรีด การขึ้นรูปเย็บ การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีการหล่อ การขึ้นรูปด้วยโลหะผง การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้าและทางเคมี และการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกลและทางความร้อน

การเรียบเรียงเนื้อหาในครั้งนี้อย่างที่ผู้เรียบเรียงขอขอบคุณเจ้าของข้อมูลและภาพประกอบต่างๆ จากเว็บไซต์ที่ต่างๆ ขอขอบคุณผู้เรียบเรียงตำราทุกเล่มที่นำมาอ้างอิง ขอขอบคุณทุกแรงใจที่มอบให้ ขอขอบคุณครูทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอน ขอขอบคุณอาจารย์อำนาจ ทองแสน ที่เป็นแรงผลักดันในการเรียบเรียงตำราทุกเล่มของข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อนิยม คุณแม่ศิรามล (ลำออย) ศรียศ และทุกคนในครอบครัวพร้อมญาติมิตรที่ส่งเสริมการศึกษาเล่าเรียนของข้าพเจ้าเสมอมา ขอบใจกำลังใจที่สำคัญยิ่งที่ทำให้ผู้เรียบเรียงพยายามทำทุกอย่างเพื่อเขา เด็กชายศิริวิชญ์ เด็กหญิงศิรดา (พี่ต้นหอมอ่อนง่าใหม่) ศรียศ และภรรยาของข้าพเจ้านางศิริลักษณ์ ศรียศ

สุดท้ายนี้หากตำราเล่มนี้จะมีคุณค่าอันใด ผู้เรียบเรียงขอมอบให้คุณปู่สุข ศรียศ ผู้เป็นแรงบันดาลใจให้มาเป็นครู และหากตำราเล่มนี้มีข้อบกพร่องอันใดก็ตาม ผู้เรียบเรียงยินดีน้อมรับคำวิจารณ์ตลอดจนคำแนะนำจากผู้อ่านทุกท่าน เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปปรับปรุงตำราเล่มนี้ต่อไป

เสกสรร ศรียศ



# สารบัญ

	หน้า
หลักสูตรรายวิชา	ก
โครงการสอนรายวิชา	ข
คำนำ	ค
สารบัญ	ง
<b>บทที่ 1</b> <b>ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิต</b>	<b>1</b>
1.1    บทนำ	2
1.2    ความหมายของกรรมวิธีการผลิต	2
1.3    องค์ประกอบของกรรมวิธีการผลิต	2
1.4    การแบ่งกลุ่มของกรรมวิธีการผลิต	4
1.5    การเลือกกรรมวิธีการผลิต	10
สรุปลักษณะสำคัญ	12
แบบฝึกหัดบทที่ 1	13
แบบทดสอบบทที่ 1	16
<b>บทที่ 2</b> <b>การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน</b>	<b>18</b>
2.1    บทนำ	20
2.2    การกลึง	21
2.3    การกัด	25
2.4    การไส	28
2.5    การเจาะ	30
2.6    การคว้าน	33
2.7    การเลื่อย	34
2.8    การเจียรระโน	36
2.9    การแท่งขึ้นรูป	40
สรุปลักษณะสำคัญ	41
แบบฝึกหัดบทที่ 2	42
แบบทดสอบบทที่ 2	49

	หน้า
<b>บทที่ 3 การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลอัตโนมัติ</b>	<b>53</b>
3.1 บทนำ	54
3.2 ความเป็นมาของเครื่องมือกลซีเอ็นซี	54
3.3 หลักการทำงานของเครื่องมือกลซีเอ็นซี	56
3.4 องค์ประกอบของเครื่องมือกลซีเอ็นซี	57
3.5 ประเภทของเครื่องมือกลซีเอ็นซี	59
3.6 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือกลซีเอ็นซี	64
สรุปสาระสำคัญ	65
แบบฝึกหัดบทที่ 3	66
แบบทดสอบบทที่ 3	69
<b>บทที่ 4 การขึ้นรูปรีออน</b>	<b>72</b>
4.1 บทนำ	73
4.2 การรีดขึ้นรูปรีออน	74
4.3 การตีขึ้นรูปรีออน	78
4.4 การอัดขึ้นรูปรีออน	81
4.5 การดึงขึ้นรูปรีออน	83
4.6 การผลิตท่อ	83
4.7 การหมุนขึ้นรูปรีออน	87
สรุปสาระสำคัญ	88
แบบฝึกหัดบทที่ 4	89
แบบทดสอบบทที่ 4	92
<b>บทที่ 5 การขึ้นรูปเย็น</b>	<b>95</b>
5.1 บทนำ	96
5.2 การรีดขึ้นรูปเย็น	97
5.3 การอัดขึ้นรูปเย็น	98
5.4 การดึงขึ้นรูปเย็น	99
5.5 การตีขึ้นรูปเย็น	100

<b>บทที่ 5 (ต่อ)</b>		
5.6 การขึ้นรูปโลหะแผ่น		102
สรุปลักษณะสำคัญ		109
แบบฝึกหัดบทที่ 5		110
แบบทดสอบบทที่ 5		113
<b>บทที่ 6 การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีการหล่อ</b>		<b>115</b>
6.1 บทนำ		116
6.2 ประเภทของกรรมวิธีการหล่อโลหะ		116
6.3 การหล่อแบบไม่ถาวร		117
6.4 การหล่อแบบถาวร		130
สรุปลักษณะสำคัญ		136
แบบฝึกหัดบทที่ 6		137
แบบทดสอบบทที่ 6		141
<b>บทที่ 7 การขึ้นรูปด้วยโลหะผง</b>		<b>143</b>
7.1 บทนำ		144
7.2 การผลิตโลหะผง		144
7.3 การผสมโลหะผง		146
7.4 การขึ้นรูปโลหะผง		146
7.5 การอบผลึก		150
7.6 วิธีปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นงานโลหะผง		152
สรุปลักษณะสำคัญ		153
แบบฝึกหัดบทที่ 7		154
แบบทดสอบบทที่ 7		156
<b>บทที่ 8 การขึ้นรูปด้วยวิธีทางไฟฟ้าและทางเคมี</b>		<b>158</b>
8.1 บทนำการขึ้นรูปด้วยวิธีทางไฟฟ้า		159
8.2 การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยแท่งอิเล็กโตรด		159
8.3 การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้า		160

<b>บทที่ 8 (ต่อ)</b>	
8.4 บทนำการขึ้นรูปด้วยวิธีทางเคมี	161
8.5 กระบวนการกัดกร่อนด้วยสารเคมี	161
8.6 กระบวนการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าเคมี	163
สรุปลักษณะสำคัญ	166
แบบฝึกหัดบทที่ 8	167
แบบทดสอบบทที่ 8	169
<b>บทที่ 9 การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกล</b>	<b>172</b>
9.1 บทนำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกล	174
9.2 การขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิก	174
9.3 การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำ	175
9.4 การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัด	176
9.5 การขึ้นรูปด้วยผงขัด	177
9.6 บทนำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางความร้อน	178
9.7 กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงอินฟราเรด	178
9.8 กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงเลเซอร์	180
9.9 กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยพลาสมา	181
สรุปลักษณะสำคัญ	183
แบบฝึกหัดบทที่ 9	184
แบบทดสอบบทที่ 9	187
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>189</b>





# บทที่ 1

## ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิต

---

### แนวคิดสำคัญ

การศึกษาเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิตเป็นการศึกษาเพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการของกรรมวิธีการขึ้นรูปชิ้นส่วนที่เป็นโลหะและอโลหะด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน เครื่องมือกลอัตโนมัติ การขึ้นรูปรีด การขึ้นรูปเย็น การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้าและทางเคมี การเลือกกรรมวิธีการผลิตให้เหมาะสมกับการผลิตชิ้นส่วน ดังนั้นผู้เรียนจึงต้องศึกษาหลักการเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิตให้มีความรู้และความเข้าใจที่ถูกต้อง

### หัวข้อเรื่อง

1. บทนำ
2. ความหมายของกรรมวิธีการผลิต
3. องค์ประกอบของกรรมวิธีการผลิต
4. การแบ่งกลุ่มของกรรมวิธีการผลิต
5. การเลือกกระบวนการผลิต

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของกรรมวิธีการผลิตได้ถูกต้อง
2. อธิบายองค์ประกอบของกรรมวิธีการผลิตได้ถูกต้อง
3. จำแนกกลุ่มของกรรมวิธีการผลิตได้ถูกต้อง
4. เข้าใจหลักการเลือกกระบวนการผลิตได้ถูกต้อง

## 1.1 บทนำ

การเริ่มต้นของกรรมวิธีการผลิตสมัยใหม่ เกิดขึ้นในราวปี ค.ศ. 1800 เมื่อเอลี วิตนีย์ (Eli Whitney) ได้สร้างเครื่องปั่นฝ้ายขึ้น นอกจากนี้ในช่วงเวลาเดียวกันยังได้สร้างเครื่องกัดโลหะ (Milling Machine) และพัฒนาเครื่องจักรอื่นๆ ขึ้นมาอีกหลายชนิด การเกิดสงครามกลางเมืองปั่นตัวเร่งเร้าสำคัญที่นำไปสู่การพัฒนากระบวนการผลิตขึ้นในสหรัฐอเมริกา เฟรดเดอริก ดับเบิลยู เทย์เลอร์ (Frederick W. Taylor) ได้ทำการทดลองและวิเคราะห์ถึงแง่มุมต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับกระบวนการผลิต และต่อมาได้ตีพิมพ์ผลงานออกมาเผยแพร่โดยใช้ชื่อว่า “ศิลปะในการตัดโลหะ” ในบทความได้แสดงให้เห็นว่าวิทยาศาสตร์คือพื้นฐานสำคัญของกระบวนการผลิต ต่อมาศาสตราจารย์ Myron L. Begeman ได้กระตุ้นให้มีการเผยแพร่ความรู้ใหม่ๆ เกี่ยวกับกระบวนการผลิตสำหรับผู้สนใจในด้านนี้

## 1.2 ความหมายของกรรมวิธีการผลิต

กรรมวิธีการผลิต (Manufacturing) หมายถึง กระบวนการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบหรือวัสดุให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่สามารถจับต้องได้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ผลิตภัณฑ์หรือสินค้าเพื่ออุปโภคบริโภค (Consumer Goods) เช่น รถยนต์ อาหาร กระป๋อง เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เป็นต้น

2) ผลิตภัณฑ์หรือสินค้ากึ่งสำเร็จรูป (Producer Goods) คือ ผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่จะนำไปผลิตต่ออีกครั้งหนึ่ง เช่น เหล็กเส้น เหล็กแผ่น ยางแผ่น อะลูมิเนียมเส้น เป็นต้น

นอกจากความหมายดังกล่าวข้างต้นแล้ว กรรมวิธีการผลิตยังรวมถึงกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวกับการผลิตเข้าไป ประกอบด้วย การออกแบบและการจัดทำเอกสาร การเลือกวัสดุ การวางแผน การผลิต การประกันคุณภาพ การจัดการและการตลาด

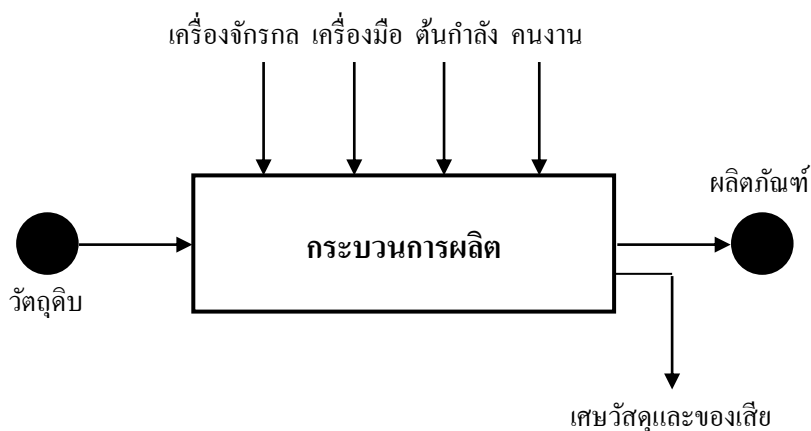
## 1.3 องค์ประกอบของกรรมวิธีการผลิต

องค์ประกอบของกรรมวิธีการผลิตมี 2 ลักษณะ คือ การผลิตโดยกระบวนการทางด้านเทคนิค (Technical Process) และการผลิตโดยกระบวนการทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Process) โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 1.3.1 การผลิตโดยกระบวนการทางด้านเทคนิค

การผลิตโดยกระบวนการทางด้านเทคนิค คือ กระบวนการเปลี่ยนรูปทรงของวัสดุให้เป็นชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งกระบวนการทางด้านเทคนิคนี้จะรวมถึงการประกอบชิ้นส่วนเพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ โดยกระบวนการผลิตจะต้องมีการผสมผสานกันที่ดีระหว่างเครื่องจักรกล

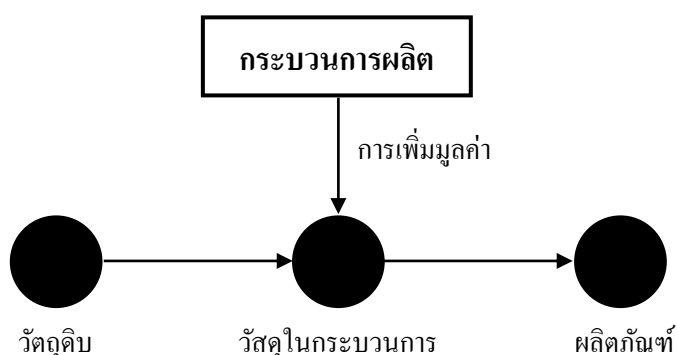
เครื่องมือ ต้นกำลัง และคนงาน ซึ่งทั้งหมดนี้ต้องการจัดลำดับของการปฏิบัติงานของแต่ละขั้นตอน ตั้งแต่วัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 การผลิตโดยกระบวนการทางด้านเทคนิค

### 1.3.2 การผลิตโดยกระบวนการทางด้านเศรษฐศาสตร์

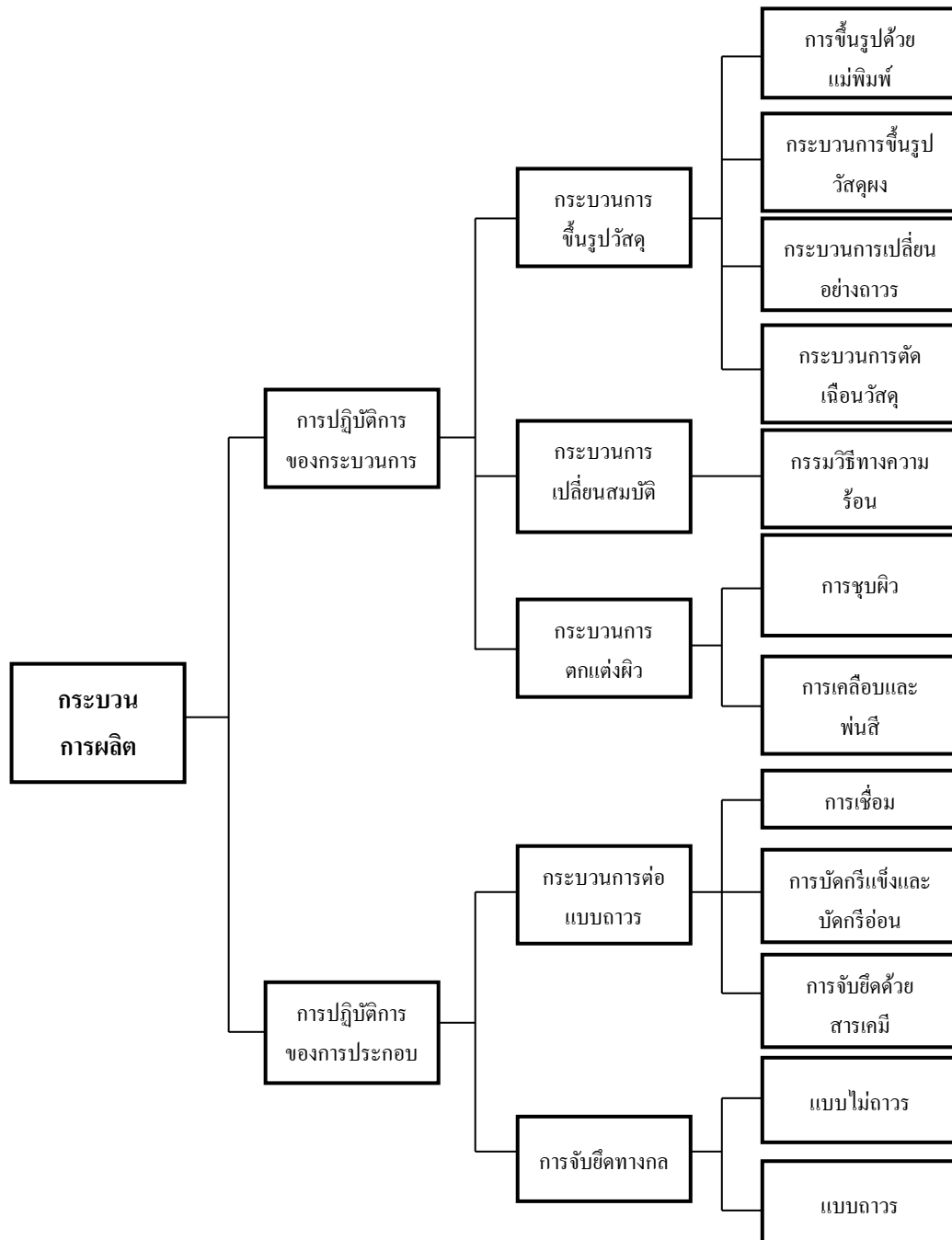
การผลิตโดยกระบวนการทางด้านเศรษฐศาสตร์ คือ การเปลี่ยนแปลงหรือแปรรูปวัสดุที่ป้อนเข้าไปในกระบวนการแล้วทำให้เกิดมูลค่าสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มมูลค่านี้อาจกระทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของชิ้นงาน หรือปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้นหรือทั้งสองอย่างรวมกัน ยกตัวอย่าง เช่น การเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงเหล็กหล่อให้เป็นเหล็กกล้า การแปรรูปทรายให้เป็นแก้ว และการแปรรูปปิโตรเลียม (Petroleum) ให้เป็นเม็ดพลาสติก จากนั้นก็นำเม็ดพลาสติกมาแปรรูปให้เป็นขวดพลาสติก แก้ว หรือผลิตภัณฑ์จากพลาสติก เป็นต้น ซึ่งสิ่งต่างๆ ที่กล่าวมานี้เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น ดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 การผลิตโดยกระบวนการทางด้านเศรษฐศาสตร์

## 1.4 การแบ่งกลุ่มของกรรมวิธีการผลิต

พื้นฐานของกรรมวิธีการผลิต แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กระบวนการผลิต (Processing Operation) และกระบวนการประกอบ (Assembly Operation) ดังภาพที่ 1.3



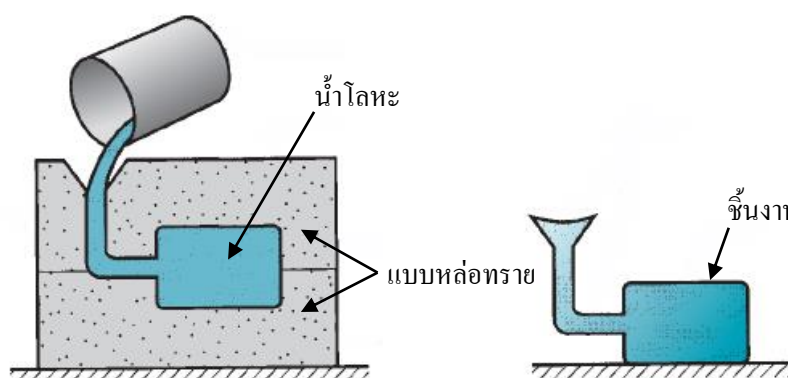
ภาพที่ 1.3 การแบ่งกลุ่มกระบวนการผลิต

### 1.4.1 กระบวนการผลิต

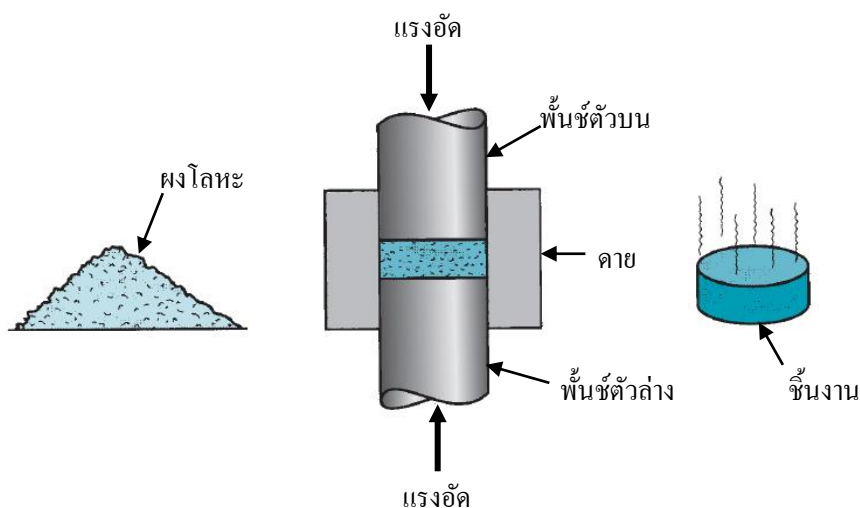
กระบวนการผลิต คือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง สมบัติของวัสดุให้เป็นชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย กระบวนการขึ้นรูปวัสดุ (Shaping Operation) กระบวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุ (Property Enhancing Operation) และกระบวนการตกแต่งผิว (Surface Operation)

#### 1.4.1.1 กระบวนการขึ้นรูปวัสดุ

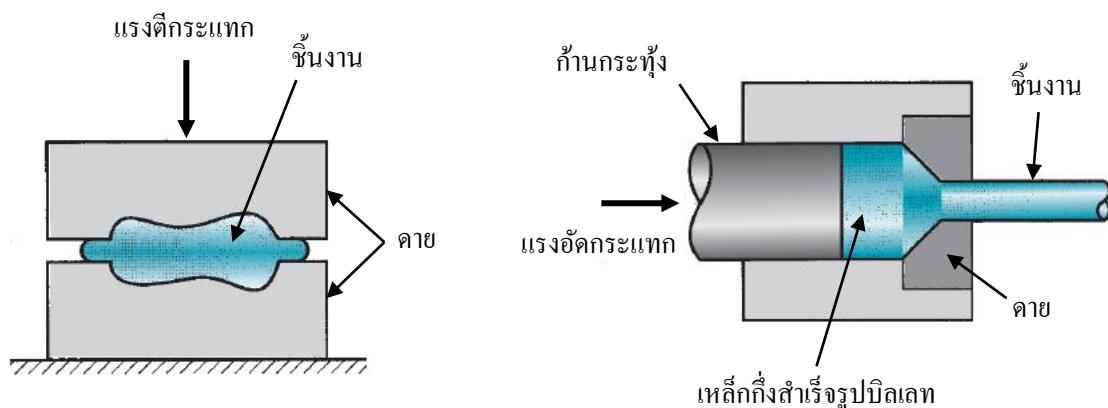
กระบวนการขึ้นรูปวัสดุ คือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างวัสดุด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการหล่อโลหะ (Casting) กระบวนการขึ้นรูปวัสดุผง (Particulate Process) กระบวนการขึ้นรูปด้วยแรง (Deformation Processes) และกระบวนการตัดเอาเนื้อวัสดุออก (Material Removal Processes) ดังภาพที่ 1.4



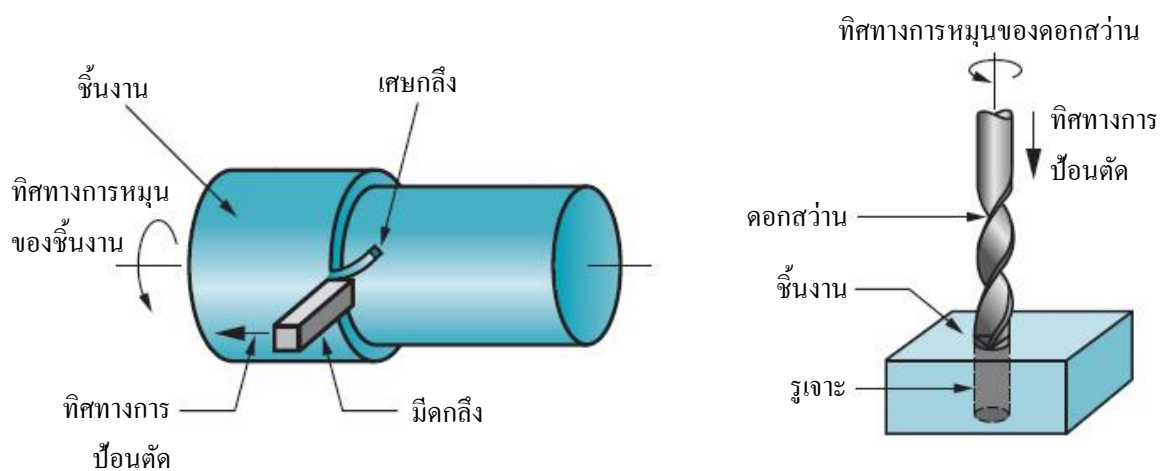
(ก) กระบวนการหล่อโลหะ



(ข) กระบวนการขึ้นรูปวัสดุผง



(ค) กระบวนการขึ้นรูปด้วยแรง

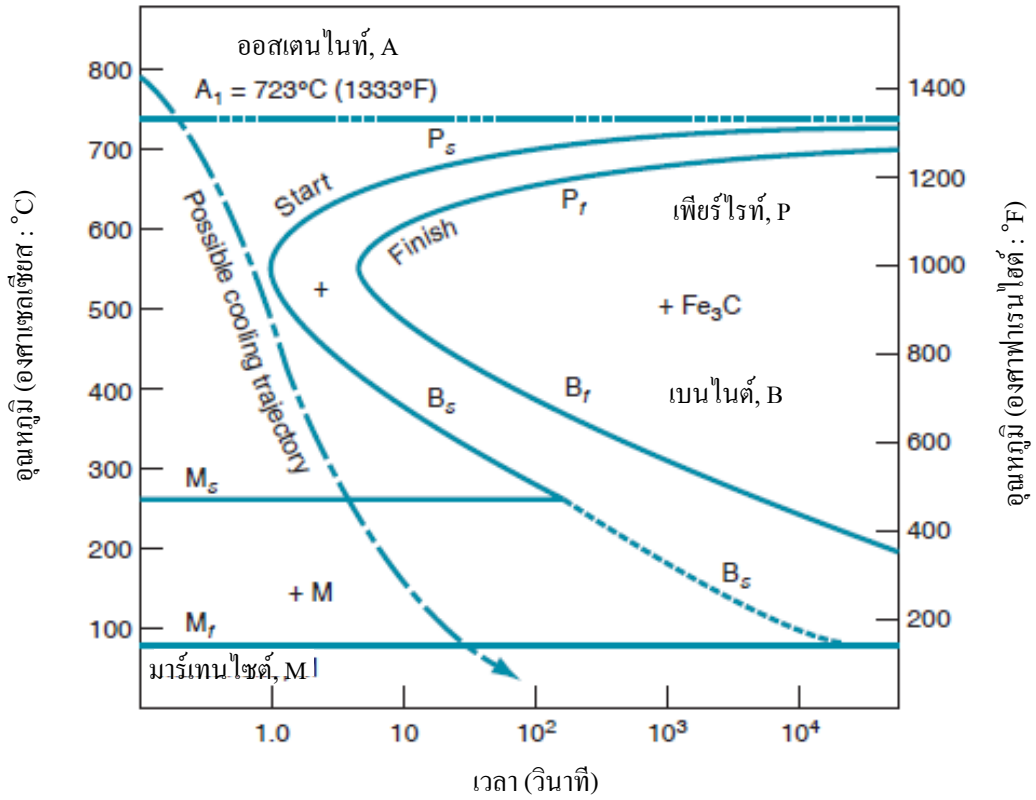


(ง) การบวนการตัดเอาเนื้อวัสดุออก

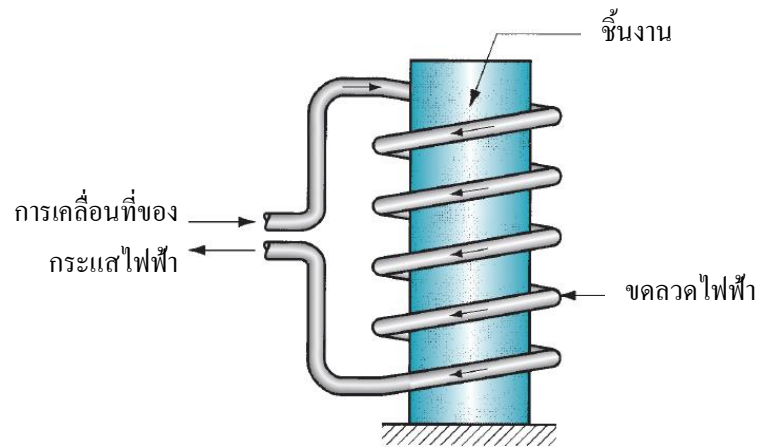
ภาพที่ 1.4 แสดงกระบวนการขึ้นรูปวัสดุ

#### 1.4.1.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุ

กระบวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุ คือ กระบวนการลำดับที่สองต่อเนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปวัสดุ เพื่อปรับเปลี่ยนสมบัติทางกลหรือคุณสมบัติทางกายภาพ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของวัสดุชิ้นงาน เช่น กระบวนการอบอ่อน (Annealing) กระบวนการชุบแข็ง (Hardening) ของวัสดุจำพวกโลหะ เป็นต้น ดังภาพที่ 1.5



(ก) แผนภูมิ TTT Diagram



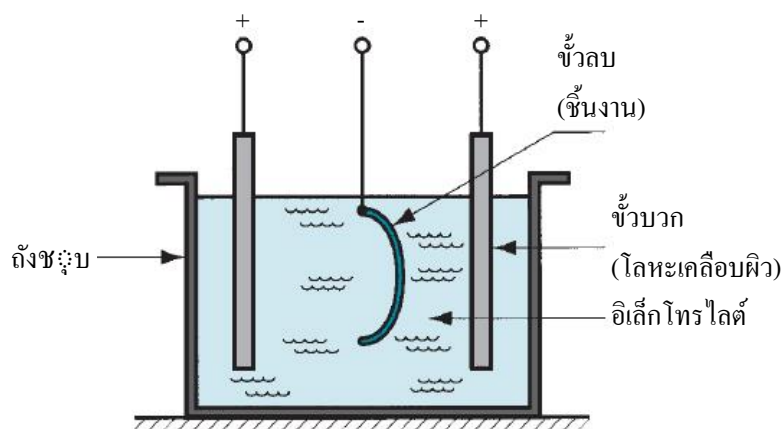
(ข) กระบวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุ

ภาพที่ 1.5 กระบวนการชุบแข็งเฉพาะผิว

### 1.4.1.3 กระบวนการตกแต่งผิว

กระบวนการตกแต่งผิว คือ ขั้นตอนการทำงานขั้นสุดท้าย เพื่อให้ได้คุณสมบัติของผิวที่เหมาะสมกับการนำมาใช้งาน เช่น ป้องกันการกัดกร่อน การทำให้เกิดสี เพิ่มความแข็งแรง ป้องกันการสึกหรอและการเตรียมผิวเพื่อไปยังลำดับขั้นต่อไปของกระบวนการ เป็นต้น กระบวนการตกแต่งผิวถูกนำมาใช้มากสำหรับวัสดุจำพวกโลหะ และในบางกรณีจะถูกนำมาใช้บนกระบวนการประกอบ

กระบวนการตกแต่งผิว ประกอบด้วย กระบวนการทำงานทางกล เช่น การพ่นเม็ดเหล็ก (Shot Peening) และการพ่นเม็ดทราย (Sand Blasting) เป็นต้น กระบวนการเคลือบและกระบวนการเคลือบด้วยฟิล์มบาง จะถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการเคลือบผิวของชิ้นส่วน เช่น การชุบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating) การชุบผิวอะลูมิเนียม (Anodizing) และการเคลือบผิวด้วยอินทรีย์วัตถุที่เรียกว่า การพ่นสี (Painting) เป็นต้น ดังภาพที่ 1.6



ภาพที่ 1.6 การชุบผิวด้วยไฟฟ้า

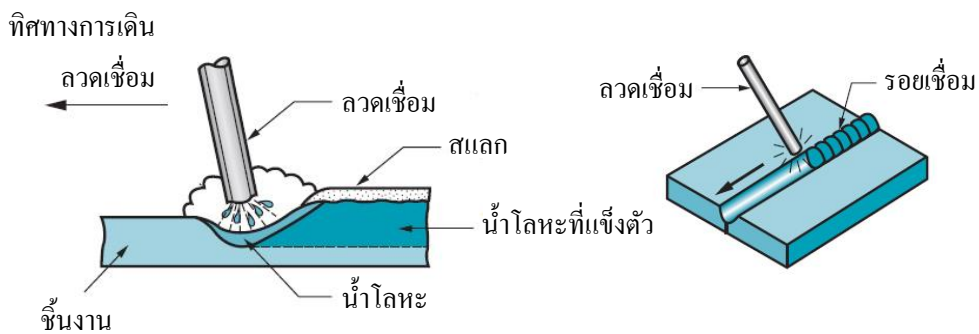
## 1.4.2 กระบวนการประกอบ

กระบวนการประกอบ คือ กระบวนการที่กระทำให้วัตถุหรือชิ้นส่วนประกอบติดกัน ซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ กระบวนการของการประกอบแบบถาวร (Permanente Joining Process) และ กระบวนการของการประกอบทางกล (Mechanical Fastening) มีรายละเอียดดังนี้

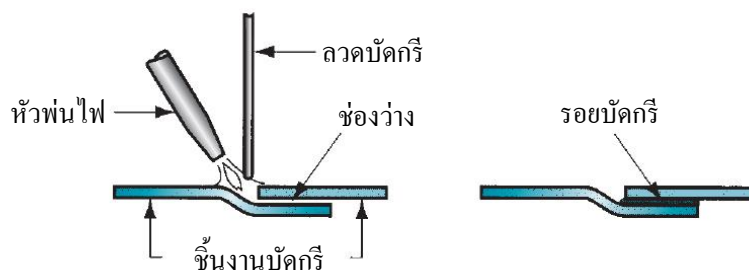
### 1.4.2.1 กระบวนการของการประกอบแบบถาวร

กระบวนการของการประกอบแบบถาวร คือ กระบวนการยึดหรือประสานเพื่อให้ชิ้นงานตั้งแต่ 2 ชิ้นติดกัน แต่ไม่สามารถถอดได้และหากต้องการถอดจะต้องทำลายบริเวณที่ยึดประสานของชิ้นงาน สำหรับกระบวนการของการประกอบแบบถาวรที่สำคัญ ประกอบด้วย การเชื่อม การบัดกรีแข็ง การบัดกรีอ่อน และการต่อด้วยสารเคมีหรือวัสดุประสาน (Adhesive Bonding) เป็นต้น ดังภาพที่ 1.7





(ก) กระบวนการเชื่อมโลหะ

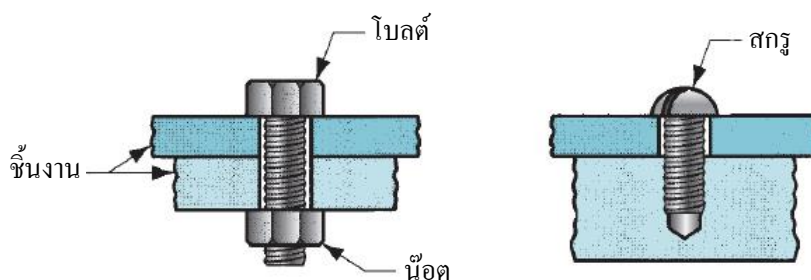


(ข) กระบวนการบัดกรี

ภาพที่ 1.7 กระบวนการของการประกอบแบบถาวร

1.4.2.2 กระบวนการของการประกอบทางกล

กระบวนการของการประกอบทางกล เป็นการนำเอาอุปกรณ์ทางกลเข้ามาจับยึดหรือประสาน เพื่อให้ชิ้นงานตั้งแต่ 2 ชิ้นติดกัน และสามารถถอดประกอบได้ เช่น การประกอบด้วย สกรู โบลต์ น็อต การจับยึดด้วยเกลียว (Threaded Fasteners) การประกอบด้วยการสวม (Fitting) เป็นต้น การต่อประสาน ในลักษณะนี้จะนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการประกอบรถไฟ เครื่องบิน รถยนต์ เครื่องจักรกล เป็นต้น ดังภาพที่ 1.8



ภาพที่ 1.8 การจับยึดด้วยเกลียว

ข้อได้เปรียบของการยึดทางกลเมื่อเทียบกับการต่อวัสดุประเภทอื่นๆ มี 2 ประเด็นหลัก คือ ความง่ายในการต่อชิ้นงาน และความง่ายในการแยกชิ้นงาน ในประเด็นแรก การยึดทางกลสามารถกระทำได้โดยไม่ต้องอาศัยความชำนาญที่สูงเหมือนการเชื่อม หรือการประสานอื่นๆ มีการใช้เครื่องมือที่น้อย ไม่ยุ่งยาก และสามารถทำสำเร็จในเวลาอันสั้น ส่วนประเด็นหลังมุ่งเน้นสำหรับอุปกรณ์ทางกลที่ก่อให้เกิดรอยต่อแบบชั่วคราวได้ ทั้งนี้ในการต่อชิ้นงานหลายๆ แบบอาจมีความจำเป็นที่ต้องแยกชิ้นงานออกจากกันในบางกรณี เช่น การซ่อมแซม การทำความสะอาด หรือการบำรุงรักษา เป็นต้น

## 1.5 การเลือกกรรมวิธีการผลิต

การที่ผลิตภัณฑ์ชิ้นหนึ่งจะถูกสร้างขึ้นมานั้นจะต้องผ่านการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุสำหรับผลิตภัณฑ์นั้น นอกจากนี้ยังมีความจำเป็นที่มีการเลือกกรรมวิธีการผลิตที่สามารถเข้ากันได้กับชนิดของวัสดุที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้วซึ่งทั้งการเลือกวัสดุและการเลือกกรรมวิธีการผลิตนั้นมีความสำคัญเท่ากันและหากว่าชนิดของวัสดุได้ถูกเปลี่ยนไปกรรมวิธีการผลิตอาจจะต้องถูกเปลี่ยนไปด้วย นอกจากนี้กรรมวิธีการผลิตยังส่งผลต่อโครงสร้างของวัสดุซึ่งมีผลให้สมบัติของวัสดุและชิ้นส่วนนั้นเปลี่ยนไป อาจทำให้ชิ้นส่วนนั้นมีสมบัติทางกลที่ไม่ดีพอหรือไม่ตรงกับความต้องการจากการออกแบบ และในบางกรณีอาจมีความจำเป็นที่ต้องเลือกกรรมวิธีการผลิตก่อนการเลือกวัสดุ เช่น เหตุผลทางด้านต้นทุน หรือเครื่องจักร หรือเครื่องมือที่มีอยู่ เป็นต้น

กรรมวิธีการผลิตแต่ละชนิดมีคุณลักษณะจำเพาะ (Attributes) เช่น ชนิดของวัสดุที่สามารถใช้กรรมวิธีการผลิต ขนาด และรูปร่าง ที่สามารถสร้างได้จากกรรมวิธีการผลิตนั้นๆ ความหนาของภาคตัดที่ผลิตได้ ความแม่นยำของขนาด (Tolerance) ความเรียบของพื้นผิว (Surface Roughness) ปริมาณการผลิต (Batch Size) ต้นทุนในการผลิต (Capital Cost) เป็นต้น ซึ่งในการเลือกกรรมวิธีการผลิตจะต้องคำนึงถึงคุณลักษณะจำเพาะของกรรมวิธีการผลิตของแต่ละกระบวนการด้วยเพราะต้องพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการออกแบบมาแล้วเนื่องจากกระบวนการจะต้องผลิตออกมาให้ตอบสนองต่อข้อจำกัดจากแบบ (Design Constraints) และความต้องการของแบบ (Design Requirements)

การเลือกกระบวนการผลิตนอกจากนี้ในบางกรณีอาจต้องคำนึงถึงรูปร่างของชิ้นงาน เนื่องจากบางกรรมวิธีสามารถผลิตได้เฉพาะรูปร่างง่ายๆ เท่านั้น หรือในขณะที่บางกรรมวิธีสามารถผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้ ดังภาพที่ 1.9



ภาพที่ 1.9 แผนภาพการเลือกกรรมวิธีการผลิต

จากภาพที่ 1.9 องค์ประกอบของการเลือกกระบวนการผลิต ประกอบด้วย วัสดุที่ใช้ในการผลิต รูปร่างของผลิตภัณฑ์ และหน้าที่ใช้การทำงาน

## สรุปสาระสำคัญ

พื้นฐานของการแบ่งกลุ่มของกรรมวิธีการผลิต สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กระบวนการผลิต (Processing Operation) และกระบวนการประกอบ (Assembly Operation) โดยกระบวนการผลิต คือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง สมบัติของวัสดุให้เป็นชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย กระบวนการขึ้นรูปวัสดุ (Shaping Operation) กระบวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุ (Property Enhancing Operation) และกระบวนการตกแต่งผิว (Surface Operation) และกระบวนการประกอบ คือ กระบวนการที่กระทำให้วัสดุหรือชิ้นส่วนประกอบติดกัน ซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ กระบวนการของการประกอบแบบถาวร (Permanente Joining Process) และกระบวนการของการประกอบทางกล (Mechanical Fastening)

สำหรับองค์ประกอบของการเลือกกรรมวิธีการผลิตให้เหมาะสมกับคุณลักษณะ รูปร่าง ขนาด พิกัดความเผื่อ ความเรียบผิว ปริมาณการผลิต ต้นทุนการผลิต ฯลฯ ให้พิจารณาองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ วัสดุที่ใช้ในการผลิต รูปร่างของผลิตภัณฑ์ และหน้าที่ใช้การทำงาน

# แบบฝึกหัดบทที่ 1

## ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิต

---

คำสั่ง จงตอบคำถามที่กำหนดให้ให้สมบูรณ์

1. อธิบายความหมายของกรรมวิธีการผลิตได้ถูกต้อง

กรรมวิธีการผลิต (Manufacturing) หมายถึง .....

.....

.....

.....

1.1 ผลิตภัณฑ์หรือสินค้าเพื่อการอุปโภคบริโภค (5 ตัวอย่าง) เช่น.....

.....

.....

1.2 ผลิตภัณฑ์หรือสินค้าเชิงสำเร็จรูป (5 ตัวอย่าง) เช่น.....

.....

.....

2. อธิบายองค์ประกอบของกรรมวิธีการผลิตได้ถูกต้อง

2.1 องค์ประกอบการผลิตโดยกระบวนการทางด้านเทคนิค คือ

.....

.....

.....

.....

2.2 องค์ประกอบการผลิตโดยกระบวนการทางด้านเศรษฐศาสตร์ คือ

.....

.....

.....

.....

### 3. จำแนกกลุ่มของกรรมวิธีการผลิตได้ถูกต้อง

3.1 กรรมวิธีการผลิต สามารถแบ่งออกเป็น ..... พวก ใหญ่ๆ คือ.....  
ประกอบด้วย.....

3.2 กระบวนการผลิต คือ.....  
ประกอบด้วย.....

กระบวนการขึ้นรูปวัสดุ คือ.....  
ประกอบด้วย.....

กระบวนการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัตถุ คือ.....  
เช่น.....

กระบวนการตกแต่งผิว คือ.....  
เช่น.....

3.3 กระบวนการประกอบ คือ.....  
แบ่งเป็น 2 แบบ คือ.....

กระบวนการของการประกอบแบบถาวร คือ.....  
เช่น (3 ตัวอย่าง) .....

กระบวนการของการประกอบทางกล คือ.....  
เช่น (3 ตัวอย่าง) .....

4. เข้าใจหลักการเลือกกระบวนการผลิตได้ถูกต้อง

องค์ประกอบในการเลือกกระบวนการผลิต คือ

4.1 .....

4.2 .....

4.3 .....

## แบบทดสอบบทที่ 1

### ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกรรมวิธีการผลิต

---

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายกากบาท (×) ลงในกระดาษคำตอบในข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. Manufacturing หมายถึง

- ก. กระบวนการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ต่างๆ ให้เป็นการบริการ
- ข. กระบวนการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบหรือวัสดุให้เป็นผลิตภัณฑ์หรือสินค้า
- ค. กระบวนการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบหรือวัสดุให้เป็นผลิตภัณฑ์หรือสินค้าและการบริการ
- ง. กระบวนการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบหรือวัสดุและผลิตภัณฑ์ให้เป็นการบริการ

2. ข้อใดไม่ใช่องค์ประกอบของกรรมวิธีการผลิตโดยกระบวนการทางด้านเทคนิค

- ก. วัตถุดิบ
- ข. กระบวนการผลิต
- ค. ผลิตภัณฑ์
- ง. การเพิ่มมูลค่า

3. ข้อใดไม่ใช่องค์ประกอบของกรรมวิธีการผลิตโดยกระบวนการทางด้านเศรษฐศาสตร์

- ก. เศษวัสดุและของเสีย
- ข. วัตถุดิบ
- ค. ผลิตภัณฑ์
- ง. การเพิ่มมูลค่า

4. ข้อใดแบ่งกลุ่มของกรรมวิธีการผลิตได้ถูกต้อง

- ก. กระบวนการต่อแบบถาวร และ กระบวนการประกอบ
- ข. กระบวนการตกแต่งผิว และ กระบวนการเปลี่ยนสมบัติวัสดุ
- ค. กระบวนการผลิต และ กระบวนการประกอบ
- ง. กระบวนการขึ้นรูปวัสดุ และ กระบวนการเปลี่ยนสมบัติวัสดุ

5. ข้อใดไม่ได้อยู่ในกลุ่มของกระบวนการผลิต

- ก. กระบวนการขึ้นรูปวัสดุ
- ข. กระบวนการเปลี่ยนสมบัติวัสดุ
- ค. กระบวนการตกแต่งผิว
- ง. กระบวนการต่อแบบถาวร

6. ข้อใดไม่ได้อยู่ในกลุ่มของกระบวนการจับยึดทางกล

- ก. กระบวนการต่อด้วยลวด
- ข. กระบวนการบัดกรี
- ค. กระบวนการยึดด้วยหมุดย้ำ
- ง. กระบวนการยึดด้วยเกลียว

7. ข้อใดไม่ได้อยู่ในกลุ่มของกระบวนการประกอบแบบถาวร

- ก. กระบวนการเชื่อม
- ข. กระบวนการบัดกรี
- ค. กระบวนการต่อด้วยกาว
- ง. กระบวนการยึดด้วยเกลียว

8. ข้อใดไม่ใช่องค์ประกอบของการเลือกกระบวนการผลิต

- ก. วัสดุที่ใช้ในการผลิต
- ข. วิธีการผลิต
- ค. รูปร่างของผลิตภัณฑ์
- ง. หน้าที่การใช้งาน





## บทที่ 2

### การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน

#### แนวคิดสำคัญ

กรรมวิธีการขึ้นรูปชิ้นส่วนที่เป็นโลหะและอโลหะด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน เป็นวิธีการขึ้นรูปด้วยการตัดเฉือนเอาเนื้อวัสดุออก โดยใช้เครื่องมือกลพื้นฐานที่ควบคุมการทำงานด้วยคน เช่น เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องไส เครื่องเจาะ เป็นต้น และเครื่องมือกลพื้นฐานนี้ส่วนใหญ่จะนิยมใช้ในการขึ้นรูปที่ไม่มากนัก หรืองานผลิตชิ้นส่วนเพื่อการซ่อมแซม เป็นต้น ดังนั้นผู้เรียนจะต้องศึกษาหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน เพื่อให้สามารถเลือกใช้เครื่องมือกลขึ้นรูปพื้นฐานได้ถูกต้องกับการผลิต

#### หัวข้อเรื่อง

1. บทนำ
2. การกลึง
3. การกัด
4. การไส
5. การเจาะ
6. การคว้าน
7. การเลื่อย
8. การเจียรระโน
9. การแทงขึ้นรูป

#### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

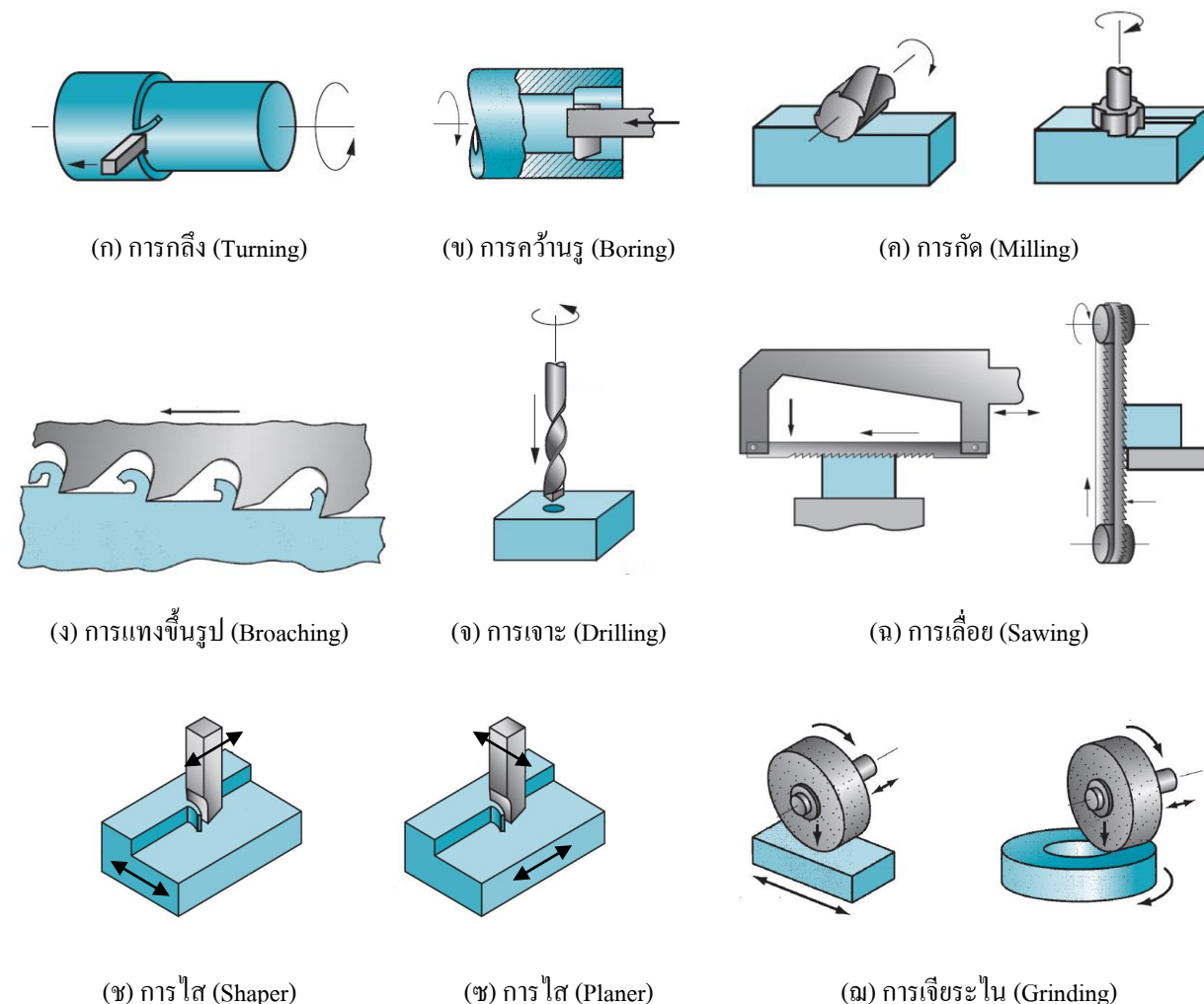
เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการกลึงได้ถูกต้อง
2. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการกัดได้ถูกต้อง
3. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการไสได้ถูกต้อง
4. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการเจาะได้ถูกต้อง
5. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการคว้านได้ถูกต้อง

6. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการเลื่อยได้ถูกต้อง
7. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการเจียรระโนได้ถูกต้อง
8. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการแท่งขึ้นรูปได้ถูกต้อง

## 2.1 บทนำ

กรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน (Basic Machine Tool Processes) หรืออาจเรียกว่า กรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรพื้นฐาน (Basic Machining Processes) เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบเศษ หรือกรรมวิธีการขึ้นรูปโดยการตัดเฉือนวัสดุออก (Material Removal Processes) ตัวอย่างดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงกรรมวิธีการตัดเฉือนวัสดุออก

กรรมวิธีการตัดเฉือนวัสดุออก (Material Removal Processes) หรือการแปรรูปโดยการเสียนเนื้อวัสดุ ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถใช้กรรมวิธีการแปรรูปนี้ได้กับวัสดุที่หลากหลายประเภท มีรูปร่างหรือรูปทรงที่เป็นรูปทรงเลขาคณิตและที่ไม่ใช่รูปทรงเลขาคณิตได้หลากหลาย นอกจากนี้จะทำให้ได้ขนาดของชิ้นงานที่ต้องการและผิวของชิ้นงานมีความเรียบร้อย สำหรับกรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน จะกล่าวถึงเฉพาะกรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน ดังภาพที่ 2.2



(ก) เครื่องกลึง (Lathe)



(ข) เครื่องไส (Shaper)



(ค) เครื่องกัด (Milling)



(ง) เครื่องเจียรไน (Grinding)



(จ) เครื่องเจาะ (Drilling)

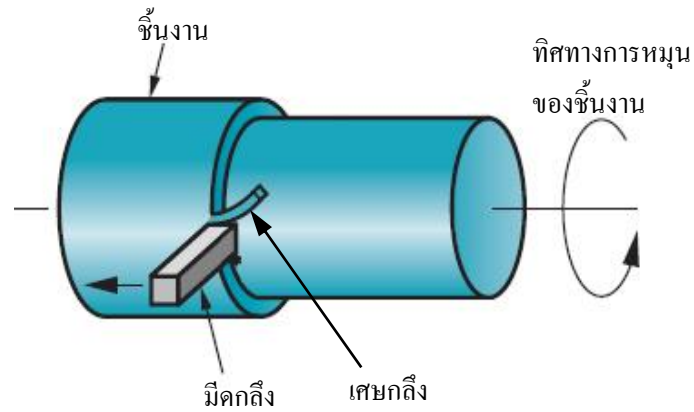


(ฉ) เครื่องเลื่อย (Sawing)

ภาพที่ 2.2 เครื่องมือกลพื้นฐาน

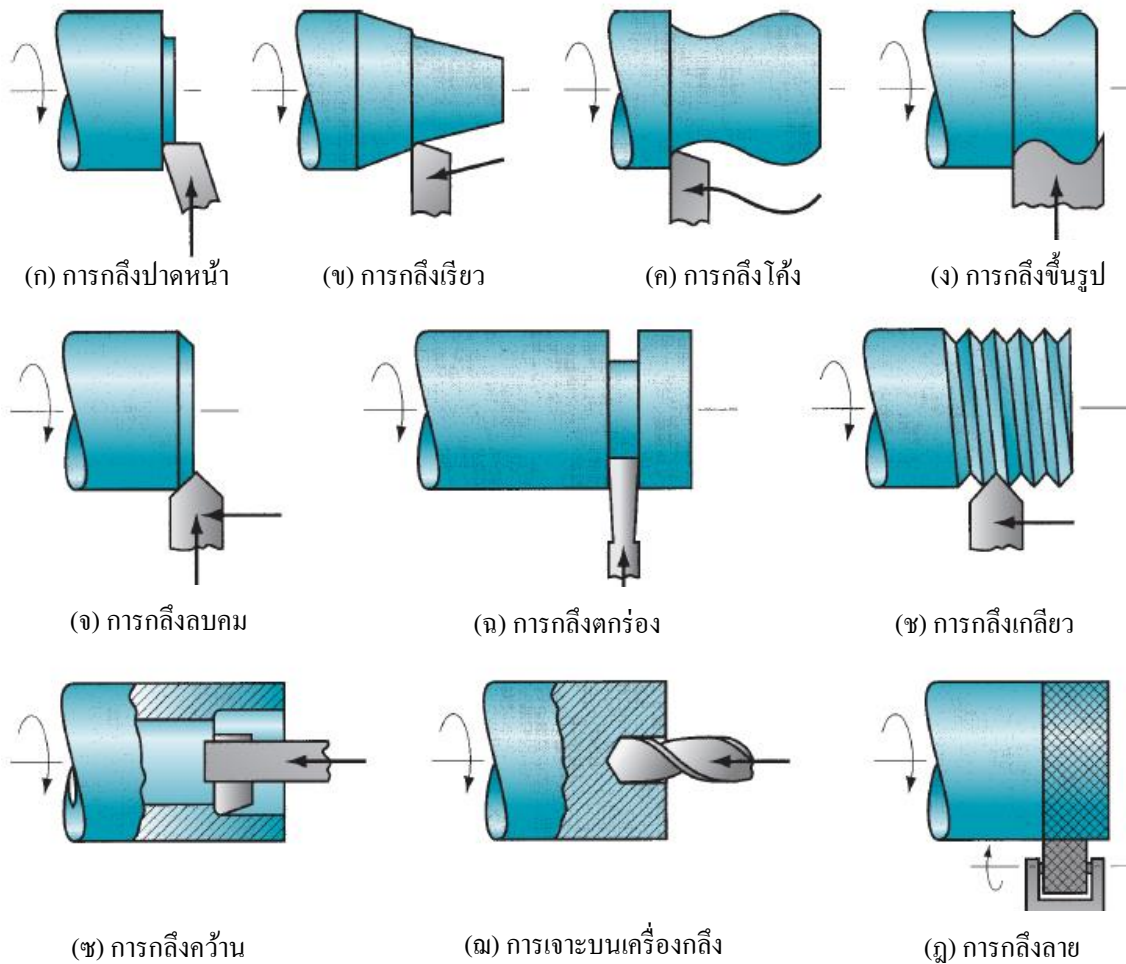
## 2.2 การกลึง

การกลึง (Turning) เป็นการแปรรูปวัสดุด้วยเครื่องกลึง โดยการตัดเฉือนเนื้อวัสดุออกเป็นทรงกระบอกด้วยมีดตัดคมเดียว (Single-Point Tool) โดยให้ชิ้นงานหมุนและเครื่องมือตัดเคลื่อนที่ขนานกับแกนของการหมุนเข้าตัดเฉือนวัสดุ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การแปรรูปวัสดุด้วยการกลึง

