


แผนการสอน  
20102-2201 แม่พิมพ์โลหะเบื้องต้น 2 - 0 - 2

(Basic Die)

หน่วยที่ 6 หลักการขึ้นรูปโลหะ

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา แม่พิมพ์โลหะเบื้องต้น	เวลาเรียนรวม 36 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย หลักการขึ้นรูปโลหะ	สอนครั้งที่ 12-13-14
ชื่อเรื่อง หลักการขึ้นรูปโลหะ		จำนวน 6 ชั่วโมง

### สาระสำคัญ/แนวคิด

เทคโนโลยีการตัดแผ่นโลหะ มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับกระบวนการตัดมีให้เลือกอย่างหลากหลาย สามารถใช้ตัดชิ้นงานให้เกิดความแม่นยำสูง การตัดชิ้นงานได้หนาขึ้นกว่าเดิม ทั้งนี้ ก็ยังไม่มีกระบวนการใดที่จะให้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดกับทุกชิ้นงานได้ การตัดวิธีต่างๆ ล้วนมีทั้งข้อดีและข้อเสียอยู่ในตัวเอง ในการเลือกวิธีตัดให้เกิดความเหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึง เพื่อให้ได้ชิ้นงานอย่างน่าพึงพอใจและช่วยเพิ่มความแข็งแกร่งในการแข่งขันทางการตลาดอีกทางหนึ่ง

### ด้านคุณธรรม จริยธรรม บุรณาการปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

แสดงออกด้าน การตรงต่อเวลา ความสนใจใฝ่เรียนรู้ ความซื่อสัตย์สุจริต ความมีน้ำใจเอื้อเฟื้อ แบ่งปัน ความร่วมมือ มีความรับผิดชอบ มีระเบียบวินัย ความมีกิริยามารยาท และปฏิบัติตามกฎระเบียบสถานศึกษา

### สาระการเรียนรู้

1. เทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่น
2. ทฤษฎีการตัด
3. ทฤษฎีการตัด
4. ทฤษฎีการลากขึ้นรูป

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อให้เข้าใจเทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่น
2. เพื่อให้รู้ทฤษฎีการตัด
3. เพื่อให้รู้ทฤษฎีการตัด
4. เพื่อให้รู้ทฤษฎีการลากขึ้นรูป

### ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

1. เลือกเทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่นได้
2. อธิบายทฤษฎีการตัดได้
3. อธิบายทฤษฎีการตัดได้
4. อธิบายทฤษฎีการลากขึ้นรูปได้

## เนื้อหาสาระ

### 1. เทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่น

ประเภทของเทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่น ปัจจุบันนี้การตัดโลหะแผ่นด้วยวิธีการเทคโนโลยี สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. **เครื่องตัดพลาสมา (Plasma)** พลาสมาคือสถานะที่ 4 ของสสาร (หลังจากของแข็ง, ของเหลว, แก๊ส) เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้หลุดจากอะตอมของสสาร ทำให้เกิดพลังงานสูงมากจนกลายเป็นพลังงานความร้อนที่นำมาใช้ในการตัดโลหะ

**ข้อดี** คือ สามารถตัดงานโลหะได้หนามาก สามารถตัดสเตนเลสได้หนาถึง 3 นิ้ว (ขึ้นอยู่กับกระแสไฟที่ใช้) สามารถตัดด้วยความเร็วสูงกว่าวิธีอื่นๆ จุดด้อย คือ ร่องตัดมีขนาดค่อนข้างใหญ่และเอียง ด้วยข้อด้อยทำให้การตัดด้วยพลาสมาไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดสูง โดยทั่วไปเหมาะกับชิ้นงานที่หนา ที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน ความคลาดเคลื่อนและความเอียงของสันชิ้นงานได้ประมาณ 1-3 มิลลิเมตร (ขึ้นอยู่กับความหนาชิ้นงานและขีดความสามารถของเครื่อง)

2. **เครื่องตัดเลเซอร์ (Laser)** เลเซอร์ คือ การตัดโดยใช้พลังงานความร้อนเหมือนกับการตัดด้วยพลาสมา แต่กระบวนการผลิตพลังงานที่นำมาใช้ในการตัดต่างกัน ทำให้เปลวที่ใช้ในการตัดเล็กและแคบกว่าพลาสมา มาก ส่งผลให้ร่องตัดมีขนาดเล็ก สันแนวตัดตรง

**ข้อเสีย** คือ มีขีดจำกัดเรื่องความหนา โดยเครื่องที่มีกำลังวัตต์สูง (4000-5000W) จะตัดสเตนเลส ได้หนาประมาณ 15-19 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ตั้งแต่ราคาเครื่องตัดเลเซอร์รวมถึง แก๊ส หัวนอชเชิล และวัสดุสิ้นเปลืองต่างๆ การตัดเลเซอร์จึงเหมาะกับการใช้งานบางที่ ต้องการความละเอียดสูง มีความคลาดเคลื่อนเพียง +/-0.15 มิลลิเมตร

3. **เครื่องตัดแรงดันน้ำ (waterjet)** การตัดด้วยแรงดันน้ำนั้น ได้ถูกนำมาใช้มาประมาณ 30-40 ปีมาแล้ว ซึ่งในอดีตไม่เป็นที่นิยมกันมากนักเนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องความคลาดเคลื่อนและเสถียรภาพของระบบ แต่ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยี waterjet ได้พัฒนาไปมากจนในปัจจุบันเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับงานตัดโลหะ ระบบ waterjet สามารถแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ ระบบที่ใช้แรงดันน้ำเพียงอย่างเดียว (Pure water jet) และระบบที่ใช้สารกัดกร่อน (abrasive) ช่วยในการตัด (Abrasive jet)

ทั้งสองระบบมีหลักการเดียวกัน คือ ใช้แรงดันน้ำที่สูงมากเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการตัด แต่ในระบบ Pure water jet จะใช้น้ำเป็นตัวตัดชิ้นงาน สำหรับระบบ Abrasive jet แรงดันน้ำจะเป็นตัวขับสารกัดกร่อนที่เติมเข้าไปในระบบ ใช้สารกัดกร่อนที่พ่นออกมาจากหัวฉีดเป็นตัวตัดชิ้นงาน ระบบ Abrasive jet จะใช้กับชิ้นงานที่มีความแข็ง

การตัดด้วยระบบ waterjet สำหรับงานโลหะ หมายถึง ระบบ Abrasive jet นั้นเอง โดยระบบ waterjet แล้ว จะแตกต่างจากการตัดพลาสมา หรือเลเซอร์ โดยเฉพาะในแง่ที่กระบวนการทั้งหมดไม่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง

**ข้อดี** คือ สามารถตัดวัสดุได้หลายประเภท ตั้งแต่ เหล็ก สเตนเลส อลูมิเนียม ทองเหลือง ทองแดง พลาสติก ไม้ ยาง หิน เซรามิก แก้ว โดยไม่ทำให้วัสดุหลอมเหลวหรือสูญเสียคุณสมบัติทางกายภาพ สามารถตัดงานได้หนาและมีความเอียงของร่องตัดน้อย ค่าใช้จ่ายโดยรวมจะน้อยกว่าการตัดเลเซอร์

**ข้อเสีย** คือ ตัดงานได้ค่อนข้างช้า ร่องตัดมีขนาดใหญ่กว่าการตัดด้วยเลเซอร์ ดังนั้น การตัดด้วย waterjet เป็นทางเลือกที่อยู่ระหว่างการตัดเลเซอร์และพลาสมา คือ เหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดปานกลางที่ พลาสมา ไม่สามารถทำได้หรืองานที่หนาเกินขีดจำกัดของเลเซอร์

**4. เครื่องเจาะระบบหัวตอก (Punching)** Punching คือ วิธีการที่ต่างจากการตัดทั้งสามวิธี โดยการตัดทั้งสามวิธีเป็นการผลิตชิ้นงานด้วยการเดินอย่างต่อเนื่องของหัวตัด ทำให้เกิดเป็นแนวตัดตามแบบ แต่ punching เป็นการใช้หัวตอกเจาะลงไปบนแผ่นโลหะ ทำให้เกิดเป็นรูหรือแนวตัดตามลักษณะรูปร่างของหัวตอก วิธีนี้ทำให้เครื่อง punching ต้องมีหัวตอกหลายประเภท หลายขนาด เพื่อให้ได้แบบงานตัดตามต้องการ

**ข้อดี** คือ สามารถป้อนเจาะได้ด้วยความเร็วสูง แม่นยำ กับแบบงานที่มีหัวแม่พิมพ์โลหะรองรับ

**ข้อเสีย** คือ การใช้หัวตอกเจาะทะลุแผ่นโลหะด้วยแรงกด ทำให้ไม่สามารถใช้กับงานหนาๆ ได้ สำหรับสเตนเลสจะจำกัดอยู่ที่ประมาณ 3-4 มิลลิเมตร แนวตัดที่เป็นเส้นโค้งจะต้องใช้หัวแม่พิมพ์ตอกต่อกันทำให้ได้แนวตัดที่ไม่สวยเหมือนการตัดด้วยวิธีอื่น

