บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

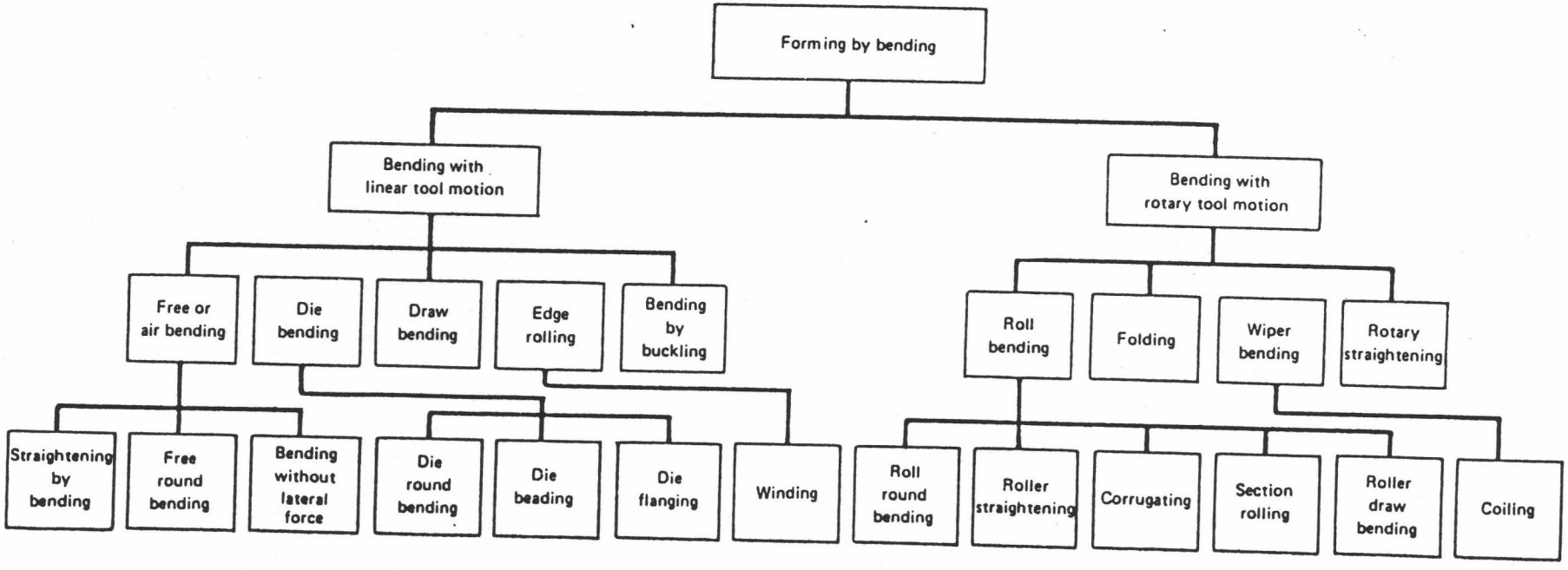
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานการดัดขึ้นรูปโลหะ

การดัดเป็นวิธีการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่นิยมใช้กันกว้างขวางมากที่สุด ซึ่งมีทั้งส่วนประกอบของชิ้นส่วนขนาดเล็กที่ผลิตจำนวนมาก จนถึงการแปรรูปชิ้นส่วนอันเดียวในการสร้างเรือ และการสร้างเครื่องจักรขนาดใหญ่ นอกจากนั้นยังมีวัสดุที่เป็นแผ่น ท่อ ท่อน ลวด และแท่งวัตถุดิบ ซึ่งมีรูปร่างและหน้าตัดหลายอย่างที่ใช้ขึ้นรูปโดยกระบวนการดัดอีกมากมาย ส่วนใหญ่การดัดจะกระทำกันที่อุณหภูมิปกติ แต่สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีหน้าตัดขนาดใหญ่หรือรัศมีการดัดที่น้อยมากจะกระทำกันที่อุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อให้ใช้แรงในการขึ้นรูปอยู่ในวงจำกัดและหลีกเลี่ยงการลดหรือสูญเสียความอ่อนหรือความเหนียว (Embrittlement) โดยความแข็งที่เพิ่มขึ้นจาก work hardening

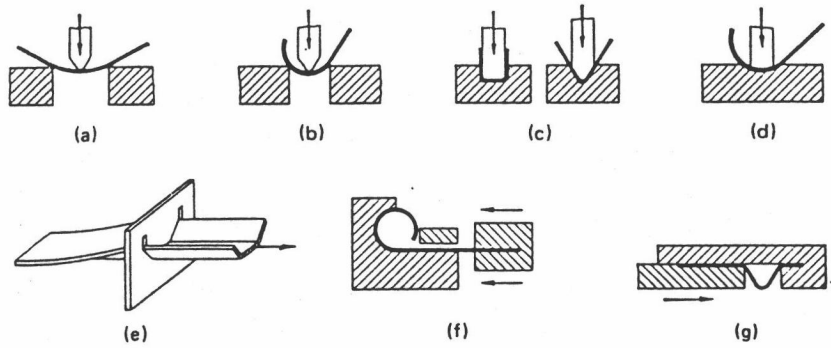
การขึ้นรูปโดยการดัดที่กำหนดเป็นมาตรฐานในอุตสาหกรรมเยอรมัน DIN 8586 นั้นประกอบไปด้วยกลุ่มย่อย 2 กลุ่ม คือการดัดโดย Tool เคลื่อนที่ในแนวตรงและการดัดโดย Tool เคลื่อนที่ในลักษณะหมุน รูป 2-1 เป็นนิยามของคำว่า "bending" ที่รวบรวมในชื่อของกรรมวิธีในเรื่องนี้ ในบางครั้งการรวบรวมที่ผิดออกไปก็อาจทำให้เป็นการกำหนดแบ่งออกเป็นประเภท ๆ ตามความเหมาะสมเป็นส่วนใหญ่

ยกตัวอย่างกรณีของการดัดแบบถู (Wiper bending) คือ ความหมายของ Coiling เมื่อมีการเปลี่ยนรูปไปมากกว่า 360° ตามการคัดเลือกโดยจัดระบบที่ใกล้เคียงกันในระหว่างกลางของการแบ่งกลุ่มจะเป็นคำนิยามการดัดด้วยลูกกลิ้ง (roll bending) ของกลุ่มที่ประกอบไปด้วยการดัดม้วนกลม roll round bending, roller straightening, corrugating, Section rolling และ roll draw bending ดูรูป 2-2 และ 2-3

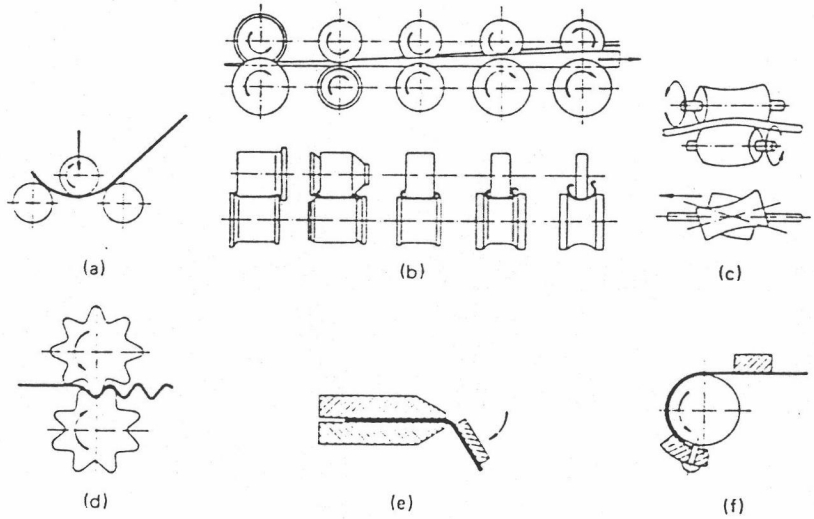
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-1 การแบ่งแยกประเภทกรรมวิธีของการดัด



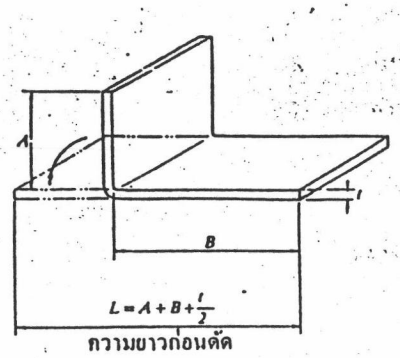
รูปที่ 2-2 ตัวอย่างรูปแบบการดัดโดยเครื่องมือดัด(Tool) เคลื่อนที่ในแนวตรง (a) Free or air bending (b) Free round bending (c) Die round bending (e) Draw bending (f) Edge rolling (g) Bending by buckling



