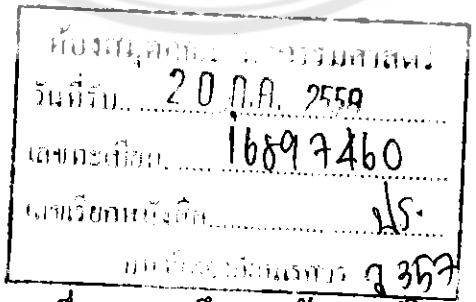
การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง SS400

Prototyping bending machine pipe square SS400

นายวศิน เดชมัด รหัส 53361498

นายสุรพิชญ์ จันทะวง รหัส 53361665

นายณัฐพล นาคเปลื้อง รหัส 53361108



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง SS400	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายวศิน เดชมัต	รหัส 53361498
	นายสุรพิชญ์ จันทะวง	รหัส 53361665
	นายณัฐพล นาคเปลื้อง	รหัส 53361108
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น	
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	ครูช่างปฏิบัติการ ประเทือง โมราราย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2557	

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น)

.....ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน

(ครูช่างปฏิบัติการ ประเทือง โมราราย)

.....กรรมการ

(รศ.ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน)

.....กรรมการ

(อาจารย์ธนา บุญฤทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง SS400	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายวศิน เดชมัด	รหัส 53361498
	นายสุรพิชญ์ จันทะวง	รหัส 53361665
	นายณัฐพล นาคเปลื้อง	รหัส 53361108
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น	
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	ครูช่างปฏิบัติการ ประเทือง โมรารายย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2557	

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการออกแบบและ สร้างเครื่องต้นแบบเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง SS400 เนื่องจากปัจจุบันเครื่องดัดเหล็กได้มีการพัฒนารูปแบบการทำงาน เพื่อใช้ในการประกอบกิจการอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดใหญ่ เช่น เครื่องดัดเหล็กระบบไฮโดรลิค เครื่องดัดเหล็กระบบไฟฟ้า และเครื่องดัดเหล็กระบบไฮโดรลิคไฟฟ้า แต่ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กเครื่องดัดเหล็กในระบบที่กล่าวข้างต้น ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้น ทางผู้ดำเนินโครงงานจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง SS400 ขึ้นมาช่วยในการดัดชิ้นงานเพื่อนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ในการดำเนินโครงงาน จะทำการศึกษาและรวบรวมทฤษฎี แล้วทำการออกแบบส่วนต่างๆ ของเครื่องต้นแบบเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง SS400 จากนั้นจัดหาวัสดุที่ใช้ในการสร้าง แล้วก็ทำการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง SS400 ในระบบ Compresion ซึ่งในต้นแบบเครื่องดัดเหล็ก ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ลูกดัด ลิ่มดัด และลิ่มยึด

การดำเนินโครงงานครั้งนี้จะได้ต้นแบบเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง SS400 ซึ่งต้นแบบเครื่องดัดเหล็กสามารถดัดชิ้นงานเป็นตัว L หรือ 90 องศา โดยใช้แรงดัดเท่ากับ 255.4 N มีความคลาดเคลื่อนของไม้โปรแทรกเตอร์ ±1 องศา โดยไม่เกิดข้อบกพร่องของ รอยย่น รอยแตก และฉีกขาด และศึกษาผลกระทบความหนาของชิ้นงานหลังจากการดัด และผลกระทบความกว้างของชิ้นงานหลังจากการดัด ซึ่งจะเป็นการช่วยแก้ไขปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะอาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และอาจารย์ประเทือง โมรารายา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำวิธีแก้ปัญหา รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินโครงงานมาโดยตลอด และขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ ยังต้องขอขอบคุณ กลุ่มผู้รับเหมางานเฟอร์นิเจอร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูล เพื่อใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงงานใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การดูแล อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดการดำเนินโครงงานจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายวศิน เดชมัด
นายสุรพิชญ์ จันทะวง
นายณัฐพล นาคเปลื้อง

มิถุนายน 2557

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ก
บทคัดย่อภาษาไทย ข
กิตติกรรมประกาศ ค
สารบัญ ง
สารบัญตาราง ช
สารบัญรูป ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน 2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ 2
1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4
2.1 ประเภทเครื่องดัดเหล็กที่ใช้แรงคน 4
2.2 ทฤษฎีการดัดเหล็ก 6
2.3 ทฤษฎีวัสดุ 12
2.4 ส่วนประกอบของเครื่องดัดเหล็ก 14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 ข้อผิดพลาดจากการดัด 19

2.6 การดีดตัวกลับ 22

2.7 สมการสำคัญในการดัด 25

2.8 การหาค่าความยาวเริ่มต้น 26

2.9 การหาค่า Clearance 27

2.10 การหาแรงของคน 28

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 29

3.1 ศึกษากระบวน และรวบรวมข้อมูลทฤษฎีของเครื่องดัดเหล็ก 29

3.2 ออกแบบเครื่องดัด 30

3.3 การจัดหาวัสดุอุปกรณ์ และสร้างเครื่อง 32

3.4 การทดลอง 32

3.5 วิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ 32

3.6 จัดทำคู่มือการใช้งาน 32

3.7 สรุปผล 33

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 35

4.1 การศึกษา และรวบรวมข้อมูล 35

4.2 การออกแบบ 35

4.3 การจัดหาวัสดุ และสร้างเครื่อง 41

4.4 การทดสอบระบบดัด ของเครื่องดัดเหล็ก 45

4.5 จัดทำคู่มือการใช้งานเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง 57

4.6 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 57

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 58
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 58
5.2 ข้อเสนอแนะ 59
เอกสารอ้างอิง 60
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง 61
ภาคผนวก ข แบบเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง 69

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน 3

2.1 แสดงเหล็กโครงสร้าง แบ่งตามรูปภาคตัดเป็น 6 แบบ 13

2.2 แสดงขนาดความหนา และน้ำหนักของเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง 1x1 นิ้ว 13

2.3 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของเหล็ก SS 400 14

2.4 แสดงสมบัติทางกลที่สำคัญของเหล็ก SS 400 14

2.5 แสดงโมเมนต์ความเฉื่อย และโมดูลัสพื้นที่หน้าตัด ของรูปพื้นที่หน้าตัดต่างๆ 25

2.6 แสดงการกำหนดค่า c ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวนอกที่มีแรงกระทำ 27

4.1 แสดงราคาต้นทุนโครงงาน 44

4.2 แสดงการทดสอบการดีดกลับจากทฤษฎี 47

4.3 แสดงข้อบกพร่องรอยแตก และฉีกขาด 48

4.4 แสดงข้อบกพร่องการเกิดรอยย่น 49

4.5 แสดงข้อบกพร่องการเกิดรอยบุบ 50

4.6 ผลการทดสอบผนังความหนาของผนังหน้าตัดส่วนโค้งของเหล็กท่อสี่เหลี่ยมกลวง 52

4.7 ผลการทดสอบความกว้างของหน้าตัดส่วนโค้งของเหล็กท่อสี่เหลี่ยมกลวง 55

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 เครื่องดัดท่อแบบที่ 1 4

2.2 เครื่องดัดท่อแบบที่ 2 5

2.3 เครื่องดัดท่อแบบที่ 3 6

2.4 รูปประกอบนิยามศัพท์ในการดัด 7

2.5 ชุดแม่พิมพ์ดัดท่อแบบ Mandrel Bending 8

2.6 ลักษณะของการดัดท่อแบบ Mandrel Bending 8

2.7 ข้อบกพร่องของกระบวนการดัด 9

2.8 แสดงการดัดแบบ Ram Bending 10

2.9 แสดงการดัดแบบ 3-roll Bending 10

2.10 แสดงการดัดแบบ Rotary Draw Bending 11

2.11 แสดงการดัดแบบ Compression Bending 11

2.12 เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 1x1 นิ้ว 12

2.13 ลูกดัด (Bend Die) 15

2.14 ลิ่มยึด (Clamp Die) 16

2.15 ลิ่มดัด (Pressure Die) 16

2.16 Disposable Inserts or Wiper Insert 17

2.17 Square Back Wiper Die 18

2.18 Mandrels 18

2.19 การประกอบชิ้นส่วนแม่พิมพ์ดัด 19

2.20 ความไม่สม่ำเสมอของหน้าตัดผนังท่อ 20

2.21 การเกิดร่อยย่นของท่อ 20

2.22 หน้าตัดของท่อที่เกิดการบิดเบี้ยว 21

2.23 หน้าตัดของท่อที่เกิดการแตก 22

2.24 การดีดกลับ (Spring Back) 23

2.25 ความยาวเริ่มต้น 26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.1 ลูกดัดรัศมี 75 มิลลิเมตรใช้ในการดัดเฟอร์นิเจอร์ประเภทเก้าอี้ 31

4.1 แสดงสมการหาโมเมนต์ความเฉื่อย และโมดูลัสพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมกลวง 35

4.2 Free body diagram 35

4.3 blank length 37

4.4 ลูกดัด 38

4.5 ลิ่มดัด 39

4.6 ลิ่มยึด 39

4.7 ด้ามดัด 40

4.8 ไม้โปรแทรกเตอร์ 40

4.9 เวอร์เนียดิจิตอล 41

4.10 โครงสร้างเครื่องดัดเหล็ก 41

4.11 ลูกดัด 42

4.12 ลิ่มดัด 43

4.13 ลิ่มยึด 43

4.14 เครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง 44

4.15 การทดสอบระบบดัด 45

4.16 ค่าของ K_s 46

4.17 ข้อบกพร่องของชิ้นงาน 49

4.18 ตำแหน่งหน้าตัดของท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงบริเวณ A, B และ C 51

4.19 ตำแหน่งหน้าตัดของชิ้นงานจริงบริเวณ A, B และ C 51

4.20 ความหนาของผนังเหล็กท่อกลวงในกระบวนการดัดที่ตำแหน่งส่วนโค้ง 3 จุด 53

4.21 ตำแหน่งหน้าตัดของท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงบริเวณ A, B และ C 54

4.22 ตำแหน่งหน้าตัดของชิ้นงานจริงบริเวณ A, B และ C 54

4.23 ความกว้างของเหล็กท่อกลวงในกระบวนการดัดที่ตำแหน่งส่วนโค้ง 3 จุด 53

ก.1 เตรียมเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง 62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก.2 ต่อด้ามดัด 63
ก.3 สอดเหล็กกล่อง 63
ก.4 ประกบตัวลิ่มดัด 64
ก.5 เริ่มการดัดชิ้นงานที่ 0 องศา 64
ก.6 ทำการดัดชิ้นงาน 65
ก.7 ดัดชิ้นงานไปที่ 93 องศา 65
ก.8 นำลิ่มดัดออก 66
ก.9 นำชิ้นงานออกจากตัวเครื่อง 66
ก.10 ป้องกันสนิมโดยการทาน้ำมัน 67
ก.11 ป้องกันสนิมโดยการทาน้ำมัน 67
ก.12 ป้องกันสนิมโดยการทาน้ำมัน 68
ข.1 เครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง 70
ข.2 โครงเครื่องดัดเหล็ก 71
ข.3 ตัวรีดชิ้นงาน 72
ข.4 เกลียวล็อคตัวรีดชิ้นงาน 73
ข.5 ตัวครอบด้านบน 74
ข.6 แผ่นลิ่มยึด 75
ข.7 ลิ่มยึด 76
ข.8 ลูกดัด 77
ข.9 สลักยึดเครื่อง 78
ข.10 ลิ่มดัด 79
ข.11 ด้ามดัด 80

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

α_1	=	มุมตัดเริ่มต้น (ก่อนการดีดตัวกลับ)
α_2	=	มุมตัดหลังการดีดตัวกลับ
α	=	องศาที่ตัดไป
σ	=	ความเค้น
C	=	ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวนอกที่มีแรงกระทำ
C	=	ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวนอกจากมุมตัดที่มีแรงกระทำ
F	=	ขนาดของแรง
I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด
K_s	=	ค่าคงที่ของการดีดตัวกลับ
L	=	ความยาว
M	=	โมเมนต์
m	=	เมตร
mm	=	มิลลิเมตร
N	=	นิวตัน
N.mm	=	นิวตันมิลลิเมตร
N/mm^2	=	นิวตันต่อมิลลิเมตรกำลังสอง (หรือเท่ากับ Mpa)
R	=	การกระจัดจากจุดหมุนถึงจุดที่แรงกระทำ
T	=	ความหนาของชิ้นงานตัด
X	=	ค่าคงที่เท่ากับ r_i/t
Z	=	โมดูลัสของหน้าตัด

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องด้วยในปัจจุบันเครื่องดัดเหล็กได้มีการพัฒนารูปแบบการทำงาน เพื่อใช้ในการประกอบกิจการอุตสาหกรรมขนาดกลาง และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เช่น เครื่องดัดเหล็กระบบไฮโดรลิค เครื่องดัดเหล็กระบบไฟฟ้า เครื่องดัดเหล็กระบบไฮโดรลิคไฟฟ้า ซึ่งเป็นการใช้ระบบไฮโดรลิค และระบบไฟฟ้ามอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน เป็นผลให้เครื่องดัดเหล็กมีขนาดใหญ่ และราคาสูงอีกทั้งต้นทุนในการบำรุงรักษาเครื่องดัดเหล็กก็มีราคาสูง และยุ่งยาก และมีการแข่งขันกันในท้องตลาดสูงขึ้น ดังนั้นในโรงงานอุตสาหกรรม การผลิตก็ต้องปรับปรุงการผลิตให้สูงขึ้นไปด้วยพร้อมทั้งคำนึงถึงทางด้านการลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง แต่คุณภาพงานต้องมีประสิทธิภาพที่ดีด้วย เพื่อที่จะแข่งขันกันในตลาด และเพิ่มกำไรให้กับองค์กรดังนั้นเครื่องดัดท่อโดยใช้แรงคนเป็นการลดต้นทุนการลงทุนแต่ส่วนมากแล้วเครื่องดัดเหล็กโดยใช้แรงคนที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด และใช้จะมีแต่เครื่องดัดท่อกลวง และเหล็กกลมตัน สำหรับเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง โดยใช้แรงคนยังไม่มีจำหน่าย ทำให้อุตสาหกรรมขนาดเล็กไม่นิยมผลิตชิ้นงานในลักษณะที่มีการดัดของเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง เนื่องจากไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

จากปัญหาข้างต้น ผู้จัดทำจึงได้คิด และออกแบบ และการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง SS400 ขนาด 1X1 นิ้ว โดยใช้แรงคน เพื่อเป็นการลดต้นทุนการลงทุน และใช้กับอุตสาหกรรมเฉพาะอย่าง เช่น การผลิตเฟอร์นิเจอร์ เครื่องเรือน งานก่อสร้าง เป็นต้น และอาจพัฒนาเครื่องดัดเหล็กเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และอุตสาหกรรมย่อยและลดปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้ เพื่อการขับเคลื่อนเครื่องดัดเหล็ก และอาจใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อออกแบบ และสร้างเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงขนาด 1x1 นิ้วที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบ และข้อบกพร่องของชิ้นงานที่เกิดขึ้นจากการดัด

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

เครื่องตัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง SS400 ขนาด 1x1 นิ้ว ที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยใช้แรงคน

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcomes)

1.4.1 สามารถตัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง SS400 ขนาด 1x1 นิ้วที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร ในลักษณะโค้ง ตัว L ได้

1.4.2 เหล็กที่ผลิตออกมาไม่เกิดรอยย่น รอยแตก และฉีกขาด

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

สร้างเครื่องตัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง SS400 ที่ทำงานด้วยแรงคน

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2556 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา							
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1.8.1	ศึกษาและรวบรวมทฤษฎีที่ใช้ในการดัด และศึกษาทฤษฎีความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนโค้งของกระบวนการดัดเหล็ก	↔							
1.8.2	ออกแบบเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง โดยแรงคน		↔						
1.8.3	จัดหาวัสดุ และอุปกรณ์			↔					
1.8.4	สร้างเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงโดยแรงคน				↔	↔			
1.8.5	ทดสอบเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง โดยแรงคน						↔		
1.8.6	ปรับปรุง และแก้ไข						↔		
1.8.7	จัดทำเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงโดยแรงคน							↔	
1.8.8	สรุปผลการดำเนินโครงงาน							↔	
1.8.9	จัดทำรูปเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์							↔	↔

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

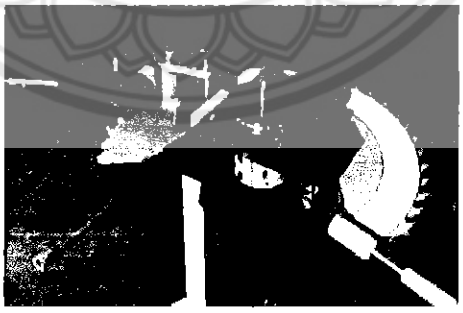
การออกแบบ และสร้างเครื่องดัดท่อ โดยใช้แรงงานคนเป็นการลดต้นทุนการลงทุน และพัฒนาเครื่องดัดท่อ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และอุตสาหกรรมย่อยในการออกแบบ และสร้างเครื่องดัดเหล็กนี้ อาศัยทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรกล ความแข็งแรงของวัสดุ ตารางโลหะ และตารางเหล็ก ซึ่งนำมาประกอบอ้างอิง เพื่อสร้างเครื่องดัดท่อนี้ให้มีขนาด และรูปทรงที่เหมาะสมกับประสิทธิภาพในการดัดท่อ และมีความสามารถที่จะนำไปใช้งานจริงต่อไปทั้งนี้การใช้แรงงานคนยังเป็นการเพิ่มอัตราการจ้างงาน และลดปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้ในการดัดท่ออีกด้วย

2.1 ประเภทเครื่องดัดเหล็กที่ใช้แรงคน

จากการศึกษาทฤษฎี และหลักการในการออกแบบเครื่องดัดเหล็กพบว่าเครื่องจักรที่ใช้ดัดเหล็กขนาดเล็ก โดยใช้แรงงานคนที่มีการผลิตขายในท้องตลาดมีรูปแบบการทำงานอยู่ 3 แบบหลักๆ ดังนี้

2.1.1 เครื่องดัดเหล็กแบบที่ 1

การทำงานของเครื่องดัดเหล็กมีลักษณะการโยกคันโยกเป็นจังหวะ โดยงัดซี่ฟันแต่ละซี่ ซึ่งเหล็กจะถูกดัดประมาณ 3 องศาในแต่ละซี่ฟัน โดยมีหลักการ คือ ใช้ลักษณะของการงัดซี่ฟันเป็นการผ่อนแรงในการดัดเหล็ก เนื่องจากว่าการมีซี่ฟันแบบนี้จะช่วยล็อกไม่ให้คันโยกดีดตัวกลับไปเมื่อยังไม่สิ้นสุดกระบวนการทำงานรายละเอียดของเครื่องดัดเหล็กแบบที่ 1 รายละเอียดของเครื่องดัดท่อแบบที่ 1 ได้แสดงในรูปที่ 2.1



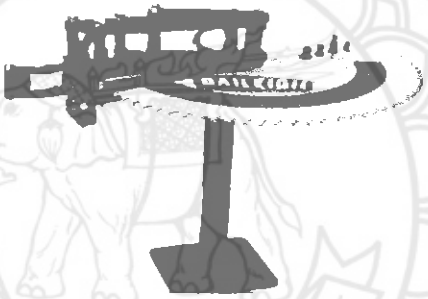
รูปที่ 2.1 เครื่องดัดท่อแบบที่ 1

ที่มา : http://mechatronics.ptwit.ac.th/2011/

เครื่องดัดเหล็กแบบที่ 1 มีข้อดี คือ ช่วยผ่อนแรงการใช้แรงของคนได้มากมีรูปแบบการทำงาน และการใช้งานที่ไม่ซับซ้อนสามารถดัดท่อได้หลายขนาด และดัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่กว้างกว่าแบบอื่นได้ สามารถดัดได้มุมองศาตามที่ต้องการ และมีความเที่ยงตรงของมุมองศา และมีข้อเสีย คือ มีรูปทรงที่ใหญ่กว่าแบบอื่นชิ้นส่วนที่ใช้สร้างเครื่องจักรมักความซับซ้อน

2.1.2 เครื่องดัดเหล็กแบบที่ 2

มีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกับเครื่องดัดเหล็กแบบที่ 1 เนื่องจากว่ามีการนำเอาลักษณะของการผ่อนแรง โดยการใช้จานฟันเข้ามาช่วยในการผ่อนแรง แต่มีกลไกการใช้งานที่ยุ่งยากกว่า และไม่มีตัวล็อคชี่อัตโนมัติสำหรับการงัดชี่ล็อค แต่ละชี่เนื่องจากในขณะใช้งานเมื่องัดชี่ล็อคไป 1 ล็อคแล้วนั้นผู้ใช้จะต้องง้างตัวล็อคตามมา เพื่อทำการล็อคไม่ให้คันโยกดีดตัวกลับไปรายละเอียดของเครื่องดัดท่อแบบที่ 2 ได้แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องดัดท่อแบบที่ 2
ที่มา : http://mechatronics.ptwit.ac.th/2011/

เครื่องดัดท่อแบบที่ 2 มีข้อดี คือ ช่วยผ่อนแรงในการดัดมีมุมองศาในการดัดที่เที่ยงตรงและสามารถดัดได้มุมตามที่ต้องการสามารถดัดท่อได้หลายขนาด และมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่โตขึ้นและมีข้อเสีย คือ มีลักษณะการใช้งานที่ยุ่งยาก และซับซ้อนมีรูปทรงที่ใหญ่

2.1.3 เครื่องดัดเหล็กแบบที่ 3

มีลักษณะการทำงาน โดยใช้แรงคนในการดัดตัวของเหล็ก ซึ่งขนาดของเหล็กที่ดัดก็จะขึ้นอยู่แล้วแต่ความสามารถของแรงของผู้ดัด เนื่องจากว่าเครื่องดัดเหล็กชนิดนี้จะไม่มีตัวช่วย เพื่อมา

ช่วยในการผ่อนแรงแต่จะใช้แรงคน เพื่อทำให้ท่อเกิดการดัดตัวจึงทำให้เครื่องดัดท่อชนิดนี้สามารถดัดได้กับท่อที่มีขนาดเล็กรายละเอียดของเครื่องดัดท่อแบบที่ 3 ได้แสดงดังรูปที่ 2.3