การกลึงเป็นการแปรรูปวัสดุด้วยเครื่องกลึง จะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีลักษณะ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การกลึงในลักษณะต่างๆ

### 2.2.1 เครื่องกลึง

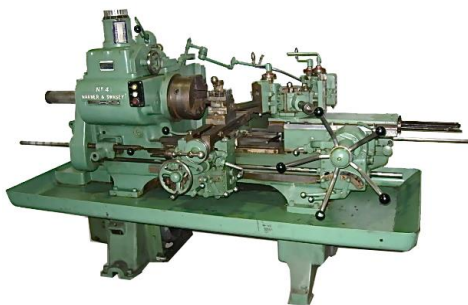
เครื่องกลึง (Lathe) เป็นเครื่องมือกลที่เก่าแก่ที่สุด เมื่อเทียบกับเครื่องมือกลประเภทอื่นๆ ทั้งหมด ได้รับการพัฒนามาหลายยุคหลายสมัยจนกระทั่งมีรูปร่างและส่วนประกอบที่เป็นชิ้นส่วนหลักเป็นมาตรฐานอย่างที่พบเห็นกันอยู่ในปัจจุบันนี้ เครื่องกลึงแบ่งแยกย่อยออกได้หลายแบบตามลักษณะรูปร่างและการใช้งาน ดังภาพที่ 2.5



(ก) เครื่องกลึงขั้นศูนย์



(ข) เครื่องกลึงตั้ง



(ค) เครื่องกลึงป้อมมีด

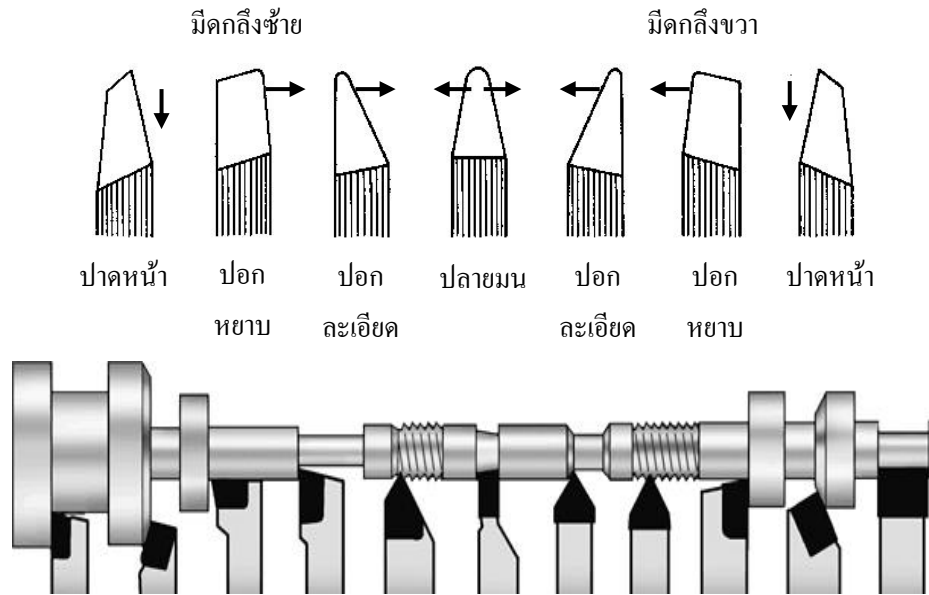


(ง) เครื่องกลึงหน้างาน

ภาพที่ 2.5 เครื่องกลึงชนิดต่างๆ

### 2.2.2 เครื่องมือตัดสำหรับงานกลึง

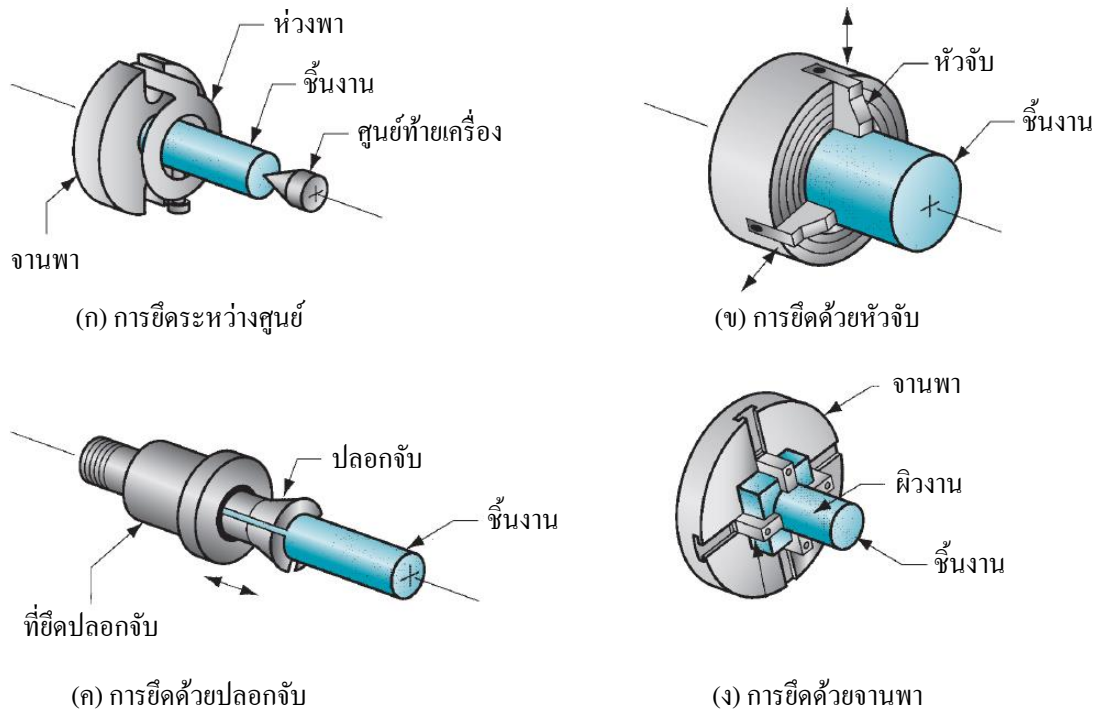
เครื่องมือตัดสำหรับงานกลึงโดยทั่วไป ได้แก่ มีดกลึงปาดหน้า มีดกลึงปอกผิว มีดกลึงหยาบ มีดกลึงละเอียด มีดกลึงเกลียว มีดกลึงเซาะร่อง เป็นต้น ดังภาพที่ 2.6 และยังมีเครื่องมือตัดอื่นนอกเหนือจากมีดกลึงที่ใช้ร่วมกับเครื่องกลึง ได้แก่ ดอกสว่าน ดอกริมเมอร์ ดอกตัดปาด เป็นต้น



ภาพที่ 2.6 ลักษณะมิดคสังข์ายแบบต่างๆ

### 2.2.3 การจับยึดชิ้นงานบนเครื่องกลึง

การจับยึดชิ้นงานบนเครื่องกลึง มีวิธีการจับยึดชิ้นงาน 4 วิธี ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การจับยึดชิ้นงานบนเครื่องกลึง

จากภาพที่ 2.7 การจับยึดชิ้นงานบนเครื่องกลึงมีดังนี้

1. การจับยึดชิ้นงานระหว่างศูนย์ (Held Between Centers) ดังภาพที่ 2.7 (ก) เป็นการจับยึดงานในลักษณะยันศูนย์หัวท้าย ด้วยจานพาและหางพาและยันศูนย์

2. การจับยึดชิ้นงานด้วยหัวจับ (Held in a Chuck) ดังภาพที่ 2.7 (ข) เป็นการจับงานด้วยหัวจับแบบ 3 ฟันจับพร้อม ซึ่งเหมาะสำหรับจับชิ้นงานที่มีลักษณะพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม สามเหลี่ยม และหกเหลี่ยม

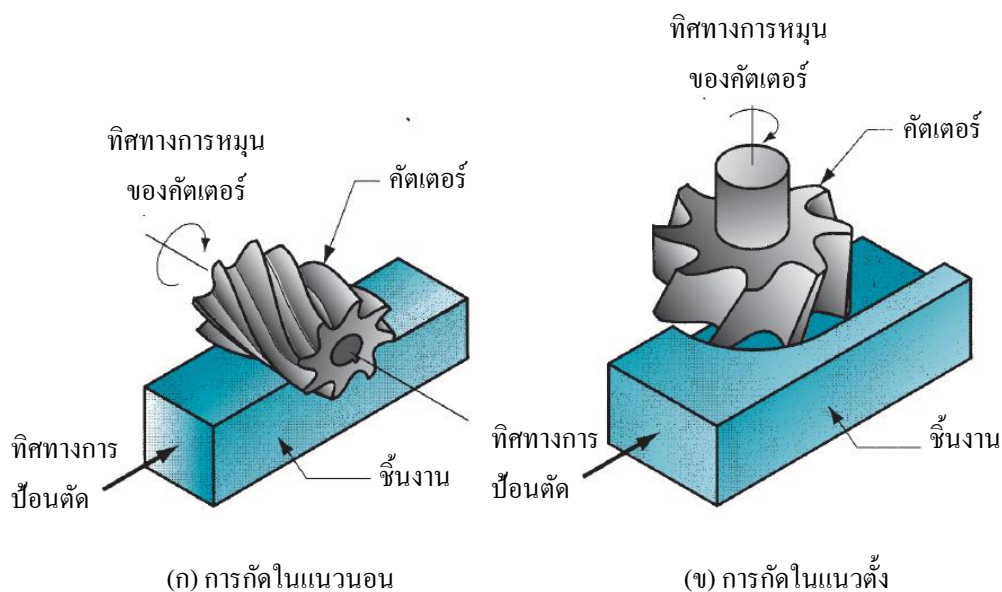
นอกจากการจับด้วยหัวจับ 3 ฟันจับพร้อมแล้ว ยังสามารถใช้หัวจับแบบ 4 ฟันจับอิสระในการจับยึดชิ้นงานได้อีกด้วย สำหรับหัวจับแบบ 4 ฟันจับอิสระเหมาะสำหรับจับงานที่มีลักษณะพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม สี่เหลี่ยม และแปดเหลี่ยม

3. การจับยึดชิ้นงานด้วยปลอกจับ (Held in a Collet) ดังภาพที่ 2.7 (ค) เป็นการจับงานที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ส่วนมากจะใช้กับเครื่องกลึงเทอร์เรท และเครื่องกลึงอัตโนมัติ สามารถจับงานได้เร็ว ชิ้นงานไม่มีรอยบนผิวงานที่ถูกจับ

4. การจับยึดชิ้นงานบนหน้าจาน (Mounted on a Face Plate) ดังภาพที่ 2.7 (ง) เป็นการจับงานที่ไม่สามารถจับด้วยหัวจับได้ เนื่องจากชิ้นงานอาจมีลักษณะซับซ้อน

## 2.3 การกัด

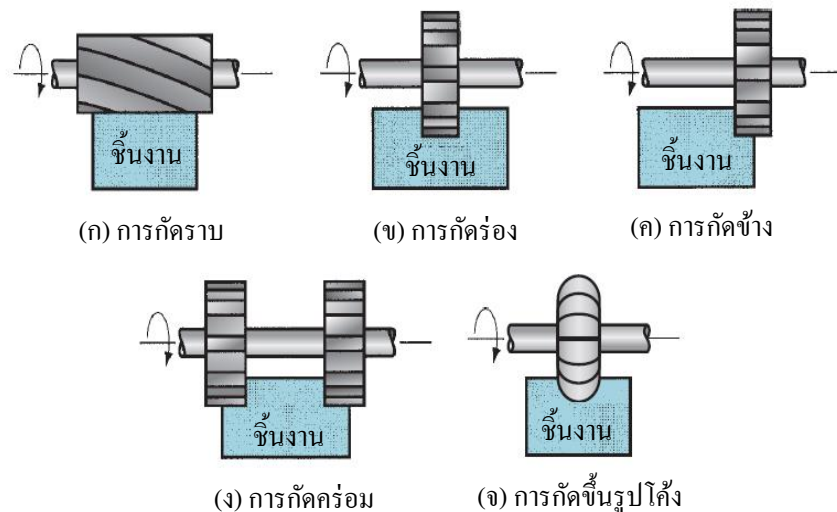
การกัด (Milling) เป็นการแปรรูปชิ้นงาน โดยการป้อนให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านเครื่องมือตัดที่มีลักษณะเป็นเครื่องมือตัดหลายคมตัด (Multiple Cutting Edge) ที่กำลังหมุนอยู่กับที่ การกัดมี 2 ลักษณะ คือ การกัดในแนวอน (Peripheral Milling) และการกัดในแนวตั้ง (Face Milling) ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ลักษณะของการกัด

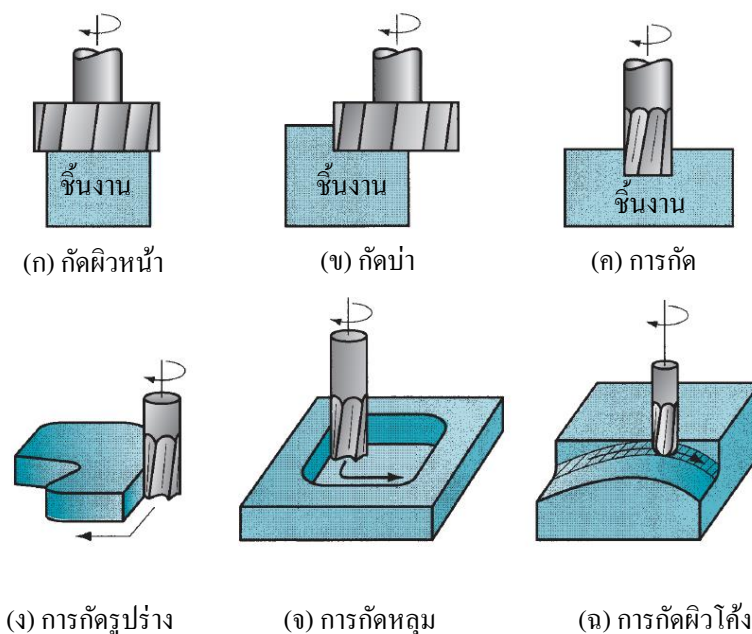


1. การกัดแนวอน (Peripheral Milling) แกนของเครื่องมือตัดจะขนานกับผิวงาน มีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกัด ดังภาพที่ 2.9 การกัดราบ (Slab Milling) การกัดร่อง (Slotting Milling) การกัดข้าง (Side Milling) การกัดคร่อม (Straddle Milling) และการกัดขึ้นรูปโค้ง (Contour Milling)



ภาพที่ 2.9 การกัดในแนวอน

2. การกัดในแนวตั้ง (Face Milling) แกนของเครื่องมือตัดจะตั้งฉากกับผิวงาน มีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกัด ดังภาพที่ 2.10 การกัดผิวหน้าราบ (Conventional Face Milling) การกัดบ่า (Partial Face Milling) การกัดร่อง (End Milling) การกัดตามรูปโครงสร้าง (Profile Milling) การกัดเป็นหลุม (Pocket Milling) และการกัดผิวต่างระดับ (Surface Contouring)



ภาพที่ 2.10 การกัดในแนวตั้ง

### 2.3.1 เครื่องกัด

เครื่องกัด (Milling Machine) แบ่งตามลักษณะงานกัดได้ 2 ชนิด คือ เครื่องกัดแนวนอน และ เครื่องกัดแนวตั้ง

1. เครื่องกัดแนวนอน (Horizontal Milling Machine) ดังภาพที่ 2.11 (ก) มีเพลามัดกัดเป็นเพลานอน มีดกัดสวมอยู่บนเพลามัดกัด
2. เครื่องกัดแนวตั้ง (Vertical Milling Machine) ดังภาพที่ 2.11 (ข) ใช้กัดงานด้วยมีดกัดตั้ง เพลามัดกัดจะจับมีดกัดไว้ในแนวตั้งหรือแนวตั้ง หัวเพลาสสามารถหมุนได้และปรับเป็นมุมต่างๆ ได้



(ก) เครื่องกัดแนวนอน

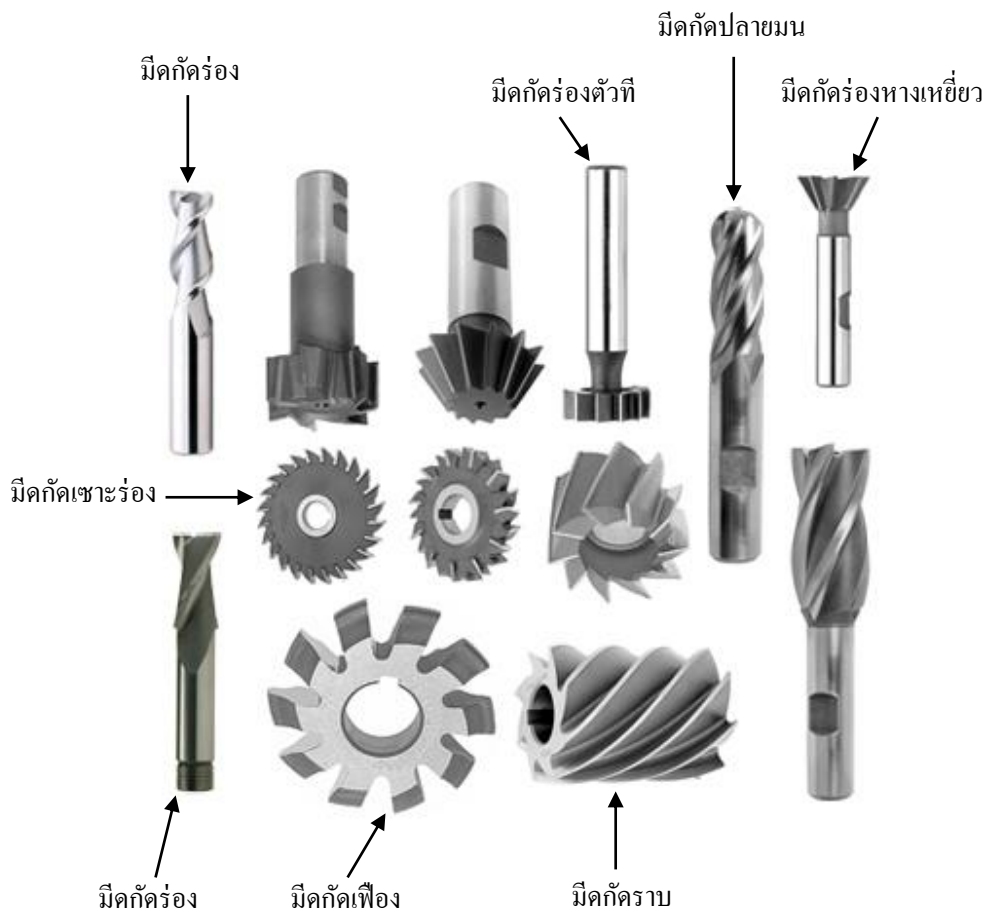


(ข) เครื่องกัดแนวตั้ง

ภาพที่ 2.11 เครื่องกัด

### 2.3.2 เครื่องมือตัดสำหรับงานกัด

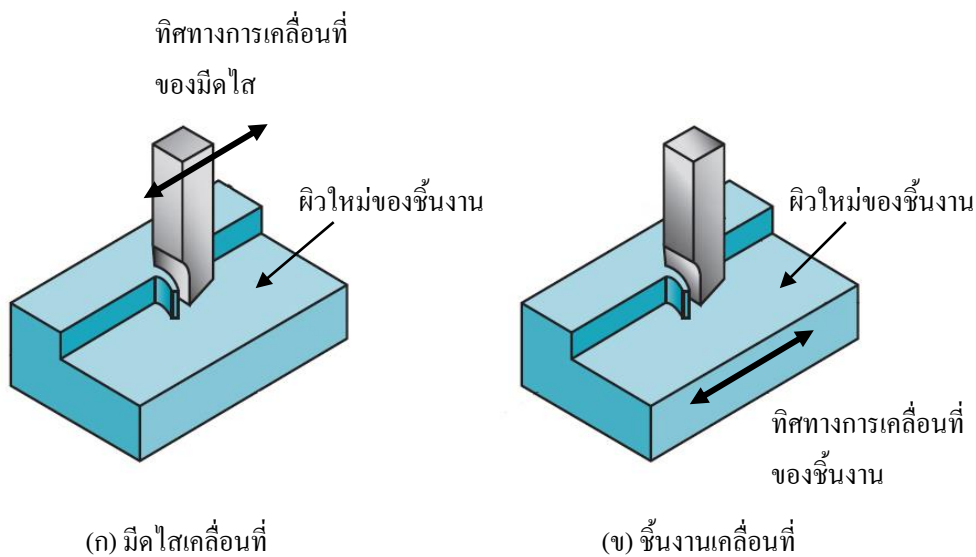
เครื่องมือที่ใช้ในงานกัดทั่วไป ได้แก่ มีดกัดราบ (Plain Cutter) มีดกัดร่อง (End Mill) มีดกัดตั้ง (Shell End Mill) มีดกัดข้าง (Side Cutter) มีดกัดเฟือง (Gear Cutter) มีดกัดร่องหางเหยี่ยว (Dovetail) มีดกัดร่องตัวที (T-Slot) และมีดกัดปลายมน (Radius Cutter) เป็นต้น ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 เครื่องมือตัดสำหรับงานกัด

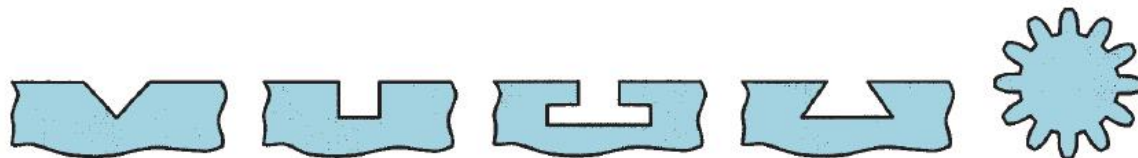
## 2.4 การไส

การไส (Shaping or Planing) เป็นลักษณะการแปรรูปชิ้นงานในแนวเส้นตรง เพื่อลดขนาดผิวหน้าของชิ้นงาน มีดไสจะตัดเฉือนกับชิ้นงานแนวเส้นตรงด้วยความเร็วที่ไม่สูงนัก การไสมีลักษณะการทำงาน 2 ลักษณะ คือ เครื่องมือตัดเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือน ส่วนชิ้นงานอยู่กับที่ (Shaping) และ เครื่องมือตัดอยู่กับที่ ส่วนชิ้นงานเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือน (Planing) ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 ลักษณะการไสแบบมีดไสเคลื่อนที่และแบบชิ้นงานเคลื่อนที่

การไสนอกจากจะไสงานผิวราบแล้ว ยังสามารถไสงานในรูปแบบต่างๆ ได้อีก เช่น การไสร่องตัววี ร่องเหลี่ยม ร่องตัวที และยังสามารถไสร่องฟันเฟืองได้อีกด้วย ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ลักษณะการไสแบบต่างๆ

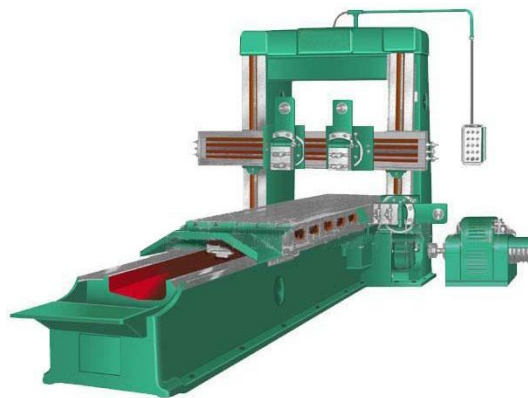
### 2.4.1 เครื่องไส

เครื่องไส (Shaping or Planing Machine) แบ่งตามลักษณะของงานไสได้ 2 ชนิด คือ เครื่องไสแบบมีดไสเคลื่อนที่ และเครื่องไสแบบชิ้นงานเคลื่อนที่ดังภาพที่ 2.15

1. เครื่องไสแบบมีดไสเคลื่อนที่ เป็นเครื่องไสที่ชิ้นงานถูกยึดอยู่กับ โต๊ะงาน แล้วมีดไสตัดเฉือนชิ้นงาน โดยการพาของแคว่เคลื่อน (Ram) ที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง ทิศทางไปและกลับ
2. เครื่องไสแบบชิ้นงานเคลื่อนที่ เป็นเครื่องไสที่ให้ชิ้นงานเป็นตัวเคลื่อนที่เข้าหา มีดไส โดยการพาของ โต๊ะงาน และมีดไสจะอยู่กับที่



(ก) เครื่องไสแบบมีดไสเคลื่อนที่

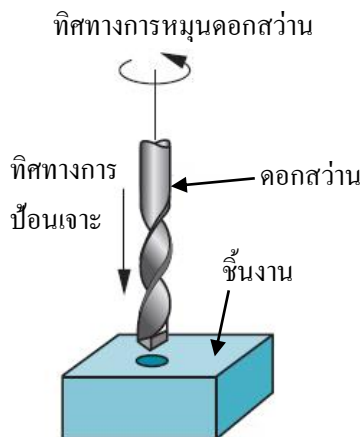


(ข) เครื่องไสแบบชิ้นงานเคลื่อนที่

ภาพที่ 2.15 เครื่องไสแบบมีดไสเคลื่อนที่และแบบชิ้นงานเคลื่อนที่

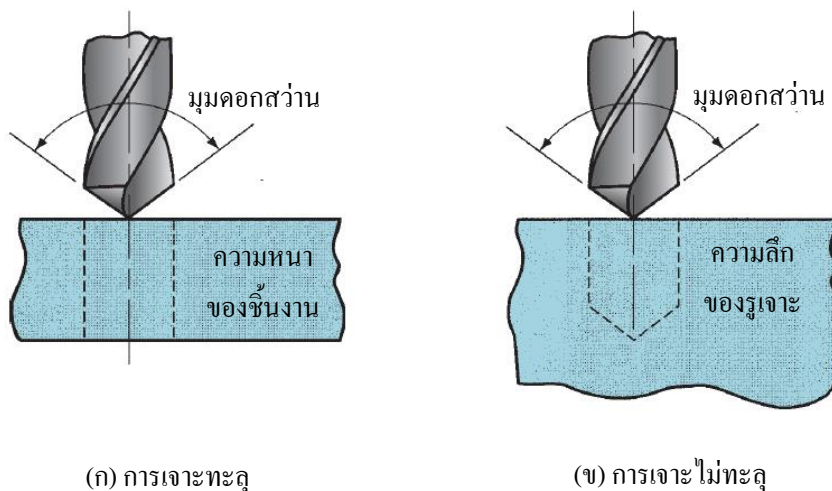
### 2.5 การเจาะ

การเจาะ (Drilling) เป็นการทำให้เกิดรูบนชิ้นงานด้วยดอกสว่าน มีลักษณะการทำงานคือ ดอกสว่านหมุนในทิศทางของคมตัด ในขณะที่เดียวกันดอกสว่านก็จะเคลื่อนที่ลงในลักษณะเป็นเส้นตรงเพื่อเข้าตัดเนื้อเนื้อวัสดุ ดังภาพที่ 2.16



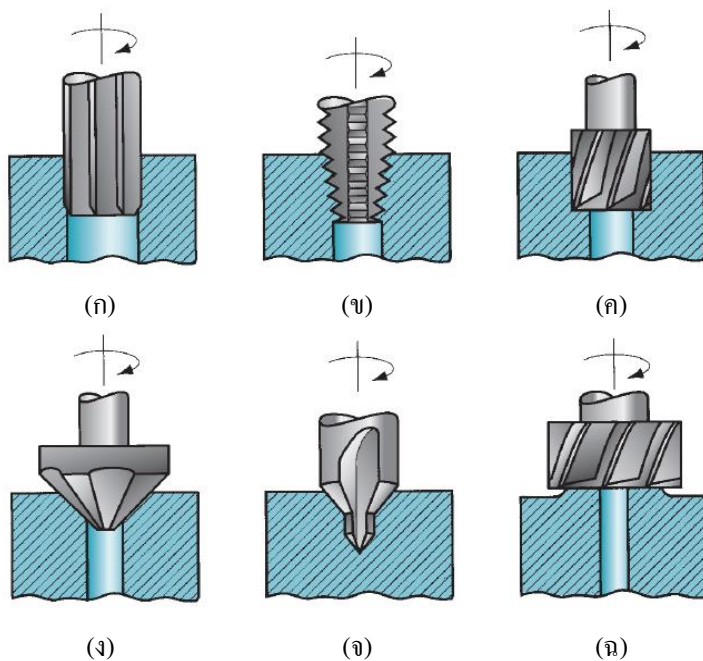
ภาพที่ 2.16 การทำงานของดอกสว่าน

ในการเจาะงานมีลักษณะของการเจาะ 2 ลักษณะ คือ การเจาะทะลุ และการเจาะไม่ทะลุ ดังภาพที่ 2.17 (ก) การเจาะทะลุ (ข) การเจาะไม่ทะลุ



ภาพที่ 2.17 ลักษณะของการเจาะ

นอกเหนือจากการเจาะด้วยดอกสว่านแล้ว เครื่องเจาะยังสามารถทำงานได้อีกหลายรูปแบบ ดังภาพที่ 2.18 (ก) การคว้านเรียบ (Reaming) (ข) การต๊าปเกลียว (Tapping) (ค) การเจาะฝั่งหัวสกรู (Counterboring) (ง) การผายปากกรู (Countersinking) (จ) การเจาะนำศูนย์ (Centering) และ (ฉ) การทำให้ผิวหน้าเฉพาะตำแหน่งเรียบ (Spot Facing)



ภาพที่ 2.18 การปฏิบัติงานบนเครื่องเจาะ

### 2.5.1 เครื่องเจาะ

เครื่องเจาะ (Drilling Machine) เป็นเครื่องจักรที่ใช้เจาะวัสดุให้มีลักษณะเป็นรูกลมขนาดต่างๆ เครื่องเจาะมีหลายชนิด เช่น เครื่องเจาะตั้งโต๊ะ (Bench Drill) ใช้เจาะรูขนาดเล็ก เครื่องเจาะตั้งพื้น (Drill Press) ใช้เจาะรูขนาดเล็ก และขนาดกลาง ส่วนเครื่องเจาะรัศมี (Radial Drill) ใช้เจาะรูขนาดใหญ่ นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมเพราะทำงานได้กว้างขวาง ดังภาพที่ 2.19



(ก) เครื่องเจาะตั้งโต๊ะ



(ข) เครื่องเจาะตั้งพื้น



(ค) เครื่องเจาะรัศมี



(ง) เครื่องเจาะแนวอน

ภาพที่ 2.19 เครื่องเจาะชนิดต่างๆ

### 2.5.2 เครื่องมือตัดสำหรับงานเจาะ

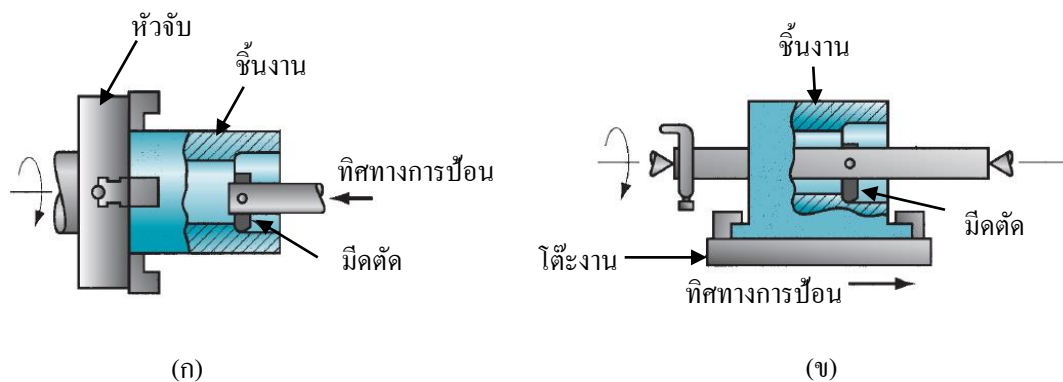
เครื่องมือตัดที่ใช้สำหรับงานเจาะโดยทั่วไป ได้แก่ ดอกสว่านแบบอินเดิร์ท (Drill with Indexable Carbide Inserts) ดอกสว่านต่อปลายชนิดเชื่อมประสาน (Drill with Brazed Carbide Tip) ดอกสว่านร่องเฉียง (Twist Drill) ดอกสว่านร่องตรง (Straight-Flute Drill) ดอกสว่านปากแบน (Spade Drill) และดอกสว่านแบบขั้น (Step Drill) เป็นต้น ดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 เครื่องมือตัดสำหรับงานเจาะ

## 2.6 การคว้าน

การคว้าน (Boring) มีหลักการทำงานคล้ายกับการกลึงคว้านรูใน แต่แตกต่างกันที่การคว้านส่วนมากเป็นการแปรรูปชิ้นงานในทรงกระบอก การคว้านมี 2 แบบ คือ ชิ้นงานหมุนอยู่กับที่ มีดคว้านเป็นตัวเคลื่อนที่เข้าไปตัดเฉือน ดังภาพที่ 2.21 (ก) และแบบที่สองชิ้นงานถูกยึดอยู่กับที่ มีดคว้านถูกยึดติดอยู่กับเพลาลูกหมุนเคลื่อนที่เข้าไปตัดเฉือน ดังภาพที่ 2.21 (ข)



ภาพที่ 2.21 การคว้าน



### 2.6.1 เครื่องคว้าน

เครื่องคว้าน (Boring Machine) ที่ใช้ในการคว้านนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 ชนิด คือ เครื่องคว้านแนวตั้ง (Vertical Boring Machine) และเครื่องคว้านแนวนอน (Horizontal Boring Machine) ดังภาพที่ 2.22



(ก) เครื่องคว้านแนวตั้ง



(ข) เครื่องคว้านแนวนอน

ภาพที่ 2.22 เครื่องคว้าน

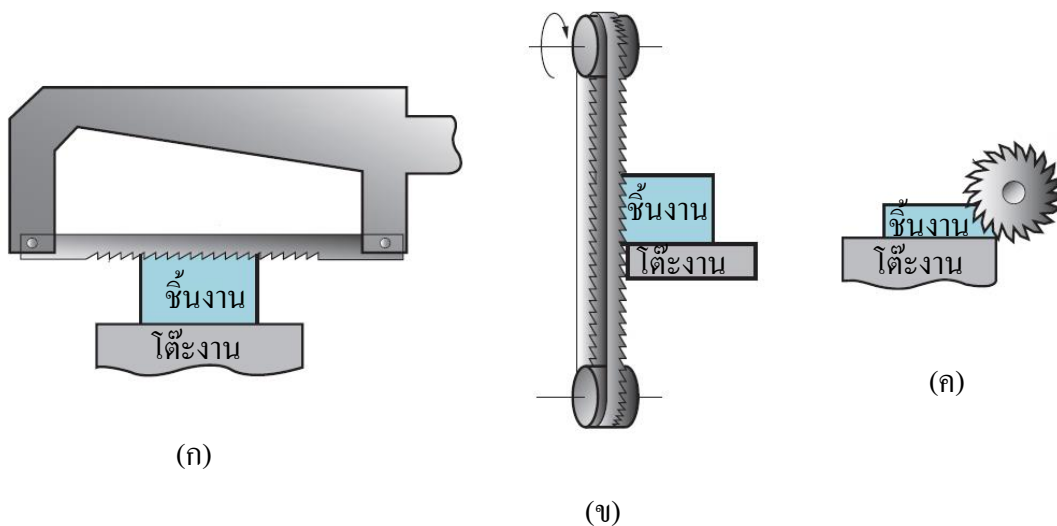
1. เครื่องคว้านแนวตั้ง มีหลักการการทำงาน คือ ชิ้นงานจะถูกจับยึดบน โต๊ะงานแล้วหมุนเป็นทรงกระบอก ส่วนเครื่องมือตัดจะเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงานในแนวตั้งหรือแนวตั้งทำการตัดคว้านรูใน
2. เครื่องคว้านแนวนอน มีหลักการการทำงานแตกต่างจากเครื่องคว้านแนวตั้ง คือ ชิ้นงานจะถูกยึดติดกับ โต๊ะงานแล้วเคลื่อนที่เข้าไปหาเม็ดตัดในแนวนอน

## 2.7 การเลื่อย

การเลื่อย (Sawing) เป็นการตัดชิ้นงานให้เกิดเป็นร่องแคบ ๆ โดยใช้ใบเลื่อย ซึ่งสามารถกระทำได้โดยใช้แรงมนุษย์ หรือแรงจากเครื่องจักรก็ได้

### 2.7.1 เครื่องเลื่อย

เครื่องเลื่อย (Sawing Machine) ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 3 ชนิด คือ เครื่องเลื่อยกล (Power Hacksaw) เครื่องเลื่อยสายพาน (Band Sawing) และเครื่องเลื่อยวงเดือน (Circular Sawing) ดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 เครื่องเลื่อย

(ก) เครื่องเลื่อยกล (Power Hacksaw) เป็นการตัดชิ้นงานโดยการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของใบเลื่อย ซึ่งจังหวะในการตัดงาน คือ จังหวะเดินหน้า ส่วนจังหวะถอยหลังเป็นจังหวะไม่ได้ตัดงาน เครื่องเลื่อยกลใช้สำหรับตัดงานทั่วไป ดังภาพที่ 2.23 (ก)

(ข) เครื่องเลื่อยสายพาน (Band Sawing) เป็นการตัดชิ้นงานโดยการเคลื่อนที่ของใบเลื่อย ซึ่งใบเลื่อยจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว ดังภาพที่ 2.23 (ข) เครื่องเลื่อยสายพานใช้ตัดงานที่มีรูปร่างคดไปคดมาได้ มีทั้งแบบแนวตั้ง และแบบแนวนอน

(ค) เครื่องเลื่อยวงเดือน (Circular Sawing) เป็นการตัดชิ้นงานโดยใบตัดชิ้นงานซึ่งมีลักษณะเป็นวงกลมที่มีฟันอยู่โดยรอบ เหมาะกับงานที่บาง ๆ และทื่อ ดังภาพที่ 2.23 (ค)

### 2.7.2 ใบเลื่อย

ในการเลื่อยตัดชิ้นงาน ใบเลื่อย (Saw Blades) เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการตัด ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องเลือกใช้งานให้ถูกต้อง โดยพิจารณาจากชนิดของฟันเลื่อย ดังภาพที่ 2.24



(ก) ลักษณะของใบเลื่อย



ฟันเลื่อยแบบตรง



ฟันเลื่อยแบบเลื่อย



ฟันเลื่อยแบบคลื่น

(ข) ลักษณะของฟันเลื่อย

ภาพที่ 2.24 ลักษณะของฟันเลื่อย

ฟันเลื่อยนับเป็นจำนวนฟันต่อนิ้ว โดยทั่วไปแล้วมีขนาดตั้งแต่ 2 – 32 ฟันต่อนิ้ว ฟันเลื่อยมีอยู่ 3 ชนิด คือ ฟันตรง (Straight Tooth) ฟันเลื่อย (Raker Tooth) และฟันคลื่น (Wave Tooth)

ในการเลือกใช้ใบเลื่อยผู้ปฏิบัติงานจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับวัสดุชิ้นงาน ดังนี้

1. จำนวน 14 , 16 , 18 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุอ่อน เช่น ไม้ก๊อก ทองแดง ตะกั่ว อะลูมิเนียม พลาสติก และเหล็กเหนียว
2. จำนวน 22 , 24 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุแข็งปานกลาง เช่น เหล็กหล่อ เหล็ก โครงสร้าง และทองเหลือง
3. จำนวน 32 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุแข็งมาก เช่น เหล็กทำเครื่องมือ เหล็กกล้าผสม

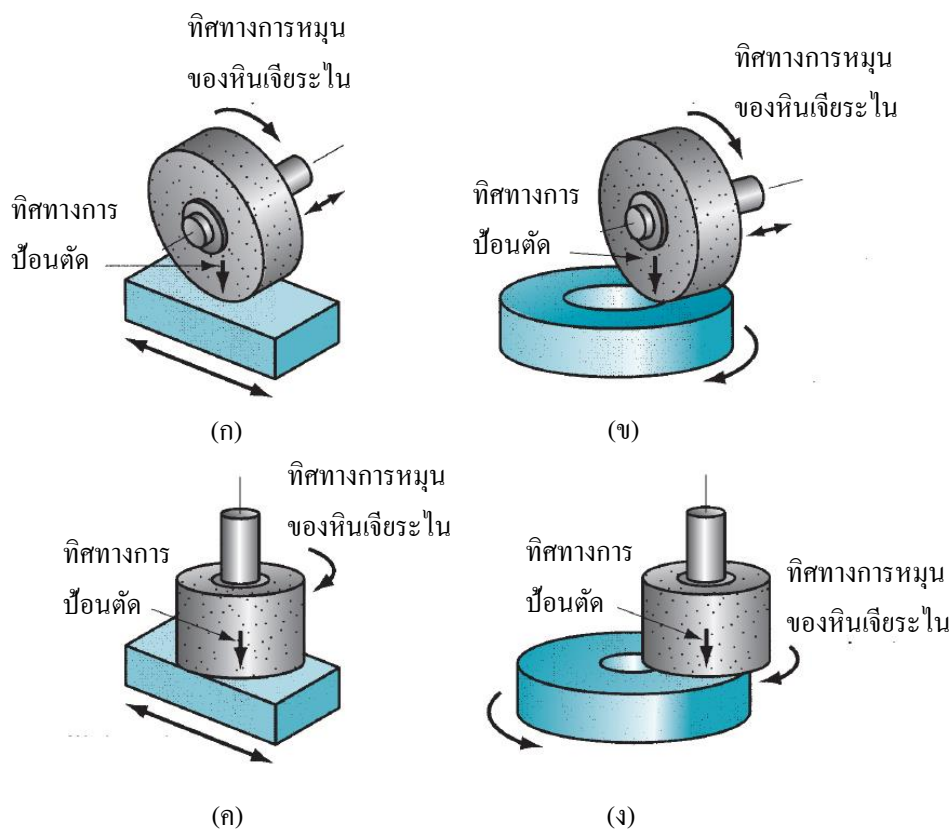
## 2.8 การเจียรระไน

การเจียรระไน (Grinding) เป็นการแปรรูปวัสดุด้วยการขัดสีด้วยคมตัดหลาย ๆ คม ที่เป็นวัสดุแข็งที่ถูกยึดให้ติดกันด้วยตัวยึด และขึ้นรูปเป็นฟอร์มต่างๆ ซึ่งเรียกว่า หินเจียรระไน การเจียรระไนด้วยหินเจียรระไนสามารถกระทำได้หลายแบบ คือ การเจียรระไนราบ (Surface Grinding) การเจียรระไนกลม (Cylindrical Grinding) และการเจียรระไนไร้ศูนย์กลาง (Centerless Grinding)

### 2.8.1 การเจียรระไนราบ

การเจียรระไนราบ (Surface Grinding) เป็นการเจียรระไนผิวทั่ว ๆ ไปให้มีลักษณะแบนราบ ดังภาพที่ 2.25 (ก) ล้อหินเจียรระไนหมุนอยู่ในแนวนอน และชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านล้อหินไปและมาในแนวเส้นตรง, (ข) ล้อหินเจียรระไนหมุนอยู่ในแนวนอน และชิ้นงานกลมหมุนผ่านล้อหิน, (ค) ล้อหินเจียรระไน

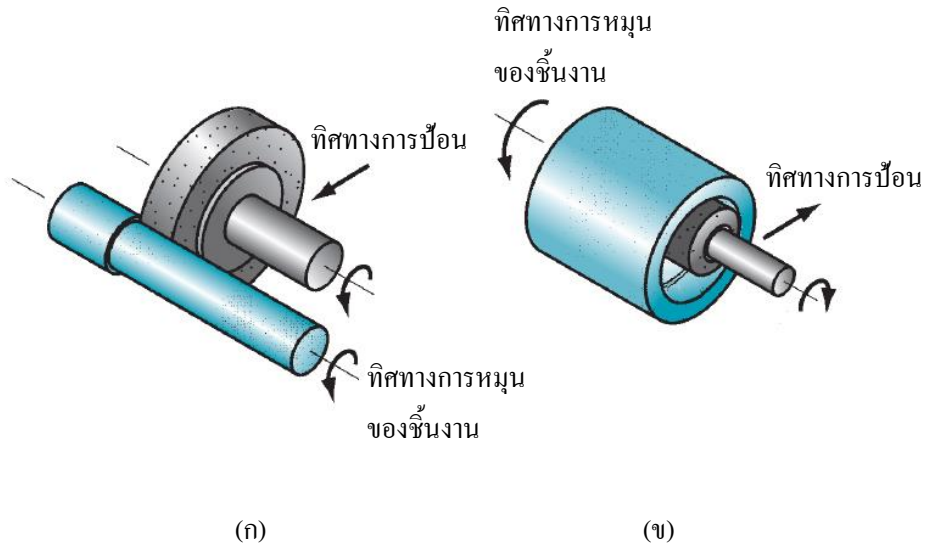
หมุนอยู่ในแนวตั้ง และชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านล้อหินไปและมาในแนวเส้นตรง, (ง) ล้อหินเจียรระโนหมุนอยู่ในแนวตั้ง และชิ้นงานกลมหมุนผ่านล้อหิน



ภาพที่ 2.25 การเจียรระโนผิวราบ

## 2.8.2 การเจียรระโนกลม

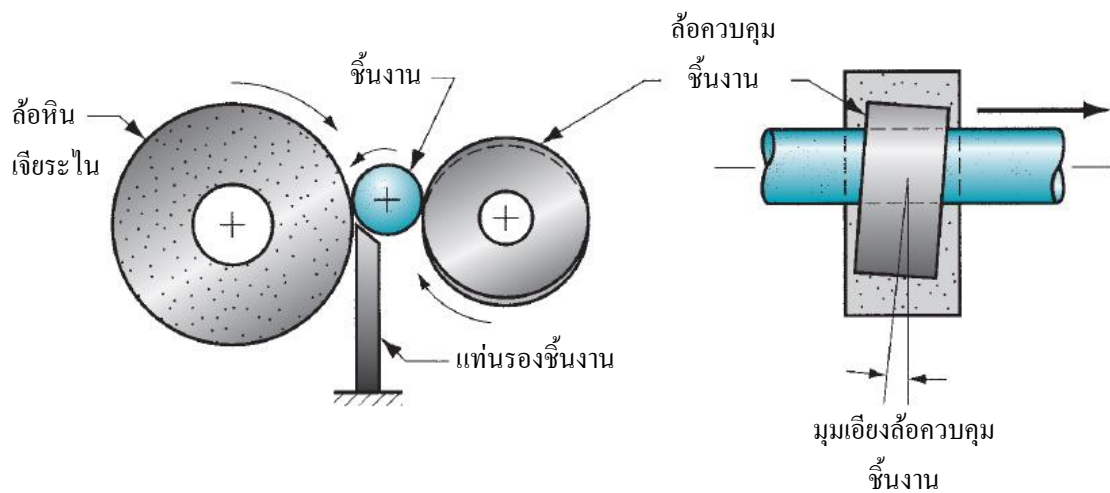
การเจียรระโนกลม (Cylindrical Grinding) สามารถกระทำได้ทั้งภายนอกและภายใน ดังภาพที่ 2.26 (ก) การเจียรระโนภายนอก ล้อหินเจียรระโนจะอยู่ภายนอกชิ้นงานและหมุนอยู่ในแนวนอน ส่วนชิ้นงานก็หมุนอยู่ในแนวนอนเช่นกัน แต่ชิ้นงานสามารถเคลื่อนที่ไปกลับตามแนวนอนได้ด้วย เพื่อให้สามารถเจียรระโนชิ้นงานที่มีความยาวมากๆ ได้ และ (ข) การเจียรระโนภายใน ล้อหินเจียรระโนจะอยู่ภายในชิ้นงานและหมุนอยู่ในแนวนอนเช่นกัน และล้อหินเจียรระโนสามารถเคลื่อนที่ไปและกลับในแนวนอนได้ด้วย



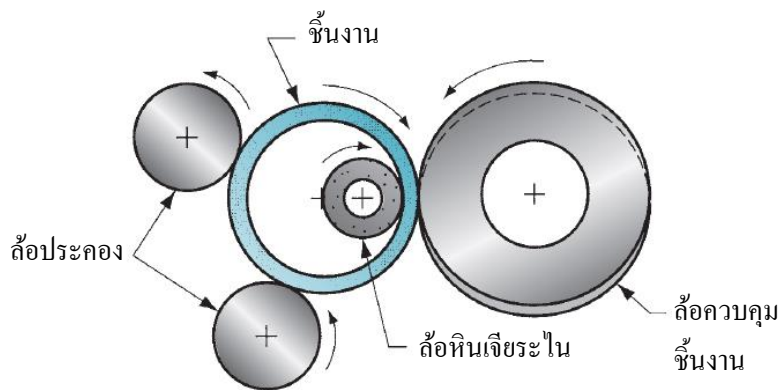
ภาพที่ 2.26 การเจียรระโนกลม

### 2.8.3 การเจียรระโนไร้ศูนย์กลาง

การเจียรระโนไร้ศูนย์กลาง (Centerless Grinding) เป็นการเจียรระโนงานทรงกระบอกที่มีลักษณะคล้ายกับการเจียรระโนกลม แต่แตกต่างกันตรงที่การเจียรระโนชนิดนี้ไม่มีการจับยึดชิ้นงานแต่อาศัยล้อประกอบจำนวนมากเป็นตัวประกอบ ดังภาพที่ 2.27



(ก) งานเจียรระโนไร้ศูนย์กลางภายนอก

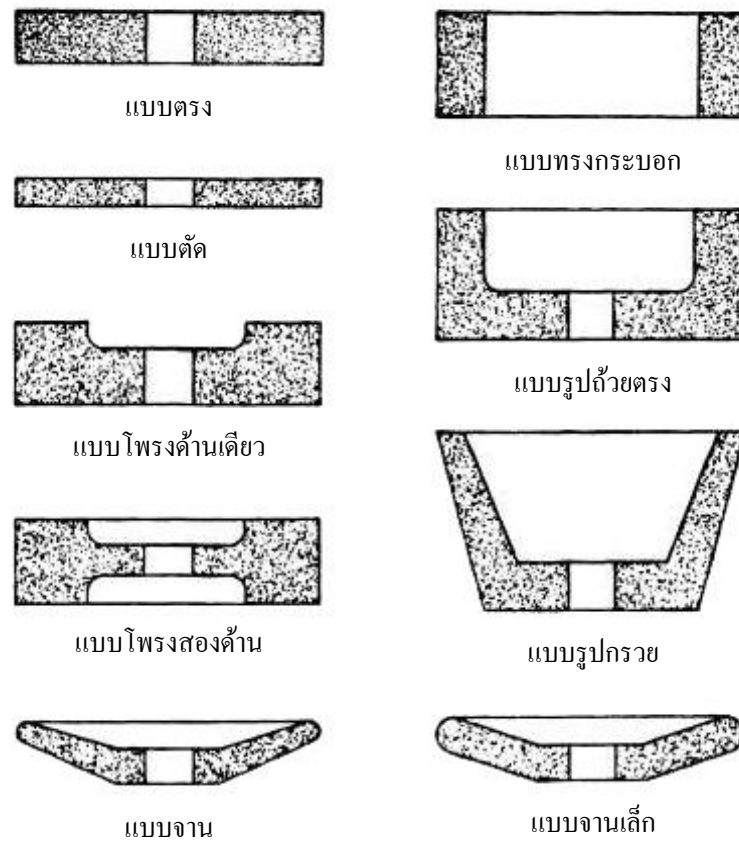


(ข) งานเจียรไนไร้ศูนย์กลางภายใน

ภาพที่ 2.27 การเจียรไนไร้ศูนย์กลาง

### 2.8.4 ล้อเจียรไน

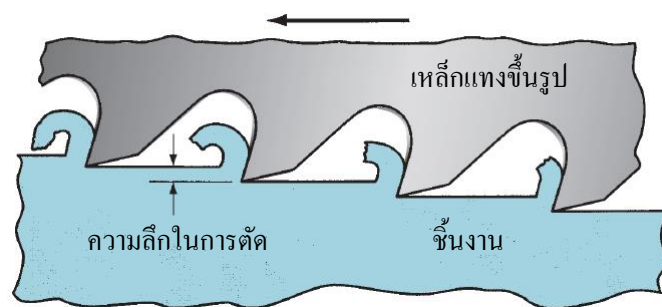
ล้อเจียรไน (Grinding Wheel) ทำมาจากวัสดุเดียวกันตลอดทั้งก้อน โดยวัสดุที่นำมาทำล้อหินเจียรไนมี 2 ชนิด คือ อะลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกอนคาร์ไบด์ ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะถูกยึดให้ติดกันด้วยตัวยึด แล้วนำมาขึ้นรูปให้มีรูปร่างและขนาดที่หลากหลาย สามารถเลือกไปใช้งานได้หลายแบบ ดังภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 ล้อหินเจียรในแบบต่างๆ

## 2.9 การแทงขึ้นรูป

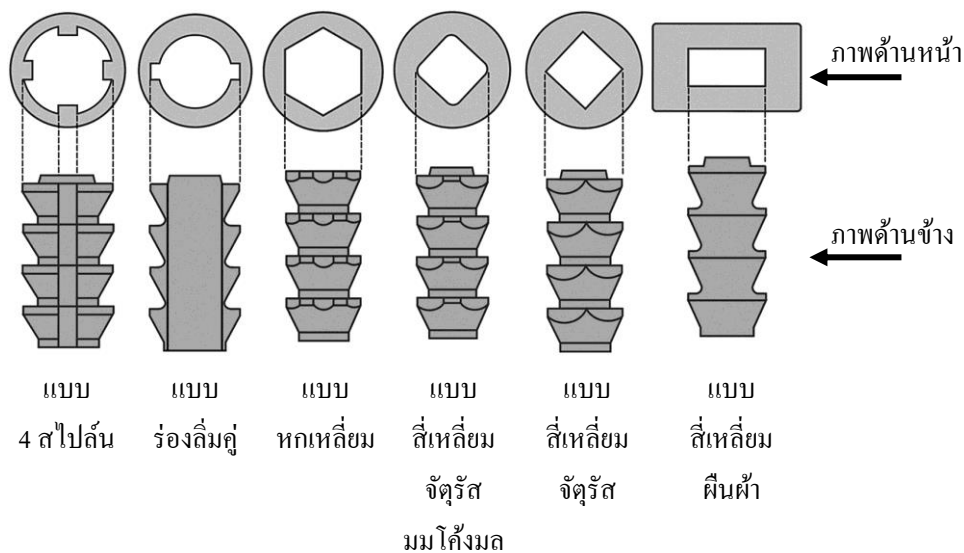
การแทงขึ้นรูป (Broaching) เป็นการแปรรูปวัสดุด้วยเครื่องมือตัดที่มีฟันหลายฟัน มีทิศทางของการตัดเฉียงทางเดียวกัน และฟันแต่ละฟันอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน ดังภาพที่ 2.29



ภาพที่ 2.29 ลักษณะงานแทงขึ้นรูป

จากภาพที่ 2.29 เครื่องมือตัดนี้เรียกว่า เหล็กแทงขึ้นรูป พื้นของเหล็กแทงขึ้นรูปนี้มีขนาดไม่เท่ากัน โดยพื้นจะเรียงจากสั้นไปยาว ส่วนแรงที่ใช้ในการแทงขึ้นรูปจะเป็นแรงกดที่สม่ำเสมอและต่อเนื่องอย่างช้าๆ

การแทงขึ้นรูปเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความรวดเร็วและมีจำนวนมาก สามารถแทงขึ้นรูปที่หลากหลายตามความต้องการ ดังภาพที่ 2.30 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเหล็กแทงขึ้นรูป



ภาพที่ 2.30 ลักษณะงานที่ได้จากการแทงขึ้นรูป

### สรุปสาระสำคัญ

กรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน เป็นวิธีการขึ้นรูปด้วยการตัดเนื้อวัสดุออก โดยใช้เครื่องมือกลพื้นฐานที่ควบคุมการทำงานด้วยมนุษย์ เช่น เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องไส ฯลฯ เครื่องมือกลพื้นฐานเหล่านี้ส่วนใหญ่จะนิยมใช้ในการขึ้นส่วนที่ไม่มากนัก หรืองานผลิตชิ้นส่วนเพื่อการซ่อมแซม สำหรับกรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลพื้นฐานที่สำคัญโดยทั่วไป ประกอบด้วย การกลึง การกัด การไส การเจาะ การคว้าน การเลื่อย การเจียรไน และการแทงขึ้นรูป



## แบบฝึกหัดบทที่ 2

### การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน

---

คำสั่ง จงตอบคำถามที่กำหนดให้ให้สมบูรณ์

1. จงบอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการกลึงได้ถูกต้อง

1.1 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการกลึง เป็นการตัดเฉือนเอาเนื้อวัสดุออกในลักษณะใด

.....

.....

.....

.....

.....

1.2 จงยกตัวอย่างของชิ้นส่วนที่ผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยการกลึง 5 ตัวอย่าง

1.2.1 .....

1.2.2 .....

1.2.3 .....

1.2.4 .....

1.2.5 .....

1.3 จงยกตัวอย่างของเครื่องมือตัดสำหรับงานกลึง 5 ตัวอย่าง

1.3.1 ชื่อเครื่องมือตัด .....

การใช้งาน .....

1.3.2 ชื่อเครื่องมือตัด .....

การใช้งาน .....

1.3.3 ชื่อเครื่องมือตัด .....

การใช้งาน .....

1.3.4 ชื่อเครื่องมือตัด .....

การใช้งาน .....

1.3.5 ชื่อเครื่องมือตัด .....