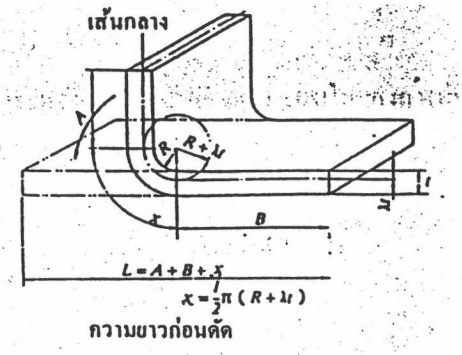
รูปที่ 2-3 ตัวอย่างการดัดโดยเครื่องมือดัด(Tool) เคลื่อนที่ในลักษณะหมุน (a) Roll bending (b) Section rolling (c) Roller straightening (d) Corrugation (e) Folding (f) Wiper bending

2.1.1 การเผื่อความยาวในการดัด (Bending Allowance)

ในการดัดจำเป็นจะต้องคำนวณหาความยาวของชิ้นโลหะก่อนทำการดัดโดยคิดจากแบบของงานที่ดัดแล้วการดัดมุมคมดังรูปที่ 2-4 จะคำนวณหาความยาวของชิ้นโลหะได้ง่ายที่สุดเนื่องจากไม่มีรัศมีมุมโดยเอาครึ่งหนึ่งของความหนาของแผ่นโลหะบวกเข้ากับความยาวทั้งหมดของแผ่นโลหะ ในกรณีที่เป็นมุมมนมีรัศมีมุม จะต้องใช้การคำนวณที่ยากขึ้นเล็กน้อย ดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-4 การดัดมุมคม



รูปที่ 2-5 การดัดมุมมน

$$L = A + B + X \qquad (2\text{-}1)$$

เมื่อ L = ความยาวของแผ่นโลหะดัดเท่ากับ

A = ความยาวของส่วนตั้งฉาก

B = ความยาวตรงของส่วนนอน

X = ความยาวของส่วนดัด

ความยาวของส่วนดัด X จะยาวถ้าคำนวนตามความยาวขอบนอกและจะสั้นถ้าคำนวณตามความยาวขอบใน ความยาวตรงกลางเป็นความยาวที่ถูกต้อง เนื่องจากไม่มีการยืดและหดความยาวตรงกลาง (neutral length) นี้จะอยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางของความหนาของแผ่นโลหะ ถ้ารัศมีดัดมากกว่า 5 เท่าของความหนาของแผ่นโลหะ และจะเลื่อนเข้าทางด้านในเมื่อรัศมีดัดน้อยกว่าตำแหน่งจะอยู่ที่ 0.2 - 0.5 ของความหนาดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ตำแหน่งเส้นกลาง λ และอัตราส่วน R/t ของการดัดรูปตัววี และรูปตัวยู

	R/t	λ
ดัดรูปตัววี	<0.5	0.2
	0.5-1.5	0.3
	1.5-3.0	0.33
	3.0-5.0	0.4
	>5	0.5
ดัดรูปตัวยู	<0.5	0.25-0.3
	0.5-1.5	0.33
	1.5-5.0	0.4
	>5	0.5

สูตรในการคำนวณหาความยาวของส่วนดัด (X) มีดังนี้

$$X = \theta/360 * 2\pi(R+\lambda t) \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อ θ : ค่าของมุมดัด

π : 3.14

R : รัศมีดัด

λ : ค่าระยะห่างระหว่าง Neutral Axis กับ ขอบในของการดัด

t : ความหนาของแผ่นโลหะ

ในกรณีที่ดัดเป็นมุมฉาก

$$X = 90/360 * 2\pi(R+\lambda t) \qquad (2\text{-}3)$$
$$= 1/2 * \pi(R+\lambda t)$$

ตัวอย่างการคำนวณหาความยาวเผื่อในการดัด

พิจารณารูปที่ 2-4 กำหนดให้แผ่นเหล็กมีความหนา(t) 3.0 มิลลิเมตร ความยาวในแนวนอน (B) 50 มิลลิเมตร ความยาวในแนวตั้ง(A) 30 มิลลิเมตร รัศมีขอบในนองการดัด(R) 10 มิลลิเมตร เราจะหาความยาวของแผ่นเหล็กก่อนการดัด ได้ดังนี้

$$R/t = 3.33 \qquad (2\text{-}4)$$

จากตารางที่ 2-1 อ่านค่า λ ได้ = 0.4

ดังนั้น ความยาวส่วนคัด(X) $= 90/360 * 2\pi(R+\lambda t)$

$= 1/2 * 2\pi(10+0.4*5)$

$= 37.699$ มิลลิเมตร

ความยาวของแผ่นโลหะก่อนการคัด $= A + B + X$

$= 30 + 50 + 37.699$

$= 117.699$ มิลลิเมตร

2.1.2 การคำนวณหาตำแหน่งของ Neutral Axis (NA)

การคำนวณหาตำแหน่งของ Neuatral Axis มีวิธีการคำนวณดังนี้

พิจารณารูปที่ 2-6

ab และ cd	คือ หน้าตัดของชิ้นงาน
$d\theta$	คือ มุมห่างของหน้าตัดทั้งสองก่อนการคัด
$d\phi$	คือ มุมที่หน้าตัด cd บิดไปเทียบกับหน้าตัด ab เนื่องจากการบิด
y	คือ ตำแหน่องของส่วนของพื้นที่ dA เทียบกับ NA
e	คือ ระยะทางระหว่าง NA กับ Centroidal Axis
R	คือ รัศมีความโค้งของ Centroidal Axis

จากระยะยืดตัวของชิ้นงานที่ตำแหน่ง y คือ $yd\phi$ ส่วนความยาวเดิมคือ$(R-e+y)d\theta$ ดังนั้น ค่า STRAIN ที่เกิด คือ

$$\varepsilon = \delta / L = yd\phi / (R-e+y)d\theta \qquad (2\text{-}5)$$

จาก Hooke ' law ค่า Stress คือ

$$\sigma = E\varepsilon = Ed\phi\, y / d\theta\,(R-e+y) \qquad (2\text{-}6)$$

เนื่องจากชิ้นงานได้รับการคัดเพียงอย่างเดียวดังนั้นค่าแรงทั้งหมดที่ผ่านหน้าตัดจึงมีค่าเป็นศูนย์

$$\int \delta\, dA = (Ed\phi/d\theta) * \int (ydA / (R-e+y)) = 0$$

ดังนั้น $$\int (ydA / (R-e+y)) = 0 \qquad (2\text{-}7)$$

กำหนดให้ค่า v = ระยะจากแกนคัด(Axis of curvature) ถึง ส่วนของพื้นที่หน้าตัด(dA)

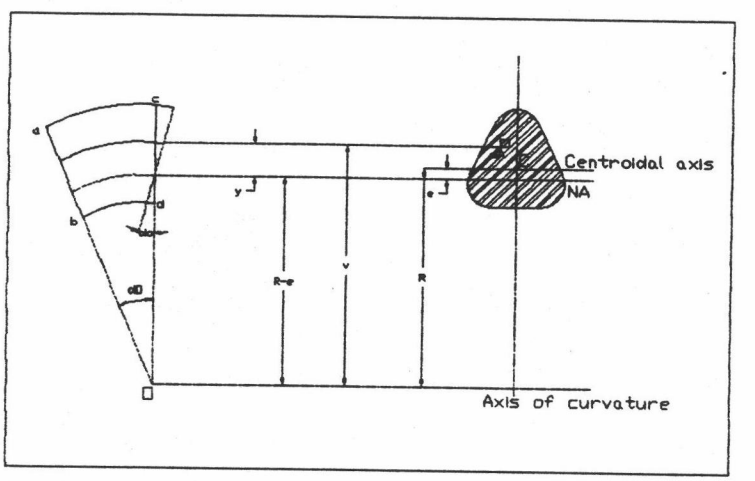
ดังนั้นจะได้ $$y = v-(R-e) \qquad (2\text{-}8)$$

แทนค่า y ลงในสมการ (2-7) จะได้ดังนี้

$$\int (ydA / (R-e+y)) = \int ((v-(R-e))/v)dA = \int dA - (R-e) \int dA/v = 0$$

แก้สมการหาค่า e ได้

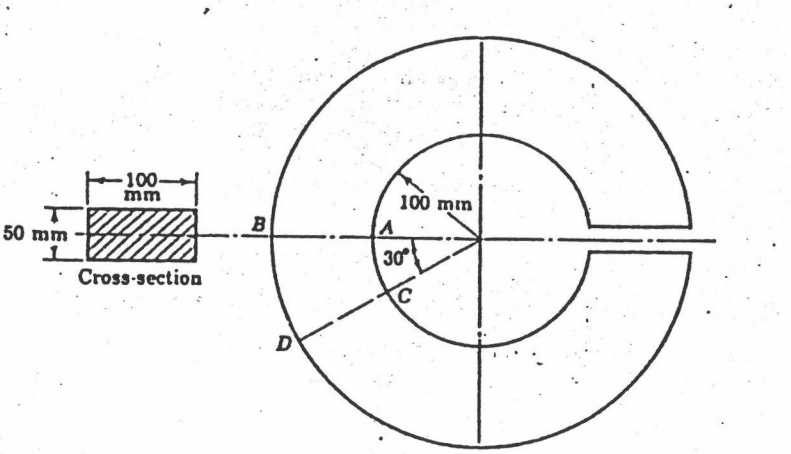
$$e = R - A/\int (dA/v) \qquad (2\text{-}9)$$