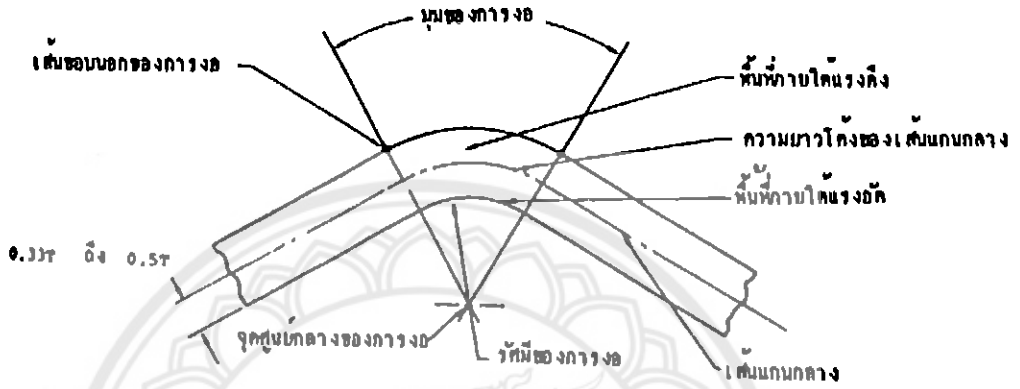
รูปที่ 2.3 เครื่องดัดท่อแบบที่ 3
ที่มา : http://mechatronics.ptwit.ac.th/2011/

เครื่องดัดเหล็กแบบที่ 3 มีข้อดี คือ กลไกการทำงานไม่ซับซ้อนเหมาะที่จะใช้ดัดท่อที่มีขนาดเล็ก เครื่องดัดท่อมีขนาดเล็กกะทัดรัด และมีข้อเสีย คือ ไม่มีตัวช่วยในการผ่อนแรง ไม่สามารถดัดท่อที่มีขนาดใหญ่ได้

2.2 ทฤษฎีการดัดเหล็ก

การดัดเป็นกรรมวิธีหนึ่งของการขึ้นรูปโลหะแบบไร้เศษ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ ก่อสร้าง ฯลฯ การดัดส่วนใหญ่ใช้ในงานโลหะแผ่น (Sheet Metal) งานลวด (Wire) งานท่อ (Pipe) และโลหะแท่ง (Rod) การเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรของโลหะที่อยู่บริเวณรัศมีการดัด บริเวณนี้จะเกิดข้อบกพร่องได้ง่าย เช่น การย่น การแตก การบิดเบือนของหน้าดัด โดยรับอิทธิพลจากความเค้น ในการดัดความเค้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ความเค้นอัด (Compressive Stress) ความเค้นดึง (Tensile Stress) โดยตามทฤษฎีความเค้นอัดจะเกิดที่ด้านในส่วนรัศมีการดัด ความเค้นดึงเกิดด้านนอกรัศมีการดัดนิยามคำศัพท์ที่ใช้ในงานดัดโลหะดังแสดงในภาพที่ 2.4 แนวระนาบบนเส้นแกนกลาง (Neutral Plane) เป็นระนาบที่แบ่งบริเวณในการเกิดความเค้นดึงและความเค้นอัด เส้นแกนกลางนี้ยังใช้ประโยชน์ในการหาความยาวเริ่มต้นได้ด้วยเนื่องจากจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวเล็กน้อยหลังจากการดัด ความยาวของเส้นแกนกลางจะเท่ากับความยาวเดิมของชิ้นงาน ส่วนความยาวด้านนอกรัศมีจะมีความยาวเพิ่มขึ้น และความยาวด้านในรัศมีการดัดจะมีความยาว

ลดลงนั่นคือ ความยาวของเส้นแกนกลางจะแสดงถึงความยาวที่แท้จริงของชิ้นงาน ซึ่งขนาดที่แท้จริงของชิ้นงานจะหาได้จากเส้นแกนกลางหลังจากการดัดแล้ว มุมดัด (Bend Angel) คือ องศาที่นับจากโลหะเริ่มต้นถูกดัดเป็นมุมขึ้นไป รัศมีการดัด (Bend Radius) หมายถึง รัศมีการดัดทางด้านใน แต่การดัดในกรณีโลหะแผ่นก็มีข้อจำกัดเกี่ยวกับมุมที่ถูกยกเว้นสำหรับกระบวนการ คือ มุม 0 องศา และมุม 360 เพราะถ้าชิ้นงานถูกงอที่มุม 360 องศาจะทำให้กลายเป็นการพับของไปได้แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รูปประกอบนิยามศัพท์ในการดัด

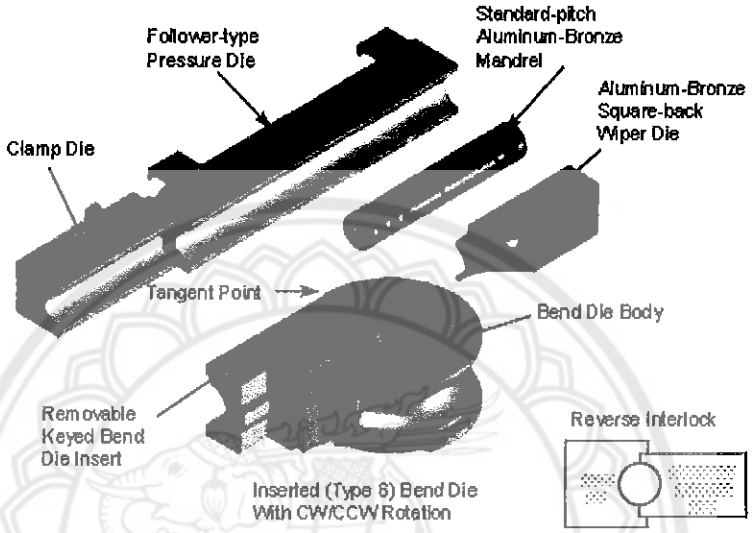
ที่มา : http://www.bendtooling.com/tech_article_0511.htm

2.2.1 การดัดท่อโดยทั่วไป

รัศมีดัดน้อยสุดจะมีค่าเป็น 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อการดัดท่อสามารถใช้ความร้อนเข้าช่วยได้ เรียกว่า การดัดร้อน (Hot Bending) หรือไม่ใช้ความร้อนเข้าช่วยจะเรียกว่า การดัดเย็น (Cold Bending) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของการดัดท่อเป็น 5 ประเภทหลักๆ คือ

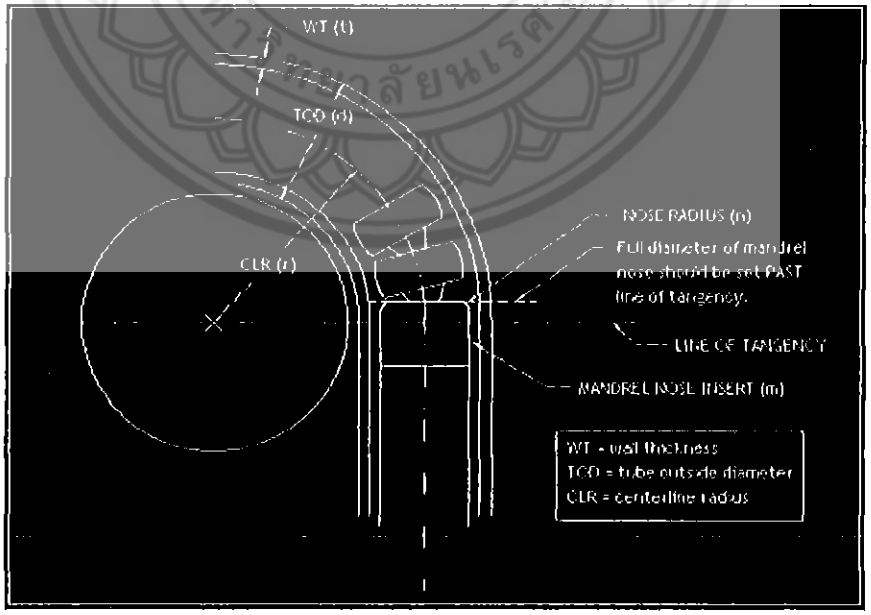
2.2.1.1 Mandrel Bending เป็นระบบการดัดท่อชนิดหนึ่ง การดัดท่อแบบนี้จะช่วยให้ท่อที่ดัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน โดยตลอดอีกทั้งการดัดแบบนี้ยังช่วยลดข้อจำกัดของการดัดท่อได้ถึงร้อยละ 25 เมื่อเปรียบเทียบกับการดัดวิธีอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม การดัดแบบ Mandrel Bending นั้นสามารถสร้างส่วนโค้งในการดัดได้มากกว่าการดัดที่ไม่ได้ใช้แรงกด หรือแรงอัด อีกทั้งยังทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ทำการดัดมีลักษณะที่เป็นวงเต็มตลอดความยาวท่อแม้ว่าจะเป็นส่วนของรัศมีมีโค้งก็ตาม ซึ่งในอุตสาหกรรมการดัดได้ให้ความสนใจเกี่ยวด้วยของการดัดแบบ Mandrel แต่ว่าชิ้นส่วยอุปกรณ์ต่างๆของการดัดแบบนี้ยังไม่ประยุกต์ใช้ในการดัดได้ไม่มาก เมื่อศึกษาลงลึกเข้าไปถึงการดัดโดยวิธี Mandrel Bending จะพบว่าที่พื้นผิวของก้านแม่พิมพ์กับท่อที่ใช้

ดัดมีการสัมผัสกันตลอดกระบวนการดัด โดยแม่พิมพ์แบบ Mandrel จะดึงท่อจนกว่าจะดัดโค้งจะเสร็จสมบูรณ์ หรือองศาสุดท้ายของการดัดที่กำหนดไว้ซึ่งผลลัพธ์ในการดัดแบบนี้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเท่ากันโดยตลอดความยาวรวมถึงส่วนรัศมีโค้งด้วย ดังนั้นถ้าหากคุณต้องการเริ่มดัดท่อ 2 ท่อพร้อมกันไปถึงมุมในการดัด 90 องศา การดัดก็ยังคงผ่านไปตลอดแนวรัศมีของแม่พิมพ์ได้ซึ่งปัจจัยต่างๆ ที่ใช้คำนวณเพื่อกำหนดความเหมาะสมของแม่พิมพ์แบบ Mandrel ได้แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ชุดแม่พิมพ์การดัดท่อแบบ Mandrel Bending

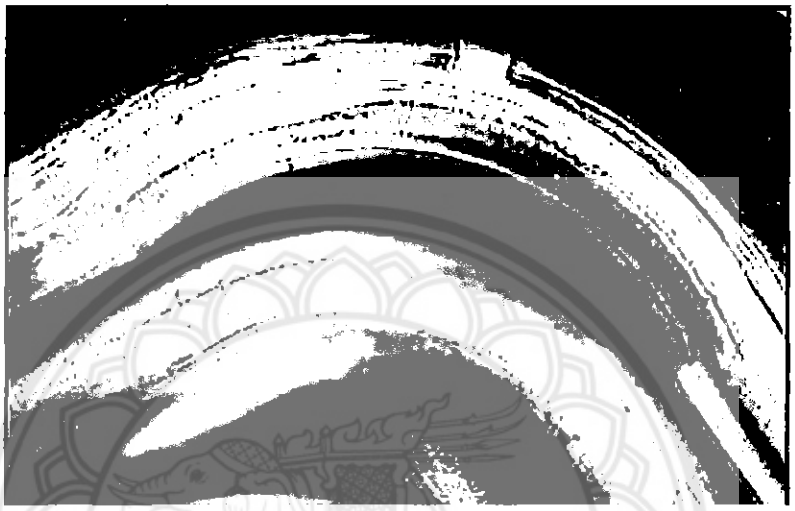
ที่มา : http://www.cmrp.com/blog/bending/what%E2%80%99s-a-mandrel-bend.html



รูปที่ 2.6 ลักษณะของการดัดท่อแบบ Mandrel Bending

ที่มา : http://www.bendtooling.com/tech_article_0511.htm

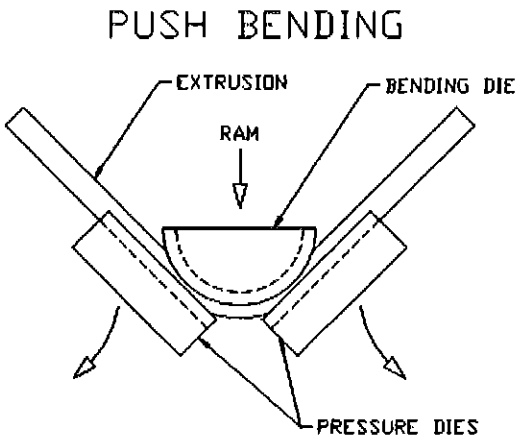
ความแตกต่างของการดัดแบบ Mandrel Bending กับการดัดโดยทั่วๆ ไปคือ การดัดแบบนี้ช่วยในการไหลตัวแบบอัดแน่นของการดัดท่อเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 25 ทำให้ได้ท่อที่ดัดแล้วมีเส้นผ่านศูนย์กลางเหมือนกันโดยตลอดความยาว แต่การดัดแบบอื่นจะทำให้ท่อที่ดัดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อสม่ำเสมอโดยเฉพาะส่วนโค้งจะมีรอยตัด และเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเล็กกว่าส่วนอื่น



รูปที่ 2.7 ข้อบกพร่องของกระบวนการดัด

ที่มา : http://www.pxhaust.com/Pxhaust/MandrelBend.htm

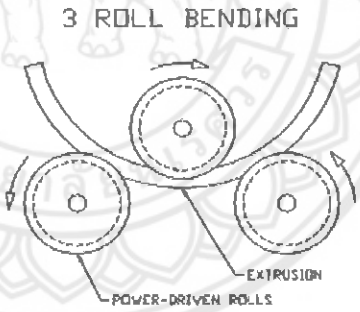
2.2.1.2 Ram or Push Bending กระบวนการดัดท่อแบบนี้ได้ใช้ระบบไฮดรอลิกส์มาทำให้แม่พิมพ์ดายน์เคลื่อนที่ลงมากดลงที่ท่อ ซึ่งท่อจะถูกรองรับด้วยปีกของดายน์ โดยที่ปีกของดายน์แยกออกเป็น ด้าน และมีลักษณะเป็นโค้งลงตรงศูนย์กลางของการดัดท่อ ซึ่งท่อจะมีการเคลื่อนเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่บริเวณแม่พิมพ์นี้ โดยที่ปีกของดายน์แต่ละด้านจะเป็นการช่วยรองรับท่อทั้ง 2 ข้าง โดยกระบวนการดัดแบบนี้มีความเหมาะสมอย่างมากต่ออุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตดัดชิ้นงานปริมาณมาก และต้องการความรวดเร็วในการผลิต ซึ่งมีรัศมีในการดัดสูงสุดเท่ากับ 110 องศา และเป็นองศาที่ดีที่สุดสำหรับการดัดด้วยกระบวนการนี้ได้แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการดัดแบบ Ram Bending

ที่มา : http://www.alexandriaindustries.com

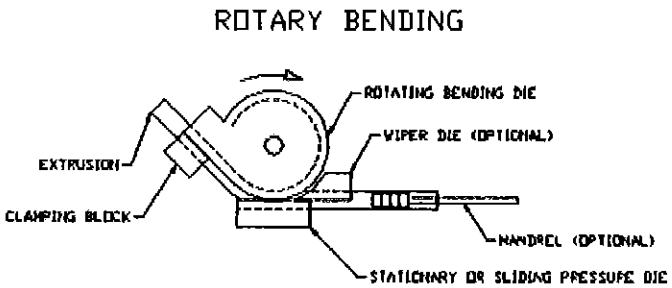
2.2.1.3 3-roll Bending เป็นวิธีการม้วนดัดใช้สำหรับการดัดชิ้นงาน**ที่มีขนาดใหญ่ หรือรัศมีขนาด**ใหญ่โดยลูกดัดทั้ง 3 ลูกจะถูกจัดวางในรูปทรงปีระมิดดังภาพที่ 1.6 ลูกดัด**ทั้ง 2 ลูกจะถูกยึดติดให้อยู่**กับที่ วิธีการนี้คล้ายกันวิธีการดัดแบบ Ram Bending แต่การทำงาน**ต้องให้ลูกกลิ้งทั้งสองข้างหมุน**ก่อนจึงสามารถดัดชิ้นงานได้ Pipe Rolls ได้แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการดัดแบบ 3-roll Bending

ที่มา : http://www.alexandriaindustries.com/whitepapers/bending

2.2.1.4 Rotary Draw Bending เป็นกระบวนการดัดท่อที่นิยมใช้มากที่สุดเกี่ยวกับการดัดท่อ ซึ่งการดัดท่อแบบนี้จะรักษาชิ้นงานสำเร็จ และเส้นผ่านศูนย์กลางให้คงที่ ท่อที่ถูกดัดจะถูกลากผ่านลูกกลิ้งที่ติดอยู่กับที่ดัดบนดายที่ติดแน่น ได้แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการดัดแบบ Rotary Draw Bending

ที่มา : http://www.alexandriaindustries.com/whitepapers/bending-forming.php

วิธีการดัดแบบ Rotary Draw Bending เหมาะสำหรับการดัดงานเหล็กสำหรับประดับ ดัดรางน้ำรางทราย อุปกรณ์เครื่องยนต์ ลูกรอก และประเภทอื่นๆ อีกมากมาย

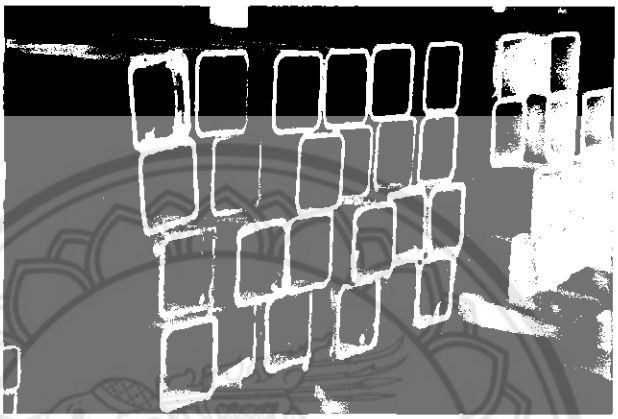
2.2.1.5 Compression Bending เป็นประเภทของการดัดชนิดหนึ่งซึ่งในระเบียบการกล่าวว่าใช้แรงอัดตลอดจนเป็นการประยุกต์มาจากการดัดประเภท Rotary Draw Bending การดัดประเภทนี้ชิ้นงาน โลหะท่อจะหมุน หรือเลื่อนไปรอบๆ ตามรัศมีการดัดของแม่พิมพ์ดัด (Bend Die) ซึ่งติดอยู่กับที่ ชิ้นงานที่หมุน หรือเลื่อนไปจะเคลื่อนที่ไปโดย Pressure Die ได้แสดงดังรูปที่ 2.11

รูปที่ 2.11 แสดงการดัดแบบ Compression Bending

ที่มา : http://www.thefabricator.com/article/tubepipefabrication/bending

2.3 ทฤษฎีวัสดุ

เหล็กท่อเหลี่ยม (Square Carbon Steel Tube) หรือที่รู้จักกันอีกชื่อ คือ เหล็กแป๊บ จัดอยู่ในประเภท เหล็กรูปพรรณ ซึ่งเหล็กกล่องมี 2 ประเภท คือ เหล็กกล่องสี่เหลี่ยม (Square Steel Tube) หรือที่เรียกกันว่า เหล็กแป๊บโปร่ง และ เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมแบน (Rectangular Steel Tube) หรือที่เรียกกันอีกชื่อว่า เหล็กแป๊บแบน เหล็กประเภทนี้เหมาะกับงานก่อสร้างขนาดเล็กและขนาดกลาง เช่น ที่พักอาศัย และอาคารพาณิชย์แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 1x1 นิ้ว
ที่มา:http://www.knpsteel.com

2.3.1 รูปแบบผลิตภัณฑ์

ตาม มอก.1228-2549 (มาตรฐานบังคับ) เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น เป็นเหล็กกล้าละมุน (Mild steel) ที่ผ่านการขึ้นรูปเย็นอันอาจนำไปใช้ในงานโครงสร้างได้โดยการขึ้นรูปเย็น (Cold forming) ในที่นี้หมายถึงการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อนให้เป็นเหล็กโครงสร้างเหล็กโครงสร้างแบ่งตามรูปภาคตัดเป็น 6 แบบดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงเหล็กโครงสร้างแบ่งตามรูปภาคตัดเป็น 6 แบบ

แบบ		รูปภาคตัด
เหล็กฉาก (Light angle steel)	ขาเท่ากัน	
	ขาไม่เท่ากัน	
เหล็กรูปรางน้ำ (Light channel steel)		
เหล็กรูปตัวซี (Lip channel steel)		
เหล็กรูปตัวแซด (Light Z steel)		
เหล็กรูปตัวแซดมีขอบ (Lip Z steel)		
เหล็กรูปหมวก (Hat steel)		

ที่มา:http://www.mme.ea-rmuti.com

ตารางที่ 2.2 แสดงขนาดความหนา และน้ำหนักของเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง 1x1 นิ้ว

เหล็กท่อเหลี่ยม				
ลำดับ	รายการ	ความยาว (เมตร)	ความหนา (mm)	น้ำหนัก (± kg)
1	ท่อเหลี่ยม 1" x 1"	6.00	1.20	4.97
		6.00	1.50	5.80
		6.00	1.80	6.84
		6.00	2.00	7.88
		6.00	2.50	9.53
		6.00	2.80	10.78

ที่มา : http://www.mme.ea-rmuti.com

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของเหล็ก SS400

ธาตุ	ส่วนประกอบทางเคมีสูงสุด (%)
C	0.25
S	0.050
P	0.050

ที่มา : http://www.ssi-steel.com/index.php/homepage/258-english-categories

สมบัติทางกลของเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมที่สำคัญดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงสมบัติทางกลที่สำคัญของเหล็ก SS400

ความต้านแรงดึง	ความต้านแรงดึง	ความยืด ต่ำสุด (%)	
ที่จุดคราก ต่ำสุด (MPa)	(MPa)	หนาไม่เกิน 5 mm	หนาเกิน 5 mm
245	400-540	21	17

ที่มา : http://www.ssi-steel.com/index.php/homepage/258-english-categories

2.4. ส่วนประกอบของเครื่องดัดเหล็ก

การออกแบบเครื่องดัดเหล็กขนาดเล็ก โดยใช้แรงงานคนมีหลักการออกแบบ โดยคำนึงถึงการลดต้นทุนในการผลิต และสะดวกต่อการใช้งาน โดยเครื่องดัดเหล็กที่ได้รับการออกแบบมีลักษณะการทำงาน คือ มีชุดลูกดัดเหล็กที่จะดัด เพื่อให้ได้ความโค้งของท่อเหล็กตามที่ต้องการ โดยความโค้งของท่อจะขึ้นกับมุมที่ดัดไป การออกแบบมีส่วนประกอบหลักอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนฐานเครื่องดัด และส่วนชุดลูกดัดโดยเครื่องดัดท่อขนาดเล็กโดยใช้แรงงานคนที่ได้รับการออกแบบนี้มีข้อดี คือ ช่วยผ่อนแรงการใช้แรงของคนได้เล็กน้อยสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกรวดเร็ว ขนาดเล็กกะทัดรัด และการใช้งานไม่ซับซ้อนการซ่อมบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก และสิ้นเปลือง