การใช้งาน .....

1.4 จงบอกวิธีการจับยึดชิ้นงานบนเครื่องกลึง และลักษณะของชิ้นงานที่จับยึด

- 1.4.1 การจับยึดงาน .....  
 ลักษณะชิ้นงานที่จับยึด .....
- 1.4.2 การจับยึดงาน .....  
 ลักษณะชิ้นงานที่จับยึด .....
- 1.4.3 การจับยึดงาน .....  
 ลักษณะชิ้นงานที่จับยึด .....
- 1.4.4 การจับยึดงาน .....  
 ลักษณะชิ้นงานที่จับยึด .....

2. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการกัด ได้ถูกต้อง

2.1 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการกัด เป็นการตัดเฉือนเอาเนื้อวัสดุออกในลักษณะใด

.....  
 .....  
 .....  
 .....

2.2 จงยกตัวอย่างของชิ้นส่วนที่ผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยการกัด 5 ตัวอย่าง

- 2.2.1 .....
- 2.2.2 .....
- 2.2.3 .....
- 2.2.4 .....
- 2.2.5 .....

2.3 เครื่องกัดแบ่งตามลักษณะงานกัดได้ 2 ชนิด คือ

- 2.3.1 .....  
 ลักษณะการกัด.....
- 2.3.2 .....  
 ลักษณะการกัด.....

2.4 จงยกตัวอย่างของเครื่องมือตัดสำหรับงานกัด 5 ตัวอย่าง

- 2.4.1 ชื่อเครื่องมือตัด .....
- การใช้งาน .....
- 2.4.2 ชื่อเครื่องมือตัด .....
- การใช้งาน .....
- 2.4.3 ชื่อเครื่องมือตัด .....
- การใช้งาน .....
- 2.4.4 ชื่อเครื่องมือตัด .....
- การใช้งาน .....
- 2.4.5 ชื่อเครื่องมือตัด .....
- การใช้งาน .....

3. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการไสได้ถูกต้อง

3.1 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการไส เป็นการตัดเฉือนเอาเนื้อวัสดุออกใน 2 ลักษณะ คือ

- 3.1.1 .....
- .....
- 3.1.2 .....
- .....

3.2 จงยกตัวอย่างของชิ้นส่วนที่ผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยการไส 5 ตัวอย่าง

- 3.2.1 .....
- 3.2.2 .....
- 3.2.3 .....
- 3.2.4 .....
- 3.2.5 .....

3.3 เครื่องไสแบ่งตามลักษณะของงานไสได้ 2 ชนิด คือ

- 3.3.1 เครื่องไสแบบ.....
- ลักษณะการทำงาน.....
- 3.3.2 เครื่องไสแบบ.....
- ลักษณะการทำงาน.....

4. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการเจาะได้ถูกต้อง

4.1 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยการเจาะ เป็นการตัดเฉือนเอาเนื้อวัสดุออกในลักษณะใด

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

4.2 การเจาะงานจะมีลักษณะของการเจาะ 2 ลักษณะ คือ

4.2.1 .....

4.2.2 .....

4.3 จงยกตัวอย่างของงานที่ผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยเครื่องเจาะซึ่งนอกจากการเจาะด้วยดอก  
สว่าน 5 ตัวอย่าง

4.3.1 .....

4.3.2 .....

4.3.3 .....

4.3.4 .....

4.3.5 .....

4.4 เครื่องเจาะมี 3 ชนิด คือ

4.4.1 เครื่องเจาะแบบ.....

ลักษณะการใช้งาน.....

.....

4.4.2 เครื่องเจาะแบบ.....

ลักษณะการใช้งาน.....

.....

4.4.2 เครื่องเจาะแบบ.....

ลักษณะการใช้งาน.....

.....

5. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการคว้านได้ถูกต้อง

5.1 การคว้านมีหลักการทำงาน 2 แบบ คือ

5.1.1 .....

5.1.2 .....

5.2 เครื่องคว้านแบ่งลักษณะการทำงานได้เป็น 2 ชนิด คือ

5.2.1 .....

5.2.2 .....

6. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการเลื่อยได้ถูกต้อง

6.1 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยการเลื่อย เป็นการตัดเฉือนเอาเนื้อวัสดุออกในลักษณะใด

.....  
.....  
.....

6.2 เครื่องเลื่อยที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 3 ชนิด คือ

6.2.1 .....

6.2.2 .....

6.2.3 .....

6.3 การเลือกใช้ใบเลื่อยผู้ปฏิบัติงานจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับวัสดุชิ้นงาน ดังนี้

6.3.1 จำนวนฟัน.....ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุ.....

เช่น .....

6.3.2 จำนวนฟัน.....ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุ.....

เช่น .....

6.3.2 จำนวนฟัน.....ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุ.....

เช่น .....

7. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการเจียระไน ได้ถูกต้อง

7.1 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยการเจียระไน เป็นการตัดเฉือนเอาเนื้อวัสดุออกในลักษณะใด

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

7.2 จงอธิบายลักษณะการทำงานของเครื่องเจียระไนผิวราบให้ถูกต้อง

7.2.1 .....

.....

7.2.2 .....

.....

7.2.3 .....

.....

7.2.4 .....

.....

7.3 จงอธิบายลักษณะการทำงานของเครื่องเจียระไนงานทรงกระบอกให้ถูกต้อง

7.3.1 .....

.....

7.3.2 .....

.....

7.4 จงอธิบายลักษณะการทำงานของเครื่องเจียระไนไร้ศูนย์ให้ถูกต้อง

.....

.....

.....

7.5 ส้อหินเจียระไนทำมาจากวัสดุ 2 ชนิด คือ

7.5.1 .....

7.5.2 .....

8. บอกหลักการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการแท่งขึ้นรูปได้ถูกต้อง

8.1 การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยการแท่งขึ้นรูป เป็นการตัดเฉือนเอาเนื้อวัสดุออกในลักษณะใด

.....

.....

.....

.....

.....

8.2 เครื่องมือตัดนี้เรียกว่า เหล็กแท่งขึ้นรูป มีลักษณะของฟันลักษณะใด

.....

.....

.....

.....

## แบบทดสอบบทที่ 2

### การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายกากบาท (×) ลงในกระดาษคำตอบในข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. กรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลพื้นฐาน เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบใด
  - ก. กรรมวิธีการผลิตแบบเสียดสี
  - ข. กรรมวิธีการผลิตแบบไม่เสียดสี
  - ค. กรรมวิธีการผลิตแบบพิเศษ
  - ง. กรรมวิธีการผลิตแบบอัตโนมัติ
2. การกลึง มีลักษณะการทำงานอย่างไร
  - ก. ให้เครื่องมือตัดหมุนและเคลื่อนที่เข้าตัดเนื้อวัสดุ
  - ข. ให้ชิ้นงานหมุนและเครื่องมือตัดเคลื่อนที่เข้าตัดเนื้อวัสดุ
  - ค. การขัดสีด้วยคมตัดหลายๆ คม
  - ง. ให้เครื่องมือตัดเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงเข้าตัดเนื้อ
3. งานลักษณะใดไม่สามารถแปรรูปด้วยเครื่องกลึงได้
  - ก. เกลียว
  - ข. เรียวทรงกระบอก
  - ค. การเจาะรู
  - ง. ร่องทางเหยี่ยว
4. ข้อใดไม่ใช่เครื่องมือตัดสำหรับงานกลึง
  - ก. มีดกลึง
  - ข. ดอกสว่าน
  - ค. คัตเตอร์
  - ง. ดอกกริมเมอร์
5. การจับยึดชิ้นงานบนเครื่องกลึงข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง
  - ก. หัวจับ 3 ฟันจับอิสระเหมาะสำหรับงานพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยม และแปดเหลี่ยม
  - ข. หัวจับ 4 ฟันจับอิสระเหมาะสำหรับงานพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม สี่เหลี่ยม และแปดเหลี่ยม
  - ค. การจับยึดงานบนหน้างาน เป็นงานที่ไม่สามารถจับด้วยหัวจับได้ เพราะงานมีลักษณะซับซ้อน
  - ง. การยึดงานระหว่างศูนย์ เป็นยึดในลักษณะยันศูนย์หัวท้าย ด้วยงานพา ห่วงพาและยันศูนย์



#### 6. การกัด มีลักษณะการทำงานอย่างไร

- ก. ให้เครื่องมือตัดมีลักษณะเป็นเครื่องมือตัดหลายคมหมุนและเคลื่อนที่ผ่านชิ้นงาน
- ข. ให้เครื่องมือตัดมีลักษณะเป็นเครื่องมือตัดคมตัดเดียวหมุนและเคลื่อนที่ผ่านชิ้นงาน
- ค. ให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านเครื่องมือตัดที่มีลักษณะเป็นเครื่องมือตัดคมตัดเดียวที่กำลังหมุน
- ง. ให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านเครื่องมือตัดที่มีลักษณะเป็นเครื่องมือตัดหลายคมตัดที่กำลังหมุน

#### 7. ข้อใดไม่ใช่เครื่องมือตัดสำหรับงานกัด

- ก. มีดกัดร่อง
- ข. มีครุใน
- ค. มีดกัดร่องตัวที่
- ง. มีดกัดเฟือง

#### 8. ข้อใดไม่ใช่ลักษณะการทำงานของการไส

- ก. เป็นลักษณะการแปรรูปในแนวเส้นตรงเพื่อลดขนาดผิวหน้าของชิ้นงาน
- ข. เป็นลักษณะการแปรรูปในแนวเส้นรอบวงเพื่อลดขนาดผิวของชิ้นงาน
- ค. เครื่องมือตัดเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือนส่วนชิ้นงานอยู่กับที่
- ง. เครื่องมือตัดอยู่กับที่ส่วนชิ้นงานเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือน

#### 9. ข้อใดไม่ใช่ลักษณะงานของการไส

- ก. ร่องหางเหยี่ยว
- ข. ร่องลิ้ม
- ค. ร่องเพลากลม
- ง. ร่องฟันเฟือง

#### 10. การไสแบบ Shaping หมายถึง

- ก. เครื่องมือตัดเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือนส่วนชิ้นงานอยู่กับที่
- ข. เครื่องมือตัดอยู่กับที่ส่วนชิ้นงานเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือน
- ค. เครื่องมือตัดหมุนและเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือนส่วนชิ้นงานอยู่กับที่
- ง. เครื่องมือตัดอยู่กับที่ส่วนชิ้นงานหมุนและเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือน

#### 11. การไสแบบ Planning หมายถึง

- ก. เครื่องมือตัดเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือนส่วนชิ้นงานอยู่กับที่
- ข. เครื่องมือตัดอยู่กับที่ส่วนชิ้นงานเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือน
- ค. เครื่องมือตัดหมุนและเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือนส่วนชิ้นงานอยู่กับที่
- ง. เครื่องมือตัดอยู่กับที่ส่วนชิ้นงานหมุนและเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือน

12. ข้อใดไม่ใช่ลักษณะการทำงานของเครื่องเจาะ

- ก. เครื่องมือตัดหมุนในทิศทางของคมตัด
- ข. เครื่องมือตัดจะเคลื่อนที่ลงในลักษณะเป็นเส้นตรงเพื่อเข้าตัดเนื้อวัสดุ
- ค. เป็นการทำให้เกิดรูทรงกระบอกบนชิ้นงาน
- ง. เป็นการทำให้เกิดรูเรียวบนชิ้นงาน

13. การเจาะงานด้วยเครื่องเจาะงานใดสามารถทำได้

- ก. การเจาะรูเรียว
- ข. การขยายปากรู
- ค. การตีปเกลียว
- ง. การเจาะฝังหัวสกรู

14. ข้อใดไม่ใช่เครื่องมือตัดสำหรับการเจาะ

- ก. ดอกสว่านต่อปลายชนิดเชื่อมประสาน
- ข. ดอกสว่านแบบไม่มีร่อง
- ค. ดอกสว่านปากแบน
- ง. ดอกสว่านแบบชั้น

15. ข้อใดไม่ใช่ลักษณะของการคว้าน

- ก. ชิ้นงานหมุนอยู่กับที่มีคคว้านเป็นตัวเคลื่อนที่เข้าไปตัดเนื้อ
- ข. ชิ้นงานยึดอยู่กับที่ และมีคคว้านยึดติดอยู่กับเพลาแล้วหมุนเคลื่อนที่เข้าตัดเนื้อ
- ค. ชิ้นงานยึดอยู่กับที่มีคคว้านเป็นตัวเคลื่อนที่เข้าไปตัดเนื้อ
- ง. ชิ้นงานยึดอยู่กับที่ และมีคคว้านหมุนเคลื่อนที่เข้าตัดเนื้อ

16. การเลื่อย มีลักษณะการทำงานอย่างไร

- ก. กระบวนการตัดชิ้นงานให้เกิดเป็นร่องแคบ
- ข. กระบวนการตัดชิ้นงานให้เกิดเป็นรูปกลม
- ค. กระบวนการตัดชิ้นงานให้เกิดเป็นแผ่นเรียบ
- ง. กระบวนการตัดชิ้นงานให้เกิดเป็นรูปทรง

17. ฟันเลื่อยแบบคลื่นใช้งานลักษณะใด

- ก. จำนวน 14 , 16 , 18 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุอ่อน
- ข. จำนวน 22 , 24 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุแข็งปานกลาง
- ค. จำนวน 32 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุแข็งมาก
- ง. จำนวนมากกว่า 32 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุแข็งมากที่สุด

## 18. ฟันเลื้อยแบบเลื้อยใช้งานลักษณะใด

- ก. จำนวน 14 , 16 , 18 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุอ่อน
- ข. จำนวน 22 , 24 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุแข็งปานกลาง
- ค. จำนวน 32 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุแข็งมาก
- ง. จำนวนมากกว่า 32 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุแข็งมากที่สุด

## 19. ฟันเลื้อยแบบตรงใช้งานลักษณะใด

- ก. จำนวน 14 , 16 , 18 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุอ่อน
- ข. จำนวน 22 , 24 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุแข็งปานกลาง
- ค. จำนวน 32 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุแข็งมาก
- ง. จำนวนมากกว่า 32 ฟัน/นิ้ว ใช้กับวัสดุแข็งมากที่สุด

## 20. การเจียรระไนเป็นการทำงานในลักษณะใด

- ก. การแปรรูปวัสดุด้วยการตัดเฉือนด้วยคมตัดเดียว
- ข. การแปรรูปวัสดุด้วยการตัดเฉือนด้วยคมตัดหลายๆ คม
- ค. การแปรรูปวัสดุด้วยการขัดสีด้วยคมตัดเดียว
- ง. การแปรรูปวัสดุด้วยการขัดสีด้วยคมตัดหลายๆ คม

## 21. ข้อใดไม่ใช่ลักษณะของการเจียรระไน

- ก. การเจียรระไนคมตัด
- ข. การเจียรระไนราบ
- ค. การเจียรระไนกลม
- ง. การเจียรระไนไร้ศูนย์กลาง

## 22. ข้อใดไม่ใช่ลักษณะการทำงานของการแทงขึ้นรูป

- ก. การแปรรูปวัสดุด้วยเครื่องมือตัดที่มีฟันหลายฟัน
- ข. ฟันของเหล็กแทงขึ้นรูปแต่ละฟันอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน
- ค. การตัดเฉือนจะหมุนไปในทิศทางเดียวกัน
- ง. ทิศทางการตัดเฉือนไปในทิศทางเดียวกัน



# บทที่ 3

## การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลอัตโนมัติ

### แนวคิดสำคัญ

การผลิตชิ้นส่วนนอกจากจะใช้เครื่องมือกลพื้นฐานแล้ว ในปัจจุบันได้มีการใช้เครื่องมือกลอัตโนมัติ เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานได้มีความถูกต้องเที่ยงตรงสูง ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะเช่นเดียวกันได้ครั้งละมากๆ มีความรวดเร็วในการผลิต ทำให้มีผลผลิตสูง คุณภาพสม่ำเสมอทุกชิ้น เมื่อเทียบกับเครื่องมือกลพื้นฐาน ซึ่งในงานอุตสาหกรรมเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นผู้เรียนจึงต้องศึกษารายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องมือกลอัตโนมัติให้เข้าใจ

### หัวข้อเรื่อง

1. บทนำ
2. ความเป็นมาของเครื่องมือกลซีเอ็นซี
3. หลักการทำงานของเครื่องมือกลซีเอ็นซี
4. องค์ประกอบของเครื่องมือกลซีเอ็นซี
5. ประเภทของเครื่องมือกลซีเอ็นซี
6. ข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือกลซีเอ็นซี

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. บอกความเป็นมาของเครื่องมือกลซีเอ็นซีได้ถูกต้อง
2. บอกหลักการทำงานของเครื่องมือกลซีเอ็นซีได้ถูกต้อง
3. อธิบายองค์ประกอบของเครื่องมือกลซีเอ็นซีได้ถูกต้อง
4. จำแนกประเภทของเครื่องมือกลซีเอ็นซีได้ถูกต้อง
5. บอกข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือกลซีเอ็นซีได้ถูกต้อง

### 3.1 บทนำ

กรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลอัตโนมัติ (Automatic Machine Tool Processes) เป็นกรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งนับเป็นกรรมวิธีการผลิตแบบพิเศษหรือกรรมวิธีการขึ้นรูปโดยการตัดเนื้อวัสดุออก (Material Removal Processes) อีกวิธีหนึ่ง

กรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ หรือที่นิยมเรียกว่า เครื่องซีเอ็นซี (Computer Numerical Control : CNC) เป็นกรรมวิธีที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันเนื่องจากเครื่องซีเอ็นซีสามารถผลิตชิ้นงานได้มีความถูกต้องและเที่ยงตรงสูง ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะเช่นเดียวกันได้ครั้งละมากๆ มีความรวดเร็วในการผลิต ทำให้มีผลผลิตสูง คุณภาพสม่ำเสมอทุกชิ้น เมื่อเทียบกับเครื่องมือกลพื้นฐาน เครื่องมือกลซีเอ็นซีที่ใช้งานกันโดยทั่วไป ได้แก่ เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องเจียร และเครื่องเจาะ ดังแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3.1



(ก) เครื่องกลึงซีเอ็นซี



(ข) เครื่องวัดโคออร์ดิเนต



(ค) เครื่องเจียรซีเอ็นซี



(ง) เครื่องกัดเซาะร่องด้วยลวดนำไฟฟ้า

ภาพที่ 3.1 เครื่องมือกลซีเอ็นซี

### 3.2 ความเป็นมาของเครื่องมือกลซีเอ็นซี

การควบคุมการทำงานของเครื่องมือกลโดยใช้ตัวเลข (Number) การทำงานได้เริ่มขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2268 ในประเทศอังกฤษ โดยใช้แผ่นกระดาษเจาะเป็นรู (Punched Card) ในการควบคุมการตัดแบบ

เสื้อผ้า ในปี พ.ศ. 2496 ชาวสวิสเซอร์แลนด์ ใช้กระดาษเจาะเป็นสื่อในการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่และความเร็วของเครื่องกลึงอัตโนมัติ

จุดเริ่มต้นของเครื่องมือกล เอ็นซี (NC ย่อจาก Numerical Control) ในการควบคุมเครื่องมือกลการผลิต (Machine Tool) เริ่มจากปี พ.ศ. 2491 จากความต้องการของกองทัพอากาศ สหรัฐอเมริกา ในการใช้เครื่องกัด 3 แกน ผลิตชิ้นส่วนเครื่องบินที่มีความแม่นยำ ความสม่ำเสมอและรวดเร็ว ต่อมาในปี พ.ศ. 2495 เครื่องเอ็นซี เครื่องแรกพัฒนาโดยทีมนักวิจัย จากสถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์ (Massachusetts Institute of Technology หรือ MIT) ได้รับการทดสอบการใช้งาน และในปี พ.ศ. 2498 เครื่อง เอ็นซี 100 เครื่องแรก ได้ถูกตั้งผลิตจากกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา โดยเครื่องเอ็นซี มีชุดควบคุมเครื่องจักร (Machine Control Unit หรือ MCU) สำหรับอ่านข้อมูลหรือโปรแกรมจากแผ่นเทปกระดาษเจาะรู (Punch Tape) และการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรดังนั้นทุกครั้งที่ต้องการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้นจึงต้องป้อนแผ่นเทปใหม่ทุกครั้ง (Reload)



ภาพที่ 3.2 เครื่องซีเอ็นซีเครื่องแรกที่สถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์

ในปี พ.ศ. 2509 ได้มีการเริ่มนำคอมพิวเตอร์มาใช้ส่งโปรแกรมไปที่ชุดควบคุมเครื่องจักรกลของเครื่องเอ็นซีโดยผ่านสายโทรศัพท์ ซึ่งมีระยะห่างประมาณ 100 เมตร หลักการนี้เรียกว่า DNC หรือ Numerical Control โดยคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง สามารถใช้ได้กับเครื่องจักรเอ็นซีได้หลายเครื่อง และหลายประเภท

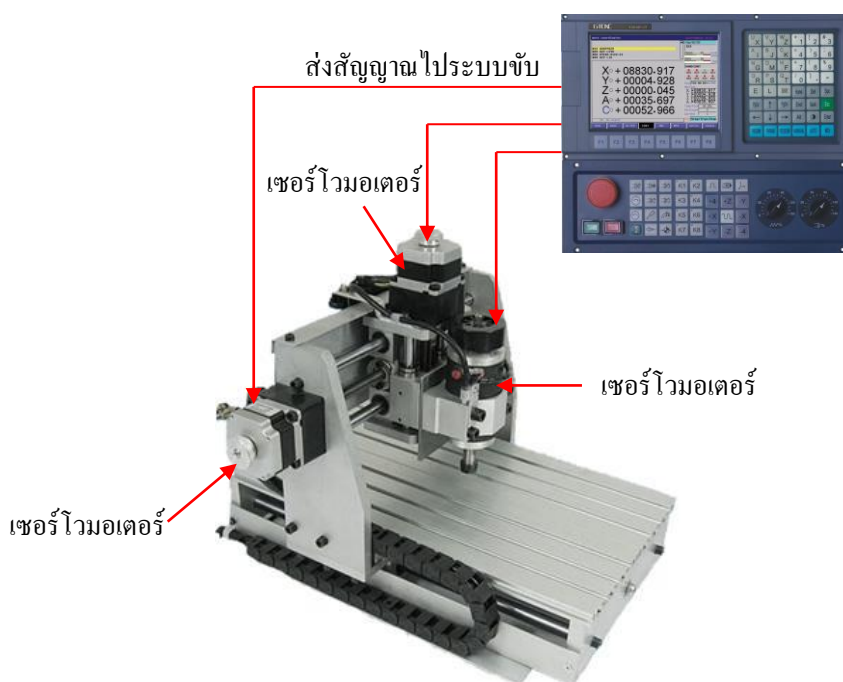
เครื่องจักรซีเอ็นซี (CNC หรือ Computer Numerical Control) เครื่องแรกได้เปิดตัวในปี พ.ศ. 2519 โดยมีไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) หรือคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในชุดควบคุม (Controller) ติดตั้งบนเครื่อง ทำให้สามารถจัดเก็บโปรแกรมได้จำนวนมาก สามารถแก้ไขและดัดแปลงโปรแกรมได้ ทำให้เรียกโปรแกรมใช้ได้ทันที ไม่ต้องป้อนซ้ำเมื่อต้องการชิ้นงานใหม่ เพราะมีหน่วยความจำในชุดควบคุม

ในปัจจุบันเครื่องมือกลซีเอ็นซีเป็นเครื่องมือกลที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการผลิต สามารถเข้ามาทดแทนเครื่องมือกลพื้นฐานที่ใช้มนุษย์ควบคุม โดยเฉพาะงานที่ซับซ้อน มีความเที่ยงตรงสูง และมีความต้องการอย่างเร่งด่วน

### 3.3 หลักการทำงานของเครื่องมือกลซีเอ็นซี

หลักการทำงานของเครื่องมือกลซีเอ็นซี จะคล้ายกับเครื่องมือกลพื้นฐานทั่วไป คือ พื้นฐานเบื้องต้นของการทำงานจะทำการผลิตชิ้นงานเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันที่การควบคุมการทำงาน โดยเครื่องมือกลซีเอ็นซีจะใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานในขั้นตอนต่าง ๆ ส่วนเครื่องมือกลพื้นฐานทั่วไปจะใช้มนุษย์ควบคุมเครื่อง

ระบบการควบคุมของเครื่องจักรจะรับข้อมูลที่เป็นภาษาที่ระบบควบคุมสามารถเข้าใจได้ จะต้องป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุมเครื่องผ่านแป้นพิมพ์ (Keyboard) เมื่อระบบควบคุมอ่านข้อมูลที่ป้อนเข้าไปแล้วก็จะเปลี่ยนรหัสโปรแกรมนั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และส่งไปยังภาคขยายสัญญาณของระบบขับและส่งไปยังมอเตอร์ป้อนแนวแกนที่ต้องการเคลื่อนที่ ความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นจะถูกควบคุม โดยระบบวัดขนาด (Measuring System) ซึ่งประกอบด้วยสเกลแนวตรง (Linear Scale) มีจำนวนเท่ากับจำนวนแนวแกน ในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกลทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระยะทางที่แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ไปยังระบบควบคุม ทำให้ระบบควบคุมรู้ว่าแท่นเลื่อนเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่าไร ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 หลักการทำงานของเครื่องมือกลซีเอ็นซี

### 3.4 องค์ประกอบของเครื่องมือกลซีเอ็นซี

องค์ประกอบเครื่องมือกลซีเอ็นซีโดยส่วนใหญ่จะมียังประกอบ 3 ส่วนหลักๆ คือ ชุดควบคุมการทำงาน (Controller) ระบบกลไกในการเคลื่อนที่ (Drive Mechanisms) และตัวเครื่องจักร (Machine Body)

#### 3.4.1 ชุดควบคุมการทำงาน

ชุดควบคุมหรือ “คอนโทรลเลอร์” (CNC Controller) หรือหน่วยควบคุมเครื่องจักร (MCU) ของเครื่องซีเอ็นซี เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถจัดเก็บ (Store) โปรแกรม และแก้ไขตัดแปลง (Edit) โปรแกรมได้ โปรแกรมที่ป้อนและทำการควบคุมเครื่องจักรให้ทำงานตามคำสั่งในโปรแกรมเอ็นซี (NC Program) นอกจากนี้ยังทำการประมวล คำนวณข้อมูลและโค้ด (Code) และควบคุมการทำงานโดยผ่านระบบเชื่อมโยง (Interface)

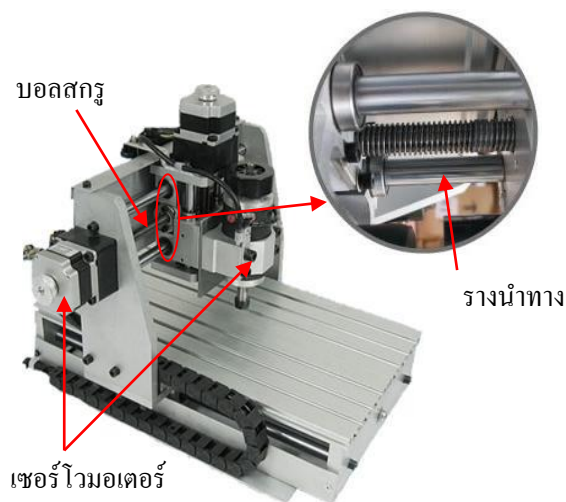


ภาพที่ 3.4 ชุดควบคุมเครื่องมือกลซีเอ็นซี

#### 3.4.2 ระบบกลไกในการเคลื่อนที่

กลไกการเคลื่อนที่ ได้แก่ มอเตอร์สำหรับป้อนตัด (Feed Motor) ซึ่งเป็นเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ ได้โดยใช้บอลสกรู (Ball Screw) เปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุม (Angular Motion) เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) โดยมีตำแหน่งหรือระยะทางการเคลื่อนที่และความเร็วถูกควบคุมโดยรับสัญญาณจากคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้จะมีรางนำทาง (Guide Way) รองรับการเคลื่อนที่ที่แกนต่างๆ ของตัวเครื่องจักร ดังภาพที่ 3.5

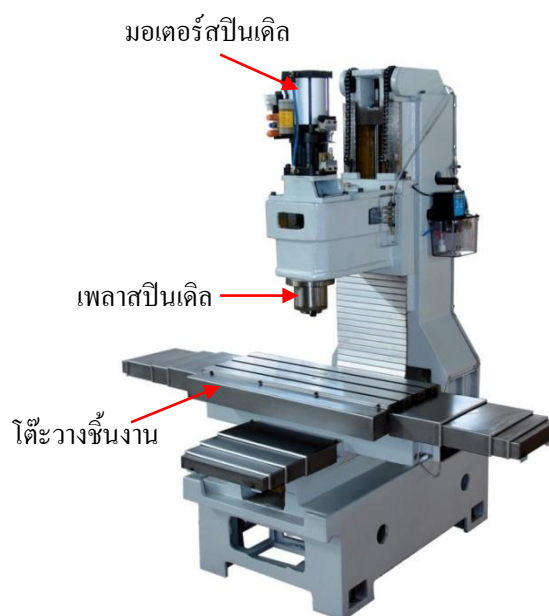




ภาพที่ 3.5 กลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องมือกลซีเอ็นซี

### 3.4.3 ตัวเครื่องจักร

ตัวเครื่องจักร คือ โครงสร้างที่ประกอบเป็นรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานตามประเภทของเครื่องจักรนั้นๆ ตัวเครื่องจักรมีส่วนประกอบหลัก เช่น แท่นเครื่อง โต๊ะวางชิ้นงาน แท่นติดตั้งสปินเดิล (Spindle Head) และมอเตอร์สปินเดิล (Spindle Motor) เป็นต้น ส่วนประกอบดังกล่าวเป็นอุปกรณ์พื้นฐานในเครื่องจักรกลธรรมดาที่ใช้มือควบคุม (Conventional Machine) ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 โครงสร้างเครื่องมือกลซีเอ็นซี

### 3.5 ประเภทของเครื่องมือกลซีเอ็นซี

ปัจจุบันเครื่องมือกลซีเอ็นซีได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตหลายชนิดด้วยกัน โดยทั่วไปสามารถจำแนกประเภทของเครื่องมือกลซีเอ็นซีได้ดังนี้

#### 3.5.1 งานตัดเนื้อผิวโลหะ

งานตัดเนื้อผิวโลหะ (Metal Cutting) เป็นประเภทงานที่ใช้สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานโดยการตัดเนื้อ หรือการผลิตแบบเสียเศษ โดยเครื่องมือกลซีเอ็นซีของงานตัดเนื้อผิวโลหะ ประกอบด้วย เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Turning Machine หรือ CNC Lathe) ใช้สำหรับกลึงงานรูปทรงกระบอก เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine) และแมชชีนนิ่งเซนเตอร์ (Machining Center) สำหรับงานกัดชิ้นงาน 3 มิติ เครื่องเจาะซีเอ็นซี (CNC Drilling Machine) สำหรับเจาะรูกลมและทำเกลียวกับชิ้นงาน และเครื่องคว้านซีเอ็นซี (CNC Boring Machine) สำหรับคว้านรูกลมของชิ้นงานสำหรับผิวงานละเอียดสำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่ ดังภาพที่ 3.7



(ก) เครื่องกลึงซีเอ็นซี



(ข) เครื่องกัดซีเอ็นซี



(ค) เครื่องแมชชีนนิ่งเซนเตอร์



(ง) เครื่องคว้านซีเอ็นซี

ภาพที่ 3.7 เครื่องซีเอ็นซีประเภทงานตัดเนื้อผิวโลหะ

#### 3.5.2 งานเจียรระไน

งานเจียรระไน (Grinding) เป็นงานอีกประเภทหนึ่งที่น่าระบบซีเอ็นซีมาใช้งานมาก รองมาจากงานตัดเนื้อผิวโลหะ โดยเครื่องเจียรระไนซีเอ็นซี (CNC Grinding Machine) ใช้สำหรับเจียรระไนให้ได้

ผิวงานละเอียด เรียบ มันวาว โดยแยกเป็นการเจียรระโนราบ (Surface Grinding) และการเจียรระโนกลม (Cylindrical Grinding) ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 เครื่องซีเอ็นซีประเภทงานเจียรระโน

### 3.5.3 งานขึ้นรูปด้วยวิธีพิเศษ

งานขึ้นรูปด้วยวิธีพิเศษ (Unconventional Machining) เป็นการขึ้นรูปที่นิยมเรียกว่า การผลิตแบบไม่คายเศษ (Non-Traditional Machining : NTM) ซึ่งแตกต่างจากการใช้เครื่องมือกลพื้นฐานและเครื่องมือกลซีเอ็นซีคือ เป็นการกำจัดเนื้อวัสดุออกด้วยเทคนิคพิเศษต่างๆ เช่น การใช้กรรมวิธีทางกล การใช้ความร้อน การใช้สารเคมี หรือพลังงานไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการปฏิบัติการ โดยเครื่องมือที่ใช้ในงานประเภทนี้ประกอบด้วย

1) เครื่องตัดขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้า (Wire Cutting Machine) ใช้สำหรับตัดแผ่นโลหะหนาด้วยลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เป็นผลให้วัสดุหลอมเหลวหลุดออกไปได้ตามแบบที่ต้องการ ดังภาพที่ 3.9



(ก) เครื่องตัดโลหะด้วยลวดนำไฟฟ้า



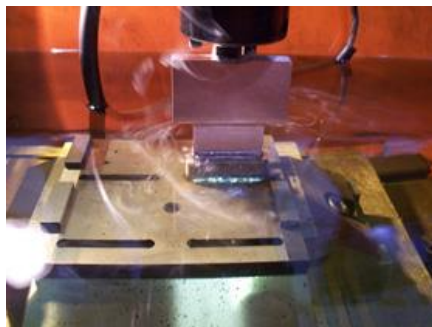
(ข) การตัดโลหะด้วยลวดนำไฟฟ้า

ภาพที่ 3.9 เครื่องตัดโลหะ และการตัดโลหะด้วยลวดนำไฟฟ้า

2) เครื่องกัดเซาะโลหะด้วยอิเล็กโตรด (Electrical Discharge Machine หรือ EDM) ใช้สำหรับกัดชิ้นงาน 3 มิติ โดยใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านอิเล็กโตรดเพื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานให้ได้ตามแบบที่กำหนด ดังภาพที่ 3.10



(ก) เครื่องกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยอิเล็กโตรด



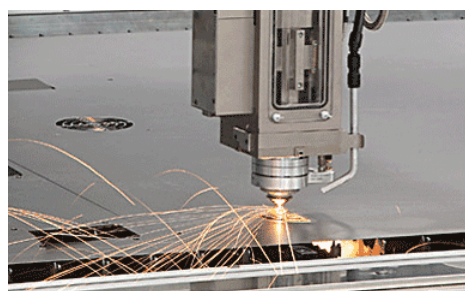
(ข) การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยอิเล็กโตรด

ภาพที่ 3.10 เครื่องกัดเซาะขึ้นรูปโลหะ และการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยอิเล็กโตรด

3) เครื่องตัดขึ้นรูปแผ่นโลหะ (Sheet Metal Cutting) ใช้สำหรับตัดแผ่นโลหะตามรูปแบบที่ต้องการและชิ้นงานที่ไม่หนามาก แยกประเภทได้ตามวิธีการตัดคือ ลำแสงเลเซอร์ (Laser) พลาสมา (Plasma) และลำน้ำ (Water Jet) ดังภาพที่ 3.11



(ก) เครื่องตัดขึ้นรูปวัสดุด้วยแสงเลเซอร์



(ข) การตัดขึ้นรูปวัสดุด้วยแสงเลเซอร์



(ค) เครื่องตัดขึ้นรูปวัสดุด้วยพลาสมา



(ง) การตัดขึ้นรูปวัสดุด้วยพลาสมา



(จ) เครื่องตัดชิ้นรูปวัสดุด้วยน้ำ



(ฉ) การตัดชิ้นรูปวัสดุด้วยน้ำ

ภาพที่ 3.11 เครื่องตัดชิ้นรูปแผ่นโลหะแผ่นแบบพิเศษควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ และการตัดชิ้นรูป

### 3.5.4 งานตัดเจาะและพับขึ้นรูป

งานตัดเจาะและพับขึ้นรูป (Fabrication) เป็นการขึ้นรูปโลหะแผ่นควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์อีกแบบหนึ่ง โดยงานตัดเจาะและพับขึ้นรูปจะประกอบด้วย

1) เครื่องเจาะกระแทกซีเอ็นซี (CNC Punching Machine) ใช้สำหรับตัดและเจาะแผ่นโลหะให้เป็นรูปทรงต่างๆ โดยใช้เครื่องมือตัดกระแทกแผ่นโลหะให้ขาด ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 เครื่องเจาะกระแทกซีเอ็นซี

2) เครื่องพับแผ่นโลหะซีเอ็นซี (CNC Press Brake หรือ CNC Bending Machine) ใช้สำหรับพับแผ่นโลหะให้เป็นรูปทรง 3 มิติ หรือรูปทรงอื่นที่ต้องการ ดังภาพที่ 3.13

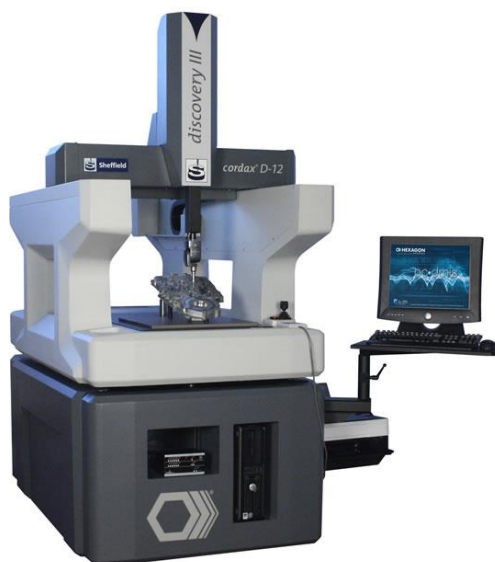


ภาพที่ 3.13 เครื่องพับแผ่นโลหะซีเอ็นซี

### 3.5.5 งานประยุกต์ใช้สำหรับวัตถุประสงค์พิเศษ

งานประยุกต์ใช้สำหรับวัตถุประสงค์พิเศษ (Special Purpose Application) เป็นเครื่องซีเอ็นซีที่ผลิตมาเพื่อใช้สำหรับงานเฉพาะอย่าง เช่น เครื่องวัดโคออร์ดิเนต (Coordinate Measuring Machine หรือ CMM) หรือที่เรียกว่า เครื่องวัด 3 แกน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดขนาดรูปร่าง และพิสัยของชิ้นงานเมื่อต้องการความเที่ยงตรงสูง โดยสามารถวัดชิ้นงานได้ที่มีความละเอียดประมาณ 2 ไมโครเมตร การสั่งงานและรับผล ข้อมูลตัวเลขที่ได้จากการวัดกลับมาแสดงอีกครั้งที่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่

3.14



ภาพที่ 3.14 เครื่องวัดโคออร์ดิเนต

### 3.6 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือกลซีเอ็นซี

ข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือกลซีเอ็นซีเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือกลพื้นฐานที่ควบคุมด้วยมนุษย์มีดังนี้

#### 3.6.1 ข้อดีของเครื่องมือกลซีเอ็นซี

- 1) มีความเที่ยงตรงสูง
- 2) คุณภาพสม่ำเสมอทุกชิ้น
- 3) โอกาสเกิดความเสียหาย หรือต้องแก้ไขชิ้นงานมีน้อย
- 4) สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่หยุด
- 5) มีความรวดเร็วในการผลิต ทำให้มีผลผลิตสูง
- 6) สามารถคาดคะเนและวางแผนการผลิตได้อย่างแม่นยำ เพราะเวลาไม่ขึ้นอยู่กับแรงงาน
- 7) สามารถสลับเปลี่ยนชิ้นงาน ได้หลากหลายรูปทรง สะดวกและรวดเร็ว
- 8) เมื่อเปรียบเทียบจำนวนผลผลิตที่เท่ากัน เครื่องจักรกลซีเอ็นซีใช้พื้นที่น้อยกว่า และลดพื้นที่ของการจัดเก็บชิ้นงาน
- 9) มีความสะดวกสำหรับใช้ในการผลิตชิ้นงานต้นแบบที่มีการแก้ไขบ่อย
- 10) ชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูงและมีหลายขั้นตอนการผลิต สามารถใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีเครื่องเดียว ทำให้ไม่ต้องย้ายไปทำที่เครื่องอื่น
- 11) ลดปริมาณการตรวจสอบคุณภาพ
- 12) ทำให้สามารถใช้ทุลหรือเครื่องมือตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 13) ลดแรงงานในสายการผลิต ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน สามารถคุมได้ 3 ถึง 5 เครื่อง
- 14) ใช้อุปกรณ์เสริมน้อย ไม่ต้องใช้แผ่นลอกแบบ (Camplates หรือ Templates)

#### 3.6.2 ข้อเสียของเครื่องมือกลซีเอ็นซี

- 1) มีราคาแพง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ
- 2) ค่าซ่อมแซมสูง การซ่อมแซมมีความซับซ้อนเพราะมีทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ รวมถึงคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์
- 3) อุปกรณ์และซอฟต์แวร์เสริม (Option) มีราคาสูงและต้องใช้จากผู้ผลิตนั้นๆ เท่านั้น
- 4) ต้องมีความรู้พื้นฐานคณิตศาสตร์พอควรในการเขียนโปรแกรม
- 5) ต้องมีพื้นที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เขียนโปรแกรม
- 6) ต้องหางานป้อนให้เครื่องทำประจำอย่างสม่ำเสมอ
- 7) ไม่เหมาะสมกับการผลิตงานจำนวนน้อยๆ
- 8) สัญญาค่าซ่อมบำรุงสูง

9) ชิ้นส่วนอะไหล่ในบางกรณีต้องมาจากต่างประเทศ

10) คอนโทรลเลอร์เป็นภาษาอังกฤษ ช่างต้องเรียนรู้และมีการรับการฝึกอบรมการใช้เครื่องและการเขียนโปรแกรมก่อนเริ่มใช้เครื่องได้

## สรุปสาระสำคัญ

การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลอัตโนมัติ เป็นการขึ้นรูปที่สามารถผลิตชิ้นงานได้มีความถูกต้องเที่ยงตรงสูง ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะเช่นเดียวกันได้ครั้งละมาก ๆ มีความรวดเร็วในการผลิต ทำให้มีผลผลิตสูง คุณภาพสม่ำเสมอทุกชิ้น ดังนั้นในงานอุตสาหกรรมจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย การขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องมือกลอัตโนมัติโดยทั่วไปจะจำแนกออกเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. กลุ่มเครื่องมือกลอัตโนมัติสำหรับงานตัดเนื้อผิวโลหะ เช่น เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Turning Machine หรือ CNC Lathe) เครื่องกัด (CNC Milling Machine) และแมชชีนนิ่งเซนเตอร์ (Machining Center) เป็นต้น

2. กลุ่มเครื่องมือกลอัตโนมัติสำหรับงานเจียรระนาบ (CNC Grinding Machine) ใช้สำหรับเจียรระนาบให้ได้ผิวงานละเอียด เรียบ มันวาว โดยแยกเป็นการเจียรระนาบ (Surface Grinding) และการเจียรระนาบกลม (Cylindrical Grinding)

3. กลุ่มเครื่องมือกลอัตโนมัติสำหรับงานขึ้นรูปด้วยวิธีพิเศษ (Unconventional Machining) เป็นการขึ้นรูปที่นิยมเรียกว่าการผลิตแบบไม่คายเศษ (Non-Traditional Machining : NTM) ซึ่งแตกต่างจากการใช้เครื่องมือกลพื้นฐานและเครื่องมือกลซีเอ็นซีคือ เป็นการกำจัดเนื้อวัสดุออกด้วยเทคนิคพิเศษต่างๆ เช่น การใช้กรรมวิธีทางกล การใช้ความร้อน การใช้สารเคมี หรือพลังงานไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการปฏิบัติการ โดยเครื่องมือกลที่ใช้ในงานประเภทนี้ประกอบด้วย เครื่องตัดขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้า เครื่องกัดเซาะโลหะด้วยอิเล็กโตรด และเครื่องตัดขึ้นรูปแผ่นโลหะ

4. กลุ่มเครื่องมือกลอัตโนมัติสำหรับงานตัดเจาะและพับขึ้นรูป (Fabrication) เป็นการขึ้นรูปโลหะแผ่นควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์อีกแบบหนึ่ง โดยงานตัดเจาะและพับขึ้นรูป

5. กลุ่มเครื่องมือกลอัตโนมัติสำหรับงานประยุกต์ใช้สำหรับวัตถุประสงค์พิเศษ (Special Purpose Application) เป็นเครื่องซีเอ็นซีที่ถูกผลิตมาเพื่อใช้สำหรับงานเฉพาะอย่าง ตัวอย่างเช่น เครื่องวัดโคออร์ดิเนต (Coordinate Measuring Machine หรือ CMM) หรือที่เรียกว่า เครื่องวัด 3 แกน เป็นต้น



## แบบฝึกหัดบทที่ 3

### การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลอัตโนมัติ

คำสั่ง จงตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์

1. บอกความเป็นมาของเครื่องมือกลซีเอ็นซีได้ถูกต้อง

1.1 CNC ย่อมาจาก .....

.....

1.2 CNC หมายถึง .....

.....

1.3 จงบอกข้อได้เปรียบของเครื่องมือกล CNC มา 3 ข้อ

1.3.1 .....

1.3.2 .....

1.3.3 .....

1.4 การควบคุมการทำงานของเครื่องมือกลโดยใช้ตัวเลข (Number) การทำงานได้เริ่มขึ้นในประเทศ..... โดยใช้.....ในการควบคุมการตัดแบบเสื่อผ้า และจุดเริ่มต้นของเครื่องมือกล เอ็นซี (NC ย่อจาก Numerical Control) ในการควบคุมเครื่องมือกลการผลิต เริ่มจาก .....

สหรัฐอเมริกา ในการใช้เครื่องกัด (Milling Machine) 3 แกน ผลิตชิ้นส่วนเครื่องบินที่มีความแม่นยำ ความสม่ำเสมอและรวดเร็ว ต่อมาเครื่องเอ็นซี เครื่องแรกพัฒนาโดยทีมนักวิจัย จากสถาบัน .....

ได้รับการทดสอบการใช้งาน และ เครื่อง เอ็นซี 100 เครื่องแรก ได้ถูกสั่งผลิตจากกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา

2. จงอธิบายหลักการการทำงานของเครื่องมือกลซีเอ็นซีมาให้ถูกต้อง

ระบบการควบคุมของเครื่องจักรจะรับข้อมูลที่เป็นภาษาที่ระบบควบคุมสามารถเข้าใจได้จะต้อง

1. ....

เมื่อระบบควบคุมอ่านข้อมูลที่ป้อนเข้าไปแล้วก็จะ 2. ....

และ 3. ....

ความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นจะถูกควบคุมโดย 4. ....

3. องค์ประกอบของเครื่องมือกลซีเอ็นซีโดยส่วนใหญ่จะมียังค์ประกอบ 3 ส่วนหลักๆ คือ

3.1 .....

คือ.....

.....

.....

3.2 .....

คือ.....

.....

.....

3.3 .....

คือ.....

.....

.....

4. จงจำแนกประเภทของเครื่องมือกลซีเอ็นซีให้ถูกต้อง

4.1 จงยกตัวอย่างเครื่องมือกลซีเอ็นซีที่ใช้ในการตัดเฉือนผิวโลหะมา 2 ชนิด

4.1.1 .....

4.1.2 .....

4.2 จงยกตัวอย่างเครื่องมือกลซีเอ็นซีที่ใช้ในการเจียรระโนมา 2 ชนิด

4.2.1 .....

4.2.2 .....

4.3 จงยกตัวอย่างเครื่องมือกลซีเอ็นซีที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยวิธีพิเศษมา 2 ชนิด

4.3.1 .....

4.3.2 .....

4.4 จงยกตัวอย่างเครื่องมือกลซีเอ็นซีที่ใช้ในงานตัดเจาะและพับขึ้นรูปมา 2 ชนิด

4.4.1 .....

4.4.2 .....

5. บอกข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือกลซีเอ็นซีได้ถูกต้อง

5.1 จงบอกข้อดีของเครื่องมือกลซีเอ็นซีมา 5 ข้อ

5.1.1 .....

5.1.2 .....

5.1.3 .....

5.1.4 .....

5.1.5 .....

5.2 จงบอกข้อเสียของเครื่องมือกลซีเอ็นซีมา 5 ข้อ

5.2.1 .....

5.2.2 .....

5.2.3 .....

5.2.4 .....

5.2.5 .....

## แบบทดสอบบทที่ 3

### การขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลอัตโนมัติ

---

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายกากบาท (×) ลงในกระดาษคำตอบในข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. กรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกลอัตโนมัติควบคุมด้วยสิ่งใด

- ก. ระบบคอมพิวเตอร์
- ข. ระบบนิวแมติกส์
- ค. ระบบไฮดรอลิกส์
- ง. ระบบแมกคานิกส์

2. คำว่า CNC ย่อมาจาก

- ก. Command Numerical Control
- ข. Command Number Control
- ค. Computer Numerical Control
- ง. Computer Number Control

3. ข้อใดไม่ใช่ข้อดีของการใช้เครื่องจักรกล CNC

- ก. สามารถผลิตชิ้นงานได้มีความถูกต้องเที่ยงตรงสูง
- ข. คุณภาพต่ำเนื่องจากผลิตครั้งละมากๆ
- ค. มีความรวดเร็วในการผลิต ทำให้มีผลผลิตสูง
- ง. ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะเช่นเดียวกันได้ครั้งละมากๆ

4. ข้อใดไม่ใช่องค์ประกอบของเครื่องมือกล CNC

- ก. ชุดควบคุมการทำงาน
- ข. ระบบกลไกในการเคลื่อนที่
- ค. ตัวเครื่องจักร
- ง. ระบบวัดขนาด

5. ข้อใดไม่ใช่หน้าที่ของชุดควบคุมการทำงาน

- ก. ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกน
- ข. จัดเก็บโปรแกรม
- ค. ทำการประมวล คำนวณข้อมูลและโค้ด
- ง. แก้ไขตัดแปลงโปรแกรม

6. กลไกการเคลื่อนที่ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น คือ

- ก. Stepping Motor
- ข. Servo Motor
- ค. Ball Screw
- ง. Guide Way

7. ข้อใดไม่ใช่เครื่องมือกล CNC ที่ใช้ในการตัดเฉือนผิวโลหะ

- ก. CNC Turning Machine
- ข. CNC Milling Machine
- ค. Machining Center
- ง. CNC Bending Machine

8. ข้อใดคือเครื่องมือกล CNC ที่ใช้ในการเจียรระโน

- ก. CNC Boring Machine
- ข. CNC Grinding Machine
- ค. CNC Punching Machine
- ง. CNC Drilling Machine

9. ข้อใดไม่ใช่โรงงานเครื่องมือกล CNC ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีพิเศษ

- ก. Coordinate Measuring Machine
- ข. Wire Cutting Machine
- ค. Electrical Discharge Machine
- ง. Water Jet Machine

10. เครื่อง CMM คือเครื่องที่ทำงานในลักษณะใด

- ก. ใช้สำหรับตัดแผ่นโลหะหนาด้วยลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน
- ข. ใช้สำหรับตัดและเจาะแผ่นโลหะให้เป็นรูปทรงต่างๆ
- ค. ใช้ในการวัดขนาดรูปร่างและพิสัยของชิ้นงานเมื่อต้องการความเที่ยงตรงสูง
- ง. ใช้สำหรับพับแผ่นโลหะให้เป็นรูปทรง 3 มิติ

11. ข้อใดไม่ใช่ข้อดีของการใช้เครื่องมือกล CNC

- ก. มีความเที่ยงตรงสูง
- ข. คุณภาพสม่ำเสมอทุกชิ้น
- ค. สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่หยุด
- ง. เหมาะสมกับการผลิตงานจำนวนน้อยๆ

12. ข้อใดไม่ใช่ข้อเสียของการใช้เครื่องมือกล CNC

- ก. ชิ้นส่วนอะไหล่ในบางกรณี ต้องรอกจากต่างประเทศ
- ข. ลดปริมาณการตรวจสอบคุณภาพ
- ค. ค่าซ่อมแซมสูง การซ่อมแซมมีความซับซ้อน
- ง. มีราคาแพง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ



# บทที่ 4

## การขึ้นรูปร้อน

### แนวคิดสำคัญ

การขึ้นรูปขึ้นส่วนต่างๆ นอกจากจะใช้เครื่องมือกลพื้นฐานและเครื่องมือกลซีเอ็นซีแล้ว ยังสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการอื่นอีก คือ การนำชิ้นส่วนไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ แล้วจึงนำชิ้นส่วนนั้นมาผ่านกระบวนการตี การรีด การอัด เพื่อให้ชิ้นส่วนมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น สมบัติในด้านต่างๆ จะดีขึ้น และจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น โดยกรรมวิธีดังกล่าวนี้จะเรียกว่ากรรมวิธีการขึ้นรูปร้อน และเพื่อให้สามารถเลือกใช้กรรมวิธีในการขึ้นรูปร้อนให้เหมาะสมกับชิ้นส่วนผู้เรียนจึงต้องศึกษารายละเอียดและกระบวนการต่างๆ เกี่ยวกับการขึ้นรูปร้อนให้มีความเข้าใจเสียก่อน

### หัวข้อเรื่อง

1. บทนำ
2. การรีดขึ้นรูปร้อน
3. การตีขึ้นรูปร้อน
4. การอัดขึ้นรูปร้อน
5. การดึงขึ้นรูปร้อน
6. การผลิตท่อ

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อผู้เรียน ได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. บอกหลักการของกระบวนการขึ้นรูปร้อนได้ถูกต้อง
2. บอกหลักการของกระบวนการรีดขึ้นรูปร้อนได้ถูกต้อง
3. บอกหลักการของกระบวนการตีขึ้นรูปร้อนได้ถูกต้อง
4. บอกหลักการของกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนได้ถูกต้อง
5. บอกหลักการของกระบวนการดึงขึ้นรูปร้อนได้ถูกต้อง
6. บอกหลักการของกระบวนการผลิตท่อได้ถูกต้อง
7. อธิบายหลักการของกระบวนการหมุนขึ้นรูปร้อนได้ถูกต้อง

## 4.1 บทนำ

การขึ้นรูปร้อน (Hot Working) เป็นกระบวนการขึ้นรูปหรือแปรรูปโลหะ โดยกระบวนการขึ้นรูปร้อนนี้จะกระทำในขณะที่โลหะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ (Recrystallization Temperature) ซึ่งอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ของโลหะแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น กรณีของเหล็กกล้าอุณหภูมินี้จะอยู่ในช่วง 500– 700 องศาเซลเซียส ส่วนในกรณีโลหะชนิดอื่นดูค่าได้จากตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการตกผลึกใหม่ของโลหะชนิดต่างๆ (ทวี เทศเจริญ. 2540 : 284)

Metal	Recrystallization Temperature °F (°C)
Aluminum	300 (150)
Copper	390 (200)
Gold	390 (200)
Iron	840 (450)
Lead	Below Room Temperature
Magnesium	300 (150)
Nickel	1100 (590)
Silver	390 (200)
Tin	390 (200)
Zinc	At Room Temperature

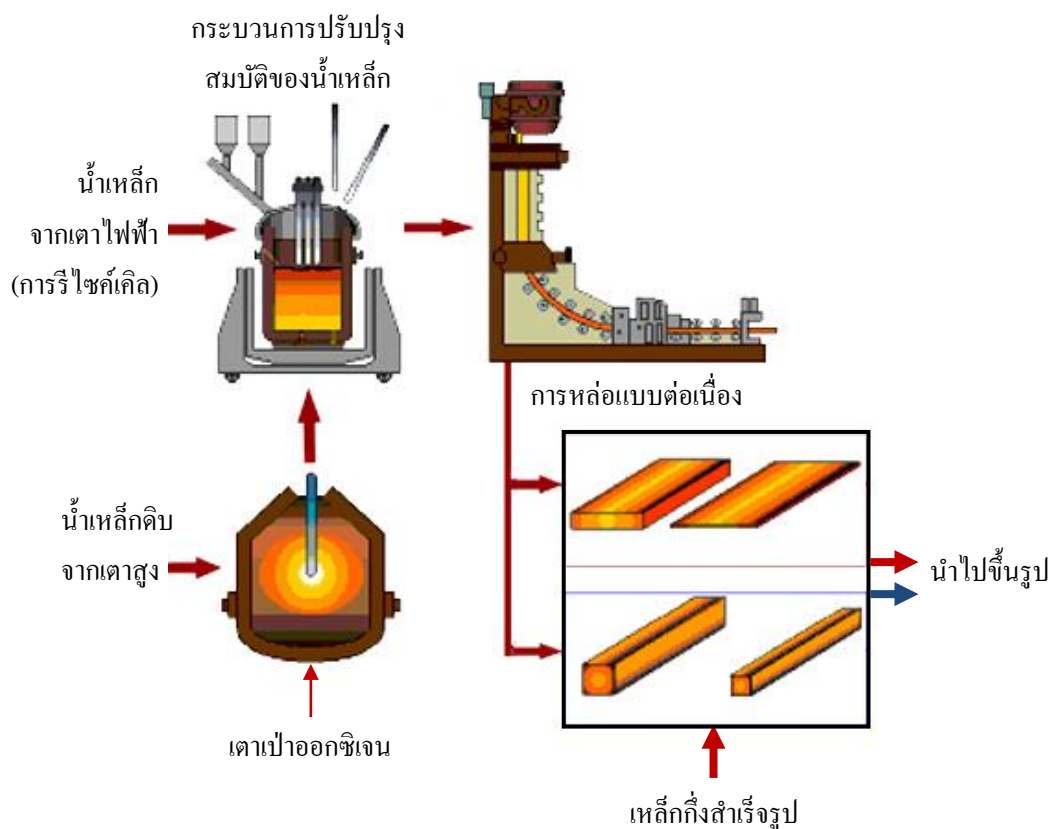
กรรมวิธีการขึ้นรูปร้อนที่นำมาใช้ทำให้โลหะเปลี่ยนรูปร่างไปเป็นชิ้นงานนั้นมีหลายวิธี เช่น การตีด้วยค้อน (Hammering) การตีอัด (Press Forging) การรีด (Rolling) และการอัดรีด (Extrusion) เป็นต้น ซึ่งการนำโลหะมาผ่านการขึ้นรูปร้อนนั้น จะทำให้เกิดผลดีกับโลหะในแง่ต่างๆ หลายประการ ดังนี้