นอกจากนี้ การผลิตชิ้นงานด้วยวิธี punching ยังมีเรื่องของเวลาในการจัดเตรียมหัวแม่พิมพ์โลหะ วิธีนี้จึงเหมาะกับงานบาง, แบบที่มีรูเยอะ, ผลิตเป็นจำนวนมาก งานลักษณะ mass production

**5. เครื่องวายเป็นหรือเครื่องตัดด้วยลวด (wire cut machine)** เครื่อง Wire Cut คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน หลักการทำงานโดยการใช้กระแสไฟฟ้าเป็นตัวหลอมละลายชิ้นงาน ชิ้นงานที่ได้มีความละเอียดสูง เราสามารถปรับค่าความเร็วในการตัดด้วยค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้รายละเอียดต่างๆ ในการตัดชิ้นงาน เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับวัสดุที่ต้องการตัด เนื่องจากเครื่องมือมีความละเอียดสูง ดังนั้น เราจำเป็นต้องมีการเรียนรู้ในการใช้งานเพื่อที่จะทำให้สามารถตัดชิ้นงานได้ตามที่ต้องการ เครื่อง Wire Cut ในการใช้จะต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อเป็นคำสั่งให้เครื่องทำงาน คำสั่งต่างๆ จะต้องมีความถูกต้องเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ตรงตามความต้องการ ชิ้นงานที่ได้จากเครื่อง Wire Cut มีความถูกต้องแม่นยำสูงมากกับกรรมวิธีการขึ้นรูปแบบอื่น ผิวของชิ้นงานที่ได้มีความละเอียดสูง

## 2. ทฤษฎีการตัด

กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น การตัดถือเป็นกระบวนการขั้นพื้นฐาน และมีความยุ่งยากน้อยที่สุดคมตัดที่อยู่ในแม่พิมพ์ตัด นั้น ประกอบด้วยคมตัดสองส่วน คือ คมตัดตัวผู้ (ฟันซ์) และ คมตัดตัวเมีย (ตาย) ในการตัดโลหะที่จะมีแรงกระทำโลหะที่ส่งให้ (ฟันซ์) และ (ตาย) เป็นแรงเฉือน (เชียร์ฟอส) โดยแรงจะมีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้าม

โดยสภาพปกติของแม่พิมพ์แนวตัดของคมตัดตัวผู้และคมตัดตัวเมียจะมีช่องว่างระหว่างคมตัดเราเรียกช่องว่างระหว่างคมตัด (ฟันซ์) และ (ตาย) ว่า คลีริเรนซ์ (Clearance) แรงของ (ฟันซ์) และ (ตาย) ที่กระทำต่อโลหะแผ่นจะก่อให้เกิดความเค้นเฉือน เชียร์ สเตรส (Shear Stress) ในแผ่นโลหะ เมื่อแรงตัดของ (ฟันซ์) และ (ตาย) ทำให้เกิดความเค้นเฉือนมากกว่าความต้านทานต่อแรงเฉือน (เชียร์ สเตรส) ในแผ่นโลหะของวัสดุโลหะแผ่นพอที่จะรับได้โลหะแผ่นก็จะฉีกขาดออกจากกัน

### 3. ทฤษฎีการตัด

ขบวนการในการขึ้นรูปโลหะทั้งหมดนั้น นับว่า ขบวนการงอขึ้นรูป เบนดิง (Bending) เป็นขบวนการที่ง่ายที่สุดที่ใช้ทำงานร่วมกับเครื่องปั๊มโลหะ ซึ่งขบวนการงอขึ้นรูปนี้อาจทดลองได้โดยใช้เครื่องมือง่ายๆ ภายในบ้านทำก็ได้ ขบวนการงอขึ้นรูปนั้นเป็นขบวนการอันหนึ่งในหลายๆ ขบวนการของขบวนการขึ้นรูปโดยการตัดงอ ซึ่งขบวนการนี้จะถูกใช้เป็นตัวช่วยในการศึกษาถึงสภาพของการขึ้นรูปขึ้นงานที่ใช้ในบั้นขบวนการขึ้นรูปโดยการตัดงอนั้นมีกรรมวิธีที่แตกต่างไปจากขบวนการตัดขึ้นรูป คัดตั้ง (Cutting) และขบวนการลากขึ้นรูป ดรออิง (Drawing) เป็นอย่างมาก

**1. ทฤษฎีการงอ (เบนดิง เทคโนโลยี - Bending Theory)** ในการขึ้นรูปโลหะโดยการงอขึ้นรูปนั้นเราต้องให้แรงแก่ชิ้นงาน ทั้งนี้ เพื่อให้ชิ้นงานนั้นเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร ซึ่งแรงที่ให้แก่ชิ้นงานนั้น จะต้องไม่ทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานมากกว่าความเค้นดึงสูงสุดของชิ้นงานนั้น และจะต้องไม่น้อยกว่าจุดยืดหยุ่นจำกัดของชิ้นงาน

เมื่อเราให้แรงแก่ชิ้นงานเพื่อทำการตัดจะปรากฏว่าความเค้นของชิ้นงานที่เกิดขึ้น จะเริ่มจากบางจุดที่ต่ำกว่าความแข็งแรงสูงสุดของโลหะนั้น และความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นจะแผ่กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของชิ้นงาน ซึ่งขณะที่แผ่กระจายนั้น ความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานก็จะค่อยๆ ลดลงด้วยจนถึงบริเวณที่ความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานเป็นศูนย์ ซึ่งลักษณะการเกิดความเค้นบนชิ้นงานแบบนี้ จะทำให้เกิดการบิดงอของชิ้นงานมากกว่าจะเกิดการฉีกขาด สำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรของโลหะนั้น ความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานจะต้องผ่านจุดยืดหยุ่นจำกัด และจะล้าตัวด้วย

การแผ่กระจายของแรงเฉือนที่ใช้บนตายสำหรับขบวนการตัดขึ้นรูปนั้น จะมีขนาดของการแผ่กระจายของแรงเท่ากับขนาดของช่องว่างระหว่างคมตัดของแม่พิมพ์ที่ได้ตั้งเอาไว้ ตามปกติจะมีค่าประมาณ 10% ของความหนาของชิ้นงาน สำหรับการแผ่กระจายของแรงที่ใช้ในการงอนั้น จะมีขนาดของการแผ่กระจายบนชิ้นงานมากกว่าแรงเฉือน ซึ่งขนาดของการแผ่กระจายบนชิ้นงานมากกว่าแรงเฉือน ซึ่งขนาดของการแผ่กระจายบนชิ้นงานในการงอนั้น จะมีขนาดเท่ากับความหนาของชิ้นงานบวกกับรัศมีของฟันซ์ และรัศมีของตาย

การงอ (เบนดิง) นั้นมีลักษณะความแตกต่างของการเกิดความเค้นของโลหะเฉพาะที่เท่านั้น ความเค้นที่เกิดขึ้นเฉพาะที่นี้จะเกิดขึ้นตรงรัศมีของการงอของชิ้นงานเท่านั้น ส่วนพื้นที่ของชิ้นงานส่วนที่เหลือนั้น จะไม่มีความเค้นเกิดขึ้นเลย จากรูปที่ 4.37 นั้น เป็นการแสดงถึงพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่ได้ผ่านขบวนการงอมาแล้ว ความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานนั้น เราจะสังเกตได้ดังนี้ โลหะที่อยู่ด้านนอกของรัศมีการงอจะยืดออก

แสดงให้เห็นว่ามีความเค้นดึงเกิดขึ้น ส่วนโลหะที่อยู่ด้านในของรัศมีการงอจะหดตัวเข้า แสดงให้เห็นว่ามีความเค้นอัดเกิดขึ้น ดังนั้น ถ้ามีการฉีกขาดปรากฏขึ้นระหว่างการงอจะเกิดขึ้นที่ส่วนนอกของการงอ แต่ถ้ามีรอยยุบ รั้งเกิด (Wrinkle) ปรากฏขึ้น มันจะเกิดขึ้นที่ด้านในของการงอ

**3. เส้นแกนกลาง (Neutral Axis)** ทั้งนี้เพราะว่าที่ชิ้นงานนั้นได้เกิดความเค้นดึงขึ้นที่ด้านหนึ่งและอีกด้านหนึ่งนั้นได้เกิดความเค้นอัดขึ้น การกลับตรงข้ามของความเค้นทั้งสองนี้ จะต้องเกิดขึ้นตรงใกล้ๆ เส้นแกนกลางของความหนาของชิ้นงาน ความเค้นดึงและความเค้นอัดจะเกิดขึ้นมากที่สุดตรงบริเวณด้านขอบนอกทั้งสองข้างของความหนาของชิ้นงาน และความเค้นที่เกิดขึ้นทั้งสองนี้จะค่อยๆ ลดลงๆ เมื่อระยะห่างเข้ามาใกล้กับเส้นแกนกลางของความหนาของชิ้นงาน ซึ่งที่เส้นแกนกลางของความหนาหรือบริเวณใกล้ๆ เส้นแกนกลางของความหนาจะมีความเค้นเป็นศูนย์ คือไม่เกิดความเค้นขึ้นเลย เส้นที่ไม่มีมีความเค้นเกิดขึ้นเลยเราเรียกว่า “เส้นแกนกลาง” นิวตรอน เอ็กซิส(Neutral Axis)