ในการสร้างเครื่องชุดแม่พิมพ์ซึ่งประกอบไปด้วย ลูกดัด ลิ่มยึด และลิ่มดัดจะใช้เหล็กเกรด SCM4 เพราะเหล็กโครเมียมโมลิบดีนัม (SCM4) เป็นเหล็กโครงสร้างที่ทำมาจากเหล็ก ผสมชนิดหนึ่ง (Structural alloy steel) จัดว่าเป็นเหล็กที่มีโครงสร้าง แบบเพิร์ลไลท์ (Pearlite) ประกอบด้วยเหล็กโครเมียมและโมลิบดินัมปริมาณเล็กน้อย เหล็กชนิดนี้เหมาะที่ จะผลิตแม่พิมพ์เพราะมีคุณสมบัติเหนียวทนทานต่อการสึกสูง และสามารถชุบแข็งได้ดีด้วยกระบวนการทางความร้อนเหล็กชนิดนี้สามารถผ่านการชุบแข็งได้แบบทั้งหมดหรือเพียงบางส่วน ซึ่งจะได้ความแข็ง ระดับ HRC 43-48

2.4.1 ลูกดัด (Bend Die)

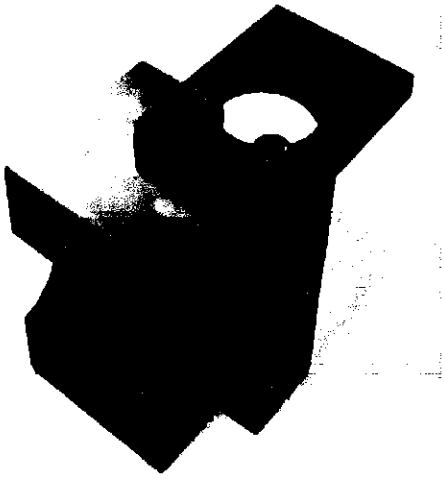
ส่วนประกอบแรกสุดที่ใช้ระบุรัศมีของการดัดท่อ ซึ่ง Bend Die ผลิตมาจากเหล็กเครื่องมือ (Alloy Steel) และผ่านการชุบผิวแข็งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติตามที่ต้องการ Bend Die นั้นมีหลายแบบให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม ซึ่งรูปแบบของ Bend Die นั้นขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ทำการดัด ศูนย์กลางของรัศมีการดัด ส่วนผิวภายนอก ของการจะถูกกำหนดโดยโครงร่างภายนอกของแม่พิมพ์ Bend Die ได้แสดงดังรูปที่ 2.13

รูปที่ 2.13 ลูกดัด (Bend Die)

ที่มา : http://www.pxhaust.com/Pxhaust/MandrelBend-Die

2.4.2 ลิ่มยึด (Clamp Die)

เครื่องมือยึดชิ้นงานเข้ากับแม่พิมพ์ดัด (Bend Die) ให้อยู่กับที่ และ Clamp Die เป็นเครื่องมืออย่างแรกที่ใช้สำหรับจับท่อ จับชิ้นงานโลหะให้ติดแน่นตลอดระยะเวลาที่ทำการดัด ได้แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลิ่มยึด (Clamp Die)

ที่มา : http://www.pxhaust.com/Pxhaust/MandrelClamp-Die

2.4.3 ลิ่มดัด (Pressure Die)

ใช้สำหรับรักษาแรงดัดบนท่อที่มีจุดสัมผัสวงกลม 4 จุด ในขณะที่การดัดนั้นกำลังเกิดขึ้นและทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาสำหรับสร้างส่วนโค้ง ความยาวของ PressureDie จะแปรผันตรงตามองศา (Degree) ของการดัดท่อได้แสดงดังรูปที่ 2.15

รูปที่ 2.15 ลิ่มดัด (Pressure Die)

ที่มา : http://www.pxhaust.com/Pxhaust/MandrelPressure Die

2.4.4 Wiper Die

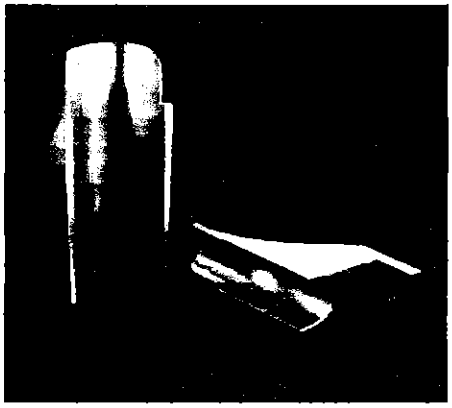
เป็นเครื่องที่ใช้ติดเข้าไปในร่องของ Bend Die โดยติดใกล้กับจุดที่ใกล้เส้นสัมผัสวงกลม Wiper Die เป็นเครื่องมือที่ช่วยแก้ปัญหาการเกิดรอยย่นข้างในรัศมีความโค้งของท่อ วัสดุของ Wiper Die ผลิตจากวัสดุ อลูมิเนียม สังกะสี เหล็กเหนียว อลูมิเนียมบรอนซ์ สแตนเลสสตีล อินโคแนล ไทเทเนียม และเหล็กชุบโครเมียมเพราะช่วยลดแรงเสียดทาน และการติดตั้ง Wiper Die นั้นมีความสำคัญต่อรอยดัด และอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ซึ่ง Wiper Die มีหลายแบบเพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งาน แต่ที่นิยมใช้กันมากมีดังนี้

2.4.4.1 Disposable Inserts or Inserted Wiper Die คือ Wiper Die ชนิดนี้จะมีพื้นที่การทำงานจำกัดกว่า และทำให้รูปร่างสั้นกว่า Square Back Wiper Die โดย Wiper Die ชนิดนี้ประกอบด้วย Steel Holder มีไว้เพื่อกำหนดตำแหน่ง และ Wiper Die ชนิดนี้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูใหญ่กว่าความโตของท่อโลหะเล็กน้อย ได้แสดงดังรูปที่ 2.16

รูปที่ 2.16 Disposable Inserts or Wiper Insert

ที่มา : http://www.bendtooling.com/tech_article_0511.htm

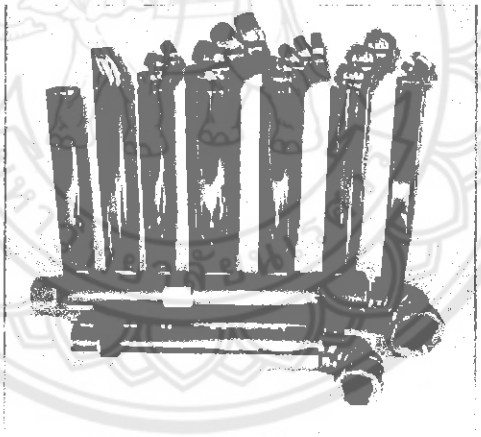
2.4.4.2 Square Back Wiper Die คือ Wiper Die ชนิดนี้ผลิตจากวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกันผลิตเป็นชิ้นเดียวกัน โดยปกติ Wiper Die ชนิดนี้จะกว้างกว่าท่อโลหะเล็กน้อยและให้ความแข็งแกร่งเพียงพอต่อการดัดได้แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 Square Back Wiper Die

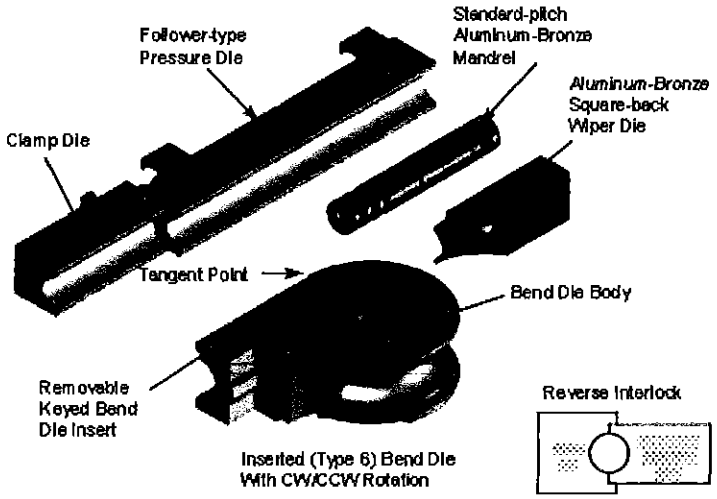
ที่มา :http://www.bendtooling.com/tech_article_0511.htm

2.4.5 Mandrels โดยปกติแล้วจะผลิตมาจากวัสดุเหมือนกับ Wiper Die ซึ่งผลิตจากเหล็กชุบโครเมียม อลูมิเนียมบรอนซ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะทำการดัดหน้าที่หลักของ Mandrels คือ ช่วยป้องกันการเกิดรอยย่นในท่อที่ทำการดัดช่วยทำให้ท่าที่ทำการดัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันตลอดความยาวท่อ โดยทำการสอด Mandrels เข้าไปในท่อที่จะทำการดัดได้แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 Mandrels

ที่มา : http://honda-tech.com/showthread.php?p=37515266



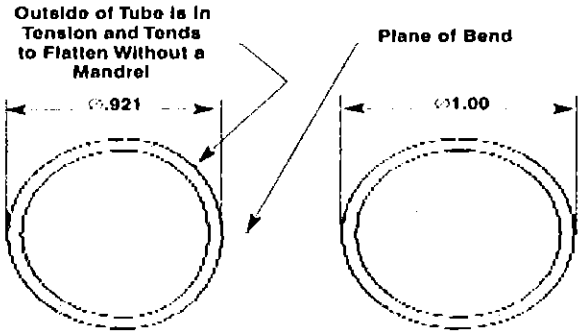
รูปที่ 2.19 การประกอบชิ้นส่วนแม่พิมพ์ดัด

ที่มา : http://www.cmrp.com/blog/bending/what%E2%80%99s-a-mandrel-bend.html

2.5 ข้อผิดพลาดในการดัด (Defectsin Bending)

จากปัญหาของชิ้นงานโลหะที่ผ่านกระบวนการดัดจะพบบริเวณที่เกิดความเสียหาย เช่น รอยบุบ รอยฉีกขาด เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานไม่สม่ำเสมอตลอดชิ้นงาน ผนังของท่อโลหะมีความแตกต่างกัน การดีดกลับ และการแตก เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาทฤษฎีการดัดทำให้สามารถตั้งสมมติฐานถึงสาเหตุที่ก่อเกิดความเสียหายต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

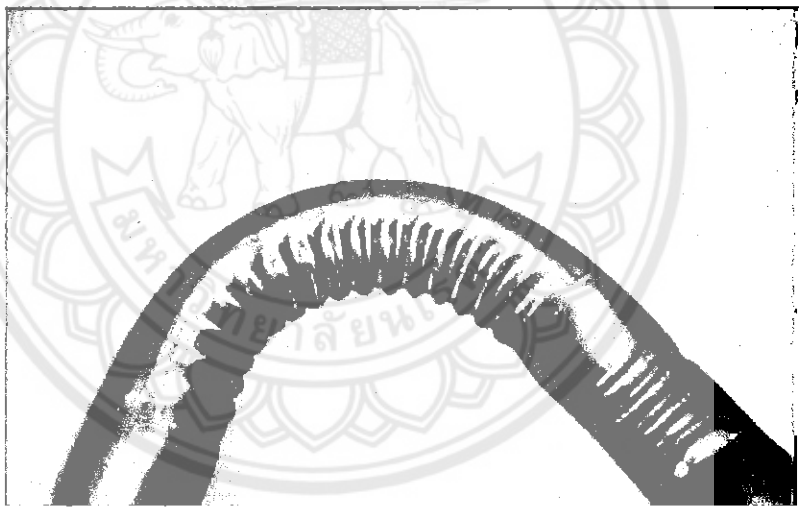
ความแตกต่างของผนัง (Variation in wall thickness) ในระหว่างกระบวนการดัด โมเมนต์ของการดัดก่อให้เกิดแรงในแนวแกนบริเวณวงใน (Inner) วงนอก (Outer) ของท่อโลหะ ซึ่งวงใน วงนอกของท่อโลหะนั้นจะตกอยู่ภายใต้ความเค้นอัด (Compressive Stress) และความเค้นดึง (Tensile Stress) ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้จากความเค้นข้างต้นนี้จะทำให้หน้าตัดวงนอกเกิดความบางลง (Extrados) และเกิดความหนาขึ้นที่ผนังหน้าตัดวงใน (Intrados) ซึ่งผนังของท่อโลหะที่ได้นี้จะมีความแปรปรวนความแตกต่างที่ไม่สม่ำเสมอ ได้แสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ความไม่สม่ำเสมอของหน้าตัดผนังท่อ

ที่มา : http://www.thefabricator.com/article/tubepipefabrication/shaping-profits

รอยย่น (Wrinkling) ที่พื้นผิววงในของเหล็กท่อโค้ง ผิววงในนั้นจะตกอยู่ภายใต้การควบคุมของความเค้นแรงอัด คือ เวลาที่ท่อถูกกระทำให้แอ่นตัวในรัศมีที่คับแน่น มันตกอยู่ภายใต้การควบคุมของความเค้นแรงอัดที่สูงใน Intrados ซึ่งนำไปสู่ความไม่แน่นอน หรือรอยย่นของท่อ ซึ่งรอยย่นเป็นข้อบกพร่องที่เป็นลูกคลื่นที่เกิดขึ้นทีละระลอก ได้แสดงดังรูปที่ 2.21

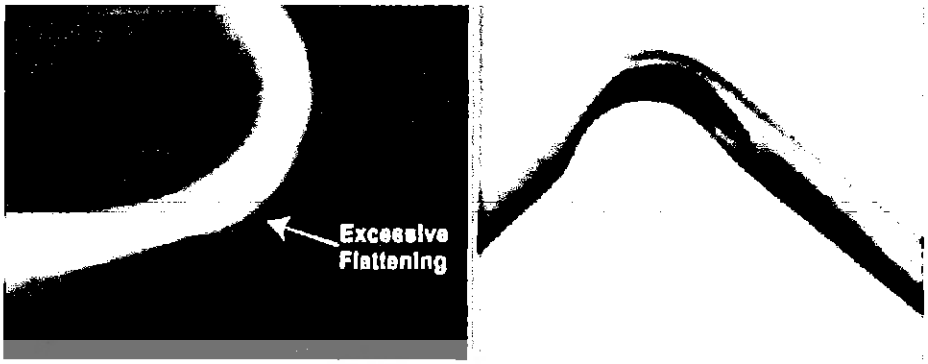


รูปที่ 2.21 การเกิดร่อยย่นของท่อ

ที่มา : http://www.auslancer.com/forum/viewtopic.php?f=6&t=3531

หน้าตัดที่เกิดความบิดเบี้ยว (Cross Section Distortion) ตามที่อธิบายข้างต้น ที่ผนังวงนอกของท่อถูกควบคุมโดยความเค้นดึง ในทางตรงกันข้ามผนังวงในของท่อถูกควบคุมด้วยความเค้นอัด จึงมีแนวโน้มที่ปลายท่อจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปจากเส้นแกนกลาง ที่ผนังวงนอกของท่ามีแนวโน้มที่จะเคลื่อนเข้าสู่แกนกลางทั้งนี้เพื่อเป็นการลดการขยายตัวของความเค้นดึง จากผลที่เกิดขึ้นจึงทำให้หน้าตัดของท่อไม่เป็นวงกลม กลับกลายเป็นรูปวงรีคล้ายไข่แทน โดยทั่วไปที่ปฏิบัติกันในอุตสาหกรรมมักจะใช้ส่วนสนับสนุนเพื่อคอยพยุง หรือประคองที่ภายในของท่อเพื่อป้องกันไม่ให้ยุบตัว หรือเกิด

ความบกพร่องที่หน้าตัดท่อ ซึ่งวัสดุที่ใส่เข้าไปภายในท่อนั้นจะเรียกว่า Mandrel จากรูปข้างล่างจะแสดงหน้าตัดของท่อที่เกิดความบิดเบี้ยวได้แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 หน้าตัดของท่อที่เกิดการบิดเบี้ยว
ที่มา : http://www.webendtube.com/bend.htm

การแตก หรือการแยกที่แนวรัศมีโค้งนอก (Cracking or Splitting on Outside Bend Radius) ข้อบกพร่องแบบนี้สามารถเกิดขึ้นได้โดยหลายสาเหตุ อย่างแรกต้องตรวจสอบและพยายามพิจารณาว่าความเสียหายเกิดจากความเค้นดึง (Tensile) ความยืด อ่อน (Ductile) หรือเกิดจากความเปราะแตกหักง่าย (Brittle) ความเสียหายที่เกิดจากการอ่อนตัว อาจเกิดขึ้นได้เมื่อวัสดุมีการยืดมากๆ และความหนาที่ลดลงที่ด้านข้างแต่ละด้านของวัสดุจนเกิดการแตก และเส้นขอบของรอยแตกมีลักษณะเป็นมันเงาค่อนข้างสะอาดไม่ยุ่งเหยิง วัสดุที่มีความแข็ง และความแข็งแรงสูงเช่น แสตนเลส 400 ความเสียหายมักเกิดจากการเปราะแตก ส่วนสแตนเลส 300 ความเสียหายมักเกิดจากความอ่อนได้แสดงดังรูปที่ 2.23

รูปที่ 2.23 หน้าตัดของท่อที่เกิดการแตก
ที่มา : http://www.webendtube.com/bend.htm

2.6 การดีดตัวกลับ (Spring Back)

หลังจากทำการดัดตามมุม และรัศมีของแม่พิมพ์ดัดประเภทใดประเภทหนึ่งแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของมุม และรัศมีเล็กน้อยหลังจากการพับ เรียกว่า การดีดตัวกลับของวัสดุ โดยการดีดตัวกลับเกิดจากการคืนตัวในช่วงการเปลี่ยนรูปอย่างไม่ถาวร หรือช่วงการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Deformation) ของวัสดุ ซึ่งความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณที่ดัด คือ ความเค้นดึงจะเกิดขึ้นสูงสุดที่ขอบด้านนอกของรัศมีการดัด และลดลงตามแนวความหนาจนเป็นศูนย์ที่เส้นแกนกลางของโลหะแผ่น เช่นเดียวกับความเค้นอัดสูงสุดจะเกิดที่ผิวโค้งด้านในของรัศมีการดัดและลดลงจนเป็นศูนย์ที่เส้นแกนกลางในส่วนที่ไกลออกไปจนถึงผิวโค้งนอกสุด และในสุดค่าความเค้นที่เกิดขึ้นทั้งแรงดึง และแรงอัดจะเกิดค่าความแข็งแรงครากทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร แต่เมื่อแม่พิมพ์เปิดออกส่วนที่เป็นแถบการเปลี่ยนรูปแบบไม่ถาวรพยายามคืนตัว แต่ไม่สามารถกระทำได้ทั้งหมด เนื่องจากถูกยึดไว้ด้วยส่วนที่เปลี่ยนรูปถาวรไปแล้วทางด้านนอก ดังนั้นจึงเกิดการคืนตัวได้บางส่วนเพื่อสร้างความสมดุลระหว่างส่วนที่เปลี่ยนรูปถาวร และส่วนที่เป็นเปลี่ยนรูปแบบไม่ถาวร

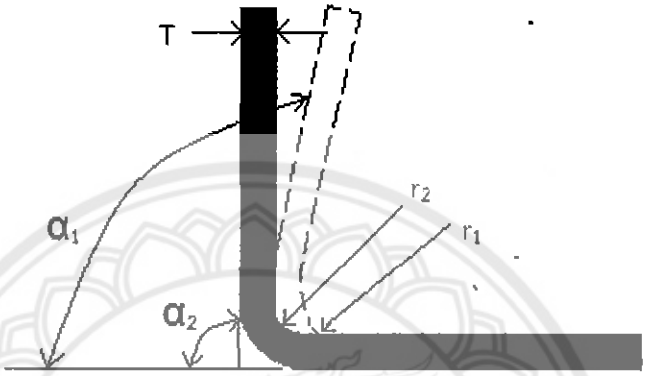
ค่าการดีดตัวกลับของวัสดุมักจะเพิ่มขึ้นตามค่าความแข็งแรงคราก (Yield Strength) ค่าคงที่ของความแข็ง (Stain Hard Exponent) รัศมีการดัด และการดีดตัวกลับของวัสดุจะลดลงเมื่อค่า Young Modulas และความหนาของวัสดุเพิ่มขึ้น การคาดเดาการดีดตัวกลับของวัสดุสามารถประมาณได้จากค่าคงที่ของการดีดตัวกลับ (Spring Back ; k_s) ซึ่งคำนวณได้ ดังสมการที่ 2.1

$$k_s = \alpha_2 / \alpha_1 \qquad (2.1)$$

เมื่อ k_s = ค่าคงที่ของการดีดตัวกลับ

α_1= มุมดัดเริ่มต้น (ก่อนการดีดตัวกลับ)

α_2= มุมดัดหลังการดีดตัวกลับ



รูปที่ 2.24 การดีดกลับ (Spring Back)

ที่มา : ศิริชัย ต่อสกุล, การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องดัดเหล็ก สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 2552

2.6.1 การแก้ปัญหาการดีดตัวกลับ

2.6.1.1 การพับให้มากกว่ามุมที่ต้องการเล็กน้อย (Over Bending) คือการกำหนดมุมพับในแม่พิมพ์ให้มีขนาดใหญ่กว่ามุมที่ต้องการพัดเล็กน้อย เพื่อให้หลังจากการดีดตัวกลับแล้ว ได้มุมพอดีกับความต้องการ วิธีนี้ควบคุมได้ยาก เนื่องจากมีปัจจัยที่มีผลกับค่าการดีดตัวกลับที่กล่าวมาข้างต้น โดยเฉพาะปัจจัยจากความหนาแผ่นโลหะที่จะมีค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนจากการผลิตอยู่แล้ว ทำให้งานแต่ละชิ้นเกิดการดีดตัวกลับที่ไม่เท่ากัน การออกแบบชิ้นงานดัดจึงควรมีพิกัดที่ยอมรับได้สำหรับการผลิตด้วย วิธีการนี้จะใช้ได้สะดวกกับแม่พิมพ์ตัว V โดยเปลี่ยนมุมของพันช์ และดายน์ให้เล็กลง

2.6.1.2 การกดที่ส่วนล่างสุดของมุมที่ต้องการดัด เป็นการใช้วิธีการกดอัดที่บริเวณรัศมีการดัด เพื่อให้เกิดความเค้นอัดสูงในช่างการเปลี่ยนรูปแบบถาวรในบริเวณที่ถูกดัด คือ ใช้วิธีการกำจัดบริเวณที่เกิดความเค้นต่ำกว่าความเค้นคราก ของวัสดุ เพื่อไม่ให้เกิดการดีดตัวกลับ วิธีการที่จะเพิ่ม