1. ทำให้เนื้อโลหะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ลดความพรุนของเนื้อโลหะลง
2. สารมลทิน (Impurities) และสารฝังใน (Inclusions) ที่ปะปนอยู่ในเนื้อโลหะจะถูกทำให้แตกหักเป็นผงละเอียด และถูกบังคับให้กระจายตัวอยู่ในเนื้อโลหะอย่างสม่ำเสมอกว่าเดิม
3. ทำให้เกรนของโลหะมีขนาดเล็กลง
4. สมบัติด้านต่างๆ ของโลหะจะดีขึ้น เนื้อโลหะจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) มากขึ้นกว่าเดิม



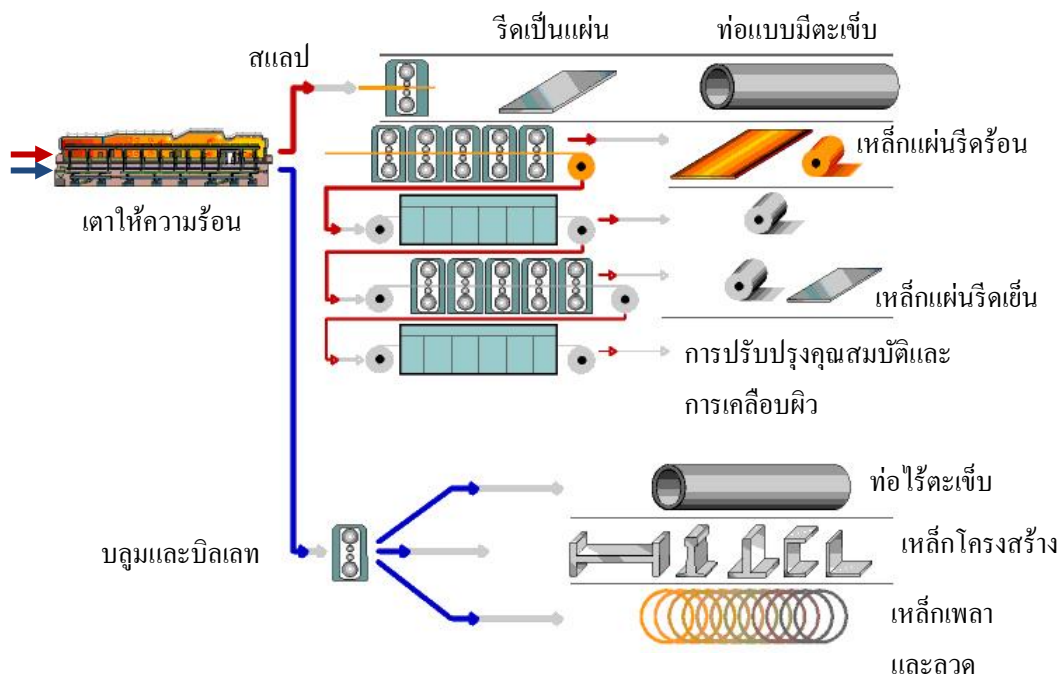
## 4.2 การรีดขึ้นรูปร้อน

การรีดขึ้นรูปร้อน (Hot Rolling) เป็นการรีดที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการจัดเรียงผลึกใหม่ แล้วนำไปผ่านลูกรีดเพื่อลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลงให้ได้ขนาดชิ้นงานที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานต่อไป สำหรับการรีดโลหะวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการรีดเราเรียกว่าโลหะกึ่งสำเร็จรูป (Semi-Finished Steel Product) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ แท่งโลหะพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Bloom) ขนาดพื้นที่หน้าตัดอย่างน้อย 150 x 150 mm, แท่งโลหะพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เล็กกว่า Bloom (Billet) มีขนาดพื้นที่หน้าตัดตั้งแต่ 40 x 40 mm และแท่งโลหะพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Slab) ขนาดความกว้างต่ำสุด 10 นิ้ว หน้า 1 ½ นิ้ว ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 เหล็กกึ่งสำเร็จรูป

จากภาพที่ 4.1 เมื่อนำเหล็กกล้าสำเร็จรูปมาผ่านกระบวนการรีดจะทำให้ได้ผลผลิต ดังภาพที่ 4.2

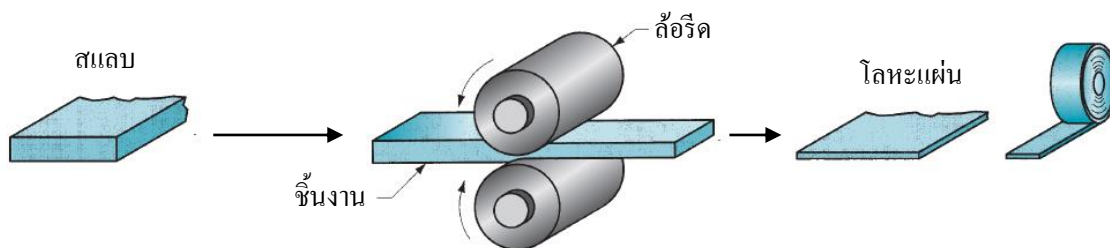


ภาพที่ 4.2 การรีดขึ้นรูป

จากภาพที่ 4.2 เมื่อนำเหล็กกล้าสำเร็จรูปไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้วจึงนำไปรีดขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ดังนี้

### 4.2.1 การรีดเป็นแผ่น

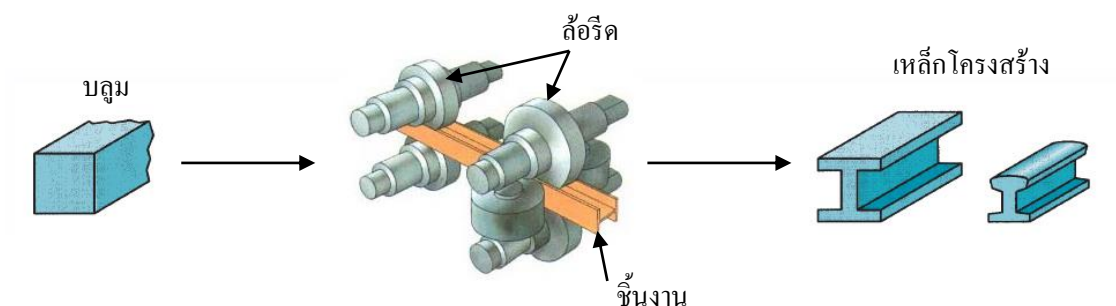
การรีดเป็นแผ่น (Flat Rolling) เป็นการนำสแลบ (Slab) ไปอบที่เตา และให้ความร้อนอย่างช้าๆ จนถึงอุณหภูมิการรีด แล้วนำไปรีดบนลูกรีด จนได้ขนาดความหนาและความกว้างที่ต้องการ มีอยู่ 2 ลักษณะคือ การรีดเป็น โลหะแผ่น (Flat Plate) ความหนามากกว่า 6 mm และการรีดเป็น โลหะแผ่นบาง (Sheet Metal) โดยทั่วไปความหนาน้อยกว่า 6 mm ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 แสดงการรีดเป็นแผ่น

## 4.2.2 การรีดขึ้นรูป

การรีดขึ้นรูป (Shape Rolling) เป็นการนำเอาโลหะกิ่งสำเร็จรูปบลูม (Bloom) ไปอบในเตาให้ความร้อนอย่างช้าๆ จนถึงอุณหภูมิการรีด แล้วนำไปรีดขึ้นรูปตามต้องการ เช่น I-Beam, U-Beam แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 4.4



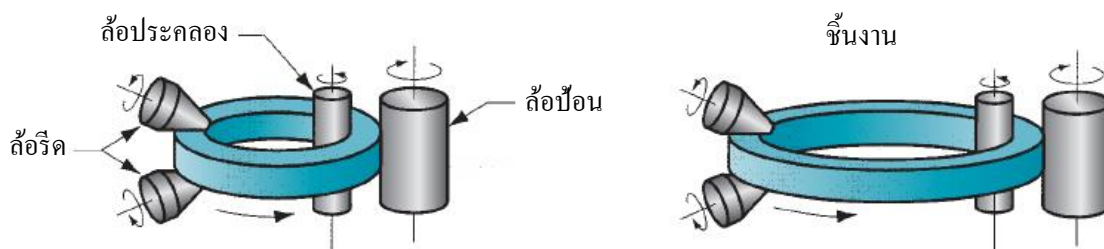
ภาพที่ 4.4 แสดงการรีดขึ้นรูป

## 4.2.3 การรีดในลักษณะอื่น ๆ

การรีดในลักษณะอื่นๆ เป็นกรรมวิธีการรีดร้อน ซึ่งโลหะที่นำมาขึ้นรูปนี้ไม่ใช่โลหะกิ่งสำเร็จรูป แต่เป็นโลหะที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตอื่นมาก่อน ดังนี้

### 4.2.3.1 การรีดวงแหวนหรือห่วง

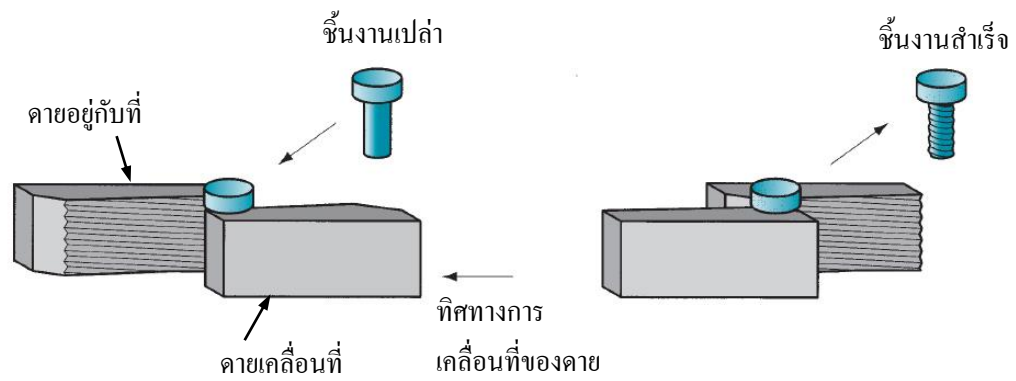
การรีดวงแหวนหรือห่วง (Ring Rolling) เป็นการลดขนาดความหนา และเพิ่มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน ซึ่งชิ้นงานเปลี่ยนจะรูปไปเนื่องจากการยึดตัวของโลหะ ดังภาพที่ 4.5



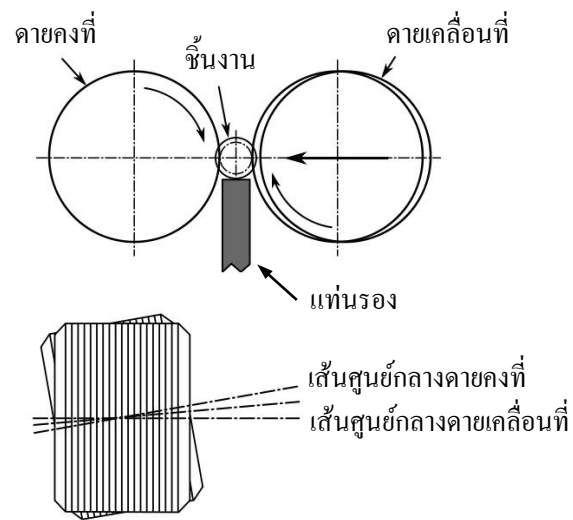
ภาพที่ 4.5 แสดงการรีดวงแหวน

### 4.2.3.1 การรีดเกลียว

การรีดเกลียว (Thread Rolling) เป็นการทำเกลียวภายนอกด้วยแม่พิมพ์ (Die) ซึ่งแม่พิมพ์มี 2 แบบคือ แบบแผ่น ดังภาพที่ 4.6 และแบบกลม ดังภาพที่ 4.7



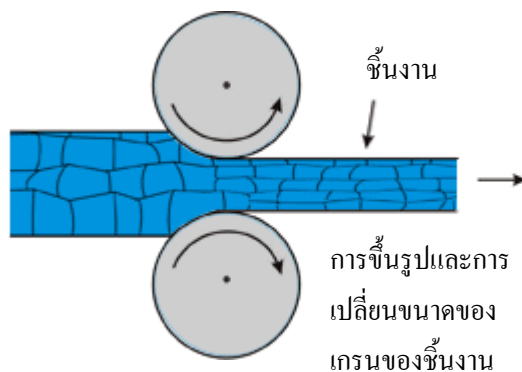
ภาพที่ 4.6 แสดงการรีดเกลียวบนแม่แบบแบบแบน



ภาพที่ 4.7 แสดงการรีดเกลียวบนแม่แบบแบบกลม

### 3.2.4 ผลที่เกิดขึ้นจากรีดร้อน

ผลที่เกิดขึ้นจากการรีดร้อนต่อโลหะ ในขณะที่ทำการรีด เกรนของเหล็กจะเปลี่ยนรูปร่าง โดยเกรนของโลหะปกติจะมีเม็ดโต จะถูกบีบตัวจนสับในขณะที่ผ่านการกดของลูกกลิ้งและจะเปลี่ยนเม็ดเกรนใหม่ทันทีทำให้โลหะมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ผลการรีดขึ้นรูปร้อนทำให้เกรนเปลี่ยนแปลง

### 4.3 การตีขึ้นรูปร้อน

การตีขึ้นรูปร้อน (Hot Forging) เป็นกระบวนการขึ้นรูป หรือแปรรูปโลหะให้กลายเป็นชิ้นงาน โดยการใช้แรงทุบ ตี อัด หรือกระแทก ร่วมกับการใช้แบบตายหรือไม่ใช้แบบตายก็ได้ กระบวนการนี้ แบ่งออกเป็นชนิดย่อยๆ ได้หลายชนิดดังนี้

#### 4.3.1 การตีด้วยค้อน

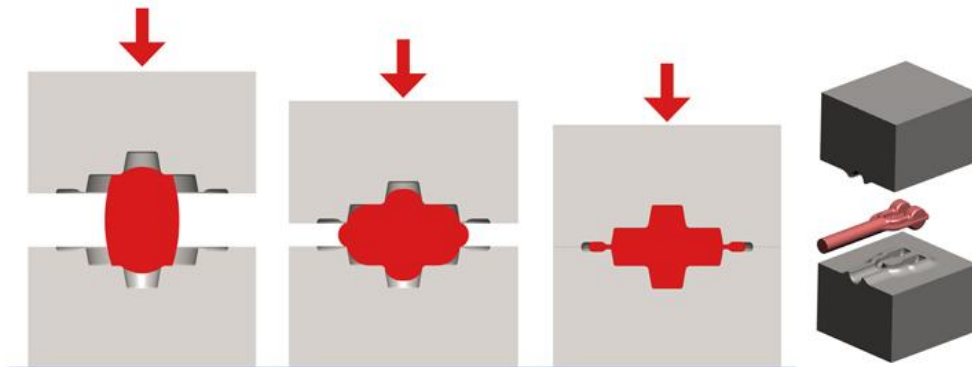
การตีด้วยค้อน (Hammering or Smith Forging) เป็นวิธีการที่ช่างตีเหล็กในสมัยโบราณใช้กัน โดยการตีในสมัยนั้นก็จะอาศัยแรงงานจากคน วิธีการนี้ในสมัยก่อนนั้นจะไม่ใช้แบบตาย (Dies) การตีให้เกิดเป็นรูปร่างต่างๆ จะต้องอาศัยทักษะและความชำนาญพิเศษของช่าง แต่ในปัจจุบันนี้อาจใช้แบบตายเปิด (Open Dies Forging) ช่วยในการขึ้นรูป และใช้เครื่องจักรช่วยในการตีขึ้นรูปเพื่อให้การทำงานง่ายขึ้น ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 การตีด้วยค้อน

### 4.3.2 การตีกระทก

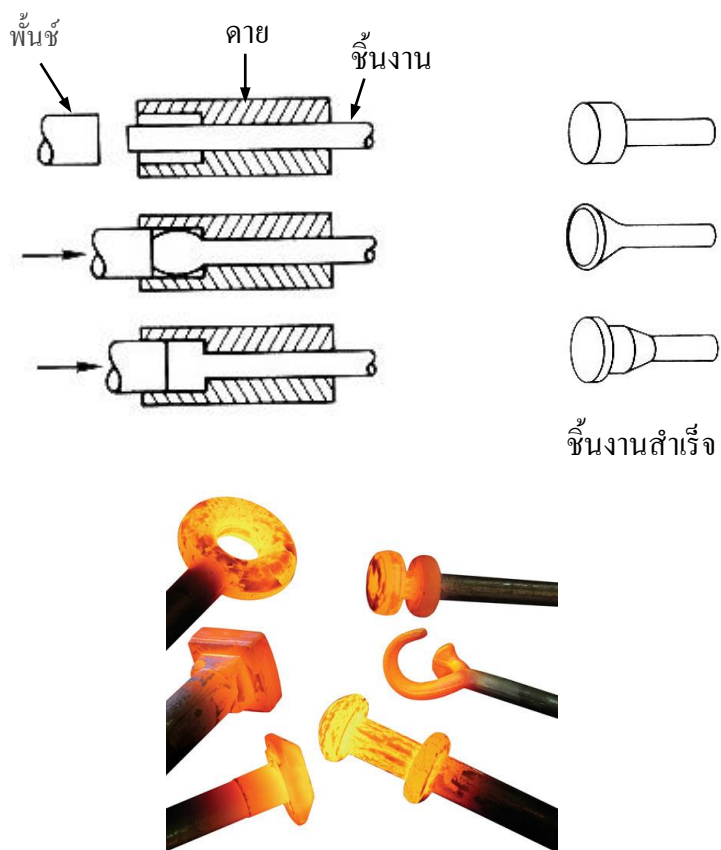
การตีกระทก (Drop Forging) การตีขึ้นรูปด้วยวิธีการนี้จะใช้แบบคายที่มีลักษณะเป็นแบบคายปิด (Closed Dies Forging) ซึ่งจะแตกต่างจากแบบคายที่ใช้ในกรณีการตีด้วยก้อนที่เป็นแบบคายเปิด ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ลักษณะการทำงานในกรณีการตีกระทกแสดงอยู่ในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 การขึ้นรูปแบบ Drop Forging

### 4.3.2 การตีบีบ

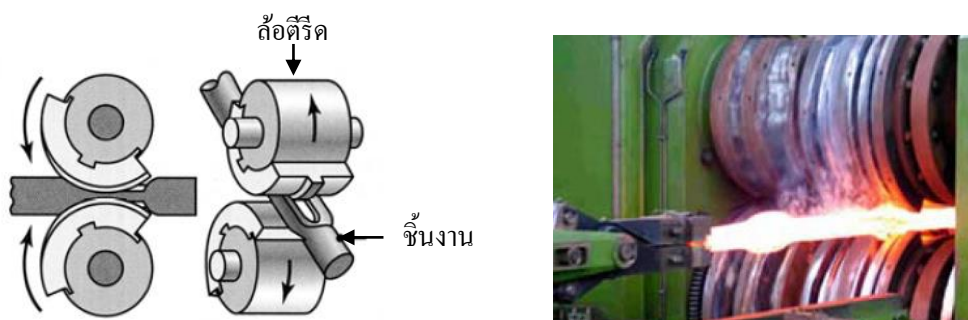
การตีบีบ (Upset Forging) เป็นกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างเป็นป้าหรือขอบ โดยการเตรียมชิ้นงานมาก่อนให้มีขนาดใกล้เคียงกับแบบคายที่จะใช้ในการขึ้นรูป ในภาพที่ 3.11 แสดงลักษณะการทำการตีบีบ



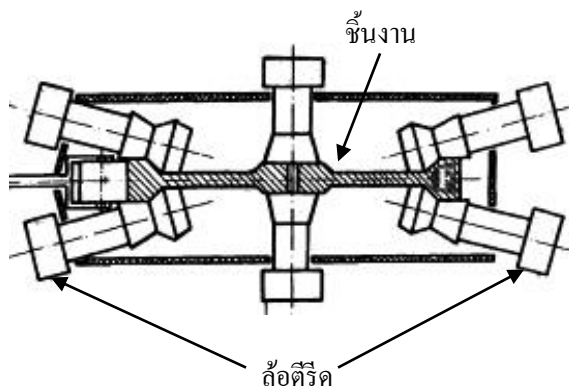
ภาพที่ 4.11 แสดงลักษณะการทำของการตีบีบ

### 4.3.3 การตีรีด

การตีรีด (Roll Forging) เป็นการตีโดยการใช้อุปกรณ์ (Rolls) หมุนกลิ้ง ไปบนชิ้นงานโดยนำโลหะที่ผ่านการอบให้ร้อนจนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ ป้อนเข้าไปในเครื่องลูกรีดจะหมุนกลิ้งไปบนชิ้นงานทำการตีรีดจนกระทั่งได้ขนาดตามที่ต้องการ ในภาพที่ 4.12 แสดงหลักการทำงานของการตีรีด ส่วนในภาพที่ 4.13 แสดงการทำลวดด้วยวิธีการตีรีด



ภาพที่ 4.12 แสดงหลักการทำงานของการตีรีด



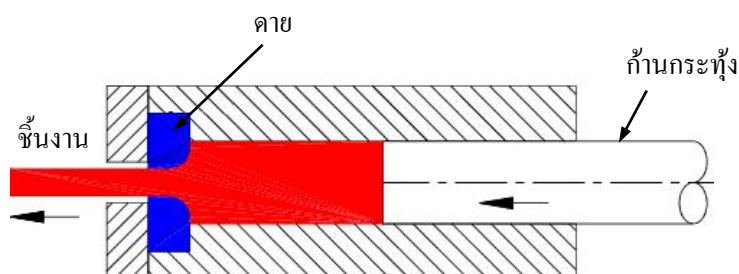
ภาพที่ 4.13 แสดงการทำล้อด้วยวิธีการตีรีด

#### 4.4 การอัดขึ้นรูปร้อน

การอัดขึ้นรูปร้อน (Hot Extrusion) เป็นกระบวนการอัดและรีดให้โลหะเคลื่อนออกจากห้องอัดผ่านแบบตาย (Dies) ออกมาเป็นชิ้นงาน ชิ้นงานที่ได้ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแท่งยาว ส่วนรูปร่างลักษณะของพื้นที่หน้าตัด ของชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับลักษณะของแบบตายที่ใช้ กระบวนการอัดรีดแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ การอัดรีดโดยตรง (Direct Extrusion) การอัดรีดโดยอ้อม (Indirect Extrusion) และการอัดรีดโดยกระทบ (Impact Extrusion) โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 4.4.1 การอัดรีดโดยตรง

การอัดรีดโดยตรง (Direct Extrusion) โลหะที่ผ่านการอบให้ร้อนจนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ (Recrystallization Temperature) ถูกนำมาใส่ลงในห้องอัด (Chamber) จากนั้นอาศัยแรงอัดจากก้านกระทู้ (Ram) อัดให้โลหะเคลื่อนที่ผ่านแบบตาย (Dies) ออกจากห้องอัดกลายเป็นชิ้นงาน ทิศทางที่ชิ้นงานเคลื่อนที่ออกจากห้องอัดนั้นจะเป็นไปในทิศเดียวกับการเคลื่อนที่ของก้านกระทู้ (Ram) ดังแสดงในภาพที่ 4.14

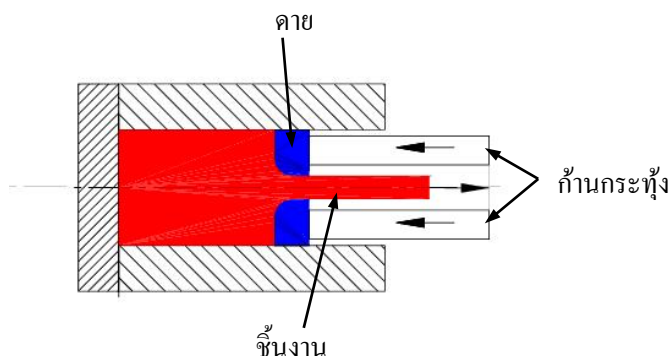


ภาพที่ 4.14 การอัดรีดโดยตรง



#### 4.4.2 การอัดรีดโดยอ้อม

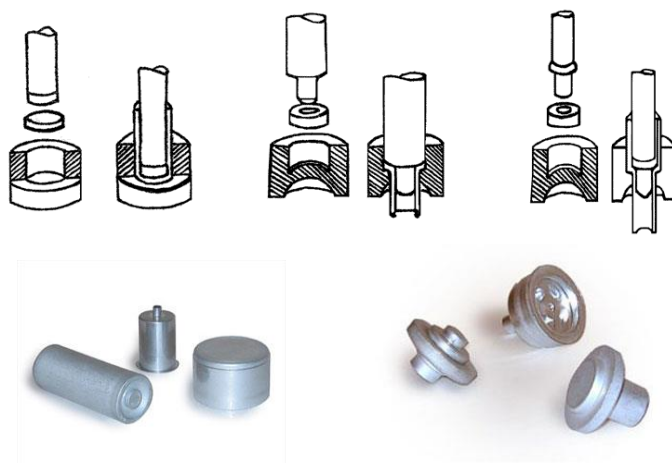
การอัดรีดโดยอ้อม (Indirect Extrusion) จะมีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับการอัดรีดโดยตรง จะแตกต่างกันตรงทิศทางที่ชิ้นงานเคลื่อนที่ออกจากห้องอัด (Chamber) จะสวนทางกับทิศทาง การเคลื่อนที่ของก้านกระทุ้ง (Ram) ดังแสดงในภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 การอัดรีดโดยอ้อม

#### 4.4.3 การอัดรีดโดยกระแทก

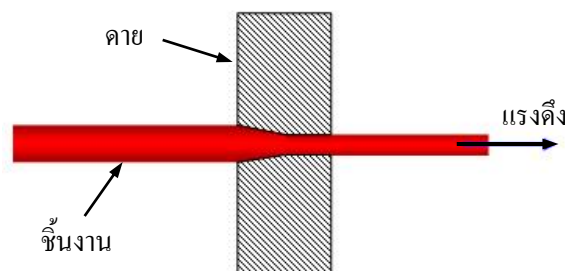
การอัดรีดโดยกระแทก (Impact Extrusion) กระบวนการนี้ใช้วิธีกระแทกก้านกระทุ้ง (Ram) เข้าหาโลหะที่อยู่ภายในห้องอัด โลหะจะถูกกระแทกให้เคลื่อนตัวออกจากห้องอัดผ่านแบบดายออกมา กลายเป็นชิ้นงาน โดยปกตินิยมใช้กับงานแปรรูปเย็น (Cold Working) แต่ในกรณีที่ชิ้นงานมีขนาดใหญ่ หรือชิ้นงานมีผนังหนามากๆ จะไม่สะดวกในการทำงานแปรรูปเย็น จึงจำเป็นต้องทำในลักษณะงานแปรรูปร้อน



ภาพที่ 4.16 การอัดไหลแบบกระแทก

## 4.5 การดึงขึ้นรูปร้อน

การดึงขึ้นรูปร้อน (Hot Drawing) กระบวนการนี้จะนำโลหะที่ผ่านการอบจนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่มาคั้นหรือดึงให้เคลื่อนตัวผ่านแบบคายนี้อาจได้ชิ้นงานตามที่ต้องการ ชิ้นงานที่เหมาะสมสำหรับการผลิตด้วยวิธีนี้ได้แก่ เหล็กเส้น (Bars) เส้นลวด (Wires) ท่อผนังหนา (Thick Wall Cylinder) เป็นต้น ลักษณะการทำงานของกระบวนการนี้แสดงอยู่ในภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 การดึงขึ้นรูป

## 4.6 การผลิตท่อ

การผลิตท่อ (Pipe and Tube Manufacturing) แบบมีตะเข็บ และแบบไร้ตะเข็บ มีกระบวนการที่สำคัญดังนี้

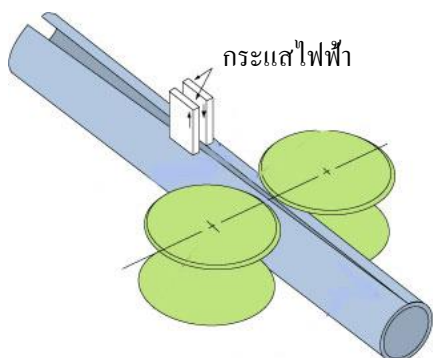
### 4.6.1 การผลิตท่อแบบมีตะเข็บ

การผลิตท่อแบบมีตะเข็บ ประกอบด้วยกระบวนการดังนี้

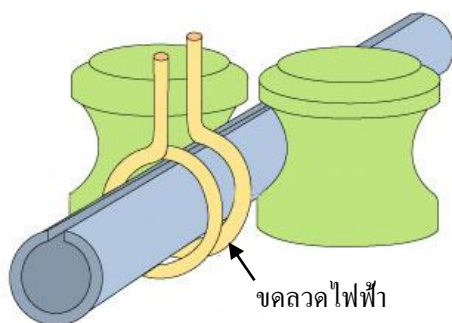
#### 4.6.1.1 การเชื่อมชนด้วยไฟฟ้า

การเชื่อมชนด้วยไฟฟ้า (Electric Welding) เป็นกระบวนการเชื่อมต่อโดยใช้กระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย การเชื่อมชนด้วยความต้านทานไฟฟ้า (High Frequency Resistance Welding : HFRW) และการเชื่อมชนด้วยการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า (High Frequency Induction Welding : HFIW) มักใช้ผลิตท่อที่มีความหนาไม่มากนัก (ส่วนใหญ่ที่ใช้จะมีความหนาไม่เกิน 8 มม. และเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 1/2 - 8 นิ้ว) รอยเชื่อมของท่อที่ผลิตโดยกรรมวิธีนี้จะได้แนวเชื่อมตรงตามความยาวท่อ กรรมวิธีผลิตเริ่มจากการคลี่เหล็กแผ่นม้วน (Uncoiling) แล้วตัดแบ่ง (Slitting) ให้ได้ขนาดความกว้างของเหล็กแผ่น ใกล้เคียงกับความยาวของเส้นรอบวงที่ต้องการม้วนทำท่อ จากนั้นนำเข้าสู่เครื่องรีดทำการรีดให้เป็นท่อในขณะที่แผ่นเหล็กนั้นมียุณหภูมิอยู่ที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติ โดยใช้ชุดลูกกรีด (Rolls) จากนั้นเชื่อมรอยต่อของขอบให้ติดกัน โดยใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ดังภาพที่ 4.18 สำหรับการใช้งานของ

ท่อผลิตจากการเชื่อมชนด้วยความดันทานไฟฟ้า เช่น ใช้เป็นท่อน้ำ ท่อเหล็กโครงสร้าง ท่อขนส่งก๊าซ และน้ำมัน เป็นต้น



(ก) การเชื่อมชนด้วยความดันทานไฟฟ้า

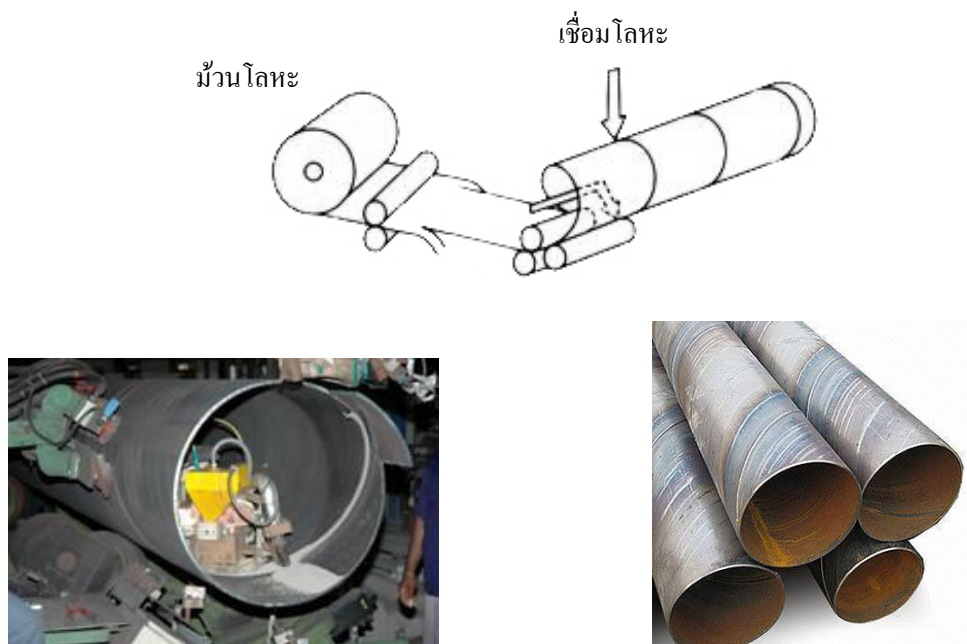


(ข) การเชื่อมชนด้วยการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า

ภาพที่ 4.18 การผลิตท่อด้วยวิธีการเชื่อมชนด้วยไฟฟ้า

#### 4.6.1.2 การเชื่อมท่อแบบเกลียว

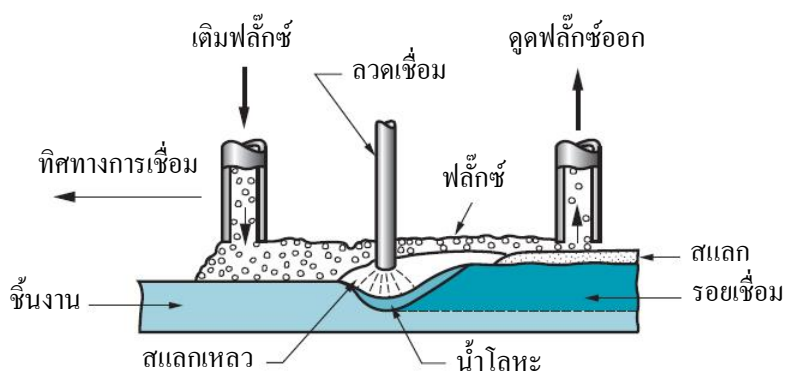
การเชื่อมท่อแบบเกลียว (Spiral) เป็นการเชื่อมท่อเหล็กกล้าที่โดยวิธี Submerged Arc Welding (SAW) โดยแนวเชื่อมจะมีลักษณะคดเป็นวงคล้ายสปริง กรรมวิธีนี้สามารถผลิตท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้กว้างและความยาวมากๆ ได้ โดยอาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 - 3300 มม. ความหนาที่ใช้กันส่วนใหญ่ประมาณ 3 - 19 มม. ท่อเชื่อมแบบเกลียวแบบ 2 ด้านจะสามารถทนความดันได้มากกว่าท่อเชื่อมแบบแนวเชื่อมตรงถึง 25% เมื่อเทียบที่ความหนาของผนังเท่ากัน การใช้งานของท่อประเภทนี้ เช่น ท่อสำหรับส่งน้ำดิบ งานขุดเจาะ (Dredging) เป็นต้น ดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 การผลิตท่อโดยการเชื่อมต่อแบบเกลียว

**4.6.1.3 การเชื่อมต่อแนวตะเข็บตรง**

ท่อเชื่อมแนวตะเข็บตรงแบบ Arc Welding เช่น Double Submerged Arc Weld (DSAW) Pipe ชื่อนี้มาจากการเชื่อมท่อด้วยวิธี Arc โดยมี Flux ปกคลุมขณะที่ทำการเชื่อม โดยจะทำการเชื่อมทั้งด้านในและด้านนอกด้วยขบวนการที่แยกกันจึงเรียก “Double” การเชื่อมที่แยกกันนี้จะทำให้เกิดการผสมของเนื้อรอยเชื่อมของกันและกันทำให้ได้รอยเชื่อมที่มีคุณภาพสูง ท่อแบบ DSAW นี้มักมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกใหญ่และผนังหนากว่าเมื่อเทียบกับท่อแบบการเชื่อมชนด้วยความดันไฟฟ้า การใช้งานของท่อ DSAW เช่น งานขนส่งน้ำมันและก๊าซความดันสูง เป็นต้น ดังภาพที่ 4.20





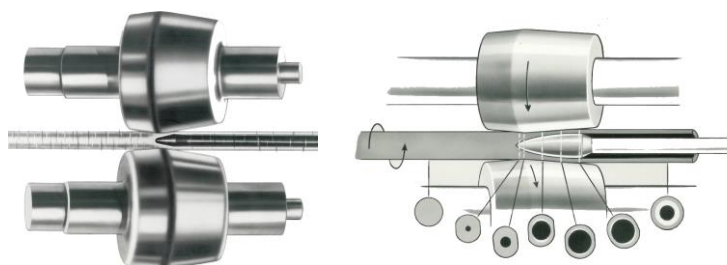
ภาพที่ 4.20 การผลิตท่อ โดยการเชื่อมท่อแนวตะเข็บตรง

#### 4.6.2 การผลิตท่อแบบไม่มีตะเข็บ

การผลิตท่อแบบไม่มีตะเข็บ มีกระบวนการที่สำคัญดังนี้

##### 4.6.2.1 การแทงขึ้นรูปร้อน

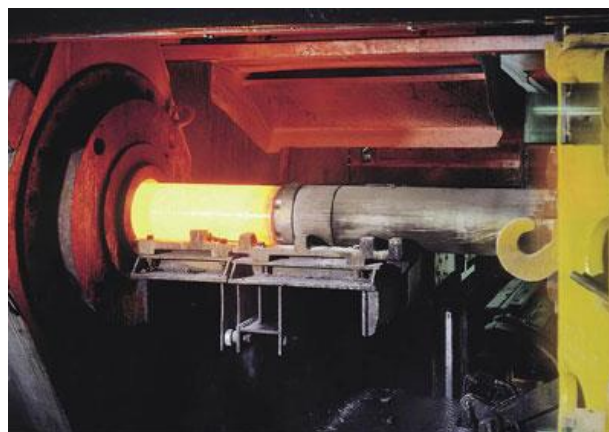
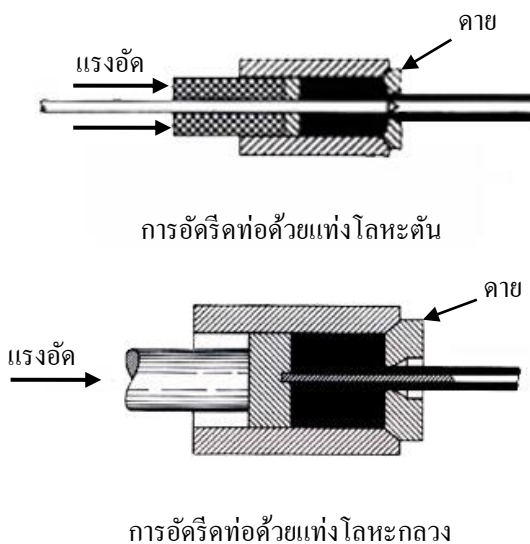
การแทงขึ้นรูปร้อน (Hot Piercing) เป็นกรรมวิธีการผลิตท่อที่ไม่มีตะเข็บ ซึ่งจะทำให้ท่อที่มีคุณภาพสูง ทนต่อแรงอัดได้สูงมาก แต่ผลิตยุ่งยากกว่าแบบมีตะเข็บ และมีความหนากว่า การผลิตท่อโดยใช้เพลลาแกนคั้นระหว่างกลางขึ้นงานและให้วิ่งในทิศทางเดียวแทงแกนจะเป็นตัวนำศูนย์ก่อน ใช้แรงอัดและความร้อนของเหล็กเป็นตัวควบคุมขนาดของรูท่อ ดังภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 การผลิตท่อที่ไม่มีตะเข็บ (Piercing)

#### 4.6.2.2 การอัดรีดท่อ

การอัดรีดท่อ (Tube Extrusion) การอัดรีดท่อเป็นกรรมวิธีผลิตท่อแบบไม่มีตะเข็บอีกวิธีหนึ่ง ใช้หลักการเหมือนกับการอัดรีดโดยตรง การทำวิธีนี้ตัวอัดจับชิ้นงานหมุนด้วยความเร็วมากประมาณ 10 ฟุตต่อนาที ใช้ผลิตท่อเหล็กพวกลูกเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ อาจจะทำวิธีการขึ้นรูปเย็นก็ได้ อุณหภูมิของชิ้นงานก่อนนำมาอัดขึ้นรูปประมาณ 2,400 องศาฟาเรนไฮต์ ดังตัวอย่างภาพที่ 4.22

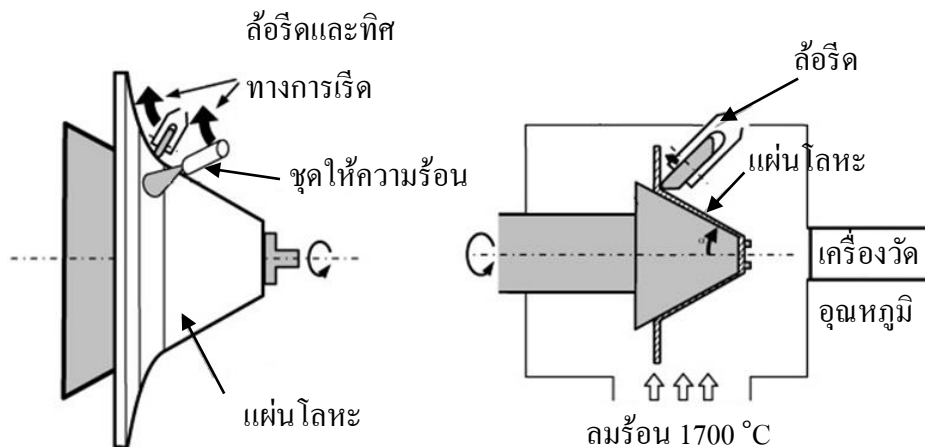


ภาพที่ 4.22 การอัดไหลท่อ

#### 4.7 การหมุนขึ้นรูปร้อน

การหมุนขึ้นรูปร้อน (Hot Spinning) เป็นวิธีการขึ้นรูปโลหะแผ่นให้เป็นชิ้นงานที่มีรูปร่างสมมาตร โดยใช้ความร้อนที่มีสูงกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ (Recrystallization Temperature) ลักษณะการหมุนขึ้นรูปร้อนจะใช้เครื่องจักรในการหมุนขึ้นรูปโลหะซึ่งจะมีลักษณะคล้ายเครื่องกลึง โดยขณะ

ชิ้นงานกำลังหมุนจะมีการให้ความร้อนอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่เดียวกันก็จะมีเครื่องมือมากดลงบนแผ่นโลหะเพื่อให้แผ่นโลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 การหมุนขึ้นรูปร้อน (Hot Spinning)

## สรุปสาระสำคัญ

การขึ้นรูปร้อน (Hot Working) เป็นกระบวนการขึ้นรูปหรือแปรรูปโลหะ โดยทำให้โลหะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ (Recrystallization Temperature) ซึ่งข้อดีของการขึ้นรูปร้อนคือ ทำให้เนื้อโลหะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ลดความพรุนของเนื้อโลหะลง สารมลทิน (Impurities) และสารฝังใน (Inclusions) ที่ปะปนอยู่ในเนื้อโลหะจะถูกทำให้แตกหักเป็นผงละเอียด และถูกบังคับให้กระจายตัวอยู่ในเนื้อโลหะอย่างสม่ำเสมอกว่าเดิม ทำให้เกรนของโลหะมีขนาดเล็กลง c) สมบัติด้านต่างๆ ของโลหะจะดีขึ้น เนื้อโลหะจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) มากขึ้นกว่าเดิม

สำหรับกรรมวิธีการขึ้นรูปร้อนที่สำคัญ ประกอบด้วย การรีดขึ้นรูปร้อน การตีขึ้นรูปร้อน การอัดขึ้นรูปร้อน การดึงขึ้นรูปร้อน การหมุนขึ้นรูปร้อน การผลิตท่อแบบมีตะเข็บและแบบไม่มีตะเข็บ

## แบบฝึกหัดบทที่ 4

### การขึ้นรูปรีออน

คำสั่ง จงตอบคำถามที่กำหนดมาให้ให้สมบูรณ์

1. จงบอกหลักการของกระบวนการขึ้นรูปรีออนให้ถูกต้อง

1.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปรีออนของชิ้นส่วน คือ .....

.....

1.2 กรรมวิธีการผลิตด้วยกระบวนการขึ้นรูปรีออน จะทำให้เกิดผลดีกับชิ้นส่วนอย่างไร

1.2.1 .....

.....

1.2.2 .....

.....

1.2.3 .....

.....

1.2.4 .....

.....

2. จงบอกหลักการของกระบวนการรีดขึ้นรูปรีออนให้ถูกต้อง

2.1 วัสดุดิบที่นำมาใช้ในการรีดขึ้นรูปรีออน เรียกว่า .....

ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

2.1.1 .....

2.1.2 .....

2.1.3 .....

2.2 การรีดเป็นแผ่น เป็นการนำเอาโลหะกึ่งสำเร็จรูป หรือเรียกว่า .....  
ไปอบที่เตา แล้วนำไปรีดบนลูกรีด จนได้ขนาดความหนาและความกว้างที่ต้องการ

2.3 การรีดขึ้นรูปเป็นแผ่น เป็นการนำเอาโลหะกึ่งสำเร็จรูป หรือเรียกว่า .....  
ไปอบที่เตา แล้วนำไปรีดขึ้นรูปตามต้องการ เช่น I-Beam, U-Beam



2.4 การรีดในลักษณะอื่นๆ ประกอบด้วย

- 2.4.1 .....
- 2.4.2 .....

3. กระบวนการดึงขึ้นรูปร้อนมีวิธีการอย่างไร

- 3.1 .....
- .....
- 3.2 .....
- .....
- 3.3 .....
- .....
- 3.4 .....
- .....

4. กระบวนการอัดรีดแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

- 4.1 .....
- 4.2 .....
- 4.3 .....

5. จงยกตัวอย่างชิ้นงานที่เหมาะสมสำหรับการผลิตด้วยวิธีการดึงขึ้นรูปร้อนมา 3 ข้อ

- 5.1 .....
- 5.2 .....
- 5.3 .....

6. บอกหลักการของกระบวนการผลิตท่อได้ถูกต้อง

6.1 จงบอกกระบวนการการผลิตท่อแบบมีตะเข็บมา 2 กระบวนการ

- 6.1.1 .....
- 6.1.2 .....

6.2 จงบอกกระบวนการผลิตท่อแบบไม่มีตะเข็บมา 2 กระบวนการ

- 6.2.1 .....
- 6.2.2 .....

7. จงอธิบายหลักการของกระบวนการหมุนเงินรูปร้อนให้ถูกต้อง

.....

.....

.....

.....

.....

## แบบทดสอบบทที่ 4

### การขึ้นรูปร้อน

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายกากบาท (×) ลงในกระดาษคำตอบในข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

- กระบวนการขึ้นรูปร้อนจะกระทำในขณะที่โลหะมีอุณหภูมิเท่าใด
  - สูงกว่าอุณหภูมิห้อง
  - ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง
  - สูงกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่
  - ต่ำกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่
- ข้อใดไม่ใช่ข้อดีของการขึ้นรูปร้อนของโลหะ
  - ทำให้เนื้อโลหะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น
  - ทำให้เกรนของโลหะมีขนาดเล็กลง
  - ทำให้สารมลทิน ผึ่งในเนื้อโลหะได้แน่นขึ้น
  - ทำให้เนื้อโลหะมีลักษณะ เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น
- การรีดขึ้นรูปร้อน โลหะที่นำมาใช้ในการรีดเรียกว่า
  - โลหะกึ่งสำเร็จรูป
  - โลหะแท่งหล่อ
  - โลหะหล่อ
  - โลหะผสม
- แท่งโลหะพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Bloom) นำไปรีดงานลักษณะใด
  - รีดเหล็กโครงสร้าง
  - รีดเป็นแผ่น
  - รีดเป็นเกลียว
  - รีดเป็นเพลากลม
- แท่งโลหะพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็ก (Billet)
  - รีดเหล็กโครงสร้าง
  - รีดเป็นแผ่น
  - รีดเป็นเกลียว
  - รีดเป็นเพลากลม

6. แท่งโลหะพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Slab)
- รีดเหล็กโครงสร้าง
  - รีดเป็นแผ่น
  - รีดเป็นเกลียว
  - รีดเป็นเพลากลม
7. การตีด้วยค้อน (Hammering or Smith Forging) เป็นการขึ้นรูปด้วยคาลักษณะใด
- Open Dies Forging
  - Closed Dies Forging
  - Drop Forging
  - Upset Forging
8. การตีกระทก (Drop Forging) เป็นการตีขึ้นรูปด้วยคาลักษณะใด
- Open Dies Forging
  - Closed Dies Forging
  - Drop Forging
  - Upset Forging
9. การตีบีบ (Upset Forging) เป็นการตีเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีลักษณะแบบใด
- ชิ้นงานที่มีรูปร่างเป็นเฟือง
  - ชิ้นงานที่มีรูปร่างเป็นเกลียว
  - ชิ้นงานที่มีรูปร่างเป็นกระป๋อง
  - ชิ้นงานที่มีรูปร่างเป็นป่าหรือขอ
10. ข้อใดไม่ใช่ลักษณะของการอัดรีดขึ้นรูปร้อน
- การอัดรีดโดยค้อน
  - การอัดรีดโดยตรง
  - การอัดรีดโดยอ้อม
  - การอัดรีดโดยกระทก
11. การดึงขึ้นรูปร้อน ไม่เหมาะสำหรับการขึ้นรูปงานลักษณะใด
- เหล็กเส้น
  - เส้นลวด
  - เหล็กแผ่นบาง
  - ท่อผนังหนา

12. ข้อใดไม่ใช่กรรมวิธีการผลิตต่อท่อแบบมีตะเข็บ
- ก. การเชื่อมชนด้วยไฟฟ้า
  - ข. การอัดรีดท่อ
  - ค. การเชื่อมต่อแบบเกลียว
  - ง. การเชื่อมแนวตะเข็บตรง
13. ข้อใดไม่ใช่กรรมวิธีการผลิตต่อท่อแบบไม่มีตะเข็บ
- ก. การตีกระแทก
  - ข. การแทงขึ้นรูปร้อน
  - ค. การอัดรีดท่อด้วยแท่งโลหะตัน
  - ง. การอัดรีดท่อด้วยแท่งโลหะกลวง
14. การหมุนขึ้นรูปร้อน เป็นการขึ้นรูปโลหะแผ่นให้มีลักษณะแบบใด
- ก. เป็นเกลียว
  - ข. เป็นทรงกลม
  - ค. เป็นแผ่นเรียบ
  - ง. มีรูปร่างสมมาตร



# บทที่ 5

## การขึ้นรูปเย็น

### แนวคิดสำคัญ

การขึ้นรูปชิ้นส่วนนอกจากกระบวนการขึ้นรูปร้อนแล้ว ยังสามารถขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปเย็นได้อีกด้วย ดังนั้นผู้เรียนนอกจากจะต้องเรียนรู้กระบวนการขึ้นรูปร้อนแล้ว ยังต้องเรียนรู้กระบวนการขึ้นรูปเย็นด้วย

### หัวข้อเรื่อง

1. บทนำ
2. การรีดขึ้นรูปเย็น
3. การอัดขึ้นรูปเย็น
4. การดึงขึ้นรูปเย็น
5. การตีขึ้นรูปเย็น
6. การขึ้นรูปโลหะแผ่น

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. บอกหลักการของกระบวนการขึ้นรูปเย็น ได้ถูกต้อง
2. บอกหลักการของกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น ได้ถูกต้อง
3. บอกหลักการของกระบวนการอัดขึ้นรูปเย็น ได้ถูกต้อง
4. บอกหลักการของกระบวนการดึงขึ้นรูปเย็น ได้ถูกต้อง
5. บอกหลักการของกระบวนการตีขึ้นรูปเย็น ได้ถูกต้อง
6. บอกหลักการของกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น ได้ถูกต้อง

## 5.1 บทนำ

การขึ้นรูปเย็น (Cold Working) เป็นกระบวนการขึ้นรูปหรือแปรรูปโลหะให้เป็นชิ้นงาน โดยกระบวนการนี้จะทำในขณะที่โลหะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ (Recrystallization Temperature) การขึ้นรูปเย็นโลหะส่วนใหญ่นิยมทำที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติ ถึงแม้ว่าระหว่างกระบวนการจะมีความร้อนเกิดขึ้นก็ตาม แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าไม่มากพอที่จะทำให้อุณหภูมิของโลหะสูงถึงอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ได้

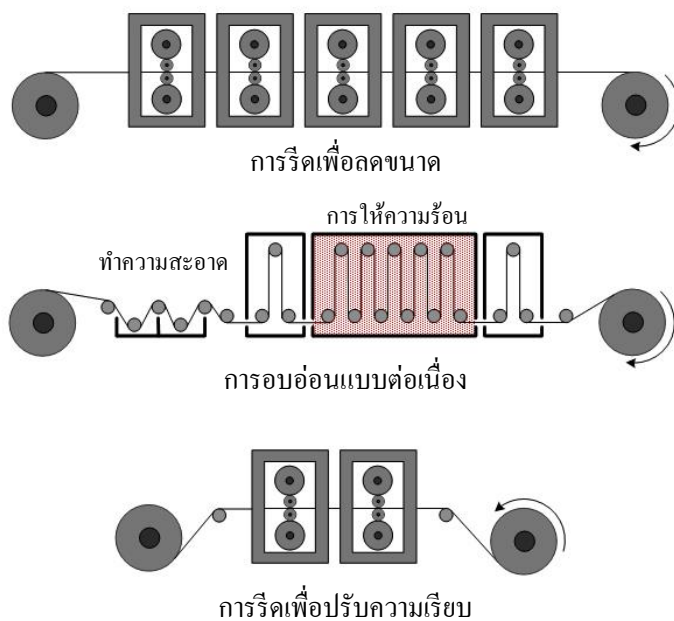
การทำงานขึ้นรูปเย็นโลหะต้องใช้แรงมากมหาศาล ในการบังคับให้โลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโลหะที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Permanent Deformation) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเค้น (Stress) ที่กระทำต่อโลหะมีค่าเกินค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield Point) ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง จะมีแรงต้านเกิดขึ้นภายในเนื้อโลหะ ผลของแรงต้านนี้จะทำให้โลหะมีความแข็งเพิ่มขึ้นเรียกว่า ความแข็งเครียด (Strain Hardened) นอกจากนี้แรงต้านที่เกิดขึ้นยังทำให้เกิดความเค้นตกค้าง (Residual Stresses) ซึ่งเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแล้ว ต้องกำจัดออกโดยการนำชิ้นงานไปผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน (Heat Treatment) ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่เล็กน้อย

ผลิตภัณฑ์หลายชนิดหลังผ่านกรรมวิธีการขึ้นรูปร้อนมาแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายอาจต้องนำไปขึ้นรูปเย็น หรือเรียกว่า การแต่งเย็น (Cold Finishing) เพื่อแต่งขนาดของผลิตภัณฑ์ให้ได้ขนาดที่เที่ยงตรงและมีความเรียบ ตามความต้องการของตลาด ผลจากการนำโลหะไปผ่านการทำงานขึ้นรูปเย็นนอกจากจะทำให้โลหะมีความแข็งแรงดีขึ้น ได้ขนาดที่มีความเที่ยงตรงสูง มีผิวเรียบ เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและทำได้รวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับงานแปรรูปร้อน และเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการมีค่าต่ำดังนั้นการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) ที่ผิวของชิ้นงานจึงมีน้อยมาก

จากกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีการต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในการขึ้นรูปร้อน (Hot Working Processes) สามารถนำมาใช้กับงานขึ้นรูปเย็น (Cold Working Processes) ได้แทบทั้งสิ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ชนิดของโลหะและขนาดของชิ้นงาน สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการขึ้นรูปเย็นที่สำคัญเท่านั้น

## 5.2 การรีดขึ้นรูปเย็น

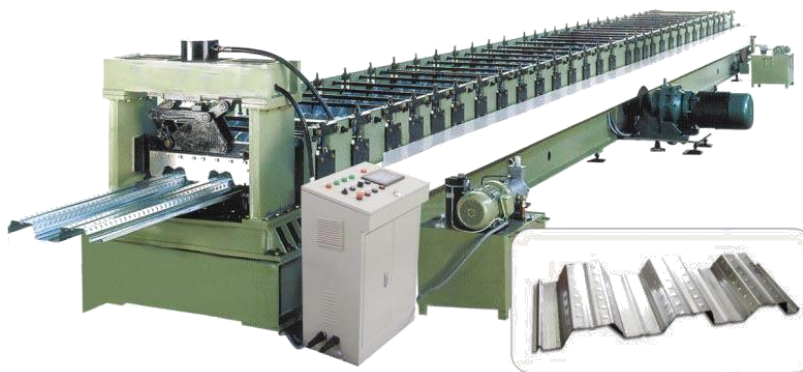
การรีดขึ้นรูปเย็น (Cold Rolling) เป็นการรีดที่มีลักษณะเช่นเดียวกับการรีดขึ้นรูปร้อน (Hot Rolling) แต่จะทำในขั้นตอนสุดท้ายโดยเฉพาะในการรีดเป็นแผ่น (Flat Products) เท่านั้น เพื่อให้ได้โลหะมีขนาดแน่นอนและผิวเรียบ เช่น การรีดเหล็ก ทองเหลืองและอะลูมิเนียม ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดทั่วไป ซึ่งจะสังเกตได้จากโลหะพวกนี้จะมีผิวเรียบเป็นมัน ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 การรีดขึ้นรูปเย็น

นอกจากนี้ยังมีการรีดขึ้นรูป (Rolling Forming) ซึ่งเป็นการรีดขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยชุดลูกกลิ้งหลายๆ คู่ โดยจะทำการรีดขึ้นรูปเป็นขั้นๆ ต่อเนื่องกันไป ดังภาพที่ 5.2