รูปที่ 2-6 ตำแหน่งของ Neutral Axis

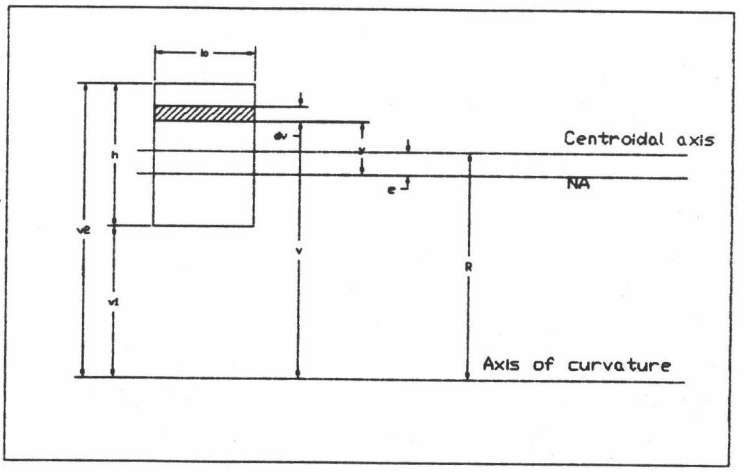
ตัวอย่างการคำนวณหาตำแหน่งของ NA

การคำนวณหาตำแหน่งของ NA โลหะที่ถูกคัดเป็นวงกลมดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 โลหะที่ถูกคัดเป็นวงกลม

จากรูปที่ 2-7 สามารถเขียนภาพตัดขวางของโลหะนี้ได้ดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 แสดงภาพตัดขวางของโลหะดัด

เมื่อ

v1 : รัศมีวงใน

v2 : รัศมีวงนอก

b : ความยาวของแผ่นโลหะ

h : ความหนาของแผ่นโลหะ

e : ระยะห่างระหว่าง เส้น Centroidal axis และ Neutral axis

R : รัศมีของ Centroidal axis

dv : ส่วนของพื้นที่หน้าตัด

y : ระยะห่างระหว่าง dv และ Axis of curvature

จากสมการ $e = R - A/\int (dA/v)$

$= R - bh/\int (b\ dv/v)$

$= R - h/\log_e (v_2/v_1)$

ดังนั้นค่า $e = 150-(100/\log_e (200/100))$

$= 5.7$ mm

นั่นคือ ตำแหน่งของ NA จะอยู่ห่างจาก Centroidal axis 5.7 mm ดังรูปที่ 2-8

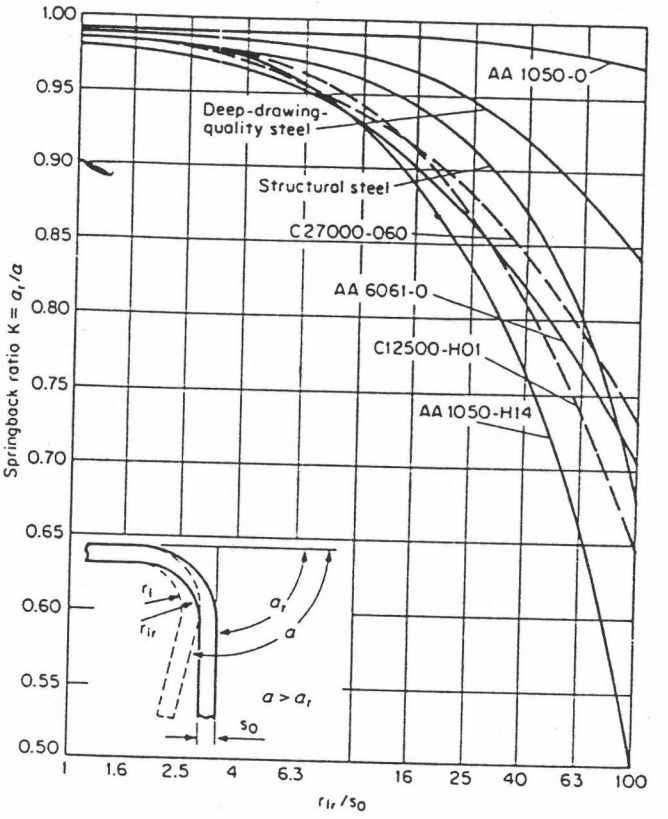
2.1.3 การคำนวณอัตราส่วนของการดีดตัวกลับ (Calculation of springback ratio)

การเด้งตัวที่แท้จริงของแผ่นโลหะที่ดัดจะหมุนกลับออกไปทางด้านเริ่มต้นของจุดหมุนการดัด หลังจากที่บางส่วนถูกดัดอยู่ในสภาวะพลาสติก การเปลี่ยนรูปจะอยู่ในรูปถาวรและมีความเค้นเหลือค้างอยู่หลังจากปล่อยแรงออกแล้ว ตามที่เราสมมุติฐานไว้ การดีดตัวกลับจะเด้งตัวออก

ดังนั้นจะคำนวณ die ในการดัดที่รัศมีการดัดและมุมดัดที่ต่าง ๆ กันได้ในรูปที่ 2-9 เราจะทราบถึงอัตราส่วนการดีดตัวกลับ (K) ของวัสดุชนิดต่าง ๆ กับรัศมีการดัด (α) ความหนาวัสดุ (S) และอัตราส่วนขอบนอก rim ratio(ri) ของชิ้น

$$K = \frac{r_i + 0.5 \cdot S_o}{r_{ir} + 0.5 \cdot S_o} = \frac{\alpha r}{\alpha} \qquad (2\text{-}10)$$

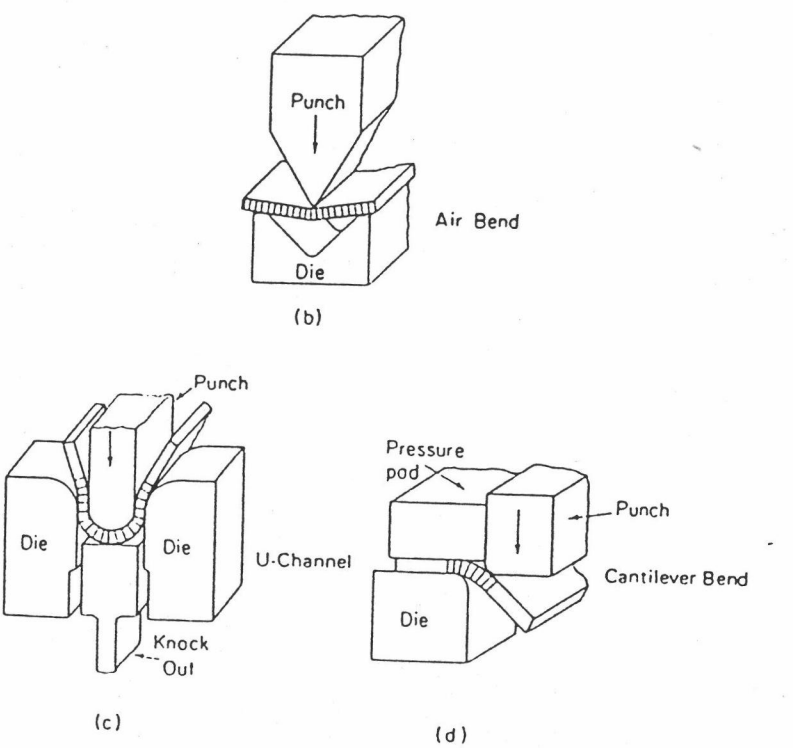
สมการที่ 2-10 แสดงการคำนวณอัตราส่วนของ rim ratio K



รูปที่ 2-9 อัตราส่วนการดีดกลับของวัสดุชิ้นงานชนิดต่างๆ ตามค่ารัศมีการดัดที่ใช้

2.1.4 การคำนวณแรงในการดัด

ในรูปที่ 2-10 แสดงการดัดสามชนิดที่มักจะพบกันบ่อยในการทำแม่พิมพ์ รูป (b) แสดงช่องระยะในการดัด ซึ่งเรียกว่า V-air bend ในขณะที่รัศมีของ die ในการขึ้นรูป จะไม่เท่ากับรัศมีของ punch รูป (c) แสดงช่องดัดรูปตัว U และรูป (d) การดัดแบบ Cantilever bend