ความเค้นอัดที่บริเวณการพับทำได้โดยวิธีการแรก คือ การปรับตั้งรัศมีความโค้งที่ดายน์ให้เกิดการลดความหนาของแผ่นโลหะบริเวณที่พับ (Develop Set) วิธีการที่สองทำปลายของพันช์ให้มีลักษณะเป็นสันนูน (Offset Punch) เพื่อให้เกิดการกดอัด และลดความหนาของแผ่นโลหะที่บริเวณรัศมีการดัด

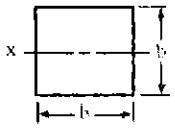
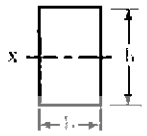
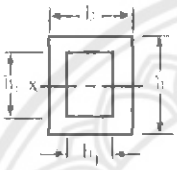
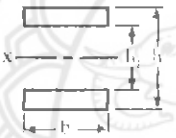
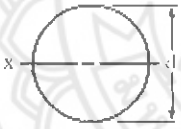
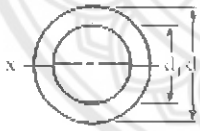
2.6.1.3 การดึงโลหะแผ่นให้ยืดก่อนการดัด เป็นการทำการดึงชิ้นงานให้ยืดตัว เป็นการบังคับให้เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรบนแผ่นโลหะก่อนที่จะทำการขึ้นรูปตามที่ต้องการ

2.6.1.4 การเพิ่มระยะเวลาในการกด หรือกดค้าง คือ การใช้เครื่องปั๊มระบบไฮโดรลิค ซึ่งมีช่วงระยะเวลาในการกดยาวกว่าเครื่องปั๊มแบบทางกลจะช่วยลดการดีดตัวกลับของแผ่นโลหะได้

2.6.1.5 การรีดลดความหนาผนัง เป็นการลดระยะเคลียแรนซ์ระหว่างพันช์ และดายน์ให้น้อยกว่าความหนาของแผ่นโลหะ และเป็นการเพิ่มความเค้นอัดให้เข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร ลดการเปลี่ยนแปลงรูปในช่วงยืดหยุ่น แต่จะต้องเพิ่มแรงในการดัด ซึ่งจะทำให้เกิดรอยขูดที่ชิ้นงานและการสึกหรอของแม่พิมพ์ที่สูงด้วย

2.7 สมการสำคัญในการดัด

ตารางที่ 2.5 แสดงโมเมนต์ความเฉื่อย และโมดูลัสพื้นที่หน้าตัด ของรูปพื้นที่หน้าตัดต่างๆ

รูปพื้นที่หน้าตัด	โมเมนต์ความเฉื่อย (I)	โมดูลัสพื้นที่หน้าตัด (Z)
	$I_x = \frac{b^4}{12}$	$Z = \frac{b^3}{6}$
	$I_x = \frac{bh^3}{12}$	$Z = \frac{bh^2}{6}$
	$I_x = \frac{bh^3 - b_1h_1^3}{12}$	$Z = \frac{bh^3 - b_1h_1^3}{6h}$
	$I_x = \frac{b(h^3 - h_1^3)}{12}$	$Z = \frac{b(h^3 - h_1^3)}{6h}$
	$I_x = \frac{\pi d^4}{12}$	$Z = \frac{\pi d^3}{32}$
	$I_x = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{12}$	$Z = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{32d}$

ที่มา : http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Solid/Lesson_2and4/

โมเมนต์ คือ ผลของแรงที่มีผลต่อการหมุนของวัตถุ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของแรงและระยะทางระหว่างแนวแรงกับจุดหมุนหลักของโมเมนต์นี้ทำให้เกิดแนวความคิดเกี่ยวกับเครื่องกลต่างๆ เช่น ล้อเพลา เฟือง เพื่อทุ่นแรงและเกิดความได้เปรียบเชิงกล ดังสมการที่ 2.2

$$M = F \times R \qquad (2.2)$$

โดย M = โมเมนต์

F = ขนาดของแรง

R = การกระจัดจากจุดหมุนถึงจุดที่แรงกระทำ

ความเค้นดัด หรือโมเมนต์ดัด คือ ผลบวกทางพีชคณิตของโมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนัก ณ หน้าตัดของคานด้านใดด้านหนึ่ง โดยหน้าตัดนั้นต้องตั้งได้ฉากกับแนวศูนย์กลางความยาวคาน ดังสมการที่ 2.3

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} \text{ N/mm}^2 = \frac{M}{z} \text{ N/mm}^2 \qquad (2.3)$$

โดย M = โมเมนต์ดัด Nm.

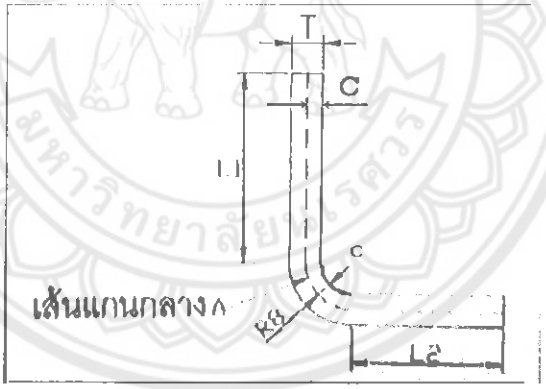
C = ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวนอก

I = โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด

Z = โมดูลัสของหน้าตัด ($Z = I/C$)

2.8 การหาค่าความยาวเริ่มต้น

เมื่อทำการดัดชิ้นงานความยาวโลหะวัดที่เส้นแกนกลาง จะมีความยาวเท่ากับความยาวของโลหะเริ่มต้น เส้นแกนกลางก่อนจะดัดจะอยู่กึ่งกลาง แต่เมื่อทำการดัดเส้นแกนกลางจะเข้าใกล้รัศมีด้านในของการดัด การคำนวณความยาวเริ่มต้นสามารถคำนวณได้จากความยาวของเส้นแกนกลาง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ความยาวเริ่มต้น

ซึ่งสมการคำนวณมีดังนี้ความยาวเริ่มต้นคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$L = L1 + A + L2 \qquad (2.4)$$

ความยาวของเส้นแกนกลาง A ที่มุมดัดของโลหะ ดังสมการที่ 2.5

$$A = (r+c)\frac{2\pi\alpha}{360} \quad (2.5)$$

การกำหนดค่า c ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวนอกที่มีแรงกระทำแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงการกำหนดค่า c ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวนอกจากมุมดัดที่มีแรงกระทำ

รัศมีการดัด	c
r < 2T	0.33T
R = 2T-3T	0.4T
R > 4T	0.5T

ที่มา : eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/4_bending_SUT.pdf

โดย L = ความยาวเริ่มต้น

T= ความหนาของชิ้นงาน

∂ = องศาที่ดัดไป

c = ระยะจากแกนสะเทินถึงผิวนอกจากมุมดัดที่มีแรงกระทำ

2.9 การหาค่า Clearance

Clearance ระหว่าง ลูกดัด กับ ชิ้นงานที่พอดี นั้นมีค่ามากไป น้อยไปหรือว่าเหมาะสมพอดี โดยดูจากสภาพรอยดัดของชิ้นงาน

2.9.1 กรณีที่ Clearance พอดีหรือเหมาะสมนั้น ลูกดัดจะมีความกว้างประมาณ 1/3 ของความหนาของชิ้นงาน

2.9.2 กรณี Clearance มากเกินไปที่ขอบรัศมีจะมีความโค้งมากลูกดัดจะแคบอาจจะเกิดร่อยฉีกขาด

2.9.3 กรณี Clearance น้อยไปที่ขอบรัศมีจะมีความโค้งน้อยอาจจะเกิดรอยย่นได้

2.10 การหาแรงของคน

ตามปกติร่างกายของคนเราหากไม่ได้รับการฝึกฝนกล้ามเนื้ออย่างเป็นประจำก็สามารถยกได้ไม่เกินน้ำหนักของตัวเอง ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับโครงสร้างของร่างกายและกระดูกภายในของคนยกน้ำหนักด้วย หากมีน้ำหนักที่เท่ากัน แต่โครงสร้างแตกต่างกันก็อาจยกได้ไม่เท่ากันด้วย หากแบกรับเกินกว่านั้นร่างกายจะได้รับการบาดเจ็บ กล้ามเนื้อฉีกขาด การหาแรงหาได้จากสมการดังนี้

$$W = mg \ N \text{ หรือ } F_M = mg \ N \tag{2.6}$$

โดย W = น้ำหนัก N

F_M= แรงคน N

m = มวล Kg

g = แรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

บทที่ 3
การดำเนินโครงงาน
การดำเนินโครงงานประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

3.1 ศึกษากระบวนและรวบรวมข้อมูลทฤษฎีของเครื่องดัดเหล็ก

จากการศึกษา และเก็บรวบรวมข้อมูลนั้นได้เริ่มจากการหาสาเหตุของปัญหา และเมื่อพบปัญหาก็ทำการศึกษาข้อมูล และหาแนวทางในการแก้ปัญหา

3.1.1 สาเหตุของปัญหา

จากการหาสาเหตุพบว่า ส่วนมากแล้วเครื่องดัดเหล็กโดยใช้แรงคนที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด และใช้จะมีแต่เครื่องดัดท่อกลวง และเหล็กกลมตัน สำหรับเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงโดยใช้แรงคนยังไม่มีจำหน่าย จากปัญหาที่พบผู้จัดทำจึงได้คิด และออกแบบ และสร้างเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงขนาด 1X1 นิ้ว โดยใช้แรงคน เพื่อเป็นการลดต้นทุนการลงทุน และใช้กับอุตสาหกรรมเฉพาะอย่าง เช่น การผลิตเฟอร์นิเจอร์ เครื่องเรือน งานก่อสร้าง เป็นต้น และอาจพัฒนาเครื่องดัดเหล็กเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และอุตสาหกรรมย่อยต่อไปได้

3.1.2 ข้อมูลทฤษฎีของเครื่องดัดเหล็ก

เมื่อพบปัญหาและสาเหตุแล้ว จึงได้วิเคราะห์ และรวมรวมข้อมูลเกี่ยวกับการสร้าง การออกแบบส่วนต่างๆของเครื่องดัดเหล็ก เพื่อให้สามารถใช้งานได้โดยมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.1.2.1 ประเภทเครื่องดัดเหล็กที่ใช้แรงคน

3.1.2.2 ทฤษฎีการดัดเหล็ก

3.1.2.3 ทฤษฎีวัสดุ

3.1.2.4 ส่วนประกอบของเครื่องดัดเหล็ก

3.1.2.5 ข้อผิดพลาดในการดัด

3.1.2.6 การดีดตัวกลับ (Spring Back)

3.1.2.7 สมการสำคัญในการดัด

3.2 ออกแบบเครื่องดัด

ในการดำเนินงานออกแบบในโครงงานนี้ จะทำการลดสร้างเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง ที่สามารถดัดเหล็กในลักษณะโค้งตัว L สามารถอธิบายการออกแบบได้ ดังนี้

3.2.1 ออกแบบระบบดัด

โดยเครื่องดัดที่ได้รับการออกแบบมีลักษณะการทำงาน คือ มีชุดลูกดัดเหล็กที่จะดัดเพื่อให้ได้ความโค้งของท่อเหล็กตามที่กำหนด โดยความโค้งของท่อขึ้นอยู่กับมุมที่ดัด และเครื่องดัดท่อจะมีตัวรองหลังท่อ เพื่อไม่ให้ท่อเหล็กที่ถูกดัดไม่เกิดการบุบ หรือบิดเบี้ยวที่เป็นผลจากการที่ท่อเหล็กถูกอัดซึ่งการออกแบบระบบนี้ได้รวมถึงขนาดแรงที่ใช้ในการดัดอีกด้วยซึ่งจะประกอบไปด้วย 4 ส่วน ดังนี้

3.2.1.1 การหาค่าโมเมนต์ดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง

3.2.1.2 การหาโมดูลัสหน้าตัดเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

3.2.1.3 การหาขนาดแรงที่ออกบริเวณปลายด้ามดัด

3.2.1.4 การหาความยาวเริ่มต้นของชิ้นงานในการดัด

3.2.2 การออกแบบลูกดัด (Bend Die)

จะเป็นโครงสร้างลูกดัด (Bend die) คือ ส่วนของแม่พิมพ์ดัดเหล็ก ใช้เป็นแม่พิมพ์ที่หยุดอยู่นิ่งมีรัศมีความโค้ง และร่องเพื่อให้ชิ้นงานโค้งไปตามรัศมีความโค้งของลูกดัด โดยจะมีรูตรงกลางของลูกดัดไว้สำหรับยึดกับโครงเครื่องดัด ผู้ดำเนินโครงงานเลือกใช้รัศมีความโค้งที่ 75 มิลลิเมตร เพราะเป็นรัศมีที่ใช้ในการดัดเฟอร์นิเจอร์ประเภทเก้าอี้ที่ทำจากโครงสร้างเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ลูกดัดรัศมี 75 มิลลิเมตรใช้ในการดัดเฟอร์นิเจอร์ประเภทเก้าอี้

3.2.3 การออกแบบลิ่มดัด (Pressure Die)

การออกแบบลิ่มดัด คือ ออกแบบสำหรับเหล็ก 25 มิลลิเมตร โดยออกแบบรางสำหรับวางท่อกว้าง 26 มิลลิเมตรโดยที่ใช้วัสดุในการออกแบบคือ เหล็กกล้าผสม (Alloy steel)

3.2.4 การออกแบบลิ่มยึด (Clamp Die)

การออกแบบลิ่มยึด คือ ออกแบบสำหรับเหล็ก 25 มิลลิเมตร โดยออกแบบร่องสำหรับวางท่อกว้าง 26 มิลลิเมตร โดยมีความยาวสั้นกว่าลิ่มดัด ซึ่งมีหน้าที่ยึดโลหะที่นำมาดัด

3.2.5 การออกแบบระบบการวัดมุมการดัด

โดยการใช้ไม้โปรแทรกเตอร์ครึ่งวงกลมในการวัด มีความคลาดเคลื่อน ±1 องศา

3.2.6 ออกแบบโครงสร้าง

เริ่มจากการจัดวางระบบของเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวง หลักการออกแบบข้างต้น โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนฐานเครื่องดัด และส่วนชุดลูกดัดตามหลักทางวิศวกรรมอุตสาหการออกแบบออกมาแล้ว ก็เริ่มร่างแบบกำหนดขนาดต่างๆ ของโครงสร้างแต่ละส่วน และวาดแบบโครงสร้างออกมาเป็นชิ้นส่วน

3.3 การจัดหาวัสดุอุปกรณ์ และสร้างเครื่อง

3.3.1 หาข้อมูลราคาวัสดุ

เมื่อทราบแล้วว่าใช้วัสดุอะไรบ้างก็ดำเนินการจัดหาวัสดุตามร้านจำหน่ายวัสดุต่างๆ

3.3.2 สรุปรายการวัสดุละอุปกรณ์ที่ใช้

เมื่อมีข้อมูลวัสดุแล้ว ก็จัดทำรายการวัสดุว่าต้องใช้อะไรบ้าง วัสดุอะไร จำนวนเท่าไหร่ ราคาเท่าไหร่ แล้วก็กำหนดราคาออกมา

3.3.3 จัดซื้อจัดหาวัสดุและอุปกรณ์

จัดหาวัสดุหลังจากที่มีการออกแบบมาแล้ว ทำให้ทราบรายการวัสดุที่ต้องใช้ในการสร้างเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงทำการจัดหาวัสดุต่างๆ ตามที่ต้องการ ในร้านค้าวัสดุทั่วไปให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ และราคาประหยัดที่สุดสรุปรายการวัสดุที่ใช้จัดซื้อวัสดุตามที่วางแผนไว้

3.3.4 ดำเนินการสร้างเครื่องตามที่ออกแบบไว้

เมื่อทำการออกแบบ และทำการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สร้างเรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการสร้างเครื่องดัดตามที่ได้ออกแบบไว้

3.4 การทดลอง

เมื่อสร้างเครื่องดัดเหล็กตามที่ได้ออกแบบไว้แล้ว จึงนำมาทำการทดลองว่าสามารถใช้ดัดได้จริงตามเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้หรือไม่และวิเคราะห์หาข้อบกพร่อง หรือข้อผิดพลาดจากการดีดกลับ

3.5 วิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์

วิเคราะห์ต้นทุนรวมทั้งหมดที่ใช้ในการสร้างเครื่องดัดเหล็ก

3.6 จัดทำคู่มือการใช้งาน

จัดทำคู่มือแนะนำการใช้งานของเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยม รวมถึงการดูแลรักษา ซ่อมบำรุง เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานและปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน

3.7 สรุปผล

สรุปผลที่ได้ทั้งหมด จากการดำเนินโครงงาน พร้อมทั้งระบุข้อเสนอแนะ และจัดทำรูปเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

จากการที่ผู้จัดทำโครงงานได้ดำเนินโครงงานตามแผนการดำเนินโครงงาน ดังหัวข้อที่ 3.1 – 3.7 ได้ผลการดำเนินโครงงานดังนี้

4.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ผู้จัดทำโครงงานได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลในขั้นตอน และวิธีการสร้างส่วนต่างๆ ของต้นแบบเครื่องดัดเหล็ก เช่น ขั้นตอนและวิธีการสร้างเครื่อง และแรงที่ใช้ในการดัด เป็นต้น รวมถึงรายละเอียด ด้านราคาของวัสดุที่ใช้ในการสร้างต้นแบบเครื่องดัดเหล็ก

4.2 การออกแบบ

ในขั้นตอนของการออกแบบนั้น ผู้จัดทำได้แบ่งการออกแบบเป็น 5 ส่วน ดังนี้

4.2.1 การออกแบบระบบดัด

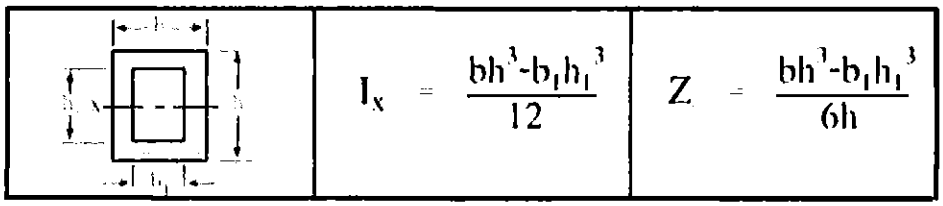
ดังหัวข้อที่ 2.2.1.5 Compression Bending เป็นประเภทของการดัดชนิดหนึ่งซึ่งใช้แรงอัดตลอดจนเป็นการประยุกต์มาจากการดัดประเภท Rotary Draw Bending การดัดประเภทนี้ ชิ้นงาน โลหะท่อจะหมุน หรือเลื่อนไปรอบๆ ตามรัศมีการดัดของแม่พิมพ์ดัด (Bend Die) ซึ่งติดอยู่กับที่ ชิ้นงานที่หมุน หรือเลื่อนไปจะเคลื่อนที่ไปโดย Pressure Die โดยการส่งแรงผ่านด้ามดัด ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ลูกดัด ลิ่มดัด และลิ่มยึด

4.2.1.1 การหาค่าโมเมนต์ดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงจากสมการที่ 2.2

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \qquad (4.1)$$

4.2.1.2 การหาโมดูลัสหน้าตัดเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ในการคำนวณหาโมดูลัสพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมกลวงจะเลือกใช้สมการจากตาราง ที่ 2.5 ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงสมการหาโมเมนต์ความเฉื่อย และโมดูลัสพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมกลวง

จากรูปที่ 4.1 จะได้ b = 25, h = 25, b_1= 22, h_1 = 22

$$Z = (bh^3 - b_1h_1^3) / 6h \quad (4.2)$$

$$Z = (25x25^3-(22)(22)^3)/6(25)$$

Z = 1042.46 (ไม่มีหน่วย)

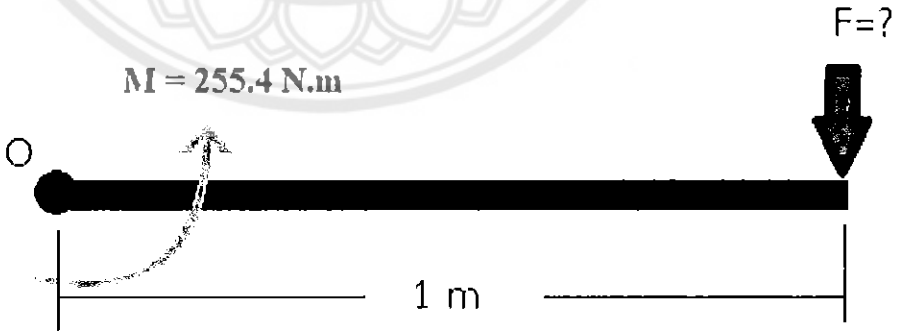
จากสมการที่ 4.1 แทนค่า Z = 1042.46 และ σ_b= 245 N/mm^2 จากตารางที่ 2.4

จะได้ $245 = \frac{M}{1042.46}$

เพราะฉะนั้น M = 255402.7 N.mm หรือ 255.4 N.m

สรุป ดังนั้นค่าโมเมนต์ที่ทำให้เหล็กสี่เหลี่ยมกลวง โค้งงอเท่ากับ 255.4 N.m

4.2.1.4 การหาขนาดแรงที่ออกบริเวณปลายด้ามดัด(ด้ามดัดมีความยาว 1 เมตร)



รูปที่ 4.2 Free body diagram

ให้ระยะด้ามดัดที่ใช้ในการดัด เท่ากับ 1000 mm (นับจากจุดศูนย์กลาง Bend Die ถึงจุดที่ออกแรงกระทำ)

ถ้าให้ทิศทวนเข็มนาฬิกาเป็นบวก แทนจากสมการที่ 2.2

จากสมการ $\Sigma M = F \times R$ (4.3)

แทนค่า $\Sigma M = 0 ; 255.4 + F(1) = 0$

$$F = \frac{255.4}{1}$$

เพราะฉะนั้น $F = 255.4$ N

ดังนั้นขนาดของแรงที่ออกบริเวณปลายด้ามดัดเท่ากับ 255.4 N

ตามปกติร่างกายของคนเราหากไม่ได้รับการฝึกฝนกล้ามเนื้ออย่างเป็นประจำก็สามารถยกได้ไม่เกินน้ำหนักของตัวเอง ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับโครงสร้างของร่างกายและกระดูกภายในของคนยกน้ำหนักด้วย หากมีน้ำหนักที่เท่ากัน แต่โครงสร้างแตกต่างกันก็อาจยกได้ไม่เท่ากันด้วย หากแบกรับเกินกว่านั้นร่างกายจะได้รับการบาดเจ็บ กล้ามเนื้อฉีกขาดจากสมการที่ 2.6

จากสมการ $F_M = mg$ (4.4)