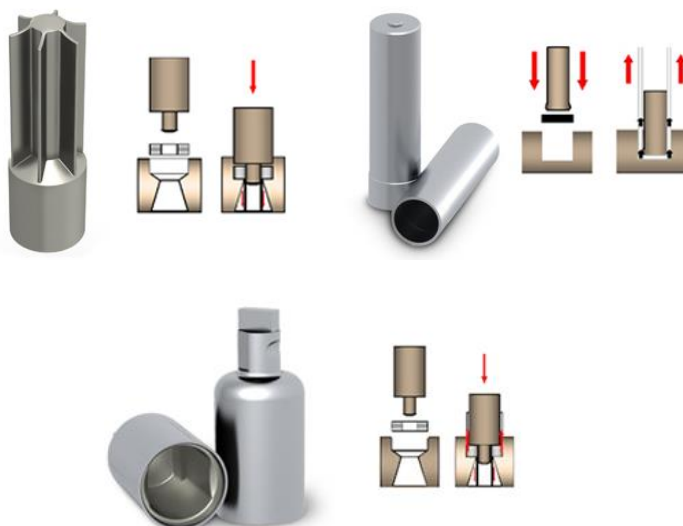
ภาพที่ 5.2 การรีดขึ้นรูป (Rolling Forming)

### 5.3 การอัดขึ้นรูปเย็น

การอัดขึ้นรูปเย็น (Cold Extrusion) มีกระบวนการดังนี้

#### 5.3.1 การอัดกระแทก

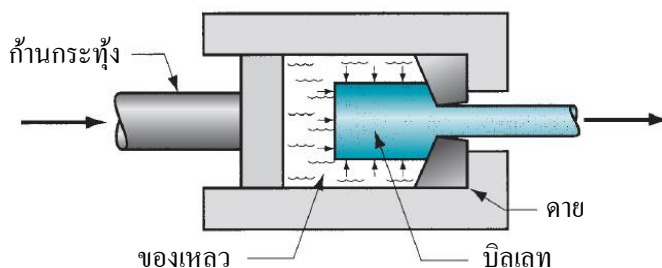
การอัดกระแทก (Impact Extrusion) เป็นการอัดโดยอาศัยแรงกระแทกจากเครื่องจักรกระทำทำให้โลหะเคลื่อนตัวผ่านแบบดาออกมาเป็นชิ้นงาน ใช้การผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นหลอด หรือกระป๋องแบบไร้ตะเข็บ เช่น หลอดบรรจุยาสี่พัน กระป๋องครีม โคนหลอด หรือกระป๋องน้ำอัดลม เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 การอัดรีดโดยกระแทก (Impact Extrusion)

### 5.3.2 การอัดขึ้นรูปแบบไฮโดรสแตติก

การอัดขึ้นรูปแบบไฮโดรสแตติก (Hydrostatic Extrusion) จะเหมาะสำหรับวัสดุที่มีความเปราะ สามารถดันขึ้นรูปได้ด้วยวิธีนี้ โดยขนาดของบิลเลท (Billet) ที่ใช้ในการขึ้นรูปจะมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะ (Container) ที่ใส่ของเหลวซึ่งมีของเหลวใส่ไว้ โดยความดันที่ใช้ใน ภาชนะผ่านของไหลรอบๆ ชิ้นงาน มักจะใช้น้ำมันพืช ดังภาพที่ 5.4



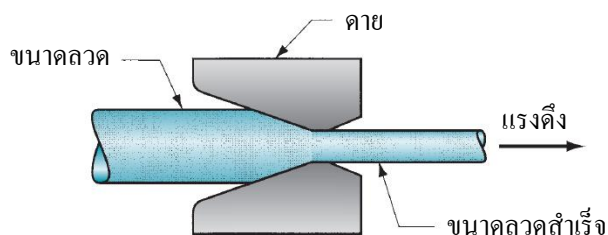
ภาพที่ 5.4 การดันขึ้นรูปแบบไฮโดรสแตติก

### 5.4 การดึงขึ้นรูปเย็น

การดึงขึ้นรูปเย็น (Cold Drawing) เป็นการขึ้นรูปด้วยการออกแรงดึงหลังจากกระบวนการขึ้นรูปร้อนแล้วเสร็จ เพื่อให้ได้โลหะมีขนาดแน่นอนและผิวเรียบ กระบวนการดึงขึ้นรูปเย็นที่นำมาขึ้นรูปโลหะต่อจากกระบวนการขึ้นรูปร้อนประกอบด้วย

#### 5.4.1 การดึงลวด

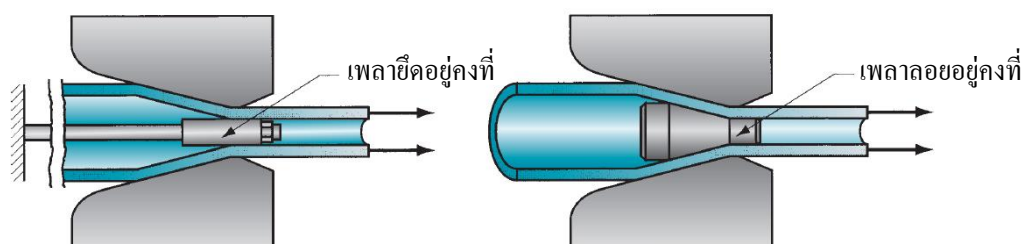
การดึงลวด (Wire Drawing) เส้นลวดที่ผ่านการรีดร้อน (Hot-Rolled Wire) จะถูกนำมาล้างทำความสะอาด เพื่อกำจัดคราบสกปรกต่างๆ ที่เกาะติดอยู่ตามผิวออกไป จากนั้นนำมาเคลือบผิวด้วยสารบางชนิดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดออกซิเดชัน (Oxidation) และสารที่ใช้เคลือบนี้จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นไปด้วย จากนั้นนำเส้นลวดไปดึงผ่านแบบคายนหลายๆ อันที่มีรูเล็กลงไปตามลำดับ ซึ่งแบบคายนแต่ละอันจะมีลักษณะตามที่แสดงในภาพที่ 5.5 จะได้เส้นลวดที่มีขนาดเที่ยงตรงและมีผิวเรียบตามที่ต้องการ



ภาพที่ 5.5 การดึงลวด (Wire Drawing)

## 5.4.2 การดึงท่อ

การดึงท่อ (Tube Drawing) เป็นกระบวนการดึงขึ้นรูปเป็นแบบหนึ่ง โดยการนำท่อที่ผลิตออกมาเรียบร้อยแล้วด้วยวิธีการขึ้นรูปร้อน จะต้องนำมาชุด ล้าง ทำความสะอาดเพื่อกำจัดคราบสกปรกต่างๆ ออกไปจากผิวจนสะอาด จากนั้นนำไปทาผิวด้วยสารหล่อลื่น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยขีดข่วนและลดแรงเสียดทานในขณะที่ดึงผ่านแบบตายเมื่อทาด้วยสารหล่อลื่นเรียบร้อยแล้วจะนำไปดึงผ่านแบบตายเพื่อปรับแต่งขนาดและความหนาให้ได้ขนาดและความหนาถูกต้องตามที่ต้องการ โดยใช้เครื่องดึงท่อ (Draw Bench) ดังแสดงในภาพที่ 5.6



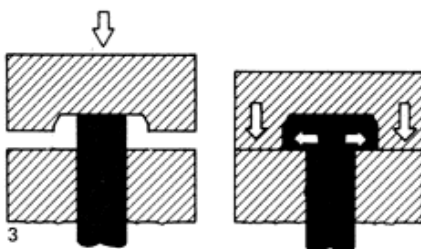
ภาพที่ 5.6 การแต่งท่อด้วยวิธีดึงเย็น (Tube Drawing)

## 5.5 การตีขึ้นรูปเย็น

การตีขึ้นรูปเย็น (Cold Forging) เป็นกระบวนการขึ้นรูปโดยอาศัยแรงจากเครื่องจักรอัดกระแทกเข้าไปที่ชิ้นงานเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การตีขึ้นรูปเย็นโดยทั่วไปมี 2 ลักษณะ คือ การตีขึ้นรูปหัว และการตีขึ้นรูปลดขนาด

### 5.5.1 การตีขึ้นรูปหัว

การตีขึ้นรูปหัว (Heading) จัดอยู่ในประเภทของการตีขึ้นรูปแบบหนึ่ง การบานหัวใช้ทำให้เกิดหัวบนชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแท่งอาจเป็นแท่งตัน หรือแท่งกลวงก็ได้ เช่น สลักเกลียว หมุด เกลียวตะปู และชิ้นส่วนอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับชิ้นส่วนที่กล่าวมา ลักษณะการทำงานของกระบวนการนี้แสดงอยู่ในภาพที่ 5.7 ส่วนในภาพที่ 5.8 แสดงลักษณะของชิ้นงานที่สามารถผลิตขึ้นได้ด้วยวิธีการตีขึ้นรูปหัว



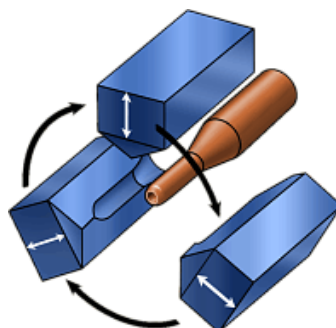
ภาพที่ 5.7 การตีขึ้นรูปหัว (Heading)



ภาพที่ 5.8 แสดงลักษณะของชิ้นงานที่สามารถผลิตขึ้นได้ด้วยวิธีการตีขึ้นรูปหัว

### 5.5.2 การตีขึ้นรูปลดขนาด

การตีขึ้นรูปลดขนาด (Swaging) จัดอยู่ในประเภทของการตีขึ้นรูปแบบหนึ่ง โดยการใช้แรงอัดหรือแรงกระแทก เพื่อดันให้โลหะเข้าไปในแบบแม่พิมพ์ตามต้องการ นอกจากนั้นการตีขึ้นรูปลดขนาดยังสามารถนำไปปรับแต่งชิ้นงานที่เนื้อโลหะไหลเข้าไม่ถึง หรืองานที่ต้องนำมาทำการปรับแต่งให้ได้ขนาดที่ถูกต้องและมีผิวเรียบ ดังแสดงในภาพที่ 5.9



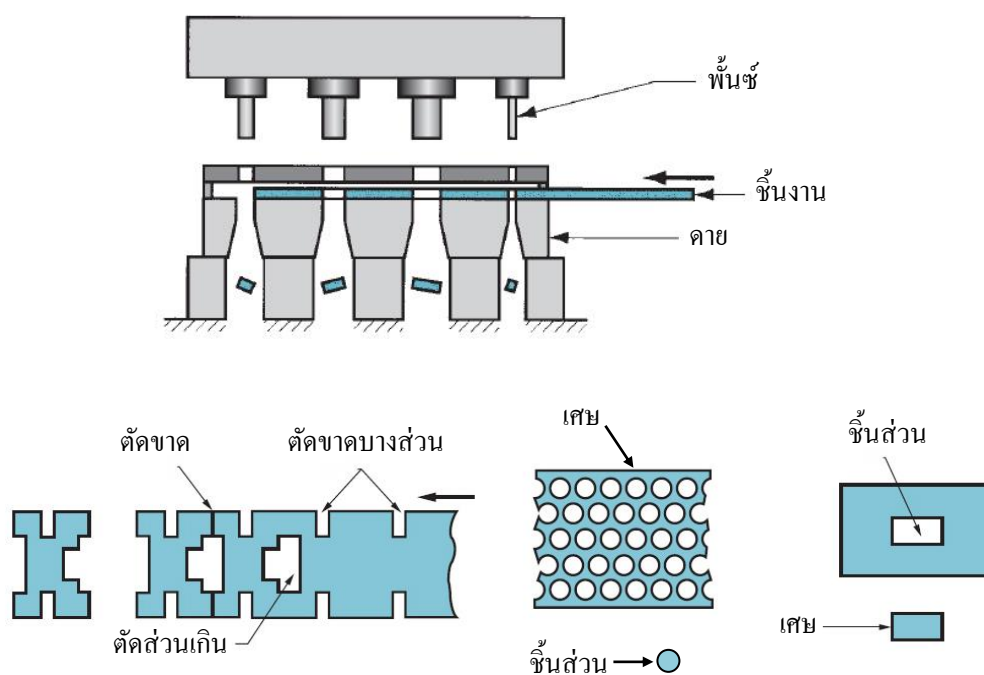
ภาพที่ 5.9 การตีขึ้นรูปลดขนาด (Swaging)

## 5.6 การขึ้นรูปโลหะแผ่น

การขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Processes) สามารถจำแนกลักษณะการขึ้นรูปออกได้เป็น 4 ลักษณะ คือ การตัด (Shearing) การพับและการขึ้นรูป (Bending And Forming) การกดขึ้นรูป (Drawing) และการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีการอื่นๆ อีกที่ไม่ใช่การกดอัด (Non-Press Process)

### 5.6.1 การตัด

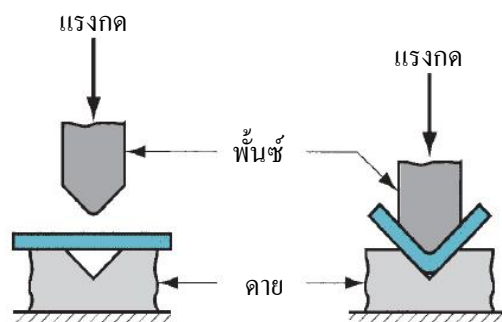
การตัด (Shearing) เป็นกระบวนการตัดโลหะโดยอาศัยความเค้นเฉือน (Shear Stress) ซึ่งในการทำงานนั้นจะนำแผ่นโลหะมาวางไว้บนแบบตาย (Dies) แล้วใช้หัวตอกเจาะ (Punches) กดหรือกระแทกลงบนแผ่นโลหะให้ค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเนื้อโลหะมีค่ามากกว่าค่าความต้านแรงเฉือน (Shear Strength) ของโลหะก็จะทำให้นเนื้อโลหะขาดออกจากกัน ดังภาพที่ 5.10



ภาพที่ 5.10 กระบวนการการตัดโลหะแผ่น

### 5.6.2 การพับ

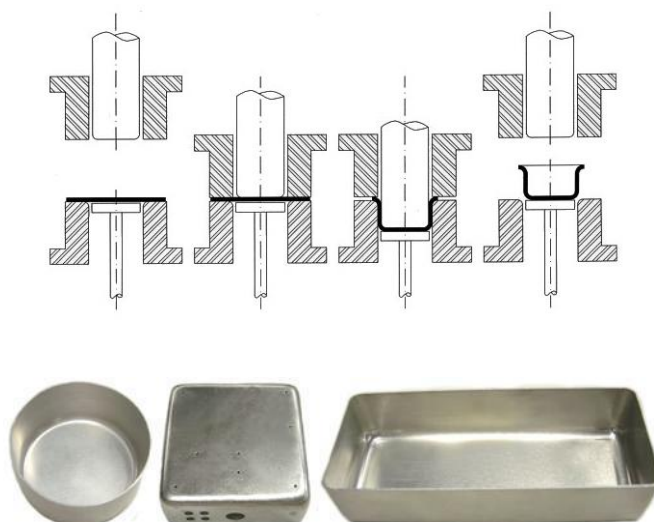
การพับ (Bending) เป็นกระบวนการตัดหรือพับโลหะให้มีรูปร่างต่างๆ โดยใช้หัวตอกเจาะ (Punches) และแบบตาย (Dies) ในกระบวนการนี้จะไม่มีเนื้อโลหะส่วนหนึ่งส่วนใดถูกตัดให้ขาด ดังแสดงอยู่ในภาพที่ 5.11



ภาพที่ 5.11 การพับขึ้นรูป

### 5.6.3 การกดขึ้นรูป

การกดขึ้นรูป (Drawing) หรือการขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) ในงานโลหะแผ่นมีลักษณะเป็นการกดอัดขึ้นรูปโลหะแผ่นให้มีรูปร่างตามต้องการด้วยแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ (Mold) ดังภาพที่ 5.12



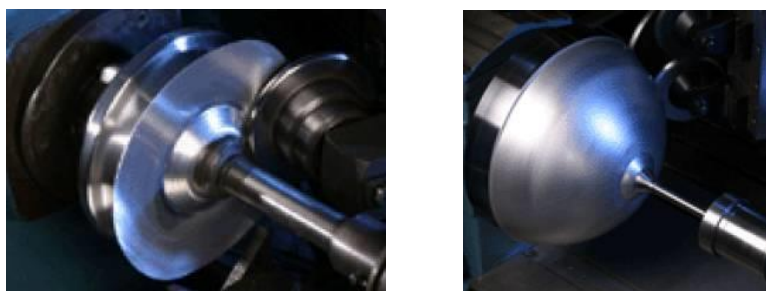
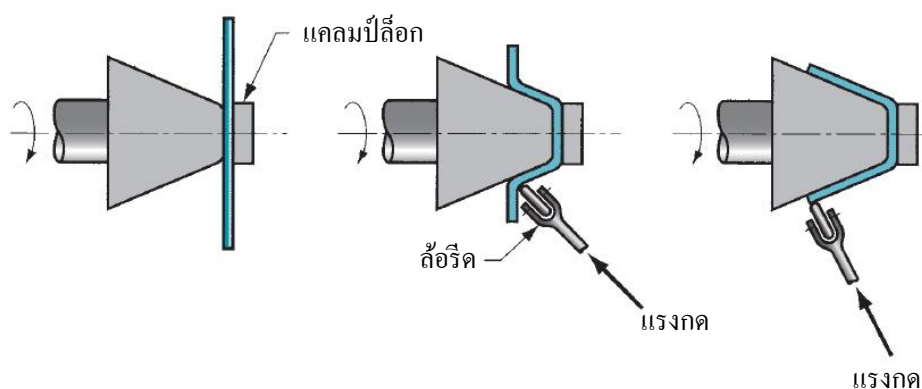
ภาพที่ 5.12 ตัวอย่างชิ้นงานที่ถูกดึงด้วยแม่พิมพ์

## 5.6.4 การขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีการอื่นๆ อีกที่ไม่ใช่การกดอัด

การขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีการอื่นๆ ที่ไม่ใช่การกดอัด (Non-Press Process) ที่สำคัญมีดังนี้

### 5.6.4.1 การหมุนขึ้นรูปเย็น

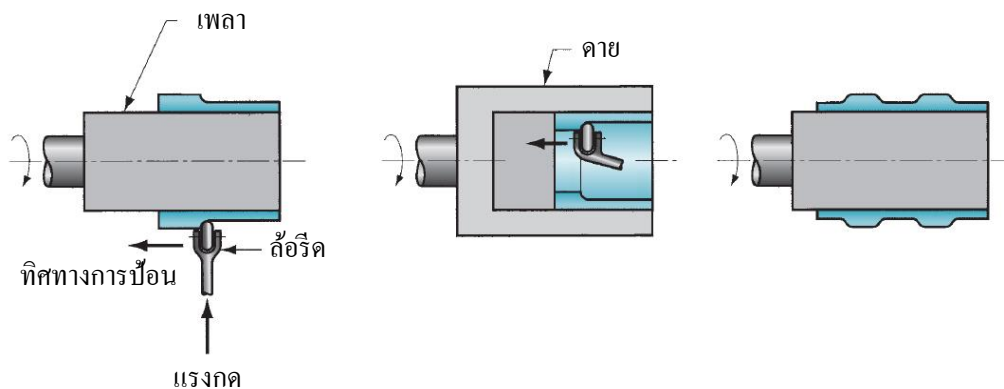
การหมุนขึ้นรูปเย็น (Cold Spinning) เป็นวิธีการขึ้นรูปโลหะแผ่นบางให้เป็นชิ้นงานที่มีรูปร่างสมมาตร เครื่องจักรที่ใช้ในการหมุนขึ้นรูปโลหะจะมีลักษณะคล้ายเครื่องกลึง ในขณะที่ทำงานจะมีเครื่องมือมากดลงบนแผ่นโลหะ เพื่อให้แผ่นโลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ดังนั้นแผ่นโลหะจะเกิดการเสียดสีกับเครื่องมือนี้ตลอดเวลาและการเสียดสีที่เกิดขึ้นจะค่อนข้างรุนแรง จำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่นจำพวก สบู่ ขี้ผึ้ง หรือน้ำมัน ลินซีด ชะโลมบนแผ่นโลหะเพื่อลดการเสียดสี และแรงเสียดทาน ดังแสดงในภาพที่ 5.13



ภาพที่ 5.13 การหมุนขึ้นรูปเย็น (Cold Spinning)

### 5.6.4.2 การหมุนขึ้นรูปท่อ

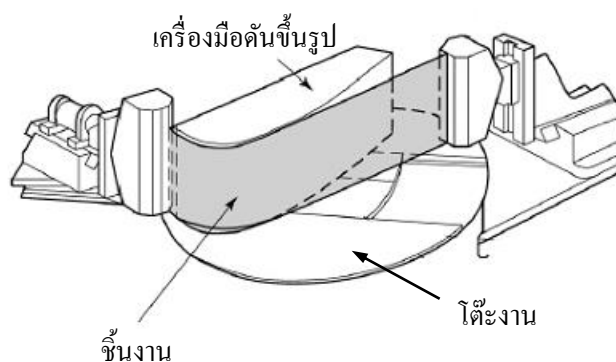
การหมุนขึ้นรูปท่อ (Tube Spinning) วิธีนี้จะทำให้ผนังท่อมีความหนาลดลง แต่จะมีความยาวเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 5.14



ภาพที่ 5.14 การหมุนขึ้นรูปท่อ

#### 5.6.4.3 การด้นขึ้นรูป

การด้นขึ้นรูป (Stretch Forming) ในการขึ้นรูปโลหะแผ่นเหล็กขนาดใหญ่ๆ ให้เป็นรูปร่างโค้งๆ เหมือนๆ กันจะใช้ขึ้นรูปด้วยวิธีการด้นขึ้นรูปจะได้ผลดีมาก ส่วนมากจะใช้ด้นด้วยระบบไฮดรอลิก ดังภาพที่ 5.15



ภาพที่ 5.15 การด้นขึ้นรูป (Stretch Forming)

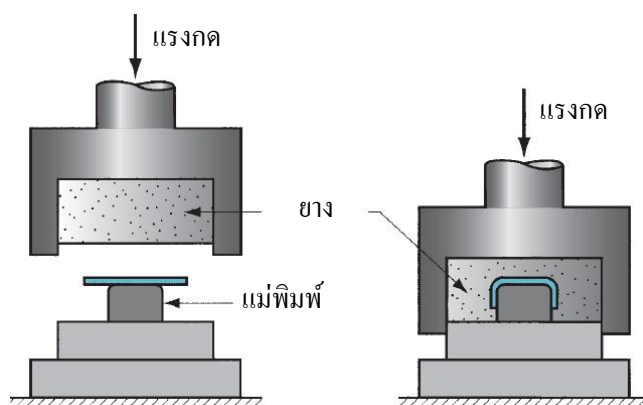


สำหรับการทำงานจำนวนน้อยเพื่อความประหยัด แบบแม่พิมพ์ที่ใช้อาจจะทำด้วยไม้ พลาสติก หรือเหล็กเหนียวก็ได้ การขึ้นรูปโถ้งๆ ขนาดใหญ่ ซึ่งทำด้วยวิธีอื่นลำบากแต่จะสามารถทำการขึ้นรูปได้สะดวกโดยวิธีนี้ การขึ้นรูปวิธีนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียปลายที่เศษทั้งสองข้างและขอบข้างๆ ซึ่งจะต้องนำมาแต่งอีกครั้งหนึ่งนั้นค่อนข้างจะยากจึงเป็นข้อเสียประการสำคัญที่สุดของวิธีนี้

#### 5.6.4.4 การขึ้นรูปด้วยยาง

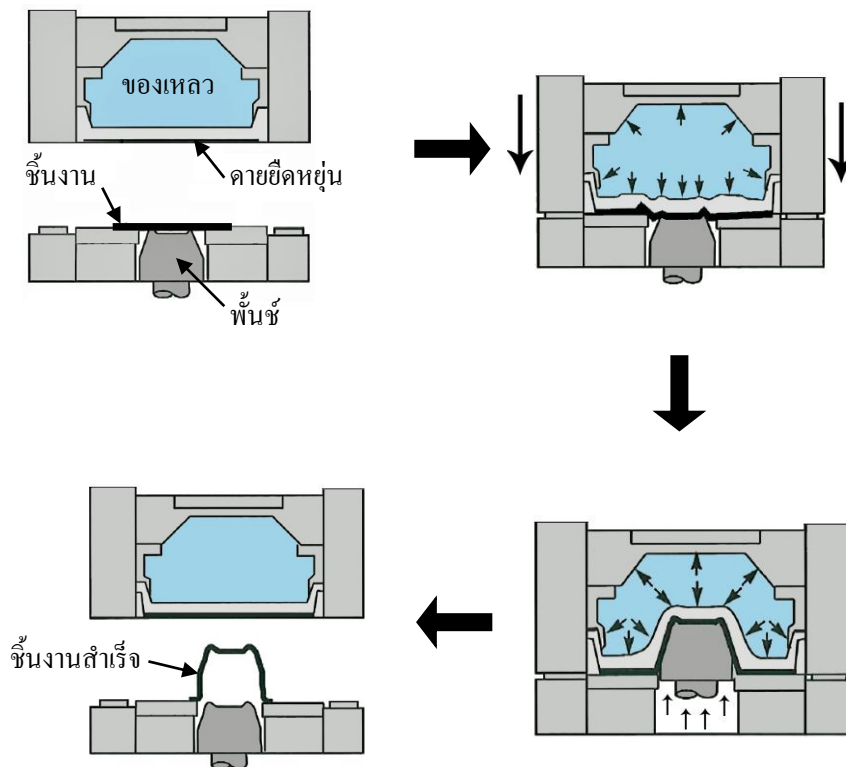
การขึ้นรูปด้วยยาง (Rubber Forming) การขึ้นรูปด้วยกระบวนการนี้ขึ้นงานที่ได้จะมีผิวเรียบ เพราะยางเป็นวัสดุที่ใช้รองกดขึ้นรูปเป็นวัสดุที่อ่อนตัวได้ การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้มีการขึ้นรูปอยู่ 2 แบบ คือ

1. กระบวนการ Guerin ใช้แผ่นยางหนาเป็นตัวรองกดขึ้นรูป แรงที่ใช้ในการกดประมาณ 10 Mpa จะเหมาะสมและไม่ก่อให้เกิดรอยอ่อนกับชิ้นงาน ดังภาพที่ 5.16 กระบวนการนี้มีค่าใช้จ่ายต่ำ แม่แบบสามารถทำได้จากพลาสติกหรือวัสดุที่ขึ้นรูปได้ง่าย ผลผลิตที่ได้จากอุตสาหกรรมนี้มีปริมาณไม่มาก ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมการทำเครื่องบิน



ภาพที่ 5.16 กระบวนการ Guerin

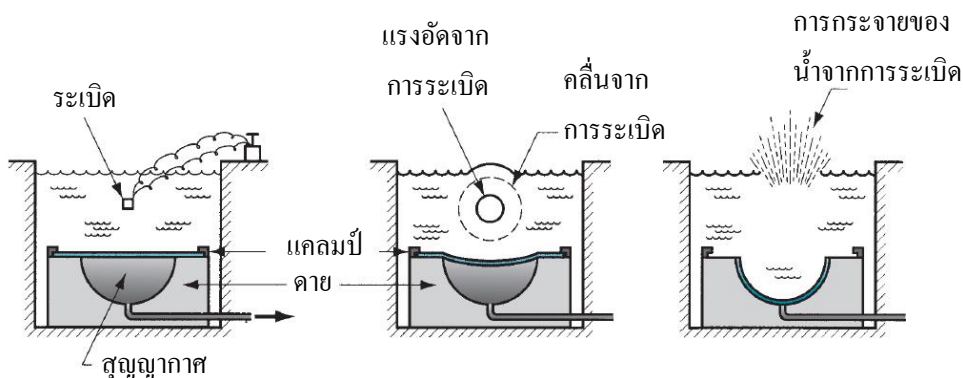
2. กระบวนการ Hydroforming คล้ายกับกระบวนการ Guerin แต่แผ่นยางรองกดบางกว่า และแรงกดนั้นได้มาจากของเหลวประมาณ 100 Mpa ในขณะที่เดียวกันก็ออกแรงกด Punch จากด้านล่างจนได้รูปร่างของชิ้นงาน ดังภาพที่ 5.17



ภาพที่ 5.17 กระบวนการ Hydroforming

5.6.4.5 การขึ้นรูปด้วยระเบิด

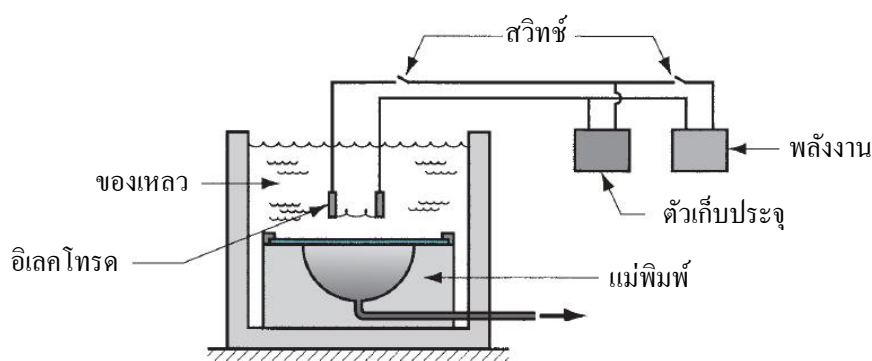
การขึ้นรูปด้วยระเบิด (Explosive Forming) เป็นการขึ้นรูปภายในน้ำที่เกิดจากแรงอัดของการระเบิด ดังภาพที่ 5.18 ทำให้เกิดแรงอัดภายในน้ำ ลักษณะคล้ายกับคลื่นฉับพลัน (Shock Wave) ดันให้ชิ้นงานขึ้นรูปตามโพรงของแม่พิมพ์ที่อยู่ในมีรูคู่อากาศออกจนเกิดสภาวะสุญญากาศ



ภาพที่ 5.18 การขึ้นรูปด้วยระเบิด (Explosive Forming)

#### 5.6.4.6 การขึ้นรูปแบบอิเล็กโทรไฮดรอลิก

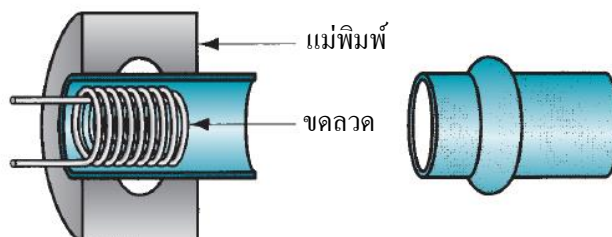
การขึ้นรูปแบบอิเล็กโทรไฮดรอลิก (Electrohydraulic Forming) บางครั้งเรียกว่า กระบวนการ HERF ลักษณะการทำงานจะเหมือนกันกับการขึ้นรูปด้วยการระเบิด แต่แตกต่างกันที่ของเหลวต้องเป็นตัวนำไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่สะสมไว้ในตัวเก็บประจุ จะถูกปล่อยออกมาผ่านแท่งอิเล็กโทรดทั้งสองทำให้เกิดคลื่นลับปล้นกระแทกขึ้นงานให้ขึ้นรูปตามแม่พิมพ์ ดังภาพที่ 5.19



ภาพที่ 5.19 การขึ้นรูปแบบอิเล็กโทรไฮดรอลิก

#### 5.6.4.7 การขึ้นรูปแบบอิเล็กโทรแมกเนติก

การขึ้นรูปแบบอิเล็กโทรแมกเนติก (Electromagnetic Forming) เป็นการขึ้นรูปโดยอาศัยแรงที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กระหว่างขดลวดและแม่พิมพ์ที่ถูกปล่อยออกมาเป็นจังหวะ จนชิ้นงานถูกกระแทกกับแม่พิมพ์จนขึ้นรูปได้ ดังภาพที่ 5.20



ภาพที่ 5.20 การขึ้นรูปแบบอิเล็กโทรแมกเนติก (Electromagnetic Forming)

## สรุปสาระสำคัญ

การขึ้นรูปเย็น (Cold Working) เป็นกระบวนการขึ้นรูปหรือแปรรูปโลหะให้เป็นชิ้นงาน โดยจะกระทำในขณะที่โลหะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ (Recrystallization Temperature) และแม้ว่าระหว่างกระบวนการจะมีความร้อนเกิดขึ้นก็ตาม แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าไม่มากพอที่จะทำให้อุณหภูมิของโลหะสูงถึงอุณหภูมิการตกผลึกใหม่ได้

การทำงานขึ้นรูปเย็นโลหะต้องใช้แรงมากมหาศาล ในการบังคับให้โลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจึงจะทำให้เกิดแรงต้านภายในเนื้อโลหะ ซึ่งผลของแรงต้านนี้จะทำให้โลหะเกิดความเค้นตกค้าง (Residual Stresses) ซึ่งเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแล้ว ต้องกำจัดออกโดยการนำชิ้นงานไปผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน (Heat Treatment) ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่เล็กน้อย

กระบวนการขึ้นรูปเย็นจะเป็นสุดท้ายหลังจากผ่านกรรมวิธีการขึ้นรูปร้อนมาแล้ว ซึ่งเรียกว่า การแต่งเย็น (Cold Finishing) เพื่อแต่งขนาดของผลิตภัณฑ์ให้ได้ขนาดที่เที่ยงตรงและมีความเรียบ ตามความต้องการของตลาด ผลจากการนำโลหะไปผ่านการทำงานขึ้นรูปเย็นนอกจากจะทำให้โลหะมีความแข็งแรงดีขึ้น ได้ขนาดที่มีความเที่ยงตรงสูง มีผิวเรียบ เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและทำได้รวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับงานแปรรูปร้อน

## แบบฝึกหัดบทที่ 5

### การขึ้นรูปเย็น

คำสั่ง จงตอบคำถามที่กำหนดมาให้ให้สมบูรณ์

1. บอกหลักการของกระบวนการขึ้นรูปเย็นได้ถูกต้อง

1.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปเย็นของชิ้นส่วน คือ .....

.....

1.2 กรรมวิธีการผลิตด้วยกระบวนการขึ้นรูปเย็น ทำให้เกิดข้อดีกับชิ้นส่วนอย่างไร

1.2.1 .....

1.2.2 .....

1.3 กรรมวิธีการผลิตด้วยกระบวนการขึ้นรูปเย็น ทำให้เกิดข้อดีกับชิ้นส่วนอย่างไร

1.3.1 .....

1.3.2 .....

2. จงบอกหลักการของกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นให้ถูกต้อง

.....

.....

.....

3. จงบอกหลักการของกระบวนการอัดขึ้นรูปเย็นให้ถูกต้อง

3.1 การอัดกระแทก (Impact Extrusion) .....

.....

.....

3.2 การอัดขึ้นรูปแบบไฮโดรสแตติก (Hydrostatic Extrusion) .....

.....

.....

.....

#### 4. จงบอกหลักการของกระบวนการดึงขึ้นรูปเย็นให้ถูกต้อง

4.1 การดึงลวด .....

.....

.....

.....

4.2 การดึงท่อ .....

.....

.....

.....

#### 5. จงบอกหลักการของกระบวนการตีขึ้นรูปเย็นให้ถูกต้อง

5.1 การตีขึ้นรูปหัว (Heading) .....

.....

.....

.....

5.2 การตีขึ้นรูปลดขนาด (Swaging) .....

.....

.....

.....

#### 6. จงบอกหลักการของกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นให้ถูกต้อง

6.1 การตัด .....

.....

.....

.....

6.2 การพับ .....

.....

.....

.....

6.3 การกดขึ้นรูป .....

.....  
.....  
.....

7. จงบอกหลักการของกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีการอื่นๆ อีกที่ไม่ใช่การกดอัดให้ถูกต้อง

7.1 การหมุนขึ้นรูปเย็น (Cold Spinning) .....

.....  
.....  
.....

7.2 การดันขึ้นรูป (Stretch Forming) .....

.....  
.....  
.....

7.3 การขึ้นรูปด้วยยาง (Rubber Forming) .....

.....  
.....  
.....

7.4 การขึ้นรูปด้วยระเบิด (Explosive Forming) .....

.....  
.....  
.....

## แบบทดสอบบทที่ 5

### การขึ้นรูปเย็น

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายกากบาท (×) ลงในกระดาษคำตอบในข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

- กระบวนการขึ้นรูปเย็นจะกระทำในขณะที่โลหะมีอุณหภูมิเท่าใด
  - สูงกว่าอุณหภูมิห้อง
  - ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง
  - สูงกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่
  - ต่ำกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่
- ข้อเสียของกระบวนการขึ้นรูปเย็น คือ
  - เนื้อโลหะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น
  - เกิดความเค้นตกค้าง
  - ทำให้เกรนของโลหะมีขนาดเล็กลง
  - เนื้อโลหะจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน
- การกำจัดความเค้นตกค้างภายในเนื้อของโลหะที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น จะมีกระบวนการอย่างไร
  - นำชิ้นงานไปผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่เล็กน้อย
  - นำชิ้นงานไปผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่เล็กน้อย
  - นำชิ้นงานไปผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องเล็กน้อย
  - นำชิ้นงานไปผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องเล็กน้อย
- ข้อใดไม่ใช่ข้อดีของการขึ้นรูปเย็นคือ
  - โลหะมีความแข็งแรงดีขึ้น
  - ได้ขนาดที่มีความเที่ยงตรงสูง
  - ลดความพรุนของเนื้อโลหะลง
  - มีผิวเรียบ



5. การอัดขึ้นรูปเย็น โดยการอัดกระแทกใช้การผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะใด
- ลักษณะเป็นหลอดแบบไร้ตะเข็บ
  - กระป๋องแบบไร้ตะเข็บ
  - ถูกทั้ง ก และ ข
  - ไม่มีข้อถูก
6. การอัดขึ้นรูปเย็น โดยการอัดขึ้นรูปแบบไฮโดรสแตติกเหมาะสำหรับวัสดุแบบใด
- สำหรับวัสดุที่มีความแข็ง
  - สำหรับวัสดุที่มีความเหนียว
  - สำหรับวัสดุที่มีความอ่อน
  - สำหรับวัสดุที่มีความเปราะ
7. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการดึงขึ้นรูปเย็น
- เป็นกระบวนการที่ต่อจากกระบวนการขึ้นรูปร้อน
  - เหมาะสำหรับวัสดุที่มีความเปราะ
  - เป็นการขึ้นรูปด้วยการออกแรงดึงภายหลังจากกระบวนการขึ้นรูปร้อนแล้วเสร็จ
  - โลหะมีขนาดแน่นอนและผิวเรียบ
8. เป็นลักษณะของการตีขึ้นรูปเย็น
- การตีขึ้นรูปหัว
  - การตีขึ้นรูปลดขนาด
  - ถูกทั้ง ก และ ข
  - ไม่มีข้อถูก
9. ข้อใดไม่ใช่ลักษณะของการขึ้นรูปโลหะแผ่น
- การตัด
  - การตัด
  - การพับและขึ้นรูป
  - การกดขึ้นรูป
10. ข้อใดไม่ใช่การขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีการอื่นๆ ที่ไม่ใช่การกดอัด
- การหมุนขึ้นรูปเย็น
  - การขึ้นรูปด้วยระเบิด
  - การดันขึ้นรูปด้วยยาง
  - การขึ้นรูปด้วยนิวแมติกส์



# บทที่ 6

## การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีการหล่อ

### แนวคิดสำคัญ

การหล่อเป็นกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตตั้งแต่สมัยโบราณจนถึงปัจจุบันนี้ยังคงมีการใช้กรรมวิธีการหล่อในการขึ้นรูปโลหะให้เป็นรูปร่างต่างๆ ตามต้องการ โดยในปัจจุบันได้นำกรรมวิธีการหล่อมานำใช้ในการหล่อขึ้นรูปชิ้นส่วนต่างๆ ในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากการหล่อสามารถผลิตชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนได้ครั้งละจำนวนมากๆ สามารถหล่อได้ทั้งวัสดุที่เป็นโลหะและอโลหะ จากความสำคัญของกรรมวิธีการหล่อเพื่อให้ผู้เรียนได้มีความรู้และความเข้าใจในกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการหล่อ ผู้เรียนจึงต้องศึกษาถึง หลักการและวิธีการการขึ้นรูปขึ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการหล่อ

### หัวข้อเรื่อง

1. บทนำ
2. ประเภทของกรรมวิธีการหล่อโลหะ
3. การหล่อแบบไม่ถาวร
4. การหล่อแบบถาวร

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

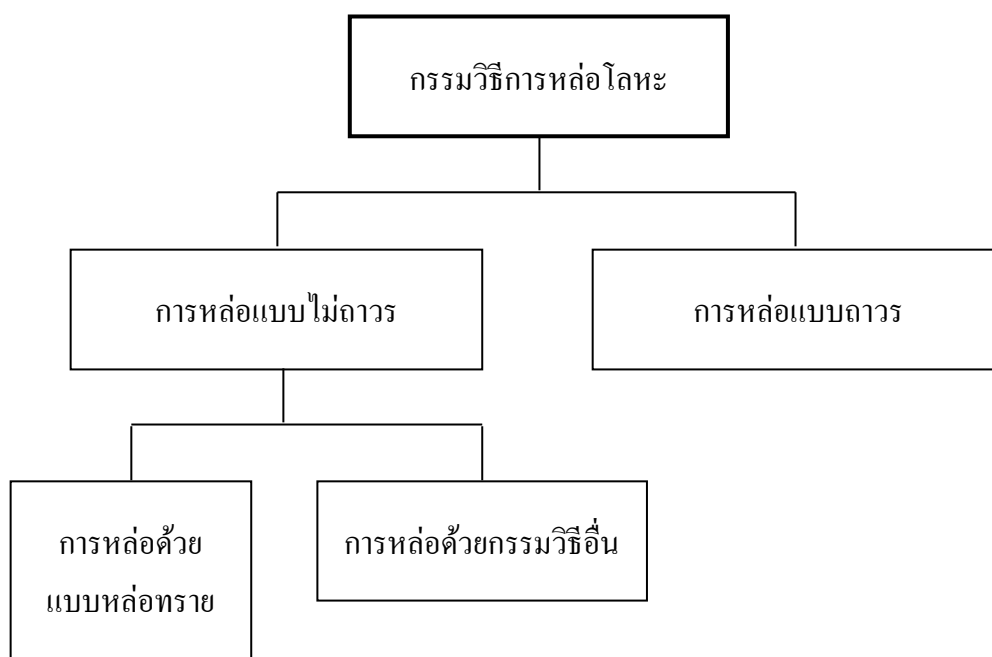
1. อธิบายหลักการของการหล่อได้
2. จำแนกประเภทของกรรมวิธีการหล่อโลหะได้
3. อธิบายหลักการการหล่อแบบไม่ถาวรได้
4. อธิบายการหล่อแบบถาวรได้

## 6.1 บทนำ

การหล่อโลหะเป็นกรรมวิธีอย่างหนึ่งที่น่าเอาโลหะชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายๆ ชนิด นำมาทำให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง โลหะนั้นจะหลอมละลายกลายเป็นน้ำโลหะ (Molten Iron) แล้วนำเอาน้ำโลหะไปเทลงในแบบทราย แบบปูนปลาสเตอร์ แบบเหล็ก ฯลฯ ทิ้งไว้ให้เย็นจนน้ำโลหะแข็งตัวได้รูปร่างตามแบบที่ต้องการแล้วจึงนำชิ้นงานหล่อนั้นไปตกแต่งใช้งานต่อไป

## 6.2 ประเภทของกรรมวิธีการหล่อโลหะ

กรรมวิธีการหล่อโลหะสามารถจำแนกออกได้ ดังภาพที่ 6.1



ภาพที่ 6.1 การจำแนกประเภทของการหล่อโลหะ

จากภาพที่ 6.1 กรรมวิธีการหล่อโลหะสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภท คือ

- (1) การหล่อแบบไม่ถาวร (Expendable Mold Processes)
- (2) การหล่อแบบถาวร (Permanent Mold Processes)

## 6.3 การหล่อแบบไม่ถาวร

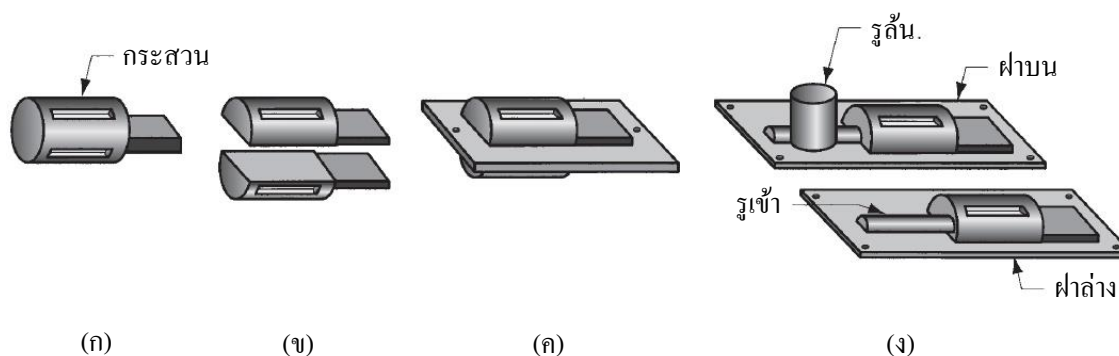
การหล่อแบบไม่ถาวร (Expendable Mold Processes) คือ กรรมวิธีการหล่อที่สามารถหล่อได้เพียงครั้งเดียว และจะถูกทำลายออกเมื่อโลหะนั้นแข็งตัวแล้ว การหล่อด้วยวิธีดังกล่าวนี้มีความสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ การหล่อด้วยแบบหล่อทราย (Sand Casting) และการหล่อด้วยกรรมวิธีอื่นๆ (Other Casting Processes)

เนื่องจากการหล่อทั้งสองวิธีที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการหล่อโดยใช้แบบหล่อ (Mold) ที่ทำมาจากทรายทั้งหมด ดังนั้นก่อนที่จะกล่าวถึงการหล่อด้วยวิธีทั้งสอง ผู้เรียนจำเป็นต้องมีความรู้ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำแบบหล่อเสียก่อน สำหรับความรู้ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำแบบหล่อทราย ประกอบด้วย

### 6.3.1 กระสวน

กระสวน (Pattern) หมายถึง ชิ้นงานต้นแบบ ที่สร้างขึ้นเพื่อให้เป็นแม่แบบของชิ้นงานหล่อที่ต้องการภายหลังจากการเทน้ำโลหะเข้าไปในโพรงแบบหล่อแล้ว ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือ กระสวนถอดได้ (Removable Pattern) และกระสวนระเหิด (Disposable Pattern)

**6.3.1.1 กระสวนถอดได้ □ (Removable Pattern)** กระสวนแบบนี้ส่วนใหญ่ทำจากไม้ หรืออาจใช้วัสดุจำพวกโลหะ อาจทำขึ้นมามีลักษณะเป็นชิ้นเดียว หรือ ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้นก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของชิ้นงานดังภาพที่ 6.2 การทำกระสวนจากโลหะอาจมีขั้นตอนที่ยุ่งยากกว่าการใช้ไม้ กระสวนจะเป็นตัวทำให้เกิดหลุมหรือโพรงที่มีรูปร่างลักษณะเหมือนชิ้นงานขึ้นในทราย เมื่อเทโลหะหลอมเหลวเข้าไปในหลุมหรือโพรงนี้ แล้วทิ้งให้โลหะเย็นตัวและแข็งตัวเป็นของแข็งภายในหลุมหรือโพรงก็จะได้ชิ้นงานหล่อตามต้องการ กระสวนถอดได้นี้สามารถนำมาใช้งานได้หลายครั้ง



ภาพที่ 6.2 กระสวนแบบต่างๆ ที่ใช้ในทรายหล่อ

- (ก) Solid Pattern
- (ข) Split Pattern
- (ค) Match-Plate Pattern
- (ง) Cope and Drag Pattern

**6.3.1.2 กระสวนระเหิด (Disposable Pattern)** กระสวนแบบนี้จะทำจากวัสดุชนิดพิเศษที่เมื่อสัมผัสกับความร้อนสูงจะระเหิดกลายเป็นไอ ได้แก่ พลาสติกจำพวกโพลิสไตรีน (Polystyrene) กระสวนแบบนี้ส่วนใหญ่จะทำออกมาในลักษณะชิ้นเดียว นำไปฝังในทรายแล้วอัดทรายให้แน่นตามเกณฑ์ที่กำหนด เติริมรูเท (Sprue Hole) ไว้สำหรับเทโลหะหลอมเหลวลงไป เมื่อเทโลหะหลอมเหลวลงไปแล้วสัมผัสกับกระสวน กระสวนจะระเหิดกลายเป็นไอน้ำออกไป โลหะหลอมเหลวจะเข้าไปแทนที่กระสวน เมื่อปล่อยให้โลหะเย็นตัวกลายเป็นของแข็งก็จะได้ชิ้นงานหล่อตามต้องการ กระสวนแบบนี้จะใช้งานได้เพียงครั้งเดียว

## 6.3.2 การจัดระบบงานหล่อ

การจัดระบบงานหล่อ เป็นการจัดระบบเส้นทางการไหลของน้ำโลหะหลอมเหลว (Gating System) เพื่อให้โลหะหลอมเหลวจากภายนอกไหลเข้าสู่โพรงแบบหล่อ (Mold Cavity) เรียกว่า ระบบเส้นทางการไหลของโลหะหลอมเหลว (Gating System) ดังภาพที่ 6.3 ซึ่งจะประกอบด้วย

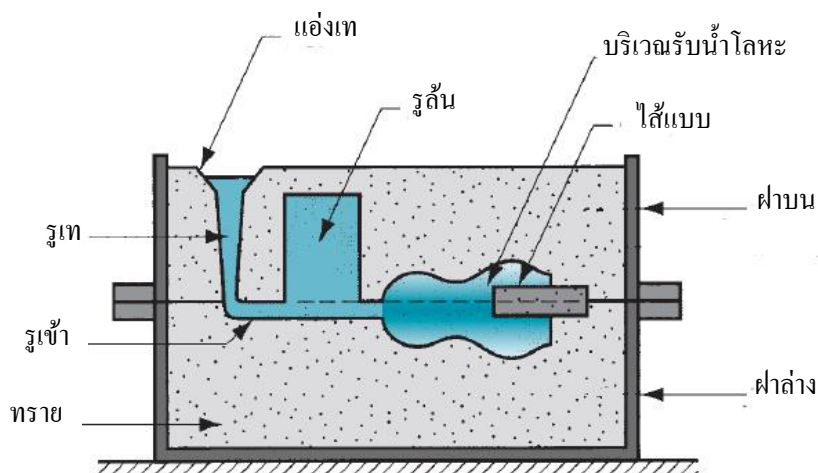
**6.3.2.1 แอ่งเท (Pouring Basin)** มีลักษณะเป็นแอ่งอยู่บริเวณส่วนบนสุดของรูเท แอ่งเทควรมีความสูงประมาณ 5-6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางรูเท

**6.3.2.2 รูเท (Sprue Hole)** โดยปกติแล้วรูเทจะวางตัวอยู่ในแนวตั้ง ช่องทางที่เชื่อมต่อระหว่างส่วนล่างของรูเทกับโพรงแบบหล่อ

**6.3.2.3 รูเข้า (Gate)** มีขนาดเล็กกว่ารูวิ่ง หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือสี่เหลี่ยมคางหมู หรือครึ่งวงกลม

**6.3.2.4 รูวิ่ง (Runner)** โดยทั่วไปจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู หรือครึ่งวงกลม รูวิ่งขนาดใหญ่จะดีเพราะจะทำให้ น้ำโลหะเย็นตัวช้า แต่ถ้าใหญ่เกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองน้ำโลหะ

**6.3.2.5 รูล้น (Riser)** มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ทำหน้าที่ป้อนน้ำโลหะเข้าไปทดแทนส่วนที่หดในขณะที่น้ำโลหะแข็งตัว



ภาพที่ 6.3 ระบบเส้นทางไหลของโลหะหลอมเหลว

### 6.3.3 ทรายสำหรับการหล่อ

ทรายที่ใช้ในการทำแบบหล่อ (Sand for Casting) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ทรายธรรมชาติ และทรายสังเคราะห์

**6.3.3.1 ทรายธรรมชาติ (Natural Molding Sand)** ได้แก่ ทรายที่ได้จากแม่น้ำหรือทรายที่ใช้ในงานก่อสร้าง ซึ่งปกติแล้วทรายพวกนี้จะมีดินเหนียวผสมอยู่ประมาณ 15 - 20 เปอร์เซ็นต์ เวลาใช้งานต้องผสมน้ำอีกประมาณ 8 - 9 เปอร์เซ็นต์ คลุกเคล้าให้เข้ากันก็สามารถนำไปใช้งานได้ ทรายประเภทนี้ทนความร้อนได้ไม่สูงมากนักคือประมาณ 1400 – 1500 °C จึงเหมาะที่จะใช้กับงานหล่อเหล็กหล่อและงานหล่อโลหะนอกกลุ่มเหล็ก เช่น อะลูมิเนียม ทองเหลือง และทองบรอนซ์ เป็นต้น

**6.3.3.2 ทรายสังเคราะห์ (Synthetic Molding Sand)** ทรายประเภทนี้ได้จากการนำทรายแก้วซึ่งมีซิลิกาผสมอยู่มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับเบนทอไนต์ (Bentonite) ในปริมาณ 4 - 7 เปอร์เซ็นต์ และผสมน้ำอีก 4 - 5 เปอร์เซ็นต์ ทรายสังเคราะห์มีความแข็งแรงสูง เหมาะกับงานหล่อโลหะทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็น เหล็กหล่อ เหล็กกล้า หรือโลหะนอกกลุ่มเหล็ก

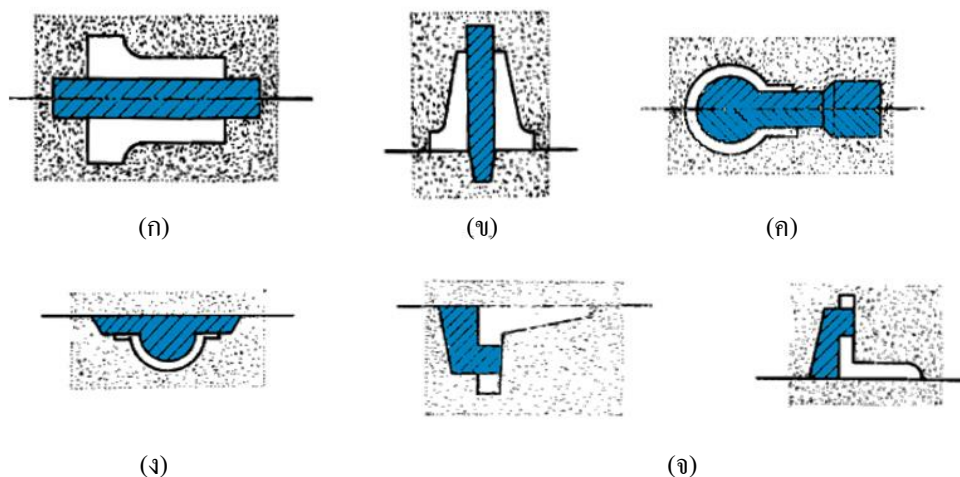
การเลือกขนาดของเม็ดทรายที่ใช้ทำแบบหล่อ จะพิจารณาจากชนิดของโลหะและขนาดของชิ้นงาน ถ้าใช้ชิ้นงานที่มีขนาดเล็กควรเลือกใช้ทรายละเอียด ถ้าชิ้นงานมีขนาดใหญ่ควรเลือกใช้ทรายหยาบ รูปร่างของเม็ด ทรายที่เหมาะสมกับงานทำแบบหล่อ คือ เม็ดเป็นผลึกแหลมบาง เนื่องจากเม็ดทรายลักษณะดังกล่าวมีความสามารถในการยึดเกาะสูง ซึ่งจะทำให้ได้แบบหล่อมีความแข็งแรง

### 6.3.4 ไม้แบบ

ไม้แบบ (Cores) คือ ทรายที่ปั้นขึ้นมาให้มีลักษณะเป็นแท่ง เพื่อใช้ติดตั้งลงในแบบหล่อตรงบริเวณที่ต้องการให้เกิด รู ช่อง หรือหลุมขึ้นในชิ้นงาน ไม้แบบแบ่งตามลักษณะรูปร่างและการติดตั้งลงในแบบหล่อได้หลายชนิดดังแสดงในภาพที่ 6.4 แต่ถ้าแบ่งตามลักษณะของทรายที่ใช้จะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ไม้แบบทรายชื้น (Green-Sand Core) และ ไม้แบบทรายแห้ง (Dry-Sand Core)

**6.3.4.1 ไม้แบบทรายชื้น** เป็นไม้แบบที่ปั้นขึ้นรูปมาจากทรายที่ใช้ทำแบบหล่อโดยตรง ทั้งไม้แบบและแบบหล่อติดเป็นชิ้นเดียวกันแยกออกจากกันไม่ได้ ไม้แบบชนิดนี้เหมาะกับชนิดงานที่มีรูปร่างเรียบง่ายไม่ซับซ้อน ไม้แบบมีขนาดใหญ่แต่มีความยาวไม่มากนัก ไม่เหมาะในกรณีที่ไม้แบบมีขนาดเล็กและมีความยาวมากๆ เพราะไม้แบบจะไม่แข็งแรง พังทลายได้ง่ายในขณะที่เทโลหะหลอมเหลวลงในแบบหล่อ

**6.3.4.2 ไม้แบบทรายแห้ง** เป็นไม้แบบที่สร้างแยกออกจากแบบหล่อด้วยทรายที่เตรียมขึ้นมาเป็นพิเศษโดยการนำทรายหล่อมาผสมกับสารยึด (Binder) แล้วปั้นขึ้นรูปเป็นไม้แบบซึ่งอาจปั้นด้วยมือหรือปั้นด้วยเครื่องจักรก็ได้ นำไม้แบบที่ได้ไปอบแห้งซึ่งจะได้ไม้แบบที่แข็งแรงและความแข็งแรงมากกว่าไม้แบบทรายชื้น ไม้แบบทรายแห้งมีหลายลักษณะ การติดตั้งก็ทำได้หลายแบบ ดังแสดงในภาพที่ 6.4