ก่อนที่จะมีการงอชิ้นงานนั้น ขนาดความยาวที่แท้จริงของชิ้นงานได้ถูกกำหนดไว้แน่นอน และดังนั้นความยาวของเส้นแกนกลางที่เกิดจากการงอชิ้นงานนั้น จะเท่ากับความยาวเดิมของชิ้นงาน ส่วนความยาวด้านนอกรัศมีการงอจะมีความยาวเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันความยาวด้านในรัศมีการงอ จะมีความยาวลดลงกว่าความยาวเดิม ซึ่งจะเห็นได้ว่าความยาวของเส้นแกนกลางจะได้อยู่แสดงถึงความยาวที่แท้จริงของชิ้นงาน ดังนั้นในการที่จะขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปอะไรนี้ จึงมีปัญหาอยู่ที่ว่า เราจะหาขนาดที่เหมาะสมของชิ้นงานเพื่อมาทำการงอได้อย่างไร ซึ่งขนาดที่แท้จริงของชิ้นงานก่อนที่จะนำมางอนั้น ก็หาได้จากเส้นแกนกลางของชิ้นงานหลังจากงอแล้วนั่นเอง

เมื่อเราทำการดัดชิ้นงานครั้งแรกเส้นแกนกลางจะเกิดขึ้นใกล้กับเส้นแบ่งครึ่งความหนาของชิ้นงานแต่เมื่อทำการดัดต่อไปเส้นแกนกลางจะเลื่อนเข้ามาทางด้านในหรือด้านที่เกิดการอัดตัว คอมเพรสชัน (Compression) ซึ่งมักจะเป็นเช่นนี้เสมอ ยิ่งถ้าเป็นการดัดชิ้นงานที่มีความหนามากๆ ด้วยแล้ว สำหรับการวัดระยะของเส้นแกนกลางนั้น จะวัดจากผิวด้านในของรัศมีการดัด หรือด้านที่เกิดการอัดตัวออกไปหาเส้นแกนกลาง การดัดชิ้นงานบางๆ จะมีพื้นที่ในการดัด เบน แอเรีย(Bend Area) น้อย ซึ่งถูกอัดตัวติดกับขอบรัศมีของตายจะได้ขนาดที่ถูกต้อง ดังนั้นในการออกแบบตายเราจะต้องระวังเรื่องนี้ด้วย

เมื่อทำการงอโลหะแผ่นระยะของเส้นแกนกลาง จะอยู่ห่างจากด้านที่เกิดการอัดตัวเป็นระยะประมาณ 0.25 เท่า ของความหนาของชิ้นงาน ลักษณะการเกิดของเส้นแกนกลาง มีดังต่อไปนี้

1. ถ้าความหนาของโลหะแผ่นคงที่ ขณะที่รัศมีการงอลดลง เส้นแกนกลางจะเลื่อนตัวมาทางด้านที่เกิดการอัดตัว
2. ถ้ารัศมีการงอคงที่ ขณะที่ความหนาของโลหะแผ่นเพิ่มขึ้น เส้นแกนกลางจะเลื่อนตัวมาทางด้านที่เกิดการอัดตัว
3. ถ้ารัศมีการงอและความหนาของโลหะแผ่นคงที่ ขณะที่มุมของการงอได้เพิ่มขึ้น เส้นแกนกลางจะเลื่อนตัวมาทางด้านที่เกิดการอัดตัว
4. ถ้าไม่มีความเค้นเกิดขึ้นบนชิ้นงาน เส้นแกนกลางจะอยู่ตรงกลางของความหนาของชิ้นงาน

**3. การไหลตัวของโลหะในการขึ้นรูป เมททอล โฟล (Metal Flow)** เพราะว่าโลหะบริเวณที่เรา ตัดนั้น ได้มีความเค้นเกิดขึ้นซึ่งมันจะทำให้เกิดการไหลตัวของโลหะ ความเค้นดึงที่ทำให้เกิดการไหลตัวของโลหะ จะไปทำให้ความหนาของชิ้นงานในบริเวณที่ตัดมีขนาดลดลง ส่วนความเค้นอัดที่ทำให้เกิดการไหลตัวของโลหะจะไปเพิ่มขนาดความกว้างของชิ้นงานให้เพิ่มขึ้น

ลักษณะของการไหลตัวของโลหะระหว่างขึ้นรูปโดยการดัดงอ มีดังต่อไปนี้

1. ถ้าแท่งโลหะถูกนำมาตัด จะทำให้เกิดการบิดงอทางพื้นที่หน้าตัดอย่างมาก และจะมีการไหลตัวของโลหะ ทำให้ความหนาของแท่งโลหะลดลงเล็กน้อย แต่จะไปเพิ่มทางด้านความกว้างมากขึ้น
2. ถ้าโลหะแผ่นถูกนำมาตัด จะมีการบิดงอทางพื้นที่หน้าตัดเล็กน้อย แต่ความหนาจะลดลงอย่างมาก และไม่มีการเพิ่มตัวขึ้นทางความกว้างเลย

เมื่อเราดึงโลหะแผ่นโอกาสที่จะเกิดการฉีกขาดมีมาก ทั้งนี้ เพราะว่าการมีอัตราความมากความต่อความหนาน้อย ส่วนรอยย่นจะปรากฏขึ้นเสมอเมื่อเราตัดโลหะแผ่น หรือแท่งโลหะอย่างแรง ทั้งนี้เพราะว่า อัตราความกว้างน้อยต่อความหนามาก จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเพิ่มทางด้าน การตัดตัวมากขึ้น ขนาดของการไหลตัวของโลหะซึ่งมีความสัมพันธ์กับสิ่งต่างๆ คือ

1. เมื่อรัศมีของการงอ ยาวขึ้น จะทำให้เกิดการไหลตัวของโลหะน้อย
2. โลหะที่บางกว่าจะเกิดการไหลตัวของโลหะน้อยน้อยกว่า
3. มุมของการงอ แคบจะทำให้เกิดการไหลตัวของโลหะน้อย
4. ถ้าเป็นการงอช่วงแคบจะทำให้มีการไหลตัวของโลหะ เนื่องจากแรงดึงมีน้อยแต่การไหลตัวของโลหะเนื่องจากแรงอัดมีมาก
5. ถ้าเป็นการช่วงกว้าง จะทำให้มีการไหลตัวของโลหะ เนื่องจากแรงดึงมีมาก แต่การไหลตัวของโลหะเนื่องจากแรงอัดมีน้อย
6. ถ้าเป็นโลหะที่แข็ง จะทำให้มีการไหลตัวของโลหะทางด้าน การดึงตัวมาก และทางด้านนี้ก็มีโอกาสที่จะฉีกขาดได้ง่าย
7. ถ้าเป็นโลหะที่อ่อน จะทำให้มีการไหลตัวของโลหะทางด้าน การอัดตัวมาก และทางด้านนี้ก็มีโอกาสที่จะเกิดรอยย่นได้ง่าย

**4. การเคลื่อนไหวของโลหะระหว่างการขึ้นรูป (เมททอล มูฟเม้น-Metal Movement)** ระหว่าง การทำการงอชิ้นงานนั้น พื้นที่ส่วนหนึ่งของแผ่นชิ้นงาน แบลงค์ (Blank) ได้ถูกยึดเอาไว้ด้วยแผ่นโลหะที่เรา เรียกว่า “แผ่นโลหะกด” พื้นที่ส่วนที่เหลือของชิ้นงานจะเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงยอมแล้วแต่รูปร่างตามที่เรา ต้องการ ชิ้นงานจะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงด้วยพื้นที่ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างเข้าไปในคาน การที่ ชิ้นงานเคลื่อนตัว มูฟเม้นท์ (Movement) ผ่านช่องว่างนี้เราเรียกว่า “การเหวี่ยงตัวของชิ้นงาน” สวิงกิ้ง (Swinging) และลักษณะของการเกิดอาการเช่นนี้เราจะพบเสมอในการงอชิ้นงานในคานเท่านั้น ซึ่งลักษณะ การเคลื่อนไหวตัวของโลหะนั้นมันจะไม่ปรากฏในขบวนการกดขึ้นรูป เอ็มบอสซิ่ง(Embossing) ยัดขึ้นรูป เสดร์ทซิ่ง(Stretching) และลากขึ้นรูป ดรออิ่ง(Drawing)

การกระด้างตัวกลับของชิ้นงาน (สปริง แบ็ค - Spring Back) เมื่อได้ทำการตัดชิ้นงานแล้ว จะมีความเค้นเกิดขึ้นในบริเวณที่ทำการตัด และความเค้นที่เกิดขึ้นนี้将有ความแตกต่างกันคือ ไม่เหมือนกันทุกจุด ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการกระด้างตัวกลับของชิ้นงาน

### ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดการกระด้างตัวกลับ มีดังนี้

1. โลหะที่แข็งจะมีมุมของการกระด้างตัวกลับ ดีกรี ออฟ สปริง (Degree of Spring) มากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากโลหะแข็งมีจุดยืดหยุ่นจำกัดสูงกว่า ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดแถบยืดหยุ่นเล็กๆ นั้นใหญ่กว่า
2. ถ้ารัศมีของการงอเล็กกว่าจะไปลดการเกิดการกระด้างกลับ โดยการสร้างช่วงการอยู่ตัวของโลหะให้ใหญ่กว่า แต่จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการฉีกขาดได้ง่าย เนื่องจากมีความเค้นเกิดขึ้นที่ผิวหน้านอกของการงอมากกว่า
3. เมื่อโลหะได้ถูกงอด้วยมุมที่มากกว่ามุมที่ต้องการงอ จะมีผลทำให้ช่วงของการอยู่ตัวของโลหะนั้นขยายตัวใหญ่เข้า และจะเป็นการลดการกระด้างตัวกลับของชิ้นงานให้น้อยลงไปในแต่ละมุมของการงอ แต่อย่างไรก็ตามผลรวมของการกระด้างกลับของชิ้นงานก็ยังเพิ่มขึ้นอยู่นั่นเอง
4. โลหะที่หนากว่าจะมีการเกิดการกระด้างตัวกลับน้อย ทั้งนี้เพราะว่าช่วงของการอยู่ตัวของโลหะมีมาก ซึ่งในการพิจารณาการเปรียบเทียบนั้นรัศมีของดาบจะต้องไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะใช้โลหะหนาหรือบาง ทดลองก็ตาม

#### สำหรับมุมของการงอ = 20 องศา

$$\text{องศาของการกระด้างกลับต่อองศาของการงอชิ้นงาน} = \frac{4.5}{20} = 0.205$$

#### สำหรับมุมของการงอ = 40 องศา

$$\text{องศาของการกระด้างกลับต่อองศาของการงอชิ้นงาน} = \frac{4.6}{40} = 0.1150$$

#### สำหรับมุมของการงอ = 60 องศา

$$\text{องศาของการกระด้างกลับต่อองศาของการงอชิ้นงาน} = \frac{4.9}{60} = 0.0817$$

#### สำหรับมุมของการงอ = 90 องศา

$$\text{องศาของการกระด้างกลับต่อองศาของการงอชิ้นงาน} = \frac{5.3}{90} = 0.0589$$

จากการคำนวณนั้น จะเห็นได้ว่าองศาของการกระด้างกลับต่อองศาของการงอจะลดลงเรื่อยๆ ทั้งนี้เพราะว่าช่วงของการอยู่ตัวของโลหะจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมุมของการงอเพิ่มจากกราฟทุกภาพจะเห็นได้ว่า เมื่อมุมของการงอมากกว่า 30 องศา จะทำให้ผลรวมของการกระด้างกลับของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

โลหะที่นำมาจากโรงงานแต่ละม้วนหรือแต่ละชนิดนี้มันจะมีความแตกต่างกัน ดังนี้ เราจึงไม่สามารถจะคาดคะเนองศาของการกระด้างตัวกลับได้อย่างถูกต้องนัก การกระด้างตัวกลับแต่ละพื้นที่ของโลหะภายในม้วนหรือชุดเดียวกันย่อมไม่เหมือนกัน ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุดก่อนที่เราจะออกแบบตาย ควรจะสร้างเครื่องมือขึ้นมาเพื่อใช้วัดองศาของการกระด้างกลับของชิ้นงานแต่ละพวกเสียก่อน

วิธีป้องกันการเกิดการกระด้างตัวกลับ โอเวอร์คัมมิ่ง สปริง แบ็ค (Overcoming Spring Back) มีอยู่หลายวิธีด้วยกันในการป้องกันการเกิดการกระด้างกลับ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. การงอให้มากกว่าความต้องการ โอเวอร์ เบนดิง (Over Bending)
2. การกดกระแทกชิ้นงานตรงบริเวณที่งอให้เป็นรอย (Bottoming or Setting)
3. การยืดชิ้นงานก่อนงอ สเตรทเบนดิง (Stretch Bending)

**การงอให้มากกว่าความต้องการ** วิธีนี้เป็นการงอโลหะให้มากเกินไปเกินจำนวนที่ต้องการ ซึ่งเมื่อดึงพินซ์กลับคืนไปจะทำให้โลหะนั้นกระด้างกลับไปเล็กน้อย และได้มุมที่เราต้องการพอดี การทำการงอให้มากกว่าความต้องการนี้ อาจจะทำให้ได้โดยการทำการตายเป็นลักษณะลูกเบี้ยว (Cam) โดยการลดช่องว่างระหว่างพินซ์และตายให้สั้นลง และโดยการทำมุมที่พินซ์หรือตายให้สั้นลง สำหรับกรณีของวี-ตาย จะต้องทำมุมที่พินซ์และตายให้สั้นลงนั้น เมื่อเราลดขนาดช่องว่างให้สั้นลงกว่าความหนาของชิ้นงาน จะทำให้ชิ้นงานนั้นเกิดการขัดสีกับผนังของพินซ์และตาย ทำให้เกิดลักษณะของการเป็นมันเงาปรากฏขึ้น วิธีการงอให้มากกว่าความต้องการได้

**5. การกดกระแทกชิ้นงานตรงบริเวณที่งอให้เป็นรอย** วิธีนี้เป็นการใช้พินซ์กดกระแทกโลหะอย่างแรงที่บริเวณรัศมีที่งอของชิ้นงาน ซึ่ง ณ ตำแหน่งนี้โลหะจะได้รับความเค้นอย่างมาก ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการอยู่ตัวของโลหะที่บริเวณนั้นผ่านจุดความแข็งแรงล้าตัวของโลหะนั้น วิธีการกดกระแทกชิ้นงานตรงบริเวณที่งอให้เป็นรอย ควรจะต้องทำรอยนูนขึ้นมาบนพินซ์ เพื่อใช้ในการกระแทกบริเวณพื้นที่ที่เรางอสำหรับในวิปิงด้ายหรือ-ตายนั้น จะใช้แผ่นโลหะรองรับชิ้นงานอยู่ข้างล่าง และแผ่นโลหะนี้จะต้องติดอยู่กับชู (Shoe) หรือแผ่นโลหะประกบหลัง แบลนค์กิ้ง เพลจ(Backing Plate) การที่เราใช้แผ่นโลหะรองรับชิ้นงานอยู่ข้างล่าง เพื่อที่จะทำให้พินซ์ได้กดกระแทกชิ้นงานให้งอ ซึ่งมันจะไม่เกิดประโยชน์อะไรเลย ถ้าเราใช้พินซ์กดกระแทกชิ้นงานตรงพื้นที่ส่วนที่แบน เพราะว่าตรงพื้นที่ส่วนนั้นจะไม่มีเค้นเกิดขึ้น และจะไม่มีกระด้างตัวกลับเกิดขึ้นด้วย ดังนั้นเราจึงต้องทำรอยนูนขึ้นบนพินซ์เพื่อใช้กระแทกชิ้นงานตรงบริเวณพื้นที่ที่งอ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดการเกิดการกระด้างกลับของชิ้นงาน

**การยืดชิ้นงานก่อนงอ** วิธีเป็นการยืดชิ้นงานให้ชิ้นงานนั้นเกิดความเค้นเลยจุดความแข็งแรงล้าตัวของชิ้นงานนั้น จากนั้นก็ใช้แรงกดชิ้นงานนั้นลงบนพินซ์ซึ่งได้ตั้งรับชิ้นงานไว้แล้ว วิธีการนี้จะมีการกระด้างกลับของชิ้นงานเกิดขึ้นเล็กน้อย และเหมาะสำหรับใช้กับการขึ้นรูปงานต้นๆ เช่น กระโปรงครอบหน้าหม้อรถยนต์ถ้าเรา ใช้แรงในการขึ้นรูปชิ้นงานมากเกินไป จะทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานผ่านเลยถึงจุดความแข็งแรงทางดึงสูงสุดของชิ้นงาน โอกาสที่ชิ้นงานจะฉีกขาดก็มีมาก วิธีการป้องกันการเกิดการกระด้างตัวกลับแบบนี้นิยมใช้กันมากสำหรับงานที่มีกำลังการผลิตต่ำ (โล โพรดักชั่น - Low Production) เพราะว่าวิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ตายซึ่งเป็นการประหยัด



#### 4. ทฤษฎีการลากขึ้นรูป

การลากขึ้นรูป (ดรออิง - Drawing) ประกอบด้วย ดังนี้

1. งานขึ้นรูป (ดรออิง - Drawing) จุดประสงค์ของงานขึ้นรูป คือ แปรสภาพโลหะจากแผ่นเรียบให้เป็นภาชนะรูปถ้วย (เชล - Shell) โดยที่ความหนาของโลหะไม่เปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนสภาพนี้ทำได้โดยการกดโลหะแผ่นเรียบด้วย พันช์ (Punch) ให้เข้าไปในช่องว่างของ ดาย(Die) ซึ่งรูปถ้วยนี้อาจเป็นรูปทรงกระบอก , รูปกล่อง ที่มีด้านตรง , เอียง หรือมีทั้งตรง,เอียง และเป็นเส้นโค้งด้วยก็ได้