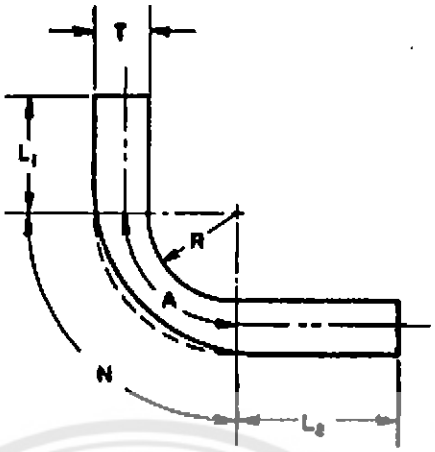
น้ำหนักผู้ดำเนินโครงงานทดลองกำหนดให้ $m = 60$ Kg และ $g = 9.81$ m/s^3 (จากหัวข้อที่ 2.10)

แทนค่า $F_M = (60)(9.81)$

เพราะฉะนั้น $F_M = 588.6$ N

ดังนั้นผู้ทำการทดลองสามารถออกแรงได้ถึง 588.6 N ซึ่งสามารถออกแรงดัดที่บริเวณปลายด้ามดัด 255.4 N ได้โดยไม่ได้รับการบาดเจ็บ

4.2.1.5 การหาความยาวเริ่มต้นของชิ้นงานในการดัด



รูปที่ 4.3 Blank Length

ความยาวเริ่มต้นคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$L = L1 + A + L2$$

การหาความยาวของเส้นแกนกลาง จากสมการที่ 2.5

$$A = (r + c)\frac{2\pi\alpha}{360}$$

ระยะ c หาได้จากตารางที่ 2.6

จากตารางที่ 2.6 แสดงการกำหนดค่า C

รัศมีการดัด	c
r < 2T	0.33T
R = 2T-3T	0.4T
R > 4T	0.5T

ที่มา : eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/4_bending_SUT.pdf

กำหนด รัศมีของลูกดัดเท่ากับ r = 75 mm

ความหนาของชิ้นงานเท่ากับ T = 25 mm

เลือกสมการ r = 2T-3T

จะได้ 75 = 3(25)

เลือกสมการ C = 0.4T

จากสมการที่ 2.5

$$A = (r + C)\frac{2\pi\alpha}{360}$$

แทนค่า $A = (75 + (0.4 \times 25))\frac{2\pi \times 90}{360}$

จะได้ A = 133.45 mm

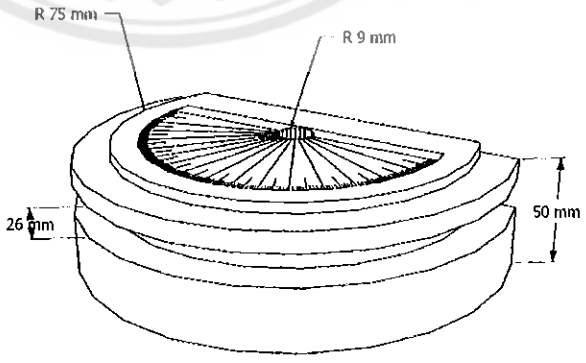
จากสมการที่ 2.4

L = L1 + A + L2

แทนค่า L = L1 + L2 + 133.45

4.2.2 การออกแบบชุดแม่พิมพ์

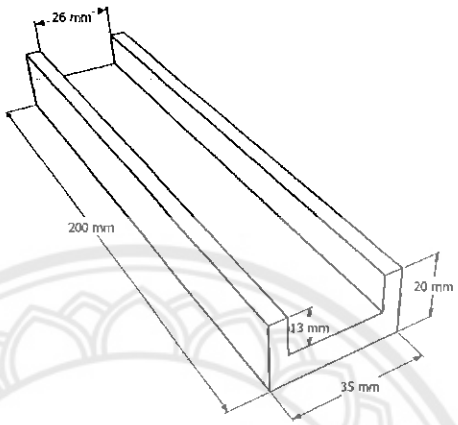
ระยะความกว้างของร่อง 26 มิลลิเมตร จากเหล็กขนาด 25x25 มิลลิเมตร ค่า Clearance ช่องห่างระหว่างร่องของลูกดัด Clearance ที่พอดีหรือเหมาะสมนั้นจากหัวข้อที่ 2.9 bend die จะมีความกว้างประมาณ 1/3 ของความหนาของชิ้นงาน ชิ้นงานมีความหนา 1.5 มิลลิเมตร 1/3 ของชิ้นงานก็จะเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร รวมระยะห่างบน และล่างจะได้เท่ากับ 1 มิลลิเมตร จากขนาดของชิ้นงาน 25 มิลลิเมตร รวมระยะ Clearance ก็จะเท่ากับ 26 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ลูกดัด

4.2.3 การออกแบบลิ่มดัด (Pressure Die)

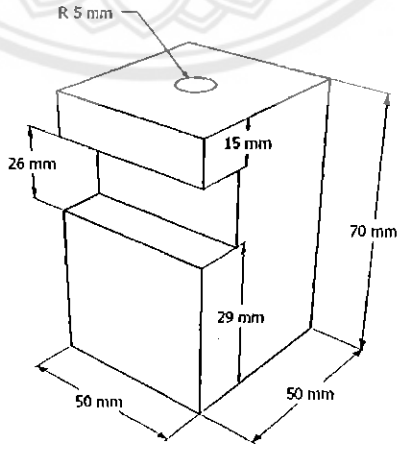
ลิ่มดัดทำหน้าที่ดัดนำพาชิ้นงานโลหะให้เคลื่อนที่ไปตามร่องของลูกดัดในแนวโค้งตามรัศมีของลูกดัด การออกแบบลิ่มดัดจะทำการออกแบบ 2 รูปแบบ คือ ออกแบบส่วนของความยาวลิ่มดัดจากรัศมีของลูกดัด และออกแบบส่วนของความกว้างลิ่มดัดโดยมีขนาด 26 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ลิ่มดัด

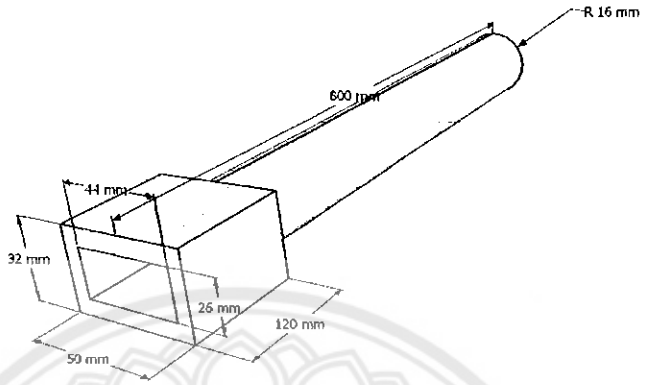
4.2.4 การออกแบบลิ่มยึด (Clamp Die)

ลิ่มยึดมีหน้าที่จับยึดโลหะให้แน่น โดยจะมีลิ่มสำหรับยึดทั้ง 2 ด้าน ซึ่งจะมีลักษณะ และขนาดใกล้เคียงกับลิ่มดัด แต่การทำงานจะแตกต่างตรงที่ลิ่มยึดตัวหนึ่งจะถูกยึดแน่นติดอยู่กับโครงเครื่องดัด ส่วนลิ่มดัดจะเป็นตัวเคลื่อนที่ไปประกบชิ้นงาน ระยะความกว้างร่องของลิ่มยึด 26 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ลิ่มยึด

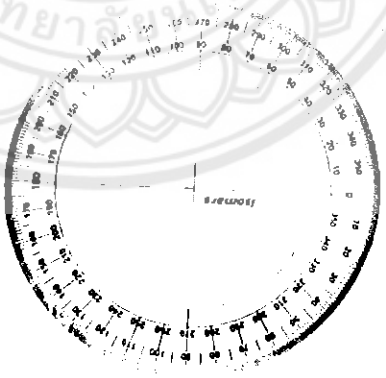
ในส่วนของด้ามดัดมีหน้าที่ช่วยผ่อนแรงในการดัด เพื่อให้การดัดง่ายขึ้น จะใช้ท่อเหล็กกลมที่มีขนาด 38.1 มิลลิเมตรยาว 800 มิลลิเมตรดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ด้ามดัด

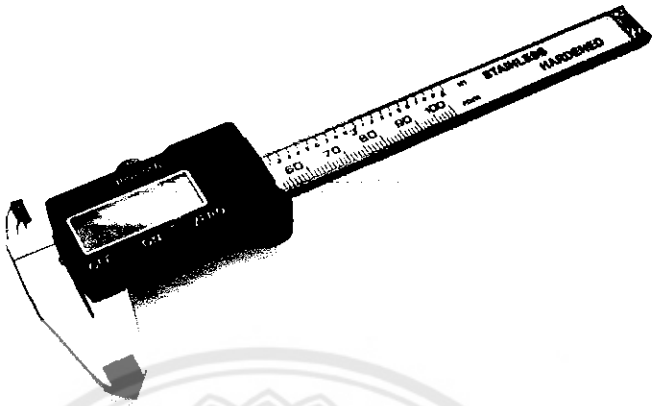
4.2.5 การออกแบบระบบการวัดมุมการดัด

ในส่วนของเครื่องมือในการวัดผู้ดำเนินโครงงานเลือกใช้ไม้โปรแทรกเตอร์ เนื่องจากมีขายในท้องตลาด สังเกตองศาได้ง่าย ซึ่งมีความคลาดเคลื่อน ±1 องศา ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ไม้โปรแทรกเตอร์

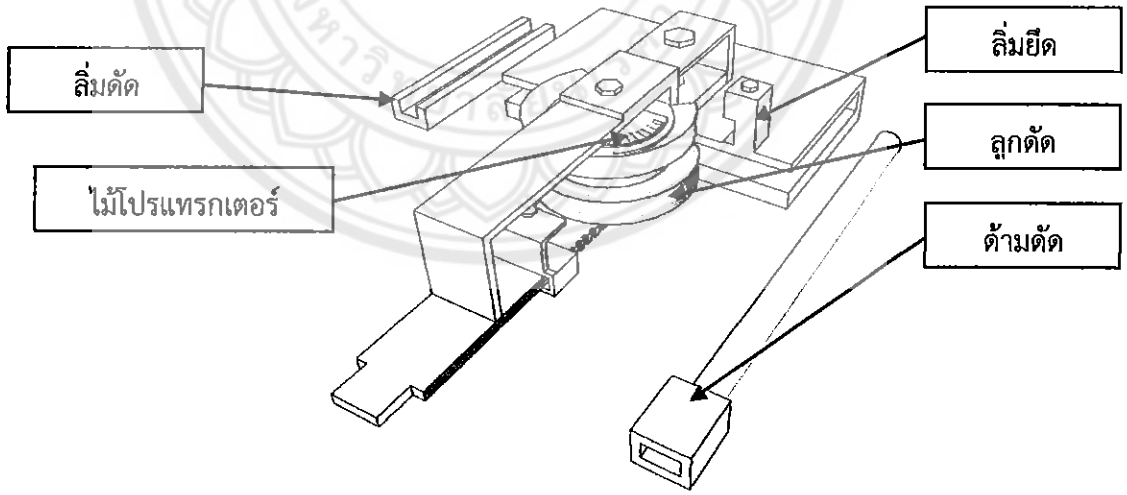
ในส่วนของเครื่องมือในการวัดความหนาและความกว้างของชิ้นงานผู้ดำเนินโครงงานได้เลือกใช้เวอร์เนียดิจิตอล เพราะมีความที่ยงตรง และมีความคลาดเคลื่อนน้อย ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 เวอร์เนียดิจิตอล

4.2.6 การออกแบบโครงสร้าง

ในส่วนของของโครงสร้างของต้นแบบเครื่องดัดเหล็ก ทางผู้ดำเนินโครงงานได้แบ่งโครงสร้างออก 3 ส่วน คือ ส่วนแรก เป็นลูกดัด (Bend Die) ส่วนที่สองลิ่มยึด (Clamp Die) และลิ่มดัด (Pressure Die) ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 โครงสร้างเครื่องดัดเหล็ก

4.3 การจัดหาวัสดุ และสร้างเครื่อง

จากการวิเคราะห์ การออกแบบของเครื่องดัดเหล็ก ในหัวข้อที่ 4.2 ทำให้ทราบรายการวัสดุที่ต้องใช้ในการสร้างเครื่องดัดเหล็ก ดังนั้น จึงได้ทำการสำรวจและจัดหาวัสดุที่ต้องใช้ในการสร้าง ตามร้านจำหน่ายวัสดุทั่วไป หรือตามร้านค้าวัสดุออนไลน์ เมื่อได้วัสดุแล้วจึงนำมาสร้างเครื่องดัดเหล็ก

4.3.1 การสร้างเครื่องดัดเหล็ก

เครื่องดัดเหล็กระบบ Compression Bending มีส่วนประกอบไปด้วย ฐานเครื่อง ลูกดัด ลิ่มยึด ลิ่มดัด ด้ามดัด ซึ่งผู้จัดทำโครงงานได้มีแนวคิด และออกแบบเครื่องดัดเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงในระบบ Compression Bending โดยได้ออกแบบ ลูกดัด ลิ่มยึด และลิ่มดัดใหม่ เพื่อสามารถดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงขนาด 1x1 นิ้วตามที่ได้กำหนดตามขอบเขตโครงงาน

ส่วนที่ 1 ลูกดัดผู้จัดทำโครงงานได้คำนวณ และออกแบบให้มีขนาดร่องตามหัวข้อที่ 4.2.2 มีลักษณะ ดังรูปที่ 4.11

รูปที่ 4.11 ลูกดัด

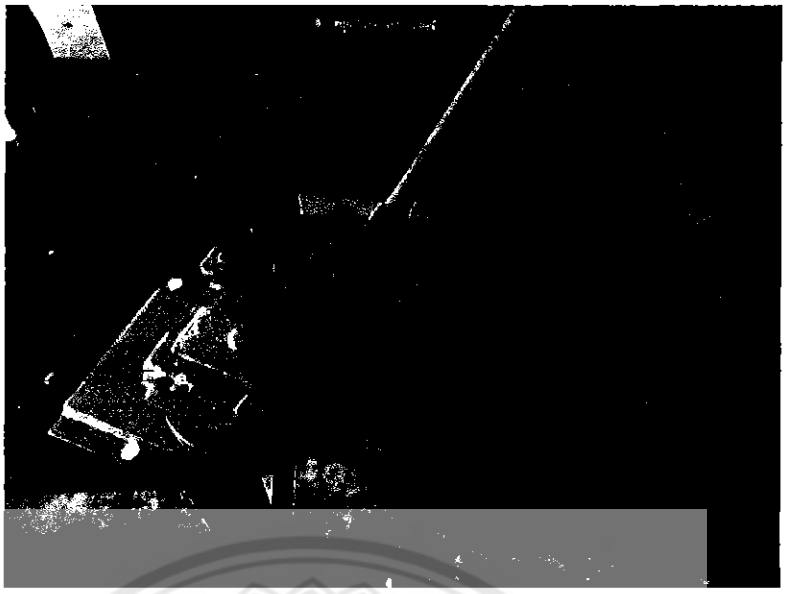
ส่วนที่ 2 ลิ่มดัดผู้จัดทำโครงงานได้ออกแบบตามหัวข้อที่ 4.2.3 และสร้างลิ่มดัด ดังรูปที่ 4.12

รูปที่ 4.12 ลิ่มดัด

ส่วนที่ 3 ลิ่มยึดผู้จัดทำโครงงานได้ออกแบบตามหัวข้อที่ 4.2.4 และสร้างลิ่มยึด ดังรูปที่ 4.13

รูปที่ 4.13 ลิ่มยึด

หลังจากที่มีการสร้างส่วนประกอบของเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงแล้ว เครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหมี่ยมกลวงมีลักษณะ และส่วนประกอบต่างๆ ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 เครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง

4.3.2 ต้นทุนวัสดุในการจัดสร้าง

ตารางที่ 4.1 แสดงราคาต้นทุนโครงงาน

ประเภท	ราคา (บาท)
1. เหล็กสี่เหลี่ยมกลวง SS400 1x1 นิ้ว 10 ชิ้น	400
2. ลูกดัด	2,500
3. ลิ่มดัด และลิ่มยึด	700
4. น็อตยึดโต๊ะ	40
5. สีสเปรย์	140
6. ไม้โปรแทรกเตอร์	50
7. น้ำมันรถ	500
8. ค่าแรง	**2,000**
รวม	*6,330*

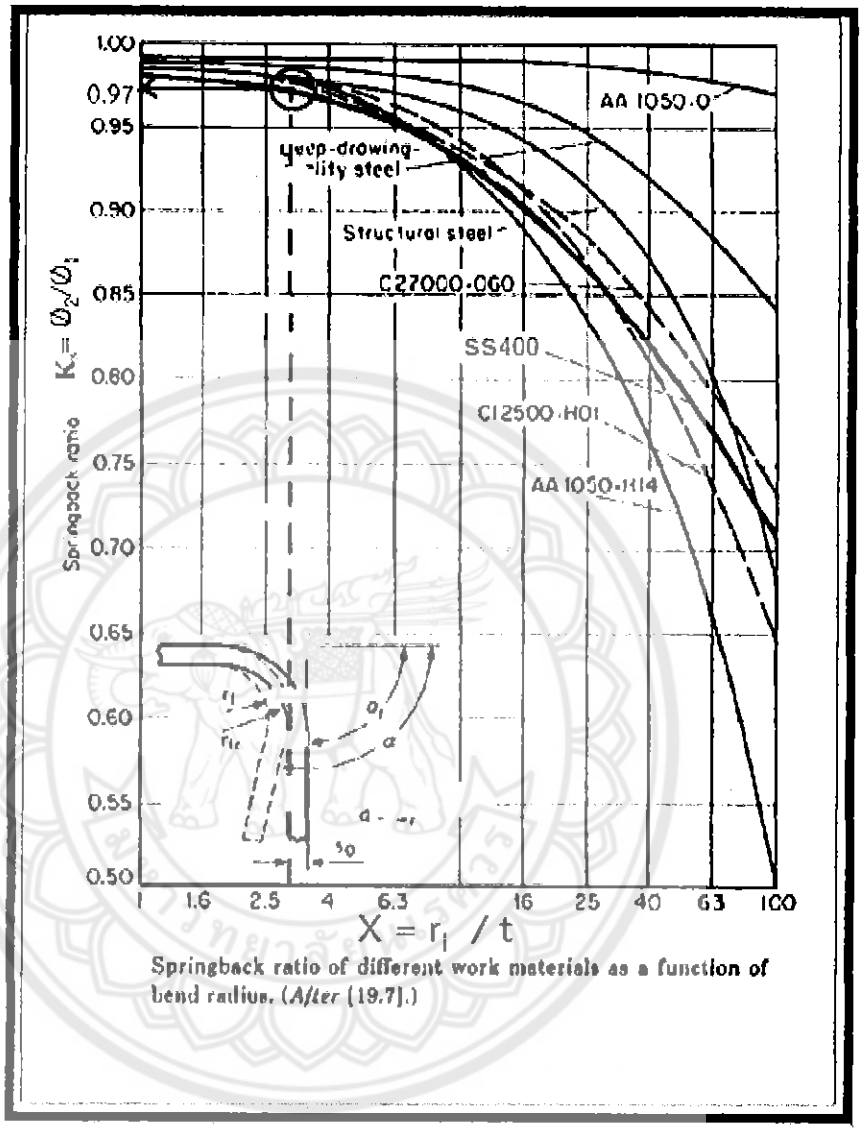
4.4 การทดสอบระบบดัด ของเครื่องดัดเหล็ก

หลังจากที่สร้างเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงสำเร็จแล้ว นำเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงมาทำการทดสอบระบบดัดโดยใช้เหล็กที่มีขนาด 1x1 นิ้ว ในการดัดเป็นตัว L รัศมี 90 องศา ตามขอบเขตโครงงาน แสดงดังรูปที่ 4.14 ซึ่งจะกำหนดจำนวนชิ้นในการดัดเพื่อดูประสิทธิภาพของเครื่องโดยกำหนดดัดเหล็กจำนวน 10 ชิ้นหลังจากนั้นทำการสังเกตขอบกพร่องในการดัด รอยย่น การดีดกลับ ระยะยืด ระยะหดตัวของชิ้นงาน

รูปที่ 4.15 การทดสอบระบบดัด

4.4.1 ค่าการดีดกลับ (Spring back)

อัตราส่วนการดีดกลับของชิ้นงาน และความแตกต่างวัสดุแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 4.16



Springback ratio of different work materials as a function of bend radius. (*After* [19.7].)