ภาพที่ 6.4 ชนิดของไม้แบบ

- (ก) ชนิดวางในแนวนอน
- (ข) ชนิดวางในแนวตั้ง
- (ค) ชนิดบาล้านซ์
- (ง) ชนิดแขวน
- (จ) ชนิดปัก

นอกจากไส้แบบที่ทำมาจากทรายทั้งสองชนิดนี้แล้ว ไส้แบบยังสามารถทำมาจากโลหะได้อีกด้วย ไส้แบบโลหะนี้นิยมใช้กับงานส่วนที่ไม่ต้องการตกแต่งอีกต่อไป เพราะไส้แบบโลหะที่ใช้จะทำให้ส่วนที่ใกล้แบบเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดผิวแข็ง

คุณภาพที่สำคัญของไส้แบบ (Essential Qualities) คุณภาพที่สำคัญของไส้แบบที่ต้องคำนึงได้แก่ ต้องมีความแข็งแรงพอ สามารถคงสภาพและรักษารูปร่างอยู่ได้ด้วยตัวเอง ต้องมีเนื้อพรุนยอมให้ก๊าซและไอน้ำซึมผ่านได้สะดวก ต้องมีผิวเรียบเพื่อให้ได้งานหล่อที่มีคุณภาพผิวดี และต้องทนอุณหภูมิได้สูงโดยไม่แตกสลาย หรือเสื่อมสภาพเมื่อสัมผัสกับโลหะหลอมเหลวที่มีอุณหภูมิสูง

สารยึดและส่วนผสมสำหรับทำไส้แบบ (Binders and Core Mixtures) ในการทำไส้แบบทรายแห้งนั้นจะนำทรายหล่อมาผสมกับ สารยึดแล้วจึงปั้นเป็นไส้แบบ เมื่อได้ไส้แบบแล้วจะนำไปอบให้แห้ง สารยึดที่ใช้มีอยู่หลายชนิด เช่น สารยึดประเภทน้ำมัน (Oil Binders) สารยึดประเภทละลายน้ำ (Water-Soluble Binders) และสารยึดประเภทเรซิน (Resin Binders)

สารยึดประเภทน้ำมันที่นิยมใช้มากที่สุด คือ น้ำมันลินซิด (Linseed Oil) ในการผสมจะใช้น้ำมันลินซิด 1 ส่วนผสมคลุกเคล้ากับทรายแม่น้ำ 40 ส่วน นำส่วนผสมที่ได้ไปปั้นเป็นไส้แบบแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 180 – 220 °C นาน 2 ชั่วโมง

สารยึดประเภทละลายน้ำ ได้แก่ แป้งสาลี (Wheat Flour) แป้งที่ได้ทำจากหนังหรือกระดูกสัตว์ (Gelatinized Starch) อัตราส่วนผสม คือ สารยึด 1 ส่วน ต่อทราย 8 ส่วน

สารยึดประเภทเรซิน ที่นิยมใช้ได้แก่ เฟอร์ฟิวริล แอลกอฮอล์ เรซิน (Furfuryl Alcohol Resin) ผสมกับยูเรีย ฟอรัมาลดีไฮด์ เรซิน (Urea Formaldehyde Resin) ใช้ส่วนผสมคลุกเคล้ากับทรายปั้นเป็นไส้แบบ แล้วทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศโดยไม่ต้องอบการทำไส้แบบอาจใช้วิธีการเดียวกับการทำแบบหล่อทรายคาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวคือนำทรายมาผสมกับโซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate) ปั้นเป็นไส้แบบแล้วทำให้แข็งโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

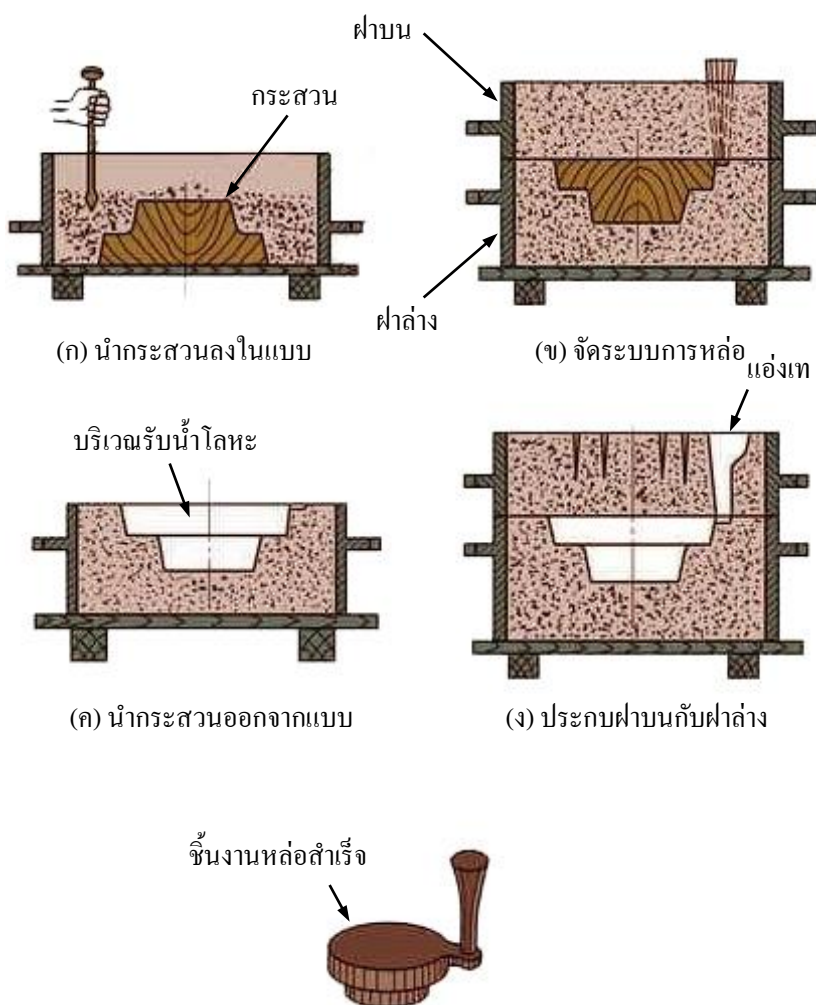
### 6.3.5 ขั้นตอนการทำแบบหล่อ

ในการหล่อโลหะผู้ปฏิบัติงานจะต้องทำแบบหล่อ (Mold) ให้มีความสมบูรณ์ เพื่อให้ได้งานหล่อที่มีคุณภาพ ซึ่งในการทำแบบหล่อก็มีขั้นตอนการทำ 2 แบบตามชนิดของกระสวยที่ใช้ดังนี้

**6.3.5.1 การทำแบบหล่อจากกระสวยถอดได้ (Removable – Pattern Mold)** แบบหล่อจะถูกจัดทำขึ้นในหีบหล่อ (Flask) ซึ่งแยกออกเป็นสองส่วน ส่วนบนเรียกว่า ฝาบน (Cope) และส่วนล่างเรียกว่า ฝาล่าง (Drag) ฝาบนและฝาล่างของหีบหล่อยึดติดกันไว้โดยใช้เดียนาสนูน (Pins) ในขั้นแรกของการทำแบบหล่อจะนำกระสวยมาวางลงบนแผ่นรองหีบหล่อ (Molding Board) จากนั้นจึงนำหีบหล่อฝาล่างวางคว่ำลงบนแผ่นรองหีบหล่อให้เดียนาสนูนซึ่งข้างล่าง จัดวางให้กระสวยอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของหีบ หล่อ ดังแสดงในภาพที่ 6.5 จากนั้นนำทรายทำแบบหล่อที่เตรียมไว้ใส่ลงในหีบหล่อ กลบทับลงบนกระสวย อัดทรายให้แน่นจนเต็มหีบ เสร็จแล้วพลิกหีบหล่อหงายขึ้นวางบนแผ่นรองหีบ



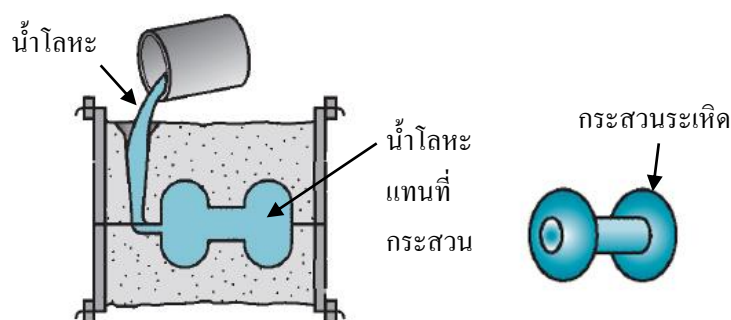
หล่อให้เดียนำศูนย์ชี้ขึ้นข้างบน นำหีบหล่อฝานมาประกอบติดเข้ากับฝาล่าง นำกระสวนส่วนที่เหลือ ประกอบติดเข้าไปกับส่วนแรก วางเดือยสำหรับทำรูเท (Sprue Pin) ลงไปให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ จากนั้นนำทรายทำแบบหล่อที่เตรียมไว้ใส่ลงในหีบแล้วอัดให้แน่นจนเต็มหีบ เมื่อได้ที่แล้วให้แยกหีบ หล่อฝานและฝาล่างออกจากกัน วางลงบนแผ่นรองโดยพลิกที่ด้านที่มีกระสวนขึ้นด้านบนเพื่อถอด กระสวนออก ทำรูต้น (Riser) และรูเข้า (Gate) แล้วแต่งแบบหล่อให้สมบูรณ์ นำแบบหล่อฝานและฝาล่าง ประกอบกลับเข้าไปใหม่ จะได้แบบหล่อที่พร้อมจะนำไปใช้งานดังแสดงในภาพที่ 6.5



ภาพที่ 6.5 ขั้นตอนการทำแบบหล่อจากกระสวนถอดได้

**6.3.5.2 การทำแบบหล่อจากกระสวนระเหิด (Disposable - Pattern Mold)** กระสวนระเหิดปกติแล้วจะมีลักษณะเป็นชิ้นเดียว มีเดือยที่จะทำให้เกิดช่องทางไหลของโลหะหลอมเหลวเชื่อมติดอยู่กับกระสวนเรียบร้อยแล้วดังแสดงในภาพที่ 6.6 การทำแบบหล่อจากกระสวนระเหิด จะลดขั้นตอนลงเมื่อเทียบกับในกรณีการใช้กระสวนถอดได้ เริ่มต้นด้วยการประกอบหีบหล่อฝานและฝาล่างเข้าด้วยกัน

จากนั้นใส่ทรายทำแบบหล่อที่เตรียมไว้ลงในทึบ หล่อให้ได้ความหนาของทรายพอประมาณวาง  
 กระสวนลงในทึบหล่อพยายามจัดวางตำแหน่งให้กระสวนอยู่บริเวณกึ่งกลางของทึบ และหัน ด้านที่มี  
 เดือยซึ่งจะทำให้เกิด ช่องทางไหลของโลหะหลอมเหลวขึ้นด้านบน แล้วจึงใส่ทรายทำแบบหล่อกลับทับ  
 ลงบนกระสวนและอัดจนทรายเต็มทึบ จะได้แบบหล่อดังแสดงในภาพที่ 6.6 เมื่อเทโลหะหลอมเหลวลง  
 ไปสัมผัสกับโพลิสไตรีนที่ใช้ทำกระสวน สารนี้จะระเหิดกลายเป็นไอหนีออกไปทางรูพูนที่เตรียม  
 เอาไว้ในส่วนบนของแบบหล่อ โลหะหลอมเหลวจะเข้าไปแทนที่จนเต็ม เมื่อโลหะแข็งตัวก็จะได้  
 ชิ้นงานตามต้องการ



ภาพที่ 6.6 การทำแบบหล่อจากกระสวนระเหิด

### 6.3.6 การหล่อด้วยแบบหล่อทราย

การหล่อด้วยแบบหล่อทรายแบ่งออกได้หลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะ และส่วนผสมของทรายที่  
 นำมาใช้ทำแบบหล่อ ได้แก่ แบบหล่อทรายชื้น (Green-Sand Molds) แบบหล่อผิวแห้ง (Skin - Dried  
 Molds) แบบหล่อทรายแห้ง (Dry - Sand Molds) แบบหล่อทรายผสมซีเมนต์ (Cement Molds) แบบหล่อ  
 ทรายฟิวแรน (Furan Molds) แบบหล่อทรายคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> Molds)

**6.3.6.1 แบบหล่อทรายชื้น** เป็นแบบหล่อที่ทำจากทราย (ซึ่งอาจเป็นทรายธรรมชาติหรือทราย  
 ลังเคราะห์) ผสมกับดินเหนียวและน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำมาทำ  
 แบบหล่อแบบหล่อที่ทำเสร็จแล้วนำไปใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องอบให้แห้ง

**6.3.6.2 แบบหล่อผิวแห้ง** การหล่อด้วยแบบหล่อผิวแห้งทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรกนำทรายมา  
 คลุกเคล้ากับสารยึด (Binder) แล้วนำส่วนผสมนี้มาอัดรอบๆ กระสวนให้ได้ความหนาประมาณ 12.7  
 มิลลิเมตร เมื่อแห้งจะกลายเป็นแบบหล่อส่วนที่แข็ง ส่วนที่เหลือค้างอยู่จะทำต่อด้วยทรายชื้น วิธีที่สอง  
 จะเหมือนกับ แบบหล่อทรายชื้นทุกอย่าง แต่เมื่อเสร็จสมบูรณ์แล้วจะพ่นเคลือบด้วยน้ำยาพิเศษซึ่งเมื่อ  
 สัมผัสกับความร้อนแล้วจะแข็ง

**6.3.6.3 แบบหล่อทรายแห้ง** ทำจากทรายหยาบผสมกับสารยึดซึ่งวิธีการทำแบบหล่อจะเหมือนกับการทำแบบหล่อทรายขึ้น แต่ก่อนจะนำไปใช้งานต้องอบให้แห้งก่อน แบบหล่อผิวแห้งและแบบหล่อทรายแห้งจะมีความแข็งแรงสูง จึงนิยมใช้ในการหล่อเหล็กกล้า

**6.3.6.4 แบบหล่อทรายผสมซีเมนต์** เป็นแบบหล่อที่ใช้กับชิ้นงานขนาดกลางและขนาดใหญ่ ในการทำแบบหล่อนั้นจะใช้ทรายแม่น้ำที่มีปริมาณซิลิกาผสมอยู่สูงมาผสมกับปูนซีเมนต์ประมาณ 6 – 12 เปอร์เซ็นต์ และเติมส่วนผสมอื่น เพื่อช่วยให้ทรายแข็งตัวเร็วขึ้น เมื่อทำแบบหล่อเสร็จต้องถอดกระสวนออกก่อนที่ทรายจะแข็งตัว ในการถอดกระสวนออกต้องทำด้วยความระมัดระวังเพราะแบบหล่ออาจเกิดรอยร้าวขึ้นได้

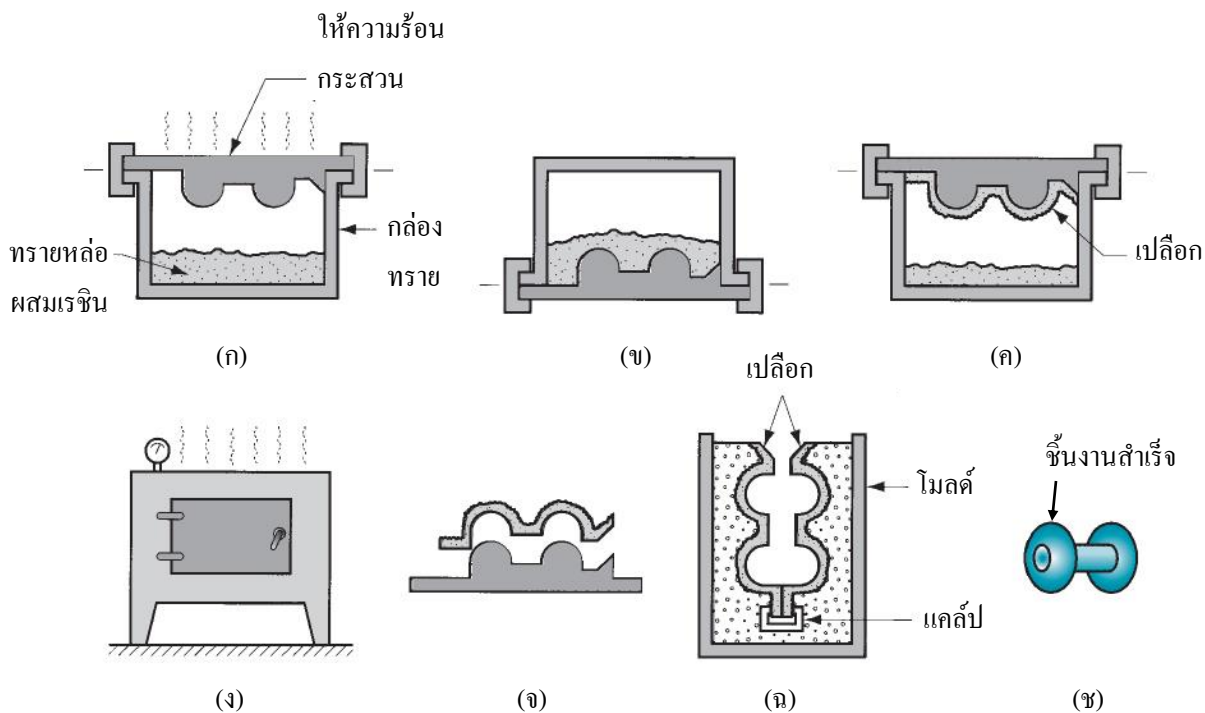
**6.3.6.5 แบบหล่อทรายผสมฟิวแรน** ฟิวแรนเป็นสารสังเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์จัดอยู่ในสารจำพวกพลาสติกกึ่งรูป (Thermosetting Plastic) นำฟิวแรนมาผสมกับตัวทำให้แข็ง (Hardener) แล้วนำมาผสมคลุกเคล้ากับทรายโดยใช้เครื่องผสม เสร็จแล้วต้องรีบนำไปทำแบบหล่อให้เสร็จโดยเร็ว เพราะถ้าทิ้งไว้นานทรายจะแข็งตัว ทรายหล่อชนิดนี้นิยมใช้ร่วมกับกระสวนระเหิด

**6.3.6.6 แบบหล่อทรายคาร์บอนไดออกไซด์** ใช้ทรายจากแม่น้ำหรือทรายก่อสร้างผสมกับโซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate) 3 - 7 เปอร์เซ็นต์ คลุกเคล้าให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสม นำทรายที่ผสมเสร็จแล้ว ไปทำแบบหล่อ จากนั้นใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป่าให้ก๊าซซึมผ่านแบบหล่อโดยใช้ความดันประมาณ 0.1 เมกะพาสคาล แบบหล่อจะแข็งตัวโดยไม่ต้องนำไปอบ

### 6.3.7 การหล่อด้วยกรรมวิธีอื่นๆ

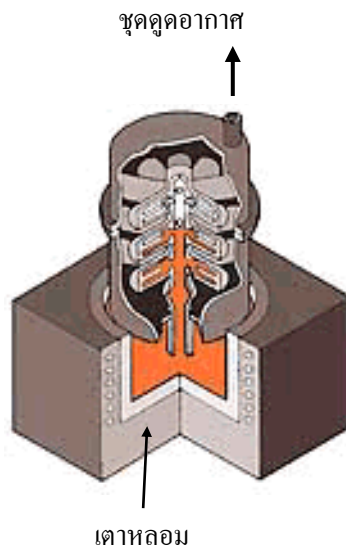
การหล่อด้วยแบบหล่อทรายจะใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสานเพราะว่ามีราคาถูก แต่มีความแข็งแรงต่ำ และไม่สามารถทำแบบหล่อบางๆ ได้ บางครั้งทรายหล่อที่มีตัวประสานไม่ดีอาจทำให้เม็ดทรายหลุดออกมาประปนกับน้ำโลหะขณะทำการเทหรือถูกกัดเซาะออกโดยการชนของน้ำโลหะ ในปัจจุบันได้มีการคิดค้นตัวประสานพิเศษที่มีคุณสมบัติทนต่อความร้อนและง่ายในการทำแบบหล่อ ซึ่งมีอยู่หลายชนิดแล้วแต่กระบวนการหล่อวิธีใด

**6.3.7.1 แบบหล่อเปลือก (Shell Molding)** แบบหล่อเปลือกบางที่เรียกว่า C-Processes แบบหล่อที่ใช้สำหรับการหล่อด้วยวิธีนี้ทำจากทรายผสมกับเรซิน เรซินที่นิยมใช้ที่สุดคือ ฟีนอล ฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน (Phenol Formaldehyde Resin) กระสวนที่ใช้จะทำมาจากโลหะและก่อนใช้ต้องนำไปอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 230 °C และพ่นเคลือบด้วยซิลิกา จากนั้นจึงนำไปทำแบบหล่อเปลือกบาง ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในภาพที่ 6.7



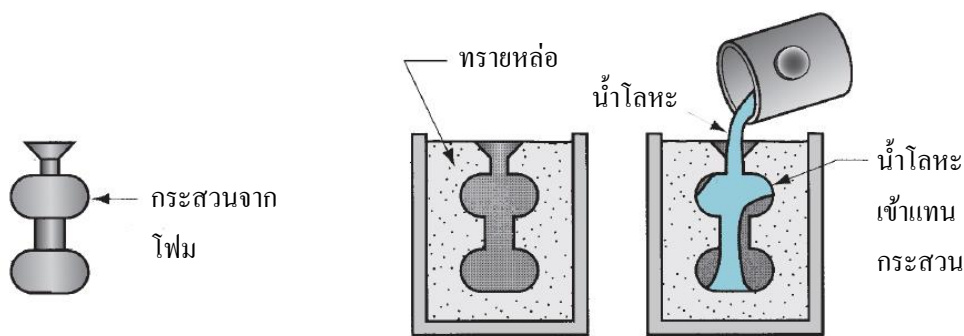
ภาพที่ 6.7 การหล่อแบบหล่อเปลือก (Shell Molding Processes)

**6.3.7.2 แบบหล่อสูญญากาศ (Vacuum Molding)** หรือบางที่เรียกว่า Counter-Gravity Low-Pressure (CL) Process แบบหล่อทำด้วยทรายละเอียดผสมยูรีเทน แล้วบ่มใน Amine Vapor ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อแบบพอกหุ่น (Investment) หรือแบบหล่อทรายก็ได้ วิธีการคือ ต้องนำแบบหล่อที่ยึดติดกับชุดดูดอากาศที่อยู่ด้านบน ด้านล่างจะเป็นเตาหลอม โดยเตาหลอมโลหะส่วนใหญ่ที่ใช้คือ เตาเหนี่ยวนำ (Induction Furnace) เมื่อหลอมละลายโลหะจนได้น้ำโลหะแล้วก็นำแบบหล่อไปจุ่มลงในเตาหลอม เมื่อน้ำโลหะเข้าท่วมทางเข้า (Gate) ก็ทำการดูดอากาศออกจากแม่แบบหล่อด้วยความดันประมาณ 2-3 บรรยากาศ น้ำโลหะจะถูกดูดเข้าจนเต็มโพรงของแบบหล่อ จากนั้นเลื่อนชุดแบบหล่อขึ้นเหนือเตาหลอม รอให้น้ำโลหะแข็งตัวแล้วจึงนำชิ้นงานออกจากแบบ ดังภาพที่ 6.8



ภาพที่ 6.8 แบบหล่อสูญญากาศ (Vacuum Molding)

**6.3.7.3 แบบหล่อโพลีเอทีรีน (Expanded Polystyrene Process)** บางทีเรียกว่า Lost Foam Casting หรือ Lost Pattern Processes การหล่อแบบนี้จะใช้โฟม (Foam) เป็นกระสวย ส่วนการออกแบบนั้นจะต้องออกแบบให้มีแอ่งเท รุเท และทางวิ่งอยู่ในชิ้นเดียวกันกับกระสวย แบบหล่อนี้จะไม่ใช้หีบหล่อบนและหีบหล่อล่าง ทรายที่ใช้ต้องผสมตัวยึด (Bonding Agent) และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ดังภาพที่ 6.9



ภาพที่ 6.9 แบบหล่อ โพลีเอทีรีน (Expanded Polystyrene Process)

**6.3.7.4 แบบหล่อพอกหุ่น (Investment Casting)** เป็นวิธีการหล่อที่ใช้ในกรณีที่ต้องการผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพสูงชิ้นงานที่ได้จากการหล่อด้วยวิธีนี้จะมีคุณภาพผิวดีมาก มีความปราณีต ได้ขนาดที่มีความเที่ยงตรงสูงใช้ได้ดีทั้งการหล่อโลหะในกลุ่มเหล็ก และโลหะนอกกลุ่มเหล็ก ในภาพที่ 6.10 แสดงให้เห็นชิ้นงานหล่อซึ่งเป็นศูนย์หน้าของปืนยาว ที่หล่อมาจากเหล็กกล้าเจือโครเมียมและโม

ลิบดินัม (Chrome - Molybdenum Steel Alloy) ซึ่งเป็นการหล่อจากแบบพอกหุ่น ซึ่งงานที่ได้จากการหล่อด้วยวิธีนี้ไม่จำเป็น ต้องนำไปแต่งผิวอีก จึงนิยมใช้กับชิ้นงานขนาดเล็ก ที่ต้องการผิวเรียบ ขนาดมีความเที่ยงตรงและรูปร่างซับซ้อนยากต่อการแต่งผิว นอกจากนี้ยังนิยมใช้หล่อโลหะที่มีสภาพเป็น สารกัมมันตรังสี ชิ้นงานที่เหมาะสมกับการหล่อด้วยวิธีนี้จะต้องมีน้ำหนักไม่เกิน 45 กิโลกรัม ข้อดีของการหล่อจากแบบพอกหุ่นมีดังนี้

- 1) ได้ชิ้นงานที่มีความประณีตสูง รายละเอียดหรือลวดลายต่างๆ บนชิ้นงานสามารถทำได้อย่างชัดเจน
- 2) ได้ชิ้นงานที่มีผิวเรียบทุกซอกทุกมุม และจะไม่ปรากฏร่องรอยของแนวประกบแบบ (Parting Line) ให้เห็น
- 3) ได้ชิ้นงานที่มีขนาดเที่ยงตรง
- 4) เหมาะสำหรับใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน ยากต่อการแต่งผิว

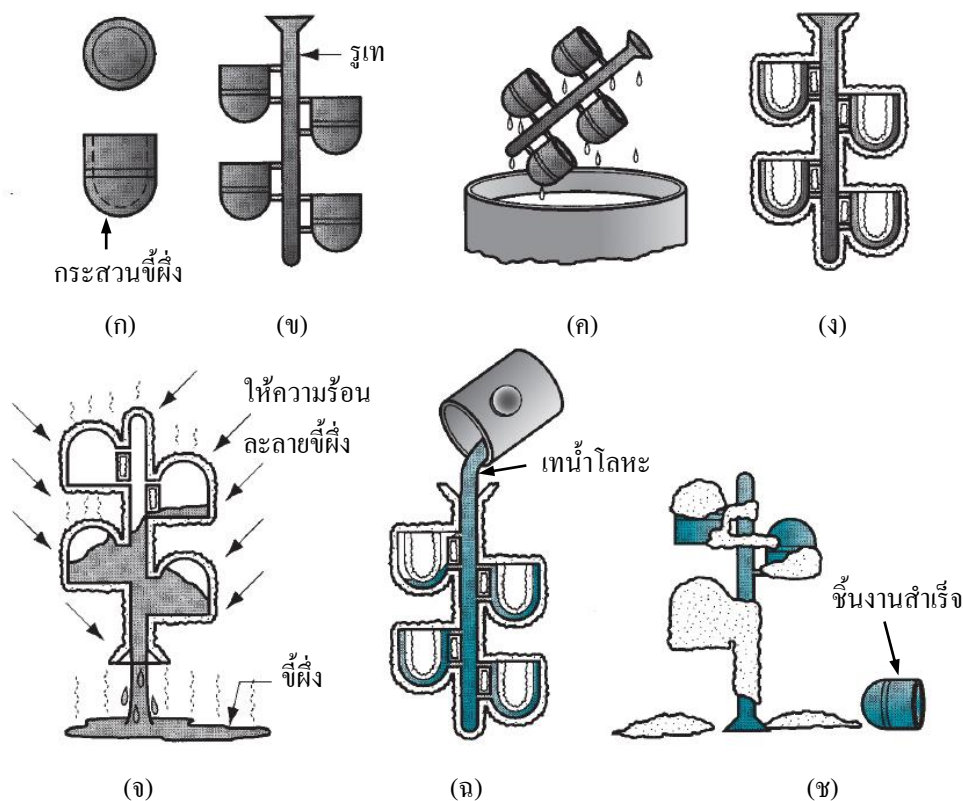
การหล่อจากแบบพอกหุ่นจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงจึงเหมาะสำหรับการหล่อชิ้นงานขนาดเล็ก การนำใส่แบบมาใช้ในการหล่อแบบนี้จะมีปัญหาในเรื่องการติดตั้งใส่แบบลงในแบบหล่อ ดังนั้นขนาดของรูปบนชิ้นงานจึงมีขนาดเล็กที่สุดได้ไม่น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร และความลึกของรูต้องไม่เกิน 1.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของรู

สำหรับการหล่อแบบพอกหุ่นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ การหล่อแบบละลายขี้ผึ้ง (Lost - Wax Method) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

**การหล่อแบบละลายขี้ผึ้ง (Lost - Wax Method)** เป็นวิธีการหล่อที่พัฒนาวิธีการมาจากการหล่อเทวรูปในสมัยโบราณ กระบวนการทำงานจะเริ่มต้นจากการปั้นหุ่นขี้ผึ้งขึ้นมาก่อน หุ่นขี้ผึ้งที่ปั้นขึ้นมานั้นจะมีรูปร่างลักษณะรายละเอียดต่างๆ รวมทั้งขนาดเหมือนของจริงทุกประการ เมื่อปั้นหุ่นเสร็จเรียบร้อยแล้วจะนำปูนปลาสเตอร์มาพอกทับลงไปบนตัวหุ่นขี้ผึ้งจนทั่วและได้ความหนาตามที่ต้องการ จากนั้นทิ้งไว้ให้ปูนปลาสเตอร์แห้ง เมื่อปูนปลาสเตอร์แห้งสนิทดีแล้วนำไปอบให้ร้อนเพื่อละลายขี้ผึ้งออกจะเหลือเฉพาะปูนปลาสเตอร์ ซึ่งนั่นก็คือแบบหล่อนั่นเอง เทโลหะหลอมเหลวลงในแบบหล่อนี้เมื่อโลหะเย็นตัวเป็นของแข็งก็จะได้ชิ้นงานตามต้องการ ในกรณีที่ชิ้นงานมีขนาดใหญ่ นั้นจะปั้นหุ่นหยาบๆ จากปูนปลาสเตอร์ก่อนแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นนำขี้ผึ้งมาพอกทับลงไปบนหุ่นปูนให้ทั่วแล้วแต่งขี้ผึ้งให้มีรูปร่างขนาด และรายละเอียดต่างๆ ตามที่ต้องการ เสร็จแล้วพอกทับด้วยปูนปลาสเตอร์อีกครั้งหนึ่งจนทั่ว และได้ความหนาตามที่ต้องการทิ้งไว้ให้แห้งแล้วนำไปอบร้อนเพื่อละลายขี้ผึ้งออกจะเหลือเฉพาะปูนปลาสเตอร์ แล้วเทโลหะหลอมเหลวลงในแบบหล่อนี้เมื่อโลหะเย็นตัวเป็นของแข็งก็จะได้ชิ้นงานตามต้องการ

วิธีที่ใช้ในปัจจุบันนี้ยังคงคล้ายคลึงกับวิธีการที่ใช้ในสมัยโบราณตามที่กล่าวมาข้างต้น แต่หุ่นขี้ผึ้งจะได้จากการหล่อขี้ผึ้งในแบบหล่อที่ทำจากตะกั่วหรือโลหะอื่น ปูนปลาสเตอร์ที่ใช้จะเป็นชนิดพิเศษที่มีความแข็งแรงและทนความร้อนได้สูง ในบางครั้งแบบหล่ออาจทำจากวัสดุจำพวกเซรามิก ส่วน

วิธีการปั้นโลหะหลอมเหลวเข้าสู่แบบหล่อนั้น อาจใช้แรงโน้มถ่วงอัดด้วยความดัน หรือการหมุนเหวี่ยงก็ได้ แต่ถ้าเป็นการอัดด้วยความดัน ค่าความดันที่ใช้ไม่ควรเกิน 0.2 เมกะพาสคาล เพราะจะทำให้แบบหล่อแตก ลักษณะการทำแบบหล่อสำหรับการหล่อแบบละลายขี้ผึ้งสมัยใหม่แสดงอยู่ในภาพที่ 6.10



ภาพที่ 6.10 การหล่อแบบละลายขี้ผึ้ง (Lost - Wax Method)

**6.3.7.5 แบบหล่อปูนปลาสเตอร์ (Plaster Mold Casting)** จะทำจากปูนปลาสเตอร์ชนิดพิเศษที่ทำจาก ยิบซั่ม (Gypsum - Base Plaster) ซึ่งมีสมบัติพิเศษคือ แข็งเร็ว เนื้อพรุน และทนความร้อนได้สูง การทำแบบหล่อจะมีขั้นตอนเหมือนการทำแบบหล่อด้วยทรายหล่อ แต่กรณีนี้กระสวนที่ใช้จะทำมาจากทองเหลือง เมื่อทำแบบหล่อเสร็จแล้ว จะถอดออกจากหีบหล่อ ถอดกระสวนออก นำแบบหล่อที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 815 °C แบบหล่อก็พร้อมที่จะนำไปใช้งาน แบบหล่อชนิดนี้ทนความร้อนได้ไม่สูงมากนัก และใช้งานได้เพียงครั้งเดียว เหมาะสำหรับใช้ในการหล่อโลหะนอกกลุ่มเหล็ก การทำแบบหล่อปูนปลาสเตอร์แสดงในภาพที่ 6.11



(ก) การทำแบบหล่อจากปูนปลาสเตอร์



(ข) แบบหล่อปูนปลาสเตอร์



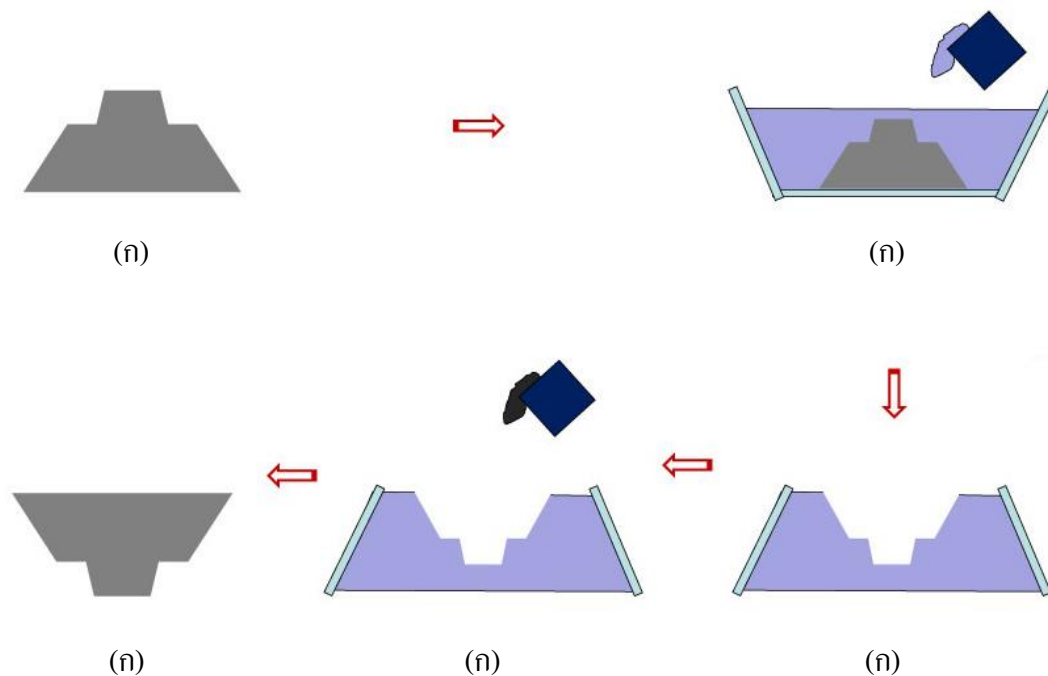
(ค) ชิ้นงานสำเร็จจากแบบหล่อปูนปลาสเตอร์

ภาพที่ 6.11 แบบหล่อปูนปลาสเตอร์ (Plaster Mold Casting)

**6.3.7.6 แบบหล่อเซรามิกส์ (Ceramic Mold Casting)** เป็นการหล่อที่มีกระบวนการคล้ายกับการหล่อแบบพอกหุ่น (Investment Casting) แต่การหล่อด้วยวิธีนี้จะใช้วัสดุที่ทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิสูงได้ บางที่เรียกว่า Cope and Drag Investment Casting เซรามิกส์ที่ใช้ทำแบบหล่อมีส่วนผสมที่สำคัญคือ เซอคอนละเอียด อลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกา พร้อมตัวประสาน เหมาะกับการหล่อเหล็กหรือหล่อ



โลหะผสม เช่น เหล็กสแตนเลส หรือเหล็กเครื่องมือ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดและความเที่ยงตรงสูง ผิวเรียบ มีข้อเสียคือ ราคาแพง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์คือ ใบพัด แม่พิมพ์ตัดโลหะ เป็นต้น มีขั้นตอนการทำแบบหล่อดังภาพที่ 6.12



ภาพที่ 6.12 แบบหล่อเซรามิกส์ (Ceramic Mold Casting)

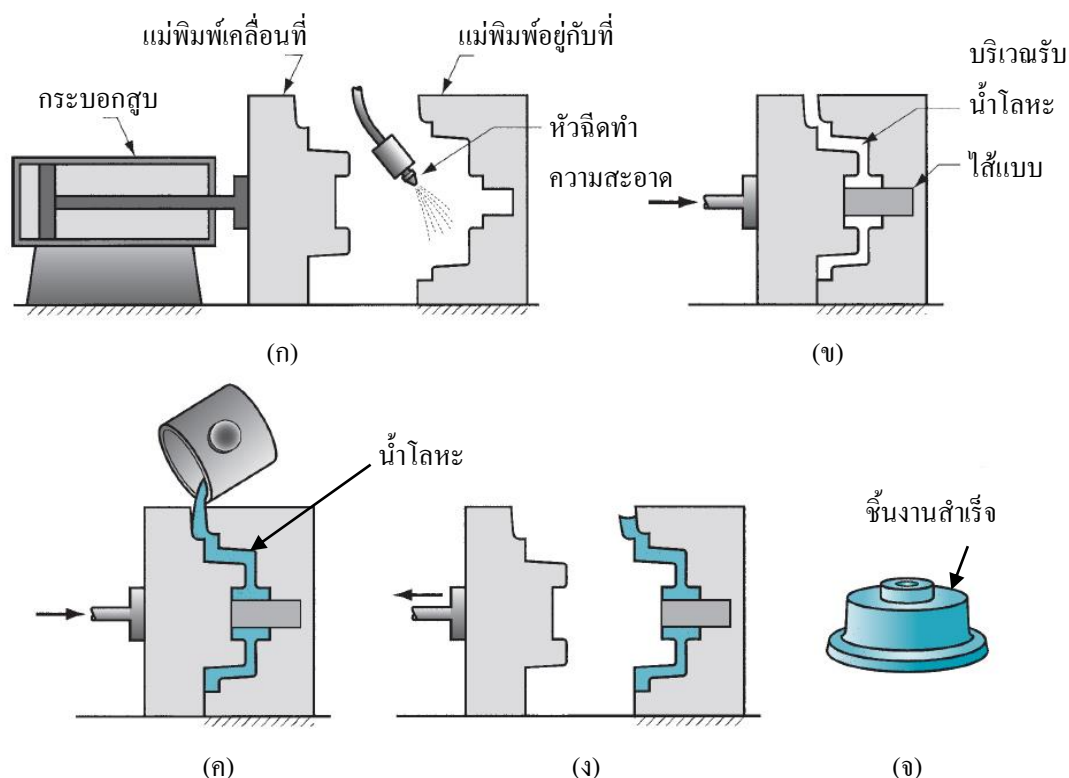
#### 6.4 การหล่อแบบถาวร

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 6.3 จะใช้ทรายเป็นวัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อทั้งหมด และแม้ว่าการหล่อด้วยแบบทรายตามที่กล่าวมาแล้วจะสามารถใช้ได้ดีทั้งในกรณีชิ้นงานมีขนาดเล็ก ไปจนถึงชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ และใช้ได้ดีทั้งในกรณี การหล่อโลหะในกลุ่มเหล็ก และ โลหะนอกกลุ่มเหล็กก็ตาม แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ที่แบบหล่อที่ทำจากทรายนั้นสามารถใช้งานได้เพียงครั้งเดียว ดังนั้นในกรณีที่ต้องการปริมาณชิ้นงานมาก ๆ อาจต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำแบบหล่อสูง จึงได้มีการนำแบบหล่อถาวร (Permanent Molds) มาใช้แทนแบบทราย แบบหล่อถาวรจะใช้งานได้ดีในกรณีที่ต้องการปริมาณชิ้นงานมากและขนาดของชิ้นงานไม่ได้โตจนเกินไป การหล่อแบบถาวร (Permanent Molds) มีกระบวนการหล่อหลายกระบวนการด้วยกันดังต่อไปนี้

- 1) การหล่อแบบหล่อถาวรเบื้องต้น (Basic Permanent Mold Casting)
- 2) การหล่อแบบด้ายโลหะ (Die Casting)
- 3) การหล่อแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Casting)

### 6.4.1 การหล่อแบบหล่อถาวรเบื้องต้น

การหล่อแบบหล่อถาวรเบื้องต้น (Basic Permanent Mold Casting) ดังภาพที่ 6.13 การหล่อวิธีนี้จะมีลักษณะการปฏิบัติงานเหมือนกับการหล่อด้วยแบบหล่อทรายทุกประการ แตกต่างกันที่แบบหล่อที่ใช้เป็นแบบหล่อที่ทำจากโลหะ ซึ่งเป็นแบบหล่อที่ใช้งานได้หลายครั้ง ใช้หล่อได้ทั้งโลหะในกลุ่มเหล็กและโลหะนอกกลุ่มเหล็ก การหล่อโลหะในกลุ่มเหล็กจะมีปัญหายุ่งยากมากกว่า เนื่องจากโลหะกลุ่มนี้มีจุดหลอมเหลวสูง ซึ่งจะทำให้แบบหล่อชำรุดเสียหายได้ง่าย



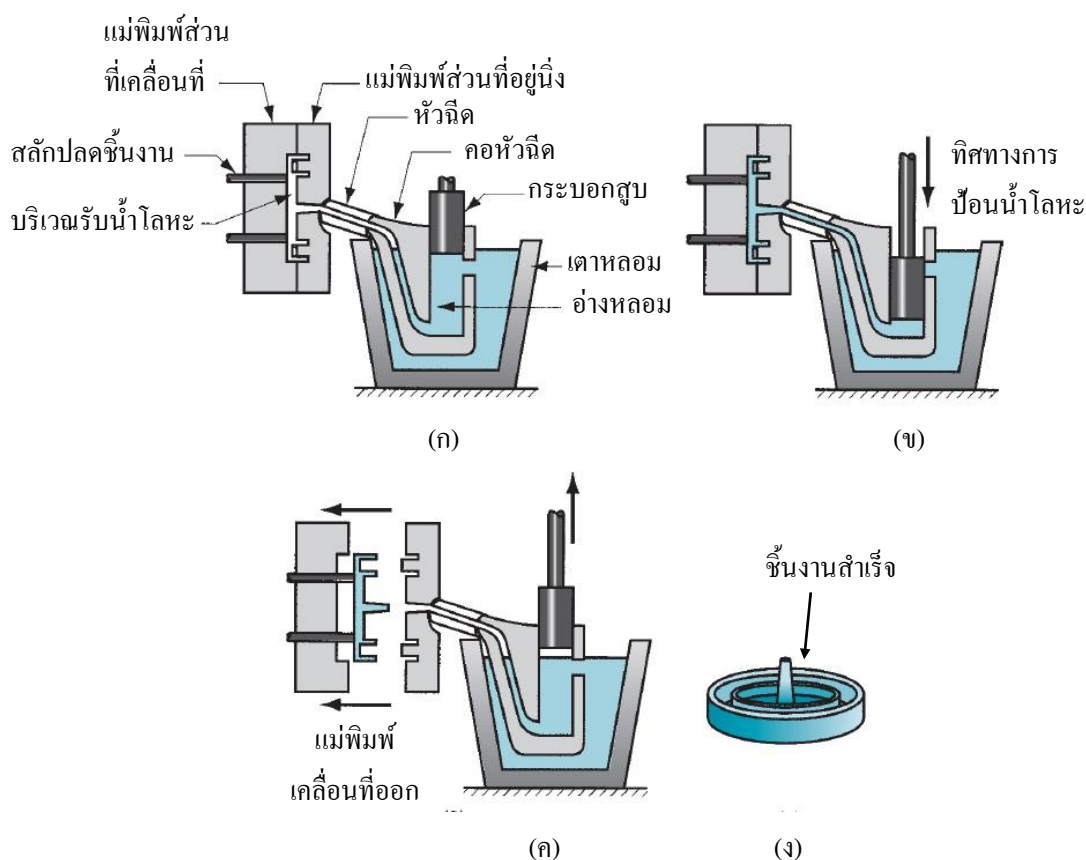
ภาพที่ 6.13 การหล่อแบบหล่อถาวรเบื้องต้น

### 6.4.2 การหล่อแบบตายโลหะ

การหล่อแบบตายโลหะ (Die Casting) การหล่อด้วยวิธีนี้จะทำงานโดยอาศัยเครื่องจักร ซึ่งปกติแล้วจะเป็นเครื่องจักรที่ทำงานแบบอัตโนมัติเครื่องจักรจะทำหน้าที่อัดโลหะหลอมเหลวเข้าสู่แบบหล่อและถอดชิ้นงานที่หล่อเสร็จแล้ว ออกจากแบบหล่อ โดยที่แบบหล่อที่ใช้ทำจากโลหะซึ่งนิยมเรียกว่าแบบตาย (Dies) ความดันที่ใช้ในการอัดโลหะหลอมเหลวเข้าสู่แบบตายจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.6 – 275 เมกะพาสกาล การหล่อแบบตายโลหะแบ่งออกได้ 3 วิธี คือ การหล่อแบบอ่างร้อน (Hot-Chamber Method) และการหล่อแบบอ่างเย็น (Cold-Chamber Method) การหล่อด้วยแบบโลหะความดันต่ำ (Low-Pressure Casting) ซึ่งมีรายละเอียดในการทำงานดังนี้

### 6.4.2.1 แบบอ่างร้อน (Hot-Chamber Machine)

การหล่อแบบอ่างร้อน (Hot-Chamber Machine) จะใช้เครื่องจักรที่มีเตาหลอมที่ใช้สำหรับหลอมละลายโลหะอยู่ในตัว ดังแสดงในภาพที่ 6.14 นิยมใช้ในการหล่อโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ (Low-Temperature Alloys) เช่น สังกะสี ดีบุก และตะกั่ว เป็นต้น เหมาะสำหรับการหล่อชิ้นงานที่มีขนาดไม่โตมากนักที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 0.03 – 40 กิโลกรัม ความดันที่ใช้ในช่วง 0.6 – 35 เมกะพาสคาล

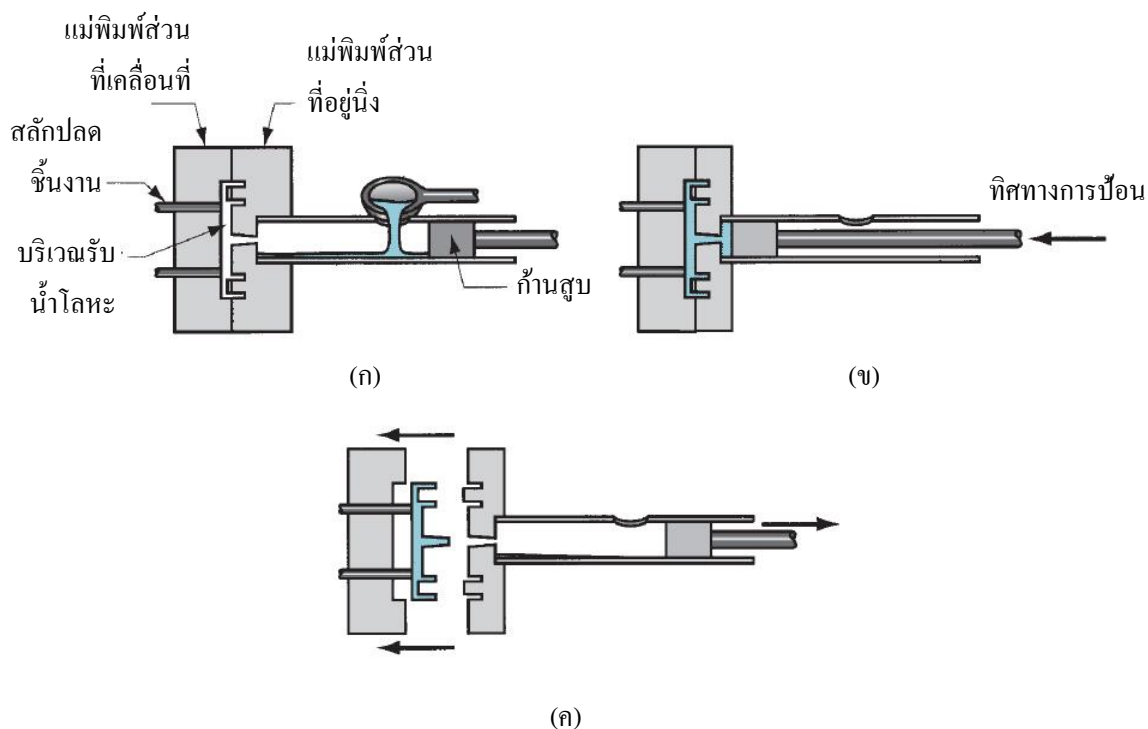


ภาพที่ 6.14 แบบอ่างร้อน (Hot-Chamber Machine)

### 6.4.2.2 แบบอ่างเย็น (Cold-Chamber Machine)

การหล่อแบบอ่างเย็น (Cold-Chamber Machine) จะใช้เครื่องจักรที่มีลักษณะการทำงานต่างจากการหล่อแบบอ่างร้อน โดยเครื่องจักรที่ใช้สำหรับการหล่อแบบนี้จะไม่มีเตาหลอมที่ใช้สำหรับหลอมละลายโลหะอยู่ภายในเครื่อง เตาหลอมจะแยกอยู่ต่างหาก เวลาใช้งานจะใช้วิธีนำโลหะหลอมเหลวจากเตาหลอมมาป้อนลงแบบคายในเครื่องจักร ซึ่งจะมีลักษณะและขั้นตอนการทำงานดัง

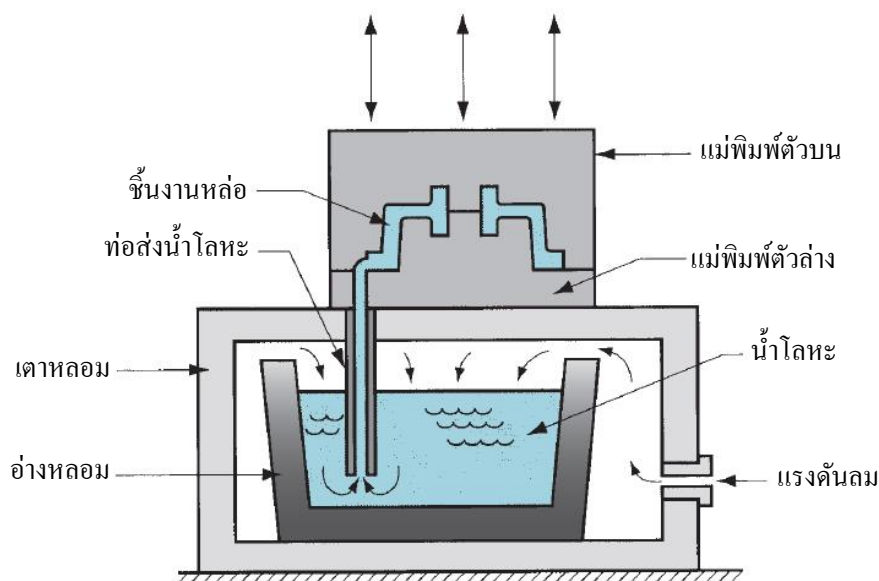
แสดงในภาพที่ 6.15 การหล่อแบบนี้นิยมใช้หล่อโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูง (High-Temperature Alloys) เช่น ทองเหลือง อะลูมิเนียม และแมกนีเซียม เป็นต้น ความดันที่ใช้จะสูงกว่าในกรณีการหล่อแบบอ่างร้อน คือ อยู่ในช่วง 39 – 150 เมกะพาสคาล เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีน้ำหนักไม่เกิน 38 กิโลกรัม



ภาพที่ 6.15 แบบอ่างร้อน (Hot-Chamber Machine)

#### 6.4.2.3 การหล่อด้วยแบบโลหะความดันต่ำ

การหล่อด้วยแบบโลหะความดันต่ำ (Low-Pressure Casting) การหล่อวิธีนี้จะใช้แบบหล่อที่ทำจากโลหะและติดตั้งแบบหล่อไว้เหนือเตาหลอมไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Furnace) จากเตาหลอมไปยังแบบหล่อมีทางเชื่อมต่อถึงกันเรียกว่า “Stalk” ดังแสดงในภาพที่ 6.16 เตาหลอมติดตั้งอยู่ในห้องปิดที่มีการป้องกันอากาศรั่วเอาไว้อย่างดี ใช้เครื่องสูบลมสุญญากาศ (Vacuum Pump) ดูดอากาศออกจากแบบหล่อจนหมด แล้วจึงอัดก๊าซเฉื่อยเข้าไปในห้องปิดที่ติดตั้งเตาหลอมอยู่จะทำให้โลหะหลอมเหลวที่อยู่ในเตาหลอมถูกดันเข้าไปในแบบหล่อ การหล่อวิธีนี้เหมาะสำหรับการผลิตชิ้นงานที่มีน้ำหนักไม่เกิน 29 กิโลกรัม



ภาพที่ 6.16 การหล่อด้วยแบบหล่อโลหะความดันต่ำ

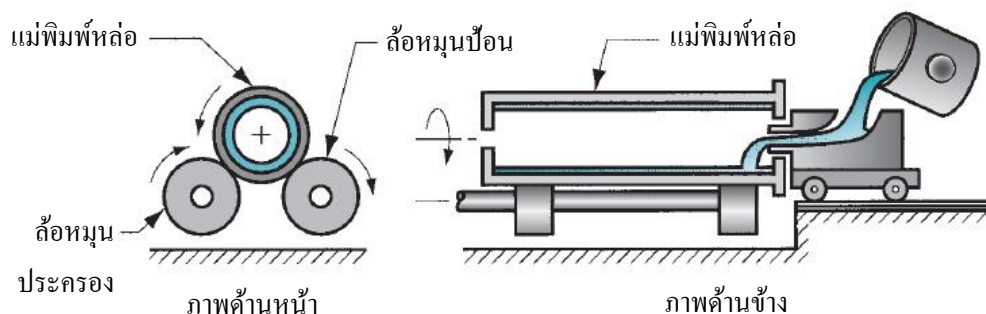
### 6.4.3 การหล่อแบบหมุนเหวี่ยง

การหล่อแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Casting) แบบหล่อที่ใช้สำหรับการหล่อแบบนี้จะติดตั้งอยู่บนแกนหมุนที่มีตัวขับให้หมุนด้วยความเร็วสูง เมื่อเดินเครื่องแบบหล่อจะหมุนด้วยความเร็วรอบสูงในขณะเดียวกันจะป้อนโลหะหลอมเหลวเข้าสู่แบบหล่อ เกิดแรงเหวี่ยงกระทำต่อโลหะหลอมเหลว และใช้แรงเหวี่ยงนี้เป็นตัวผลักดันให้โลหะหลอมเหลวเข้าไปอัดตัวอยู่ในโพรงแบบหล่อ การหล่อประเภทนี้จัดเป็นการหล่อที่ประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุดในบรรดาการหล่อแบบถาวรทั้งหมด ถึงแม้จะมีข้อจำกัดในเรื่องรูปร่างของชิ้นงานอยู่บ้าง แต่ตราบดีที่ชิ้นงานมีรูปร่างสมมาตรก็สามารถหล่อด้วยวิธีนี้ได้อย่างสะดวก ตั้งแต่ชิ้นงานมีขนาดเล็กมากไปจนถึงชิ้นงานขนาดใหญ่มีน้ำหนักหลายสิบลตัน ในกรณีโลหะเจือที่เจือด้วยธาตุหนักอาจจะมีปัญหาในเรื่องที่แรงเหวี่ยงจะทำให้ธาตุเจือแยกตัวออกจากโลหะหลักในระหว่างการหล่อได้ การหล่อแบบหมุนเหวี่ยงสามารถแยกออกได้เป็น 3 แบบ คือ การหล่อแบบหมุนเหวี่ยงจริง การหล่อแบบกึ่งหมุนเหวี่ยง และการหล่อแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

#### 6.4.3.1 การหล่อแบบหมุนเหวี่ยงจริง

การหล่อแบบหมุนเหวี่ยงจริง (True Centrifugal Casting) ใช้ในการหล่อชิ้นงานที่มีลักษณะเป็น ท่อกลางหรือชิ้นงานกลวงอื่นๆ ที่มีรูปร่างสมมาตร แกนหมุนของแบบหล่ออาจออกแบบให้อยู่ในแนวนอนหรือแนวตั้งก็ได้ ดังแสดงในภาพที่ 6.17 ความเร็วที่ใช้ในการหมุนแบบหล่อนั้นจะขึ้นอยู่กับ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานและชนิดของโลหะที่นำมาหล่อ แรงที่เกิดจากการหมุนใน

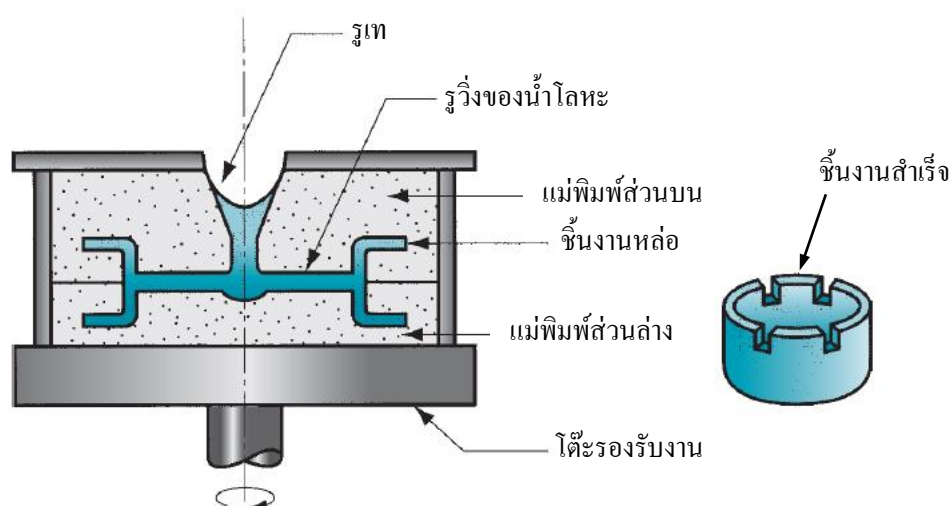
กรณีที่แกนหมุนของแบบหล่ออยู่ในแนวนอน คือ 65 เท่าของแรงดึงดูดโลก ส่วนในกรณีที่แกนหมุนของแบบหล่ออยู่ตั้งจะใช้แรงเหวี่ยงในการหล่อประมาณ 90 – 100 เท่าของแรงดึงดูดโลก



ภาพที่ 6.17 การหล่อแบบหมุนเหวี่ยงจริง

#### 6.4.3.2 การหล่อแบบกึ่งหมุนเหวี่ยง

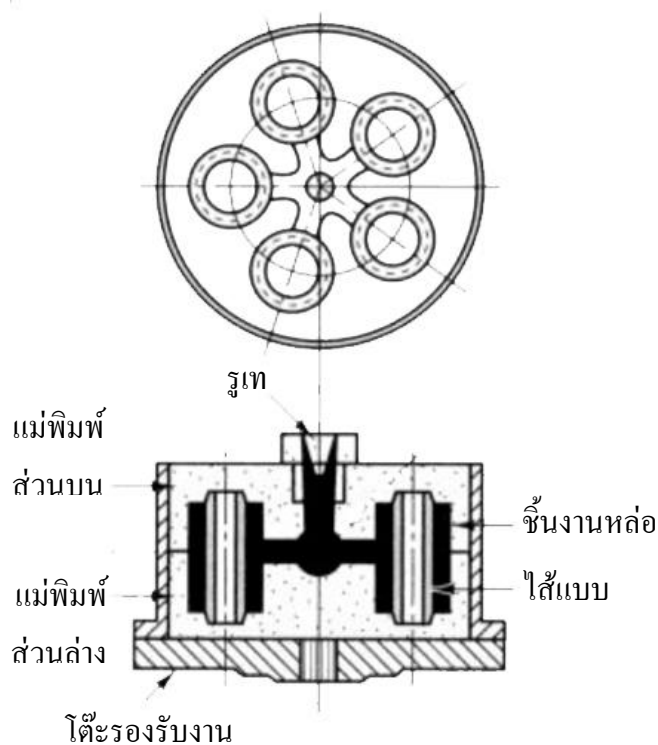
การหล่อแบบกึ่งหมุนเหวี่ยง (Semi Centrifugal Casting) การหล่อแบบนี้ใช้สำหรับการหล่อชิ้นงานตัน หรือชิ้นงานกลวงแต่มีความหนาของเนื้อโลหะมาก เช่น ล้อ หรือ เฟือง เป็นต้น เนื้อโลหะในแต่ละตำแหน่งวงหมุนจะถูกเหวี่ยงไปด้วยแรงที่ไม่เท่ากัน ตัวอย่างการหล่อล้อที่แสดงในภาพที่ 6.18 ความเร็วที่ใช้ในการหมุนแบบหล่อจะไม่สูงมากนัก ส่วนใหญ่จะใช้ความเร็วต่ำกว่าการหล่อแบบหมุนเหวี่ยงจริง



ภาพที่ 6.18 การหล่อแบบกึ่งหมุนเหวี่ยง

### 6.4.3.3 การหล่อแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การหล่อแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifuging Casting) สามารถหล่อชิ้นงานที่มีรูปร่างใดก็ได้ไม่จำเป็นต้องมีรูปร่างสมมาตรเพียงแต่ต้องนำแบบหล่อของชิ้นงานหลายๆ อันมาวางในตำแหน่งที่สมมาตรแล้วจัดทำช่องทางที่จะป้อน โลหะหลอมเหลวให้อยู่ในแนวเดียวกับการหมุนของชุดแบบหล่อทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 6.19



ภาพที่ 6.19 การหล่อแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

### สรุปสาระสำคัญ

การหล่อโลหะเป็นกรรมวิธีหนึ่งที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ โดยกรรมวิธีการหล่อสามารถกระทำได้ 2 แบบ คือ การหล่อแบบไม่ถาวร และการหล่อแบบถาวร โดยการหล่อแบบไม่ถาวรจะเป็นการหล่อโดยใช้ทรายเป็นส่วนผสมในแบบหล่อ และเมื่อน้ำโลหะแข็งตัวแล้วจะนำชิ้นงานไปใช้โดยการทำลายแม่แบบนั้นเพื่อนำชิ้นงานไปใช้ ส่วนการหล่อแบบถาวรจะเป็นการหล่อโดยใช้แบบหล่อที่ทำมาจากเหล็ก และสามารถใส่แบบหล่อซ้ำได้หลายๆ ครั้ง เมื่อนำชิ้นงานออกจากแม่แบบ

# แบบฝึกหัดบทที่ 6

## การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีการหล่อ

---

คำสั่ง จงตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์

1. กรรมวิธีการหล่อโลหะสามารถจำแนกเป็นกี่ประเภท อะไรบ้าง

.....