ในการขึ้นรูปจะเกิดแรงเครียด(สเตรีย - Stress) ขึ้นอย่างมากในระหว่างการไหลตัวของโลหะ ซึ่งการขึ้นรูปจะได้ผลดีหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ต่อไปนี้

1. คุณสมบัติของโลหะที่จะนำมาขึ้นรูป
2. ความเที่ยงตรงของเครื่องจักร
3. ขนาดของแผ่น Blank
4. การหล่อลื่น
5. แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป

การเลือกชนิดของโลหะที่เหมาะสมและใช้เครื่องจักรที่ทันสมัย ก็ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้แน่ใจว่าจะได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดีพอ ดังนั้น ในแต่ละขั้นตอนของการทำงานจะต้องมีการวางแผนงานอย่างรอบคอบเพื่อที่จะผลิตสินค้าจำนวนมากให้ออกมามีคุณภาพเหมือนกันทุกชิ้น และลดการสูญเสียให้มันน้อยที่สุด โลหะที่ถูกขึ้นรูปจะเกิดแรงเครียดขึ้น 2 ประเภท คือ แรงดึง (เท็นซา - Tensile) และแรงกด (คอมเพรสซิฟ - Compressive) ซึ่งทำให้เกิดแรงเค้น (สเตรน - Strain) 3 ประเภท คือ เบนดิง(Bending), สเตรียซิง (Stretching) และ คอมเพรสซิฟ (compressing) ซึ่งปรากฏการณ์ทั้ง 3 อย่างนี้ จะเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งหมดหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับลักษณะของการขึ้นรูป ถ้าเป็นการขึ้นรูปลึก ๆ ดิฟ ดรอ(Deep Draw) อาจเกิดแรงเค้นทั้ง 3 อย่างนี้ ขึ้นพร้อมกัน หรือถ้าเป็นการขึ้นรูปแบบตื้นๆ (Shallow Draw) ก็อาจเกิดเฉพาะ เบนดิง - Bending เท่านั้น ก็ได้ในการขึ้นรูปลึก ๆ นั้น โลหะจะถูกขึ้นรูปหลายครั้ง และถูกกระทำจนถึงขีดจำกัดของความยืดหยุ่น ลิมิต ออฟ พลาสติคซิตี(Limit of Plasticity) เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในแต่ละขั้นตอนมากที่สุด ดังนั้น จึงต้องพยายามหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความเครียดมากเกินไป เนื่องจากความเครียดที่เกิดจากการไหลตัวของโลหะจะเพิ่มมากขึ้นตามความลึกของการขึ้นรูป

ปัญหาที่พบสำหรับการขึ้นรูป คือ การเกิดรอยแตกและรอยย่น ว่างเกิ้ล(Wrinkle) สำหรับปัญหาในการเกิดรอยย่นนั้นเนื่องมาจากในการเปลี่ยนสภาพของโลหะแผ่นเรียบไปเป็นภาชนะรูปถ้วย เชล(Shell) นั้น เส้นรอบรูปของโลหะจะลดลง การลดลงนี้จะเริ่มต้นทันทีที่โลหะมีการไหลตัว และหากไม่มีการควบคุมการไหลตัวของโลหะแล้ว โลหะจะมาอัดตัวกันโดยมีทิศทางเข้าหาจุดศูนย์กลางของ ดาย (Die) ทำให้เกิดเป็นจีบหรือรอยย่นในแนวรัศมี การป้องกันไม่ให้เกิดรอยย่นนั้นเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของการขึ้นรูป การป้องกันทำได้โดยใช้ แบลงค์ โฮลเดอร์ (Blank Holder) เข้ามาควบคุมการไหลตัวของโลหะ โดยทำให้โลหะไหลตัวในทิศทางขนานกับผิวหน้าของ ดาย(Die) ด้วยวิธีนี้จะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีผนัง วอล(wall) เรียบและความหนาเท่ากันตลอด

2. เทคนิคการขึ้นรูป (เทคนิค ออฟ ดรออิง - Technique of Drawing) การขึ้นรูปโดยไม่ให้เกิดรอยย่น (ริงเคิล - Wrinkle หรือ Puckering) หรือฉีกขาดนั้นจะต้องระมัดระวังและควบคุมองค์ประกอบต่างๆ ทั้งก่อนการขึ้นรูปและในขณะที่ขึ้นรูป องค์ประกอบเหล่านั้น ได้แก่

1. รูปร่างของ แบล้ง
2. การลดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของการขึ้นรูปในแต่ละครั้ง
3. รัศมีของ พันช์ และ ดาย
4. ช่องห่างระหว่าง พันช์ และ ดาย
5. แรงกด แบล้ง โฮลเดอร์
6. ความเร็วในการขึ้นรูป
7. การหล่อลื่น

3. พลาสติก แร็งก์ (Plastic Range) แรงที่ใช้ในการทำให้โลหะเกิดการไหลตัวนั้นต้องมีค่ามากกว่าค่า เทนซาयर์ เยล สเตร็ง (Tensile Yield Strength) ของโลหะทั้งนี้เพื่อที่จะทำให้โลหะเปลี่ยนรูปไปอย่างถาวร แต่ต้องไม่เกินค่า อัลติเมท เทนซาयर์ สเตร็ง (Ultimate Tensile Strength) ของโลหะเพราะจะทำให้โลหะฉีกขาดได้ ซึ่งช่วงที่อยู่ในระหว่างค่าทั้งสองนี้เรียกว่า “ พลาสติก แร็งก์ ” (Plastic Range)

4. ริดักชั่น ลิมิต (Reduction Limits) พื้นที่ของโลหะที่อยู่ภายใต้การกดของ แบล้งค์ โฮลเดอร์ (Blank Holder) นั้น มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ส่วนที่ถูกกดโดย พันช์ (Punch) เนื่องจากปริมาณของโลหะที่จะขึ้นรูปได้ในแต่ละครั้งนั้นมีปริมาณจำกัด ถ้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ แบล้งค์ (Blank) กับของรูปถ้วย เซล (Shell) ต่างกันมากเท่าไร พื้นที่ของโลหะที่จะไหลตัวก็มีมากขึ้นเท่านั้นในขณะเดียวกันแรงที่จะใช้ในการขึ้นรูปก็เพิ่มมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 6.1 ค่าเฉลี่ยของริดักชั่น (Reduction) ในการขึ้นรูปครั้งแรกของ Alcan 2 S-O และ 3 S-O

Thickness Ratio $t/D(1)$			Approximate Reduction in diameter(per cent)
Double Action Press	Single-Action Press		
	With Blank Holder	With Blank Holder	
.0015	.0025	.02	35
.0025	.0030	.03	40
.004	.0055	.05	48

(1)  $t$  = Blank Thickness.

$D$  = Blank Diameter

ตารางที่ 6.2 เปอร์เซ็นตรีดักชั้น (Reduction) ของการขึ้นรูปซ้ำ (Alcan 2 S-O & 3 S-O)

1 <sup>st</sup> Draw From Blank (per cent)	ReDraws			Total Reduction (per cent)
	2 <sup>nd</sup> Draw (per cent)	3 <sup>rd</sup> Draw (per cent)	4 <sup>th</sup> Draw (per cent)	
35	20	15	10	62
40	23	18	13	67 ½
45	27	22	16	73 ½
48	30	25	18	77 ½

5. Draw Radii รัศมีตาย (Die) ไม่ควรต่ำกว่า 4 เท่าของความหนาโลหะและไม่ควรเกิน 15 เท่าของความหนาโลหะ เนื่องจากถ้ารัศมีของ ตาย (Die) ยิ่งแหลมเท่าใด ก็จะทำให้ความต้านทานในการไหลของโลหะมีมากขึ้นเท่านั้น และมีโอกาสที่ชิ้นงานจะแตกได้ง่าย ในทำนองเดียวกันถ้ารัศมีใหญ่เกินไป โลหะก็จะถูกปล่อยตัวจากการจับของ แบลงค์ โฮลเดอร์ (Blank Holder) เร็วเกินไป ทำให้อาจเกิดการย่นได้

6. พันช์ โนส เรดติก - Punch - Nose Radii เพื่อป้องกันไม่ให้ความหนาตรงบริเวณก้นบอดตัม (Bottom) ของรูปถั่วบางจนเกินไป รัศมีของจุก พันช์ (Punch) ควรมีค่าระหว่าง 4 -10 เท่าของความหนา ถ้ารัศมีของ พันช์ (Punch) น้อยเกินไปสำหรับการขึ้นรูปครั้งแรกแล้วจะทำให้ความหนาที่ผนังด้านข้างลดลง และจะลดลงอีกเมื่อมีการขึ้นรูปครั้งต่อไป การขัดผิวของ พันช์ (Punch) ควรจะขัดตามทิศทางการไหลของโลหะ เพื่อไม่ให้เกิดเป็นรอยขีดขวางการไหลตัวของโลหะและเป็นสาเหตุให้เกิดการฉีกขาดได้

