สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ

นายเฉลิมชัย ศิลแสน
นายสาทร จงพัฒนากิจเรือง
นายอภินันท์ ดาวกระจาย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 55629
วัน,เดือน,ปี 20 พ.ค. 2548

.b.....
.i.....

PUNCH DIE DESIGN AND STRIP FEEDER

MR. CHALERMCHAI SINSAN
MR. SATHON JONGPATHANAKIJREUNG
MR. APINUND DAWKAJAY

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGNEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ แม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ

PUNCH DIE DESIGN AND STRIP FEEDER

นักศึกษา	นายเฉลิมชัย	ศิลแสน	รหัสประจำตัว	44015731
นักศึกษา	นายอภินันท์	ดาวกระจาย	รหัสประจำตัว	44015758
นักศึกษา	นายอภินันท์	ดาวกระจาย	รหัสประจำตัว	44015768

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(อ.พลชัย โชติปรายนกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ แม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ

PUNCH DIE DESIGN AND STRIP FEEDER

นักศึกษา	นายเฉลิมชัย	ศิลแสน	รหัสประจำตัว	44015731
นักศึกษา	นายอภินันท์	ดาวกระจาย	รหัสประจำตัว	44015758
นักศึกษา	นายอภินันท์	ดาวกระจาย	รหัสประจำตัว	44015768

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(อ.พลชัย โชติปรายนกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ
นักศึกษา	นายเฉลิมชัย ศิลแสน
	นายสาทร จงพัฒนากิจเรือง
	นายอภินันท์ ดาวกระจาย
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2546
อาจารย์ที่ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อ. พลชัย โชติปรายนกุล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแถบแผ่นโลหะอัตโนมัติซึ่งจะมี การทำชุดป้อนแถบแผ่นโลหะอัตโนมัติเพื่อป้องกันอันตรายจากการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน ส่วนด้านการผลิตทำให้สามารถผลิตชิ้นงานที่รวดเร็วและต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ให้ใช้งานได้กับชุดแม่พิมพ์อื่นได้ ดังนั้นโครงงานนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบของการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแถบแผ่นโลหะอัตโนมัติได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Punch Die Design And Strip Feeder
Student	Mr. Chalermchai Sinsan
	Mr. Sathon Jongpathanakijreung
	Mr. Apinund Dawkajay
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2003
Thesis Advisor	Mr. Pholchai Chtiprayanakul

ABSTRACT

The objective of this thesis is to study the design of Punch Die And Strip Feeder which is used for safety purpose. This machine can be operated quickly and continuously. Moreover, it can be applied to any punch die. There for this project can be apply to a prototype of the machine in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง แม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านภายในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการเป็นอย่างสูง

ขอบคุณอาจารย์ พลชัย โชติปรายนกุล ที่คอยให้คำแนะนำและคำปรึกษาที่ดี ทั้งทางด้านการสร้างตัวเครื่องและ ด้านการเขียนโปรแกรม วงจรจนสำเร็จ ขอบคุณอาจารย์ ดร. สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ สำหรับกำลังใจและคำชี้แนะที่ดีเสมอมา ขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาคทุกท่าน และขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุสาหการที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนสำหรับความมีน้ำใจ และเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา

นายเฉลิมชัย ศิลแสน
นายสาทร จงพัฒนากิจเรือง
นายอภินันท์ ดาวกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการดึงขึ้นรูปลึก 2

2.2 การทำงานของแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปลึก 3

2.2.1 แม่พิมพ์จังหวะเดียวไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงาน 4

2.2.2 แม่พิมพ์จังหวะเดียวมีแผ่นจับยึดชิ้นงาน 4

2.2.3 แม่พิมพ์สองจังหวะมีตัวสไลด์แผ่นจับยึดชิ้นงานเลื่อนที่ 4

2.2.4 แม่พิมพ์สามจังหวะมีแผ่นจับยึดชิ้นงานและดายูชั่น 5

2.3 ทฤษฎีแรงที่เกี่ยวข้องกับการดึงขึ้นรูป 6

2.3.1 แรงในการดึงขึ้นรูป 6

2.3.2 แรงกดของแผ่นจับยึดชิ้นงาน 6

2.3.3 แรงที่ทำให้เกิดรอยแตก 7

2.3.4 การดึงขึ้นรูปกลับทาง 8

2.3.5 การแบ่งขั้นตอนของการดึงขึ้นรูป 9

2.4 ขนาดของแผ่นชิ้นงาน 12

2.5 การออกแบบเครื่องมือและแม่พิมพ์ 12

2.5.1 ระยะเผื่อช่องว่างของแม่พิมพ์ 12

2.5.2 การออกแบบดายและพั้นช์ 13

2.5.3 การออกแบบแผ่นจับยึดชิ้นงาน 13

2.5.4 วัสดุทำแม่พิมพ์สำหรับการดึงขึ้นรูป 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การออกแบบเพลา..... 16
2.6.1 วัสดุเพลา..... 16
2.6.2 การพิจารณาในการออกแบบเพลา..... 16
2.6.3 การออกแบบเพลาตามโค้ดของASME..... 16
2.6.4 ความแข็งแกร่งทางด้านการบิด..... 19
2.7 การยึดด้วยสลักเกลียว..... 19
2.7.1 แบบของเกลียว..... 19
2.7.2 การให้ชื่อมาตรฐานเกลียว..... 20
2.7.3 ชนิดของอุปกรณ์ยึดด้วยเกลียว..... 21
2.7.3.1 สลักเกลียวและแป้นเกลียว..... 21
2.7.3.2 หมุดเกลียว..... 22
2.7.3.3 สลักเกลียวสตัด..... 22
2.7.3.4 หมุดเกลียวจักรกล..... 23
2.7.3.5 หมุดเกลียวปรับ..... 24
2.7.4 อุปกรณ์ล็อค..... 24
2.7.4.1 แรงที่ทำให้รอยต่อหลวม..... 24
2.7.4.2 แรงที่เกิดจากการเสียดทาน..... 24
2.7.4.3 อุปกรณ์ล็อคโดยอาศัยแรงเสียดทาน..... 25
2.7.4.4 อุปกรณ์ล็อคการเคลื่อนที่โดยตรง..... 25
2.7.5 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว..... 25
2.8 สปริง..... 26
2.8.1 วัสดุสำหรับทำลวดสปริง..... 26
2.8.2 คุณสมบัติทางกลของลวดสปริง..... 26
2.8.3 ความเค้นในแรงสปริง..... 27
2.8.4 การยืดหดของสปริงขด..... 30
2.8.5 จำนวนขดทำการ..... 31
2.8.6 ระยะยุบตัวใช้งาน..... 31
2.8.7 การออกแบบสปริงขดรับแรงกด..... 33
2.8.7.1 แรงที่มากระทำต่อตัวสปริง..... 33
2.8.7.2 พิจารณาแรงเปลี่ยนแปลงจากค่าสูงสุด..... 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 แผนการดำเนินงาน

3.1 แผนการดำเนินงาน..... 34
3.2 การออกแบบ..... 35
3.2.1 แบบชุดแม่พิมพ์..... 35
3.2.2 แบบชุดป้อนแผ่นโลหะอัตโนมัติ..... 36
3.3 รายละเอียดการทำงาน..... 37
3.3.1 การจัดสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูป..... 37
3.3.2 การจัดสร้างชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ..... 38

บทที่4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงานด้านการสร้างแม่พิมพ์..... 39
4.1.1 ชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป..... 39
4.1.2 ชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ..... 40
4.2 ผลการทดสอบ..... 42

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิธีการแก้ไข

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 44
5.2 สรุปปัญหาจากการทดลอง..... 44
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง..... 44
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโรงงาน..... 45
บรรณานุกรรม..... 46
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
2.1 พื้นฐานกระบวนการดึงขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ตายตัว	3
2.2 กระบวนการดึงขึ้นรูปที่ใช้แม่พิมพ์แบบยืดหยุ่นตัว	3
2.3 ลักษณะการทำงานของแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปลึกในลักษณะต่างๆ	5
2.4 ค่าแรงดันของแผ่นจับยึดชิ้นงานที่ต้องการในการดึงขึ้นรูปลึก	7
2.5 หลักการของการดึงขึ้นรูปกลับทาง	8
2.6 การใช้การดึงขึ้นรูปกลับทางในการทำชิ้นส่วนที่มีขอบปีกใหญ่	9
2.7 การเปรียบเทียบขีดจำกัดอัตราส่วนการขึ้นรูปกลับทางและการขึ้นรูปปกติ	10
2.8 ขั้นตอนการขึ้นรูปของชิ้นงานที่มีรูปร่างสมมาตร	11
2.9 ขนาดของดาย พั้นช์ และชิ้นงานที่ทำการดึงขึ้นรูปครั้งแรก	13
2.10 แผ่นจับยึดชิ้นงานใช้ร่วมกับสปริง	14
2.11 แผ่นจับยึดชิ้นงานที่ใช้ร่วมกับดายคูชั่น	14
2.12 เพลาอยู่ใต้แรงต่างๆ	16
2.13 รอยต่อด้วยสลักเกลียว	19
2.14 สลักเกลียวและแป้นเกลียว	21
2.15 หมุดเกลียว	22
2.16 สลักเกลียวสตัด	22
2.17 หมุดเกลียวจักรกล	23
2.18 หมุดเกลียวปรับ	23
2.19 อุปกรณ์ล็อคโดยอาศัยความเสียดทาน	24
2.20 อุปกรณ์ล็อกเกลื่อนที่โดยตรง	24
2.21 สปริงขด	27
2.22 ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับสปริงรับแรง	28
2.23 การรวมความเค้นในสปริงขด	29
2.24 มุมขดของสปริง	29
2.25 การยึดหดของลวดสปริง	30
2.26 ปลายสปริงขดรับแรงกด	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.27 ระยะยุบตัวของขดสปริงขด..... 32
3.1 แผนการดำเนินงาน..... 34
3.2 ภาพประกอบแม่พิมพ์ขึ้นรูป..... 35
3.3 ภาพฉายแบบชุดแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ..... 36
3.4 ภาพประกอบ 3 มิติ ชุดป้อนแถบโลหะอัตโนมัติ..... 37
3.5 รูปแสดงการออกแบบโดยรวม..... 38
4.1 รูปแม่พิมพ์ขึ้นรูป..... 39
4.2 สปริงดันปลด..... 40
4.3 รูปชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ..... 41
4.4 รูปมอเตอร์ขับเพลาป้อนแผ่นแถบโลหะ..... 41
4.5 แผ่นแถบโลหะก่อนปั๊มขึ้นรูป..... 42
4.6 แผ่นแถบโลหะภายหลังการขึ้นรูป..... 43
4.7 รูปชิ้นงานภายหลังจากขึ้นรูป..... 42
4.8 รูปแสดงการทำงานของชุดแม่พิมพ์และชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ..... 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันการผลิตชิ้นส่วนอะไหล่ยานยนต์และอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆส่วนใหญ่ใช้แม่พิมพ์ในการผลิตชิ้นงานไม่ว่าจะเป็น แม่พิมพ์ปั๊มโลหะหรือแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกโดยแม่พิมพ์โลหะที่มีการผลิตแบบอัตโนมัติเพื่อลดภาระบุคคลกรและเพื่อความปลอดภัย โดยการใช้ชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติแทนพนักงาน

ชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติใช้หลักการของลูกกลิ้งเป็นตัวป้อนแผ่นแถบโลหะ โดยลูกกลิ้งตัวล่างจะต่อตรงกับมอเตอร์ทดรอบในตัวขนาด 24 โวลท์ ใช้ไมโครคอนโทลเลอร์เป็นตัวควบคุมลูกกลิ้งตัวบนเป็นตัวกดแผ่นแถบโลหะที่สามารถปรับแรงกดได้ เมื่อกดเริ่มการทำงานมอเตอร์จะหมุนขับลูกกลิ้งป้อนแผ่นแถบโลหะและเอนโคดเดอร์เป็นตัวตรวจสอบระยะรอบของลูกกลิ้งที่หมุนไปตามที่กำหนดและสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุน พร้อมกับกระบอกสูบนิวแมติกส์ไปกดคันโยกของเครื่องปั๊มทำให้ทำงาน เมื่อเครื่องปั๊มทำงานเสร็จแรมของเครื่องปั๊มจะเลื่อนกลับขึ้นไปชนสวิทช์เพื่อ กระตุ้นให้มอเตอร์หมุนป้อนแผ่นแถบโลหะอีกครั้ง

การออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ โดยการทำชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติเพื่อป้องกันอันตรายจากการทำงานของผู้ปฏิบัติงานและส่วนด้านการผลิตทำให้สามารถผลิตชิ้นงานได้รวดเร็วและต่อเนื่อง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาระบบการทำงานของชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป และชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรม
2. ออกแบบและสร้างชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูปพร้อมกับชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ
3. ชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติสามารถตั้งระยะป้อนได้
4. ชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติสามารถป้อนแผ่นแถบโลหะได้ต่อเนื่อง

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อสร้างชุดป้อนแม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแถบโลหะอัตโนมัติ การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. สร้างชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป
2. สร้างชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตชิ้นงานได้รวดเร็วและต่อเนื่อง
2. ช่วยลดอันตรายของผู้ที่ปฏิบัติงาน
3. เพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนของภาควิชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ ได้ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินงาน โดยแบ่งหัวข้อ 4 หัวข้อ คือ ทฤษฎีการดึงขึ้นรูปลึก การออกแบบเพลา การยึดด้วยสลักเกลียว การออกแบบเครื่องมือและแม่พิมพ์ และ สปริง

2.1 ทฤษฎีการดึงขึ้นรูปลึก

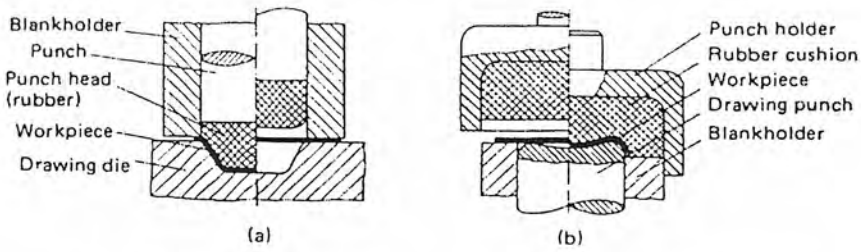
การดึงขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) เป็นกระบวนการหนึ่งสำคัญมากในการขึ้นรูปโลหะแผ่น กระบวนการขึ้นรูปนี้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น ตัวเรือนของไฟแช็ก, ตัวถังของรถยนต์ เป็นต้น การดึงขึ้นรูปนี้อาจจะให้คำนิยามได้ดังนี้

การดึงขึ้นรูป คือ กระบวนการควบคุมการใช้แรงกดดัน หรือแรงที่กดลงบนแผ่นงาน (Blank) หรือชิ้นงาน (Workpiece) ดันผ่านแม่พิมพ์ ตาย (Die) ด้วยพั้นช์ (Punch) ให้มีรูปร่างเป็นหลุมหรือเป็นโพรงลงไป โดยที่ความหนาของชิ้นงานยังมีความหนาเท่ากับวัสดุเดิม ในการกระบวนการดึงขึ้นรูปทั้งหมดจะรวมถึงการใช้แรงดันของเหลว (Liquid pressure) การใช้คลื่นเสียงกระแทก (Shock Wave) การใช้สนามแม่เหล็ก (Magnetic fields) และอื่นๆ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท โดยแยกเป็นกลุ่มย่อยๆ ดังนี้

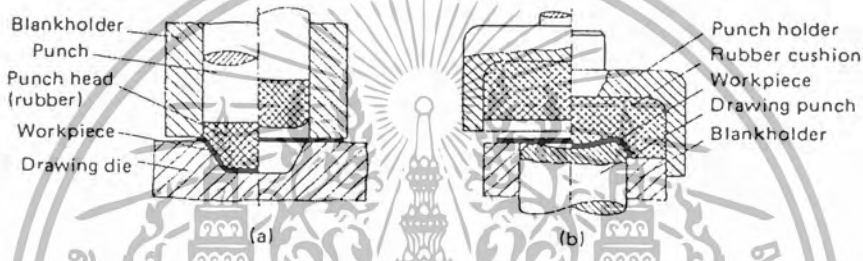
1. การดึงขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ (Die)
2. การดึงขึ้นรูปโดยใช้แรงดัน (Pressure medium)
3. การดึงขึ้นรูปโดยใช้พลังงานกระตุ้น (Energy activation)

แม่พิมพ์ในประเภทแรกจะเป็นแม่พิมพ์ตายตัวหรือยืดหยุ่นตัวได้ เช่น การยืดหยุ่นของแท่งรับแรงกระแทก (Cushion) หรือพั้นช์ใช้กับการขึ้นรูปโลหะแบบง่ายๆ ในการดึงขึ้นรูปจากแผ่นงาน ให้เป็นรูปถ้วยเป็นการดึงขึ้นรูปครั้งแรกในขณะที่กระบวนการเปลี่ยนรูปของโลหะจากแผ่นงานที่เป็นถ้วยแล้วนั้น ให้มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง จะเป็นการขึ้นรูปซ้ำ (Redraw) การใช้ประโยชน์ที่สำคัญของการขึ้นรูปซ้ำก็คือ การดึงขึ้นรูปกลับทาง (Reverse drawing) ดังรูปที่ 2.1 มีอีกหลายวิธีที่ใช้แม่พิมพ์เป็นวัสดุยืดหยุ่น ถ้าจะแบ่งย่อยลงไปอีกก็จะได้การดึงขึ้นรูปด้วยพั้นช์ที่เป็นวัสดุยืดหยุ่น และ การดึงขึ้นรูปที่ใช้แผ่นรองรับ (Cushion) เป็นวัสดุยืดหยุ่น ดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นมันเป็นไปได้ที่จะหลีกเลี่ยงการกล่าวถึงชื่อวิธีการต่างๆ ที่ได้การรับรองสิทธิบัตร ซึ่งถึงอย่างไรก็จะไม่กล่าวถึงกระบวนการต่างๆเกี่ยวกับวิธีการเหล่านั้นมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 พื้นฐานกระบวนการดึงขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ตายตัว (Rigid tools)
a) การดึงขึ้นรูปครั้งแรกโดยใช้แผ่นจับยึดชิ้นงานb) การดึงขึ้นรูปซ้ำโดยไม่ใช้แผ่นจับยึดชิ้นงานc) การดึงขึ้นรูปกลับทาง



รูปที่ 2.2 กระบวนการดึงขึ้นรูปที่ใช้แม่พิมพ์แบบยืดหยุ่นตัวได้ (Elastic tools)
a) การดึงขึ้นรูปโดยใช้พั้นช์ยาง b) การขึ้นรูปโลหะโดยใช้แผ่นยางรองรับ

2.2 การทำงานของแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปลึก

โครงสร้างของแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับการทำงานของเครื่องปั๊ม (Press Machine) ซึ่งหลักการปั๊มขึ้นรูป คือ มีแท่นของเครื่องปั๊มยึดติดอยู่กับที่ และตัวสไลด์เป็นตัวเลื่อนขึ้นลงได้ซึ่งจุดนี้เป็นจุดต่อเนื่องระหว่างเครื่องปั๊มกับตัวแม่พิมพ์ นอกจากนี้ยังมีจุดที่ต่อเนื่องกันอีกหลายอย่าง สำหรับการออกแบบแม่พิมพ์พร้อมกับขนาดของแท่นเครื่อง (Table) ตัวสไลด์ ตัวปลดชิ้นงาน (Ejector) และตัวรับแรงกระแทก (Die cushion) ซึ่งสิ่งเหล่านี้โดยมากจะทำเป็นชิ้นส่วนแม่พิมพ์มาตรฐานเกือบทั้งหมด โครงสร้างของแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปแบ่งออกเป็น 4 แบบดังนี้

- แบบจังหวะเดียวไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงาน
(Single – action die without blankholder)
- แบบจังหวะเดียวมีแผ่นจับยึดชิ้นงาน
(Single – action with blankholder)
- แบบสองจังหวะมีตัวสไลด์แผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่
(Double – action die blankholder – slide)
- แบบสามจังหวะมีแผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่และตัวดายคูชั่น
(Three – action die with blankholder – slide and die cushion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 แม่พิมพ์จังหวะเดียวไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงาน

การดึงขึ้นรูปถ้วยสามารถทำได้โดยใช้แม่พิมพ์ที่ไม่มีแผ่นแผ่นจับยึดชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.3 และปราศจากรอยย่นที่ชิ้นงาน ถ้าความต้านทานการโก่งตัวของโลหะแผ่นต้านความเค้นแรงกดที่ตั้งฉากกับแนวรัศมีได้สูงพอ สิ่งนี้จะเป็นจริงได้เมื่ออัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นงานต่อความหนาคือ d_0 ต่อ s_0 มีค่า 25 ถึง 40 ดังสมการที่ 2.1. ค่าที่น้อยที่สุดเป็นค่าที่สามารถใช้อัตราส่วนการขึ้นรูป β ค่ามากได้

$$\beta = \frac{d_0}{s_0} \qquad : \beta \text{ มีค่าอยู่ระหว่าง } 25 - 40 \tag{2.1}$$