รูปที่ 4.16 ค่าของ K_s

ที่มา : eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/4_bending_SUT.pdf

จากรูปใช้เหล็กประเภท SS400

จากสมการในรูปที่ 4.15 ค่าแนวแกน x = r_i/s , s=t

กำหนด t = 25มิลลิเมตร

r_i = 75 มิลลิเมตร

แทนค่า $x = \frac{75}{25}$

จะได้ $x = 3$

นำค่า x = 3 นำไปเทียบหาค่า K_s ค่าคงที่ของการดีดกลับของวัสดุ SS400 ดังรูปที่ 4.16 จะได้ค่า K_s ค่าคงที่ของการดีดกลับ $K_s = 0.97$ นำมาคำนวณหาค่ามุมองศาที่ต้องดัด เพื่อจะได้ชิ้นงานที่มุม 90 องศา

กำหนด $\emptyset_1$ = มุมดัดเริ่มต้น (ก่อนการดีดกลับ)

$\emptyset_2 = 90$ องศา

$K_s = 0.97$

จากสมการที่ 2.1

$K_s = \emptyset_2/\emptyset_1$

$\emptyset_1 = \emptyset_2/K_s$

แทนค่า $\emptyset_1 = 90/0.97$

จะได้ $\emptyset_1 = 93$ องศา

สรุป จากทฤษฎีการคำนวณหาค่าการดีดกลับของชิ้นงาน มุมที่ใช้ในการดัดชิ้นงาน $\emptyset_1 = 93$ องศา จะทำให้ได้ชิ้นงานตามต้องการที่มุม 90 องศา

ตารางที่ 4.2 แสดงการทดสอบการดีดกลับจากทฤษฎี

ประเภทชิ้นงาน	ตัวแปร	องศาในการดัด (Bending Angle) (Degree)									
เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง 1x1 นิ้ว	Ø1	93°	93°	93°	93°	93°	93°	93°	93°	93°	93°
	Ø2	90°	90°	89°	90°	90°	90°	90°	89°	90°	90°

จากตารางที่ 4.2 สรุปได้ว่าชิ้นงานดัดไปที่มุม 93 องศา ตามที่ได้คำนวณจากทฤษฎีการดีดกลับ ชิ้นงานที่ทดสอบจำนวน 10 ชิ้นงาน มีค่าเฉลี่ยขององศาที่ดัดได้เท่ากับ 89.8 องศา ค่า Error ร้อยละ 0.22 เนื่องจากการออกแรงที่ไม่สม่ำเสมอ การเลื่อนของโต๊ะในการทำการดัด และไม้โปรแทรกเตอร์ไม่เที่ยงตรงมีความคลาดเคลื่อน ±1 องศา

4.4.2 การทดสอบทางกายภาพ

การทดสอบด้วยสายตาเป็นการประเมินคุณภาพของชิ้นงานเบื้องต้นโดยพิจารณาด้วยสายตาของผู้ทดลอง ซึ่งการประเมินด้วยสายตาจะมีความละเอียดน้อยกว่าการทดสอบรูปแบบอื่น แต่สะดวกในการใช้ประเมินสำหรับชิ้นงานที่เห็นผลการทดลองได้ชัดเจน เช่น ชิ้นงานเกิดรอยแตก และฉีกขาด การเกิดรอยย่น การเกิดรอยบุบ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังตาราง

4.4.2.1 เมื่อได้ชิ้นงานดัด 90 องศา

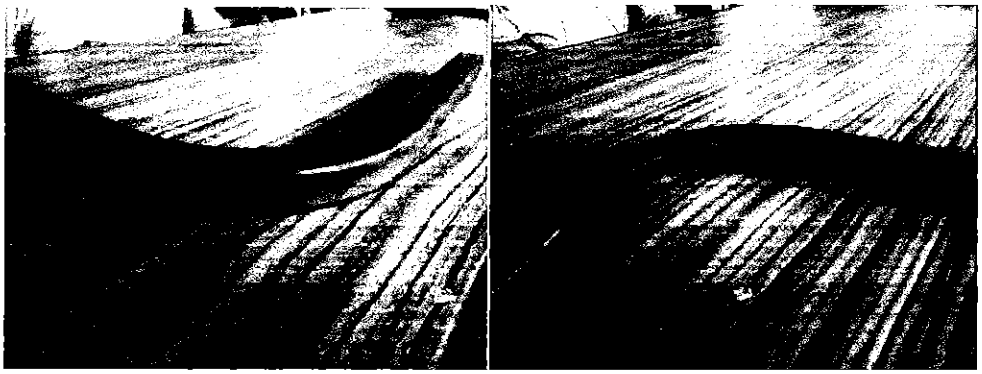
4.4.2.2 ทำการตรวจสอบลักษณะภายนอก ข้อบกพร่องของเหล็กที่ผ่านกระบวนการดัดเพื่อหาข้อบกพร่องของชิ้นงาน

4.4.2.3 บักทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อบกพร่องรอยแตก และฉีกขาด

ชิ้นงานที่	รอยแตก และฉีกขาด	
	แตก	ไม่แตก
1		✓
2		✓
3		✓
4		✓
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

จากตารางที่ 4.3 จะพิจารณาได้ว่าการเกิดรอยแตก และฉีกขาดจากการดัดชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้นงาน จะพบว่าชิ้นงานไม่เกิดการแตก และฉีกขาดของชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ข้อบกพร่องของชิ้นงาน

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อบกพร่องการเกิดรอยย่น

ชิ้นงานที่	รอยย่น	
	ย่น	ไม่ย่น
1		✓
2		✓
3		✓
4		✓
5		✓
6		✓
7		✓
8		✓
9		✓
10		✓

จากตารางที่ 4.4 จะพิจารณาได้ว่าการเกิดรอยย่นจากการตัดชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้นงาน จะพบว่าชิ้นงานไม่เกิดรอยย่นของชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อบกพร่องการเกิดรอยบุบ

ชิ้นงานที่	รอยบุบ	
	บุบ	ไม่บุบ
1	✓	
2	✓	
3	✓	
4	✓	
5	✓	
6	✓	
7	✓	
8	✓	
9	✓	
10	✓	

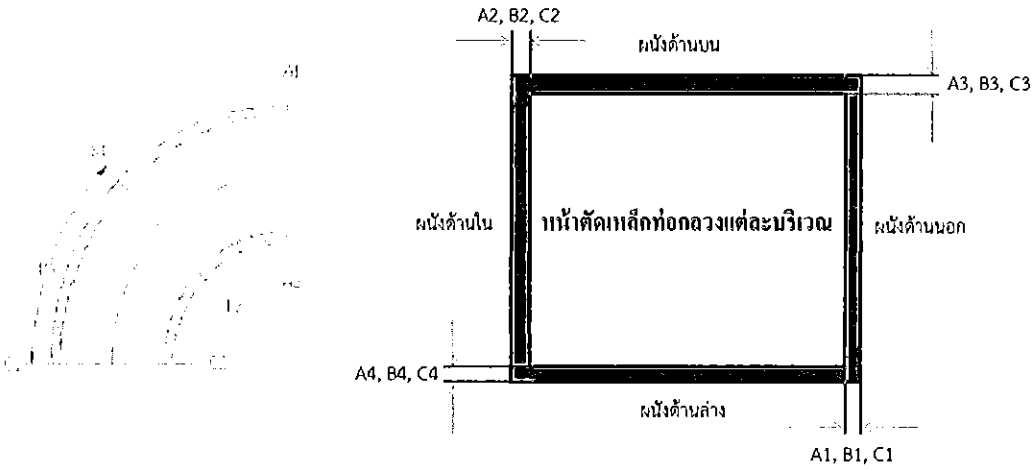
จากตารางที่ 4.5 จะพิจารณาได้ว่าการเกิดรอยบุบจากการดัดชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้นงาน จะพบว่าชิ้นงานเกิดรอยบุบที่วงใน และวงนอกของชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.17

4.4.3 การทดสอบความหนาของผนังหน้าตัดส่วนโค้งของโลหะ

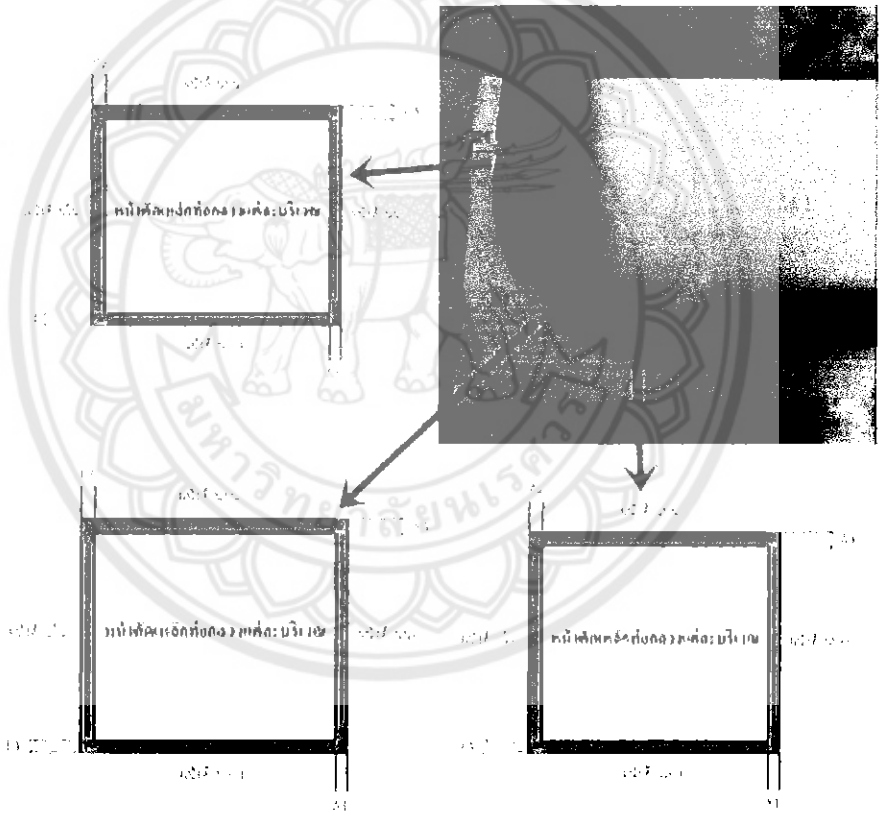
การทดสอบความหนาของผนังหน้าตัดส่วนโค้งของโลหะเป็นการทดสอบความแตกต่างของผนังหน้าตัด 3 บริเวณคือ A, B และ C ของท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงที่ผ่านกระบวนการดัดที่ 90 องศา ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้

4.4.3.1 ดัดท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงให้มีขนาด 90 องศา

4.4.3.2 ตัดท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงให้เห็นหน้าตัดบริเวณส่วนโค้งมุม 45 องศา และตัดขอบของท่อทั้ง 2 ข้างให้เป็นดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ตำแหน่งหน้าตัดของท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงบริเวณ A, B และ C



รูปที่ 4.19 ตำแหน่งหน้าตัดของชิ้นงานจริงบริเวณ A, B และ C

4.4.3.3 ทำการขัดผนัง และผิวเหล็กและพื้นผิวเหล็กท่อสี่เหลี่ยมกลวงที่ทำการขัดด้วยกระดาษทรายให้เรียบ เนื่องจากจะต้องทำการวัดขนาดความหนาของผนัง หากมีเศษโลหะเหลืออยู่อาจทำให้ผลลัพธ์คลาดเคลื่อนมาก

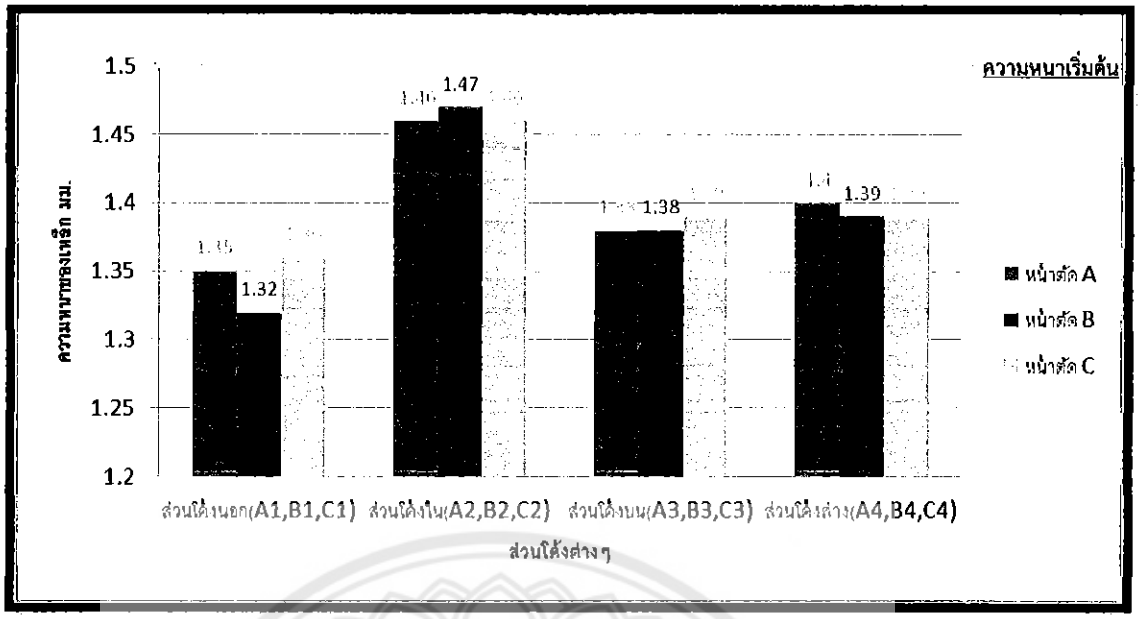
4.4.3.4 ทำการวัดความหนาของผนังท่อกลวงทั้ง 3 บริเวณ (A, B, C) และวัดบริเวณละ 4 จุด คือ บริเวณส่วนโค้งนอก ส่วนโค้งใน หน้าตัดบริเวณท่อด้านบน และบริเวณด้านล่าง

4.4.3.5 บันทึกผลการทดลองความหนาของผนังเหล็กท่อกลวงทั้งหมด 3 บริเวณ และจุดที่ทำการวัดความหนาของผนังท่อ 12 จุด (A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4) ลงในตารางที่ 4.6 การทดสอบผนังความหนาของผนังหน้าตัดส่วนโค้งของเหล็กท่อสี่เหลี่ยมกลวง

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบผนังความหนาของผนังหน้าตัดส่วนโค้งของเหล็กท่อสี่เหลี่ยมกลวง (ความหนาเริ่มต้นของชิ้นงานเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร)

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งของความหนาผนังท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงที่การดัด 90 องศา (มิลลิเมตร)											
	A1	B1	C1	A2	B2	C2	A3	B3	C3	A4	B4	C4
1	1.35	1.32	1.35	1.47	1.48	1.46	1.38	1.38	1.40	1.40	1.39	1.40
2	1.35	1.33	1.36	1.46	1.47	1.45	1.38	1.39	1.39	1.41	1.39	1.39
3	1.36	1.33	1.36	1.47	1.47	1.46	1.39	1.38	1.40	1.40	1.39	1.40
4	1.35	1.32	1.36	1.46	1.47	1.46	1.38	1.39	1.40	1.40	1.40	1.39
5	1.36	1.32	1.35	1.46	1.47	1.45	1.38	1.39	1.39	1.40	1.40	1.40
6	1.35	1.33	1.36	1.46	1.48	1.45	1.38	1.39	1.40	1.41	1.39	1.39
7	1.36	1.32	1.36	1.46	1.48	1.46	1.39	1.38	1.39	1.40	1.40	1.39
8	1.36	1.33	1.35	1.47	1.47	1.46	1.38	1.39	1.40	1.41	1.39	1.39
9	1.35	1.32	1.36	1.47	1.48	1.46	1.38	1.38	1.39	1.41	1.40	1.39
10	1.35	1.33	1.36	1.46	1.48	1.45	1.39	1.38	1.40	1.40	1.39	1.40
ค่าเฉลี่ย	1.35	1.32	1.36	1.46	1.47	1.46	1.38	1.38	1.39	1.40	1.39	1.39
Error	-0.15	-0.18	-0.14	-0.04	-0.03	-0.04	-0.12	-0.12	-0.11	-0.1	-0.11	-0.11

ผลการทดลองความหนาของผนังเหล็กท่อกลวงในกระบวนการดัดที่ตำแหน่งส่วนโค้ง 3 จุด แสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ความหนาของผนังเหล็กท่อกลวงในกระบวนการดัดที่ตำแหน่งส่วนโค้ง 3 จุด

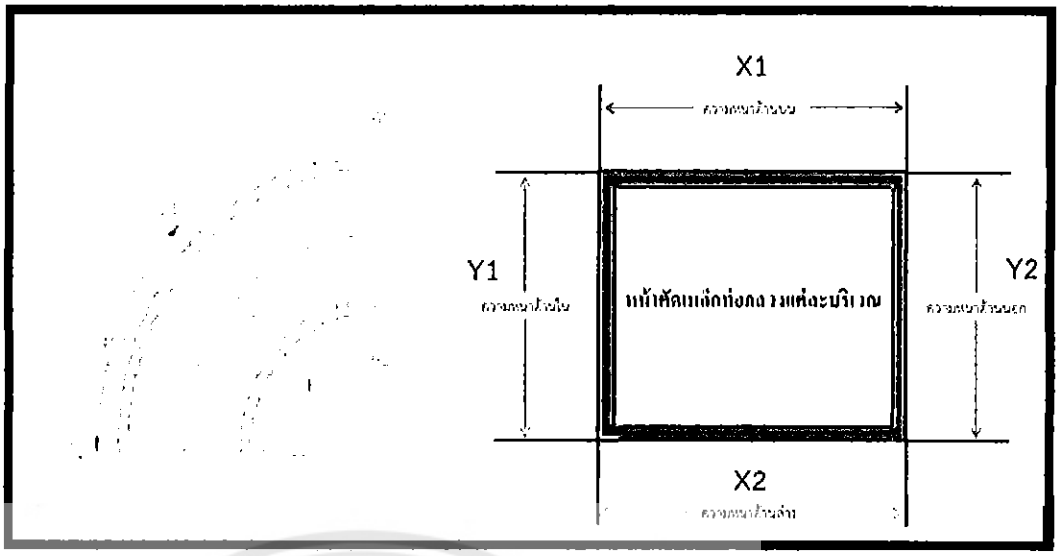
จากรูปที่ 4.20 แสดงผลการทดลองความหนาของผนังเหล็กท่อกลวงในกระบวนการตัดที่ตำแหน่งส่วนโค้ง 3 จุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ส่วนโค้งนอก (A1, B1, C1) ของเหล็กท่อสี่เหลี่ยมกลวงจะเกิดความบางมากที่สุดโดยสามารถบ่งชี้ได้อีกว่าที่ตำแหน่ง B1 ซึ่งเป็นกึ่งกลางส่วนโค้งด้านนอกจะมีความหนาน้อยที่สุด ซึ่งหมายความว่าที่ตำแหน่งการผ่าส่วนโค้งที่ 45 องศา ความหนาของผนังเหล็กท่อสี่เหลี่ยมกลวงจะบางมากที่สุดและความหนาของผนังเหล็กท่อมากที่สุดคือส่วนโค้งด้านใน (A2, B2, C2) และจากการผลการทดลองยังสามารถระบุเบื้องต้นได้ว่าที่บริเวณส่วนโค้งด้านบน (A3, B3, C3) และส่วนโค้งด้านล่าง (A4, B4, C4) จะมีความหนาที่ใกล้เคียงกัน

4.4.4 การทดสอบความกว้างของหน้าตัดส่วนโค้งของโลหะ

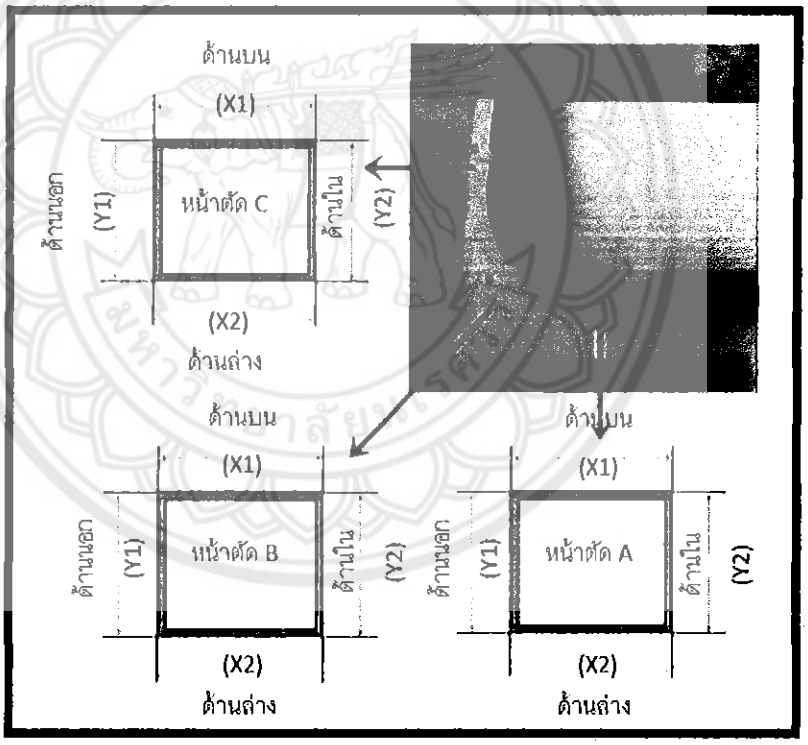
การทดสอบความกว้างของหน้าตัดส่วนโค้งของโลหะเป็นการทดสอบความแตกต่างของความกว้างหน้าตัด 3 บริเวณคือ A, B และ C ของท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงที่ผ่านกระบวนการดัดที่ 90 องศา ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้

4.4.4.1 ดัดท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงให้มีขนาด 90 องศา

4.4.4.2 ตัดท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงให้เห็นหน้าตัดบริเวณส่วนโค้งมุม 45 องศา และตัดขอบของท่อทั้ง 2 ข้างให้เป็นดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ตำแหน่งหน้าตัดของท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงบริเวณ A, B และ C



รูปที่ 4.22 ตำแหน่งหน้าตัดของชิ้นงานจริงบริเวณ A, B และ C

4.4.4.3 ทำการขัดผนัง และผิวเหล็กและพื้นผิวเหล็กท่อสี่เหลี่ยมกลวงที่ทำการขัดด้วยกระดาษทรายให้เรียบ เนื่องจากจะต้องทำการวัดขนาดความหนาของผนักว้างของชิ้นงาน หากมีเศษโลหะเหลืออยู่อาจทำให้ผลลัพธ์คลาดเคลื่อนได้

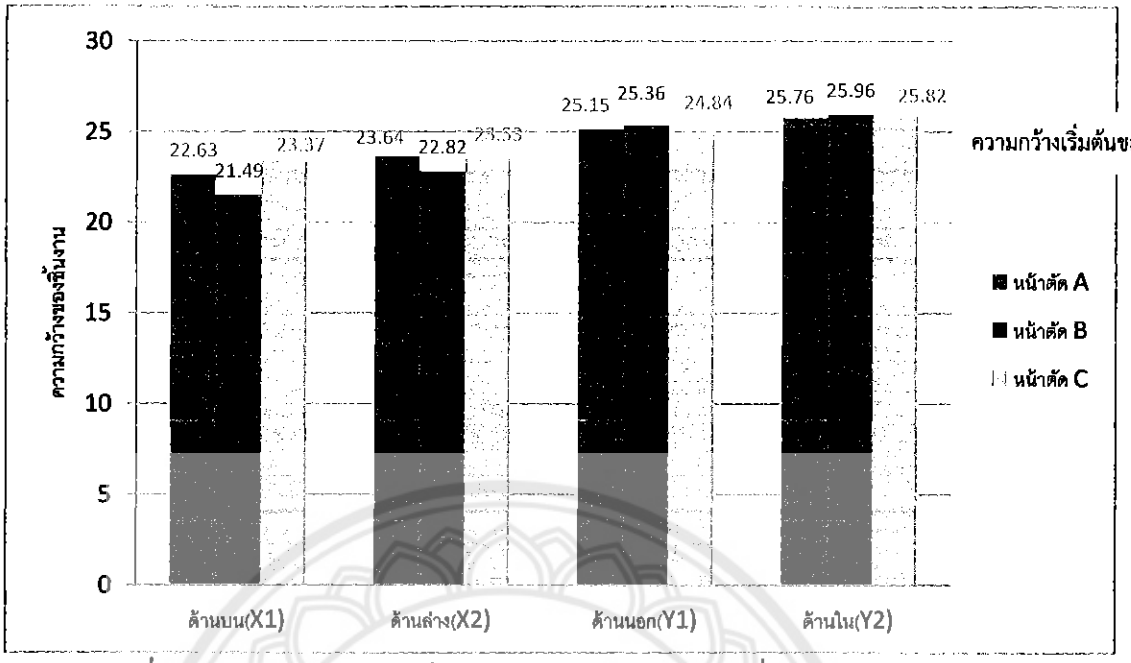
4.4.4.4 ทำการวัดความกว้างของท่อกลวงทั้ง 3 บริเวณ (A, B, C) และวัดบริเวณละ 4 จุด คือ ด้านบน ด้านล่าง ด้านใน และด้านนอก

4.4.4.5 บันทึกผลการทดลองความกว้างของเหล็กท่อกลวงทั้งหมด 3 บริเวณ และจุดที่ทำการวัดความกว้างของท่อ 12 จุด A (X1, X2, Y1, Y2) B (X1, X2, Y1, Y2) และ C (X1, X2, Y1, Y2) ลงในตารางที่ 4.7 การทดสอบความกว้างของหน้าตัดส่วนโค้งของเหล็กท่อสี่เหลี่ยมกลวง