รูปที่ 2-10 (b) Air bend (c) U-channel bend (d) Cantilever bend

สำหรับการดัดประเภทนี้สามารถคำนวณหาแรงในการดัดได้จากสมการ 2-11 จะมีข้อสังเกตอยู่ที่ค่า L ซึ่งเป็นความกว้างของแผ่นชิ้นงานที่สัมผัสกับจุดที่ดัดของความกว้างช่อง die คือ W ที่แสดงในรูป 2-11 ค่า W ปกติจะเป็นค่าความกว้างของช่อง die ซึ่งค่าที่แตกต่างกันของช่อง die opening factor k จะใช้ค่าในตารางที่ 2-2

$$F = (k\ L\ \sigma\ t^{2}) / w \qquad (2\text{-}11)$$

เมื่อ

F = แรงในการดัด (N)

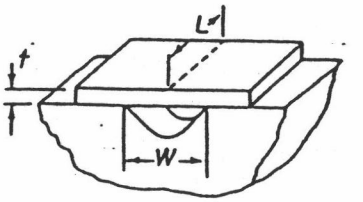
L = ความยาวหน้าสัมผัส (ความกว้างของงาน) (mm)

σ = ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (N/mm)

t = ความหนาชิ้นงาน (mm)

w = ความกว้างของ V-die (mm)

k = ค่า die opening factor



(a)

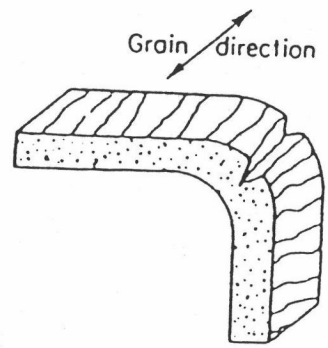
รูปที่ 2-11 แสดงขนาดของ die

ตารางที่ 2-2 Die opening factor k

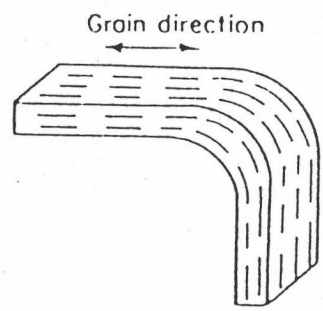
Bending Process	Die Opening Factor (k)	
	w = 8 t	w = 16 t
Air Bend	1.33	1.2
U-Channel Bend	2.67	2.4
Cantilever Bend	0.67	0.6

2.1.5 ข้อบกพร่องในการดัด

ข้อบกพร่องหลักในการทำงานดัดคือ การแตกบริเวณเส้นรอบนอกหรือเส้นรอบในของรัศมีการดัด ถ้าความเครียดที่เป็นจริงบริเวณที่ทำการดัดมากกว่าความเครียดที่เกิดขึ้นจริงสูงสุดของวัสดุจะทำให้ชิ้นงานแตกได้ รวมทั้งทิศทางของ Grain Direction ของโลหะแผ่นก็เป็นปัญหาสำคัญมากขึ้นด้วย ถ้าทำการดัดขนานกับ Grain Direction ตามที่แสดงในรูป 2-12 จะเกิดรอยแยกและการแตกจะขยายมากขึ้น การดัดที่ได้ผลดีที่สุด คือ แนวการดัดที่ทำเป็นมุม 90° กับ ตำแหน่ง Grain Direction รูปที่ 2-13 วัสดุอาจจะดัดได้โดยไม่เสียหายด้วยการทำมุม 45° กับ Grain Direction



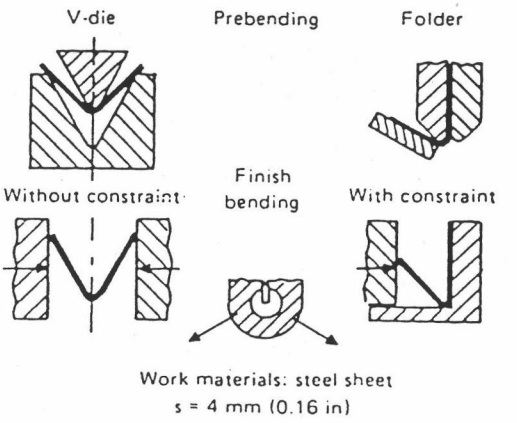
รูปที่ 2-12 Grain Direction ที่ขนานกับแนวที่ทำการดัด



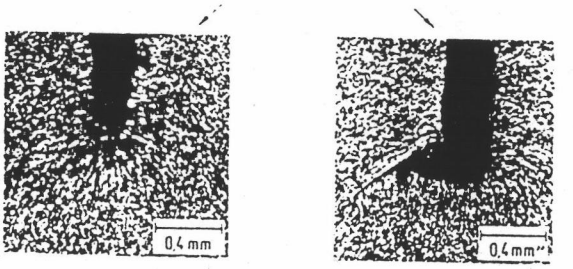
รูปที่ 2-13 Grain Direction ที่ทำมุม 90° กับแนวที่ทำการดัด

ส่วนปัญหาอื่นๆที่ทำให้เกิดการแตกบริเวณเส้นขอบด้านในคือ รัศมีการดัดที่เล็กมากการดัดโลหะแผ่นที่เกิดขึ้นบ่อยคือ การขึ้นรูปตะเข็บและพับขอบต่างๆ ซึ่งการดัดจะพับเป็นมุม 180° นั่นคือ การขึ้นรูปมุมครั้งสุดท้ายโดยปลายขาของชิ้นงานเป็นมุม 0° การทำตะเข็บซึ่งต่อแผ่นโลหะ

สองชิ้นที่ส่วนปลายคดยเกี่ยวล็อคเข้าด้วยกัน ซึ่งปกติต้องใช้รัศมีการดัดด้านในที่มีขีดจำกัด การพับขอบก็เป็นการดัด 180° ซึ่งแผ่นโลหะจะถูกพับให้แบนติดกับตัวมันโดยรัศมีการดัดด้านในเกือบจะเป็นศูนย์ ขั้นตอนที่หนึ่งการดัดขั้นต้น Prebending ต้องใช้ Punch ที่มีปลายรัศมีขนาดเล็ก กรรมวิธีการดัดขั้นต้นแบบธรรมดาคือ V-die และ air bending หรือ การพับ รูปที่ 2-14 ในระหว่างขั้นตอนสุดท้าย ขาสองข้างของชิ้นงานรูปตัว V ถูกบีบเข้าด้วยกัน โดยไม่มีการบังคับที่ด้านในของส่วนโค้ง ในการดัดผิวด้านใน สันนิษฐานไว้ว่ามีความหยาบด้วยรูปร่างสัณฐานของความเครียดและขนาดเม็ดเกรน ในขณะที่รัศมีด้านในเกือบเป็นศูนย์ รอยย่นมีแนวโนมที่จะเป็นรอยแตกและพับติดกัน รูปที่ 2-15 แสดงถึงรูปขยายของรอยแตกหรือรอยพับที่เกิดขึ้นอยู่กับเทคนิคการทำงานดัด ด้วยเหตุที่ข้อบกพร่องจะเป็นตัวทำให้เกิดผลเสียในการใช้โหลดในบางจังหวะ จึงน่าจะหลีกเลี่ยงมุมคมและควบคุมรัศมีด้านในให้มีความใหญ่พอสมควรโดย Die แบบเปิด



รูปที่ 2-14 การทำงานดัดด้วยรัศมีดัดขนาดเล็ก



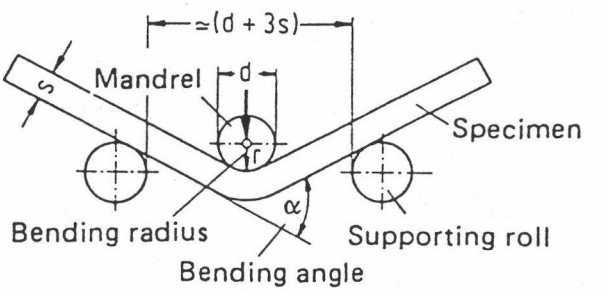
รูปที่ 2-15 รอยแตกหลังการดัด 180°

2.1.6 การทดสอบวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยการดัด

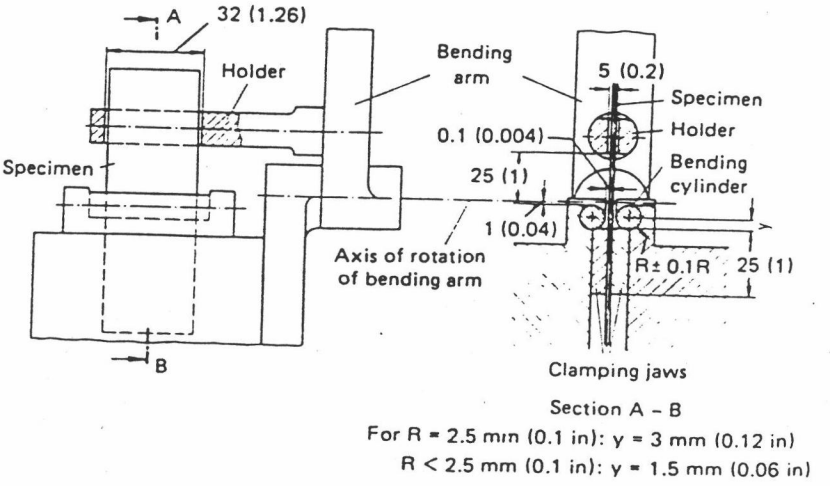
วัสดุที่ใช้ดัดได้เหมาะสมประการแรกควรรู้เกี่ยวกับรัศมีในการดัดที่น้อยที่สุด ซึ่งมีความสำคัญเป็นไปได้ที่จะไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยแตก รัศมีดัดที่น้อยที่สุดของวัสดุขึ้นอยู่กับ work hardening ของวัสดุ เหล็กในสภาวะปกติจะไม่สูญเสียคุณสมบัติความอ่อนหรือความเหนียวด้วยการเพิ่มความเครียด work hardening ที่เกิดขึ้น มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นผลต่อรัศมีดัดที่น้อยที่สุด