การขึ้นรูปโดยไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงานเป็นการใช้เครื่องมือที่มีโครงสร้างแบบง่ายๆเนื่องจากไม่มีความเสียดทานที่เกิดขึ้นกับแผ่นจับยึดชิ้นงาน จึงทำให้แรงในการขึ้นรูปลดลงและขอบเขตของอัตราส่วน β อาจจะเพิ่มขึ้น สิ่งจำเป็นสำหรับการขึ้นรูปของแม่พิมพ์จังหวะเดียวเมื่อใช้แม่พิมพ์ที่ไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงานที่ดายมีรูปทรงเรขาคณิตลักษณะพิเศษ วิธีที่ง่ายที่สุดก็คือ การเพิ่มค่ารัศมีดายของแม่พิมพ์ (r_D) ทำให้มีรูปร่างง่ายต่อการผลิต แต่ในการขึ้นรูปที่มีอัตราส่วนการขึ้นรูป (β) น้อยสามารถทำได้ดีก่อนที่ขอบของแผ่นงานจะถูกยกตัวขึ้นจากแม่พิมพ์ ซึ่งเป็นการทำให้เกิดการก่อตัวของรอยย่นการทำแม่พิมพ์ในกรณีดังกล่าวจะต้องทำแม่พิมพ์เป็นรูปทรงกรวย (Conical) และรูปทรงแท็รกทริกซ์ (tractrix) จะมีผลดีมาก สำหรับแม่พิมพ์รูปกรวย (Conical die) มุมครึ่งหนึ่งของมุมกรวย (α) ในทาง ปฏิบัติแล้วจะเป็นไปตาม $\alpha(S_0 > 2.5mm) = 15$ องศา , $\alpha(S_0 < 1mm) = 45$ องศา

2.2.2 แม่พิมพ์จังหวะเดียวมีแผ่นจับยึดชิ้นงาน

แผ่นจับยึดชิ้นงานจะทำงานควบคู่กันกับดายคู่ชั้นในแท่งเครื่องปั๊ม ดังนั้นเมื่อพั้นช์ถูกยึดกับแท่นเครื่อง และดายถูกยึดติดกับส่วนที่เป็นตัวสไลด์เคลื่อนที่ด้านบนของแม่พิมพ์ ในตำแหน่งแรกของแผ่นจับยึดชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งบนซึ่งแผ่นชิ้นงานสามารถจะใส่เข้าไปในดายได้ในตอนเริ่มต้นของกระบวนการขึ้นรูป แผ่นจับยึดชิ้นงานและดายจะเป็นตัวไปกดแผ่นชิ้นงานเมื่อสไลด์ส่วนบนเคลื่อนที่ลงมาดายคูชั่นจะส่งแรงด้านด้างล่างผ่านสลักนำไปดันที่แผ่นจับยึดชิ้นงาน ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นแรงในการขึ้นรูปมีแรงต่างกัน คือ แรงกดระหว่าพั้นช์และแผ่นจับยึดชิ้นงาน ดูรูปที่ 2.3 b

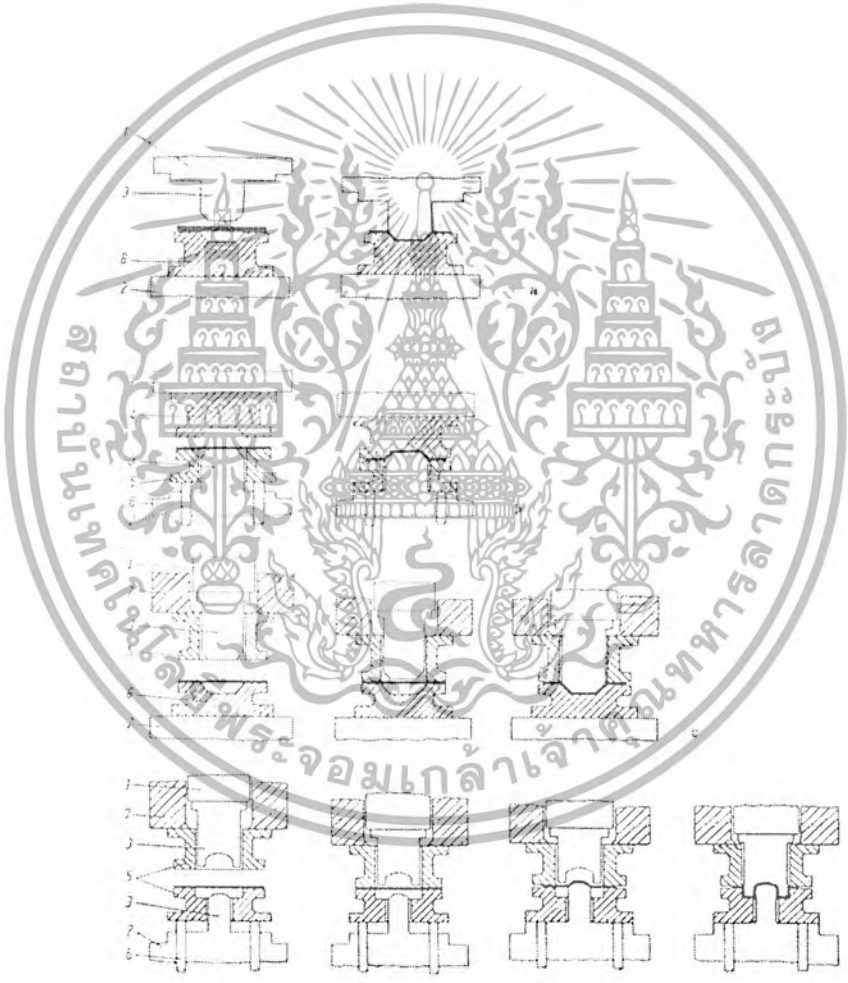
2.2.3 แม่พิมพ์สองจังหวะมีตัวสไลด์แผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่

รูปที่ 2.3c แผ่นจับยึดชิ้นงานเป็นส่วนหนึ่งของตัวสไลด์ส่วนเคลื่อนที่ด้านบน ทิศทางการทำงานของแผ่นจับยึดชิ้นงานจะไปในทิศทางเดียวกันกับตัวสไลด์พั้นช์ของเครื่องปั๊ม ดายของแม่พิมพ์จะยึดติดแน่นกับแท่นของเครื่องปั๊มการใส่แผ่นชิ้นงานลงไปในดายจะกระทำในขณะที่พั้นช์และแผ่นยึดจับชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งบน ในขั้นตอนแรกของการขึ้นรูปแผ่นจับยึดชิ้นงานจะกดลงบนแผ่นชิ้นงาน และในขั้นที่สอง พั้นช์จะเคลื่อนตัวลงมาทำการขึ้นรูปต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 แม่พิมพ์สามจังหวะมีแผ่นจับยึดชิ้นงานและดายคูชั่น

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแม่พิมพ์สองจังหวะที่มีตัวสไลด์ แผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่กับแม่พิมพ์สามจังหวะที่มีดายคูชั่นเพิ่มขึ้นมา จากรูปที่ 2.3 d เมื่อเราใส่แผ่นชิ้นงานเข้าไปในดายแล้วพั้นช์และแผ่นจับยึดชิ้นงานรวมทั้งดายคูชั่นจะอยู่ในตำแหน่งบนของแม่พิมพ์ ขั้นตอนแรกของการขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานจะถูก กดอยู่ระหว่างแผ่นจับยึดชิ้นงานกับดายคูชั่น ในตำแหน่งนี้แม่พิมพ์ส่วนบนจะเคลื่อนลงมา และเริ่มต้นการขึ้นรูปด้วยพั้นช์ ซึ่งถูกติดตั้งไว้ที่แท่นเครื่อง ในจังหวะที่สองตัวสไลด์ของเครื่องปั๊มที่อยู่ด้านบนจะเคลื่อนลงมา และทำการขึ้นรูปลึก ซึ่งการออกแบบแม่พิมพ์ชนิดนี้จะเป็นการขึ้นรูปแบบดึงขึ้นรูปครั้งแรกและดึงขึ้นรูปกลับทางอยู่ในขั้นตอนเดียวกัน ซึ่งแรงในการดึงขึ้นรูปเป็นผลของแรงที่ต่างกันระหว่างพั้นช์และแผ่นยึดจับชิ้นงาน



รูปที่ 2.3 (a) แม่พิมพ์จังหวะเดียวไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงาน (b) แม่พิมพ์จังหวะเดียวมีแผ่นจับยึดชิ้นงาน (c) แม่พิมพ์สองจังหวะมีแผ่นจับยึดชิ้นงาน (d) แม่พิมพ์สามจังหวะมีแผ่นจับยึดชิ้นงาน (1) ตัวสไลด์เครื่องปั๊ม (2) แท่นเครื่องปั๊ม (3) พั้นช์ (4) ส่วนแม่พิมพ์ตอนบน (5) แผ่นจับยึดชิ้นงาน (6) สลักนำดายคูชั่น (7) ตัวสไลด์ของแผ่นจับยึดชิ้นงาน (8) ส่วนแม่พิมพ์ตอนล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีแรงที่เกี่ยวกับการดึงขึ้นรูปลึก

2.3.1 แรงในการดึงขึ้นรูป

แรงที่ต้องใช้ในการขึ้นรูปจะแปรผันไปตามระยะชักของพั้นช์ สามารถจะกำหนดได้ 2 วิธี คือ การกำหนดสมการจากทฤษฎีการไหลตัวของโลหะ หรือใช้สมการที่ได้รับจากประสบการณ์จากการทดลอง ซึ่งใน ทางปฏิบัติส่วนใหญ่การออกแบบแม่พิมพ์จะต้องทราบค่าแรงสูงสุดในการดึงขึ้นรูปจากการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับแรงในการดึงขึ้นรูปที่แสดงถึงแรงสูงสุดนั้นจะขึ้นอยู่กับ วัสดุของชิ้นงานและอัตราส่วนการขึ้นรูป ซึ่งจะได้ค่าของ $d_{F,\max} \approx 0.77 d_0$ การประมาณการหาแรงในการดึงขึ้นรูปสูงสุดที่ดีจะแสดงดังสมการที่ 2.2 โดยแรงสูงสุดสามารถกำหนดจากประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปของโลหะ η_{def} ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง d_m ในสมการหมายถึงค่าเฉลี่ยระหว่าเส้นผ่าศูนย์กลางในถึงเส้นผ่าศูนย์กลางนอกของชิ้นงาน $d_m = d_1 + s_0$ โดยที่ η_{def} มีค่าอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 0.7

$$F_{d,\max} = \pi \times d_m \times s_0 \left[1.1 \frac{1.3 \times S_u}{\eta_{def}} \left[\ln \frac{d_0}{d_1} - 0.25 \right] \right] \tag{2.2}$$

2.3.2 แรงกดของแผ่นจับยึดชิ้นงาน

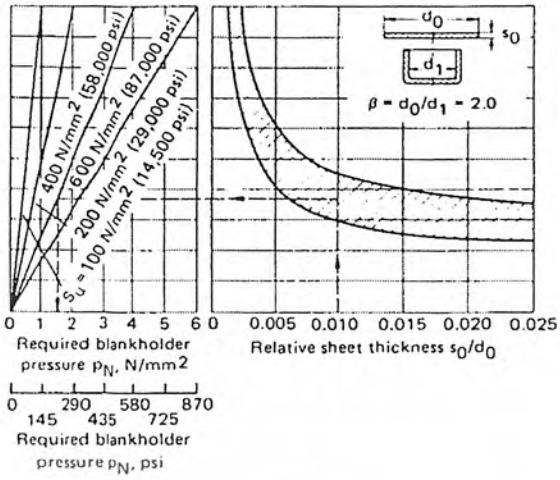
ขอบปีกของชิ้นงานที่ดึงขึ้นรูปจะได้รับความเค้นแรงกด ซึ่งเกิดขึ้นในลักษณะตั้งฉากกับแนวรัศมีเป็นสาเหตุของการเกิดรอยย่นเนื่องจากการโก่งตัวของวัสดุ รอยย่นนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยใช้แผ่นจับยึดชิ้นงานกด ซึ่งแรงดันของแผ่นจับยึดชิ้นงาน P_{BH} จะไปกดลงบนแผ่นขอบปีกชิ้นงานขณะทำการดึงขึ้นรูป ถ้าพื้นที่สัมผัสของแผ่นจับยึดชิ้นงาน คือ A_{BH} ดังนั้นการคำนวณค่าแรงกดที่ใช้กับแผ่นจับยึดชิ้นงานหาได้จากสมการที่ 2.3

$$F_{BH} = A_{BH} \times P_{BH} \tag{2.3}$$

แรงกดที่ใช้ในการหลีกเลี่ยงรอยย่นนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุของแผ่นชิ้นงาน โดยจะสัมพันธ์กับความหนาและอัตราส่วนการขึ้นรูปของวัสดุ แรงกดของแผ่นจับยึดชิ้นงานสามารถประมาณค่าได้โดยใช้สมการที่ 2.4 ในที่นี้ตัวประกอบค่า C มีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 3 ในรูปที่ 2.4 เป็นการคำนวณหาค่าแรงกดจากสมการที่ 2.4 โดยใช้อัตราส่วนการขึ้นรูป $\beta = 2.0$ และใช้วัสดุที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด(Ultimate Tensile Strength)$S_u = 100, 200, 400$ และ $600 N/mm^2$ ถูกพล็อตขึ้นมาเป็นกราฟโดยสัมพันธ์กันกับค่าความหนาของวัสดุ s_0 / d_0

$$P_{HB} = 10^{-3} \times C \times S_u \left[(\beta - 1)^3 + \frac{0.005 \times d_0}{s_0} \right] \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ค่าแรงดันของแผ่นจับยึดชิ้นงานที่ต้องการในการดึงขึ้นรูปครั้งแรก

2.3.3 แรงที่ทำให้เกิดรอยแตก

ในการเลือกอัตราส่วนการขึ้นรูปที่มีค่ามากที่สุด คือ $\beta = d_0 / d_1$ ค่านี้จะเป็นค่าที่ใช้แรงสูงสุดในการดึงขึ้นรูปภายใต้เงื่อนไขที่ไม่เปลี่ยนแปลง ค่าแรงสูงสุดนี้จะถูกส่งผ่านไปที่ผนังของชิ้นงานที่ถูกขึ้นรูป ดังนั้น อัตราส่วนการขึ้นรูปจะต้องไม่มากกว่าค่าสูงสุด ค่าขีดจำกัดอัตราส่วนการขึ้นรูปสูงสุด $\beta_{\max}$ เป็นค่าเพื่อป้องกันการเกิดรอยแตกของก้นถ้วยชิ้นงาน ในสมการ 2.5 จะเป็นการเปรียบเทียบค่าระหว่าง ความแข็งแรงสูงสุดที่ทำให้เกิดรอยแตก (Maximum Cracking Strength) σ_{cr} กับค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด Ultimate Tensile Strength S_u ของวัสดุที่แสดงไว้

$$\sigma_{cr} = S_u \times a_{cr} \tag{2.5}$$

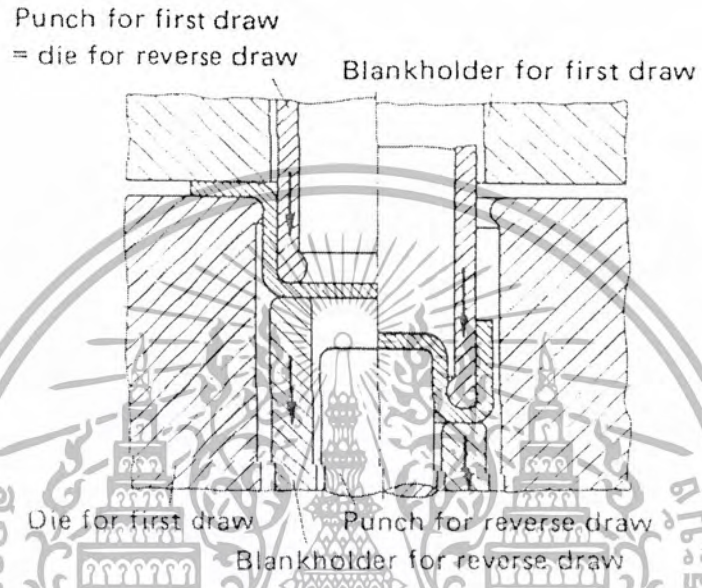
โดยใช้ค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ทำให้เกิดรอยแตก σ_{cr} ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่กึ่งกลางความหนา d_m และความหนาชิ้นงาน s_0 ในสมการที่ 2.6 เป็นการคำนวณหาแรงที่ทำให้เกิดการแตก

$$F_{cr} = \pi \times d_m \times s_0 \times S_u \times a_{cr} \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การดึงขึ้นรูปกลับทาง

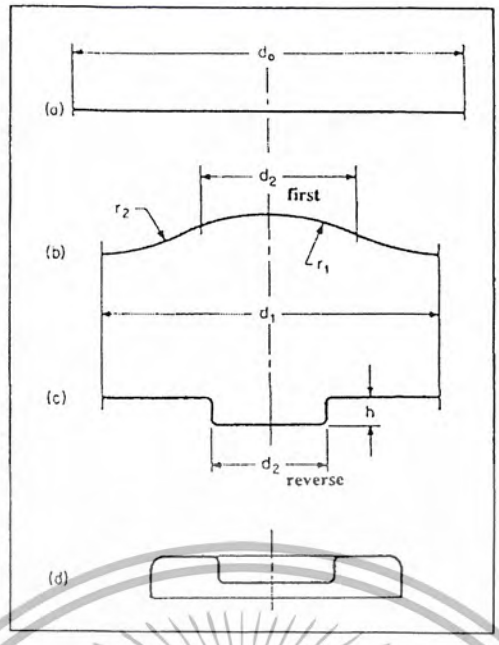
การดึงขึ้นรูปกลับทางตามคำนิยามแล้วเหมือนกับการดึงขึ้นรูปซ้ำ ซึ่งพั้นช์จะมีการเคลื่อนตัวในทิศทางตรงกันข้าม โดยสัมพันธ์กับชิ้นงานที่ได้ผ่านการดึงขึ้นรูปแล้ว ฉะนั้นทิศทางของการเคลื่อนที่ของวัสดุจะกลับทางหรือสวนทางกัน โดยรูปถ้วยจะกลับด้านเอาด้านในออกมาไว้ด้านนอกดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 หลักการของการดึงขึ้นรูปกลับทาง

กระบวนการผลิตนี้เป็นที่นิยมใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปกรวยหรือรูปครึ่งทรงกลม บางครั้งอาจจะเป็นรูปทรงกระบอกด้วย การดึงขึ้นรูปกลับทางมักจะมีวัสดุสะสมเหลืออยู่เพื่อให้เพียงพอในการขึ้นรูปครั้งต่อไปของชิ้นงานที่ไม่เป็นรูปทรงกระบอกหรือผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างพิเศษอื่นๆ ออกไปอีก เช่น ชิ้นงานรูปถ้วยต่างๆ ที่มีขอบปีก ถ้วยขนาดใหญ่ ดังขั้นตอนแรกของสองขั้นตอนที่ใช้ในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



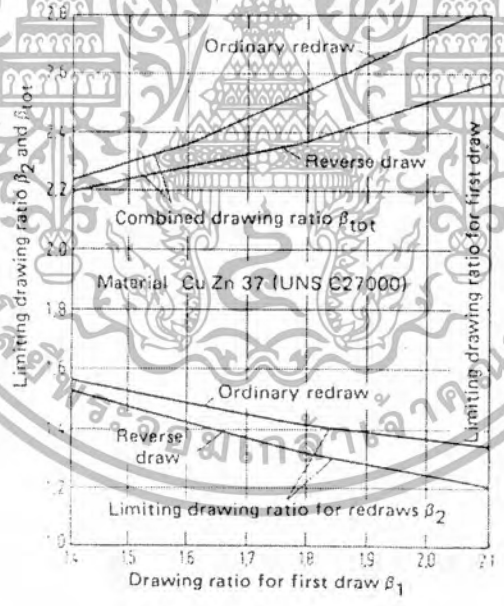
รูปที่ 2.6 การใช้การดึงขึ้นรูปกลับทางในการทำชิ้นส่วนที่มีขอบปีกใหญ่
a) แผ่นงาน **b)** ดึงขึ้นรูปครั้งแรก **c)** ดึงขึ้นรูปกลับทาง **d)** ดึงขึ้นรูปครั้งสุดท้าย

ชิ้นงานขึ้นรูปถ้วยขนาดเล็กที่มีความลึก $h > 0.35h_{theor}$ และทำปีกถ้วยที่มีขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 2.6 c จากรูปร่างนี้ ถ้านำไปทำการดึงขึ้นรูปโดยทำการขึ้นรูปเพียงครั้งเดียวแล้วความต้องการแรงในการขึ้นรูปจะต้องใช้มาก เกินกว่าแรงทีทำให้ชิ้นงานแตก เพราะว่ามีอัตราส่วนการขึ้นรูปสูงมาก $\beta = \frac{d_0}{d_2} >> \beta_{\max}$