7. เครียร์เรนซ์ (Clearance) ระหว่าง พันช์ (Punch) กับ ตาย (Die) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแรงต้านทานที่ผิวของแม่พิมพ์ ดังนั้น ช่องห่างระหว่าง พันช์ (Punch) กับ ตาย (Die) จะต้องมากกว่าความหนาของโลหะ ซึ่งส่วนที่มากกว่านี้มีค่าประมาณ 7 - 20 % ของความหนาของชิ้นงานทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาและประเภทของการขึ้นรูปจากตารางที่ 4 เป็นค่า เครียร์เรนซ์ (Clearance) สำหรับรูปกล่อง (Rectangular Shell) นั้น ตรงส่วนมุมทั้ง 4 ด้านจะต้องมี เครียร์เรนซ์ (Clearance) มาก ส่วนทางด้านตรงนั้น เครียร์เรนซ์ (Clearance) มีค่าน้อย ในกรณีของการขึ้นรูปทรงกระบอก ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของ ตาย (Die) เท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ พันช์ (Punch) บวกด้วย 2 เท่า ของค่าที่อ่านได้จากตาราง

จะเห็นว่าเมื่อความหนาของ แบลงค์ (Blank) เพิ่มขึ้น เครียร์เรนซ์ (Clearance) จะเพิ่มขึ้นด้วย และสำหรับการขึ้นรูปครั้งต่อ ๆ ไป เครียร์เรนซ์ (Clearance) ก็ต้องเพิ่มขึ้นอีกเช่นช่องห่างสำหรับขึ้นรูปครั้งแรกเท่ากับ 1.1t ในการขึ้นรูปครั้งที่สองต้องเพิ่มเป็น 1.15t และ 1.2t สำหรับครั้งที่สาม และไม่เกิน 1.2t แม้จะต้องขึ้นรูปต่อไปอีกก็ตาม

8. แรงกดของ (แบลงค์ โฮลเดอร์ - Blank Holder) ขนาดของแรงกดของ แบลงค์ โฮลเดอร์ (Blank Holder) ที่พอเพียงสำหรับป้องกันไม่ให้เกิดรอยย่นขึ้นได้นั้นหาได้จากการทดลอง เทรน แอนด์ เออ เรอ (Trial and Error) ถ้าขนาดของแรงกดไม่พอ จะทำให้เกิดการย่นของโลหะขึ้นซึ่งรอยย่นเหล่านี้จะทำให้

โลหะไม่สามารถที่จะไหลตัวได้ส่วนกัน บัตตอม(Bottom) ของชิ้นงานก็จะถูก พ้นซ์ (Punch) ดันจนฉีกขาด ในขณะที่เดียวกันถ้าแรงกดของ แบลงค์ โฮลเดอร์ (Blank Holder) มากเกินไป โลหะก็ไม่สามารถที่จะไหลอย่างสม่ำเสมอและเท่า ๆ กันทุกจุดนั้น แรงที่ใช้กดก็จะเท่ากันทุกจุดด้วย แต่สำหรับการขึ้นรูปแบบทางกระบอกซึ่งโลหะจะมีการไหลอย่างสม่ำเสมอและเท่า ๆ กันทุกจุดนั้น แรงที่ใช้กดก็จะเท่ากันทุกจุดด้วย แต่สำหรับการขึ้นรูปแบบกล่องสี่เหลี่ยม (rectangular) หรือรูปทรงอื่นๆ ซึ่งอัตราการไหลของโลหะแต่ละจุดไม่เท่ากัน ทำให้แรงที่ใช้ในการกดแต่ละจุดไม่เท่ากัน ทำให้แรงที่ใช้ในการกดแต่ละจุดก็จะไม่เท่ากันด้วย สำหรับบริเวณที่ต้องการแรงกดมากจะต้องใช้ bead เข้ามาช่วยเพื่อทำให้การไหลตัวของโลหะช้าลง

**9. การหล่อลื่น (Lubrication)** การขึ้นรูปจะประสบผลสำเร็จหรือไม่ขึ้น ก็ขึ้นอยู่กับหล่อลื่นด้วย หากเลือกใช้ประเภทของน้ำมันหล่อลื่นไม่ถูกต้องแล้ว การขึ้นรูปก็จะไม่สำเร็จผลได้หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่นมีอยู่ 3 อย่าง คือ

1. ป้องกันการสัมผัสกันระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์
2. ช่วยให้แผ่น แบลงค์ (Blank) เคลื่อนตัวไปได้อย่างราบเรียบระหว่างการกดตัวของ แบลงค์ โฮลเดอร์ (Blank Holder) กับ ดาย (Die)
3. ป้องกันไม่ให้เกิดรอยขีดข่วนในขณะที่โลหะไหลตัว

วอเตอร์ โซลูเบิ้ล (Water Soluble) เป็นตัวหล่อลื่นนั้น มักจะแห้งตัวเร็วหากไม่ผสมกับน้ำมันหล่อลื่น และต้องใช้หลายครั้ง หากมีการขึ้นรูปซ้ำ วอเตอร์ โซลูเบิ้ล (Water Soluble oil) ผสมกับน้ำ จะเป็นตัวหล่อลื่นที่ดีมากสำหรับการขึ้นรูปเพียงครั้งเดียว สำหรับเทคนิคในการใช้น้ำมันหล่อลื่นอยู่ในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.3 ชนิดของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในงานขึ้นรูปอะลูมิเนียม

Severity of Draw	Type of Lubricant
Light	Light lubricating oil
Medium	Mixture of light oil and heavy lubricating oil Graphite in soluble oil Petrolatum Lard oil
Severe	Heavy lubricating oil Mutton tallow 50% Paraffin 5%
Very severe	Mutton tallow 30% Paraffin 70 %

10. ความเร็วในการขึ้นรูป (ดรออิ้ง สปีด - Drawing Speed) สำหรับการขึ้นรูปตี้นั้น สามารถใช้ความเร็วในการขึ้นรูปได้สูงพอๆ กับการ แบลงค์กิ้ง (Blanking) แต่สำหรับการขึ้นรูปลึกๆ และขึ้นงานมีขนาดใหญ่ด้วยแล้ว ความเร็วที่ใช้ก็จะต่ำลงไป และจะมีค่าต่ำมากสำหรับการขึ้นรูปที่มีเปอร์เซ็นต์ รีดักชั่น (Reduction) สูง

ความเร็วในการขึ้นรูปที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของเครื่องปั๊มตลอดจนลักษณะของการขึ้นรูปด้วย ในเครื่องปั๊มที่ทำงานจังหวะเดียว ซิงเกิ้ล แอคชั่น (Single Action) จะใช้ความเร็วประมาณ 160 ฟุต / นาที และในเครื่องปั๊มที่ทำงาน 2 จังหวะ ดับเบิล แอคชั่น (Double Action) ความเร็วที่ใช้ประมาณ 50 – 80 ฟุต / นาที ความเร็วในการขึ้นรูปที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปอะลูมิเนียมนั้นแสดงไว้ในตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.4 วิธีการใช้น้ำมันหล่อลื่น

วิธี	รายละเอียด	หมายเหตุ
จุ่ม	จุ่มแผ่น BLANK ลงในที่เก็บน้ำมันหล่อลื่น	นิยมใช้รวมกันกับการจุ่มของการขึ้นรูปเหล็กและทองเหลือง
พ่น	แผ่น BLANK หรือ COIL จะเคลื่อนตัวผ่านเครื่องพ่นที่ติดตั้งอยู่ทั้งด้านบนและล่างของโลหะ เพื่อที่จะพ่นน้ำมันหล่อลื่นเป็นฟิล์มบางๆ ไปเกาะที่ผิวทั้งสองของโลหะ	ส่วนมากใช้กับโลหะที่มีวงเป็น COIL มากกว่าที่จะใช้กับโลหะเป็นแผ่นๆ
ลูกกลิ้ง	แผ่น BLANK จะเคลื่อนตัวผ่านลูกกลิ้งที่มีน้ำมันหล่อลื่นติดอยู่	เป็นวิธีที่เร็ว ได้ผลดีและประหยัด
แต้ม ฉาบ	ใช้กับน้ำมันหล่อลื่นที่อยู่ในสภาพของไซหรือซีฟิง	เป็นวิธีที่ช้าแต่ก็จำเป็นในกรณีที่มีแรงเสียดทานมากๆ

ตารางที่ 6.5 ความเร็วในการขึ้นรูปอะลูมิเนียม

PRESS	TYPE OF WORK	RAM VELOCITY FPM
SINGLE – ACTION 5 ~ 20 TON	SHALLOW DRAWS	160 ~ 190
SINGLE – ACTION 35 ~ 50 TON	LIGHT DRAWS	115 ~ 125
SINGLE – ACTION 60 TON	SHALLOW DRAWS	150 ~ 16
DOUBLE – ACTION 125 TON DOUBLE CRANK	LARGE SHALLOW DRAWS	25 ~ 40