โดยทั่วไปการทดสอบคุณภาพของวัสดุในการดัดมีอยู่สองวิธีคือ Fold Test และ To and Fro bending Test การทดสอบทั้งสองและการเปรียบเทียบการทดสอบโดยตรง ระหว่างความแตกต่างของวัสดุหนึ่งชนิดจากการส่งมอบแต่ละครั้ง ดังนั้น เราสามารถตรวจสอบคุณภาพของวัสดุชนิดเดียวกันได้ต่อการที่ได้รับวัสดุมาแต่ละครั้ง

The Fold Test and the To and Fro Bending Test การกำหนดความสามารถในการดัดของโลหะแผ่นโดยทั่วไปใช้วิธีทดสอบ โดยการดัดพับ (Fold Test) รูปที่ 2-16 สำหรับโลหะแผ่นที่หนาไม่เกิน 3 มม. ใช้วิธีการดัดพับกลับไปกลับมา (To and Fro Bending) รูปที่ 2-17 ในกรณีของ Fold Test ที่มุมดัดจะกำหนดรัศมีซึ่งจะไม่ทำให้ชิ้นงานทดสอบแตกในตอนเริ่มต้นบนด้านที่ได้รับแรงดึง เพื่อหาค่าความสามารถในการดัดของวัสดุ ส่วน To and Fro Test ชิ้นงานทดสอบในครั้งแรกจะดัดเป็นมุม 90° และดัดกลับจนกระทั่งแตกหรือขาดในครั้งแรกจะใช้เป็นค่ากำหนดความสามารถในการดัดของวัสดุ



รูปที่ 2-16 แสดงการดัดพับ (Fold bending Test)



รูปที่ 2-17 แสดงวิธีการพับกลับไปกลับมา (To and fro bending Test)

ถ้าจะเปลี่ยนรัศมีการดัดให้เล็กลงทีละน้อย สามารถกำหนดรัศมีการดัดที่น้อยที่สุดได้จากตารางที่ 2-3 เป็นขนาดรัศมีการดัดที่น้อยที่สุดในการดัดเป็นมุม 90° ของวัสดุชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2-3 รัศมีการดัดน้อยที่สุดสำหรับการดัด 90°

Thickness [mm]	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	2,5	3	4
Material	Bending Radius [mm]											
mild steel medium hard steel low alloy steel	0,6 1 1,6	0,6 1 1,6	0,6 1 2,5	0,6 1 2,5	1 1,6 2,5	1 1,6 2,5	1,6 2,5 4	1,6 2,5 4	2,5 4 6	2,5 4 6	4 6 10	4 10 10
copper alloy and zinc pure aluminium Al Cu Mg 1 pl Al Cu Mg F 46	0,6 0,6 0,6 1,6	0,6 0,6 0,6 1,6	1 0,6 1 1,6	1 0,6 1 2,5	1,6 1 1,6 4	1,6 1 1,6 4	2,5 1,6 2,5 6	2,5 1,6 2,5 6	4 2,5 4 10	4 2,5 4 10	6 4 6 16	10 6 10 16
Al Mg 9 F 39 Al Mg Si F 30 magnesium alloy	1,6 1 1,6	1,6 1 1,6	2,5 1,6 1,6	2,5 1,6 1,6	4 2,5 2,5	4 2,5 2,5	6 4 4	6 4 4	10 6 6	10 6 6	16 10 10	16 10 10

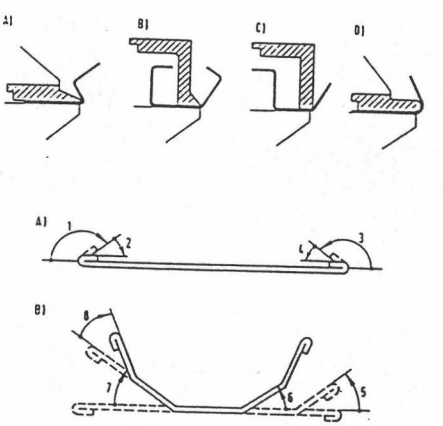
2.2 เครื่องจักรและเครื่องมือสำหรับการดัด

เครื่องจักรและเครื่องมือในการดัดมีความแตกต่างกันอย่างมากในรูปร่างเพราะกระบวนการดัดนั้นมีหลายชนิด สำหรับบทนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการดัดโดยเครื่องมือดัด(Tool) ชนิดหมุน

2.2.1 การดัดโดยเครื่องมือดัด(TOOL) เคลื่อนที่ในลักษณะหมุน

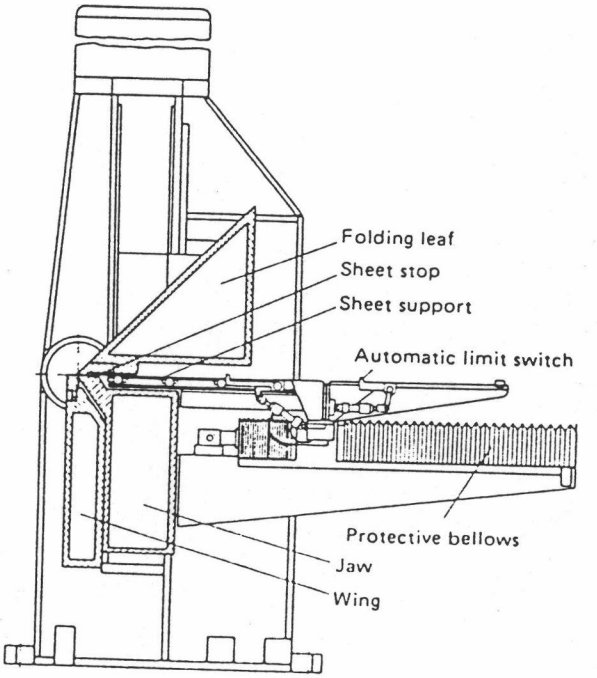
2.2.1.1 การพับ (FOLDERS)

การพับชิ้นงานนั้นจะต้องทำการจับยึดด้านหนึ่งของชิ้นงานเอาไว้ และทำการพับด้านที่เหลือโดยใช้ปีกหมุน (Rotating wing) โดยรัศมีการดัดน้อยที่สุดจะต้องใหญ่กว่ารัศมีของใบที่ทำการดัด (Folding leaf) การดัดในอากาศก็เป็นกรรมวิธีอีกอันหนึ่งในกรณีที่ต้องการให้รัศมีการดัดเท่า ๆ กันก็สามารถใช้วิธีการพับได้ ประโยชน์สำหรับการพับที่นอกเหนือจากการดัดก็คือสามารถดัดได้ง่ายโดยใช้ระยะจับยึดที่สั้นกว่า ระยะจับยึดที่น้อยที่สุดเป็นผลมาจากการออกแบบหน้าตัดของตัวจับยึด, แรงในการจับยึด และมุมสำหรับทำการดัด ถ้าความยาวในการจับยึดไม่เพียงพออาจทำให้ชิ้นงานหลุดออกจาก Jaw และใบที่ทำการดัด (Folding leaf) ได้ในรูปที่ 2-18 แสดงถึงแม่พิมพ์ที่ใช้ในการพับแบบต่าง ๆ และตัวอย่างขั้นตอนการพับ, การดัดเมื่อต้องการผลิตชิ้นงานจำนวนมาก ๆ การพับจะช่วยให้ประหยัดและความยาวที่ได้จากการพับแน่นอนขึ้น



รูปที่ 2-18 (A)การพับโดยใช้ Die สอดอยู่ภายใน a แบบขอบแหลม b เป็นรูปตัว Z และมีขอบแหลม C แบบคอห่าน (Gooseneck) d แบบมีส่วนโค้ง
(B)ตัวอย่างการผลิตชิ้นงานที่ทำจากโลหะแผ่นโดยใช้เครื่องพับ
A) การพับ B)การดัด