ดังนั้นเพื่อลดอัตราส่วนการขึ้นรูปจึงมีการขึ้นรูปก่อนดังแสดงในรูปที่ 2.6 b เป็นการขึ้นรูปครั้งแรก ของแผ่นงานรูปที่ 2.6 a และรูปร่างสำเร็จจะถูกสร้างขึ้นในขั้นตอนการดึงขึ้นรูปกลับทาง การออกแบบสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้สามารถคำนวณได้จากสูตร โดยประมาณของ h_{theor} สามารถคำนวณได้ $h_c = (1 + d_0 / d_1)(d_0 - d_1)/4)$ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพั้นช์สำหรับการดึงขึ้นรูปครั้งแรกหาค่าโดยประมาณจากสูตร $d_{2\,first_draw} \approx d_{2reverse} + 2h$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติแล้วการดึงขึ้นรูปครั้งแรกและการดึงขึ้นรูปกลับทางเป็นการปฏิบัติการในกระบวนการเดียวกัน พั้นช์ของการขึ้นรูปครั้งแรกมีลักษณะเป็นหลุมกลวง และใช้เป็นดายสำหรับขึ้นรูปกลับทางด้วย ดังรูปที่ 2.5 ผลของการใช้แม่พิมพ์แบบนี้จะต้องเตรียมทำสันนูน (Draw bead) ให้ให้เหมาะสมใกล้กับขอบปากดายเพื่อป้องกันการเกิดรอยจีบย่น ประสิทธิภาพของการดึงขึ้นรูปกลับทางจะน้อยกว่าการดึงขึ้นรูปซ้ำแบบธรรมดาเนื่องมาจากการดัดตัวมีมาก และความเสียดทานเพิ่มขึ้นดังนั้นจึงสามารถลดความโตเส้นผ่าศูนย์กลางได้ โดยลดขั้นตอนการดึงขึ้นรูปเหลือขั้นตอนเดียวดังแสดงในรูปที่ 2.7 เป็นการเปรียบเทียบการดึงขึ้นรูปปกติ อัตราส่วนการขึ้นรูปของการขึ้นรูปกลับทางไม่ได้มีเพียงค่าขีดจำกัดสูงสุดเท่านั้นแต่มีค่าขีดจำกัดต่ำสุดด้วยเช่นกัน ถ้าอัตราส่วนการขึ้นรูปมีค่าน้อยมาก ดายด้านกลับทางจะต้องมีขนาดรัศมีน้อยด้วย เพราะเกิดความเค้นดัดงอมาก ซึ่งเป็นหนทางไปสู่ความเสียหายได้ การดึงขึ้นรูปกลับทางควรจะทำงานด้วยแผ่นจับยึดชิ้นงาน เริ่มจากแผ่นงานถูกดัดเป็นมุม 180 องศา รอบรัศมีของดายด้านกลับทางนี้สามารถก่อให้เกิดการย่นของชิ้นงานได้ง่ายในขณะขึ้นรูปเป็นถ้วยไปจนสิ้นสุดของการขึ้นรูป เนื่องเกิดจากความแข็งจากการดัดของผนังถ้วยขอบของถ้วยจึงอาจไปดันแผ่นจับยึดชิ้นงานให้ยกขึ้นได้ ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้การดึงขึ้นรูปครั้งแรกร่วมกันกับการรีดบางๆ เพื่อลดความหนาผนังลง จุดเด่นของการขึ้นรูปกลับทางส่วนใหญ่เป็นการรวม การขึ้นรูปสองอย่างไว้ในแม่พิมพ์เดียวกัน ด้วยวิธีง่ายๆ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีความจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีความสามารถในการดึงขึ้นรูปได้สูงและใช้เครื่องปั๊มสามจังหวะที่มีระยะชักยาว



รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบขีดจำกัดอัตราส่วนการขึ้นรูปของการขึ้นรูปกลับทางและการขึ้นรูปปกติ

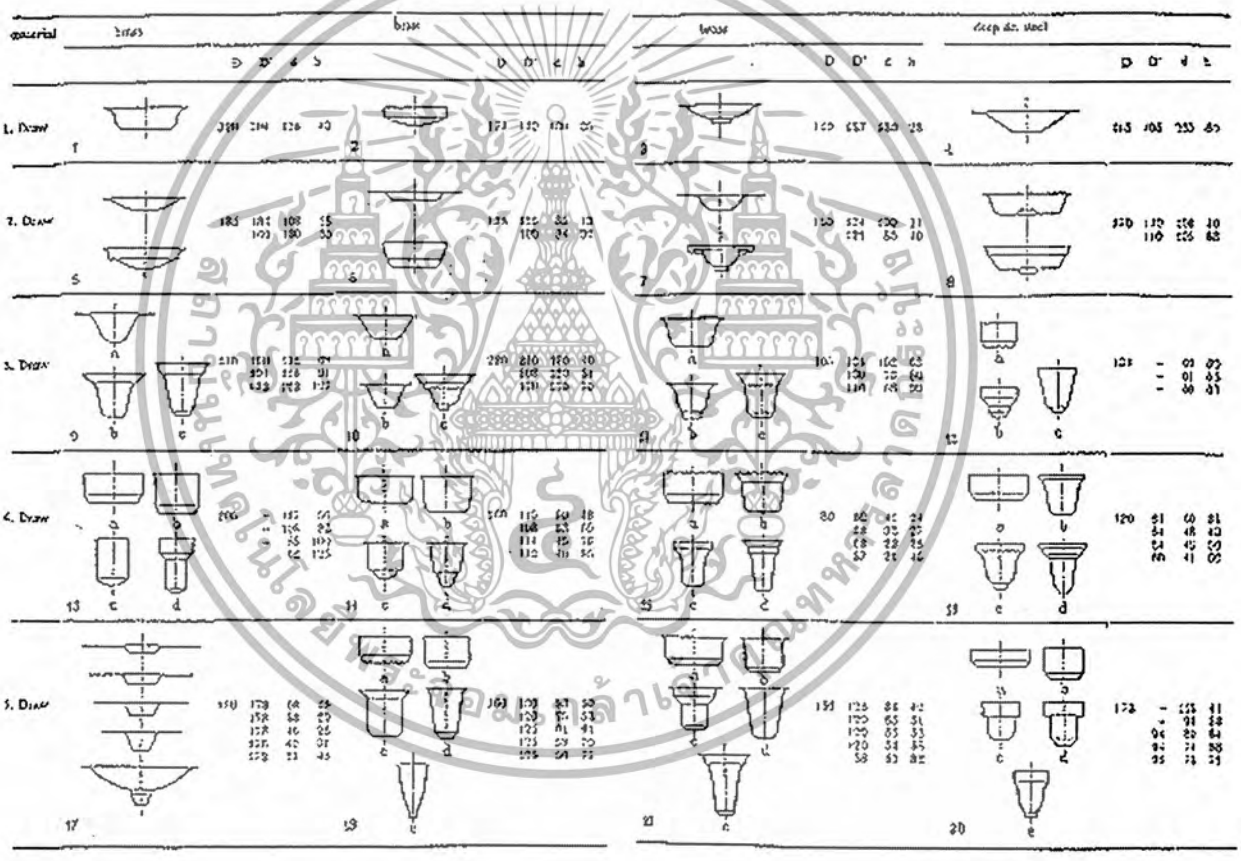
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ตัวอย่างการแบ่งขั้นตอนของการดึงขึ้นรูป

กรณีที่ชิ้นงานมีความสมมาตรของรูปทรง ดังแสดงในรูปตัวอย่างของการแบ่งขั้นตอนในการดึงขึ้นรูป โดยแสดงการเริ่มต้นจากการวาดโครงร่างของแผ่นงานพร้อมด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ขั้นตอนที่จำเป็นต้องใช้การดึงขึ้นรูปซ้ำ หรือการดึงขึ้นรูปกลับทาง ดังตัวอย่างทั้ง 20 ตัวอย่าง จะเห็นว่าเริ่มจากการขึ้นรูปที่มีหนึ่งขั้นตอนจนถึงห้าขั้นตอนสำหรับการขึ้นรูปทุกชนิดของตัวอย่างทั้ง สี่แบบ ส่วนการออกแบบแม่พิมพ์ได้ให้รายละเอียดไว้ทุกขั้นตอนของการดึงขึ้นรูปโดยมีขนาดที่สำคัญของชิ้นงานดังต่อไปนี้

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นงาน h = ขนาดความสูงของชิ้นงาน

D' = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขอบปีก d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของพั้นช์



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการขึ้นรูปของชิ้นงานที่มีรูปร่างสมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ขนาดของแผ่นชิ้นงาน

สิ่งที่สำคัญในการกำหนดขนาดของแผ่นชิ้นงาน ที่ใช้สำหรับการดึงขึ้นรูปให้เที่ยงตรงประการแรก คือ เนื่องจากเหตุผลด้านการประหยัดดังนั้นสิ่งที่จะต้องพิจารณา ได้แก่ การตัดแผ่นชิ้นงานให้เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ประการที่สองไม่มีความจำเป็นที่จะใช้แผ่นงานที่มีขนาดใหญ่ เพราะจะทำให้เป็นการเพิ่มอัตราส่วนการขึ้นรูป (β) และเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกของชิ้นงาน สำหรับชิ้นงานที่มีรูปร่างสมมาตรกันสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นชิ้นงาน d_0

ชิ้นงานที่มีรูปร่างหรือรูปทรงที่ซับซ้อน เนื่องจากการยืดตัวของพื้นที่ในการขึ้นรูป และการลดขนาดความหนาของแผ่นชิ้นงานซึ่งไม่สามารถคำนวณได้ กรณีนี้การกำหนดหาขนาดของแผ่นชิ้นงานจะต้องใช้วิธีทดลองปฏิบัติ

2.5 การออกแบบเครื่องมือและแม่พิมพ์

2.5.1 ระยะเผื่อช่องว่างของแม่พิมพ์

ในทางปฏิบัติเพื่อกำหนดระยะเผื่อช่องว่างของแม่พิมพ์มักจะกำหนด โดยรูปสมการที่ได้จากการทดลอง สมการเหล่านี้อนุญาตให้ใช้ได้แต่เพียงการดึงขึ้นรูปลึกที่มีชิ้นงานเป็นรูปร่างกลมโดยไม่มีการรีดของเนื้องาน แสดงไว้ดังนี้

$$u_D = s_o + 0.07\sqrt{10 \times s_o} \quad \text{สำหรับแผ่นเหล็ก} \tag{2.7}$$

$$u_D = s_o + 0.02\sqrt{10 \times s_o} \quad \text{สำหรับแผ่นอลูมิเนียม} \tag{2.8}$$

$$u_D = s_o + 0.04\sqrt{10 \times s_o} \quad \text{สำหรับโลหะที่ไม่ใช่เหล็กอื่นๆ} \tag{2.9}$$

$$u_D = s_o + 0.02\sqrt{10 \times s_o} \quad \text{สำหรับโลหะผสมอุณหภูมิสูง} \tag{2.10}$$

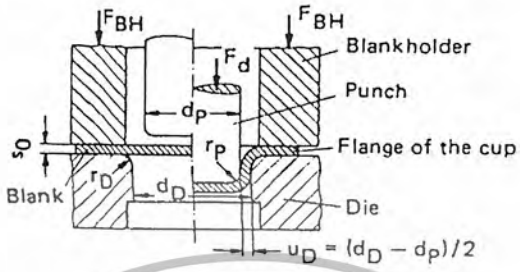
สมการที่ 2.7 ถึง 2.10 แสดงถึงระยะเผื่อช่องว่างของแม่พิมพ์สำหรับแผ่นวัสดุชนิดต่างๆ

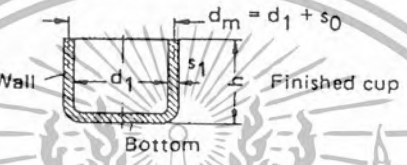
ถ้าระยะเผื่อช่องว่างของแม่พิมพ์มีขนาดใหญ่มาก ชิ้นงานไม่สามารถที่จะขึ้นรูปเป็นขนาดจริงของทรงกระบอกได้ เนื่องจากขอบบนของรูปถ้วยมีขนาดที่แผ่ขยายออกถ้าระยะเผื่อช่องว่างของแม่พิมพ์มีขนาดเล็กมากไป การกดรีดโลหะก็จะเกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้แรงในการดึงขึ้นรูปมากขึ้น และเพิ่มอันตรายจากการแตกของชิ้นงาน ยิ่งกว่านั้นอาจมีริ้วรอยเชื่อมเย็นซึ่งเกิดขึ้นระหว่างดายกับชิ้นงาน ปัญหาสำคัญในการเลือกระยะเผื่อช่องว่างสำหรับดายที่มีสาเหตุมาจากความแปรผันในความหนาของโลหะแผ่นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อันเนื่องจากความสัมพันธ์กับพิกัดความเผื่อของความหนาเป็นอย่างมาก มันอาจจะทำให้บางส่วนแตกได้ในที่เกิดรอยย่นอื่นๆขึ้น เมื่อดึงขึ้นรูปด้วยระยะช่องว่างของดายที่มีขนาดเหมาะสมกับขนาดความหนาของแผ่นงานตามความเป็นจริง ถ้าความหนาของแผ่นงานนั้นเริ่มสูงขึ้นใกล้ขีดจำกัดพิกัดความเผื่อสูงสุด และช่องว่างดายมีขนาดเล็กเกินไปจะเกิดการรีดตัวของโลหะขึ้น ซึ่งทำให้ความเป็นไปได้ของการแตกทั้งชิ้นงานมีมากขึ้น ถ้าความหนาชิ้นงานมีขนาดใกล้เคียงขีดจำกัดพิกัดความเผื่อค่าต่ำสุด แล้วค่าระยะช่องว่างดายมีขนาดใหญ่เกินไปรอยย่นเป็นจีบก็จะก่อตัวขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การออกแบบดายและพั้นซ์

ขนาดรัศมีของดาย r_D ในรูป ที่ 2.9 ขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานและความหนา ในการกำหนดแรงในการดึงขึ้นรูปให้มีค่าน้อยทำได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนการขึ้นรูปและรัศมีของดาย อย่างไรก็ตามรัศมีของดายที่มีขนาดใหญ่จะเป็นการลดพื้นที่สัมผัสระหว่างแผ่นกดชิ้นงาน และปีกของชิ้นงานซึ่งจะเป็นการเพิ่มแนวโน้มให้เกิดรอยย่นในบริเวณรัศมีของดาย ในทางกลับกันอาจเป็นไปได้ในการลดการก่อตัวของรอยย่นนี้ถ้าให้ขนาดรัศมีของดายเล็กลง





รูปที่ 2.9 ขนาดของดาย พั้นซ์ และชิ้นงานที่ทำการดึงขึ้นรูปครั้งแรก

ขนาดความหนาของแผ่นงาน s_0 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางนอกของแผ่นงาน d_0 และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในของชิ้นงาน d_1 เป็นไปตามสูตรดังสมการที่ 2.11 ใช้ในการคำนวณในการหาขนาดของรัศมีของดาย r_D

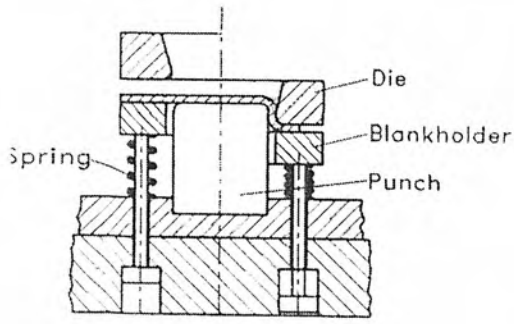
$$r_D = 0.035 \times [50 + (d_0 - d_1)] \times \sqrt{s_0} \qquad (2.11)$$

2.5.3 การออกแบบแผ่นจับยึดชิ้นงาน

วัตถุประสงค์ของการใช้แผ่นจับยึดชิ้นงาน คือ การรักษาระยะช่องว่างระหว่างตัวมันเองกับดายให้มีขนาดคงที่มีการดึงขึ้นรูปเกิดขึ้นซึ่งทำได้โดยให้แผ่นยึดจับชิ้นมีแรงกดลงบนปีกของชิ้นงานที่ทำการดึงขึ้นรูป เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดรอยย่นในระหว่าที่พั้นช่วงชักไปเล็กน้อยระยะช่องว่างนี้จะถูกเปิดออกเพื่อทำการนำชิ้นงานเข้าออก มีพื้นฐานของการออกแบบได้ 2 แบบ ดังนี้

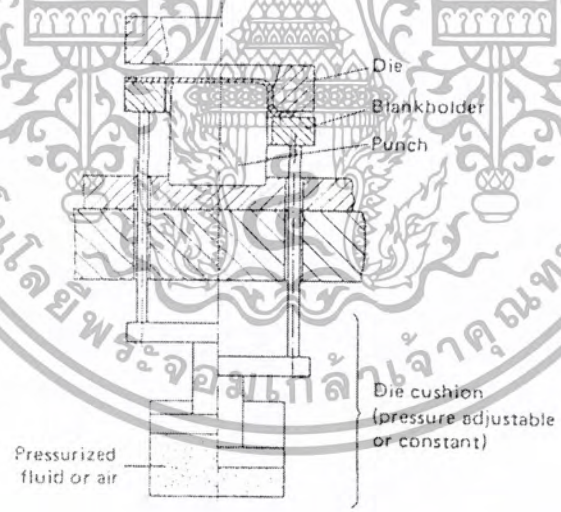
2.5.3.1 ตำแหน่งพั้นซ์และแผ่นยึดจับชิ้นงาน อยู่ที่ตำแหน่งด้านล่างของแม่พิมพ์ตัวสไลด์ของเครื่องปั๊มมีดายเคลื่อนที่ไปกดไว้แผ่นจับยึดชิ้นงานจะทำงานได้โดยมีสปริงมาต้านเอาไว้ระหว่างดายและแผ่นหนุนแม่พิมพ์ส่วนล่างดังรูปที่ 2.10 การออกแบบแบบนี้เป็นการออกแบบที่ง่ายๆเหมาะกับเครื่องปั๊มจังหวะเดียว (Single action) โดยไม่มีระบบดายคูชั่น (Die cushion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แผ่นจับยึดชิ้นงานใช้ร่วมกับสปริง

2.5.3.2 แผ่นจับยึดชิ้นงาน ถูกขับโดยทางอ้อมด้วยแรมของเครื่องปั๊ม และแรงที่แผ่นจับยึดชิ้นงานจะได้จากดายคูชั่นระบบนิวเมติกหรือไฮดรอลิค ซึ่งมันใช้ได้ดีกับแม่พิมพ์ที่มีพั้นช์ยึดอยู่กับที่ และดายเป็นตัวเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2.11 ดายคูชั่นมักจะอยู่ใต้แท่นเครื่องปั๊ม ข้อเสียของวิธีนี้คือ แรงที่แผ่นจับยึดชิ้นงานซึ่งกระทำอย่างคงที่จะไปเพิ่มโหลดให้กับแร็มของเครื่องปั๊ม นอกจากนี้ยังอาจใช้แผ่นจับยึดชิ้นงานที่ถูกขับโดยตรงในเครื่องปั๊มแบบกลไกซึ่งมักจะทำงานโดยการขับแผ่นจับยึดชิ้นงานด้วยแขนข้อต่อของข้อเหวี่ยง เช่น วิธีทำให้จับแผ่นจับยึดชิ้นงานทำงานค้างอยู่ที่ศูนย์ตายล่างตลอดจนเมื่อผ่านการดึงขึ้นรูปแล้ว



รูปที่ 2.11 แผ่นจับยึดชิ้นงานที่ใช้ร่วมกับดายคูชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 วัสดุทำแม่พิมพ์สำหรับการดึงขึ้นรูป

วัสดุทำแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปส่วนใหญ่ ได้แก่ เหล็กหล่อ เหล็กหล่อเหนียว สังกะสีผสมเหล็กหล่อ เหล็กกล้าคาร์บอน, เหล็กเครื่องมือผสมและไม่ผสม, คาร์ไบด์ และอลูมิเนียมบรอนซ์ผสม ในกรณีพิเศษอาจจะใช้พลาสติก หรือไม้เนื้อแข็งก็ได้ การเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับหลักการใหญ่ๆ คือ ขนาด จำนวน และวัสดุของชิ้นงานที่จะนำมาทำการขึ้นรูป เช่น แม่พิมพ์ขนาดเล็กสำหรับผลิตชิ้นงานที่มีจำนวนมากๆ อาจจะทำจากวัสดุที่ทนต่อการสึกหรอ และมีราคาแพง เช่น เหล็กเครื่องมือ (Tool steel) ในทางแม่พิมพ์ขนาดใหญ่สำหรับใช้ในการทดลองปกติจะทำจากโครงเหล็กหล่อ ซึ่งชิ้นงานจะขึ้นรูปจากการหล่อในรูปเรซิ่นสังเคราะห์ ในส่วนของรัศมีดายที่รับแรงความเค้นสูงเท่านั้นที่จะทำจากเหล็กกล้า รัศมีของดายปกติจะทำการชุบโครเมียม เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านการสึกหรอ และเป็นการลดแนวโน้มการเกิดริ้วรอยจากการเชื่อมเย็น (Cold welding) ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีขนาดจำนวนมากๆจะนำเอาคาร์ไบด์อินเซท (Carbide insert) มาใช้ ข้อบกพร่องของชิ้นงานจากการดึงขึ้นรูป

จะเห็นว่าชิ้นงานที่ได้จากการดึงขึ้นรูปที่ประสบอยู่ในปัจจุบันนี้มีข้อบกพร่องรวมทั้งการเสียเป็นจำนวนมาก ซึ่งพอจะแยกออกเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ ของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการดึงขึ้นรูปดังนี้

1) รูปร่างและขนาดไม่ได้ขนาดตามต้องการ
2) ข้อบกพร่องบนตัวชิ้นงานรวมทั้งบนผิวของชิ้นงาน
3) คุณสมบัติไม่ตรงกับความพอใจ

แหล่งที่มาของข้อบกพร่องสามารถกล่าวได้ดังนี้

1) ข้อบกพร่องของแผ่นงาน
2) ข้อผิดพลาดจากการออกแบบชิ้นงาน
3) ข้อบกพร่องของกระบวนการ เช่น การใช้เครื่อง แม่พิมพ์ ฟิกเจอร์ เป็นต้น

ในการดำเนินการหาข้อบกพร่องจากการขึ้นรูปมีหลายจุดที่ต่างๆกัน เช่น การแตก การเกิดรอยย่น การเกิดเอียริ่ง จากตาราง แสดงรายการของข้อบกพร่องที่เกิดจากการดึงขึ้นรูปที่สำคัญ โดยแสดงให้เห็นรูปร่างภายนอก และสาเหตุที่เกิดรวมทั้งวิธีการป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การออกแบบเพลา

2.6.1 วัสดุเพลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน(mild steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลา เช่น AISI1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