DOUBLE – ACTION 160 ~ 250 TON SINGLE CRANK	MEDIUM AND HEAVY DRAWS	50 ~ 65
DOUBLE – ACTION 100 ~ 150 TON SINGLE CRANK	LIGHT DRAWS	60 ~ 80

## 11. ข้อบกพร่องในระหว่างการขึ้นรูป

### ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของข้อบกพร่องในระหว่างการขึ้นรูป

1. เกิดรอยแตกที่ผนังด้านข้าง มีสาเหตุมาจาก
  - 1.1 เครียร์เรนซ์ (Clearance) ระหว่าง พ้นซ์(Punch) กับ ดาย(Die) น้อยเกินไป มากเกินไป หรือไม่สม่ำเสมอ
  - 1.2 มีแรงกดที่ แบลงค์ โฮลเดอร์ (Blank Holder) มากเกินไป
  - 1.3 ดรอ เรเดียน (Draw Radius) เล็กเกินไป ทำให้โลหะไหลตัวได้ไม่สะดวก
  - 1.4 ผนังผิวของ พ้นซ์ (Punch), ดาย(Die) หรือ แบลงค์ โฮลเดอร์ (Blank Holder)ไม่เรียบ ในการขีดผิวไม่ควรขีดผิวในแนวตั้งฉากกับการไหลตัวของโลหะ
  - 1.5 เปอร์เซนต์ รีดักชั่น (Reduction) มากเกินไป
  - 1.6 การหล่อลื่นไม่พอเพียงหรือใช้น้ำมันผิดประเภท
2. เกิดรอยย่น ริงเคิล (Wrinkle) ที่ขอบของรูปถ้วย มีสาเหตุมาจาก
  - 2.1 แรงกดของ แบลงค์ โฮลเดอร์(Blank Holder) น้อยเกินไป
  - 2.2 ดรอ เรเดียน (Draw Radius) ใหญ่เกินไป
  - 2.3 แรงกดที่ แบลงค์ โฮลเดอร์(Blank Holder)ไม่สม่ำเสมอ
3. ขอบของรูปถ้วยยาวไม่เท่ากัน มีสาเหตุมาจาก
  - 3.1 เกิดจากคุณสมบัติในการยึดตัวของโลหะไม่เท่ากันทุกจุด (Directional Properties)
  - 3.2 มีรอยแหงน นิค(Nick) หรือ เบลอ(Burr) ตามเส้นรอบรูปของ แบลงค์(Blank) ก่อนการขึ้นรูป
  - 3.3 Punch ,Die หรือแผ่น แบลงค์(Blank) ไม่อยู่ในศูนย์เดียวกัน ออฟ เซ็นเตอร์(off Center)
  - 3.4 แรงกดที่ แบลงค์ โฮลเดอร์(Blank Holder) ไม่สม่ำเสมอทำให้โลหะไหลตัวเข้าไปใน ดาย(Die) ไม่เท่ากัน
4. การเกิดรอยย่นที่ขอบของถ้วยในการขึ้นรูปใหม่รีดรอ(Redraw) มีสาเหตุมาจาก
  - 4.1 ความหนาของ แบลงค์ (Blank) ไม่ตรงตามที่กำหนด

- 4.2 ดรอ เรเดียน (Draw Radius) ใหญ่เกินไป
- 4.3 เครียร์เรนซ์ (Clearance) ระหว่าง พ้นซ์(Punch) กับ ดาย(Die) มาก

เกินไป

4.4 ความลึกของการขึ้นรูปครั้งแรกน้อยเกินไป หรือ ความลึกของการขึ้นรูปใหม่มากเกินไปหรือขอบของถ้วยจากการขึ้นรูปครั้งแรก ถูกดึงให้ไหลเข้าไปใน ดาย(Die) หรือผนังด้านข้างของถ้วยมีความหนาลดลง

5. ผนังด้านข้างมีความหนาลดลงตรงบริเวณด้านล่างของรูปถ้วย มีสาเหตุมาจาก

- 5.1 คุณสมบัติของโลหะไม่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปใหม่
- 5.2 รัศมีของ พ้นซ์(Punch) กับ ดาย(Die) น้อยเกินไป
- 5.3 ลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูปถ้วยมากเกินไป
- 5.4 การหล่อลื่นไม่พอเพียงหรือใช้น้ำมันหล่อลื่นผิดประเภท

6. เกิดการฉีกขาดที่บริเวณรัศมีด้านล่าง บัทตอม(Bottom) ของรูปถ้วยในการขึ้นรูปใหม่ มีสาเหตุมาจาก

6.1 ผิวหน้าของ แผ่นแบลงค์ (Blank) ไม่ดี แต่ไม่ทำให้เกิดปัญหาในการขึ้นรูปครั้งแรก

6.2 ผิวหน้าตรงบริเวณรัศมีของ พ้นซ์(Punch) , ดาย(Die) และที่ แบลงค์ โฮลเดอร์(Blank Holder) ไม่เรียบพอทำให้กีดขวางต่อการไหลตัวของโลหะ

6.3 รัศมีของ พ้นซ์ (Punch) และ ดาย(Die) น้อยเกินไป

6.4 ลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูปถ้วยมากเกินไป

6.5 ผนังที่บริเวณใกล้กับรัศมีด้านล่างมีความยาวมากไม่สามารถทนต่อการยึดตัวของรูปใหม่ได้

6.6 การหล่อลื่นไม่พอเพียงหรือใช้น้ำมันหล่อลื่นผิดประเภท

7. เกิดการฉีกขาดที่ขอบของถ้วย ในการขึ้นรูปใหม่มีสาเหตุมาจาก

7.1 ผิวหน้าของแผ่น แบลงค์ (Blank) ไม่ดี แต่ไม่ทำให้เกิดปัญหาในการขึ้นรูปครั้งแรกหรือขนาด เกรน(Grain) ของโลหะไม่เท่ากัน

7.2 เครียร์เรนซ์ (Clearance) ระหว่าง พ้นซ์ (Punch) กับ ดาย (Die) น้อยเกินไป

8. มีโลหะเหลือ (Excess Material) ที่บริเวณด้านบนของรูปถ้วยที่ขึ้นรูปใหม่ มีสาเหตุมาจาก

8.1 ความหนาของโลหะมากเกินไป หรือ เครียร์เรนซ์ (Clearance) ระหว่าง พ้นซ์ (Punch) กับ ดาย (Die) น้อยเกินไปหรือไม่สม่ำเสมอ ผนังของรูปถ้วยจะถูกรัดตัว ไอรอนด์(Ironed) และโลหะส่วนนั้นจะไปรวมกันอยู่ตรงบริเวณรัศมีด้านบน หรือตรงบริเวณขอบของรูปถ้วย

8.2 รัศมีของพ้นซ์ โนส (Punch nose) ใหญ่กว่า รัศมีด้านล่างของรูปถ้วย

8.3 ขนาดของรูปถ้วยยาวมากทำให้ พ้นซ์(Punch) ของแม่พิมพ์ขึ้นรูปใหม่ รีด

รอปunch (Redraw Punch) ถึงจุดลึกสุดของการขึ้นรูปใหม่ก่อนที่ผนังด้านข้างจะไหลเข้าไปใน ดาย(Die) และถ้า รีดรอปunch (Redraw Punch) สิ้นเกินไป ก็จะทำให้เกิดปรากฏการณ์เช่นกัน

### สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือเรียน วิชา แม่พิมพ์โลหะเบื้องต้น (Basic Die) รหัสวิชา 20102-2201 บริษัทศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด

2. Power Point หลักการขึ้นรูปโลหะ
3. สื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน
4. สื่อแผ่นภาพ
5. เว็บไซต์ออนไลน์



กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่12)

กิจกรรม	เวลาโดยประมาณ (นาที)
1. ครูเช็คชื่อนักเรียน	5
2. ครูทักทายปราศรัยทั่วไป อบรมคุณธรรมจริยธรรม การปฏิบัติตนในการเป็นนักเรียน หลังจากนั้นทำแบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test)	10
3. ชี้นำเข้าสู่บทเรียน ด้วยการสนทนาพูดคุย การซักถาม ดูภาพจากสื่อออนไลน์ และเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับบทเรียน	5
4. <b>ขั้นการสอน</b> - นักเรียนแบ่งกลุ่ม 2-3 คน/กลุ่ม - ครูสอนบรรยายประกอบสื่อ Power Point เรื่อง เทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่น - สื่อแผ่นภาพ และสื่อ VDO	50
- นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายร่วมกันหน้าชั้นเรียน ในประเด็นเรื่องเทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่น ไม่เกินกลุ่มละ 3-5 นาที	30
5. <b>ขั้นสรุป</b> ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปเนื้อหา บทเรียน และครูเพิ่มเติมในส่วนที่ยังไม่ครอบคลุมเนื้อหา	10
6. <b>ครุมอบหมายงาน</b> ให้อ่านเนื้อหาเพิ่มเติม เรื่อง เทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่น	10
<b>รวม</b>	120

## กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่13)

กิจกรรม	เวลาโดยประมาณ (นาที)
1. ครูเช็คชื่อนักเรียน	5
2. ครูทักทายปราศรัยทั่วไป อบรมคุณธรรมจริยธรรม การปฏิบัติตนในการเป็นนักเรียน	5
3. ช้่นนำเข้าสู่บทเรียน ด้วยการสนทนาพูดคุย การซักถาม ดูภาพจากสื่อออนไลน์ และเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับบทเรียน	5
4. ช้่นการสอน - นักเรียนแบ่งกลุ่ม 2-3 คน/กลุ่ม - ครูสอนบรรยายประกอบสื่อ Power Point เรื่อง ทฤษฎีการตัดทฤษฎีการตัด - สื่อแผ่นภาพ และสื่อ VDO	50
- นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายร่วมกันหน้าชั้นเรียน ในประเด็นเรื่องทฤษฎีการตัด ทฤษฎีการตัด ไม่เกินกลุ่มละ 3-5 นาที	30
5. ช้่นสรุป ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปเนื้อหา บทเรียน และครูเพิ่มเติมในส่วนที่ยังไม่ครอบคลุมเนื้อหา	15
6. ครูมอบหมายงาน ให้อ่านเนื้อหาเพิ่มเติม เรื่อง ทฤษฎีการตัด ทฤษฎีการตัด	10
<b>รวม</b>	<b>120</b>

กิจกรรมการเรียนรู้ (สัปดาห์ที่14)

กิจกรรม	เวลาโดยประมาณ (นาที)
1. ครูเช็คชื่อนักเรียน	5
2. ครูทักทายปราศรัยทั่วไป อบรมคุณธรรมจริยธรรม การปฏิบัติตนในการเป็นนักเรียน	5
3. ช้่นนำเข้าสู่บทเรียน ด้วยการสนทนาพูดคุย การซักถาม รูปภาพจากสื่อออนไลน์ และเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับบทเรียน	5
4. ช้่นการสอน	40
- นักเรียนแบ่งกลุ่ม 2-3 คน/กลุ่ม	
- ครูสอนบรรยายประกอบสื่อ Power Point เรื่อง ทฤษฎีการลากชั้นรูป	
- สื่อแผ่นภาพ และสื่อ VDO	
- ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดหน่วยที่6	20
- นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายร่วมกันหน้าชั้นเรียน ในประเด็นเรื่อง ทฤษฎีการลากชั้นรูป ไม่เกินกลุ่มละ 3-5 นาที	30
- ครูให้ทำแบบทดสอบหลังเรียน หน่วยที่6 (Post-test) พร้อมเฉลยแบบทดสอบและให้คะแนน	10
5. ช้่นสรุป ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปเนื้อหา บทเรียน และครูเพิ่มเติมในส่วนที่ยังไม่ครอบคลุมเนื้อหา	10
6. งานที่มอบหมายให้อ่านเนื้อหาเพิ่มเติม เรื่อง ทฤษฎีการลากชั้นรูป	5
<b>รวม</b>	<b>120</b>

### การวัดผลและประเมินผล

การวัดผล (ใช้เครื่องมือ)	การประเมินผล (นำผลเทียบกับเกณฑ์และแปลความหมาย)
1. แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หน่วยที่6	ไว้เปรียบเทียบกับคะแนนสอบหลังเรียน
2. แบบสังเกตการณ์ทำงานกลุ่ม และการนำเสนอผลงานกลุ่ม	เกณฑ์ผ่าน 50%
3. แบบฝึกหัดหน่วยที่6	เกณฑ์ผ่าน 50%
4. แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่6	เกณฑ์ผ่าน 60%
5. แบบประเมินคุณธรรม จริยธรรม ตามสภาพจริง	เกณฑ์ผ่าน 50%

### งานที่มอบหมาย

ค้นคว้าเนื้อหา เรื่อง หลักการขึ้นรูปโลหะ จากสื่อออนไลน์ เพิ่มเติม

### ผลงาน/ชิ้นงาน/ความสำเร็จของผู้เรียน

1. ผลการนำเสนองานกลุ่ม
2. แบบฝึกหัดหน่วยที่6
3. คะแนนแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) หน่วยที่6 หลักการขึ้นรูปโลหะ

### เอกสารอ้างอิง

1. หนังสือเรียนวิชาแม่พิมพ์โลหะเบื้องต้น (Basic Die) รหัสวิชา 20102-2201 บริษัทศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด
2. เว็บไซต์ออนไลน์ และสื่อสิ่งพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียน

## บันทึกหลังการสอน

## 1. ผลการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

## 2. ผลการเรียนรู้ของนักเรียน/ผลการสอนของครู/ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

## 3. แนวทางการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ครูผู้สอน

ลงชื่อ.....

(.....)

หัวหน้ากลุ่มนักเรียน/ตัวแทนนักเรียน

**แบบฝึกหัดหน่วยที่ 6**

**ตอนที่ 1** จงตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง

1. ประเภทของเทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่น มีกี่ประเภท อะไรบ้าง
2. จงอธิบายทฤษฎีการตัด มาพอสังเขป
3. จงอธิบายทฤษฎีการตัด มาพอสังเขป
4. จงยกตัวอย่างปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการกระเด็นตัวกลับ อย่างน้อย 3 ข้อ
5. จงอธิบายทฤษฎีการลากขึ้นรูป มาพอสังเขป

### แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 6

คำสั่ง จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. ประเภทของเทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่น แบ่งออกได้เป็นกี่ประเภท
  - ก. 3 ประเภท
  - ข. 5 ประเภท
  - ค. 7 ประเภท
  - ง. 9 ประเภท
2. ข้อใด **ไม่ใช่** เทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่น
  - ก. เครื่องตัดพลาสมา
  - ข. เครื่องตัดเลเซอร์
  - ค. เครื่องกัดซีเอ็นซี
  - ง. เครื่องเจาะระบบหัวตอก
3. ข้อดีของเครื่องตัดพลาสมา คือ
  - ก. สามารถตัดวัสดุได้หลายประเภท
  - ข. สามารถปี้มเจาะได้ด้วยความเร็วสูง
  - ค. ตัดงานได้ค่อนข้างช้า
  - ง. สามารถตัดงานโลหะได้หนา
4. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับทฤษฎีการตัด
  - ก. ขบวนการงอขึ้นรูปเบนดิง
  - ข. มีความยุ่งยากน้อยที่สุดคมตัดที่อยู่ในแม่พิมพ์ตัด
  - ค. การตัดด้วยระบบ waterjet
  - ง. ใช้กระแสไฟฟ้าเป็นตัวหลอมละลายชิ้นงาน
5. ข้อใด **ไม่ใช่** การไหลตัวของโลหะ
  - ก. ถ้าเป็นการช่วงกว้าง การไหลตัวของโลหะเนื่องจากแรงอัดมีน้อย
  - ข. เมื่อรัศมีของการงอยาวขึ้น จะทำให้เกิดการไหลตัวของโลหะน้อย
  - ค. ถ้าเป็นโลหะที่อ่อน ก็มีโอกาที่จะฉีกขาดได้ง่าย
  - ง. โลหะที่บางกว่าจะเกิดการไหลตัวของโลหะน้อยน้อยกว่า
6. ข้อใด **ไม่ใช่** ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการกระเด็นตัวกลับ
  - ก. เมื่อโลหะได้ถูกงอด้วยมุมที่มากกว่ามุมที่ต้องการงอ
  - ข. ถ้ารัศมีของการงอเล็กกว่าจะไปลดการเกิดการกระเด็นตัวกลับ
  - ค. โลหะที่แข็งจะมีมุมของการกระเด็นตัวกลับ
  - ง. เมื่อรัศมีของการงอยาวขึ้นจะเกิดการกระเด็นตัวกลับ

7. วิธีป้องกันการเกิดการกระเด็นตัวกลับโอเวอร์คัมมิงสปริงแบล็ค มีกี่วิธี
- 1 วิธี
  - 2 วิธี
  - 3 วิธี
  - 4 วิธี
8. ข้อใด **ไม่เกี่ยวข้อง** กับทฤษฎีการลากขึ้นรูป
- งานขึ้นรูป
  - การเคลื่อนไหวของโลหะ
  - เทคนิคการขึ้นรูป
  - พลาสติก แร้งก์
9. เครีียร์เรนทร์ระหว่าง พ้นซ์กับตาย คืออะไร
- เกิดเป็นรอยกีดขวางการไหลตัวของโลหะ
  - ป้องกันไม่ให้ความหนาตรงบริเวณกันบอดตัม
  - การไหลของโลหะมีมากขึ้นเท่านั้น
  - ป้องกันไม่ให้เกิดแรงต้านทานที่ผิวของแม่พิมพ์
10. ข้อใด **ไม่ใช่** ข้อบกพร่องในระหว่างการขึ้นรูป
- ไม่มีโลหะเหลือ
  - ขอบของรูปถ้อยยาวไม่เท่ากัน
  - เกิดรอยแตกที่ผนังด้านข้าง
  - เกิดรอยย่น ริงเคิ้ล