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความกว้างของหน้าตัดส่วนโค้งของเหล็กท่อสี่เหลี่ยมกลวง (ความกว้างเริ่มต้นของชิ้นงานเท่ากับ 25x25 มิลลิเมตร)

จำนวนครั้ง	ตำแหน่งของความกว้างท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงที่การดัด 90 องศา (มิลลิเมตร)											
	หน้าตัด A				หน้าตัด B				หน้าตัด C			
	X1	X2	Y1	Y2	X1	X2	Y1	Y2	X1	X2	Y1	Y2
1	22.46	23.40	25.22	25.81	21.60	22.70	25.32	25.94	23.45	23.52	24.51	25.83
2	23.02	24.10	25.01	25.74	21.42	23.01	25.40	25.97	23.30	23.53	25.07	25.80
3	22.47	23.54	25.14	25.77	21.51	22.83	25.35	25.97	23.35	23.54	24.55	25.81
4	23.01	24.08	25.17	25.72	21.46	22.81	25.37	25.98	23.37	23.53	25.03	25.83
5	22.46	24.05	25.13	25.73	21.43	23.02	25.39	25.95	23.42	23.51	25.05	25.81
6	22.46	23.52	25.20	25.74	21.47	22.85	25.35	25.96	23.39	23.53	24.57	25.83
7	23.02	23.50	25.18	25.82	21.56	22.76	25.35	25.97	23.35	23.52	24.58	25.81
8	22.47	23.40	25.14	25.82	21.53	22.78	25.34	25.97	23.43	23.53	25.05	25.82
9	22.46	23.45	25.15	25.78	21.58	22.81	25.41	25.96	23.37	23.52	25.01	25.84
10	22.47	23.40	25.16	25.74	21.42	22.70	25.40	25.97	23.32	23.53	25.03	25.83
ค่าเฉลี่ย	22.63	23.64	25.15	25.76	21.49	22.82	25.36	25.96	23.37	23.53	24.84	25.82
error	-2.37	-1.36	+0.15	+0.76	-3.51	-2.18	+0.36	+0.96	-1.63	-1.47	-0.16	+0.82

ผลการทดลองความหนาของผนังเหล็กท่อกลวงในกระบวนการดัดที่ตำแหน่งส่วนโค้ง 3 จุด แสดงดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ความกว้างของเหล็กท่อกลวงในกระบวนการดัดที่ตำแหน่งส่วนโค้ง 3 จุด

จากรูปที่ 4.23 แสดงผลการทดลองความกว้างของท่อเหล็กในกระบวนการดัดที่ตำแหน่งส่วนโค้ง 3 จุด ซึ่งแสดงให้เห็นเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่ชิ้นงานมีความกว้างเพิ่มขึ้นจากความเริ่มต้น และส่วนที่ชิ้นงานมีความกว้างลดลงจากความกว้างเริ่มต้น ซึ่งในส่วนของที่ชิ้นงานที่มีความกว้างเพิ่มขึ้น คือ บริเวณด้านใน และด้านนอก เนื่องจากชิ้นงานถูกการบีบ และอัดตัวจากการดัดทำให้หน้าตัดของชิ้นงานเกิดการยืดตัวขึ้นด้านบน และด้านล่าง ซึ่งจะเกิดในทุกๆบริเวณของตำแหน่งส่วนโค้งทั้ง 3 จุด ทำให้ความกว้างของชิ้นงานด้านใน และด้านนอกมีความกว้างที่เพิ่มขึ้น และในส่วนที่ชิ้นงานมีความกว้างลดลงจากความกว้างเริ่มต้น คือ บริเวณด้านบน และด้านล่าง เนื่องจากชิ้นงานถูกการบีบ และอัดตัวจากการดัดทำให้หน้าตัดของชิ้นงานเกิดการยืดตัวขึ้นด้านบน และด้านล่าง ซึ่งจะเกิดในทุกๆบริเวณของตำแหน่งส่วนโค้งทั้ง 3 จุด ทำให้ความกว้างของชิ้นงานด้านบน และด้านล่างมีความกว้างที่ลดลง

4.5 จัดทำคู่มือการใช้งานเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง

จัดทำคู่มือการใช้งานเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง รวมไปถึงการดูแล บำรุงรักษา การซ่อมบำรุงเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานและปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน ซึ่งคู่มือการใช้งานเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง แสดงดัง ภาคผนวก ก

4.6 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

การดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง SS400 ขนาด 1x1 นิ้ว หนา 1.5 มิลลิเมตรของเครื่องดัดเหล็กในการดัดที่รัศมีต่างกัน ผลปรากฏว่าเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงที่ลูกดัดรัศมี 75 มิลลิเมตร สามารถดัดท่อเหล็กได้สูงสุดถึง 180 องศาโดยใช้แรงดัดเท่ากับ 255.4 N เมื่อใช้ชิ้นงานที่มีความหนามากขึ้นแรงที่ใช้ในการดัดก็จะเพิ่มขึ้น จากการทดลองดัดชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้น พบว่าข้อพกพร่องเหล็กที่ดัดออกมาไม่มีรอยฉีก รอยย่น และรอยแตกจะพบเพียงรอยบุบที่ด้านใน และด้านนอกของส่วนโค้งเท่านั้น และในส่วนการวัดหน้าตัดส่วนโค้ง (A, B, C) พบว่าบริเวณส่วนโค้งด้านนอกจะบางมากว่าส่วนโค้งด้านใน เนื่องจากการยืดออกที่มากกว่า ส่วนในเรื่องการดีดกลับของเหล็กพบว่าทุกชิ้นมีการดีดกลับ ซึ่งได้แก้ไขโดยการเพิ่มมุมดัดให้มากขึ้นเพื่อให้ชิ้นงานที่ออกมามีขนาด 90 องศาโดยเพิ่มมุมดัดไปที่ 93 องศา

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ผู้ดำเนินโครงงานได้ออกแบบ และสร้างเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง ซึ่งได้สรุปผลการดำเนินโครงงาน และข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

จากผลการทดลอง และการวิเคราะห์ที่นำเสนอในบทที่ 4 ผู้จัดทำโครงงานจะนำข้อมูลมารวบรวมสรุปผลภาพรวมต่างๆ ของโครงงานในครั้งนี้ไว้ในบทที่ 5 ซึ่งสรุปไว้ดังนี้

5.1.1 จากผลการดำเนินโครงงานจะได้เครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง โดยเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงเป็นการดัดเหล็กประเภท Compression Bending ซึ่งการขึ้นงานประเภทนี้ขึ้นงาน โลหะท่อจะหมุน หรือเลื่อนไปรอบๆ ตามรัศมีการดัดของแม่พิมพ์ดัด (Bend Die) ซึ่งติดอยู่กับที่ขึ้นงานที่หมุน หรือเลื่อนไปจะเคลื่อนที่ไปโดย Pressure Die โดยสามารถดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงขนาด 1x1 นิ้วได้ และสามารถดัดได้เกิน 90 องศา

5.1.2 การประเมินข้อบกพร่องทางกายภาพของการดัดท่อสี่เหลี่ยมกลวงที่ผ่านกระบวนการดัดประเภท Compression ซึ่งทำการดัดไปที่ 93 องศาโดยสามารถสรุปผลได้คือ ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนดัดนั้นไม่เกิดการแตก ฉีกขาด รอยย่น แต่พบรอยบุบบริเวณส่วนโค้งด้านใน และนอกและความหนาของผนังหน้าตัดเหล็กในแต่ละส่วนมีขนาดความหนาไม่เท่ากัน

5.1.3 การทดสอบ และวัดความหนาของผนังหน้าตัดบริเวณส่วนโค้ง และความหนาของผนังบริเวณด้านบน และด้านล่างของหน้าตัดเหล็กบริเวณ (A, B, C) ความหนาเดิมมีขนาดเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.3.1 บริเวณความหนาของท่อเหล็กสี่เหลี่ยมกลวงทุกบริเวณ ความหนาของผนังส่วนโค้งด้านนอกท่อจะบางกว่าผนังส่วนโค้งใน เนื่องจากมีการยืดตัวของผิวเหล็กที่มากกว่า

5.1.3.2 บริเวณหน้าตัด (A-A) ความหนาของผนังท่อบริเวณส่วนโค้งนอก (A1) จะเท่ากับ 1.35 มิลลิเมตร ซึ่งหนาน้อยกว่าบริเวณส่วนโค้งด้านใน (A2) ซึ่งเท่ากับ 1.46 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นองศาในการดัดที่บางมากที่สุด

5.1.3.3 บริเวณหน้าตัด (B-B) ความหนาของผนังท่อบริเวณส่วนโค้งนอก (B1) จะเท่ากับ 1.32 มิลลิเมตร ซึ่งหนาน้อยกว่าบริเวณส่วนโค้งด้านใน (B2) ซึ่งเท่ากับ 1.47 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นองศาในการดัดที่บางมากที่สุด

5.1.3.4 บริเวณหน้าตัด (C-C) ความหนาของผนังท่อบริเวณส่วนโค้งนอก (C1) จะเท่ากับ 1.36 มิลลิเมตร ซึ่งหนาน้อยกว่าบริเวณส่วนโค้งด้านใน (C2) ซึ่งเท่ากับ 1.46 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นองศาในการดัดที่บางมากที่สุด

5.1.3.5 บริเวณหน้าตัดเดียวกันของส่วนโค้งด้านบน และล่างจะมีความหนาที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอยู่ระหว่าง 1.38 – 1.40 มิลลิเมตร

5.1.4 การทดสอบการดีดกลับของชิ้นงานเริ่มจากการคำนวณหามุมดัดที่ต้องการจากทฤษฎี โดยหาได้จากค่าของกราฟชนิดเหล็ก และได้ค่าการดีดกลับ คือ 0.97 และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหามุมดัด ซึ่งเท่ากับ 93 องศา และผลการทดสอบดัดเหล็กพบว่าค่าของมุมที่ได้หลังการดีดกลับส่วนใหญ่ คือ 90 องศา มีเพียงเหล็กบางชิ้นที่มุมที่ได้หลังการดีดกลับไม่ถึง 90 องศา คือ 89 องศา เนื่องจากลูกดัด และตัวเครื่องมีการเคลื่อนไหวระหว่างการดัดทำให้ค่าที่ได้ออกมามีความคลาดเคลื่อนได้

5.1.5 ต้นทุนรวมของโครงงานเท่ากับ 6,330 บาท

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในขณะที่ดัดชิ้นงานถ้าเกิดการเสียดสีกับชิ้นงานควรนำน้ำมันทาบริเวณร่องของลูกดัด และร่องของลิ่มยึด

5.2.2 เครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีก เช่น ในเรื่องของการสร้างลูกดัด ลิ่มดัด และลิ่มยึดในขนาดอื่น

5.2.3 ถ้าต้องการดัดชิ้นงานที่มีมุมมากกว่า 90 องศา หรือน้อยกว่า 90 องศา ก็สามารถคำนวณได้จากหัวข้อที่ 4.4.1

เอกสารอ้างอิง

ชาญชัย ทรัพยากรประสิทธิ์ สวัสดิสรรพ์และวิรุฬ ประเสริฐวรนันท์. (2539). **การออกแบบชุดแม่พิมพ์วิศวกรฝ่ายผลิตแม่พิมพ์ และจิ๊ก**. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วาสนาพรหมศิริพร. (21 ตุลาคม 2554). **การออกแบบสร้างเครื่องดัดท่อโดยใช้แรงคนและวิเคราะห์พฤติกรรมการดัดด้วยระเบียบไฟไนท์เอลิเมนต์**.ภาควิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน.สืบค้นเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2556, จาก http://mechatronics.ptwit.ac.th/2011/

ศิริชัย ต่อสกุล. (2552). **การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องดัดเหล็ก**กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรม**อุตสาหการ คณะวิศว**กรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยราชมงคลธัญบุรี.

สิทธิชัยแสงอาทิตย์.(มกราคม 2545).**การทดสอบวัสดุ (Material Testing)**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. สืบค้นเมื่อวันที่ 27พฤษภาคม 2556, จาก www.eng.sut.ac.th/metal

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง

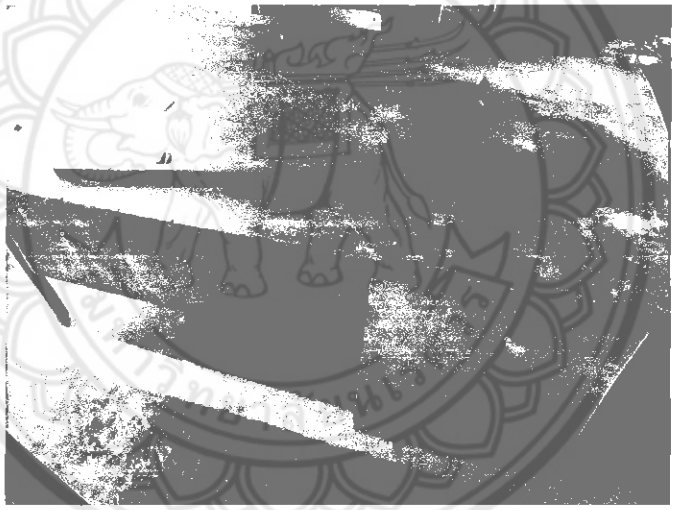
คู่มือการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง

ข้อปฏิบัติต่อการใช้งาน

1. ตรวจสอบระบบดัดของเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง และอุปการณ์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
2. ควรทาน้ำมันบริเวณร่องของลูกดัด และลิ่มดัดเพื่อง่ายต่อการดัด
3. ควรมีผู้ชำนาญอยู่ด้วยเพื่อบอกองศาการดัด ทำให้ชิ้นงานไม่เสียหาย
4. ก่อนดัดควรตรวจเช็คหมุดยึดกับลิ่มยึดให้เรียบร้อยเพื่อความปลอดภัย

ขั้นตอนการใช้งาน ระบบดัดเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง

1. เตรียมเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงขนาด 1x1 นิ้ว หนา 1.5 มิลลิเมตร



รูปที่ ก.1 เตรียมเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง

2. นำด้ามดัดเหล็กมาต่อเข้ากับตัวเครื่อง

รูปที่ ก.2 ต่อด้ามดัด

3. นำเหล็กกกล่องมาสอดเข้ากับลูกดัดและผ่านตัวลิ่มยึด

รูปที่ ก.3 สอดเหล็กกล่อง

4. นำตัวลิ่มดัดมาสอดให้ประกบกับลูกดัด และเหล็กกล่อง

รูปที่ ก.4 ประกบตัวลิ่มดัด

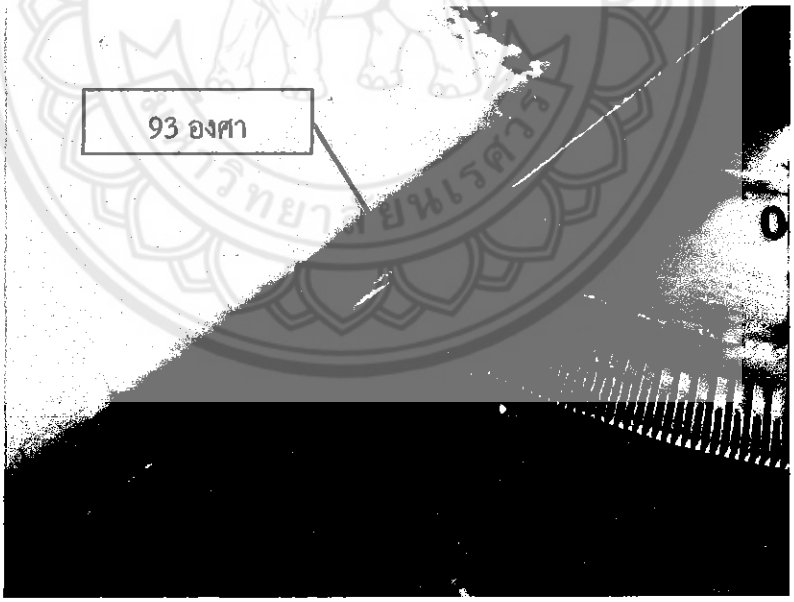
5. เริ่มต้นการดัดชิ้นงานที่ 0 องศา

รูปที่ ก.5 เริ่มการดัดชิ้นงานที่ 0 องศา

6. ทำการดัดชิ้นงาน

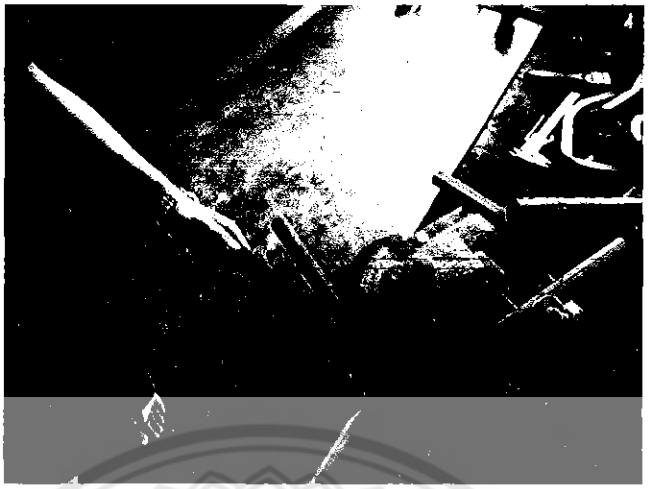
รูปที่ ก.6 ทำการดัดชิ้นงาน

7. ทำการดัดชิ้นงานไปที่ 93 องศา เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาด 90 องศา



รูปที่ ก.7 ดัดชิ้นงานไปที่ 93 องศา

8. เมื่อดัดเหล็กตามองศาที่ต้องการเสร็จ ก็นำตัวลิ่มดัดออกจากตัวเครื่อง



รูปที่ ก.8 นำลิ่มดัดออก

9. เมื่อนำลิ่มดัดออกจากตัวเครื่องเสร็จ ก็นำชิ้นงานที่ได้จากการดัดออกจากตัวเครื่องดัด

รูปที่ ก.9 นำชิ้นงานออกจากตัวเครื่อง

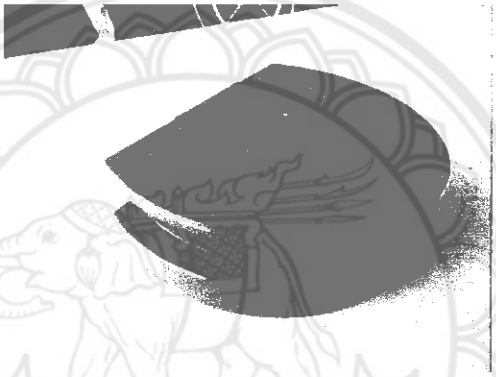
การบำรุงรักษาเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง

ระบบโครงสร้าง

1. ตรวจสอบโครงสร้างเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวงว่า มีการผิดปกติไปจากเดิมหรือไม่ เช่น โครงสร้างเครื่องดัดเหล็กมีการบิดเบี้ยวไปจากเดิมหรือไม่
2. ควรทำความสะอาดหลังจากการใช้งาน เพื่อป้องกันสนิม

ลูกดัด

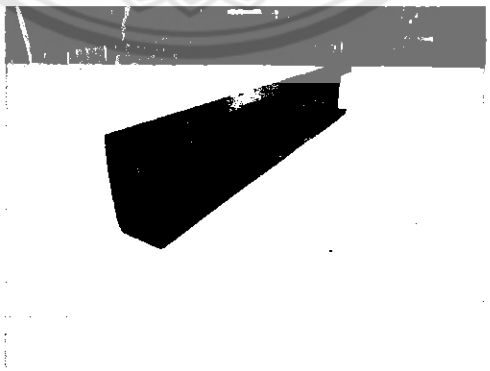
หลังจากการใช้งานเสร็จควรนำน้ำมันมาทาบริเวณร่องดัดเพื่อป้องกันสนิม



รูปที่ ก.10 ป้องกันสนิมโดยการทาน้ำมัน

ลิ่มดัด

หลังจากการใช้งานเสร็จควรนำน้ำมันมาทาบริเวณร่องของลิ่มดัดเพื่อป้องกันสนิม



รูปที่ ก.11 ป้องกันสนิมโดยการทาน้ำมัน

ลิ่มยึด

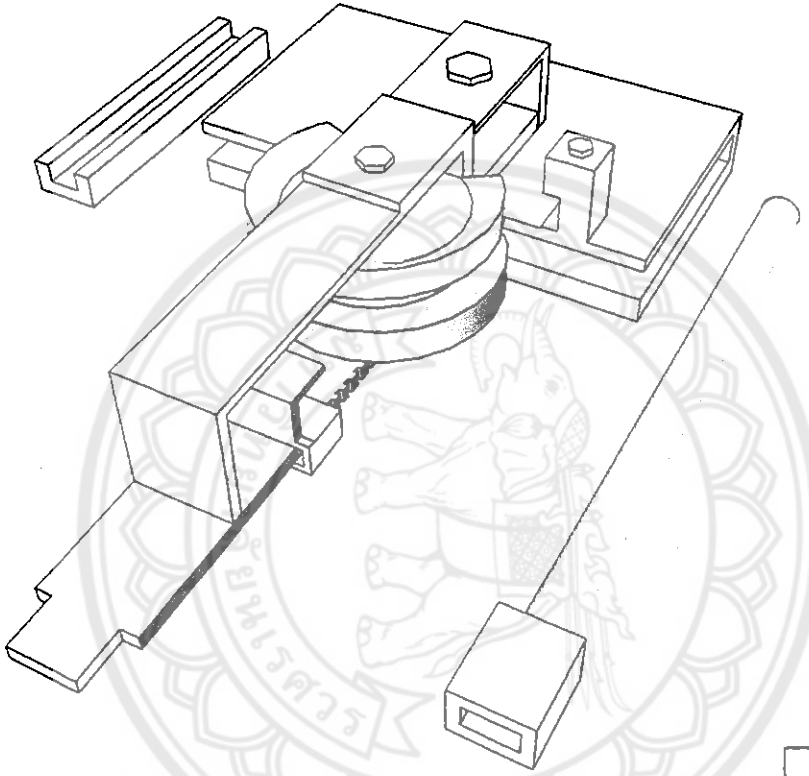
หลังจากการใช้งานเสร็จควรนำน้ำมันมาทาบริเวณร่องของลิ่มยึดเพื่อป้องกันสนิม