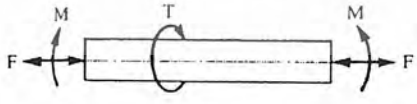
2.6.2 การพิจารณาในการออกแบบเพลา

การคำนวณหาขนาดของเพลาที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลาเพื่อให้เพลาทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเดียวไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลาลูกเบี้ยว (cam shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งเที่ยงตรงสูง ดังนั้นมุมบิดของเพลาที่เกิดขึ้นในขณะใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลาจะต้องมีความแข็งแกร่งอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ

ความแข็งแกร่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแกร่งทางด้านระยะโก่ง เพราะจะต้องใช้ระยะโก่งของเพลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด (clearance) ระหว่างล้อสายพาน เฟือง โครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบริ่งสำหรับรองรับเพลาให้เหมาะสม ซึ่งจำเป็นจะต้องเลือกแบริ่งที่อนุญาตให้มีการเยื้องแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกับระยะโก่งของเพลาที่เกิดขึ้นทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะโก่งเป็นสำคัญ

2.6.3 การออกแบบเพลาตามโค้ดของ ASME

วิธีการนี้จะใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static design method) ในการหาสมการ สำหรับการออกแบบเพลาให้พิจารณาเพลาในรูปที่ 2.12 ให้เพลาเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_i และ d ตามลำดับ ความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นบนเพลามีดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 2.12 เพลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ความเค้นดึงหรือกด $$\sigma_a = \frac{4F}{\pi\left(d^2 - d_i^{\,2}\right)} \tag{2.12}$$

ความเค้นดัด $$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi\left(d^4 - d_i^{\,4}\right)} \tag{2.13}$$

ความเค้นเฉือน $$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi\left(d^4 - d_i^{\,4}\right)} \tag{2.14}$$

ในกรณีเป็นแรงกด อาจมีผลจากการโก่งงอ (buckling) ได้ ดังนั้นสมการที่ (2.13) จะกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi\left(d^2 - d_i^{\,2}\right)} \tag{2.15}$$

เพลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักรทั้งนี้เพราะเพลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้น แรงที่กระทำยังอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้นเพลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้ วิธีการแบบสถิตยศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (fatigue factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

ถ้าให้ C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ดังนั้นสมการที่ (2.16) และ (2.17) จึงกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_mMd}{\pi(d^4 - d_i^{\,4})} \tag{2.16}$$

และ $$\tau_{xy} = \frac{16C_tTd}{\pi(d^4 - d_i^{\,4})} \tag{2.17}$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวมคือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \tag{2.18}$$

แทนค่าสมการที่ (2.16) , (2.17), (2.18) , (2.19) ลงในสมการข้างบนแล้วจัดรูปใหม่จะได้ว่า

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau\left(l - k^4\right)}\left[\left(C_tT\right)^2 + \left[\frac{\alpha Fd\left(l + k^2\right)}{8} + C_mM\right]^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{2.19}$$

โดยที่ $k = {}^{d_1}\!/_{d}$ ในกรณีไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย สมการที่ (2.20) จะลดรูปเหลือเพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55629

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau\left(l-k^4\right)}\left[\left(C_t T\right)^2 + \left(C_m M\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{2.20}$$

หรือในกรณีของเพลาตัน $k = {}^{d_i}\!/_{d} = 0$ เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.20) ก็จะได้สมการที่มีรูปคล้ายกับในหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไปคือ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau}\left[\left(C_t T\right)^2 + \left(C_m M\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{2.21}$$

สำหรับตัวประกอบของการโก่งงอ ASME ได้แนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$$\alpha = l \quad \text{เมื่อ } F \text{ เป็นแรงดึง} \tag{2.22}$$

$$\alpha = \frac{l}{l - 0.0044\left(L/k\right)} \quad \text{เมื่อ } \frac{L}{k} \le 115 \tag{2.23}$$

$$\alpha = \frac{\sigma_y \left(L/k\right)^2}{\pi^2 nE} \quad \text{เมื่อ } \frac{L}{k} > 115 \tag{2.24}$$

โดยที่ $n =$ 1.00 เมื่อปลายเป็นแบบ ss

$n =$ 2.25 เมื่อปลายเป็นแบบ cc

$n =$ 1.60 เมื่อปลายเพลาถูกขืนเป็นบางส่วน (partially restrained)

จะเห็นได้ว่าสมการที่ (2.23) เป็นสูตรของสมการเส้นตรง (straight line formula) และสมการที่ (2.24) เป็นสมการของออยเลอร์ ซึ่งแก้ไขค่าคงที่ใหม่

นอกจากนี้โค้ดของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่าเพลาซึ่งมีใช้อยู่ในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$\tau_d = 55\, N/mm^2$ สำหรับเพลาที่ไม่มีร่องลิ่ม

$\tau_d = 41\, N/mm^2$ สำหรับเพลาที่ไม่มีร่องลิ่ม

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งานจากสมการที่ (2.26) โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาคำนวณคือ

$$\tau_d = 0.3\sigma_y \text{ หรือ} \qquad \tau_d = 0.18\sigma_u \tag{2.25}$$

และถ้าเพลามีร่องลิ่มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75 % ของค่าในสมการที่ (2.25)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 ความแข็งแกร่งทางด้านการบิด

สำหรับเพลาที่มีขนาดสม่ำเสมอ มุมบิดเป็น rad หาค่าได้จากสมการ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \tag{2.26}$$

สำหรับเพลากลมตัน $J = \frac{\pi}{32} d^4$ ดังนั้นจึงหาค่ามุมบิดเป็นองศาได้จากสมการ

$$\theta = \frac{584TL}{Gd^4} \tag{2.27}$$

ถ้าเป็นเพลากลมกลวง

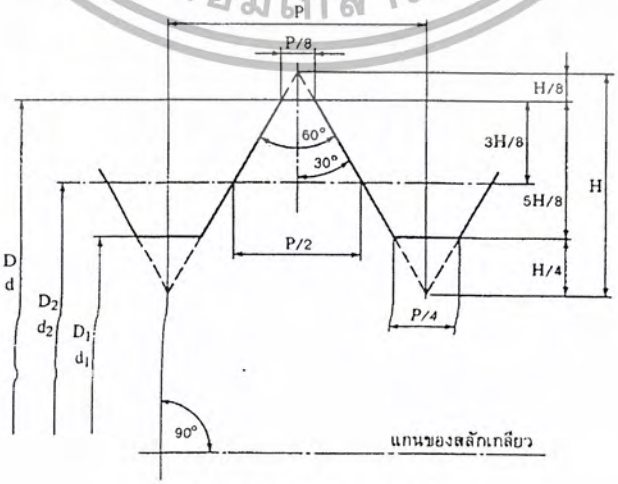
$$\theta = \frac{584TL}{\left(l - k^4\right)Gd^4} \tag{2.28}$$

ฉะนั้นถ้าต้องการให้เพลามีความแข็งแรงตามลักษณะการใช้งานแล้ว ก็ควรจะใช้สมการที่ (2.28) นี้ตรวจดูมุมบิดให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

2.7 การยึดด้วยสลักเกลียว

2.7.1 แบบของเกลียว

เพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนชิ้นส่วนของรอยต่อด้วยสลักเกลียว องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO) จึงได้กำหนดมาตรฐานของสลักเกลียวเป็นหน่วยระหว่างประเทศขึ้น ลักษณะเกลียวสำหรับใช้งานทั่วไปตามมาตรฐานระหว่างประเทศ ISO/R 68-1969 (E) มีแบบรากฐานของเกลียวดังรูปที่ 2.13



รูปที่2.13 รอยต่อด้วยสลักเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ (D,d) เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางโตที่สุดของเกลียว การบอกขนาดเกลียวมักจะบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เป็นขนาดระบุ (nominal size) ของเกลียว สัญลักษณ์ที่ใช้อักษรพิมพ์ใหญ่หมายถึงขนาดของเกลียวใน อักษรพิมพ์เล็กหมายถึงขนาดของเกลียวนอก

เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของเกลียว (D_2,d_2) เป็นขนาดเส้นผ่านสูนย์กลางที่กึ่งกลางเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กับเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยของเกลียว

เส้นผ่านศูนย์กลางน้อย (D_1,d_1) เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กที่สุดของเกลียว หรืออาจเรียกว่าเส้นผ่านศูนย์โคนเกลียว

ระยะพิตช์(P) เป็นระยะที่วัดตสมแนวแกนของเกลียวจากจุกจุดหนึ่งบนเกลียวหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่สมนัยกันบนอีกเกลียวหนึ่ง

ความสูงของสามเหลี่ยมมูลฐาน(H) เป็นระยะที่วัดทั้งฉากกับแกนของเกลียวจากโคนเกลียว**ถึงยอดเกลียว** ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสามเหลียมมูลฐานกับระยะพิตช์ คือ

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2}P = 0.866025404P$$

$$\frac{5}{8}H = 0.541265877P$$

$$\frac{3}{8}H = 0.324759526P$$

$$\frac{H}{4} = 0.216506351P$$

$$\frac{H}{8} = 0.108153175P$$

ค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นสิ่งพื้นฐานในการกำหนดขนาดและสัดส่วนของเกลียว

2.7.2 การให้ชื่อมาตรฐานเกลียว

การบอกขนาดเกลียวตามแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ บอกโดยใช้อักษรย่อแทนชนิดของเกลียวตามด้วยขนาดระบุเป็น มิลลิเมตร ตามด้วยระยะพิตช์เป็น มิลลิเมตร โดยมีเครื่องหมาย × คั่นอยู่ ในกรณีที่เป็นเกลียวแบบธรรมดาไม่ต้องแสดงระยะพิตช์ตัวอย่างเช่น

เกลียวเมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ แบบเกลียวธรรมดา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ 20 มิลลิเมตร ระยะพิตช์ 2 มิลลิเมตร เรียกว่า M20×2

นอกจากนี้ยังมีการบอกลักษณะเกลียวที่เป็นพิเศษอีก เช่น ถ้าเป็นเกลียวซ้ายจะบอกเป็น M30-LH (LH = Left Hand เป็นชื่อย่อมาตรฐานของเกลียวซ้าย)

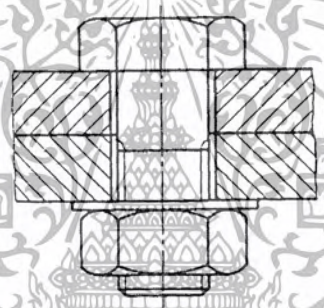
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 ชนิดของอุปกรณ์ยึดด้วยเกลียว

การแบ่งชนิดของอุปกรณ์ยึดด้วยเกลียวแบ่งตามวิธีการที่ใช้จับยึด มิใช้แบ่งตามลักษณะจำเพาะที่ใช้งาน และอาจจำแนกได้ดังนี้

1. สลักเกลียวแล้วแป้นเกลียว (bolt and nut)
2. หมุนเกลียว (cap screw)
3. สลักเกลียวสตัด (stud bolt)
4. หมุดเกลียวจักรกล (machine screw)
5. หมุดเกลียวปรับ (set screw)

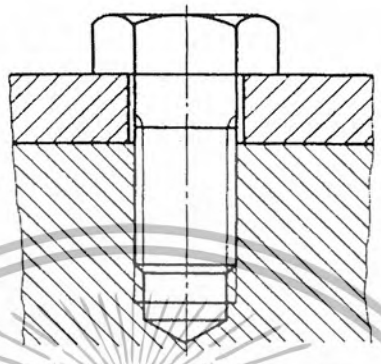
2.7.3.1 สลักเกลียวและแป้นเกลียว สลักเกลียวเป็นแท่งทรงกระบอก ปลายข้างหนึ่งมีเกลียว และอีกข้างหนึ่งมีหัวสี่เหลี่ยม หัวนี้มีไว้สำหรับเพื่อหมุนสลักเกลียว หรือยึดสลักเกลียว ไว้เพื่อหมุนแป้นเกลียวให้ยึดชิ้นงานดัง**รูปที่** 2.14 การยึดสลักเกลียวและแป้น เกลียวนี้ใช้บริเวณที่สามารถหมุนหัวของสลักเกลียวและแป้นเกลียวได้สะดวก เช่น **รอยต่อด้วยหน้า**แปลน นิยมใช้ยึดด้วย สลักเกลียวเพราะเมื่อขันแน่นแล้วลำดับของสลักเกลียวอยู่ภายใต้แรงดึง เพียงอย่างเดียวเท่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนใหม่ได้ง่าย ถ้าสลักเกลียวขาดหรือเกลียวขาด



รูปที่ 2.14 สลักเกลียวและแป้นเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3.2 หมุดเกลียว แตกต่างไปจากสลักเกลียวคือ ให้ขันเข้าไปในชิ้นงาน ชิ้นหนึ่งที่ต้องการ ยึดโดยมิต้องใช้แป้นเกลียว ดังรูปที่ 2.15 ใช้กับงานที่ไม่อาจใช้สลักเกลียวได้ เนื่องจากมีเนื้อที่ไม่พอ หรือใช้กับรอยตอที่ไม่มีการถอดบ่อยนัก เพราะจะทำให้เกลียวตัวเมียบนชิ้นงานเสียหายได้ การยึดที่แน่นอน โดยใช้หมุนเกลียวจะต้องขันเกลียวเข้าไปในชิ้นงานไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าครึ่งของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุของหมุดเกลียวเมื่อชิ้นงานเป็นเหล็กกล้า แต่ถ้าชิ้นงานเป็นเหล็กหล่อก็ใช้เป็นสองเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุของหมุดเกลียว



รูปที่ 2.15 หมุดเกลียว

2.7.3.3 สลักเกลียวสตัด สลักเกลียวสตัดมักเรียกย่อๆว่าสตัด เป็นแท่งทรงกระบอก มีเกลียวที่ปลายทั้งสองข้าง การยึดด้วย สตัด เข้าไปในชิ้นงานชิ้นหนึ่งซึ่งมีเกลียวขันที่ปลายอีกข้างหนึ่ง ดังรูปที่ 2.16

รูปที่ 2.16 สลักเกลียวสตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

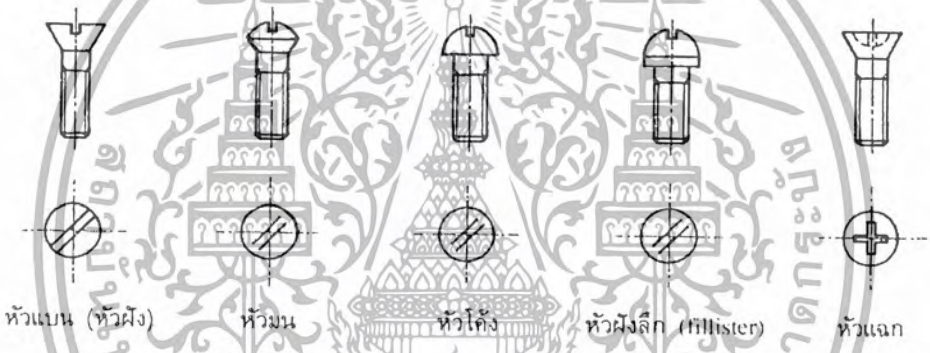
การยึดด้วยสตัดใช้แทนการยึดด้วยสลักเกลียว ในงานที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. เมื่อไม่สามารถสอดสลักเกลียวผ่านชิ้นงานได้ เนื่องจากชิ้นงานหนามาก หรือสลักเกลียวจะทะลุผ่านชิ้นงานอื่นที่ไม่ต้องการ

2. เมื่อรอยต่อนั้นต้องมีการถอดบ่อยๆ และถ้าหมุนเกลียวเข้าอกผ่านชิ้นงานที่ทำด้วนเหล็กหล่อหรือ โลหะเบาผสม จะทำให้เกลียวเสียหาย

3. ต้องการยึดรอยต่อหลายๆ จุด เมื่อใช้สตัดจะทำให้ง่ายต่อการประกอบให้ตรงศูนย์ เช่น การยึดฝาสูบ เป็นต้น โดยปกติถ้าขัดสตัดเข้าไปในเหล็กกล้ามักขันให้ลึกไม่น้อยกว่า 1 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ระบุของเกลียว แต่ถ้าเป็นเหล็กหล่อก็ให้ใช้ไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าครึ่ง ทั้งนี้เพื่อป้องกันเกลียวขาดและทำให้มีความเสียดทาน ระหว่างผิวสัมผัสเพียงพอขนาดหมุนแป้นเกลียวสตัด เหมาะสำหรับใช้ยึดฝาสูบของเครื่องยนต์ ให้ติดกับเสื้อสูบของเครื่องยนต์

2.7.3.4 หมุดเกลียวจักรกล เป็นหมุนเกลียวขนาดเล็กมีรูปร่างต่างๆ กัน ส่วนมากที่หัวมักจะ มีร่องเพื่อใช้ไขควงขันได้ โดยทั่วไปจะใช้กับงานประกอบชิ้นงานขนาดเล็ก เช่น พิมพ์ดีด หมุดเกลียวจักรกลลักษณะต่างๆ ดูได้จากรูปที่ 2.17

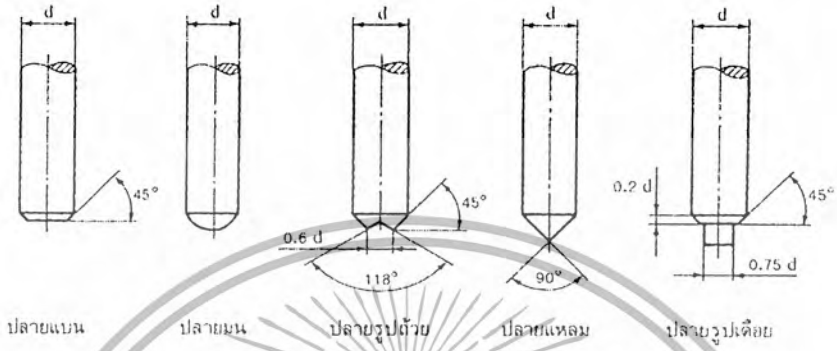


รูปที่ 2.17 หมุดเกลียวจักรกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3.5 หมุดเกลียวปรับ เป็นหมุดเกลียวชนิดกึ่งยึด ใช้ป้องกันการเกิดการเคลื่อนที่ เคลื่อนที่สัมพัทธ์ ระหว่างผิวเลื่อนสองผิวที่อยู่ติดกันโดยใช้ผล จากความเสียดทาน เช่น ยึดปลอกเพลาให้ติดกับเพลา ยึดดุมล้อสายพานให้ติดกับเพลา เป็นต้น หมุนเกลียวปรับ มีหัวและปลายต่างๆ กัน ดังรูป 2.18 ปลายของหมุดเกลียวปรับจะต้องทำให้แข็ง เพื่อป้องกันการสึกหรอและมักใช้กับการส่งแรงน้อยๆ ขนาดของหมุดเกลียวปรับ d ที่เหมาะสมกับเพลาขนาด d หาได้จากสมการที่ได้จากประสบการณ์ ของผู้ที่ชำนาญการออกแบบคือ d = 0.125D+8



รูปที่ 2.18 หมุดเกลียวปรับ

2.7.4 อุปกรณ์ล็อค

ในการยึดชิ้นงานให้ติดกันด้วยเกลียวทั่วไปจะต้องคิดถึงแรงสองชนิด ซึ่งรอยต่อมีผลตรงข้ามกันคือ

2.7.4.1 แรงที่ทำให้รอยต่อหลวม ซึ่งเกิดจากแรงในแนวแกน พยายามทำให้เกลียวคลายตัวหรือเกิดจากการสั่นสะเทือน

2.7.4.2 แรงที่เกิดจากการเสียดทานซึ่งต้านทานการคลายตัวของเกลียว การออกแบบรอยต่อด้วยเกลียวจะออกแบบให้มีแรงเสียดทานเพื่อป้องกันเกลียวคลายตัว ปกติรอยต่อจะต้องแน่นเมื่ออยู่ภายใต้แรงนิ่ง แต่อย่างไรก็ตามรอยต่อส่วนมากจะอยู่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงหรือมีการสั่นสะเทือนซึ่งจะทำให้รอยต่อหลวมได้ ดังนั้นรอยต่อประเภทนี้จึงต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติม เพื่อต่อต้านการคลายตัวแทนที่จะใช้แรงเสียดทานจากเกลียวแต่เพียงอย่างเดียว อุปกรณ์ล็อคมีใช้กันอยู่มาก ซึ่งอาจแบบได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆคือ

1. อุปกรณ์ล็อคโดยอาศัยแรงเสียดทาน
2. อุปกรณ์ล็อคการเคลื่อนที่โดยตรง(positive locked)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4.3 อุปกรณ์ล็อคโดยอาศัยแรงเสียดทาน ใช้ป้องกันการคลายตัวของแป้นเกลียวจากสลักเกลียวหรือสตัด โดยเพิ่มการเสียดทานที่เกลียวให้มากขึ้นดังรูปที่ 2.19

รูปที่ 2.19 อุปกรณ์ล็อคโดยอาศัยความเสียดทาน

2.7.4.4 อุปกรณ์ล็อคการเคลื่อนที่โดยตรง ใช้ป้องกันการคลายตัวของแป้นเกลียวโดยใช้สปลิตพิน(split pin) คอตเตอร์พิน(cotter pin) แหวนสปริง หรืออุปกรณ์ล็อคอย่างอื่น ๆ ดังรูปที่ 2.20

รูปที่ 2.20 อุปกรณ์ล็อค เคลื่อนที่โดยตรง

2.7.5 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว

กระทรวงอุตสาหกรรมได้จัดทำโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของสลักเกลียว สมุดเกลียว และสตัด ใน มอก. 171-2519 มาตรฐานระหว่างประเทศ ISO/R898/I-1968(E)ซึ่งทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าผสมโลหะอื่น โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุของเกลียวจะต้องไม่โตกว่า 39 มิลลิเมตร

การใช้ชื่อของสลักเกลียว หมุดเกลียว และสตัดเกลียว บอกได้โดยใช้ตัวเลขสองตัว ซึ่งมีความหมายดังนี้