.....

.....

.....

2. การหล่อแบบไม่ถาวร และการหล่อแบบถาวร แตกต่างกันอย่างไร

2.1 การหล่อแบบไม่ถาวร .....

.....

.....

.....

2.2 การหล่อแบบถาวร .....

.....

.....

.....

3. กระสวน (Pattern) หมายถึง

.....

.....

.....

.....



4. กระสวนถอดได้ และกระสวนระเหิด แตกต่างกันอย่างใด

4.1 กระสวนถอดได้ .....

.....  
.....  
.....

4.2 กระสวนระเหิด .....

.....  
.....  
.....

5. ทรายที่ใช้ในการทำแบบหล่อสามารถแบ่งออกได้เป็นกี่ชนิด และแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างไร

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

6. การเลือกขนาดของเม็ดทรายที่ใช้ทำแบบหล่อควรพิจารณาจากสิ่งใด

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

7. ไม้แบบที่ใช้ในงานหล่อมีหน้าที่ยังไร แบ่งเป็นกี่ชนิด และแตกต่างกันอย่างไร

.....  
.....  
.....  
.....  
.....



11. การหล่อแบบหมุนเหวี่ยงจริง การหล่อแบบกึ่งหมุนเหวี่ยง และการหล่อแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง มีความแตกต่างกันอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## แบบทดสอบบทที่ 6

### การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีการหล่อ

---

คำสั่ง จากโจทย์ที่กำหนดให้ จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. กระจกใสประโยชน์ใดในหล่อ
  - ก. ใช้ทำให้เกิดรู ช่อง หรือหลุมขึ้นในชิ้นงาน
  - ข. ใช้เป็นแม่แบบ ของชิ้นงานหล่อที่ต้องการ
  - ค. ใช้เป็นการจัดระบบเส้นทางการไหลของน้ำโลหะ
  - ง. ใช้เป็นส่วนผสมลงในไส้แบบ
2. ทรายธรรมชาติ ไม่เหมาะที่จะใช้กับงานหล่อวัสดุใด
  - ก. เหล็กหล่อ
  - ข. เหล็กกล้า
  - ค. อลูมิเนียม
  - ง. ทองเหลือง
3. ทรายสังเคราะห์ ไม่เหมาะที่จะใช้กับงานหล่อวัสดุใด
  - ก. เหล็กกล้า
  - ข. บรอนซ์
  - ค. ทองแดง
  - ง. พลาสติก
4. ไส้แบบทรายขึ้น ไม่เหมาะกับงานแบบใด
  - ก. งานที่มีรูปร่างเรียบง่ายไม่ซับซ้อน
  - ข. งานที่มีไส้แบบขนาดเล็ก และยาวมาก ๆ
  - ค. งานที่มีขนาดใหญ่ แต่มีความยาวไม่มากนัก
  - ง. ไม่มีข้อถูก
5. การหล่อแบบใดไม่ใช้การหล่อที่มีส่วนผสมของทราย
  - ก. แบบหล่อเปลือก
  - ข. แบบหล่ออ่างร้อน
  - ค. แบบหล่อโพลิเอทีริน
  - ง. แบบหล่อสูญญากาศ

6. ข้อดีของการหล่อแบบถาวร คือ

- ก. ค่าใช้จ่ายในการทำแบบหล่อต่ำ
- ข. สามารถหล่อชิ้นงาน ที่มีขนาดโตมาก ๆ ได้
- ค. สามารถใช้งานแบบหล่อได้ครั้งเดียว
- ง. สามารถใช้งานแบบหล่อได้หลายครั้ง

7. แบบหล่อใดไม่ใช้การหล่อแบบถาวร

- ก. แบบหล่อเซรามิกส์
- ข. แบบหล่อด้วยโลหะความดันต่ำ
- ค. แบบหล่อหมุนเหวี่ยง
- ง. แบบหล่อด้วยโลหะ

จากคำตอบที่กำหนดให้ จงตอบคำถามข้อ 8- 10

- ก. นิยมใช้ในการหล่อ โลหะนอกกลุ่มเหล็ก ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ
- ข. นิยมใช้ในการหล่อ โลหะนอกกลุ่มเหล็ก ที่มีจุดหลอมเหลวสูง
- ค. ใช้ได้ทั้งโลหะ กลุ่มเหล็ก และ โลหะนอกกลุ่มเหล็ก
- ง. ใช้ได้เฉพาะ โลหะในกลุ่มเหล็กเท่านั้น

8. การหล่อแบบถาวรเบื้องต้น

9. การหล่อแบบอ่างเย็น

10. การหล่อแบบอ่างร้อน



# บทที่ 7

## การขึ้นรูปด้วยโลหะผง

### แนวคิดสำคัญ

โลหะผง ถือเป็นเทคโนโลยีด้านวัสดุที่สำคัญในกระบวนการผลิตด้านวิศวกรรมในปัจจุบัน โดยเฉพาะกระบวนการผลิตชิ้นส่วนสำคัญๆ ที่ต้องการความแม่นยำและเที่ยงตรงสูง มักจะใช้โลหะผงเป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ซึ่งข้อดีของการขึ้นรูปด้วยโลหะผง คือจะสามารถผลิตได้อย่างรวดเร็ว เที่ยงตรง และไม่มีเศษวัสดุ ดังนั้นในการศึกษากรรมวิธีการผลิตที่เกี่ยวข้องกับงานโลหะจึงต้องศึกษากรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนที่ได้จากโลหะผงด้วย

### หัวข้อเรื่อง

1. บทนำ
2. การผลิตโลหะผง
3. การผสมโลหะผง
4. การขึ้นรูปโลหะผง
5. การอบผลึก
6. วิธีปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นงานโลหะผง

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. บอกหลักการการผลิตโลหะผงได้
2. อธิบายหลักการผสมโลหะผงได้
3. อธิบายหลักการการขึ้นรูปโลหะผงได้
4. บอกหลักการการอบผลึกได้
5. บอกวิธีปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นงานโลหะผงได้

## 7.1 บทนำ

กรรมวิธีการผลิตชิ้นงานจากโลหะผง เป็นการนำเอาผงโลหะมาผลิตเป็นชิ้นงานด้วยการอัดขึ้นรูปให้ได้รูปร่างตามต้องการโดยใช้กระบวนการทางความร้อนหรืออาจไม่ใช้ก็ได้ ผงโลหะที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานชนิดหนึ่งนั้นจะประกอบด้วยโลหะผงหลายชนิดบางครั้งอาจต้องเพิ่มผงของวัสดุที่อยู่นอกกลุ่มโลหะ (Nonmetallic Powder) ลงไปด้วยเพื่อใช้เป็นสารยึด ทำให้ผงโลหะยึดติดกันดียิ่งขึ้น เช่น ใช้ผงโคบอลต์เป็นสารยึด ผงทังสเตนคาร์ไบด์ การผสมผงกราไฟต์ลงไปในโลหะผงที่ใช้ทำแบร็ง (Bearing) เพื่อเพิ่มสมบัติในการหล่อลื่น เป็นต้น

โลหะผงจะมีราคาสูงกว่าโลหะแท่ง ทั้งนี้เพราะโลหะผงต้องผ่านกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนกว่า ประกอบกับการนำโลหะผงมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงานนั้นต้องใช้เครื่องจักรและแบบดายที่มีราคาแพง ดังนั้น ชิ้นงานที่ผลิตขึ้นด้วยวิธีนี้มักมีราคาแพง จึงเหมาะที่จะใช้เฉพาะในกรณีที่การผลิตมีปริมาณมาก และใช้วิธีอื่นไม่ได้จริง ๆ

สำหรับกรรมวิธีการผลิตชิ้นงานจากโลหะผง เราอาจจะแยกชิ้นการทำงานตามกรรมวิธีโลหะผง ออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนผลิตโลหะผง 2) ขั้นตอนผสมผงโลหะให้เข้ากัน 3) การขึ้นรูปโลหะผงในแบบตามรูปร่างที่ต้องการ 4) อบโลหะผงที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมตัว (Sintering)

## 7.2 การผลิตโลหะผง

โลหะทุกชนิดสามารถทำให้เป็นผงได้ แต่มีโลหะบางชนิดเท่านั้นที่ให้ประโยชน์และสามารถนำมาอัดขึ้นรูปได้ดี โลหะส่วนใหญ่ที่นำมาแปรรูปโดยวิธีนี้ได้แก่ เหล็ก ทองแดง และบรอนซ์

ผงโลหะทุกชนิดจะมีลักษณะของสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ประจำตัวของมันเอง ส่วนคุณลักษณะทางด้านการผลิตนั้นต่างกันออกไป ดังนั้นการที่จะนำผงโลหะดังกล่าวมาใช้งานได้อย่างกว้างขวางนั้น จึงได้มีวิธีการผลิตโลหะผงหลายๆ วิธี กรรมวิธีในการผลิตโลหะผงที่นิยมมี 3 วิธีด้วยกัน คือ กรรมวิธีทางกล, กรรมวิธีทางกายภาพ และกรรมวิธีทางเคมี

### 7.2.1 กรรมวิธีทางกล

กรรมวิธีทางกล สามารถทำได้ 5 วิธีด้วยกันคือ

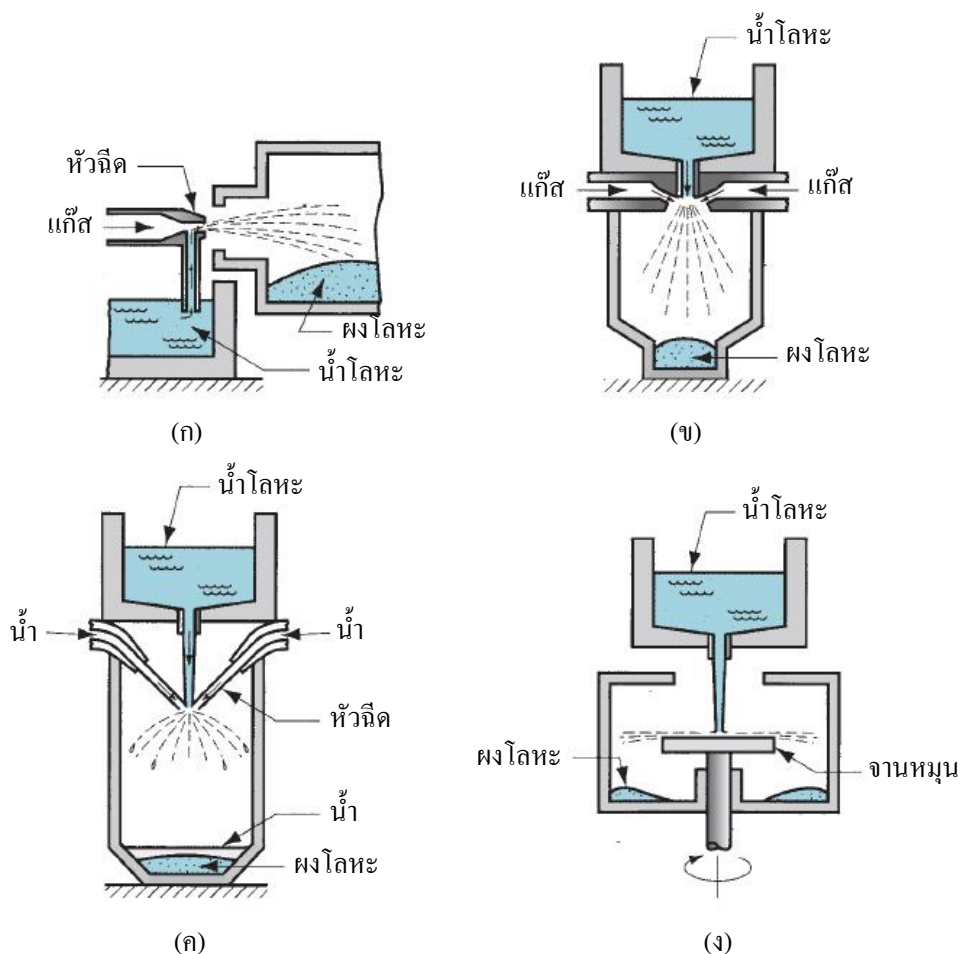
**7.2.1.1 Machining** เป็นกรรมวิธีการใช้เครื่องกัดให้เป็นเศษเล็กๆ จากโลหะและโลหะผสมต่างๆ บางทีก็ใช้ลูกบอลกดอัด หรือใช้เครื่องกลึง

**7.2.1.2 Milling** เป็นกรรมวิธีผลิตผงโลหะ โดยการบด หรือการขูด โลหะที่มีความเปราะส่วนมากจะใช้วิธีนี้

**7.2.1.3 Shotting** วิธีนี้ต้องทำโลหะให้เป็นโลหะเหลวเสียก่อน แล้วพ่นน้ำโลหะหลอมเหลวดังกล่าวผ่านตะแกรงทนความร้อนที่มีรูเล็กๆ ลงไปในน้ำ วิธีนี้ใช้กับเหล็กเกือบทุกชนิด

**7.2.1.4 Granulation** เป็นกรรมวิธีที่นำโลหะที่หลอมเหลวมาเทใส่ภาชนะแล้วควนอย่างรวดเร็ว โดยใช้ความเร็วสูง โลหะที่ถูกควนก็จะแยกตัวออกมาเป็นอิสระจนกระทั่งแข็งตัว แต่เป็นวิธีที่ไม่ค่อยนิยมมากนักในปัจจุบัน

**7.2.1.5 Atomization** เป็นกรรมวิธีที่เรียกว่า การพ่นเม็ดโลหะ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการพ่นน้ำโลหะให้ตกลงมาเป็นผงในสภาพของแข็ง สามารถกระทำได้ดีกับโลหะทุกชนิด ลักษณะการพ่นทำได้หลายวิธีดังภาพที่ 7.1 โดย (ก) คือ การใช้แก๊สเป่าด้วยความเร็วสูง (ข) คือ น้ำโลหะตกลงมาด้วยแรงดึงดูดของโลก ผ่านหัวฉีดลงมาด้วยแรงพ่นของอากาศ (ค) คล้าย (ข) แต่ฉีดด้วยน้ำแทนอากาศ และ (ง) ปลอ่ยน้ำโลหะตกลงมาบนจานหมุน



ภาพที่ 7.1 ลักษณะการพ่นน้ำโลหะ

## 7.2.2 กรรมวิธีทางกายภาพ

Electrolytic Deposition Process คือ วิธีแตกตัวของโลหะด้วยไฟฟ้า โดยมากใช้กับโลหะที่บริสุทธิ์ กรรมวิธีนี้หากกล่าวโดยสังเขป พอจะสรุปได้ดังนี้ สมมุติว่าต้องการให้เหล็กแตกตัวก็นำแผ่น



เหล็กแขวนไว้ทางซ้ายบวกละทางขวาใช้แผ่นสแตนเลสแขวนไว้ เมื่อปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงผ่านไปประมาณ 48 ชั่วโมง แผ่นเหล็กทางซ้ายจะแตกตัวมาเกาะที่ขั้วลบหนาประมาณ 3/32 นิ้ว เมื่อนำตะกอนของเหล็กนั้นมาล้าง มากรองด้วยตะแกรงจึงจะได้ผงโลหะ แต่ผงโลหะที่ได้จะเปราะจึงจำเป็นต้องนำผงโลหะดังกล่าวไปอบอ่อนเสียก่อนจึงจะนำไปใช้

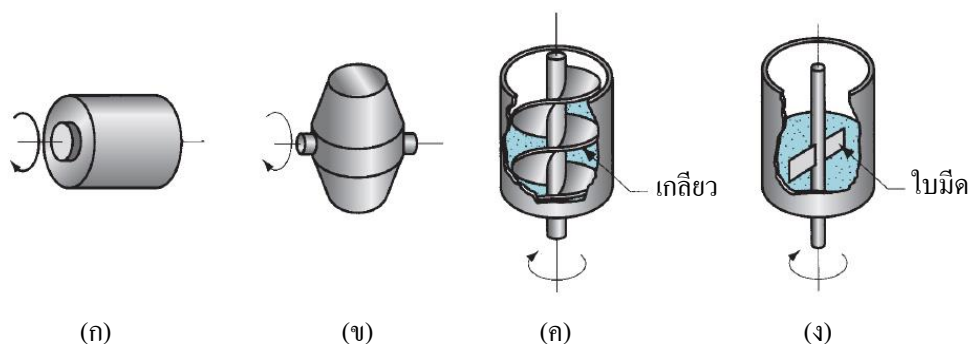
### 7.2.3 กรรมวิธีทางเคมี

กรรมวิธีนี้จะเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยสารประกอบโลหะ โดยการลดออกไซด์ เป็นผลให้โลหะถูกปลดปล่อยให้เป็นอิสระ จากนั้นลดขนาดให้แตกแยกย่อยเป็นผง

## 7.3 การผสมโลหะผง

การผสมโลหะผง (Blending) ก่อนการนำไปขึ้นรูปมีวัตถุประสงค์เพื่อให้โลหะผงจะได้มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ เพิ่มสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากโลหะผง และนำตัวหล่อลื่นมาผสมเพื่อลดความฝืด

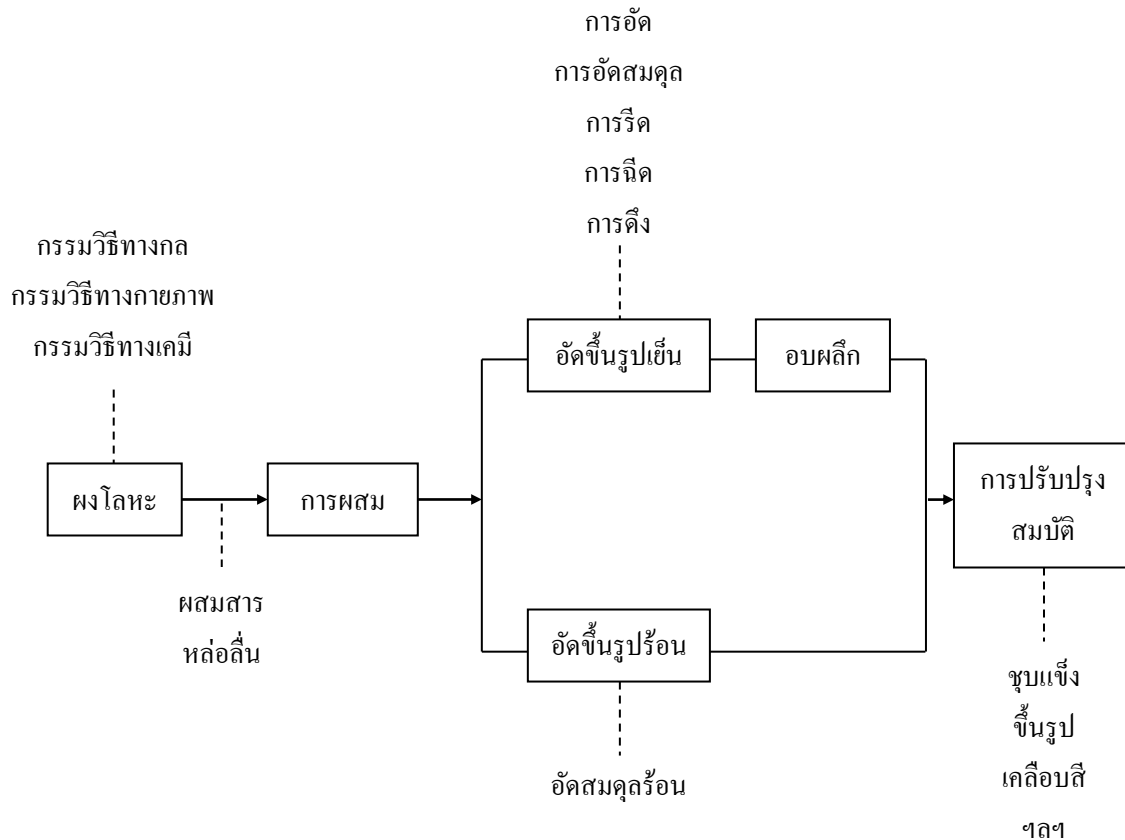
ตัวอย่างถึงหมุนที่ใช้ในการผสม ดังภาพที่ 7.2 (ก) ถึงทรงกระบอกหมุน (ข) ถึงทรงกระบอกภายในมีสกรูหมุน (ค) ถึงทรงกรวยหัวท้ายหมุน และ (ง) ถึงทรงกระบอกภายในมีใบมีดกวาดหมุน



ภาพที่ 7.2 ตัวอย่างถึงหมุนที่ใช้ในการผสม

## 7.4 การขึ้นรูปโลหะผง

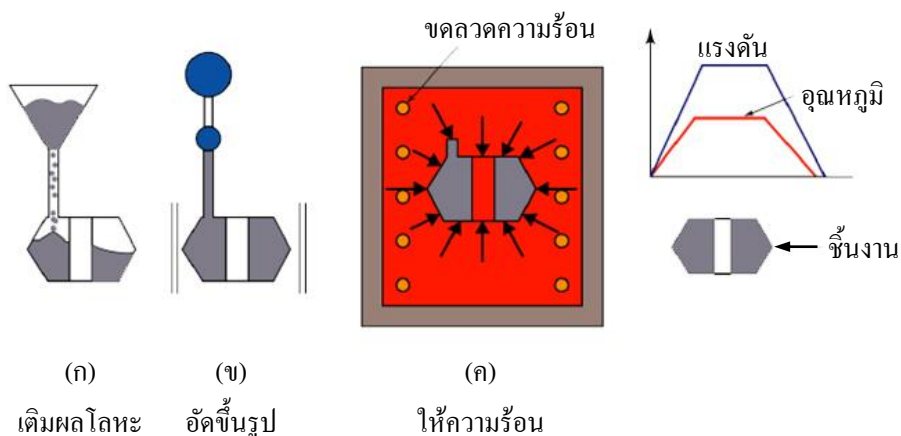
การขึ้นรูปโลหะผง เป็นการอัดผงโลหะเข้าไปในแบบ หรือเรียกว่าการอัดขึ้นรูป (Compaction) ซึ่งกระบวนการนี้นิยมกระทำใน 2 ลักษณะ คือ การอัดขึ้นรูปร้อน (Hot Compaction) และการอัดขึ้นรูปเย็น (Cold Compaction) ดังภาพที่ 7.3



ภาพที่ 7.3 กรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะผง

### 7.4.1 การอัดขึ้นรูปร้อน

การอัดขึ้นรูปร้อน (Hot Compaction) เป็นการอัดขึ้นรูปโลหะผงโดยใช้ความร้อน ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า การอัดสมดุคร้อน (Hot Isostatic Pressing) หรือ HIP โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 1,100 °C และความดันจากก๊าซเฉื่อยประมาณ 100 MPa วิธีการนี้จะทำให้การยึดเกาะของอนุภาคคุณสมบัติทางกล และความหนาแน่นสม่ำเสมอดี ดังภาพที่ 7.4



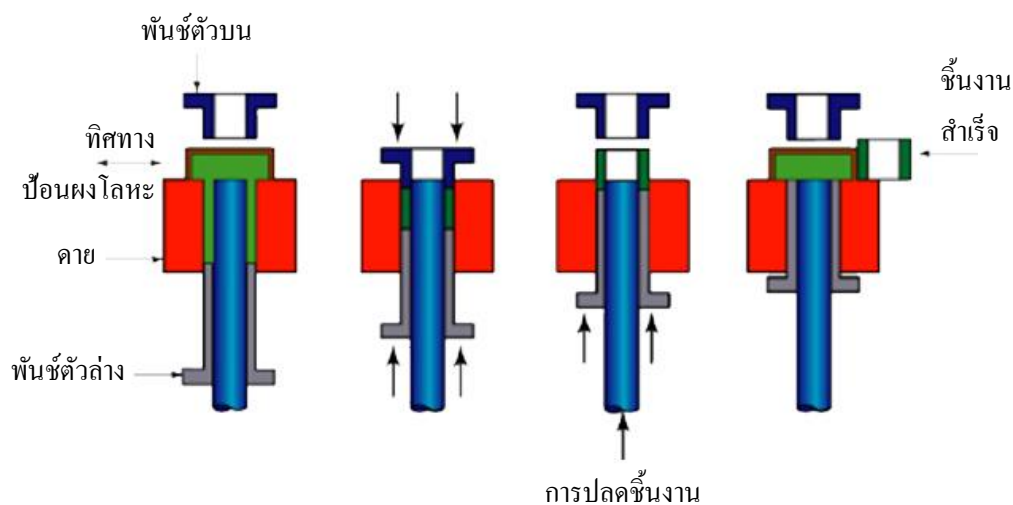
ภาพที่ 7.4 การอัดขึ้นรูปผงแบบการอัดสมดุคร้อน

## 7.4.2 การอัดขึ้นรูปเย็น

การอัดขึ้นรูปเย็น (Cold Compaction) เป็นการอัดขึ้นรูปโลหะผงโดยใช้การใช้แรงในการอัดที่สูง ซึ่งวิธีการนี้มีวิธีการหลายรูปแบบ คือ การอัด (Pressing) การอัดสมมูลเย็น (Cold Isostatic Pressing) หรือ CIP การรีดขึ้นรูปโลหะผง (Rolling) การดันขึ้นรูปโลหะผง (Extrusion) การตีขึ้นรูปโลหะผง (Forging) และการฉีดขึ้นรูปโลหะผง (Injection Molding)

### 7.4.2.1 การอัด

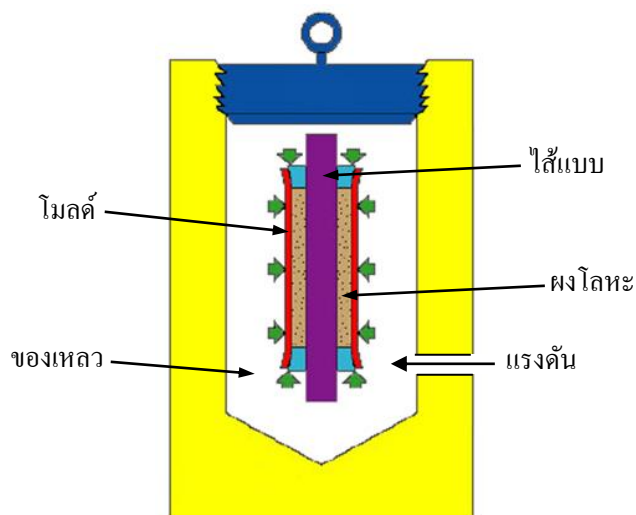
การอัด (Pressing) ผงโลหะจะถูกนำไปอัดในแบบคายนซึ่งจะทำมาจากเหล็กกล้าภายใต้ความดันประมาณ 14 - 1400 MPa ผงโลหะอ่อนสามารถอัดได้อย่างรวดเร็วและไม่ต้องใช้ความดันสูงมากนัก แต่ถ้าเป็นผงโลหะแข็งกระบวนการจะช้าลงและต้องใช้ความดันสูง ความหนาแน่นและความแข็งของชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับ ความดันที่ใช้ในขณะเดียวกันค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตจะสูงขึ้นตามค่าความดันที่ใช้ด้วย ความหนาแน่นสุดท้ายของชิ้นงานที่ได้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความดัน การอัดผงโลหะให้เป็นชิ้นงานทำได้หลายวิธี เช่น การใช้หัวตอกเจาะ (Punch) และแบบคายน (Die) ดังแสดงในภาพที่ 7.5



ภาพที่ 7.5 การอัด

### 7.4.2.2 การอัดสมมูลเย็น

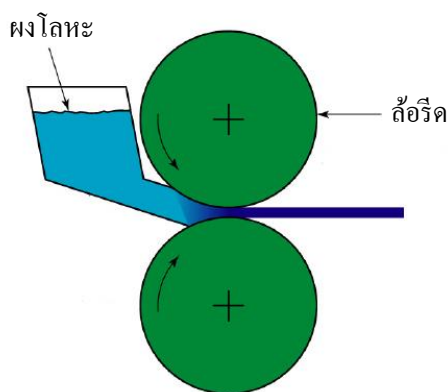
การอัดสมมูลเย็น (Cold Isostatic Pressing) หรือ CIP เป็นการขึ้นรูปโดยที่ผงโลหะอยู่ในวัสดุที่มีความยืดหยุ่น เช่น ยาง พีวีซี ยูรีเทน เป็นต้น ดังภาพที่ 7.6 จากนั้นอัดด้วยแรงดันของๆ ไหลประมาณ 400 ถึง 1,000 MPa วิธีนี้มีข้อดีคือค่าใช้จ่ายต่ำ และความหนาแน่นสม่ำเสมอ



ภาพที่ 7.6 การอัดสมกุลเย็น

#### 7.4.2.3 การรีดขึ้นรูปโลหะผง

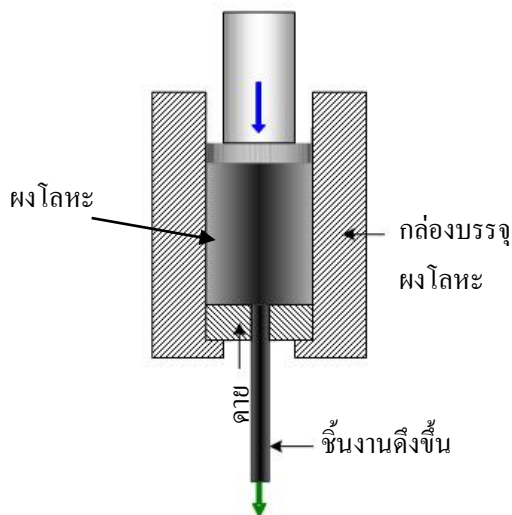
การรีดขึ้นรูปโลหะผง (Rolling) ผงโลหะถูกนำมาบังคับให้เคลื่อนตัวผ่านช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ดังแสดงในภาพที่ 7.7 จากนั้น จะถูกลูกกลิ้งรีดออกมาเป็นเส้นยาวหรือเป็นแผ่นบางในอัตราความเร็วประมาณ 0.5 เมตรต่อวินาที กระบวนการนี้อาจกระทำที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิสูงกว่าได้ วิธีการนี้นิยมใช้ในการผลิตโลหะแผ่นบางสำหรับงานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 7.7 การรีดขึ้นรูปโลหะผง

#### 7.4.2.4 การดันขึ้นรูปโลหะผง

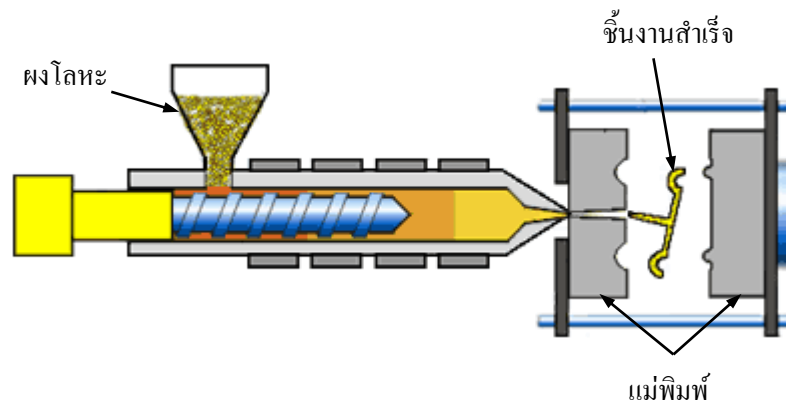
การดันขึ้นรูปโลหะผง (Extrusion) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมแพร่หลายมาก โดยการนำผงโลหะใส่ภาชนะที่อยู่ในสถานะสุญญากาศที่ให้ความร้อน แล้วดันผงโลหะผ่านแม่พิมพ์จนได้ชิ้นงานตามต้องการ ดังภาพที่ 7.8



ภาพที่ 7.8 การดันขึ้นรูปโลหะผง

#### 7.4.2.5 การฉีดขึ้นรูปโลหะผง

การฉีดขึ้นรูปโลหะผง (Injection Molding) เป็นการนำผงโลหะมาผ่านความร้อนแล้วฉีดขึ้นรูปในแม่พิมพ์ ดังภาพที่ 7.9 ในกระบวนการนี้นอกจากจะมีผงโลหะแล้วยังมีส่วนผสมของโพลีเมอร์อยู่ตั้งแต่ 50% ถึง 85% (โดยปริมาณ)



ภาพที่ 7.9 การฉีดขึ้นรูปโลหะผง

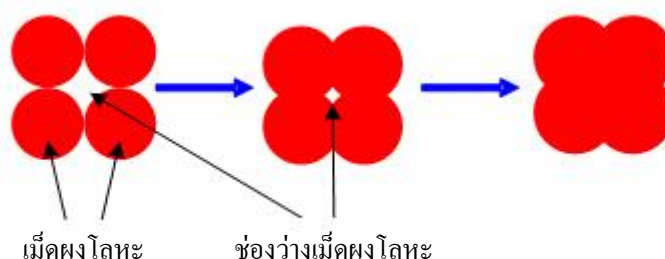
### 7.5 การอบผลึก

การอบผลึก (Sintering) หรือการอบโลหะผงที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมตัว เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน วิธีนี้ทำให้ผงโลหะนั้นติดกันด้วยการยึดเหนี่ยวของแรง โดยชิ้นงานที่ผ่านการอัดมาแล้วต้องให้ความร้อนเข้าสู่ในชิ้นงานนี้ให้มาก เพื่อจะได้ดึงให้ชิ้นส่วนนี้ยึดติดกันได้ดีขึ้น สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบนี้ต้องต่ำกว่าจุดหลอมละลายของผงโลหะนั้นๆ ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 อุณหภูมิและเวลาในการอบยัดโลหะแต่ละชนิด

วัสดุ	อุณหภูมิ (C°)	เวลา (นาที)
ทองแดง , ทองเหลือง , บรอนซ์	760-900	10-45
เหล็ก และเหล็ก-กราไฟต์	1,000-1,150	8-45
นิกเกิล	1,000-1,150	30-45
สแตนเลส	1,100-1,290	30-60
Alnico (โลหะผสมระหว่าง Fe , Ni , Al , Co)	1,200-1,300	120-150
เฟอร์ไรท์	1,200-1,500	10-600
ทังสเตนคาร์ไบด์	1,430-1,500	20-30
โมลิบดีนัม	2,050	120
ทังสเตน	2,350	480
แทนทาลัม	2,400	480

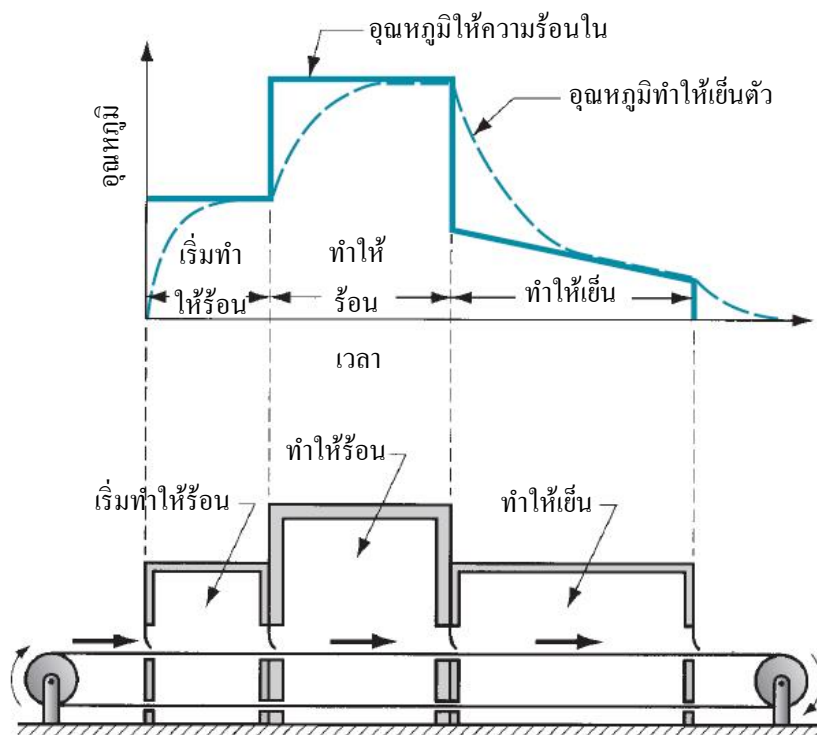
การทำ Sintering จะทำให้รูพรุนหรือช่องว่างภายในชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนย้ายอะตอมของโลหะ ดังแสดงในภาพที่ 7.10



ภาพที่ 7.10 แสดงตัวอย่างอะตอมก่อนและหลังทำ Sintering

จากตารางที่ 7.1 จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบยัดโลหะบางชนิดอยู่ในช่วงที่สามารถใช้เตาอบสำหรับงานอุตสาหกรรมทั่วไปที่มีขายในท้องตลาดได้ แต่โลหะบางชนิดต้องใช้อุณหภูมิสูงมาก ส่วนในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการอบยัดนั้นก็ยังมีตั้งแต่ใช้เวลาน้อย ๆ คือใช้เวลาประมาณ 10 – 45 นาที สำหรับโลหะในกลุ่มเหล็กและโลหะในกลุ่มทองแดง แต่การอบยัดโลหะบางชนิดต้องใช้เวลาานหลายชั่วโมง เช่น ทังสเตน และแทนทาลัม (Tantalum) เป็นต้น

เตาอบที่ใช้ในการอบยัดชิ้นงานที่ทำจากโลหะผงนั้นมีอยู่หลายแบบ แต่ในปัจจุบันนี้ถ้าเป็นการผลิตที่มีปริมาณมากๆ จะนิยมใช้เตาอบแบบต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 7.11



ภาพที่ 7.11 แสดงเตาอบที่ใช้ทำ Sintering

## 7.6 วิธีปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นงานโลหะผง

ชิ้นงานที่แล้วเสร็จจากกระบวนการอบผลึกโดยสมบูรณ์แล้วนั้น อาจยังมีคุณสมบัติพื้นฐานด้านความแข็งแรง ความเหนียว หรือยังมีการรับแรงได้ต่ำ จำเป็นต้องนำมาปรับปรุงพัฒนาให้มีคุณสมบัติต่อการใช้งานได้สูงขึ้น ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี กล่าวคือ

**7.6.1 โดยการชุบแข็ง** ในกรณีเป็นชิ้นงานโลหะเหล็กซินเตอร์จะทำการจุ่มอบคาร์บอน (Carburization) ในอ่างผงถ่าน เพื่อทำให้ผิวแข็ง โดยจะกระทำกับชิ้นงานที่มีความหนาแน่นสูง จากนั้นนำชิ้นงานนั้นไปผ่านวิธีชุบแข็งอีกครั้งหนึ่ง

**7.6.2 โดยการอบด้วยไอน้ำ** โดยการนำชิ้นงานประเภทโลหะเหล็กซินเตอร์ เข้าในระบบไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง ประมาณ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 - 2 ชั่วโมง ซึ่งจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิวงาน เป็นการเพิ่มความแข็งแรงของผิว และทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดีขึ้น

**7.6.3 โดยกรรมวิธีกัลวาไนซิง (Galvanizing)** ในกรณีที่เป็เหล็กกล้าซินเตอร์ และมีค่าความหนาแน่น สูงถึง 7.2 กก/ดม<sup>3</sup> จะนำชิ้นงานจุ่มลงในอ่างของเหลว จะทำให้เกิดการแทรกซึมของของเหลวเข้าไปในเนื้อพูน ทำให้สามารถทนการกัดกร่อน การเสียดสีได้มากขึ้น

**7.6.4 โดยวิธีการอินฟิเทรชัน (Infiltration)** เป็นวิธีการจุ่มชิ้นงานโลหะซินเตอร์ลงในของเหลว ของโลหะ ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ หรือในเรซินของพลาสติก หรือโดยการนำชิ้นงานโลหะเหล็ก

ซินเตอร์ที่มีสภาพ พอรุนประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ จุ่มลงสารน้ำมัน จะได้ชิ้นงานที่มีสภาพเหมาะสมเป็นวัสดุ  
แข็ง มีค่าความเหนียว มากขึ้น แต่วิธีนี้จะทำให้ขนาดของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงได้บ้างเล็กน้อย

## สรุปสาระสำคัญ

กรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนจากโลหะผง เป็นการนำเอาผงโลหะมาผลิตเป็นชิ้นงานด้วยการอัดขึ้น  
รูปให้ได้รูปร่างตามต้องการ แล้วใช้กระบวนการทางความร้อนให้ผงโลหะละลายติดกัน ผงโลหะที่ใช้  
ในการผลิตชิ้นส่วน ประกอบด้วยโลหะผงหลายชนิด เช่น ผงโคบอลต์ ผงทังสเตนคาร์ไบด์ ผงโลหะ  
เหล็ก ผงกราไฟต์ ผงทองเหลือง เป็นต้น

กรรมวิธีการผลิตชิ้นงานจากโลหะผง เราสามารถแยกชิ้นการทำงานตามกรรมวิธีโลหะผง  
ออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนผลิตโลหะผง 2) ขั้นตอนผสมผงโลหะให้เข้ากัน 3) การขึ้นรูปโลหะผงในแบบตาม  
รูปร่างที่ต้องการ 4) อบโลหะผงที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมตัว (Sintering)



# แบบฝึกหัดบทที่ 7

## การขึ้นรูปด้วยโลหะผง

---

คำสั่ง จงตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์

1. สาเหตุใดจึงต้องผลิตชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ด้วยโลหะผง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Atomization หมายถึงกรรมวิธีใด

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. กระบวนการขึ้นรูปโลหะผง เป็นการอัดผงโลหะเข้าไปในแบบ หรือเรียกว่าการอัดขึ้นรูป (Compaction) นิยมกระทำกี่แบบ อะไรบ้าง

.....

.....

.....

.....

.....

4. การอัดขึ้นรูปร้อน (Hot Compaction) และการอัดขึ้นรูปเย็น (Cold Compaction) แตกต่างกันอย่างไรร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. กระบวนการ Sintering หมายถึง

.....

.....

.....

.....

6. วิธีปรับปรุงชิ้นส่วนที่ผลิตจากโลหะผงให้มีคุณสมบัติต่อการใช้งานได้สูงขึ้น ประกอบด้วยวิธีใดบ้าง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## แบบฝึกทดสอบบทที่ 7

### การขึ้นรูปด้วยโลหะผง

คำสั่ง จากโจทย์ที่กำหนดให้ จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. กรรมวิธีการผลิต ผงโลหะวิธีใดที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

ก. Machining

ข. Shotting

ค. Granulation

ง. Atomization

2. กรรมวิธีการขึ้นรูปผงโลหะนิยมขึ้นรูปในลักษณะใด

ก. ทูบขึ้นรูป

ข. อัดขึ้นรูป

ค. ดึงขึ้นรูป

ง. ถูกทุกข้อ

จากคำตอบที่กำหนดให้ จงตอบคำถามในข้อ 3-6

ก. การอัดผสมคูลเย็น

ข. การอัดผสมคูลร้อน

ค. การรีดขึ้นรูป

ง. การอัดขึ้นรูป

3. ข้อใดคือกระบวนการอัดขึ้นรูปโลหะโดยใช้ความร้อน

4. ข้อใดคือกระบวนการขึ้นรูปโลหะผงโดยบังคับผงโลหะที่อยู่ในวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง

5. ข้อใดคือการขึ้นรูปผงโลหะโดยบังคับผงโลหะให้เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง

6. ข้อใดคือการขึ้นรูปผงโลหะโดยการอัดผ่านแม่พิมพ์

7. กรรมวิธีใดในการขึ้นรูปผงโลหะที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการ Sintering

ก. การอัดผสมคูลร้อน

ข. การอัดผสมคูลเย็น

ค. การรีดขึ้นรูป

ง. การฉีดขึ้นรูป

8. กระบวนการ Sintering หมายถึงกระบวนการใด

ก. การเคลือบผิวโลหะผง

ข. การชุบผิวแข็งโลหะผง

ค. การปรับปรุงคุณสมบัติของความร้อนของโลหะผง

ง. การอบผลึกโลหะผง

9. อุณหภูมิในการอบผลึกโลหะผง คือข้อใด

ก. สูงกว่าอุณหภูมิห้อง

ข. ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

ค. ต่ำกว่าจุดหลอมละลายของผงโลหะ

ง. สูงกว่าจุดหลอมละลายของผงโลหะ

10. การอบผลึกโลหะผงเพื่อประโยชน์ใด

ก. เพื่อใช้ผงโลหะมีความหนาแน่นสม่ำเสมอ

ข. เพื่อให้ผงโลหะนั้นยึดติดกันได้ดีขึ้น

ค. เพื่อให้ผงโลหะมีราคาสูงขึ้น

ง. ถูกทุกข้อ



# บทที่ 8

## การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้าและทางเคมี

### แนวคิดสำคัญ

กรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีทางไฟฟ้าและทางเคมีเป็นกรรมวิธีการผลิตแบบไม่เสียหายหรือแบบไม่คายเศษวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในการผลิตงานที่ต้องการความถูกต้อง แม่นยำสูง สามารถผลิตงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้านี้จะใช้กระแสไฟฟ้าเป็นเป็นตัวทำให้เกิดการกัดเซาะจนทำให้วัสดุส่วนนั้นหลอมละลายไปและเหลือเป็นชิ้นงานที่ต้องการ ส่วนการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางเคมี จะเป็นการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีที่มีความสามารถในการกัดกร่อนวัสดุชิ้นงานนั้น

ในการศึกษากรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้าและทางเคมีนั้น ผู้เรียนจะต้องศึกษาหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้สามารถเลือกใช้กรรมวิธีการผลิตให้เหมาะสมกับชิ้นงาน

### หัวข้อเรื่อง

1. บทนำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า
2. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยแท่งอิเล็กโตรด
3. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้า
4. บทนำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางเคมี
5. กระบวนการกัดกร่อนด้วยสารเคมี
8. กระบวนการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าเคมี

### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

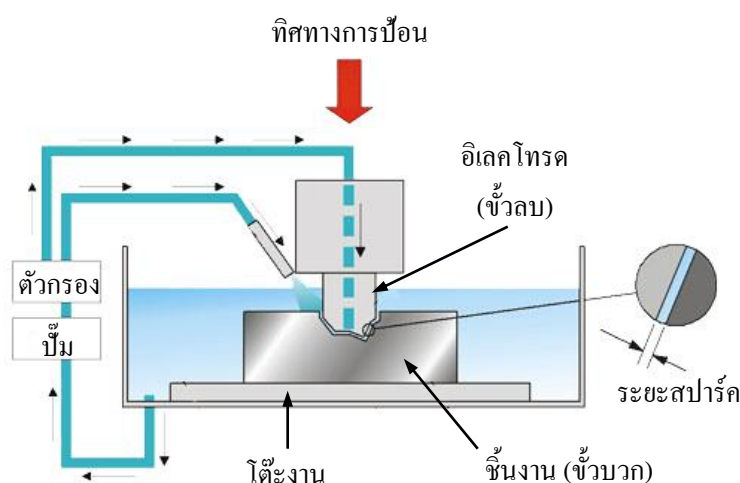
1. บอกหลักการของกระบวนการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยแท่งอิเล็กโตรดได้ถูกต้อง
2. บอกหลักการของกระบวนการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้าได้ถูกต้อง
3. บอกหลักการของกระบวนการกัดกร่อนด้วยสารเคมีได้ถูกต้อง
4. บอกหลักการของกระบวนการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าเคมีได้ถูกต้อง

## 8.1 บทนำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า

การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า หรือกรรมวิธีการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยตัวนำไฟฟ้า เป็นกรรมวิธีการผลิตที่นำมาเพื่อกำจัดเนื้อวัสดุออกด้วยเทคนิคพิเศษต่างๆ อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งอยู่ในกลุ่มของกรรมวิธีการผลิตแบบไม่คายเศษ (Non-Traditional Machining : NTM) โดยการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้าเป็นการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยตัวนำไฟฟ้าที่กระทำกับส่วนหนึ่งส่วนใดของชิ้นงาน จนทำให้วัสดุส่วนนั้นหลอมละลายไปและเหลือเป็นชิ้นงานที่ต้องการเท่านั้น โดยกระบวนการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยตัวนำไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยอิเล็กโตรด (Electric Discharge Machining : EDM) และการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้า (Wire Electric Discharge Machining : Wire EDM)

## 8.2 การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยแท่งอิเล็กโตรด

การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยแท่งอิเล็กโตรด (Electrical Discharge Machining : EDM) ใช้หลักการสปาร์คของกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ผ่านช่องว่างที่เรียกว่า Interelectrode Gap เพื่อให้โลหะเกิดการหลอมละลายและหลุดออกไปจากผิวชิ้นงาน และเพื่อให้การสปาร์คเกิดขึ้นได้ จะต้องมีสารละลายที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้า หรือสารละลาย Dielectric มาหล่อเลี้ยงบริเวณที่เกิดการสปาร์คขึ้นในการสปาร์คของกระแสไฟฟ้านี้ จะทำให้เกิดหลุมขนาดเล็ก (Crater) ขึ้นเป็นจุดๆ และเมื่อการสปาร์คเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก หลุมก็จะกลายเป็นช่องที่ถูกสปาร์คให้หลอมละลายไป กลไกการกำจัดเศษวัสดุประเภทนี้จัดเป็นประเภทที่เรียกว่า Spark Erosion ดังภาพที่ 8.1



ภาพที่ 8.1 หลักการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยอิเล็กโตรด

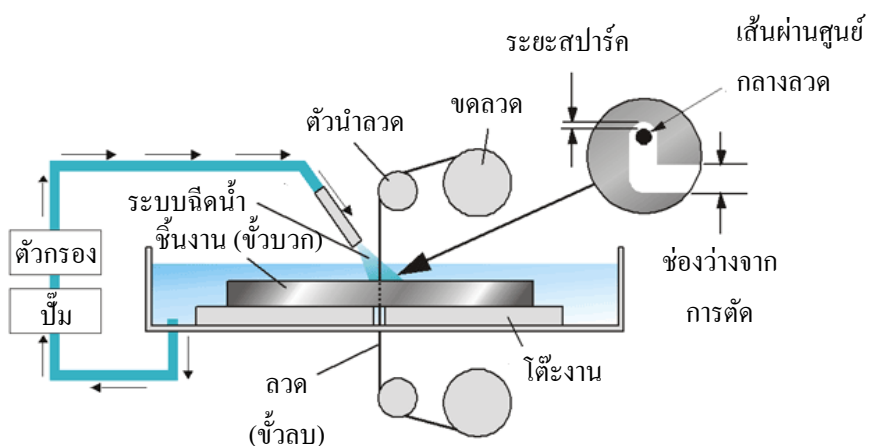


ภาพที่ 8.2 เครื่องกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยอิเล็กโตรด

การประยุกต์ใช้งานด้วยกรรมวิธีนี้นิยมใช้ในการทำเครื่องมือในขั้นตอนการผลิตอื่นๆ เช่น แบบหล่อ (Mold) สำหรับทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก แบบหล่องานอัดรีด ดึงขึ้นรูป หรือแม่พิมพ์ตีอัด ในการทำแผ่นโลหะ เป็นต้น นอกจากนี้ก็อาจนำมาผลิตเป็นชิ้นงานผลิตภัณฑ์ เช่น การทำชิ้นงานบอบบางที่ใช้การผลิตโดยวิธีทั่วไปไม่ได้ การเจาะรูหรือช่องในชิ้นงานซับซ้อน หรือแม้แต่การปฏิบัติงานสำหรับวัสดุแข็งหรือมีคุณสมบัติเฉพาะตัวอื่นๆ ที่การใช้กรรมวิธีโดยทั่วไปไม่สามารถทำได้ตามความต้องการ