การพับใช้ทำงานได้เช่นเดียวกับวิธี Press brake การดัดบนตัวพับสามารถทำได้ผลกว่า แต่ชิ้นงานจะต้องถูกยึดอยู่ระหว่างใบสำหรับทำการดัด (Folding leaf) และ Jaw โดยทั่วไปแล้วเครื่องพับจะมีราคาแพงไม่มากนัก และสามารถดัดชิ้นงานที่มีปลายสั้น ๆ ได้ จึงนิยมนำไปใช้ในโรงงาน พื้นฐานการออกแบบของตัวพับแสดงในรูป 2-19 ใบสำหรับทำการพับ (Folding lealf) , Jaw และปีก (wing) ได้ถูกจัดเตรียมไว้ระหว่าง column 2 ตัว ซึ่งสามารถปรับความสูงให้ระยะห่างของแกนที่จะทำการพับพอดีกับรูปทรงของชิ้นงาน การปรับนี้ทำได้โดยใช้มือหรือใช้มอเตอร์ก็ได้ ซึ่งจะทำการปรับได้เรียบมากโดยผ่านสกรูขับ (lead Screw) การเคลื่อนที่อุปกรณ์ของเครื่องพับจะส่งกำลังโดยระบบกลไกหรือระบบไฮดรอลิค เครื่องจักรที่จะใช้ระบบควบคุมแบบตัวเลขซึ่งเป็นสิ่งที่ดีเพื่อใช้ในการจับยึด, การพับ และควบคุมระยะชัก (stroke) ในส่วนของ Tool, Die สำหรับทำการดัดต้องทำให้มีรูปร่างที่เหมาะสมเพื่อยึดติดกับใบสำหรับทำการพับ (Folding leaf) แสดงในรูปที่ 2-18 A

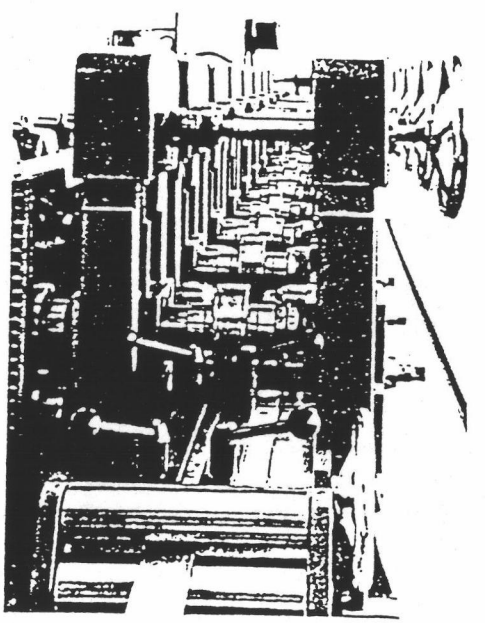


รูปที่ 2-19 ภาพตัดขวางของตัวพับ (Courtesy of RHEINHARDT)

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

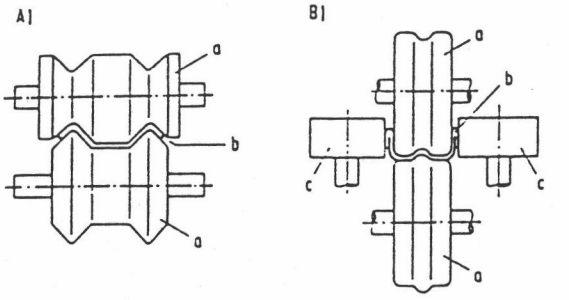
2.2.1.2 การขึ้นรูปโดยใช้ลูกกลิ้ง (ROLL FORMERS)

เครื่องจักรชนิดนี้ส่วนมากจะสร้างขึ้นมาเพื่อให้สามารถแยกออกเป็นส่วน ๆ ได้ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบสามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยแต่ละส่วน (sections) จะมีลูกกลิ้ง 1 หรือ 2 คู่ ดูรูป 2-20 ประกอบในส่วน (sections) ที่ง่ายอาจจะมีสองสามขั้นตอนหรือ 15 ขั้นตอน สำหรับในตัวอย่างเป็นส่วน (sections) ที่มีความซับซ้อนมากการขึ้นรูปโดยใช้ลูกกลิ้งจะช่วยให้ประหยัด เมื่อใดก็ตามที่ในส่วน (sections) นั้นไม่สามารถใช้วิธี Press brake หรือการพับได้ ความยาวในการตัดสามารถขยายได้และคุณภาพของชิ้นงานยังสูงอีกด้วย การป้อนจะใช้วัตถุดิบที่เป็นขดโดยทำให้มีขนาดพอดีกับเครื่องตัดให้ตรงและมีอุปกรณ์สำหรับตัดด้วย ดังนั้นการออกแบบลูกกลิ้งจึงต้องสามารถเปลี่ยนได้รวดเร็วเพื่อให้ง่ายต่อการถอดเมื่อต้องการทำการผลิตในส่วน (sections) ที่แตกต่างกันออกไป ลูกกลิ้งตัวบนสามารถปรับให้มีความสูงที่เหมาะสมกับความหนาของแผ่นชิ้นงานและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวลูกกลิ้ง ในการทำรูปร่างของตัวลูกกลิ้งในแต่ละ section จะต้องพิจารณาถึงการดีดตัวกลับของชิ้นงานและรัศมีการดัดที่น้อยที่สุดด้วยเพราะเป็นสิ่งสำคัญ

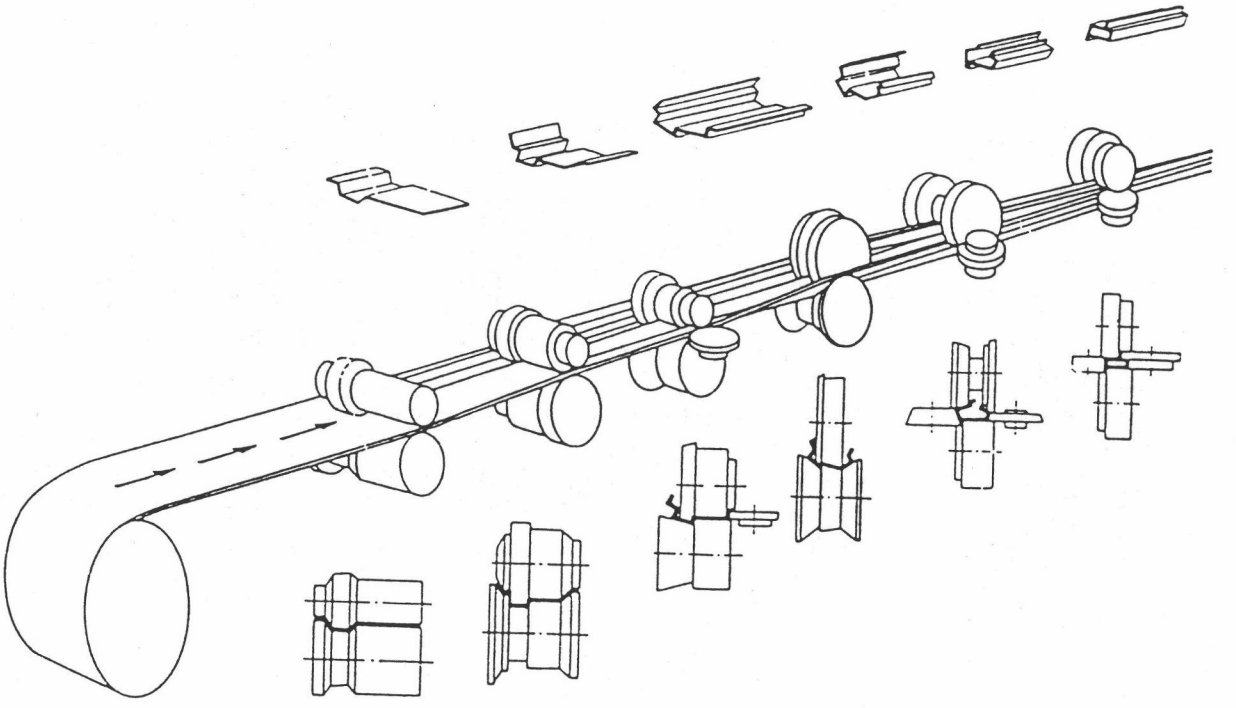


รูปที่ 2-20 เครื่องจักรสำหรับขึ้นรูปโดยใช้ลูกกลิ้ง

ในรูปที่ 2-21 เป็นตัวอย่างการขึ้นรูปโดยใช้ลูกกลิ้งมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ ใช้ลูกกลิ้ง 2 ตัว และ 4 ตัว ทำการคัดชิ้นงานในหนึ่งขั้นตอน ตัวลูกกลิ้งสามารถทำให้อยู่ได้ทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง รูปที่ 2-22 แสดงการผลิตกรอบประตูโดยใช้ลูกกลิ้งมีอยู่ด้วยกัน 6 ขั้นตอน ความกว้างของแผ่นที่จะนำมาทำชิ้นงานอาจมีความกว้างถึง 2 เมตร ความหนาอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 12 มม. ในกรณีพิเศษอาจหนาถึง 20 มม. ส่วนความเร็วในการขึ้นรูปโลหะจะอยู่ระหว่าง 40 ถึง 100 เมตร/นาที