- เลขตัวแรกบอกค่า 1/100 ของค่าความต้านแรงดึงต่ำสุด มีหน่วยเป็น N/mm^2
- เลขตัวที่สองบอกค่าประมาณ 1/10 ของอัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ระหว่างค่าความต้านแรงดึงครากต่ำสุดกับค่าความต้านทานต่ำสุด

ค่าความต้านแรงดึงคราก โดยประมาณ อาจหาได้จากผลคูณของเลขตัวแรกกับตัวที่สองแล้วคูณด้วยสิบ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลักเกลียวมีค่าคุณสมบัติ 4.6 มีความต้านแรงดึงต่ำสุดคือ $4\times100 = 400$ N/mm^2
อัตราส่วนระหว่างความต้านแรงดึงครากต่ำสุดกับความต้านแรงดึงต่ำสุดคือ $6\times10 = 60\%$

มีความต้านแรงดึงครากโดยประมาณ $4\times6\times10 = 240$ N/mm^2 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว หมุดเกลียว และสตัดขั้นคุณสมบัติ(property class) ต่างๆ

2.8 สปริง

2.8.1 วัสดุสำหรับทำลวดสปริง

จุดประสงค์ของการใช้สปริง ส่วนมากจะเป็นในรูปของการเก็บพลังงานเอาไว้ในตัวสปริงความเค้นที่เกิดขึ้นในสปริงขณะใช้รับแรงจะมีค่าสูงมาก ดังนั้นจึงต้องนำวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมาใช้ทำสปริง โดยทั่วไปเหล็กสำหรับใช้ทำสปริงจะมีเหล็กที่มีคาร์บอนสูงกว่า 0.5% แล้วผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้มีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากความสามารถในการยืดหยุ่นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสปริง ทั้งนี้เพื่อให้สปริงมีการหดได้มาก เนื่องจากนี้แล้วยังมีวัสดุประเภทโลหะผสม เหล็กกล้าไร้สนิม และอื่น ๆ ที่ต้องใช้กับงานเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนหรือทนทานต่ออุณหภูมิสูง

2.8.2 คุณสมบัติทางกลของลวดสปริง

ค่าความต้านแรงของวัสดุที่ใช้ทำลวดสปริงจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของลวดสปริงดังนั้นจึงเขียนรูปของสมการที่ใช้หาค่าความต้านแรงของวัสดุลวดสปริงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใด ๆ ได้ดังนี้คือ

$$\sigma_u = \frac{A}{d^x} \tag{2.29}$$

$$\tau_n = \frac{B}{d^y} \tag{2.30}$$

โดยที่ σ_u คือ ความต้านแรงดึงต่ำสุด
τ_n คือ ความต้านแรงเฉือนทนทาน
d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริง มิลลิเมตร

ค่าคงที่โดยประมาณของสมการที่ 2.29 และสมการที่ 2.30 ค่าความต้านแรงมีหน่วยเป็น นิวตัน/มิลลิเมตร^2 และค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าที่เรียบเรียงมาจากหนังสือของ V.M.FAIRES เพื่อใช้เป็นตัวอย่าง
ข้อมูลสำหรับแบบฝึกหัดในการคำนวณ ถ้ามีความจำเป็นที่จะต้องใช้สมการที่ 2.30และ 2.31กับลวดสปริงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่าค่าในตาราง ก็อนุโลมให้สามารถใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 ความเค้นในแรงสปริง

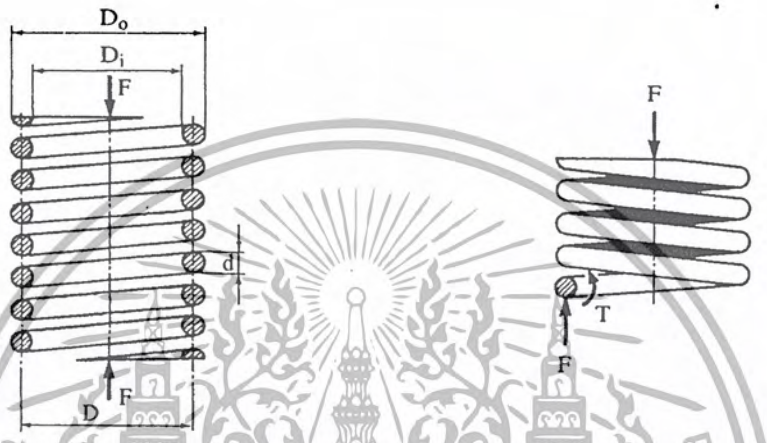
พิจารณาสปริงขดซึ่งรับแรงกด F ในแนวแกนของสปริงดังรูปที่2.13 (ก) และให้

D_0 คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของขดสปริง

D_i คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขดสปริง

$D = (D_0 + D_i)/2$ เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของขดสปริง

d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดสปริง



(ก) แรงกดกระทำในแนวแกนของสปริง (ข) แผนภาพวัตถุอิสระแสดงให้เห็นว่าลวดอยู่ภายใต้แรงเฉือนและโมเมนต์บิด

รูปที่ 2.21 สปริงขด

ให้ตัดส่วนหนึ่งของสปริงออกมาพิจารณาจะเห็นได้ว่า ลวดสปริงอยู่ภายใต้แรงภายใน F และโมเมนต์ T ดังรูปที่ 2.21(ข) ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในลวดสปริงคือ

$$\tau = \frac{Tr}{J} + \frac{F}{A} \qquad (2.31\text{ ก})$$

แต่ $$T = \frac{FD}{2}$$

และ $$\frac{J}{r} = \frac{(\pi d^4/32)}{d/2}$$

และ $$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

ดังนั้นจึงเขียนสมการที่ (2.32ก) ใหม่ได้เป็น

$$\tau = \frac{8FD}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} \qquad (2.31\text{ข})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้ C = D/d ซึ่งเรียกว่าดัชนีสปริง สมการที่ 2.31 (ข) จะจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\tau = K_s \frac{8FD}{\pi d^3} \qquad (2.31ค)$$

โดยที่ $$K_s = 1 + \frac{0.5}{C}$$

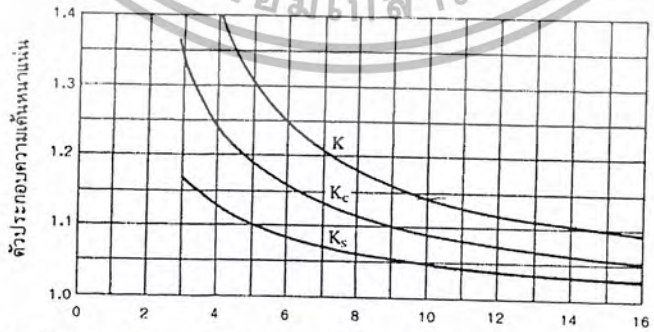
ค่า K_S นี้เรียกว่าตัวประกอบความเค้นเฉือนเป็นค่าทำให้ความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความเค้นเฉือนตรง $\frac{F}{A}$ ในการคำนวณที่ผ่านมาได้ใช้ความเค้นเฉือนเนื่องจากโมเมนต์แรงบิด $\frac{T_r}{J}$ ซึ่งเป็นสูตรสำหรับการบิดชิ้นส่วนตรง เช่น เพลา แต่ในสปริงเส้นลวดบิดบนไปตามความโค้งของสปริงทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นสูงสุดบริเวณด้านในของสปริงขด วาห์ล (Wahl) ได้เสนอให้มีการแก้ไขความเค้นในสมการที่ 2.31 (ค) โดยเพิ่มตัวประกอบความโค้ง (K_C) เข้าไปในสมการค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นดังกล่าวนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$K = K_c K_s = \frac{4_c - 1}{4_c - 4} + \frac{0.615}{C} \qquad (2.32)$$

ค่า K นี้เรียกว่าองค์ประกอบของวาล์ว ซึ่งสามารถหาค่าได้โดยการคำนวณจากสมการที่ 2.32 หรืออ่านค่าได้จากรูปที่ 2.22 ดังนั้นความเค้นเฉือน ในสมการที่ 2.31 ค จึงกลายเป็น

$$\tau = K \frac{8FD}{\pi d^3}$$

$$\tau = K \frac{8FC}{\pi d^2} \qquad (2.33)$$

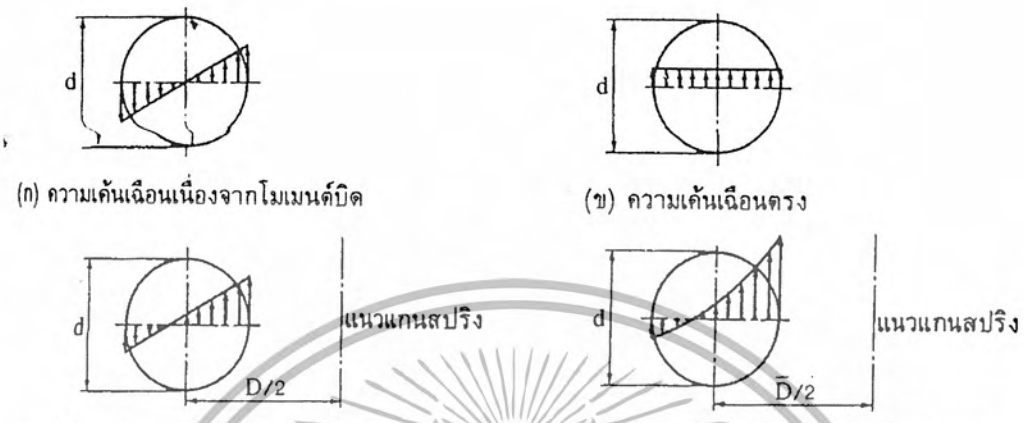


รูปที่ 2.22 ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับสปริงขดรับแรงดึงและรับแรงกด

การกระจายความเค้นเฉือนในเส้นลวดสปริงซึ่งเกิดจากโมเมนต์ T และแรงเฉือน F จะดูได้จากรูปที่ 2.23 ก และรูปที่2.23 ข เมื่อรวมความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 2.23 ก และรูปที่ 2.23 ข ก็จะได้ความเค้นเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 2.23ค แต่เมื่อรวมความเค้นหนาแน่นอันเนื่องมาจากความโค้งของลวดสปริงเข้าไปด้วยจะได้ดังรูปที่ 2.23ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเค้นเฉือนสูงสุดเกิดขึ้นที่ด้านในของลวดสปริง



(ก) ความเค้นเฉือนเนื่องจากโมเมนต์บิด

(ข) ความเค้นเฉือนตรง

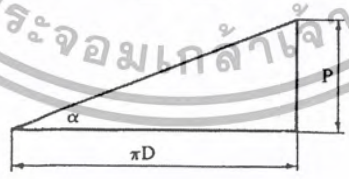
(ค) ผลรวมของความเค้นเฉือนตรง และความเค้นเฉือนบิด

(ง) ผลรวมของความเค้นเฉือนตรง ความเค้นเฉือนบิด และความเค้นเฉือนเนื่องจากความโค้ง

รูปที่ 2.23 การรวมความเค้นในสปริงขด

ถ้าให้ระยะพิตช์ของสปริงยาว P และให้นำสปริงหนึ่งรอบมาคลี่ออก มุมขด α คือ $\tan\alpha = \dfrac{P}{\pi D}$

สำหรับสปริงรับแรงกด ถ้ามุมขดของสปริงขณะที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำเล็ก กว่า 12° แล้วก็ให้ถือว่าสปริงขดนั้นมีขดถี่ได้

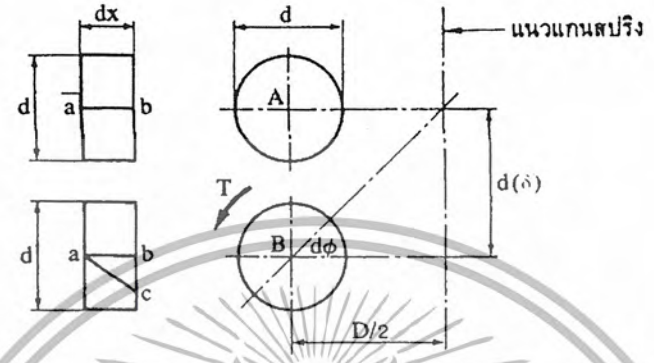


รูปที่ 2.24 มุมขดของสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 การยืดหดของสปริงขด

ในการหาการยืดหดของสปริงให้พิจารณาขดสปริง ซึ่งตัดออกมาเป็นชิ้นเล็ก ๆ ยาว dx ก่อนมีแรงมากระทำในแนวดิ่ง ส่วนของลวดสปริงนี้จะอยู่ที่ A หลังจากรับแรงภายนอกแล้วลวดสปริงจะเลื่อนมาอยู่ตำแหน่ง B โดยมีการยุบตัว $d\delta$ และมุมบิดเล็ก ๆ ของลวดเท่ากับ $d\phi$ นั่นคือเส้น ab จะบิดมาอยู่ที่ตำแหน่ง ac จากสูตรการบิด



รูปที่ 2.25 การยืดหดของลวดสปริง

ถ้ามุมบิดบนลวดสปริงชิ้นเล็ก ๆ นี้เล็กมาก (เนื่องจากสปริงมีขดถี่) ระยะยุบตัวคือ

$$d\delta = \frac{D(d\phi)}{2} = \frac{TD(dx)}{2GJ} \tag{2.34}$$

ถ้าสปริงมีความยาวทั้งหมด L ระยะยุบตัวทั้งหมดคือ

$$\delta = \frac{TD}{2GJ}\int_0^L dx = \frac{TDJ}{2GJ} \tag{2.35}$$

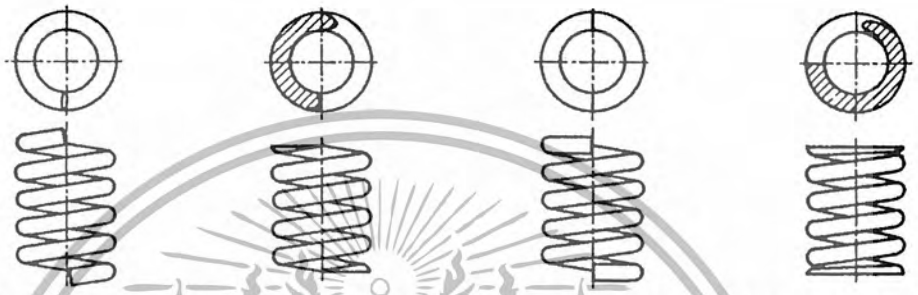
ถ้าจำนวนขดทำการ (active coils) เท่ากับ n ขด ความยาว L ของสปริง n ขด โดยประมาณเท่ากับ π Dn และเมื่อแทนค่า $T = FD/2$ และ $J = (\pi/32)d^4$ ลงในสมการที่ 2.36 จะได้ว่า

$$\delta = \frac{8FD^3n}{Gd^4} = \frac{8FC^3n}{Gd} \tag{2.36}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5 จำนวนขดทำการ

สปริงขดรับแรงกดที่ใช้งานอยู่ทั่ว ๆ ไปจะมีปลายทั้งสองในลักษณะดังรูปที่ 2.26 โดยปกติแล้วต้องการให้ปลายสปริงสัมผัสกับสิ่งที่สปริงกดอยู่ให้มากที่สุด ในบางกรณีสปริงตั้งอยู่ในช่องซึ่งมีพื้นที่กดที่เรียบแบน ดังนั้นจึงนิยมตัดปลายสปริงชนิดนี้ให้เรียบเป็นฐานตั้ง เนื่องจากขดส่วนที่ตัดปลายจะสูญเสียผลในการเป็นสปริงไปมาก ฉะนั้นการคำนวณจึงให้หักเอาจำนวนขดเหล่านี้ออก จำนวนที่ขดเหลืออยู่ทั้งหมดเรียกว่า ขดทำการ ซึ่งก็เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น ถ้าให้ n_t เป็นจำนวนขดทั้งหมดของสปริงขดก็จะคิดจำนวนขดทำการได้ดังนี้



(ก) ปลายธรรมดา (ข) ปลายธรรมดาและเจียระไน (ค) ปลายตรง (ง) ปลายตรงและเจียระไน

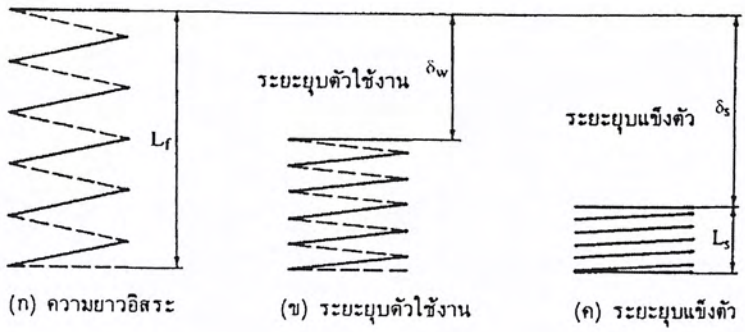
รูปที่ 2.26 ปลายสปริงขดรับแรงกด

ปลายธรรมดา(plain ends)	$n = n_t$
ปลายธรรมดาและเจียระไน(ground end)	$n = n_t - 1$
ปลายตรง(square ends)	$n = n_t - 1.5$
ปลายตรงและเจียระไน	$n = n_t - 2$

2.8.6 ระยะยุบตัวใช้งาน

ความยาวของสปริงขดในขณะที่ยังไม่มีแรงภายนอกมากระทำเรียกว่า ความยาวอิสระ L_f ดังรูปที่ 2.26 (ก) เมื่อมีแรงภายนอกมากดสปริงขดนี้ให้ทุกขดติดกันพอดีดังรูปที่ 2.26 (ค) ความยาวของสปริงขดขณะนี้เรียกว่า ความยาวแข็งตัว (solid height) L_s แรง และความเค้นในขณะนี้เรียกว่า แรงแข็งตัว (solid force) และความเค้นแข็งตัว (solid stress) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 ระยะยุบตัวของสปริงขด

สำหรับการออกแบบสปริงให้รับแรง F สูงสุดขณะใช้งาน โดยที่สปริงจะยุบตัวลงไป δ_w ค่า δ_w นี้จะเรียกว่า ระยะยุบตัวใช้งาน ดังรูปที่ 2.27 (ข) ถ้าให้ระยะยุบแข็งตัว (solid deflection) δ_s เป็นผลต่างระหว่างความยาวอิสระและความยาวแข็งตัวจะได้ว่า

$$\delta = L_f - L_s \tag{2.37}$$

ก็จะทำให้สามารถเผื่อการยุบตัวของสปริงให้มีการยุบตัวมากกว่าระยะยุบตัวใช้งานได้อย่างมีหลักเกณฑ์พอสมควร โดยใช้ค่าความเผื่อการกดติด (clash allowance) ซึ่งมีนิยามว่า

ความเผื่อการกดติด $$r_c = \frac{\delta_s - \delta_w}{\delta_w} \tag{2.38}$$

ค่าความเผื่อการกดติดนี้เป็นอัตราส่วนที่แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของระยะยุบตัว ที่อาจจะมีได้เกินกว่าระยะยุบตัวใช้งาน โดยทำหน้าที่ให้ความปลอดภัยแก่การใช้งานยิ่งขึ้นไปอีก ค่า r นี้แนะนำให้ใช้ประมาณ 0.20 ซึ่งก็หมายความว่าสามารถใช้สปริงรับแรงเพิ่มขึ้นมากกว่าแรงที่ใช้ออกแบบอีก 20% สปริงทุกขดจึงจะติดกันหมด จึงเป็นการป้องกันมิให้ผิวหน้าของสปริงเสียหายเนื่องจากการสัมผัสและเสียดสีกันระหว่างขดได้ อีกประการหนึ่งถ้าสปริงยุบตัวจนถึงความยาวแข็งตัว สปริงก็จะหมดคุณสมบัติในการใช้งานรับแรงสั่นสะเทือนหรืออื่น ๆ ตามต้องการไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.7 การออกแบบสปริงขดรับแรงกด

การออกแบบสปริงมักจะต้องใช้วิธีทดลองแก้ความคลาดเคลื่อน (trial-and-error) บางครั้งก็มีข้อจำกัดอย่างอื่นซึ่งทำให้การออกแบบยากขึ้นไปอีก เช่น ขนาดจำกัดของช่องสำหรับใส่ขดสปริง เป็นต้น โดยปกติแล้วสปริงขดจะขยายตัวกว้างออกเล็กน้อยเมื่ออยู่ภายใต้แรงกด ดังนั้นในกรณีที่มีช่องว่างจำกัดก็อาจจะต้องเหลือช่องไว้โดยรอบสปริงประมาณ d/4 การขยายตัวของสปริงอาจจะประมาณค่าได้จากสมการ

$$\bar{D}_0 = \left[D_0^2 + 0.1\varepsilon^2\right]^{1/2} \tag{2.39}$$

โดยที่ $\bar{D}_0$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสปริงขดหลังขยายตัว

D_0 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสปริงขดก่อนขยายตัว

$$\varepsilon = \frac{L_f - d(n_t - n)}{n} \tag{2.40}$$

การคำนวณเกี่ยวกับสปริงขดอาจจะแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ

2.8.7.1 คิดว่าแรงที่มากระทำต่อตัวสปริง เป็นแบบอยู่นิ่ง แล้วคิดว่าแรงที่กระทำกับสปริงนั้นจัดอยู่ในงานประเภทใด ซึ่งแบ่งออกเป็น

(ก) งานเบา (light service) หมายถึงแรงที่มากระทำตลอดอายุการใช้งานของสปริงไม่เกิน 10^4 ครั้ง

(ข) งานปานกลาง (average service) หมายถึงแรงที่มากระทำตลอดอายุการใช้งานของสปริงอยู่ระหว่าง 10^4 ถึง 10^6 ครั้ง