รูปที่ ก.12 ป้องกันสนิมโดยการทาน้ำมัน

มหาวิทยาลัยนเรศวร

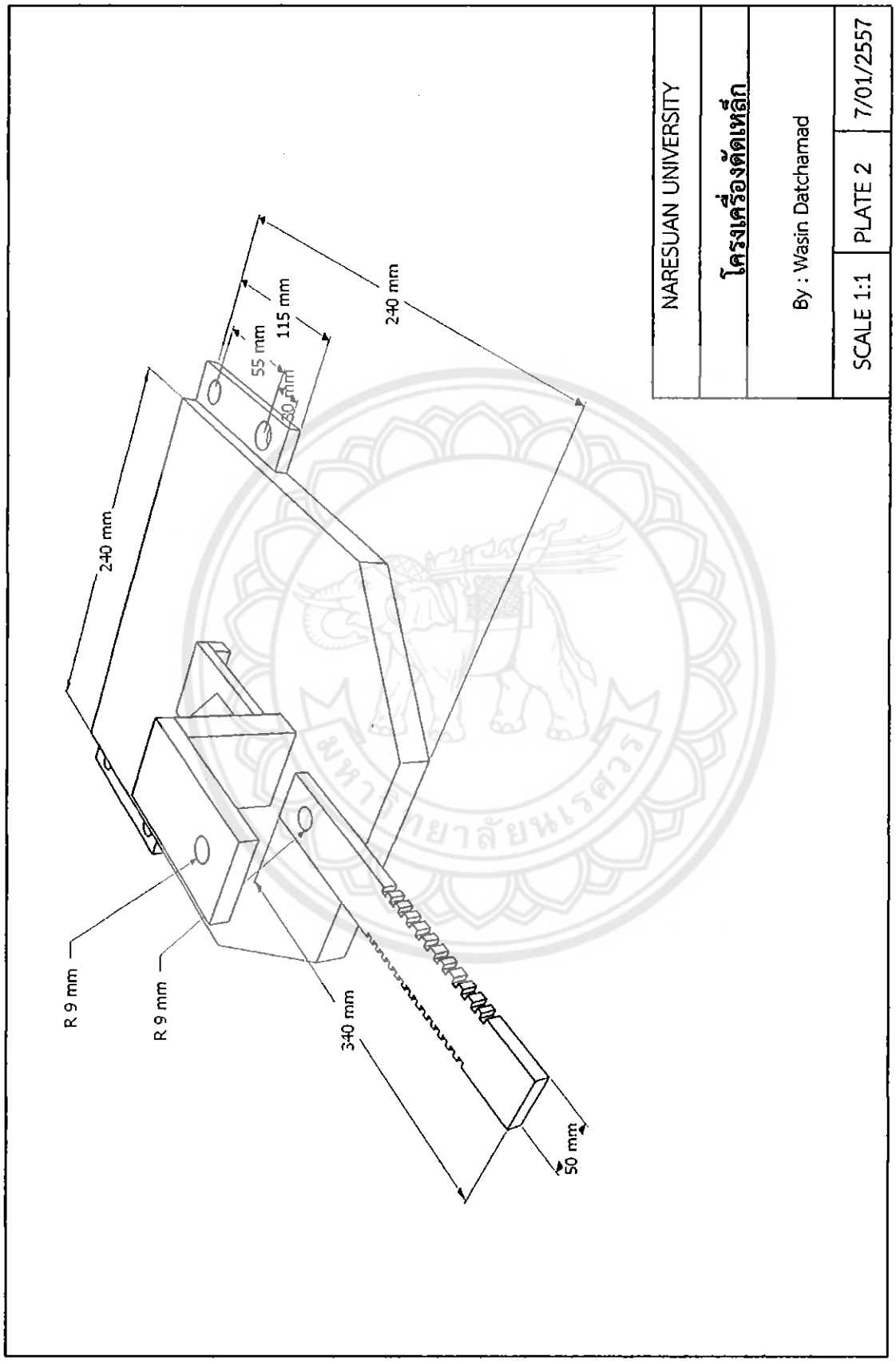
ภาคผนวก ข

แบบเครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง

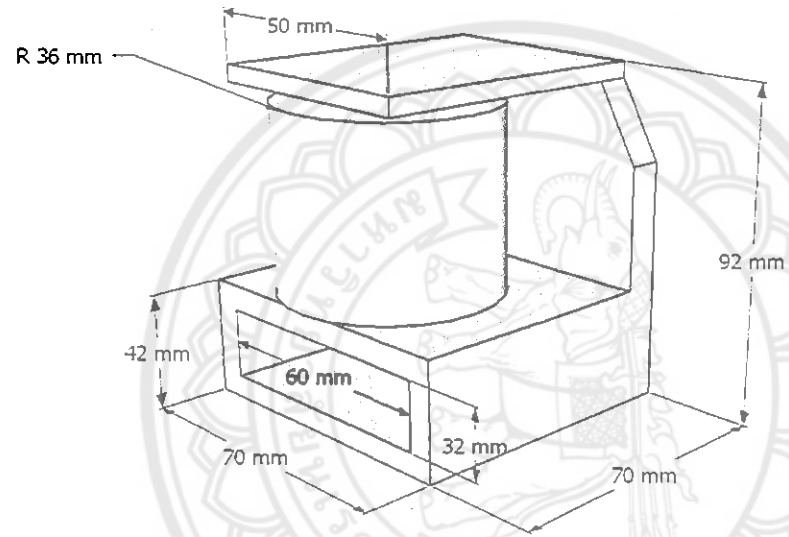


NARESUAN UNIVERSITY		
เครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง		
By : Wasin Datchamad		
SCALE 1:1	PLATE 1	7/01/2557

รูปที่ ข.1 เครื่องดัดเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมกลวง

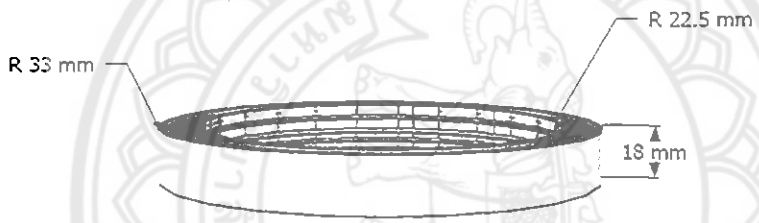


รูปที่ ข.2 โครงเครื่องตัดเหล็ก



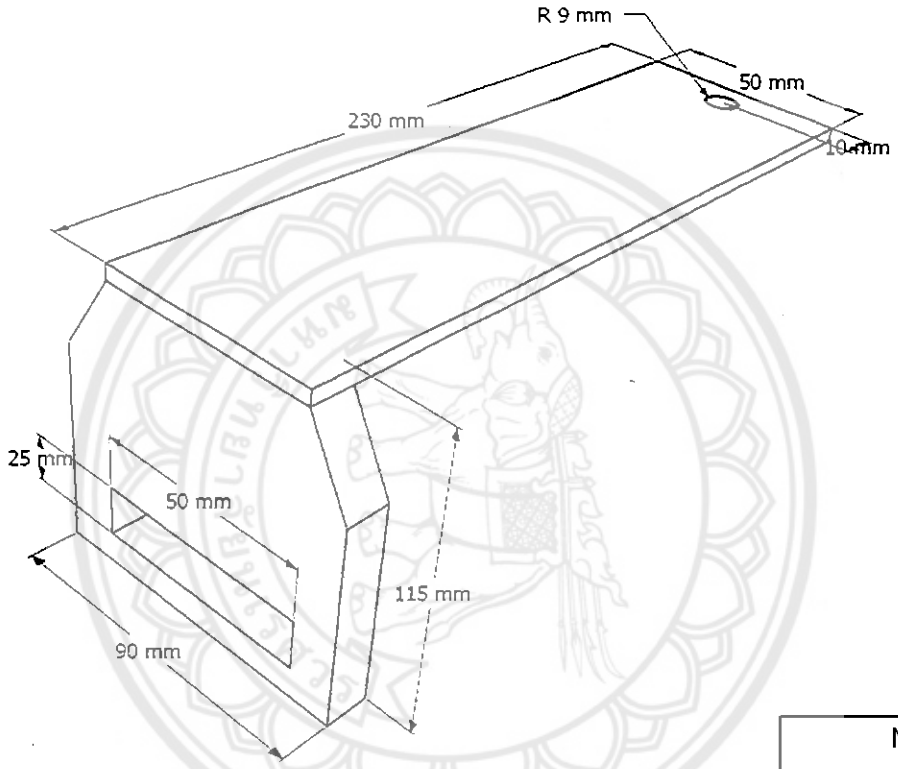
NARESUAN UNIVERSITY		
ตัวรีดชิ้นงาน		
By : Wasin Datchamad		
SCALE 1:1	PLATE 3	7/01/2557

รูปที่ ข.3 ตัวรีดชิ้นงาน



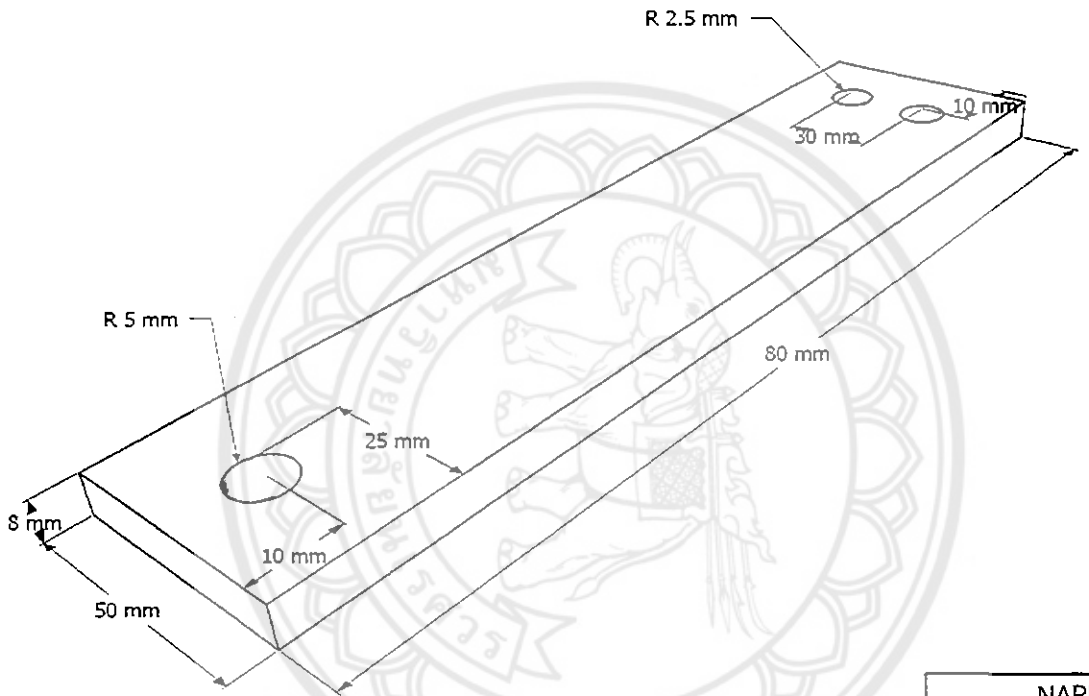
NARESUAN UNIVERSITY		
เกลียวล็อคตัวรีดชิ้นงาน		
By : Wasin Datchamad		
SCALE 1:1	PLATE 4	7/01/2557

รูปที่ ข.4 เกลียวล็อคตัวรีดชิ้นงาน



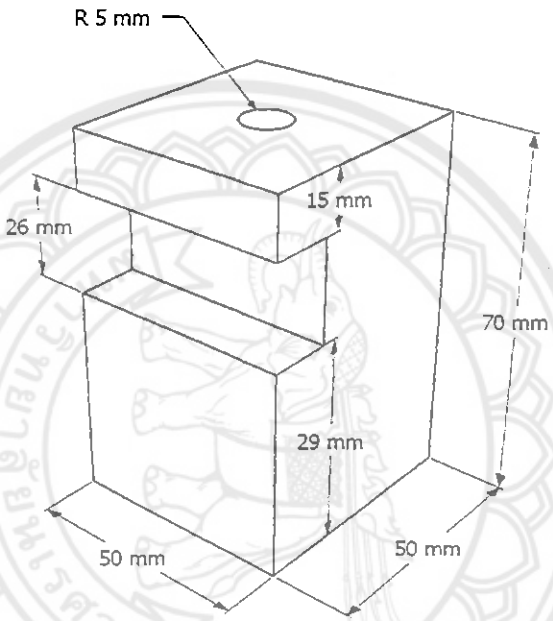
NARESUAN UNIVERSITY		
ตัวครอบด้านบน		
By : Wasin Datchamad		
SCALE 1:1	PLATE 5	7/01/2557

รูปที่ ข.5 ตัวครอบด้านบน



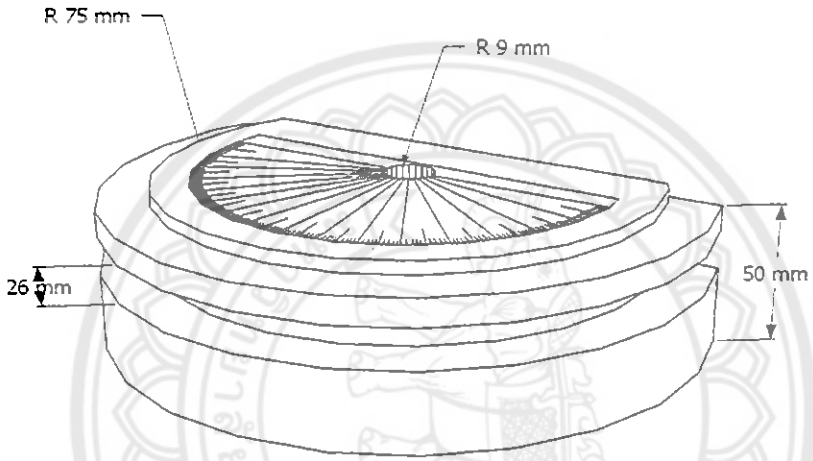
NARESUAN UNIVERSITY		
แผ่นลิ่มยึด		
By : Wasin Datchamad		
SCALE 1:1	PLATE 6	7/01/2557

รูปที่ ข.6 แผ่นลิ่มยึด



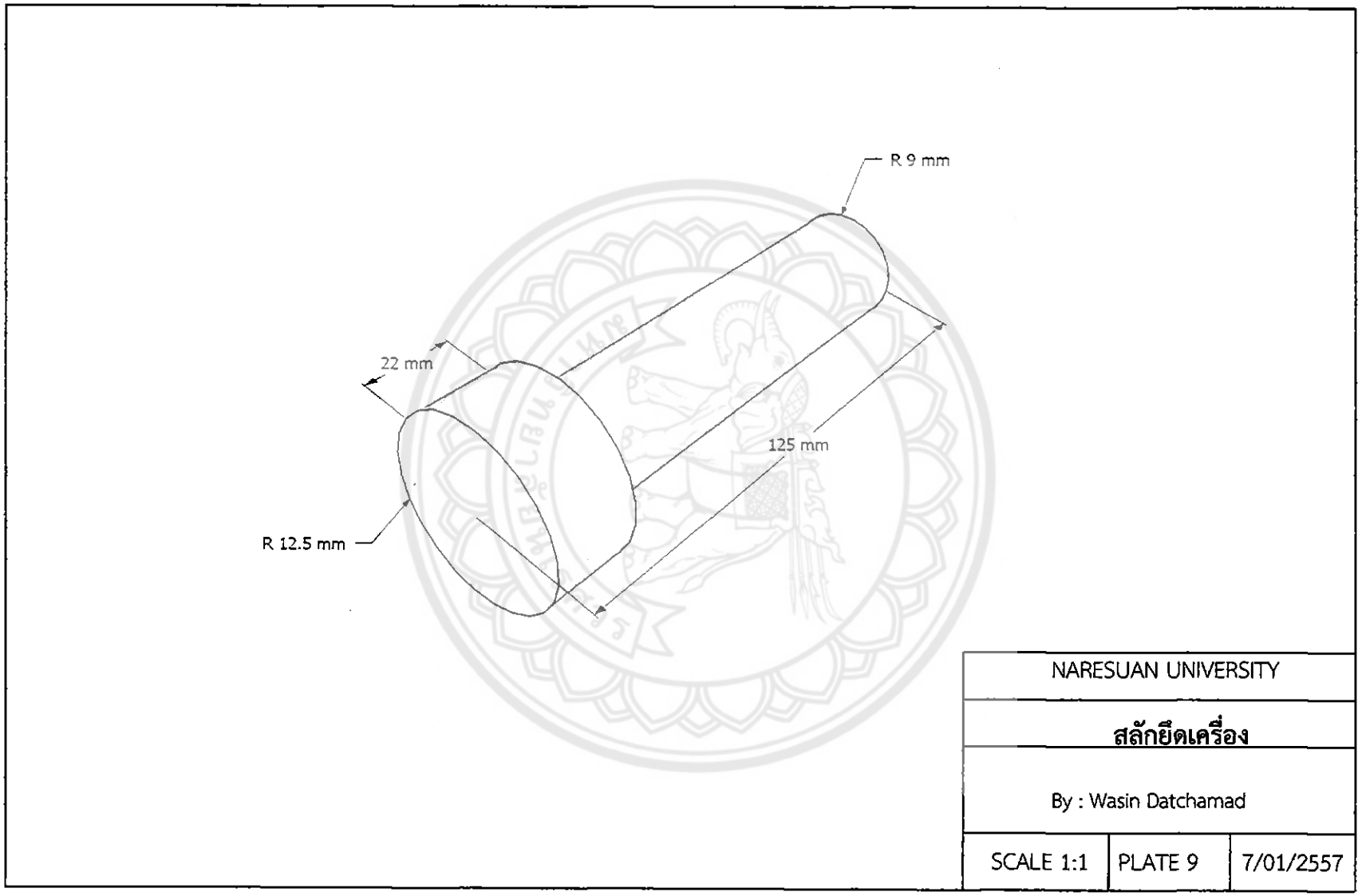
NARESUAN UNIVERSITY		
ลิ่มยึด		
By : Wasin Datchamad		
SCALE 1:1	PLATE 7	7/01/2557

รูปที่ ข.7 ลิ่มยึด

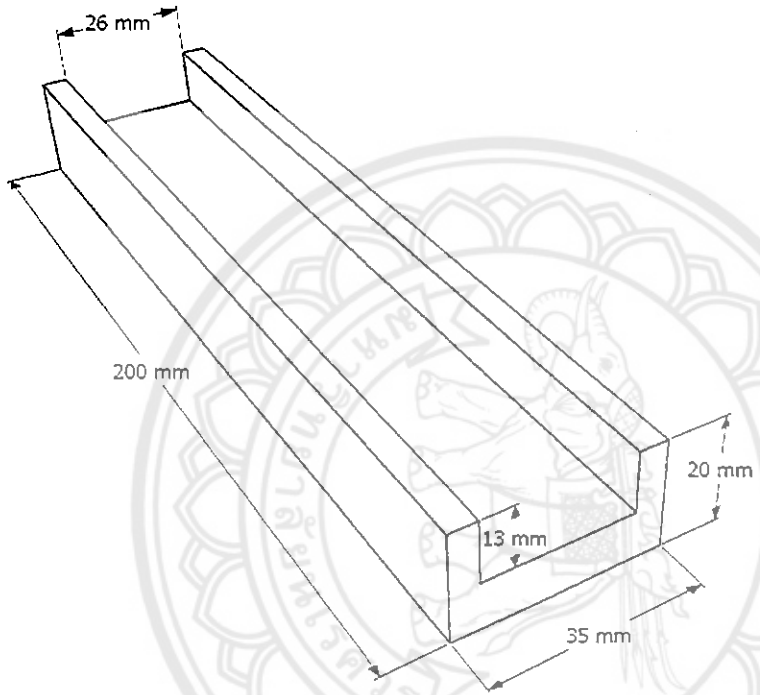


NARESUAN UNIVERSITY		
ลูกดัด		
By : Wasin Datchamad		
SCALE 1:1	PLATE 8	7/01/2557

รูปที่ ข.8 ลูกดัด

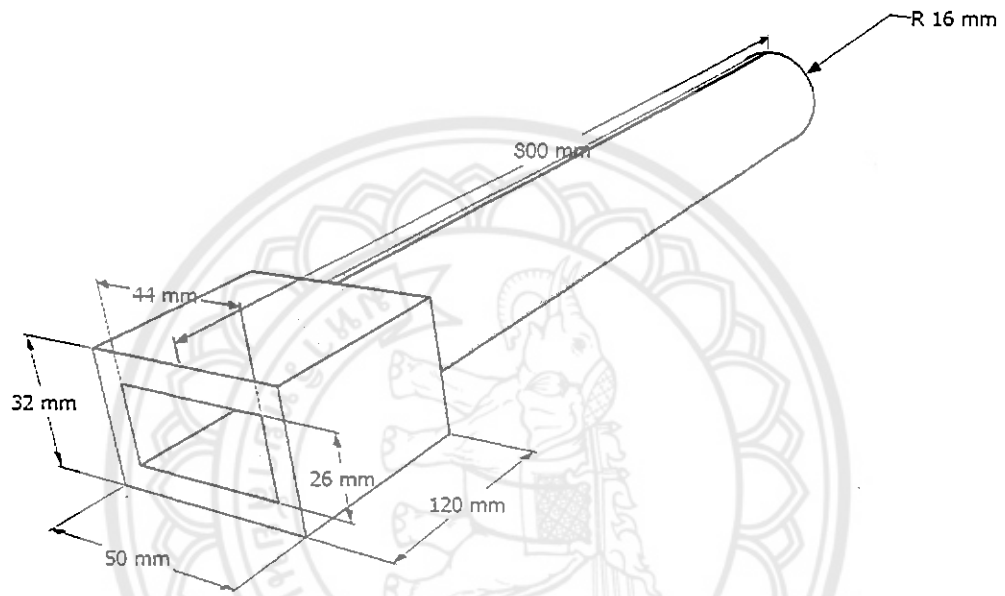


รูปที่ ข.9 สลักยึดเครื่อง



NARESUAN UNIVERSITY		
ลิ่มดัด		
By : Wasin Datchamad		
SCALE 1:1	PLATE 10	7/01/2557

รูปที่ ข.10 ลิ่มดัด



NARESUAN UNIVERSITY		
ด้ามดัด		
By : Wasin Datchamad		
SCALE 1:1	PLATE 11	7/01/2557

รูปที่ ข.11 ด้ามดัด

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายวศิน เดชมัด

ภูมิลำเนา 16/1 หมู่ 5 ต.ท้ายดง อ.วังป่ง จ.เพชรบูรณ์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวังโป่งพิทยาคม จ.เพชรบูรณ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : wasin_05046@hotmail.com

ชื่อ นายสุรพิชญ์ จันทะวง

ภูมิลำเนา 368/1 หมู่ 8 ต. สมอแข อ. เมืองพิษณุโลก จ. พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม จ.พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: surapit_seksek@hotmail.com

ชื่อ นายณัฐพล นาคเปลื้อง

ภูมิลำเนา 48/1 หมู่ 5 ต.วัดเกาะ อ.ศรีสำโรง
จ. สุโขทัย

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีสำโรงชนูปถัมภ์ จ.สุโขทัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : tengzakap@gmail.com

มหาวิทยาลัยนเรศวร