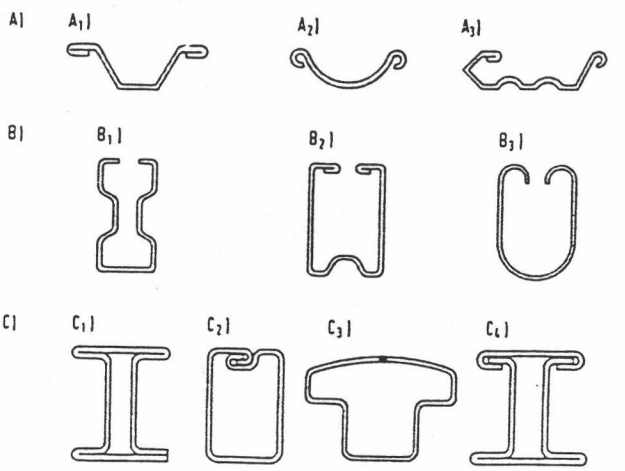


รูปที่ 2-21 หลักเกณฑ์การขึ้นรูปโดยใช้ลูกกลิ้ง (A) ขึ้นรูปโดยใช้ลูกกลิ้ง 2 ตัว ใน 1 Section (B) ขึ้นรูปโดยใช้ลูกกลิ้ง 4 ตัว ใน 1 Section



รูปที่ 2-22 การขึ้นรูปกรอบประตูโดยใช้ลูกกลิ้งจำนวน 6 ขั้นตอน

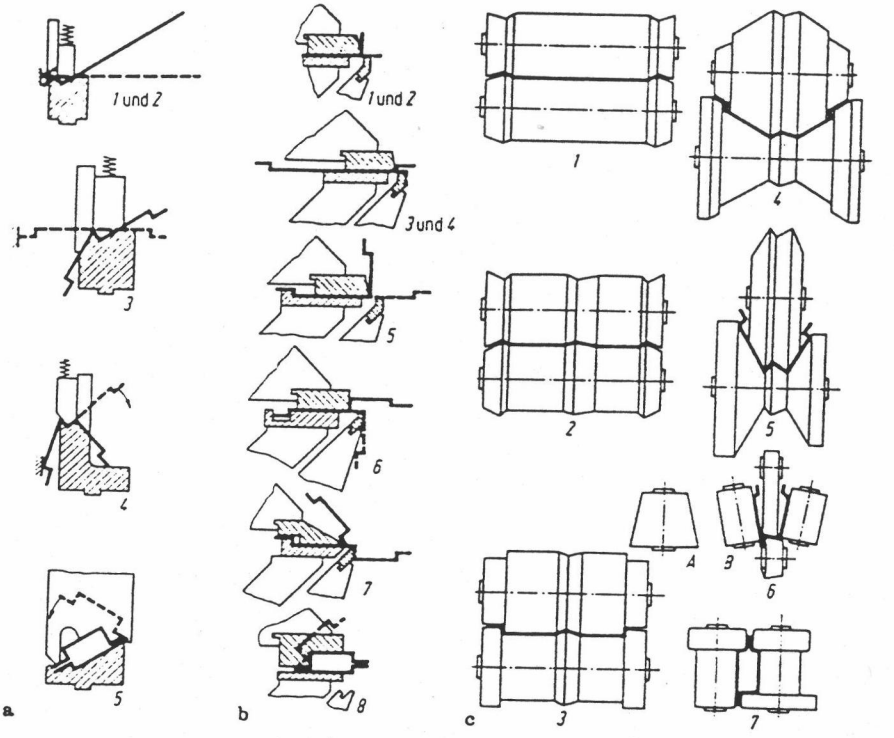
ในรูปที่ 2-23 การผลิตชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยลูกกลิ้งซึ่งมีหน้าตัดแตกต่างกันมีอยู่ด้วยกัน 10 แบบ



รูปที่ 2-23 การใช้ลูกกลิ้งขึ้นรูปชิ้นงานโดยมีหน้าตัดที่แตกต่างกัน (A) ฌูปหน้าตัด เปิดA1 พับ A2 ม้วนขอบ A3 พับ, ม้วนขอบ,ทำปีก (B) รูปหน้าตัดกึ่งปิด B1 ดัด B2 พับ, ทำปีก B3 ม้วนขอบ (C) รูปหน้าตัดปิด C1 ไม่มีรอยต่อ C2 พับ C3 เชื่อมติด C4 พับโดยมีชิ้นงาน 2 ชิ้น

ต่อไปนี้เป็นการเปรียบเทียบการดัดมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี ซึ่งพิจารณาจากรูปหน้าตัดของชิ้นงาน คือ การดัดโดยวิธี Press Break , การพับ และ การขึ้นรูปโดยใช้ลูกกลิ้ง ชิ้นงานเป็นวงกรอบประตู รูปที่ 2-24 แสดงถึงระบบการทำงานที่มีขั้นตอนการดัดที่แตกต่างสำหรับการผลิตชิ้นงานจำนวนน้อยใช้วิธีพับจะช่วยประหยัดได้มาก ชิ้นงานที่ต้องการผลิตจำนวนปานกลางใช้วิธี Press Break จะประหยัดกว่า และชิ้นงานที่ผลิตจำนวนมากมีระยะการดัดที่แตกต่างกันใช้วิธีขึ้นรูปด้วยลูกกลิ้งจะช่วยให้ประหยัดได้มากกว่า ปัญหาที่นอกเหนือไปสำหรับการขึ้นรูปด้วยลูกกลิ้งคือ ราคาของเครื่องจักรสูง ความจริงข้อนี้ก็คือ ลูกกลิ้งแต่ละ Section จะทำการดัดชิ้นงานได้รูปหน้าตัดเดียวเท่านั้น นี้คือเหตุผลที่ทำให้ราคาแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการพับและการ Press Break ไม่สูงเหมือนกับเครื่องจักรที่ขึ้นรูปด้วยลูกกลิ้ง

การดัดด้วยวิธี Press brake การพับ การขึ้นรูปด้วยลูกกลิ้ง

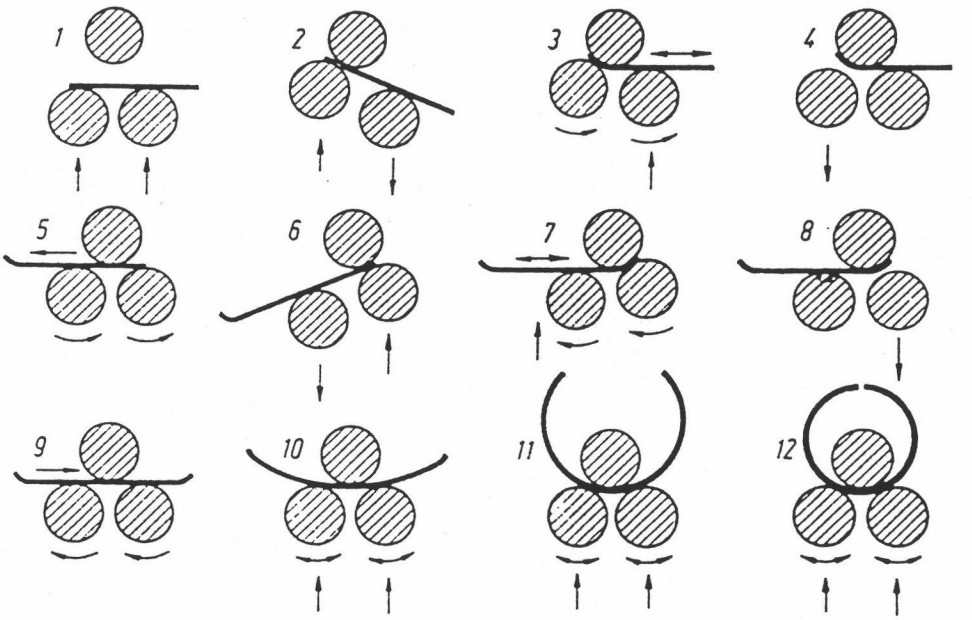


รูปที่ 2-24 เปรียบเทียบระหว่างการดัดด้วยวิธี Press Break , การพับ , การขึ้นรูปด้วยลูกกลิ้ง