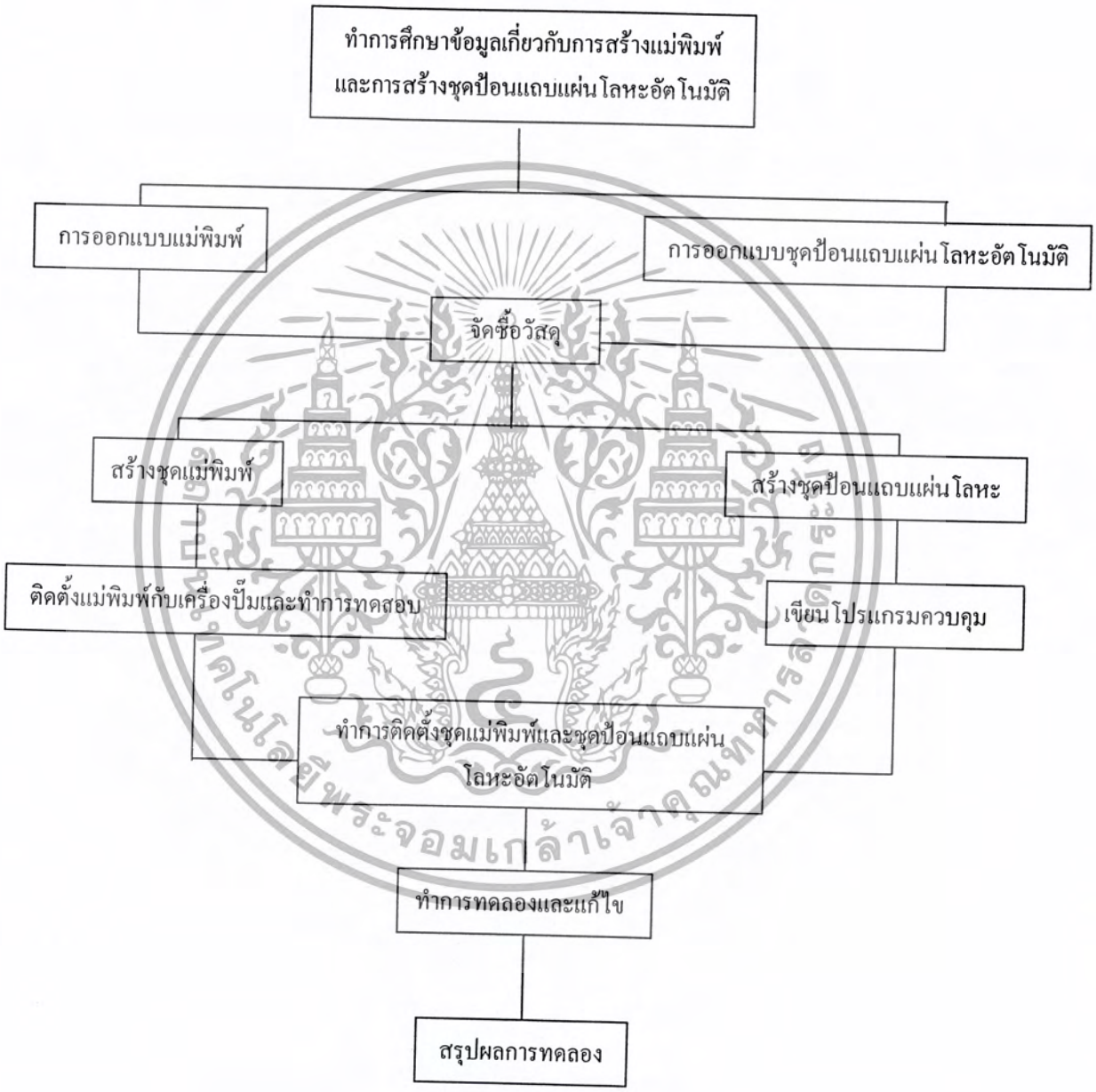
(ค) งานหนัก (severe service) หมายถึงแรงที่มากระทำตลอดอายุการใช้งานของสปริงมากกว่า 10^6 ครั้ง

2.8.7.2 พิจารณาว่าแรงเปลี่ยนแปลงจากค่าสูงสุด ไปถึงต่ำสุด แล้วคำนวณออกแบบสปริงโดยใช้สมการลักษณะเดียวกับโซเดอร์เบอร์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
แผนการดำเนินงานและการออกแบบ

3.1 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 รูปแผนการดำเนินงาน

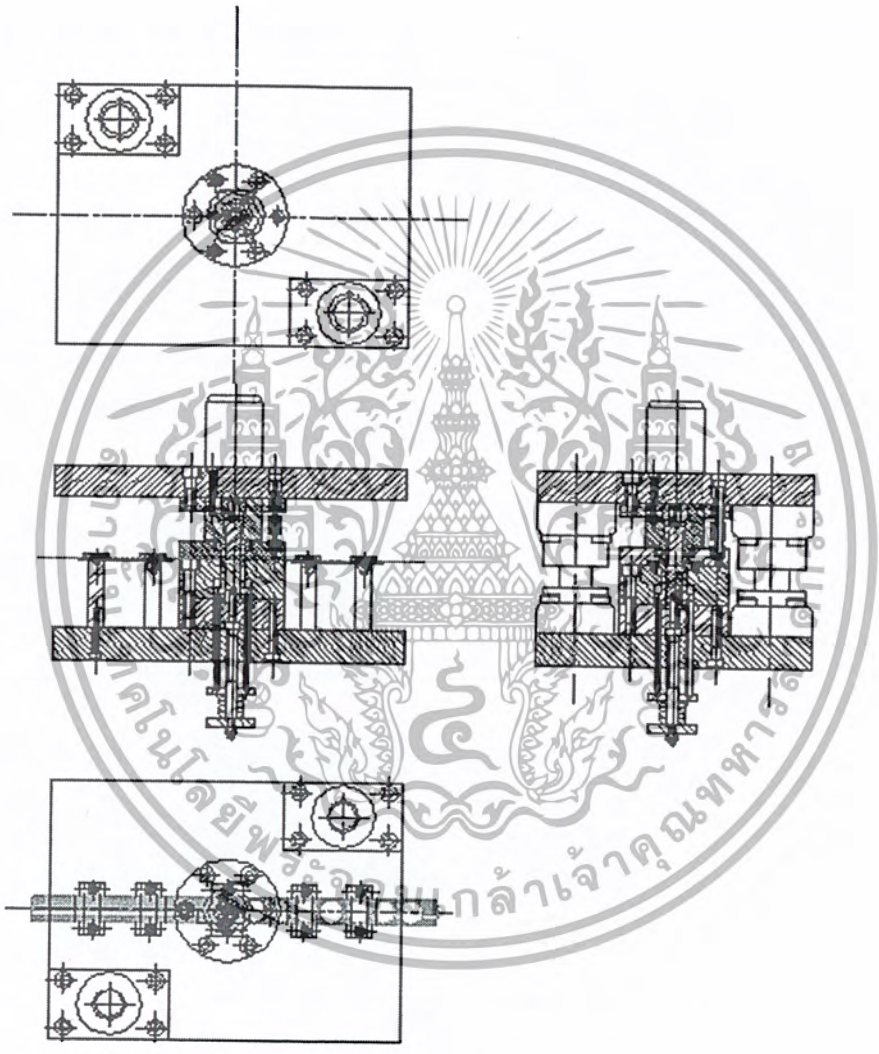
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบ

การออกแบบแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. แบบชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป
2. แบบชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ

3.2.1 แบบชุดแม่พิมพ์

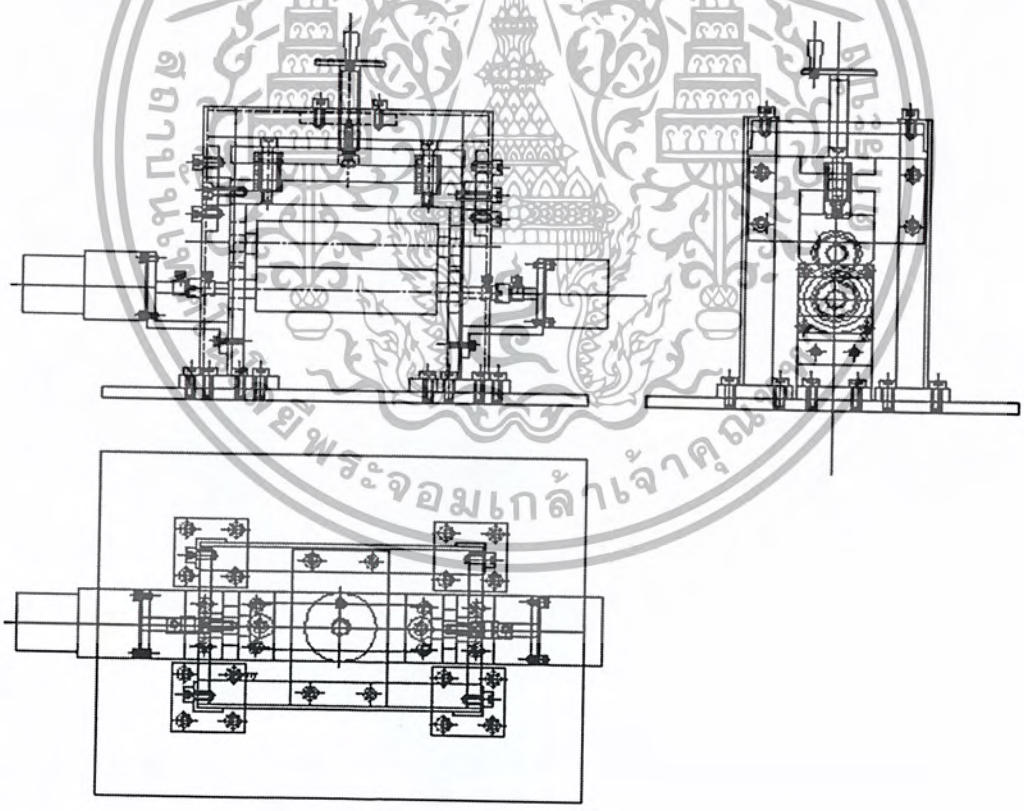


รูปที่ 3.2 ภาพประกอบแม่พิมพ์ขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

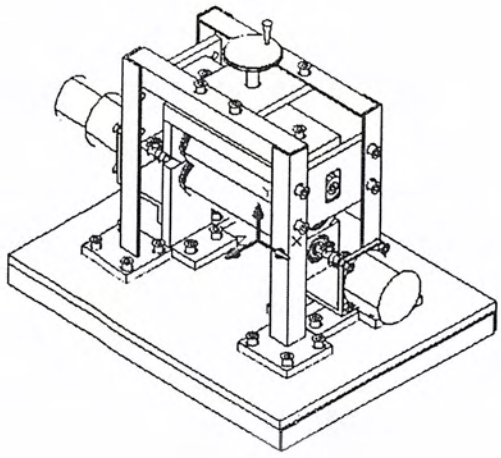
- คำนวณชุดแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปฝาหลอดยาหลอม
- คำนวณแผ่นชิ้นงานก่อนการขึ้นรูป
- คำนวณหาช่วงที่มีการดึงขึ้นรูปสูงสุด
- คำนวณแรงในการจับยึดชิ้นงาน
- คำนวณแรงดันที่แผ่นจับยึดชิ้นงาน
- คำนวณแรงในการจับยึดชิ้นงาน
- คำนวณแรงในการดึงขึ้นรูป
- คำนวณแรงที่ทำให้เกิดการแตก
- คำนวณระยะเผื่อช่องว่างของแม่พิมพ์
- คำนวณรัศมีดาย
- คำนวณรัศมี พั้นช์
- คำนวณความยาวพั้นช์
- คำนวณความหนาดาย
- คำนวณความหนาสติปเปอร์เพลท และ พั้นช์เพลท

3.2.2 แบบชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ



รูปที่3.3 ภาพฉายแบบชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.4 ภาพประกอบ 3 มิติชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ

- คำนวณแรงสปริง
- คำนวณกำลังของมอเตอร์
- คำนวณแรงบิด

3.3 รายละเอียดการทำงาน

3.3.1 การจัดสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูป

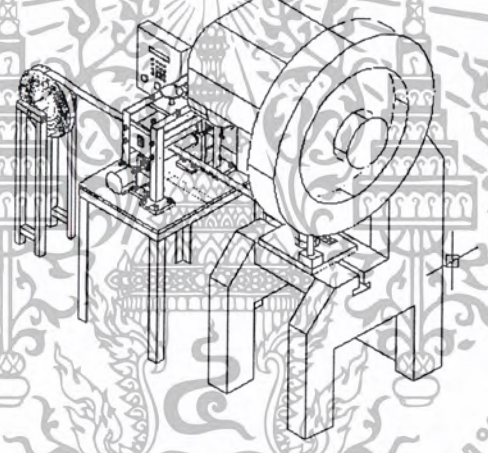
เป็นขั้นตอนการเตรียมชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรซึ่งจะรวมถึงขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ด้วย

- เก็บข้อมูลทางด้านราคาวัสดุทั้งหมดที่ใช้ในการสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ
- เสนอราคาวัสดุพร้อมรายละเอียดต่าง ๆ แก่อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
- สั่งซื้อวัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นทั้งหมด
- จัดทำพั้นซ์โฮลด์เดอร์
- จัดทำดายซ์โฮลด์เดอร์
- จัดทำแชงค์
- จัดทำพั้นซ์เพลท
- จัดทำสติปเปอร์เพลท
- จัดทำดายซ์บล็อก
- จัดทำพั้นซ์
- ประกอบพั้นซ์เข้ากับแผ่นพั้นซ์เพลท
- ประกอบดายซ์เข้ากับดายซ์โฮลด์เดอร์
- ประกอบพันซ์เข้ากับดายซ์โฮลด์เดอร์
- ประกอบสติปเปอร์เพลทเข้ากับพันซ์โฮลด์เดอร์
- ประกอบไกด์โพสท์เข้ากับชุดแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การจัดสร้างชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ

- จัดทำลูกกลิ้ง 2 ชิ้น
- จัดทำมือหมุน
- จัดทำโครงชุดป้อน
- จัดทำตุ๊กตาสำหรับสวมอัดแบริ่ง
- ประกอบแบริ่งเข้ากับตุ๊กตา
- จัดทำแผ่นรางเลื่อนของลูกกลิ้งตัวบน
- จัดทำแผ่นกดสปริงสำหรับปรับแรงกดแผ่นแถบโลหะ
- ประลูกกลิ้งเข้ากับตุ๊กตา
- ประกอบมือหมุนเข้ากับแผ่นปรับแรงกดแผ่นแถบโลหะ
- ประกอบแผ่นรางเลื่อนเข้ากับโครงชุดป้อน
- ประกอบมอเตอร์และเอนโค๊ดเดอร์เข้ากับลูกกลิ้งตัวล่าง



รูปที่3.5 รูปการออกแบบโดยรวม

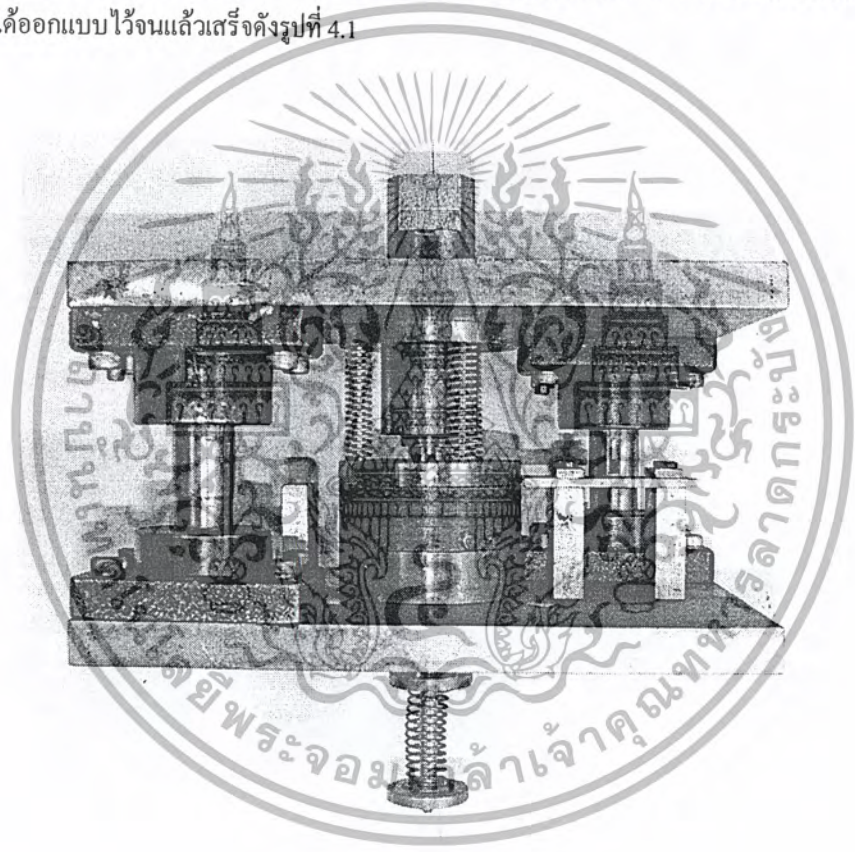
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์ ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ชุดแม่พิมพ์และชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ

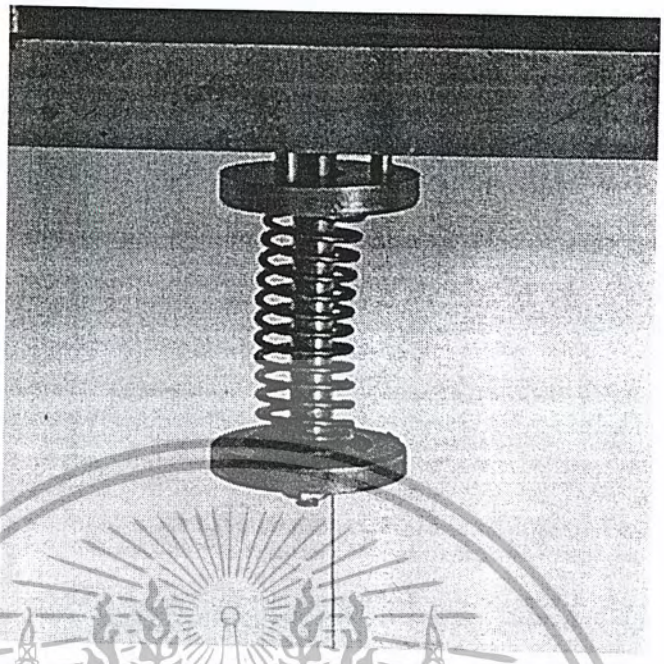
4.1.1 ชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป

ได้ดำเนินการออกแบบชุดแม่พิมพ์โดยการออกแบบแม่พิมพ์เป็นเครื่องปั๊มครั้งเดียวได้ชิ้นงาน 1 ชิ้น ซึ่งสลักดันปลดชิ้นงานให้หลุดออกจากดายแล้วจะมีลมเปล่าให้ชิ้นงานหลุดออกจากดายตกลงที่เก็บชิ้นงานและสร้างชุดแม่พิมพ์ตามที่ได้ออกแบบไว้จนแล้วเสร็จดังรูปที่ 4.1



รูปที่4.1 ชุดแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

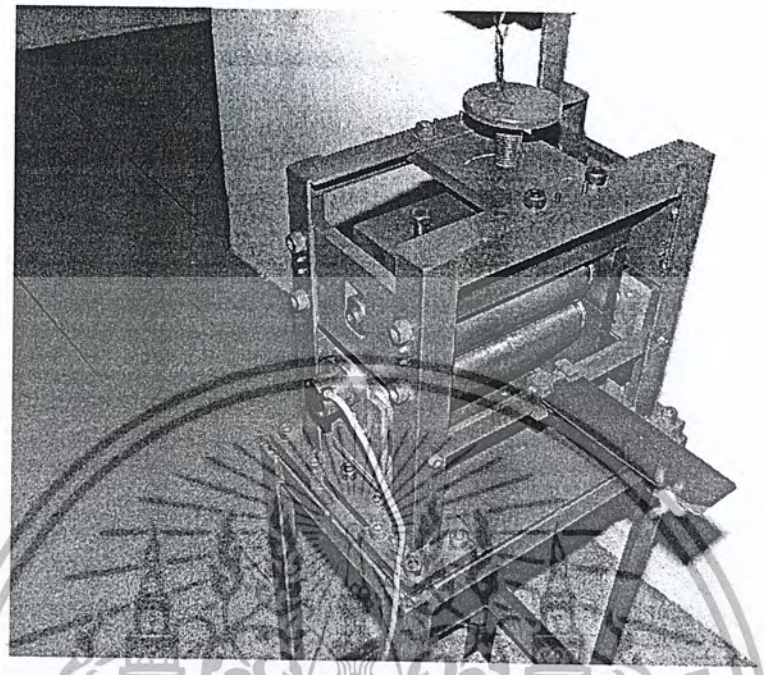


รูปที่4.2.สปริงดันปลด

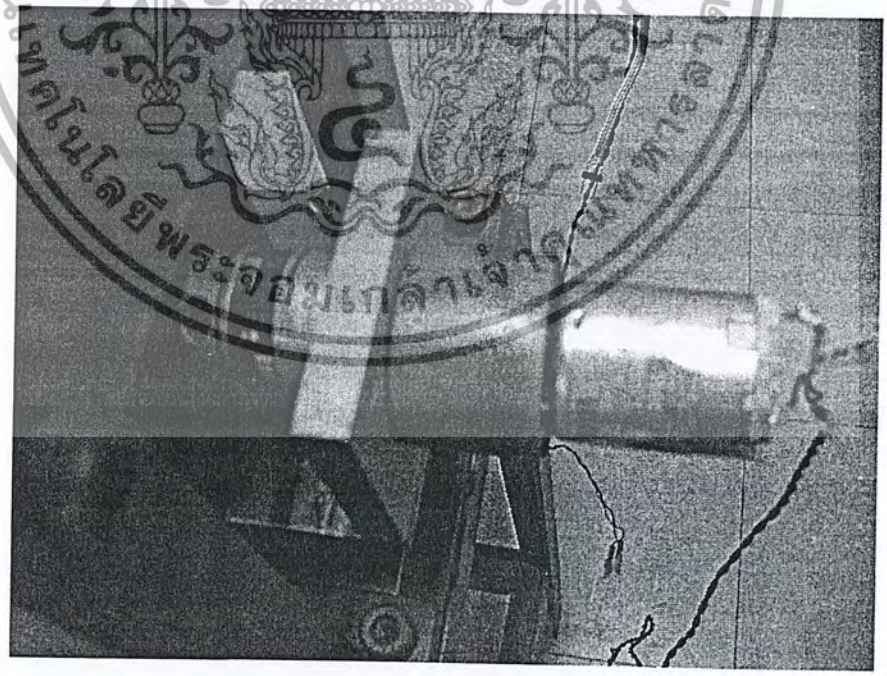
4.1.2 ชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ

ทำการดำเนินออกแบบชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโมมัติ ออกแบบโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 24 โวลท์ ขับเพลาป้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร และมีเอนโคดเดอร์เป็นตัวตรวจสอบระยะทางและส่งสัญญาณกลับไปยังไมโครคอลโทรเลอร์ และทำการสร้างชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติตามที่ได้ออกแบบขั้นต้นจนแล้วเสร็จ ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ

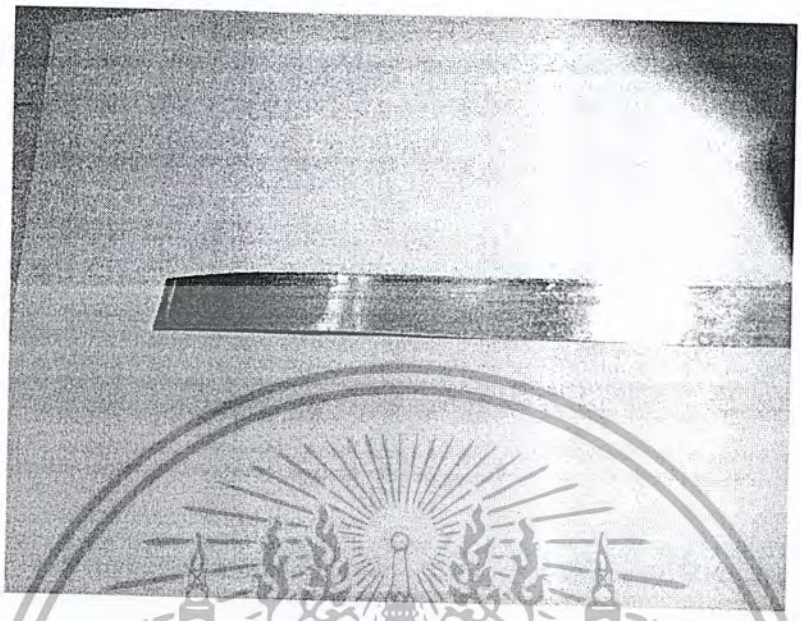


รูปที่ 4.4 รูปมอเตอร์ขับเพลาป้อนแผ่นแถบโลหะ

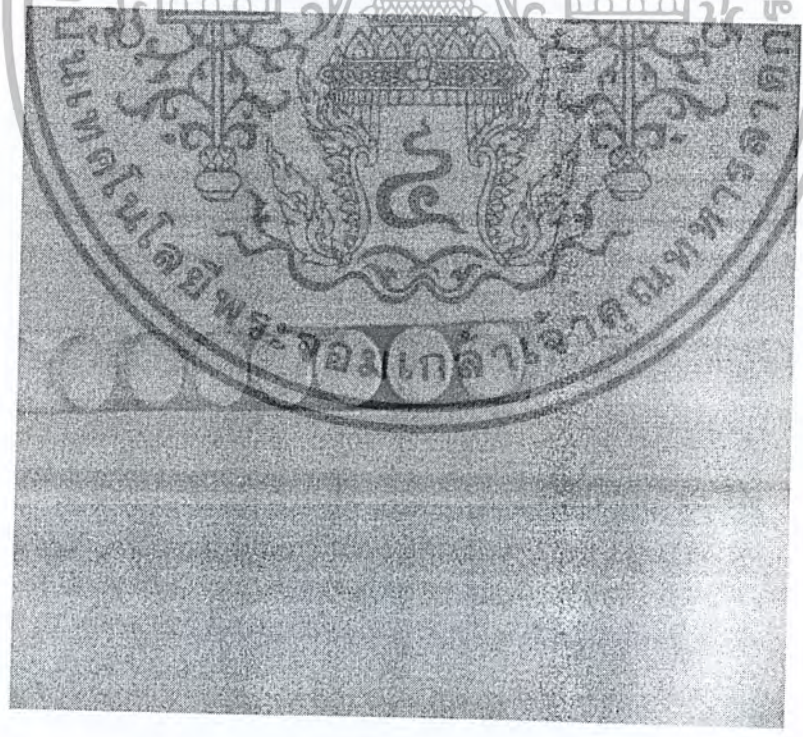
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบเห็นได้ว่าสามารถป้อนแผ่นแถบโลหะได้ตามต้องการ แต่จะมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.5-2 มิลลิเมตร ทำให้ช่วงการป้อนแผ่นแถบโลหะไม่เท่ากันดังรูปที่ 4.5

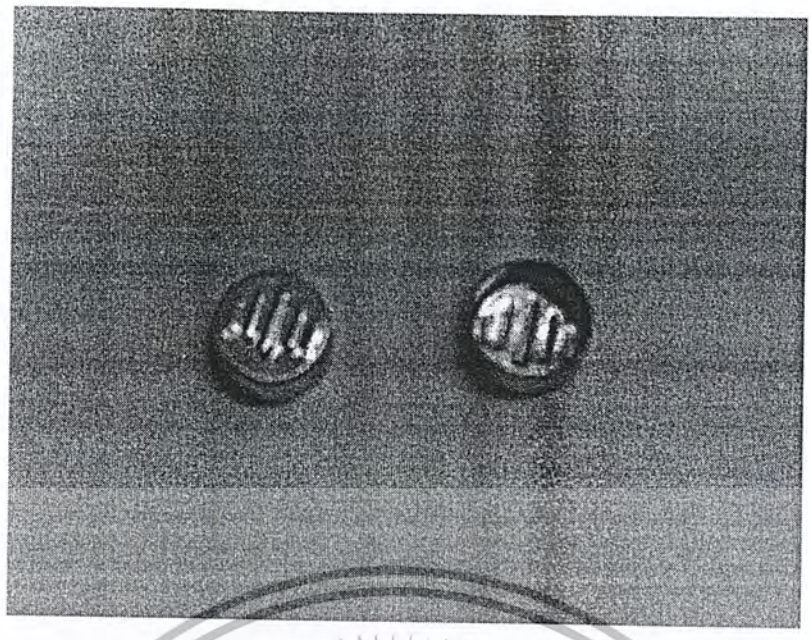


รูปที่ 4.5 แผ่นแถบโลหะก่อนทำการปั๊มขึ้นรูป

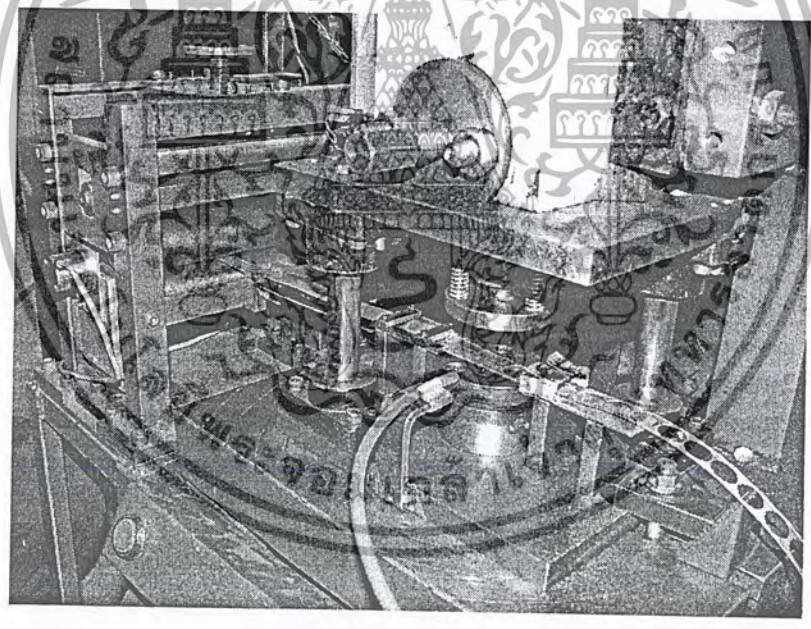


รูปที่4.6 แผ่นแถบโลหะภายหลังจากการปั๊มขึ้นรูปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 รูปชิ้นงานภายหลังจากขึ้นรูปแล้ว



รูปที่ 4.8 แสดงการทำงานของชุดแม่พิมพ์และชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการสร้างชุดแม่พิมพ์และชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติจะสามารถทำการขึ้นรูปโลหะแผ่นขนาด17.5มิลลิเมตร โดยจะได้ชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 มิลลิเมตร สูง4.5 มิลลิเมตร โดยทำการปั๊มขึ้นรูปอย่างต่อเนื่องไปจนหมดความยาวของแผ่นแถบโลหะ

5.2 สรุปปัญหาจากการทดลอง

จากการทดลองที่ได้จะพบปัญหาของการเคลื่อนที่ของแผ่นแถบโลหะจะยังไม่ได้ระยะที่ถูกต้อง ในการเคลื่อนที่โดยจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ประมาณ 0.5-2 มิลลิเมตร ซึ่งถ้านำไปใช้งานจริงๆถือว่าเป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการผลิตชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนที่เกี่ยวกับการตรวจสอบระยะทางและการควบคุมมอเตอร์ที่สั่งจากไมโครคอนโทรเลอร์ ซึ่งเมื่อโปรแกรมหยุดจ่ายไฟให้กับมอเตอร์แล้ว มอเตอร์ยังหมุนต่อไปอีกระยะหนึ่งเนื่องจากเป็นมอเตอร์ กระแสตรง24 โวลท์ ซึ่งหมุนเร็วมากจึงต้องใช้เวลาระยะหนึ่งถึงจะหยุด จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการคลาดเคลื่อนดังกล่าว ในส่วนของชิ้นงานที่ได้ผลก็คือชิ้นงานเกิดรอยย่น เนื่องจากเกิดระยะเผื่อ (Clearance) มากเกินไป และรอยขึ้นรูปก็ไม่ชัดเท่าที่ควรเพราะเกิดจากพื้นชั้นและดายที่ใช้ขึ้นรูปตื้นเกินไป

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าแม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแถบแผ่นโลหะอัตโนมัติมีข้อดีและปัญหาข้อจำกัดในการสร้างดังมีเป็นข้อๆดังนี้

1. แม่พิมพ์ขึ้นรูปและชุดป้อนแถบแผ่นโลหะอัตโนมัติสามารถปั๊มขึ้นรูปชิ้นงานได้ อย่างรวดเร็วตามอัตราการตั้งโปรแกรมเริ่มแรก
2. ชิ้นงานที่ได้เป็นที่น่าพอใจและสามารถนำไปใช้งานได้จริง
3. การสร้างชุดแม่พิมพ์และชุดป้อนแถบแผ่นโลหะนั้นตรงตามที่ได้ออกแบบไว้
4. เนื่องจากไม่สามารถควบคุมมอเตอร์กระแสตรงขนาด 24 โวลต์ให้หยุดหมุนได้ทันทีจึงส่งผลให้เกิดการคลาดเคลื่อนที่ขอบของแถบแผ่นโลหะซึ่งยังไม่แม่นยำเท่าที่ควร
5. ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากลูกล้อที่สัมผัสกับเอนโค๊ดเดอร์มักจะเกิดการแกว่งไม่ได้ศูนย์ทำให้การส่งสัญญาณกลับมายังไมโครคอนโทรเลอร์เกิดการผิดพลาด โดยจะส่งผลให้การเคลื่อนที่ของแถบแผ่นโลหะไม่ได้ระยะถูกต้อง
6. ชุดป้อนได้กำหนดระยะไว้คงที่ที่ 17 มิลลิเมตรถ้านำไปใช้กับชิ้นงานอื่นต้องแก้ไขในโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงาน

1. การเขียนโปรแกรมแอสแซมบลีเพื่อใช้ในการควบคุมชุดป้อนแผ่นแถบโลหะอัตโนมัติให้ใช้งานได้จริง
2. ศึกษาการทำงานระหว่างเครื่องจักรและระบบควบคุมชุดป้อนโดยพื้นฐานอย่างง่าย
3. มีความรู้ความเข้าใจในการสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูป
4. เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานให้ดียิ่งขึ้น
5. เพื่อให้ความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานรวมทั้งลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุของผู้ปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. รศ. สมยศ จุลณะปิยะ(2542), "การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์", หน้า 26-35

2. ดร. วริทธิ์ อึ๋งภากรณ์(2541), "การออกแบบเครื่องจักรกล" หน้า 46-63

3. ทฤษฎีการดึงขึ้นรูปลึก (2536) , สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ, หน้า 1-40

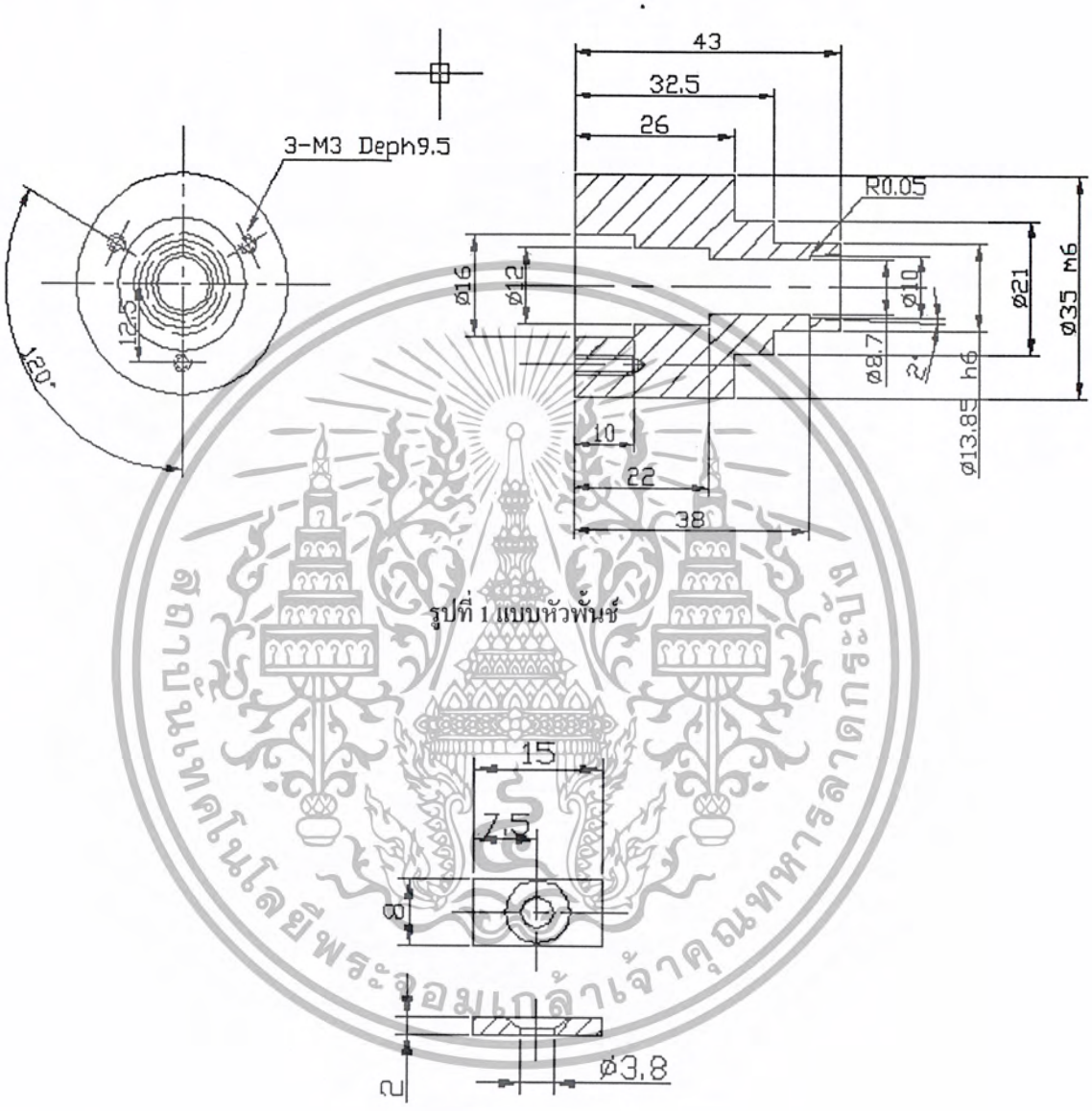
4. ชาญชัย ทรัพยากร, ประสิทธิ์ สวัสดิสรรพ์(2539), "การออกแบบแม่พิมพ์"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

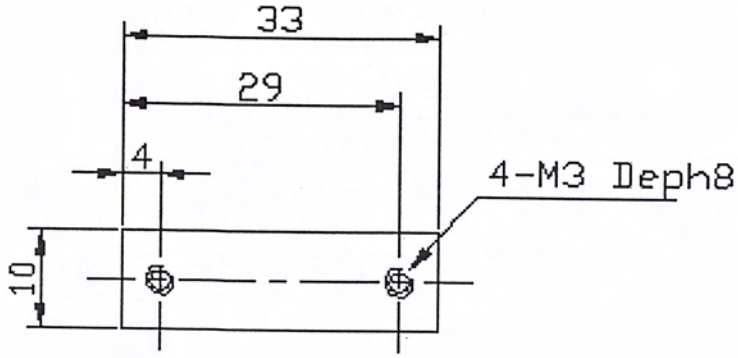
ภาคผนวก ก (การออกแบบ)

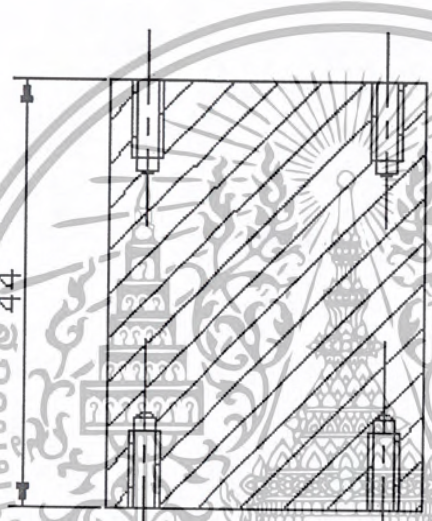


รูปที่ 1 แบบหัวพั้นช์

รูปที่ 2 แผ่นกั้นระยะแผ่นโลหะ

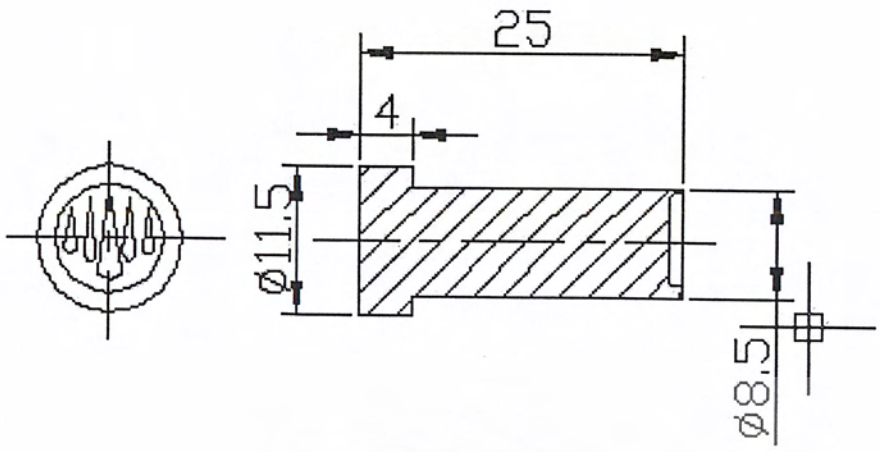
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



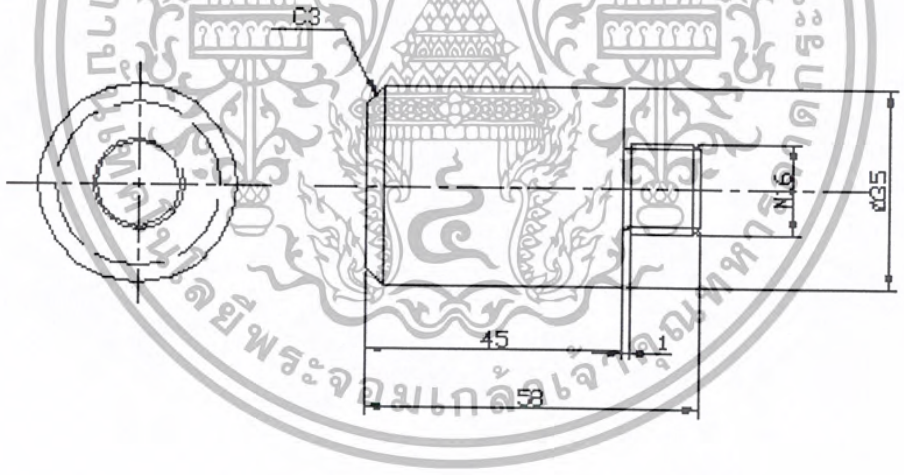


รูปที่ 3 ตัวยึดแผ่นรองรับแถบแผ่นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