### 8.3 การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้า

การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้า (Wire Electric Discharge Machining : Wire EDM) เป็นระบบในอีกรูปแบบหนึ่งที่ใช้หลักการเช่นเดียวกับ EDM เป็นการนำเอาเส้นลวดไฟฟ้ามาใช้เป็นอิเล็กโตรดเพื่อทำหน้าที่ในการสปาร์คชิ้นงาน ลวดที่นำมาใช้ส่วนใหญ่จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.002 ถึง 0.01 นิ้ว และมีความคาบเคลื่อนไม่เกิน 0.0002 นิ้ว กรรมวิธีมักถูกนำไปใช้ในการทำแบบหล่อ หรืออุปกรณ์งานขึ้นรูปเช่นกัน รวมไปถึงการทำชิ้นงานที่ต้องการขอบงานที่ซับซ้อน มีรัศมีของมุมขนาดเล็ก หรือการทำโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายกับงานฉลุ เป็นต้น ดังภาพที่ 8.3



ภาพที่ 8.3 หลักการการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้า



ภาพที่ 8.4 เครื่องกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้า

การประยุกต์ใช้กรรมวิธีการผลิตนี้เหมาะสำหรับการทำชุดเครื่องมือในงานอัดขึ้นรูป (Stamping Die) เพราะต้องอาศัยความละเอียดอ่อนในการทำการตัดของและรูปทรงเฉพาะของส่วน Punch และ Die อาจนำไปใช้ในการทำเครื่องมืออื่นๆ ที่ต้องการทำขอบที่ซับซ้อนและต้องการความเที่ยงตรงสูง เช่น เครื่องมือที่นำไปใช้ในงานกลึง แบบแม่พิมพ์งานอัดฉีดขึ้นรูป หรือแบบพิมพ์แผ่น เป็นต้น

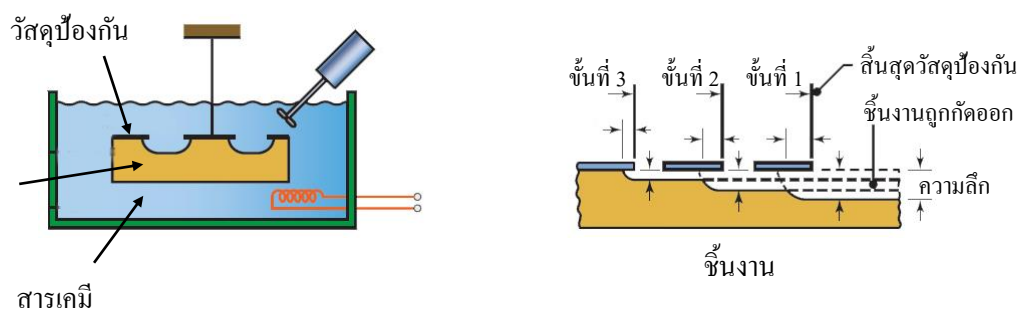
## 8.4 บทนำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางเคมี

การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางเคมี เป็นกรรมวิธีการผลิตที่นำมาเพื่อกำจัดเนื้อวัสดุออกด้วยเทคนิคพิเศษต่างๆ อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งอยู่ในกลุ่มของกรรมวิธีการผลิตแบบไม่คายเศษ (Non-Traditional Machining : NTM) โดยการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีที่มีความสามารถในการกัดกร่อน (Chemical Enchants) วัสดุชิ้นงานนั้นได้โดยเป็นการควบคุมการกัดเฉพาะจุด ซึ่งให้วัสดุเริ่มต้นกลายมาเป็นชิ้นงานได้ ทั้งนี้ต้องมีส่วนปกคลุม (Mask) สำหรับพื้นที่บนชิ้นงานที่ไม่ต้องการให้เกิดการกัดกร่อนด้วย สำหรับกระบวนการกัดกร่อนด้วยสารเคมี ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้

## 8.5 กระบวนการกัดกร่อนด้วยสารเคมี

กระบวนการกัดกร่อนด้วยสารเคมี (Chemical Machining : CHM) เป็นระบบการกัดกร่อนที่ใช้วัสดุประเภทกรด (Etchant) กำจัดเศษวัสดุออกจากชิ้นงาน โดยเป็นการกัดเฉพาะจุด กลไกการกำจัดเศษก็คือปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดกับวัสดุของชิ้นงานนั้น ซึ่งจะเป็นผลให้เนื้อวัสดุเกิดการกัดกร่อนและละลายไปกับสารเคมีนั้น ขั้นตอนการปฏิบัติงานโดยทั่วไปของการกำจัดเศษวิธีนี้คือ การป้องกันบริเวณที่ไม่ต้องการให้ถูกกัดกร่อนด้วยวัสดุปกป้อง (Maskant) และนำชิ้นงานนี้ไปให้สัมผัสกับสารเคมีให้ส่วนที่ไม่ได้รับการปกป้องกันนั้นกัดกร่อนไปตามขนาดและปริมาณที่ต้องการ ดังภาพที่ 8.5



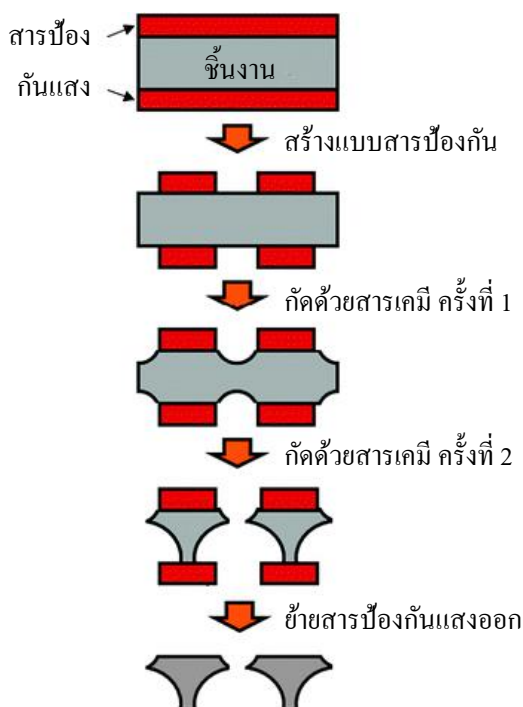


ภาพที่ 8.5 หลักการกัดกร่อนด้วยสารเคมี



ภาพที่ 8.6 การกัดกร่อนด้วยสารเคมี

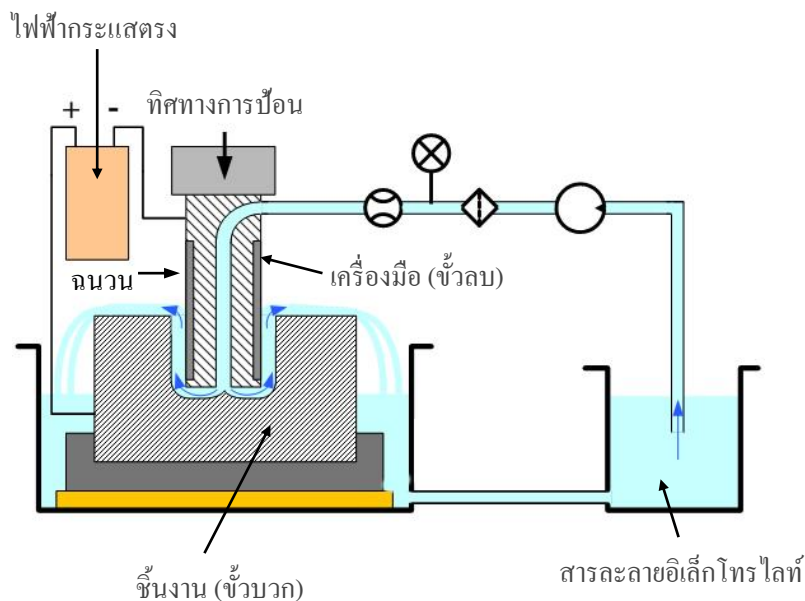
ขั้นตอนที่นิยมนำมาใช้ในการคลุมพื้นที่ที่ไม่ต้องการให้เกิดการกัดกร่อนนั้น คือการใช้ประโยชน์ของระบบรังสียูวี ซึ่งในระบบนี้จำเป็นต้องใช้สารกันแสงหรือ Photoresists เข้ามาใช้เสมือนเป็นหน้ากากให้กับบริเวณผิวชิ้นงานนั้น โดยสารกันแสงนี้จะนำไปคลุมให้ทั่วชิ้นงาน และเมื่อส่วนที่ใช้เป็นบริเวณกันกรดก็จะถูกฉายด้วยรังสียูวี ซึ่งด้วยคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารตัวนี้ เมื่อโดนรังสียูวี จะทำปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงจากของไหลเป็นของแข็งที่สามารถป้องกันการกัดกร่อนจากกรดที่ใช้ในการกัดกร่อนด้วยปฏิกิริยาเคมีได้ กระบวนการที่ใช้สารกันแสงและรังสียูวีนี้จะถูกเรียกว่าเป็น การกำจัดเศษแบบ Photochemical Machining (PCM) ดังภาพที่ 8.7



ภาพที่ 8.7 การกำจัดเศษแบบ Photochemical Machining

## 8.6 กระบวนการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าเคมี

กระบวนการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrochemical NTM Processes : ECM) เป็นกรรมวิธีที่ใช้ทั้งปฏิกิริยาไฟฟ้าและเคมีควบคู่กันเพื่อกำจัดเศษวัสดุ ซึ่งต้องมีสารละลาย Electrolyte เป็นสื่อกลางที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ และจำเป็นต้องมีการต่อขั้ววงจรไฟฟ้ากับชิ้นงานและเครื่องมือที่จะนำมาประกอบในการกำจัดเศษวัสดุ โดยจะต่อขั้วบวก (Anode) กับตัวชิ้นงาน และขั้วลบ (Cathode) ไว้ที่เครื่องมือ ทั้งนี้ชิ้นงานและชุดอุปกรณ์ต้องสามารถนำไฟฟ้าได้ ดังภาพที่ 8.8

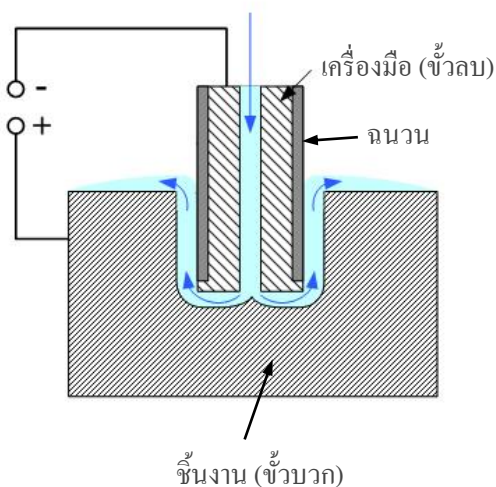


ภาพที่ 8.8 กระบวนการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าเคมี

นอกจากจะช่วยในการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีแล้ว สารละลาย Electrolyte ยังช่วยพาเศษวัสดุที่ถูกกัดกร่อนนั้นออกไปจากผิวชิ้นงานด้วยเช่นกันไม่ให้เศษวัสดุเกาะติดที่เครื่องมือซึ่งเป็นขั้วลบได้ ร่องที่เกิดจากการกัดกร่อนด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีนี้จะมีรูปร่างเป็นช่องลงไปตามลักษณะของชุดเครื่องมือและความเร็วในการกัดกร่อนขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนชิ้นงานกับชุดเครื่องมือและค่าตัวแปรของกระแสไฟฟ้าและสารละลาย สำหรับกระบวนการทำงานของ ECM มีดังนี้

### 8.8.1 กระบวนการเจาะรูขนาดเล็กด้วยไฟฟ้าเคมี

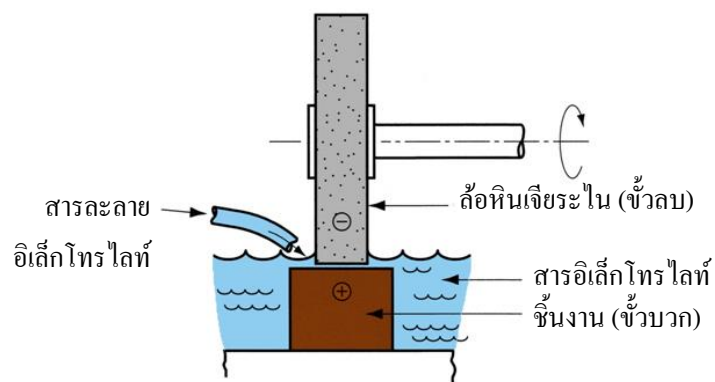
กระบวนการเจาะรูขนาดเล็กด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Hole Machining) เป็นกรรมวิธีที่พัฒนาเพื่อการเจาะรูหรือช่องขนาดเล็กที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น ในการเจาะรูระบายความร้อนสำหรับกังหันในเครื่องยนต์ต่างๆ ดังภาพที่ 8.9



ภาพที่ 8.9 การเจาะรูขนาดเล็กด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี

### 8.8.2 กระบวนการเจียรไนด้วยไฟฟ้าเคมี

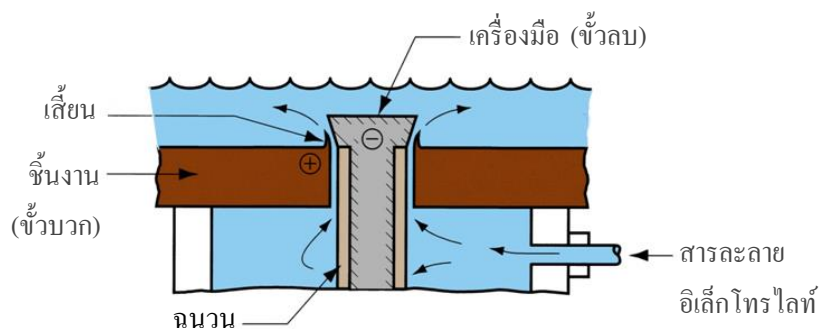
กระบวนการเจียรไนด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Grinding : ECG) เป็นการประยุกต์หลักทางไฟฟ้าเคมีเพื่องานเจียรไน โดยให้เกิดการกัดกร่อนขึ้นที่ชิ้นงานที่ถูกจับยึดไว้และชุดเจียรไนที่อยู่บนเป็นหมุน ดังภาพที่ 8.10



ภาพที่ 8.10 หลักการเจียรไนด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี

### 8.8.3 กระบวนการกำจัดเศษครีบด้วยไฟฟ้าเคมี

กระบวนการกำจัดเศษครีบด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Deburring : ECD) จะเป็นการประยุกต์ใช้ระบบ ECM เพื่อการกำจัดเศษครีบหรือขอบชิ้นงานที่ไม่เรียบตามรูเจาะต่างๆ ที่อาจเกิดจากงานเจาะจากกรรมวิธีการผลิตโดยทั่วไป ดังภาพที่ 8.11



ภาพที่ 8.11 หลักการกำจัดเศษกริปด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี

### สรุปสาระสำคัญ

การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า หรือกรรมวิธีการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยตัวนำไฟฟ้า เป็นกรรมวิธีการผลิตที่นำมาเพื่อกำจัดเนื้อวัสดุออก โดยใช้กระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าเป็นตัวกัดเซาะจนทำให้วัสดุส่วนนั้นหลอมละลายไปและเหลือเป็นชิ้นงานที่ต้องการเท่านั้น กระบวนการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยตัวนำไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยอเล็กโทรด (Electric Discharge Machining : EDM) และการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้า (Wire Electric Discharge Machining : Wire EDM)

การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางเคมี เป็นกรรมวิธีการผลิตที่นำมาเพื่อกำจัดเนื้อวัสดุออก โดยการใช้สารเคมีที่มีความสามารถในการกัดกร่อน (Chemical Enchants) วัสดุชิ้นงานนั้นได้ โดยเป็นการควบคุมการกัดเฉพาะจุด ซึ่งให้วัสดุเริ่มต้นกลายมาเป็นชิ้นงานได้ ทั้งนี้ต้องมีส่วนปกคลุม (Mask) สำหรับพื้นที่บนชิ้นงานที่ไม่ต้องการให้เกิดการกัดกร่อนด้วย สำหรับกระบวนการกัดกร่อนด้วยสารเคมีประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ คือ กระบวนการกัดกร่อนด้วยสารเคมี และกระบวนการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าเคมี

## แบบฝึกหัดบทที่ 8

### การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้าและทางเคมี

---

คำสั่ง จงตอบคำถามที่กำหนดให้ให้สมบูรณ์

1. จงอธิบายหลักการของกระบวนการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยแท่งอิเล็กโตรดให้ถูกต้อง

1.1 EDM ย่อมาจาก .....  
หมายถึง .....

1.2 หลักการทำงานของ EDM คือ.....  
.....  
.....  
.....

2. จงอธิบายหลักการของกระบวนการกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้าให้ถูกต้อง

2.1 Wire EDM ย่อมาจาก .....  
หมายถึง .....

2.2 หลักการทำงานของ Wire EDM คือ.....  
.....  
.....  
.....

3. จงบอกหลักการของกระบวนการกัดกร่อนด้วยสารเคมีให้ถูกต้อง

3.1 การกัดกร่อนด้วยสารเคมี เป็นการกัดกร่อนด้วยสารเคมีประเภท.....

3.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงานโดยทั่วไปของการกำจัดเศษวิธีนี้คือ.....

.....  
3.3 การคลุมพื้นที่ที่ไม่ต้องการให้เกิดการกัดกร่อน คือการใช้ระบบ.....

ซึ่งในระบบใช้เสมือนเป็นหน้ากากให้กับบริเวณผิวชิ้นงานนั้น

4. จงบอกหลักการของกระบวนการกักกรองด้วยไฟฟ้าเคมีให้ถูกต้อง

4.1 หลักการของกระบวนการกักกรองด้วยไฟฟ้าเคมีเป็นการใช้ปฏิกิริยา.....  
และ.....ควบคู่กันเพื่อกำจัดเศษวัสดุ

4.2 ปฏิกิริยาเคมีมีสารละลาย.....เป็นสื่อกลางที่ทำให้เกิดการกักกรอง

4.3 ปฏิกิริยาไฟฟ้าจะต่อขั้ว.....กับตัวชิ้นงาน และขั้ว.....ไว้ที่เครื่องมือ  
ทั้งนี้ชิ้นงานและชุดอุปกรณ์ต้องสามารถนำไฟฟ้าได้

4.4 หลักการกระบวนการเจาะรูขนาดเล็กด้วยไฟฟ้าเคมี เป็นกรรมวิธีที่พัฒนาเพื่อ.....

.....

4.5 หลักการกระบวนการกำจัดเศษกริบด้วยไฟฟ้าเคมี เป็นกรรมวิธีที่พัฒนาเพื่อ.....

.....

## แบบทดสอบบทที่ 8

### การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้าและทางเคมี

---

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายกากบาท (×) ลงในกระดาษคำตอบในข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบใด
  - ก. กรรมวิธีการผลิตแบบเสียเศษ
  - ข. กรรมวิธีการผลิตแบบไม่เสียเศษ
  - ค. กรรมวิธีการผลิตแบบจำเพาะ
  - ง. กรรมวิธีการผลิตแบบพิเศษ
2. การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า หมายถึง
  - ก. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยแสงเลเซอร์
  - ข. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยไฟฟ้าเคมี
  - ค. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยจนวนไฟฟ้า
  - ง. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยตัวนำไฟฟ้า
3. EDM ย่อมาจากคำว่า
  - ก. Electric Discharge Machining
  - ข. Electronic Discharge Machining
  - ค. Wire Electric Discharge Machining
  - ง. Wire Electronic Discharge Machining
4. Wire EDM ย่อมาจากคำว่า
  - ก. Electric Discharge Machining
  - ข. Electronic Discharge Machining
  - ค. Wire Electric Discharge Machining
  - ง. Wire Electronic Discharge Machining
5. กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการสปาร์คของกระบวนการกัดเซาะโลหะด้วยตัวนำไฟฟ้า คือ
  - ก. ไฟฟ้ากระแสสลับ
  - ข. ไฟฟ้ากระแสตรง
  - ค. ไฟฟ้ากระแสโคง
  - ง. ไม่มีข้อถูก



## 6. EDM หมายถึง

- ก. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยแท่งฉนวนไฟฟ้า
- ข. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลำแสงเลเซอร์
- ค. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้า
- ง. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยแท่งอิเล็กโตรด

## 7. Wire EDM หมายถึง

- ก. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยแท่งฉนวนไฟฟ้า
- ข. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลำแสงเลเซอร์
- ค. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยลวดไฟฟ้า
- ง. การกัดเซาะขึ้นรูปโลหะด้วยแท่งอิเล็กโตรด

## 8. การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางเคมี เป็นกรรมวิธีการขึ้นรูปแบบใด

- ก. กรรมวิธีการผลิตแบบเสียเศษ
- ข. กรรมวิธีการผลิตแบบไม่เสียเศษ
- ค. กรรมวิธีการผลิตแบบจำเพาะ
- ง. กรรมวิธีการผลิตแบบพิเศษ

## 9. การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางเคมี หมายถึง

- ก. การกำจัดเนื้อวัสดุออกด้วยสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นกรด
- ข. การกำจัดเนื้อวัสดุออกด้วยสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง
- ค. การกำจัดเนื้อวัสดุออกด้วยสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง
- ง. การกำจัดเนื้อวัสดุออกด้วยสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นนำความร้อน

## 10. ระบบสารกันแสงในกระบวนการกัดกร่อนด้วยสารเคมีที่นิยมนำมาใช้ คือ

- ก. ระบบรังสีแกมมา
- ข. ระบบรังสีเอช
- ค. ระบบรังสียูวี
- ง. ระบบรังสีเบต้า

## 11. กระบวนการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าเคมี มีหลักการทำงานอย่างไร

- ก. ใช้ทั้งปฏิกิริยานิวเคลียร์และเคมีควบคู่กันเพื่อกำจัดเศษวัสดุ
- ข. ใช้ทั้งปฏิกิริยาไฟฟ้าและนิวเคลียร์ควบคู่กันเพื่อกำจัดเศษวัสดุ
- ค. ใช้ทั้งปฏิกิริยาเคมีและความร้อนควบคู่กันเพื่อกำจัดเศษวัสดุ
- ง. ใช้ทั้งปฏิกิริยาไฟฟ้าและเคมีควบคู่กันเพื่อกำจัดเศษวัสดุ

12. กระบวนการเจาะรูขนาดเล็กด้วยไฟฟ้าเคมี เป็นกรรมวิธีที่พัฒนาเพื่อสิ่งใด
- ก. เพื่อการกำจัดเศษครีบหรือขอบชิ้นงานที่ไม่เรียบตามรูเจาะต่างๆ
  - ข. เพื่อการเจาะรูหรือช่องขนาดเล็กที่ต้องการความแม่นยำสูง
  - ค. เพื่อการกัดเซาะร่องให้มีรูปร่างตามต้องการ
  - ง. เพื่องานเจียรระโน ที่ต้องการความละเอียดสูง
13. กระบวนการเจียรระโนด้วยไฟฟ้าเคมี เป็นกรรมวิธีที่พัฒนาเพื่อสิ่งใด
- ก. เพื่อการกำจัดเศษครีบหรือขอบชิ้นงานที่ไม่เรียบตามรูเจาะต่างๆ
  - ข. เพื่อการเจาะรูหรือช่องขนาดเล็กที่ต้องการความแม่นยำสูง
  - ค. เพื่อการกัดเซาะร่องให้มีรูปร่างตามต้องการ
  - ง. เพื่องานเจียรระโน ที่ต้องการความละเอียดสูง
14. กระบวนการกำจัดเศษครีบด้วยไฟฟ้าเคมี เป็นกรรมวิธีที่พัฒนาเพื่อสิ่งใด
- ก. เพื่อการกำจัดเศษครีบหรือขอบชิ้นงานที่ไม่เรียบตามรูเจาะต่างๆ
  - ข. เพื่อการเจาะรูหรือช่องขนาดเล็กที่ต้องการความแม่นยำสูง
  - ค. เพื่อการกัดเซาะร่องให้มีรูปร่างตามต้องการ
  - ง. เพื่องานเจียรระโน ที่ต้องการความละเอียดสูง



## บทที่ 9

### การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกลและทางความร้อน

#### แนวคิดสำคัญ

การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกลและทางความร้อน เป็นกรรมวิธีการผลิตที่นำมาเพื่อกำจัดเนื้อวัสดุออกด้วยเทคนิคพิเศษต่างๆ อีกวิธีหนึ่ง โดยการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกลเป็นการใช้หลักการกัดกร่อนที่เกิดจากแรงกลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นคลื่นความถี่เหนือเสียง ใช้ลำน้ำความเร็วสูงที่พุ่งเข้าหาเนื้อวัสดุ ส่วนการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางความร้อน เป็นกรรมวิธีการผลิตที่นำมาเพื่อกำจัดเนื้อวัสดุออกด้วยพลังงานความร้อนที่การกัดกร่อนเพื่อไปสลายเศษโลหะจนทำให้โลหะส่วนนั้นหลอมละลายไป และเหลือเป็นชิ้นงานที่ต้องการเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจถึงการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกลและทางความร้อนเพื่อนำไปใช้กับการผลิตชิ้นส่วน ผู้เรียนจึงต้องศึกษาถึงหลักการและกรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทั้งสองด้วย

#### หัวข้อเรื่อง

1. บทนำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกล
2. การขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิก
3. การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำ
4. การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัด
5. การขึ้นรูปด้วยผงขัด
6. บทนำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางความร้อน
7. กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอน
8. กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงเลเซอร์
9. กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยพลาสมา

#### วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้เรียนสามารถ

1. บอกหลักการของการขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิกได้ถูกต้อง
2. บอกหลักการของการขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำได้ถูกต้อง
3. บอกหลักการของการขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัดได้ถูกต้อง

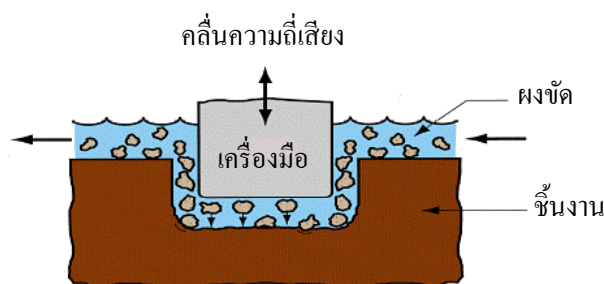
4. บอกหลักการของการขึ้นรูปด้วย Abrasive Flow Machining ได้ถูกต้อง
5. บอกหลักการของกระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอน ได้ถูกต้อง
6. บอกหลักการของกระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงเลเซอร์ได้ถูกต้อง
7. บอกหลักการของกระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยพลาสมาได้ถูกต้อง

## 9.1 บทนำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกล

การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกล เป็นกรรมวิธีการผลิตที่นำมาเพื่อกำจัดเนื้อวัสดุออกด้วยเทคนิคพิเศษต่างๆ อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งอยู่ในกลุ่มของกรรมวิธีการผลิตแบบไม่กายเศษ (Non-Traditional Machining : NTM) โดยการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกลเป็นการใช้หลักการกัดกร่อนที่เกิดจากแรงกลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นคลื่นความถี่เหนือเสียง ใช้ลำน้ำความเร็วสูงที่พุ่งเข้าหาเนื้อวัสดุ หรือแรงชูดักของสารประกอบขนาดเล็กเพื่อกำจัดเศษวัสดุ เป็นต้น

## 9.2 การขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิก

การขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิก (Ultrasonic Machining : USM) จะใช้หลักการของคลื่นความถี่เหนือเสียง Ultrasonic มาทำให้เกิดการสั่นที่บริเวณชุดเครื่องมือ เพื่อส่งต่อกำลังไปยังวัสดุกัดกร่อนซึ่งอยู่ในสภาพที่เป็นสารละลายผสมผงขัดหรือ สาร Slurry ผงขัดที่อยู่ในสารละลาย Slurry นี้ จะมีคมตัดซึ่งจะถูกส่งไปขัดสีกับผิวชิ้นงานให้ส่วนดังกล่าวหลุดออกไปได้ ระบบสันสะท้อนที่ใช้ในปฏิบัติการ USM นี้จะได้มาจาก Piezoelectric หรืออาจจะเป็นระบบ Magnetostrictive Transducers ดังภาพที่ 9.1



ภาพที่ 9.1 หลักการขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิก

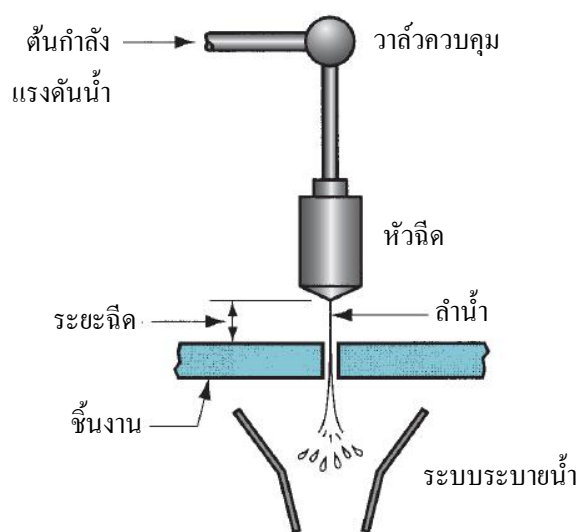


ภาพที่ 9.2 เครื่องขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิก

ในการประยุกต์ใช้งานจะใช้สำหรับวัสดุแข็งและเปราะ เช่น เซรามิก แก้ว และคาร์ไบด์ นอกจากนี้ก็เหมาะสำหรับโลหะด้วย เช่น เหล็กไร้สนิม และ ไทเทเนียม นำไปใช้ผลิตรูในลักษณะต่างๆ ทั้งที่เป็นรูกลมหรือรูทรงอื่นๆ หรือแม้กระทั่งการเจาะรูบนผิวชิ้นงานไม่เรียบได้ ใช้ในกรรมวิธีคล้ายๆ การทำเหรียญ (Coining Operations) ซึ่งเป็นขบวนการถ่ายทอรูปแบบหรือลวดลายจากแม่พิมพ์ลงไปสู่ชิ้นงานได้

### 9.3 การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำ

การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำ (Water Jet Cutting : WJC) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Pure Water Jet เป็นการทำให้เกิดการกัดกร่อนด้วยแรงของลำน้ำที่พุ่งมาจากระบบฉีดพ่นเข้าสู่บริเวณที่ต้องการกำจัดนั้น โดยกลไกการกัดกร่อนก็คือการใช้ความเร็วเหนือเสียงของลำน้ำในการตัด ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนความดันของน้ำให้กลายเป็นความเร็วด้วยลักษณะของโครงสร้างของหัวฉีดที่มีรูซึ่งมีขนาดเล็กมากเอาไว้ให้ลำน้ำพุ่งกระแทกจนลำน้ำกัดเซาะเอาอนุภาคหรือเกรนของวัสดุให้แยกออกจากกันและหลุดออกมากับลำน้ำ โดยทั่วไปที่ความดันประมาณ 40,000 psi นั้นจะให้ความเร็วของน้ำเท่ากับ 2 มัค (Mach) (ความเร็วเสียง 1 มัค ประมาณ 343 เมตร/วินาที หรือ 1,236 กิโลเมตร/ชั่วโมง) ดังภาพที่ 9.3



ภาพที่ 9.3 หลักการขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำ



ภาพที่ 9.4 เครื่องขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำ

ปัจจัยในกรรมวิธีการกำจัดเศษแบบนี้ ประกอบไปด้วย แรงดันของน้ำ หัวฉีด อัตราการป้อนของน้ำ และระยะชิ้นงานที่จะทำการกำจัดเศษด้วย ซึ่งบางครั้งปัญหาบางอย่างเช่นการอุดตันของระบบส่งน้ำและหัวฉีดก็อาจทำให้การปฏิบัติงานของวิธี WJC ไม่เต็มประสิทธิภาพได้

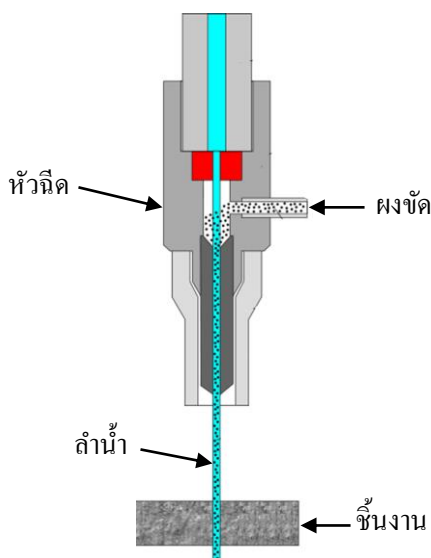
การประยุกต์ใช้สำหรับกรรมวิธีนี้มักใช้ควบคู่กับระบบควบคุมเชิงตัวเลขหรือแกนกลเพื่อควบคุมการกำจัดเศษวัสดุจากชิ้นงานที่ต้องการ นิยมใช้ป็นวิธีตัดแบ่งหรือแยกวัสดุบาง เช่น แผ่นพลาสติก ผ้า กระเบื้อง พรม หนัง และแผ่นกระดาษอัด เป็นต้น แต่อาจจะไม่เหมาะกับวัสดุที่เปราะจนเกินไปเช่น แก้ว การกำจัดเศษโดยใช้ WJC จะไม่ทำให้เกิดรอยไหม้หรือรอยแตกร้าวเกิดขึ้นกับขอบของชิ้นงาน และประหยัดเศษวัสดุในขั้นการตัดแบ่งกว่าวิธีเลื่อย หรืองานกลอื่นโดยทั่วไป ทั้งยังไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้วย

## 9.4 การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัด

การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัด (Abrasive Water Jet Machining : AWM) เป็นการเพิ่มผงขัดเข้าไปกับระบบฉีดน้ำหรือ WJM เพื่อให้การกำจัดเศษได้ดีมากขึ้น โดยการเติมผงขัดนี้จะถูกผสมเข้าไปไว้ในห้องผสม หรือ Mixing Chamber ซึ่งอยู่บริเวณเหนือหัวฉีดอีกที ซึ่งทำให้ระบบ AWC จำเป็นต้องมีการควบคุมมากขึ้นกว่าระบบ WJC เช่น การเลือกประเภทผงขัด ทั้งความแข็ง รูปร่าง หรือขนาด และการปรับอัตราการไหลของผงขัดด้วย โดยทั่วไปแล้วสารกัดกร่อนที่เรานิยมใช้คือ โกลเมน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่แข็ง เหนียว และมีราคาไม่แพง โดยขนาดของเม็ดทรายที่ต่างกัน จะมีหน้าที่ในการใช้งานที่ต่างกันด้วย คือ ขนาด 120 Mesh ทำให้ผิวเรียบ ขนาด 80 Mesh ใช้ในงานทั่วไป และขนาด 50 Mesh ใช้เวลาในการตัดเร็วกว่าแบบ 80 ซึ่งผิวที่ได้จะไม่เรียบเท่าที่ควร (1 mesh เท่ากับการแบ่งความยาวนิ้วด้านกว้างเป็น 1 ส่วน ยาว 1 ส่วน)

การขึ้นรูปด้วย Abrasive Water Jet Machining นั้นมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าแบบ Water Jet Cutting ประมาณ 100 เท่า และมีจุดประสงค์ในการใช้งานที่ต่างกัน โดยที่ Water Jet Cutting จะใช้ใน

การตัดวัสดุอ่อนในขณะที่ Abrasive Water Jet จะใช้ในการตัดวัสดุแข็งมาก เช่น โลหะ หิน และเซรามิก  
 ดังภาพที่ 9.5



ภาพที่ 9.5 หลักการทำงานด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัด

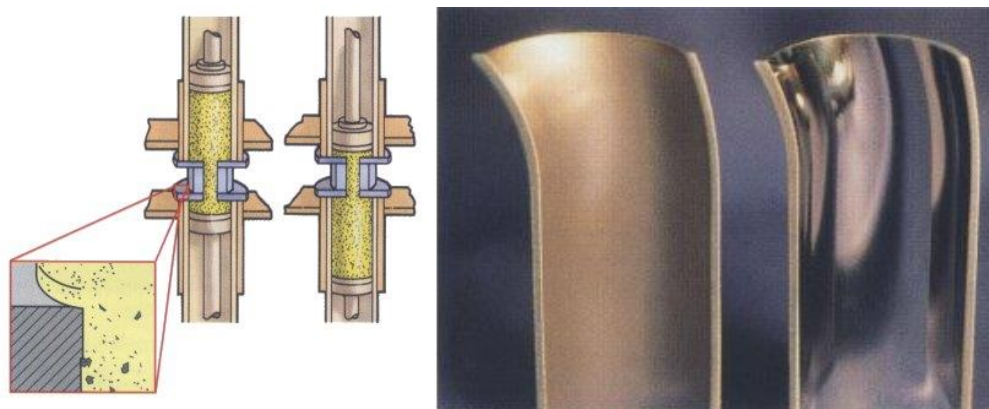
สำหรับการประยุกต์ใช้กรรมวิธีการผลิตแบบนี้มักจะใช้ในระบบที่เล็กกว่า WJC หรือในระบบควบคุมด้วยผู้ปฏิบัติการโดยตรง โดยปกติจะใช้เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือการปรับแต่งให้ชิ้นงานได้รูปทรงหรือผิวตามที่ต้องการ มากกว่านำไปใช้ในกรรมวิธีหลัก ตัวอย่างการนำไปใช้ เช่น การลบขอบ การตกแต่งขอบหรือผิวชิ้นงานให้เป็นรูปทรงต่างๆ การทำความสะอาด และ ขัดผิวชิ้นงาน เป็นต้น

ส่วนลักษณะของประเภทวัสดุที่นำมาใช้ในกรรมวิธีนี้ก็ ได้แก่ วัสดุบางและแข็ง รวมไปถึงชิ้นงานที่มีความเปราะด้วย เช่น โลหะ แก้ว แผ่นซิลิคอน หรือเซรามิก เป็นต้น

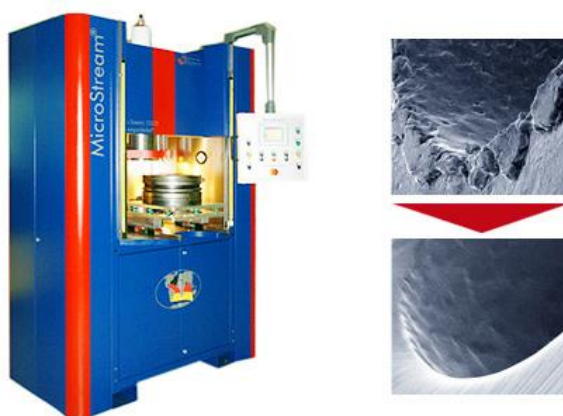
## 9.5 การขัดขึ้นรูปด้วยผงขัด

การขัดขึ้นรูปด้วยผงขัด (Abrasive Flow Machining : AFM) เป็นการนำเอาสารละลายที่ผสมผงขัดมาฉีดพ่นบนผิวชิ้นงานเพื่อช่วยกำจัดเศษวัสดุที่ไม่ต้องการ เช่น ครีบทที่ขอบผิว หรือ การทำให้ผิวหรือขอบชิ้นงานเกิดความโค้งมน หรือ ได้ความเรียบที่ต้องการได้ สามารถนำไปใช้ได้กับวัสดุเกือบทุกประเภท และเหมาะสำหรับการทำความสะอาดหรือขัดผิวชิ้นงานในบริเวณที่เข้าถึงยาก เช่น ช่องหรือพื้นผิวภายใน เป็นต้น





ภาพที่ 9.6 หลักการขึ้นรูปด้วยผงขัด



ภาพที่ 9.7 เครื่องขัดขึ้นรูปด้วยผงขัด

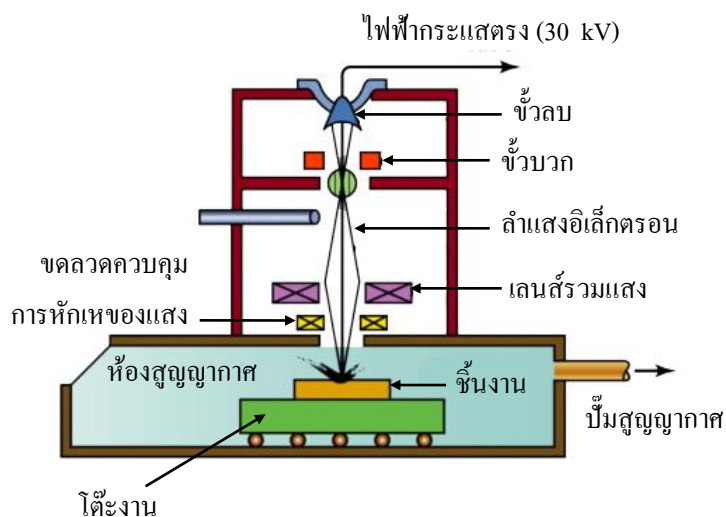
## 9.6 บทนำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางความร้อน

การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางความร้อน เป็นกรรมวิธีการผลิตที่นำมาเพื่อกำจัดเนื้อวัสดุออกด้วยเทคนิคพิเศษต่างๆ อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งอยู่ในกลุ่มของกรรมวิธีการผลิตแบบไม่คายเศษ (Non-Traditional Machining : NTM) โดยการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางความร้อนเป็นการใช้หลักการกัดกร่อนเพื่อไปสลายเศษโลหะด้วยพลังงานความร้อนที่กระทำกับส่วนหนึ่งส่วนใดของชิ้นงาน จนทำให้วัสดุส่วนนั้นหลอมละลายไป และเหลือเป็นชิ้นงานที่ต้องการเท่านั้น โดยกระบวนการกัดกร่อนด้วยพลังงานความร้อนประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้

## 9.7 กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอน

กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอนด้วยเครื่องตัดด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (Electron Beam Machining : EBM) เป็นการใช้ลำแสงของอนุภาคอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงให้มารวมเป็นจุด

เดียวกันบนผิวชิ้นงานเพื่อทำให้เกิดการหลอมละลายและสลายไปของเศษวัสดุได้ ลำแสงอิเล็กตรอนนี้จะเกิดจากระบบกำเนิดเฉพาะภายใต้สภาวะสุญญากาศ หรือปฏิกิริยาที่เรียกว่า Thermionic Emission และเมื่อลำแสงนี้ตกกระทบบนวัสดุ ก็อาจทำให้เกิดเป็นรังสีเอ็กซ์ แผ่กระจาย และอาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ ดังนั้นจึงต้องมีระบบป้องกัน (Electro-Magnetic Shielding) ติดตั้งอยู่ด้วย ซึ่งระบบนี้จะเหมาะกับการกำจัดเศษในงานขนาดเล็กมากๆ เนื่องจากมีความแม่นยำสูงกว่าวิธีอื่นๆ และรวดเร็วกว่าระบบ EDM หรือ ECM ดังภาพที่ 9.8



ภาพที่ 9.8 หลักการทำงานตัดด้วยแสงอิเล็กตรอน

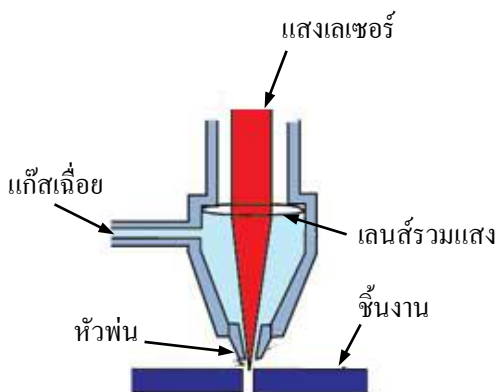


ภาพที่ 9.9 เครื่องตัดขึ้นรูปด้วยแสงอิเล็กตรอน

ในการประยุกต์ใช้การผลิตแบบนี้สามารถใช้ได้กับวัสดุทุกประเภท เหมาะสมสำหรับงานละเอียดในระดับไมโครสเกล เช่น การเจาะรูที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กได้ ตั้งแต่ประมาณ 0.05 มม. หรือการตัดขึ้นรูปช่องให้มีขนาดเล็กได้ถึง 0.025 มม. การเจาะรูที่มีอัตราส่วนความลึกต่อเส้นผ่าศูนย์กลางได้ถึงอัตราส่วน 100:1 เป็นต้น

## 9.8 กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงเลเซอร์

กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงเลเซอร์ด้วยเครื่องตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser Beam Machining : LBM) เป็นการประยุกต์ใช้ระบบเลเซอร์ที่มีความเข้มแสงสูง ฉายลงบนผิวชิ้นงานให้เกิดการหลอมละลายคล้ายกับวิธีของ EBM เพียงแต่ปฏิกิริยาของเลเซอร์อาจจัดได้ทั้งแบบที่เป็นการหลอมด้วยความร้อน หรือย่อยสลายออกไปด้วยปฏิกิริยาทางเคมีด้วย ซึ่งถ้าเป็นการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาเคมีหรือที่เรียกว่า Ablation นี้ แสงเลเซอร์จะไปทำลายพันธะเคมีระหว่างอะตอมเพื่อให้เกิดการหลุดของเศษวัสดุได้ ตัวแปรที่สำคัญในการเลือกใช้เลเซอร์ ก็คือความยาวคลื่นของเลเซอร์นั้นๆ เนื่องจากความสามารถในการหลอมละลายของแต่ละวัสดุ จะแตกต่างกันขึ้นกับว่าวัสดุนั้นสามารถดูดซับสะท้อน หรือส่งผ่าน แสงเลเซอร์ที่คลื่นความถี่ใด ดังภาพที่ 9.10



ภาพที่ 9.10 หลักการทำงานตัดด้วยแสงเลเซอร์



ภาพที่ 9.11 การตัดด้วยแสงเลเซอร์

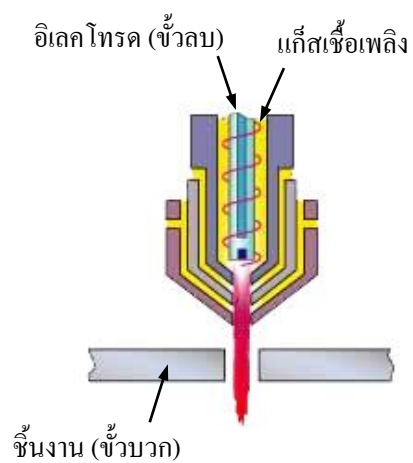


ภาพที่ 9.12 เครื่องตัดด้วยแสงเลเซอร์

การประยุกต์ใช้การผลิตแบบนี้ นิยมใช้ในงานเจาะ ตัดแบ่ง ทำช่อง และการสร้างลวดลายหรือทำเครื่องหมายบนชิ้นงาน เป็นต้น สามารถเจาะรูที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กได้ถึง 0.025 มม. เหมาะสำหรับการทำงานกับแผ่นชิ้นงาน สามารถนำมาใช้กับวัสดุพวกโลหะที่มีความแข็งและแข็งแรงสูง หรือแม้แต่วัสดุอ่อน เซรามิก แก้ว ยาง ไม้ ผ้า หรือพวกพลาสติกก็ได้เช่นกัน

## 9.9 กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยพลาสมา

กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยพลาสมาโดยเครื่องตัดพลาสมา (Plasma Arc Cutting : PAC) เป็นการนำระบบเผาไหม้ที่เกิดจากการสันดาปของแก๊สเชื้อเพลิงและกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของก๊าซที่อุณหภูมิสูงด้วยการชาร์จแก๊สด้วยไฟฟ้าแล้วฉีดออกมาด้วยความเร็วสูงที่อุณหภูมิประมาณ 50,000 องศาฟาเรนไฮต์ (27,760 องศาเซลเซียส) ขึ้นไป เมื่อลำพลาสมาจะถูกส่งออกมาที่หัวฉีดสู่ชิ้นงานเพื่อทำให้เกิดการหลอมละลาย และด้วยแรงดันที่สูงเศษวัสดุที่หลอมเหลวก็จะถูกพ่นออกไปจากชิ้นงานได้โดยสะดวก ซึ่งสามารถใช้ตัดแผ่นโลหะที่หนาขนาด 6 นิ้วได้ ดังภาพที่ 9.13



ภาพที่ 9.13 หลักการทำงานตัดด้วยพลาสมา



ภาพที่ 9.14 การตัดชิ้นรูปด้วยพลาสมา



ภาพที่ 9.15 เครื่องตัดชิ้นรูปด้วยพลาสมา

ข้อดีของเครื่องตัดพลาสมา คือ สามารถที่จะตัดโลหะที่มีขนาดหนากว่าได้ และยังมีราคาถูกกว่าแบบ Water Jet และ Laser แต่ข้อจำกัดของกรรมวิธีการนี้ คือการควบคุมขนาดชิ้นงานให้ได้ตามมาตรฐาน เนื่องจากลำแสงพลาสมาพลังงานสูงอาจจะไปหลอมละลายเกินขนาดที่กำหนดได้ หรือการอาร์คอาจจะไปลดอายุการใช้งานของหัวฉีดด้วย

การใช้ประโยชน์ของระบบ PAC จะเป็นพวกงานเจาะ ตัด ชิ้นงานแผ่น ซึ่งต้องนำไฟฟ้าได้เท่านั้น ลักษณะงานที่ทำคืองานเจาะรู หรือ ตัดตามโครงสร้างซับซ้อน การใช้ระบบ PAC เป็นระบบที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง หรือนำไปรวมกับระบบ CNC สำหรับการใช้งานเครื่องตัดพลาสมาจะขึ้นอยู่กับระบบแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งถ้าเป็นแบบระบบไนโตรเจนนั้นเหมาะสำหรับโลหะจำพวก สแตนเลสสตีล , อลูมิเนียม และนิกเกิล ส่วนแบบระบบออกซิเจนนั้นเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์จำพวก คาร์บอน และไม้ทั้งพวกตะกอนไนไตรด์

## สรุปสาระสำคัญ

การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกลเป็นการใช้หลักการกัดกร่อนที่เกิดจากแรงกลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นคลื่นความถี่เหนือเสียง ใช้ลำน้ำความเร็วสูงที่พุ่งเข้าหาเนื้อวัสดุ หรือแรงชุดกัดของสารประกอบขนาดเล็กเพื่อกำจัดเศษวัสดุ เป็นต้น

การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางความร้อน เป็นการใช้หลักการกัดกร่อนเพื่อไปสลายเศษโลหะด้วยพลังงานความร้อนที่กระทำกับส่วนหนึ่งส่วนใดของชิ้นงาน จนทำให้วัสดุส่วนนั้นหลอมละลายไป และเหลือเป็นชิ้นงานที่ต้องการเท่านั้น โดยกระบวนการกัดกร่อนด้วยพลังงานความร้อน ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้ กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอน กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงเลเซอร์ และกระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยพลาสมา

## แบบฝึกหัดบทที่ 9

### การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกลและความร้อน

คำสั่ง จงตอบคำถามที่กำหนดให้ให้สมบูรณ์

1. จงบอกหลักการของการขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิกให้ถูกต้อง
  - 1.1 จงอธิบายหลักการของการขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิก
    - ใช้หลักการของ.....
  - 1.2 การประยุกต์ใช้การขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิก
    - ใช้กับวัสดุ .....
    - เหมาะสำหรับงาน.....
  
2. จงบอกหลักการของการขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำให้ถูกต้อง
  - 2.1 จงอธิบายหลักการของการขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำ
    - เป็นการทำให้เกิดการกัดกร่อนด้วย.....
    - โดยกลไกการกัดกร่อนก็คือการใช้ .....
    - โดยทั่วไปที่ความดันประมาณ ..... psi และความเร็วของน้ำเท่ากับ.....ม/ค
  - 2.2 การประยุกต์ใช้การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำ
    - ใช้กับวัสดุ .....
    - .....
    - .....
  
3. จงบอกหลักการของการขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัดให้ถูกต้อง
  - 3.1 จงอธิบายหลักการของการขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัด
    - หลักการ คือ .....
    - .....
    - .....
    - สารกัดกร่อนที่เรานิยมใช้คือ.....
    - เนื่องจากมีคุณสมบัติ.....

### 3.2 การประยุกต์ใช้การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัด

- ใช้กับวัสดุ .....
- เหมาะสำหรับงาน .....
- .....

## 4. จงบอกหลักการของการขึ้นรูปด้วยผงขัดให้ถูกต้อง

### 4.1 จงอธิบายหลักการของการขึ้นรูปด้วยผงขัด

- หลักการ คือ .....
- .....
- .....

### 4.2 การประยุกต์ใช้การขึ้นรูปด้วยผงขัด

- ใช้กับงาน .....
- เช่น .....

## 5. จงบอกหลักการของกระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอนให้ถูกต้อง

### 5.1 จงอธิบายหลักการของกระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอน

- เป็นการใช้ลำแสงของ.....
- ลำแสงอิเล็กตรอนนี้จะเกิดจาก.....

### 5.2 การประยุกต์ใช้กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอน

- ใช้กับวัสดุ .....
- เหมาะสำหรับงาน.....
- ตัวอย่างเช่น.....
- .....
- .....

## 6. จงบอกหลักการของกระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงเลเซอร์ให้ถูกต้อง

### 6.1 จงอธิบายหลักการของกระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงเลเซอร์

- เป็นการประยุกต์ใช้.....
- ปฏิกิริยาของลำแสงเลเซอร์จะทำให้เกิด.....
- หรือ.....



## 6.2 การประยุกต์ใช้กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงเลเซอร์

- ใช้กับวัสดุ .....
- การประยุกต์ใช้ นิยมใช้กับงาน .....
- เหมาะสำหรับงาน .....
- .....
- .....

## 7. บอกหลักการของกระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยพลาสมาได้ถูกต้อง

### 7.1 จงอธิบายหลักการของกระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยพลาสมา

- เป็นการนำระบบเผาไหม้ที่เกิดจาก .....
- การแตกตัวของโมเลกุลของก๊าซที่อุณหภูมิสูงด้วยการชาร์จแก๊สด้วย .....
- แล้วฉีดออกมาด้วยความเร็วสูงที่อุณหภูมิประมาณ .....
- ระบบแก๊สเชื้อเพลิง ที่ใช้ในระบบ PAC คือ
  - 1) .....
  - 2) .....

### 7.2 การประยุกต์ใช้กระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยพลาสมา

- ระบบแก๊สเชื้อเพลิงแบบ .....
- ใช้กับวัสดุ .....
- .....
- ระบบแก๊สเชื้อเพลิงแบบ .....
- ใช้กับวัสดุ .....
- .....
- การใช้ประโยชน์ของระบบ PAC จะเป็นพวก .....

## แบบทดสอบบทที่ 9

### การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกลและความร้อน

---

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายกากบาท (×) ลงในกระดาษคำตอบในข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางกล เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบใด
  - ก. กรรมวิธีการผลิตแบบเสียเศษ
  - ข. กรรมวิธีการผลิตแบบไม่เสียเศษ
  - ค. กรรมวิธีการผลิตแบบจำเพาะ
  - ง. กรรมวิธีการผลิตแบบพิเศษ
2. การขึ้นรูปด้วย Ultrasonic Machining (USM) เป็นการขึ้นรูปโดยใช้หลักการใด
  - ก. การขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิก
  - ข. การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัด
  - ค. การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำ
  - ง. การขัดขึ้นรูปด้วยผงขัด
3. การขึ้นรูปด้วย Water Jet Cutting (WJC) เป็นการขึ้นรูปโดยใช้หลักการใด
  - ก. การขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิก
  - ข. การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัด
  - ค. การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำ
  - ง. การขัดขึ้นรูปด้วยผงขัด
4. การขึ้นรูปด้วย Abrasive Water Jet Machining (AWM) เป็นการขึ้นรูปโดยใช้หลักการใด
  - ก. การขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิก
  - ข. การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัด
  - ค. การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำ
  - ง. การขัดขึ้นรูปด้วยผงขัด
5. การขึ้นรูปด้วย Abrasive Flow Machining (AFM) เป็นการขึ้นรูปโดยใช้หลักการใด
  - ก. การขึ้นรูปด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตราโซนิก
  - ข. การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำผสมผงขัด
  - ค. การขึ้นรูปด้วยระบบฉีดพ่นน้ำ
  - ง. การขัดขึ้นรูปด้วยผงขัด

6. การขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีทางความร้อน เป็นกรรมวิธีการผลิตแบบใด
- ก. กรรมวิธีการผลิตแบบเสียเศษ
  - ข. กรรมวิธีการผลิตแบบไม่เสียเศษ
  - ค. กรรมวิธีการผลิตแบบจำเพาะ
  - ง. กรรมวิธีการผลิตแบบพิเศษ
7. การขึ้นรูปด้วย Electron Beam Machining (EBM) เป็นการขึ้นรูปโดยใช้หลักการใด
- ก. การตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอน
  - ข. การตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงยูวี
  - ค. การตัดขึ้นรูปด้วยพลาสมา
  - ง. การตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงเลเซอร์
8. การขึ้นรูปด้วย Laser Beam Machining (LBM) เป็นการขึ้นรูปโดยใช้หลักการใด
- ก. การตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอน
  - ข. การตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงยูวี
  - ค. การตัดขึ้นรูปด้วยพลาสมา
  - ง. การตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงเลเซอร์
9. การขึ้นรูปด้วย Plasma Arc Cutting : (PAC) เป็นการขึ้นรูปโดยใช้หลักการใด
- ก. การตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงอิเล็กตรอน
  - ข. การตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงยูวี
  - ค. การตัดขึ้นรูปด้วยพลาสมา
  - ง. การตัดขึ้นรูปด้วยลำแสงเลเซอร์

## เอกสารอ้างอิง

กองบริการอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. การหล่อโลหะ. 2520.

ชลิตต์ มธุรสมนตรี และคณะ. กรรมวิธีการผลิต. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 2544.

ทวี เทศเจริญ. กรรมวิธีการผลิต, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.

ชาญชัย ทรัพย์ากร และคณะ. การออกแบบแม่พิมพ์. พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543.

สาคร คันธโชติ. กรรมวิธีการผลิต. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2541.

มานพ ต้นตระบันฑิต และสำลี แสงห้าว. วัสดุช่างอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.

อำนาจ ทองแสน. เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและผลิต.(CAD/CAM TECHNOLOGY). สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2542.

Fred Water. **Fundamentals of Manufacturing for Engineers**. UCL Press Limited. 1996.

Mikell P. Groover. **Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems, 4th ed.** John Wiley & Sons, Inc. Printed in the United States of America. 2010.



แผนกเทคนิคการผลิต วิทยาลัยเทคนิคอุตรธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุตรธานี 41000

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