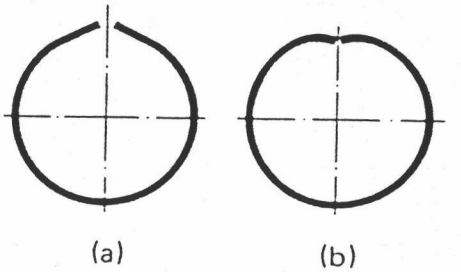
2.2.1.3 การดัดโดยใช้ลูกกลิ้ง(Roll Benders)

การดัดด้วยลูกกลิ้งส่วนมากจะใช้ดัดเพื่อทำการผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกและทรงกรวยเพื่อทำเป็นภาชนะต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรรมวิธีการดัดในอากาศ ยกเว้นการดัดตรงส่วนปลายของชิ้นงาน แต่เนื่องจากลูกกลิ้งต้องหมุนอย่างคงที่ โมเมนต์จากการดัดจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องไม่อยู่กับที่ในทิศทางปลายของชิ้นงานเป็นผลให้เกิดการเสียรูปที่เหมือนๆกันขึ้นในทุกส่วนที่ผ่านขั้นตอนการดัด ชิ้นงานยที่ได้จะมีหน้าตาเป็นวงกลม รูปที่ 2-25 แสดงขั้นตอนการดัดแต่ละ

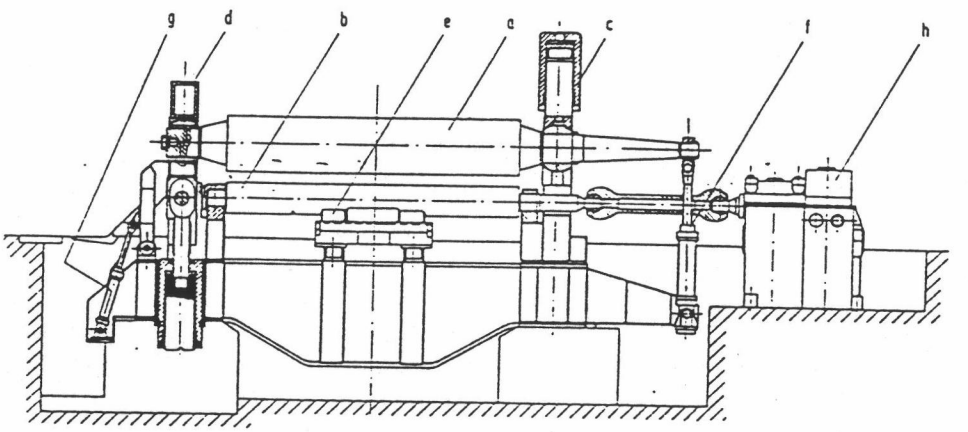
ขั้นตอนโดยใช้ลูกกลิ้ง 3 ลูก การดัดตรงส่วนปลายของชิ้นงานไม่จำเป็นต้องใช้ลูกกลิ้งเพื่อทำการดัด แต่มันสามารถที่จะเลื่อนต่อไปได้จนกระทั่งการผลิตครบสมบูรณ์ตรงส่วนปลายของชิ้นงานสามารถทำการดัดได้โดยใช้ Die และรัศมีการดัดตรงส่วนปลายจะต้องถูกต้องอย่างแน่นอน ความจริงข้อหนึ่งสำหรับการผลิตภาชนะความดัด ถ้าหากรัศมีการดัดตรงส่วนปลายไม่ถูกต้องแล้วสามารถส่งผลถึงแนวเชื่อมตะเข็บรอยต่อได้ตามรูป 2-26 ในรูปที่ 2-27 แสดงโครงสร้างของเครื่องจักรทำการดัดโดยใช้ลูกกลิ้งจำนวน 3 ลูก



รูปที่ 2-25 ขั้นตอนการดัดโดยใช้ลูกกลิ้ง 3 ลูก

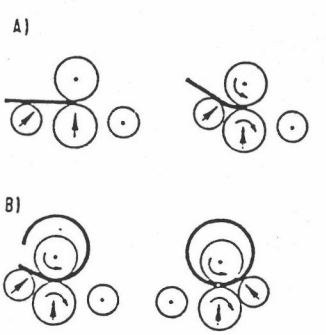


รูปที่ 2-26 ข้อบกพร่องเนื่องมาจากการดัดด้วยลูกกลิ้ง
(a) ปลายทั้งสองด้านไม่ถูกต้อง
(b) ปลายทั้งสองด้านมากเกินไป



รูปที่ 2-27 โครงสร้างของเครื่องดัดซึ่งใช้ลูกกลิ้ง 3 ลูก (a) ลูกกลิ้งตัวบน (b) ลูกกลิ้งตัวล่าง (c) Tilting Bearing Post (d) Swivelling Bearing Post (e) Back-upRoll (f) Tilting-Device (g) Swivelling-Device (h) Main Drive

ในบางครั้งเครื่องดัดจะทำงานโดยใช้ลูกกลิ้ง 4 ลูก รูปที่ 2-28 แสดงขั้นตอนการดัดตรงส่วนปลายของชิ้นงาน โดยใช้ลูกกลิ้ง 4 ลูก ลูกกลิ้งตัวล่างซ้ายมือด้านนอกเคลื่อนที่ จากตำแหน่งด้านล่างไปยังจุดศูนย์กลางของลูกกลิ้งตัวบนเพื่อทำการดัดส่วนปลายของชิ้นงานด้านขวา ชิ้นงานจะถูกจับยึดอยู่ระหว่างลูกกลิ้งตัวบนและลูกกลิ้งที่อยู่ตรงกลางด้านล่างหลังจากนั้นก็จะทำการหมุนระหว่างลูกกลิ้งตัวบน, ลูกกลิ้งด้านซ้ายและลูกกลิ้งตัวกลางด้านล่าง ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการดัดปลายด้านซ้ายของชิ้นงาน ซึ่งทำคล้ายๆกับการดัดปลายด้านขวา โดยลูกกลิ้งด้านขวามือจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งจุดศูนย์กลางของลูกกลิ้งตัวบน



รูปที่ 2-28 ขั้นตอนการดัดโดยใช้ลูกกลิ้ง 4 ลูก

2.3 การสำรวจงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

เอกสิน โลหสมบูรณ์ (2532)

งานวิจัยนี้ศึกษาปัญหาและแนวทางในการประยุกต์วิชาการทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการและการบริหารในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและได้ทำการประเมินผลการปรับปรุงในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานตัวอย่างทำให้ลดต้นทุนการผลิตและได้รับผลตอบแทนจากการลงทุนสูงขึ้นอันเป็นการเพิ่มอำนาจในการแข่งขันทางด้านตลาดเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาอุตสาหกรรมประเภทนี้ที่มีความเอื้ออำนวยในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ

ทวีป งามสม (2532)

เป็นการวิจัยเพื่อดูแนวทางในการที่จะประยุกต์ใช้วิศวกรรมคุณค่าในการอุตสาห-กรรมการผลิตของประเทศโดยอาศัยโรงงานรีดเหล็กเป็นโรงงานตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์ จากโรงงานตัวอย่างนี้มีลวดเหล็กตั้งแต่ขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ที่ต่อเนื่องกับลวดเหล็ก เช่น การทำตาข่าย ตะแกรง ฯลฯ

จากการทำวิจัยพบว่าในโรงงานประเภทนี้สามารถที่จะนำวิศวกรรมคุณค่าเข้าไปใช้ได้และในโรงงานตัวอย่างสามารถลดการสูญเสียลวดเหล็กในการทำตาข่ายสี่เหลี่ยมซึ่งทำให้โรงงานประหยัดไปประมาณปีละ 129000 บาท

ชาญชัย ทรัพยากร และ คณะ (2532)

หนังสือเล่มนี้กล่าวถึงการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปโลหะชนิดต่างๆและได้มีการกล่าวถึงการขึ้นรูปโลหะแผ่นเป็นแบบต่างๆ ที่ต้องมีการเผื่อระยะยืดหลังการดัดพร้อมทั้งแสดงสูตรการคำนวณหาค่าความยาวของแผ่นโลหะก่อนการดัด

Linberg , R.A. (1990)

หนังสือเล่มนี้กล่าวถึง วิธีการขึ้นรูปแผ่นโลหะด้วยวิธีการต่างๆรวมถึงวิธีการดัดโลหะแผ่นด้วยวิธีการต่างๆ พร้อมทั้งเสนอวิธีการคำนวณหาค่า Bending Allowance เพื่อใช้ในการหาค่าความยาวของแผ่นโลหะก่อนการดัด

Pytel , A. และ Singer , F.L. (1992)

หนังสือเล่มนี้เป็นหนังสือที่อธิบายการหาค่าความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในวัตถุอันเนื่องมาจากแรงภายนอกมากระทำ และมีการกล่าวถึงวิธีการหาระยะของ Neutral Axis ซึ่งเป็นแกนที่แรงดึงและแรงอัดที่มากระทำต่อชิ้นงานมีค่าเป็นศูนย์ทำให้แกนนี้มีความยาวก่อนและหลังการดัดคงที่