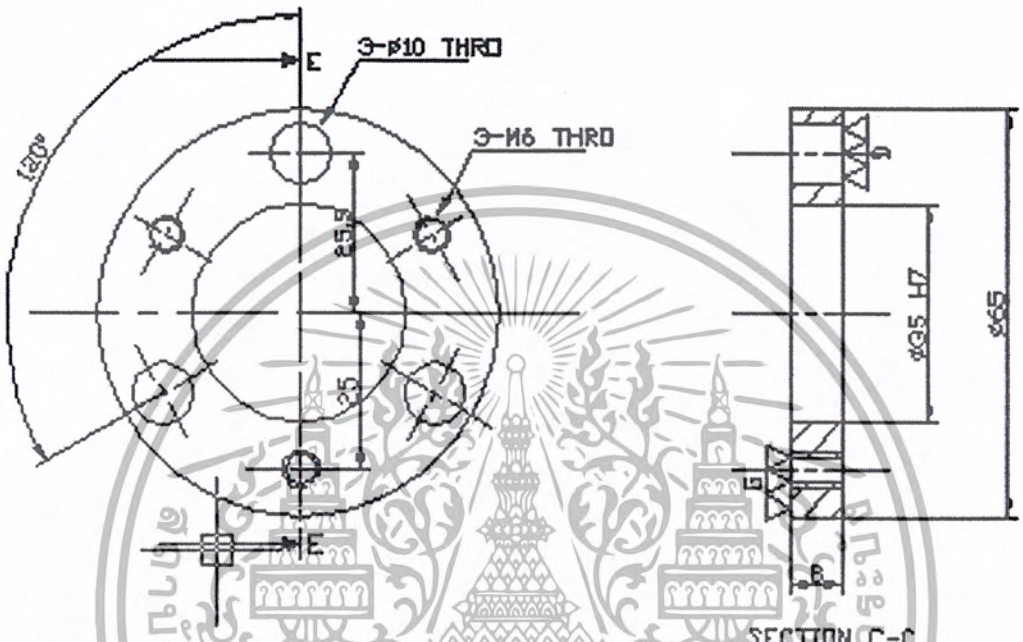


รูปที่ 4 แบบแม่พิมพ์



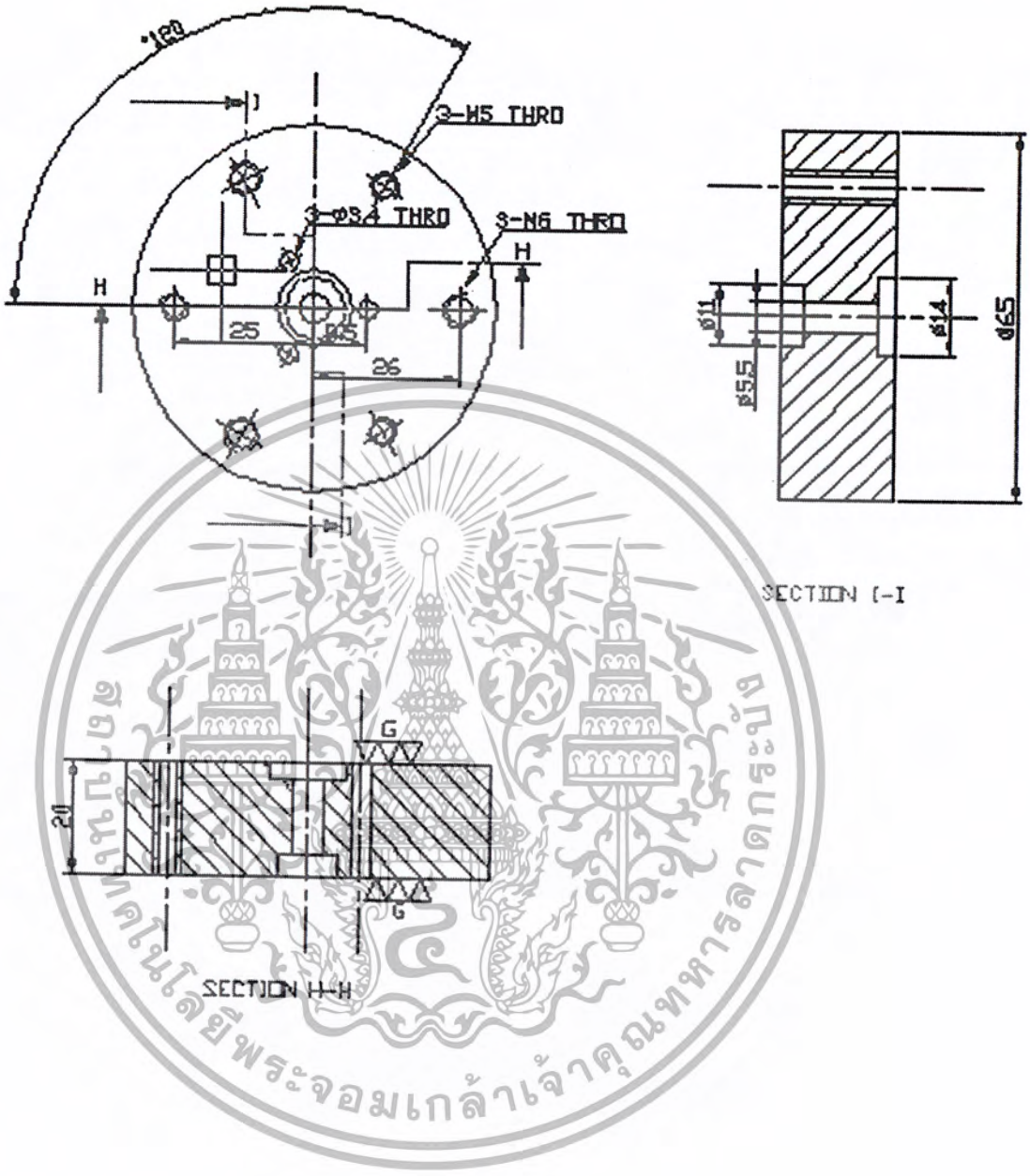
รูปที่ 5 ชุดด้ามจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



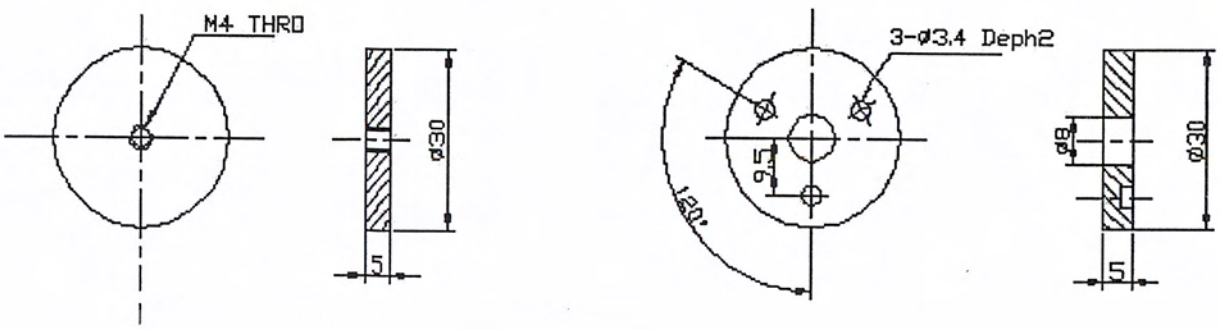
รูปที่ 6 ชุดพั้นซ์เพลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

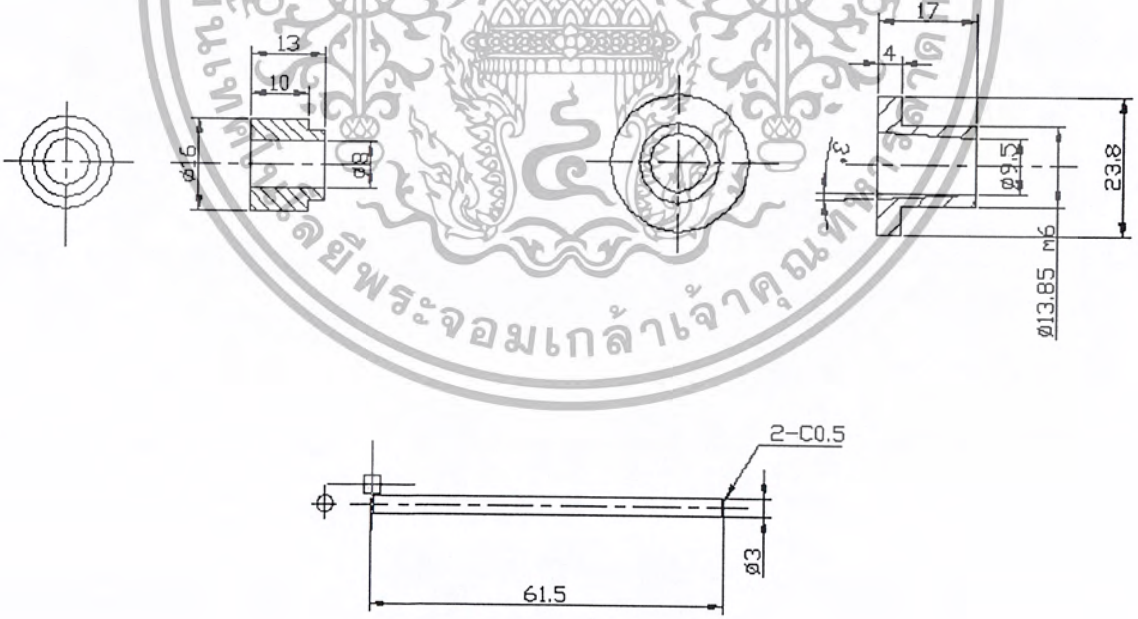


รูปที่ 7 แผ่นเสริมดาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

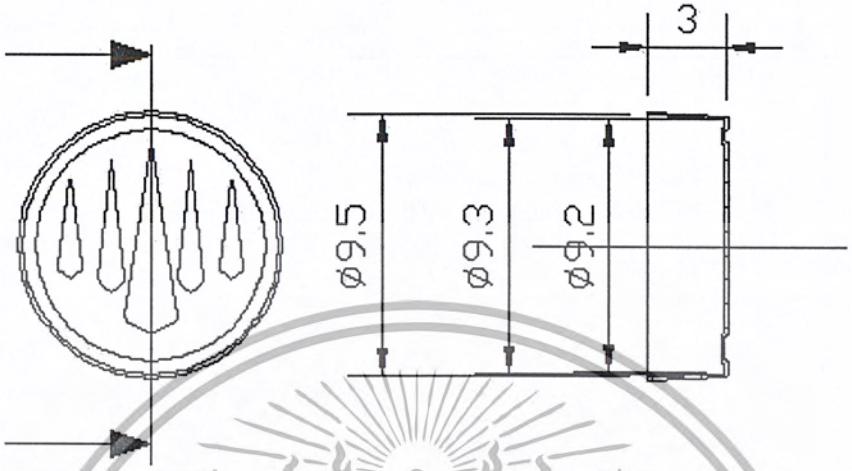


รูปที่ 8 ชุดดันปลด



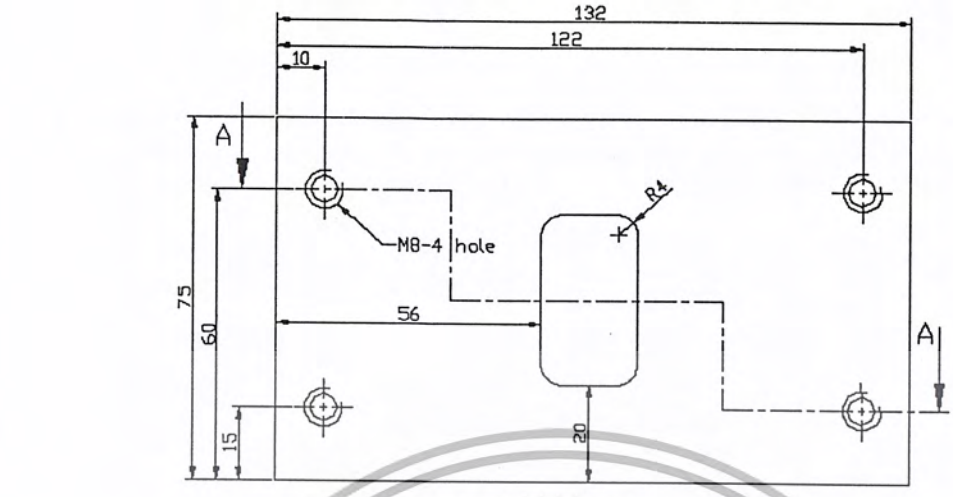
รูปที่ 9 ชุดปลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

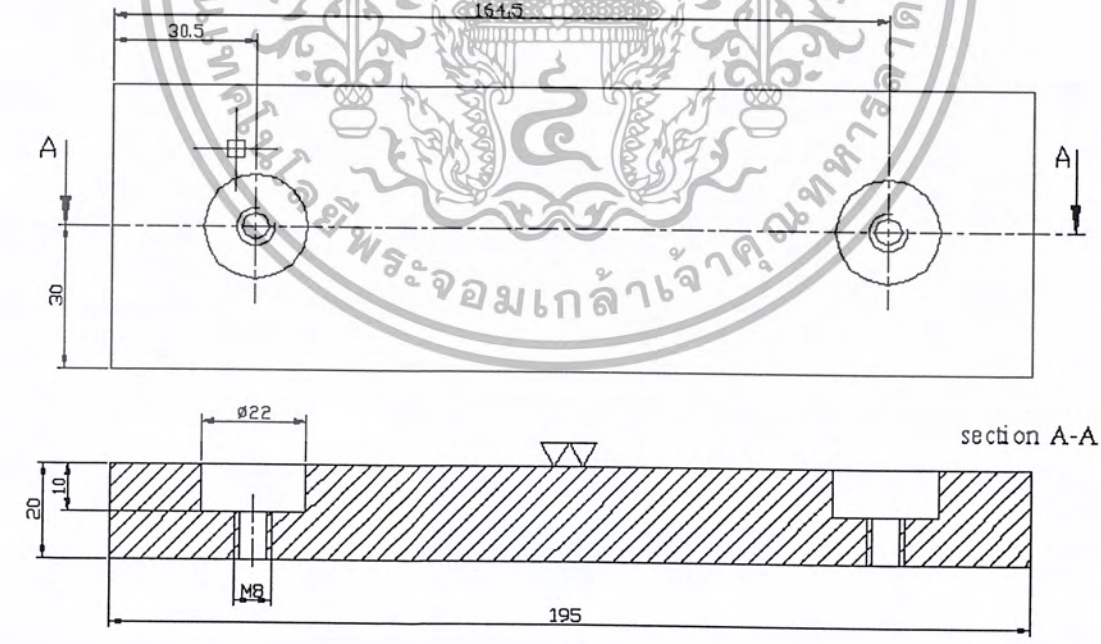


รูปที่ 10 ฝาหลอดยาหอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

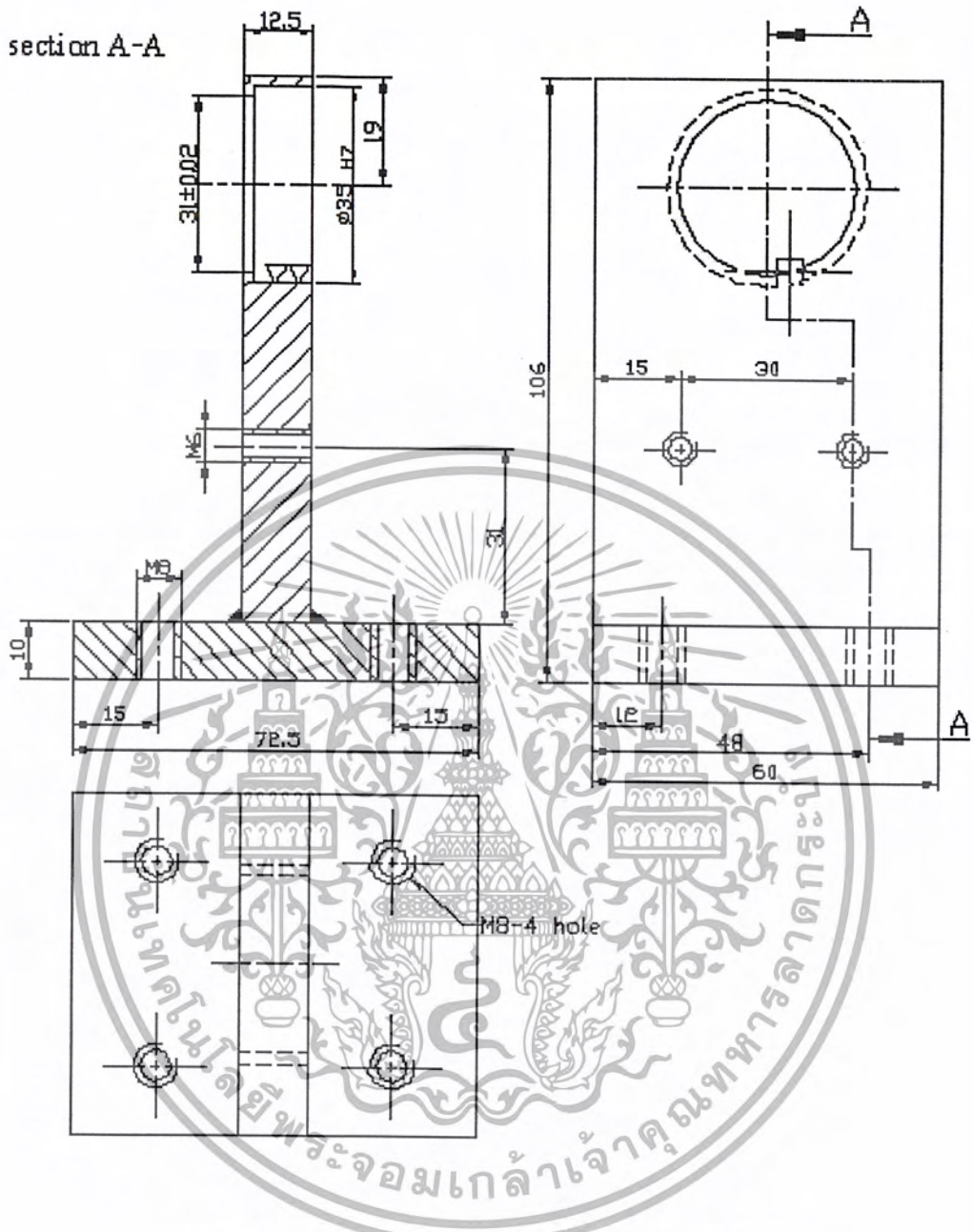


รูปที่ 11 แผ่นรางเลื่อนของลูกกลิ้งตัวบน



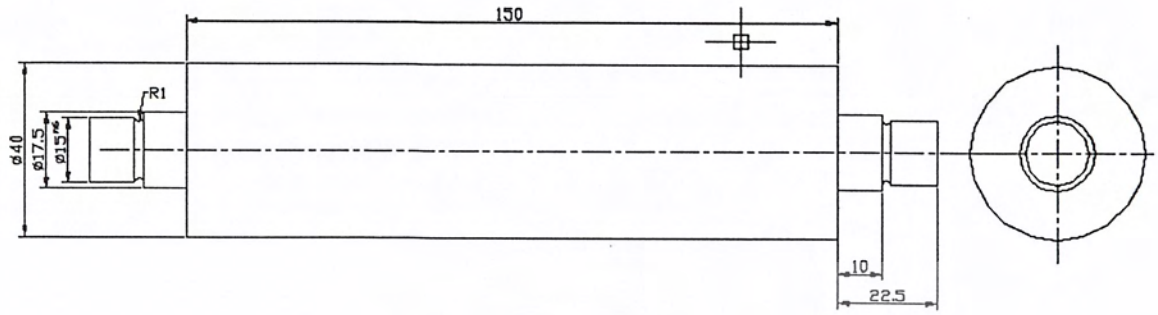
รูปที่ 12 แผ่นกดสปริงสำหรับปรับแรงกดแผ่นแถบโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

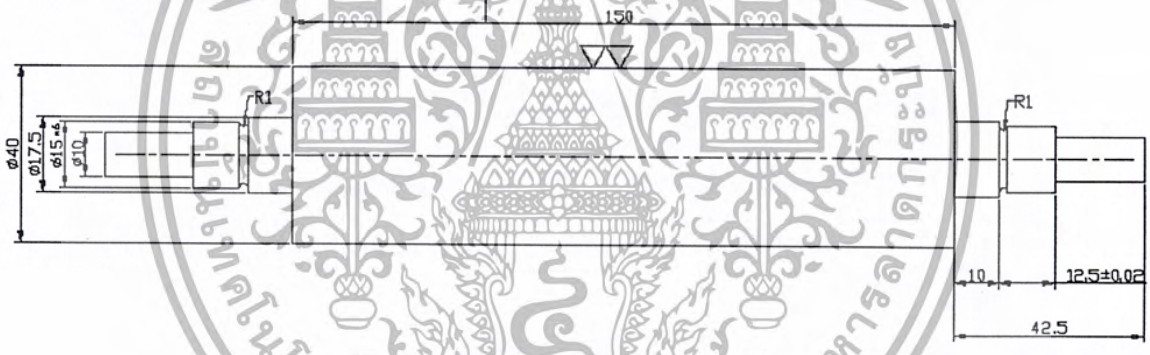


รูปที่ 13 แผ่นประกอบมอเตอร์และเอนโค๊ดเดอร์เข้ากับลูกกลิ้งตัวล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 ลูกกลิ้งยึดมอเตอร์



รูปที่ 15 ลูกกลิ้งยึดเอ็นโค๊ดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้